

ΕΘΝΙΚΟ ΜΕΤΣΟΒΙΟ ΠΟΛΥΤΕΧΝΕΙΟ
ΣΧΟΛΗ ΧΗΜΙΚΩΝ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ
ΕΡΓΑΣΤΗΡΙΟ ΧΗΜΕΙΑΣ & ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΑΣ ΤΡΟΦΙΜΩΝ



Δράση Ενζύμων και Διαιτητικών Ινών στα Ποιοτικά Χαρακτηριστικά Αρτοσκευασμάτων

Διδακτορική Διατριβή

Δήμητρας Μ. Λεμπέση

Αθήνα 2012

Η παρούσα διδακτορική διατριβή χρηματοδοτήθηκε με υποτροφία (2007-2010) από τον Ειδικό Λογαριασμό Κονδυλίων Έρευνας του Ε.Μ.Π.

Η έγκριση της διδακτορικής διατριβής από την Ανωτάτη Σχολή Χημικών Μηχανικών του Εθνικού Μετσόβιου Πολυτεχνείου δεν υποδηλώνει αποδοχή των γνώμων του συγγραφέα.

(Ν. 5343/1932, Άρθρο 202)

Πρόλογος

Η παρούσα διδακτορική διατριβή εκπονήθηκε στο Εργαστήριο Χημείας και Τεχνολογίας Τροφίμων της Σχολής Χημικών Μηχανικών του Εθνικού Μετσόβιου Πολυτεχνείου υπό την επίβλεψη της Καθηγήτριας Κ. Τζιά.

Ιδιαίτερα θα ήθελα να ευχαριστήσω την καθηγήτρια Κ. Τζιά, για την καθοδήγηση, συμπαράσταση και βοήθεια που μου πρόσφερε όλα αυτά τα χρόνια, καθώς και για την υπομονή και επιμονή της για την ολοκλήρωση αυτού του εγχειρήματος. Ευχαριστώ, επίσης, θερμά την καθηγήτρια Β. Ωραιοπούλου, για την αποτελεσματική συνεργασία και τη συμβολή της στην ολοκλήρωση της παρούσας διατριβής.

Θα ήθελα να ευχαριστήσω όλα τα μέλη της εξεταστικής επιτροπής, την καθηγήτρια Α. Μουσατάσου (ΕΜΠ), τον καθηγητή Δ. Κέκο (ΕΜΠ), τον καθηγητή Β. Καραθάνο (Χαροκόπειο Πανεπιστήμιο), την επ. καθηγήτρια Μ. Κροκίδα (ΕΜΠ) και τον καθηγητή Σ. Παπαδάκη (ΤΕΙ Αθήνας).

Επιπλέον θα ήθελα να ευχαριστήσω τους Δρ. Β. Γιάννου, Δ. Σαμπάνη και Χ. Σούκουλη για την στενή συνεργασία και βοήθεια σε όλους τους τομείς, καθώς και τους Δρ. Θ. Τσιρώνη, Ε. Δερμενσολούογλου, Ε. Γώγου, Γ. Κατσαρό και Δ. Τσιμογιάννη, και φυσικά τους υποψήφιους διδάκτορες Χ. Χρανιώτη, Β. Πολυχινιάτου, Β. Ψιμούλη, Μ. Γιαννόγλου, Μ. Τσεβδού, Π. Σφακιανάκη και Ζ. Αλεξανδράκη και όλους τους υπόλοιπους συνοδοιπόρους ερευνητές που βοήθησαν, ο καθένας με τον τρόπο του, στην ολοκλήρωση αυτής της εργασίας.

Παράλληλα, θα ήθελα να ευχαριστήσω τους υπευθύνους του Εργαστηρίου Σχεδιασμού και Ανάλυσης Διεργασιών, και κυρίως την Επίκουρη Καθηγήτρια Μ. Κροκίδα και τα μέλη του εργαστηρίου για την παραχώρηση του εξοπλισμού του Εργαστηρίου και την βοήθεια στις αναλύσεις που διεξήχθησαν εκεί. Επιπροσθέτως, θα ήθελα να ευχαριστήσω τον ερευνητή κ. Π. Μπούκο για την πολύτιμη βοήθεια του στην διεξαγωγή των αναλύσεων SEM που έγιναν στο ερευνητικό ινστιτούτο Δημόκριτος.

Τέλος θα ήθελα να ευχαριστήσω τις εταιρείες «Μύλοι Π. Δάκου», «Μινέρβα» και «ΦΑΓΕ» για την δωρεάν παραχώρηση των πρώτων υλών.

Ιδιαίτερες ευχαριστίες θέλω να εκφράσω προς την οικογένειά μου, και κυρίως τους γονείς μου, Μιχαήλ και Φωτεινή, την αδελφή μου Θάλεια, και τον σύντροφο της ζωής μου, Κώστα, για τη διαχρονική συμπαράστασή τους, την υπομονή τους όλα αυτά τα χρόνια, και την υλική και ηθική στήριξη των επιλογών μου.

Αθήνα, Οκτώβριος 2012

Δήμητρα Λεμπέση

Στην οικογένεια μου, Μιχαήλ, Φωτεινή και Θάλεια,
και τον σύντροφό μου, Κώστα

Να κοιτάς εκεί που θες να πας...
...αλλιώς θα πας εκεί που κοιτάς.

Περίληψη

Οι διαιτητικές ίνες αποτελούνται από υδατανθρακικά πολυμερή και ολιγομερή, ανθεκτικά στην πέψη και την απορρόφηση στο λεπτό έντερο, με πλήρη ή μερική ζύμωση στο παχύ έντερο. Είναι από τα πιο σημαντικά συστατικά (διατροφικά) των σιτηρών, αφού συνδέονται με ευεργετικές επιδράσεις στην υγεία (π.χ. καλή λειτουργία εντέρου, μείωση κινδύνου εμφάνισης καρδιαγγειακών νοσημάτων και διαβήτη κλπ.). Τη σημερινή εποχή στις ανεπτυγμένες χώρες η πρόσληψη διαιτητικών ινών είναι κατά μέσο όρο κάτω από το συνιστώμενο όριο λήψης (23-25 g ινών/ημέρα). Για το λόγο αυτό γίνονται προσπάθειες ανάπτυξης τροφίμων εμπλουτισμένων με διαιτητικές ίνες, και ειδικότερα αρτοσκευασμάτων. Το θέμα αυτό σχετίζεται άμεσα με το αντικείμενο της παρούσας διατριβής που ήταν ο εμπλουτισμός δύο αρτοσκευασμάτων, κυρίως κέικ και δευτερευόντως άρτου ελεύθερου γλουτένης. Από το σύνολο των αρτοσκευασμάτων, το κέικ επιλέχθηκε ως τρόφιμο ιδιαίτερα αρεστό στους καταναλωτές, επομένως και ιδανικός φορέας βιοδραστικών συστατικών, ενώ ο άρτος ελεύθερος γλουτένης επιλέχθηκε λόγω της ιδιαίτερα μειωμένης πρόσληψης διαιτητικών ινών των ασθενών με κοιλιοκάκη.

Ο σκοπός της παρούσας διδακτορικής διατριβής ήταν η μελέτη της επίδρασης της προσθήκης διάφορων πηγών διαιτητικών ινών στα ποιοτικά και διατροφικά χαρακτηριστικά και στη διατηρησιμότητα των συγκεκριμένων αρτοσκευασμάτων, και ακολούθως η βελτιστοποίηση των αντίστοιχων εμπλουτισμένων προϊόντων. Για αυτό το λόγο προηγήθηκε ανάλυση της επίδρασης της προσθήκης των διαφορετικών πηγών διαιτητικών ινών στα χαρακτηριστικά της ζύμης/ζυμαριού και του αρτοσκευάσματος. Ιδιαίτερη βαρύτητα δόθηκε, επίσης, στην παραγωγή κέικ υψηλής ποιότητας με χρήση φτηνών πηγών διαιτητικών ινών, και ενσωμάτωσή τους μετά από ενζυμική επεξεργασία. Τα ένζυμα που χρησιμοποιήθηκαν ανήκαν στην οικογένεια των ενδοξυλανασών. Προκειμένου να προσδιοριστούν τα αποτελέσματα της δράσης των ενδοξυλανασών πραγματοποιήθηκε βιβλιογραφική ανασκόπηση της εφαρμογής τους σε άρτο (εμπλουτισμένο και μη με διαιτητικές ίνες), σε απομονωμένες αραβινοξυλάνες και σε πηγές/προϊόντα διαιτητικών ινών.

Στην παρούσα διδακτορική διατριβή χρησιμοποιήθηκαν συμβατικές πηγές διαιτητικών ινών (απομονωμένες διαιτητικές ίνες σίτου, βρώμης, κριθαριού και καλαμποκιού) και χαμηλού κόστους πηγές ινών (πίτυρα σίτου, βρώμης, ρυζιού). Στις πηγές αυτές προσδιορίστηκε η σύσταση και το είδος των περιεχόμενων ινών (διαλυτές, αδιάλυτες), οι λειτουργικές τους ιδιότητες (ικανότητα συγκράτησης νερού, ικανότητα δέσμευσης νερού και ελαίου, διόγκωση), η κατανομή μεγέθους των σωματιδίων τους, η μικροδομή τους (με ηλεκτρονικό

μικροσκόπιο SEM), καθώς και η κατανομή μοριακού βάρους των περιεχόμενων αραβινοξυλανών. Για τον προσδιορισμό των χαρακτηριστικών της ζύμης (για την περίπτωση του κέικ) ή του ζυμαριού (για την περίπτωση του άρτου ελεύθερου γλουτένης) των αρτοσκευασμάτων μετρήθηκαν τα φυσικοχημικά (ειδικό βάρος, υγρασία, ενεργότητα νερού), ρεολογικά (συντελεστής συνεκτικότητας, δείκτης ρεολογικής συμπεριφοράς) και τα θερμικά χαρακτηριστικά τους (θερμοκρασία και ΔΗ ζελατινοποίησης αμύλου), ενώ τα προσδιοριζόμενα ποιοτικά χαρακτηριστικά των αρτοσκευασμάτων περιελάμβαναν τον ειδικό όγκο τους, το χρώμα της ψίχας και της κόρας, καθώς και την υγρασία, την ενεργότητα νερού, το πορώδες και τα χαρακτηριστικά υφής της ψίχας τους. Επιπροσθέτως διενεργήθηκε και οργανοληπτική αξιολόγηση των αρτοσκευασμάτων. Η εξέλιξη της παλαίωσης κατά την αποθήκευση εκτιμήθηκε μέσω της μέτρησης της απώλειας υγρασίας και της αύξησης της σκληρότητας της ψίχας, καθώς και του προσδιορισμού της αναδιαμόρφωσης του αμύλου και της υποβάθμισης των οργανοληπτικών χαρακτηριστικών των αρτοσκευασμάτων.

Αντικείμενο των αρχικών πειραμάτων ήταν η μελέτη των λειτουργικών ιδιοτήτων των απομονωμένων διαιτητικών ινών σίτου, καλαμποκιού, βρώμης και κριθαριού. Οι λειτουργικές ιδιότητες είναι ιδιαίτερα σημαντικές γιατί σχετίζονται τόσο με τις επερχόμενες φυσιολογικές επιδράσεις, όσο και με την επιτυχή ενσωμάτωση και την ποιότητα του αρτοσκευάσματος. Οι πηγές αυτές παρουσίασαν παρόμοια ικανότητα διόγκωσης (SC: 9.18-9.49 mL/g ινών), ικανότητα συγκράτησης νερού (WHC: 8.77-9.01 g νερού/g ινών) και κατανομή μεγέθους σωματιδίων (PSD). Αντιθέτως, η ικανότητα δέσμευσης νερού (WBC) ήταν σημαντικά μεγαλύτερη για τις ίνες σίτου (8.6 g νερού/g ινών), σε σχέση με τις υπόλοιπες πηγές (8 g νερού/g ινών).

Σε άρτο ελεύθερο γλουτένης πραγματοποιήθηκε μελέτη προσθήκης 3-9 % απομονωμένων διαιτητικών ινών (από σιτάρι, καλαμπόκι, βρώμη και κριθάρι). Η προσθήκη ινών αύξησε τη θερμοκρασία και μείωσε το ΔΗ ζελατινοποίησης του αμύλου, ενώ σε όλες τις περιπτώσεις (εκτός από της προσθήκης ινών κριθαριού) αυξήθηκε και ο συντελεστής συνεκτικότητας του ζυμαριού. Η προσθήκη ινών καλαμποκιού και βρώμης αύξησε τον όγκο του αρτοσκευάσματος, ενώ για τον άρτο με ίνες καλαμποκιού παρατηρήθηκαν ιδιαίτερα βελτιωμένα οργανοληπτικά χαρακτηριστικά (κυρίως όσον αφορά την εμφάνιση, το χρώμα και τη δομή της ψίχας των δειγμάτων). Η προσθήκη ινών κριθαριού δεν επηρέασε τον όγκο του άρτου, όμως βελτίωσε το χρώμα των αντίστοιχων προϊόντων, σε σχέση με τον άρτο χωρίς ίνες. Εξαιτίας του γεγονότος ότι η προσθήκη των ινών καλαμποκιού έδωσε τα καλύτερα αποτελέσματα, αποφασίστηκε η μελέτη να προχωρήσει σε βελτιστοποίηση του

προϊόντος και υπολογισμό των ταυτόχρονων επιδράσεων τόσο της ποσότητας των ινών όσο και της ποσότητας του νερού στις ιδιότητες του άρτου (ειδικός όγκος, σκληρότητα ψίχας, χρώμα ψίχας). Η προσθήκη 6.5 % ινών καλαμποκιού έδωσε τα καλύτερα αποτελέσματα στον οργανοληπτικό έλεγχο (κυρίως όσον αφορά την εμφάνιση, το χρώμα και την υφή της ψίχας των δειγμάτων), στον ειδικό όγκο (3.2 και 2.9 cm³/g), στη σκληρότητα ψίχας (3.5 και 4.9 N) και στο χρώμα ψίχας L (57.12 και 73). Η εξέταση των χαρακτηριστικών του βέλτιστου άρτου ελεύθερου γλουτένης εμπλουτισμένου με ίνες κατά την αποθήκευση, που ολοκλήρωσε τη σχετική μελέτη, έδειξε ότι όταν ο άρτος αποθηκεύεται συσκευασμένος σε τροποποιημένη ατμόσφαιρα επιβραδύνεται ο ρυθμός παλαίωσής του.

Στην περίπτωση των κέικ, αρχικά διεξήχθησαν πειράματα σταδιακής υποκατάστασης (10-30 %) του αλεύρου σίτου από απομονωμένες διαιτητικές ίνες (από σιτάρι, καλαμπόκι, βρώμη και κριθάρι) ή πίτυρα (από σιτάρι, βρώμη και ρύζι). Το ιξώδες της ζύμης (αναφοράς: 2.96, 30 % ίνες σίτου: 20.21, 10 % πίτυρα ρυζιού: 0.47 Pa*sⁿ), ο ειδικός όγκος του κέικ (αναφοράς: 2.27, 20 % ίνες σίτου: 2.83, 30 % πίτυρα ρυζιού: 1.94 cm³/g), το πορώδες (αναφοράς: 0.75, 30 % ίνες σίτου: 0.81, πίτυρα ρυζιού 30%: 0.69) και η περιεχόμενη υγρασία της ψίχας (αναφοράς: 20.07 %, 30 % ίνες σίτου: 26.45 %, 30 % πίτυρα βρώμης: 13.89 %) παρουσίασαν σημαντική αύξηση ($P < 0.05$) στα κέικ με διαιτητικές ίνες και μείωση στα κέικ με πίτυρα. Επίσης, η χρήση διαιτητικών ινών είχε ως αποτέλεσμα την παραγωγή κέικ με πιο μαλακή ψίχα (αναφοράς: 4.20 N, 20 % ίνες σίτου: 3.19 N), ενώ η χρήση πιτύρων προκάλεσε σκλήρυνση της ψίχας (30% πίτυρα ρυζιού: 10.84 N), συγκριτικά με το δείγμα αναφοράς (χωρίς ίνες). Όσον αφορά το χρώμα της ψίχας και της κρούστας των κέικ, δεν παρατηρήθηκαν σημαντικές διαφορές για τα κέικ με διαιτητικές ίνες, ενώ στα κέικ με πίτυρα παρατηρήθηκε σημαντική μείωση της φωτεινότητας (παράμετρος L) της ψίχας, η οποία εντεινόταν αυξανόμενου του ποσοστού υποκατάστασης, που οφείλεται στο σκουρότερο χρώμα των πιτύρων. Συνολικά, τα κέικ με ίνες βρώμης και σίτου χαρακτηρίζονταν από το μεγαλύτερο όγκο, τη χαμηλότερη σκληρότητα ψίχας και τα βέλτιστα οργανοληπτικά χαρακτηριστικά, ενώ τα κέικ με πίτυρα βρώμης και ρυζιού παρουσίασαν υποδεέστερα χαρακτηριστικά. Τέλος, η ενσωμάτωση απομονωμένων διαιτητικών ινών, επιβράδυνε την απώλεια υγρασίας και τη σκλήρυνση της ψίχας των αντίστοιχων κέικ κατά την αποθήκευση (25 °C για 7 ημέρες), με αποτέλεσμα η βαθμολογία της οργανοληπτικής αποδοχής τους να μειωθεί σημαντικά μετά την 4^η ημέρα αποθήκευσης. Με βάση τα προηγούμενα αποτελέσματα, η ενσωμάτωση πιτύρου βρώμης και ρυζιού υποβάθμισε τα ποιοτικά χαρακτηριστικά των αντίστοιχων κέικ. Λόγω όμως του ότι τα πίτυρα ρυζιού και βρώμης αποτελούν πηγές διαιτητικών ινών χαμηλού κόστους, με οικεία

γεύση στους καταναλωτές, η προσθήκη τους διερευνήθηκε περαιτέρω. Ειδικότερα, τα πίτυρα βρώμης και ρυζιού επεξεργάστηκαν με διαφορετικά επίπεδα (0, 70 and 700 ppm) εμπορικής ενδοξυλανάσης και ενσωματώθηκαν σε κέικ σε ποσοστό 30 % (υποκαθιστώντας το άλευρο σίτου). Τα ένζυμα αυτά επιλέχθηκαν με σκοπό να επηρεάσουν τις ιδιότητες των πιτύρων και να περιορίσουν τις αρνητικές επιπτώσεις που προκαλεί η προσθήκη τους στο κέικ.

Η ενζυμική επεξεργασία αύξησε το ποσοστό των διαλυτών διαιτητικών ινών (πίτυρα βρώμης: ~10%, ενζυμικά επεξεργασμένα πίτυρα βρώμης: ~14%, πίτυρα ρυζιού: ~7%, ενζυμικά επεξεργασμένα πίτυρα ρυζιού: ~10%), λόγω της διαλυτοποίησης των μη εκχυλίσιμων αραβινοξυλανών, όπως έγινε φανερό από την κατανομή του μοριακού βάρους των αραβινοξυλανών, και αντίστοιχως μείωσε το ποσοστό των αδιάλυτων διαιτητικών ινών. Επιπροσθέτως, μείωσε την ικανότητα συγκράτησης νερού (πίτυρα βρώμης: ~3.8, ενζυμικά επεξεργασμένα πίτυρα βρώμης: ~3.2, πίτυρα ρυζιού: ~4.5, ενζυμικά επεξεργασμένα πίτυρα ρυζιού: ~3.9 g νερού/g πιτύρου), και ικανότητα δέσμευσης νερού των πιτύρων (πίτυρα βρώμης: ~3.2 g, ενζυμικά επεξεργασμένα πίτυρα βρώμης: ~3, πίτυρα ρυζιού: ~3.4, ενζυμικά επεξεργασμένα πίτυρα ρυζιού: ~3.2 g νερού/g πιτύρων), ενώ η ικανότητα διόγκωσης (πίτυρα βρώμης: ~5.4, πίτυρα ρυζιού: ~4.5 mL/g ινών) και η ικανότητα συγκράτησης λιπαρού (πίτυρα βρώμης: ~3.2, πίτυρα ρυζιού: ~2.8 g λιπαρού/g πιτύρου) επηρεάστηκαν μόνο από τη διαφορετική πηγή των πιτύρων. Αυτά επιβεβαιώθηκαν και με τις διαφορές που παρατηρήθηκαν στη δομή των παραπάνω πιτύρων.

Η προσθήκη ενζυμικά επεξεργασμένων πιτύρων στη συνταγή του κέικ προκάλεσε αύξηση του ιξώδους και της θερμοκρασίας ζελατινοποίησης και μείωση της ενεργότητας νερού της ζύμης, σε σχέση με τα αντίστοιχα χαρακτηριστικά της ζύμης με μη επεξεργασμένα πίτυρα. Η αύξηση του ιξώδους, που οφείλεται πιθανότατα στο υψηλότερο ποσοστό διαλυτών διαιτητικών ινών, είναι ιδιαίτερα σημαντική καθώς συμβάλλει στη διατήρηση του ενσωματωμένου κατά την ανάμιξη αέρα μέχρι το τέλος του κλιβανισμού, και επομένως στην επίτευξη μεγαλύτερου όγκου κέικ. Η αύξηση στη θερμοκρασία ζελατινοποίησης που παρατηρήθηκε στα δείγματα με επεξεργασμένα πίτυρα μπορεί να οφείλεται στην αλληλεπίδραση ανάμεσα στο άμυλο και τις ομάδες υδροξυλίου των διαλυτών αραβινοξυλανών, και είναι επίσης κρίσιμη καθώς καθυστερεί τη λήξη της διόγκωσης του κέικ και επομένως αυξάνει τον όγκο του. Επιπροσθέτως, η χαμηλότερη ενεργότητα νερού της ζύμης με ενζυμικά επεξεργασμένα πίτυρα δείχνει τη μικρότερη διαθεσιμότητα του νερού για την ζελατινοποίηση του αμύλου, μετατοπίζοντας τη θερμοκρασία ζελατινοποίησης των αντίστοιχων δειγμάτων σε υψηλότερες περιοχές. Η υψηλότερη

θερμοκρασία ζελατινοποίησης παρατηρήθηκε στην ζύμη με επεξεργασμένα πίτυρα βρώμης (92.289 °C) και η χαμηλότερη στην ζύμη με μη επεξεργασμένα πίτυρα ρυζιού (89.721°C). Οι μεταβολές αυτές συνδέονται τόσο με την αύξηση του όγκου, όσο και με τη βελτίωση του πορώδους, της υφής και των οργανοληπτικών χαρακτηριστικών που παρατηρήθηκε στα αντίστοιχα κέικ.

Κατά την παλαίωση των κέικ παρατηρήθηκε σε όλα τα δείγματα, όπως ήταν αναμενόμενο, αύξηση της σκληρότητας της ψίχας τους και της ενθάλπιας αναδιαμόρφωσης της αμυλοπηκτικής, μείωση της υγρασίας της ψίχας και υποβάθμιση των οργανοληπτικών χαρακτηριστικών και της αποδοχής των κέικ. Η ενζυμική επεξεργασία των πιτύρων βρώμης και ρυζιού καθυστέρησε την παλαίωση των κέικ, επιβραδύνοντας το ρυθμό απώλειας υγρασίας και αναδιαμόρφωσης του αμύλου, που είχε ως αποτέλεσμα την επιβράδυνση της σκλήρυνσης της ψίχας του κέικ και της υποβάθμισης των οργανοληπτικών χαρακτηριστικών του. Ειδικότερα, η σκληρότητα της ψίχας των κέικ με ενζυμικά επεξεργασμένα πίτυρα βρώμης ήταν 35 % μικρότερη συγκρινόμενη με τη σκληρότητα της ψίχας των αντίστοιχων τυφλών δειγμάτων κατά την αποθήκευση, ενώ στην περίπτωση των πιτύρων ρυζιού η σκληρότητα της ψίχας των κέικ με ενζυμικά επεξεργασμένα πίτυρα ήταν 43% μικρότερη μετά από 1 ημέρα και 31% μετά από 7 ημέρες αποθήκευσης, συγκρινόμενη με τη σκληρότητα της ψίχας των αντίστοιχων τυφλών δειγμάτων. Η διαφορετική συμπεριφορά των δειγμάτων με ενδοξυλανάση πιθανότατα οφείλεται στην υδρόλυση των πολυσακχαριτών του κυτταρικού τοιχώματος που επηρεάζει την ισορροπία του νερού και παρεμβαίνει στην αλληλεπίδραση πρωτεΐνης-αμύλου, ενώ ιδιαίτερο ρόλο παίζει και το υψηλότερο ποσοστό διαλυτών διαιτητικών ινών των ενζυμικά επεξεργασμένων πιτύρων, που είναι πιο απορροφητικές από τις αδιάλυτες ίνες. Η επιμήκυνση του χρόνου αποθήκευσης είναι ιδιαίτερα σημαντική για τα αρτοσκευάσματα, λόγω του γενικώς μικρού χρόνου ζωής τους και του οικονομικού αντίκτυπου της καταστροφής των ληγμένων προϊόντων. Τέλος, πρέπει να αναφερθεί ότι το επίπεδο της ενδοξυλανάσης που χρησιμοποιήθηκε κατά την ενζυμική επεξεργασία των πιτύρων, δεν διαφοροποίησε σημαντικά ούτε τις ιδιότητες των πιτύρων, ούτε τα χαρακτηριστικά των κέικ και την εξέλιξη των ιδιοτήτων των κέικ κατά την αποθήκευση.

Λόγω του ότι η προσθήκη διαιτητικών ινών βρώμης (επεξεργασμένου πιτύρου από τις φθινές πηγές και απομονωμένων ινών από τις συμβατικές) επέδειξε τα καλύτερα αποτελέσματα, εφαρμόστηκε το στατιστικό εργαλείο της μεθοδολογίας επιφανειών απόκρισης (RSM), προκειμένου να προσδιοριστεί το ποσοστό προσθήκης των αντίστοιχων πηγών στο μίγμα της συνταγής, που οδηγεί σε κέικ με τα βέλτιστα χαρακτηριστικά. Η

βέλτιστη συνταγή περιείχε 15 % ίνες βρώμης και 15 % ενζυμικά επεξεργασμένα πίτυρα βρώμης (κατά βάρος του αλεύρου), και τα αντίστοιχα κέικ είχαν ιδιαίτερα υψηλό ειδικό όγκο ($3.263 \text{ cm}^3/\text{g}$), χαμηλή σκληρότητα ψίχας (3.483 N) και υψηλή οργανοληπτική αποδοχή (8.55/9), οι οποίες βρέθηκαν πλησίον των προβλεπόμενων τιμών με βάση την RSM.

Τέλος, η υποκατάσταση του αλεύρου του κέικ προκάλεσε ελάττωση του αφομοιώσιμου αμύλου, επιφέροντας και τη μείωση του αναμενόμενου γλυκαιμικού δείκτη (eGI). Τα κέικ με διαιτητικές ίνες βρώμης και κριθαριού παρουσίασαν το χαμηλότερο eGI.

Title of Dissertation:

Effect of enzymes and dietary fiber in the quality characteristics of bakery products

Dimitra Lebesi, Doctor of Philosophy, 2012

Dissertation directed by: Professor Constantina Tzia

Laboratory of Food Chemistry and Technology,
School of Chemical Engineering,
National Technical University of Athens

Abstract

Dietary fibers consist of polysaccharides resistant to digestion and absorption in the human small intestine with complete or partial fermentation in the large intestine. They are besides the most important classes of compounds in cereal grains, as they relate to positive health effects (beneficial effects against diseases such as cardiovascular diseases, gastrointestinal disease, decreasing blood cholesterol, diverticulosis, diabetes and colon cancer). Nowadays, in developed countries, the average dietary fiber intake is below the RDI (23-25 g/day). Thus, efforts have been made to develop dietary fiber enriched foods, and in particular bakery products. This issue is directly related with the topic of the present dissertation, which was the enrichment of two bakery products, mainly cake and secondary gluten free bread. From all the bakery products available, the cake was selected as a product highly liked by the consumers all over the world, and because of its high consumption it can potentially be used as carrier of bioactive compounds, while the gluten free bread was selected due to the coeliac patients' low intake of dietary fiber.

The objective of this study was to examine the effect of addition of various sources of dietary fiber on the quality characteristics, the nutritive value and the staling process of the aforementioned selected bakery products, followed by the optimization of the enriched bakery products' formula. The investigation of the effect of the different dietary fiber sources on the quality attributes of the dough/batter of the product, preceded. Special attention was given to the incorporation of low cost dietary fiber sources after their enzymatic modification, in order to achieve high quality cakes. The enzymes used were endoxylanases. In order to specify the effects of endoxylanase treatment, previous

references of their application in bread (normal and fortified with dietary fiber), in isolated arabinoxylans and in dietary fiber sources/products, were reviewed.

In the present dissertation study, conventional (isolated dietary fibers from wheat, oat, barley and maize) and low cost (rice bran, wheat bran and oat bran) dietary fiber sources were used. The chemical composition, the type (soluble, insoluble), the functional properties (water holding capacity, water binding capacity, fat binding capacity, swelling), the particle size distribution, the structure (using SEM) and the molecular weight distribution of the arabinoxylans, were determined in the aforementioned dietary fiber sources. For the determination of the batter (for the case of cake) or dough (for the case of gluten free bread) characteristics of the bakery products, the physicochemical (specific gravity, moisture, aw), rheological (consistency index, flow behaviour index), and the thermal (gelatinization temperatures and ΔH) were measured, while the quality attributes of the bakery products determined included specific volume of the cake, crumb and crust colour, and moisture, aw, porosity and textural attributes of the crumb. In addition, sensory evaluation of the bakery products was conducted. The staling evolution during storage was estimated through monitoring of moisture losses, increase in crumb firmness and starch retrogradation, as well as through deterioration of the sensory characteristics of the bakery products.

The first objective was to study the functional properties of the conventional (isolated) dietary fibers from wheat, maize, oat and barley. The functional properties are particularly essential, as they relate to the expected physiological effects, as well as the successful incorporation and the quality of the enriched bakery product. The sources studied showed similar swelling capacity (SC: 9.18-9.49 mL/g fiber), water holding capacity (WHC: 8.77-9.01 g water/g fiber) and particle size distribution (PSD). However, the water binding capacity (WBC) was significantly higher for wheat fiber (8.6 g water/g fiber), compared to the other fiber sources (8 g water/g fiber).

Wheat, maize, oat and barley fibers were added at 3-9% level into a gluten-free bread formulation. Dietary fiber addition increased starch gelatinization temperatures and decreased ΔH_{gel} , while in all cases (except for barley fiber addition), dough consistency index was also higher. Maize and oat fibre addition to gluten-free bread acquired a positive impact on bread specific volume, while for the case of maize fiber addition improved sensory properties were noticed (mainly in respect to bread appearance, crumb colour and structure). The formulation containing barley fibre produced loaves that had volume comparable to the control bread (with no added fiber) and more intense colour. Due to the

fact that maize fiber addition induced the greatest improvement in the quality characteristics of gluten free breads (when compared to the other fiber sources), it was decided to continue the study with the optimization of the formula and assess the impact of the maize fiber and the water level on the quality characteristics (specific volume, crumb firmness, crumb colour- L value) of gluten free bread. The optimal formulation, determined from the data, contained 6.5 % maize fiber (starch/flour base) and resulted to the highest specific volume ($3.2 \text{ cm}^3/\text{g}$ compared to $2.9 \text{ cm}^3/\text{g}$), lowest crumb firmness (3.5 N compared to 4.9 N) and darker crumb colour (lowest L value: 57.12 compared to 73). In addition, the former formulation exhibited the best sensory characteristics (mainly in relation to loaf appearance, crumb colour and texture). Shelf-life study of the optimized formulation, that concluded the part of gluten free bread enrichment, revealed that bread stored under modified atmosphere packaging exhibited slower staling rate.

The effect of successively replacing (10 %-30 %) wheat flour by isolated dietary fibers (wheat, oat, barley and maize) or cereal brans (wheat, oat and rice) on cake batter and cake quality parameters, as well as on product shelf-life, was studied. Batter viscosity (control: 2.96, wheat fiber 30 %: 20.21, rice bran 10 %: $0.47 \text{ Pa}\cdot\text{s}^n$), cake specific volume (control: 2.27, wheat fiber 20 %: 2.83, rice bran 30 %: $1.94 \text{ cm}^3/\text{g}$), porosity (control: 0.75, wheat fiber 30 %: 0.81, rice bran 30 %: 0.69), and crumb moisture content (control: 20.07 %, wheat fiber 30 %: 26.45 %, oat bran 30 %: 13.89 %) increased significantly ($P < 0.05$) when adding dietary fibers, while decreased when adding cereal brans. Dietary fiber addition also resulted in cakes with softer crumb (control: 4.20 N, wheat fiber 20 %: 3.19 N) while cereal bran addition in increased crumb firmness (rice bran 30 %: 10.84 N), respectively. Minor differences were observed in the colour (crumb and crust) of the dietary fiber cakes, compared to the control cake. Regarding the colour of the crumb, the L values decreased significantly ($P < 0.05$) with the addition of cereal brans and moreover with increasing levels, indicating a darker colour. Among the studied sources of fiber, oat and wheat fiber resulted in cakes with the highest volume and the lowest crumb firmness; that was also depicted in the sensory evaluation, while oat and rice bran containing cakes exhibited inferior characteristics. During storage ($25 \text{ }^\circ\text{C}$ for a 7-day period), isolated dietary fiber addition delayed the moisture losses and the firming of the cakes, thus their overall acceptance scores decreased significantly after 4 days of storage.

Based on the above results, the incorporation of isolated dietary fiber and wheat bran resulted to cakes with superior quality characteristics, while oat and rice bran addition resulted to defective products. However, due to the fact that oat and rice bran are low cost

and appealing to consumers sources of dietary fiber, their incorporation was studied further. In particular, oat and rice bran were treated with different levels (0, 70 and 700 ppm) of a commercial endoxylanase enzyme and were added to the cakes at 30 % flour base (replacing wheat flour). Endoxylanases were selected as the appropriate enzymes that can change the bran properties and diminish the negative effects that are caused by their addition into cakes.

Endoxylanase treatment increased the soluble fiber content (oat bran:~10 %, endoxylanase treated oat bran: ~14 %, rice bran: ~7 %, endoxylanase treated rice bran: ~10 %), due to the solubilisation of the water unextractable arabinoxylans, as indicated also in the molecular weight distribution of the arabinoxylans, and accordingly decreased the insoluble fiber content. In addition, endoxylanase treated brans were found to have decreased water holding capacity (oat bran:~3.8, endoxylanase treated oat bran: ~3.2, rice bran: ~4.5, endoxylanase treated rice bran: ~3.9 g water/g bran), and water binding capacity (oat bran:~3.2, endoxylanase treated oat bran: ~3, rice bran: ~3.4, endoxylanase treated rice bran: ~3.2 g water/g bran), while swelling capacity (oat bran:~5.4, rice bran: ~4.5 mL/g bran) and fat binding capacity (oat bran:~3.2, rice bran: ~2.8 g fat/g bran) were only affected by the source of dietary fiber. Investigation of the brans' structure confirmed these results.

The addition of endoxylanase treated brans was found to be effective in increasing the batter viscosity and gelatinization temperature, and decreasing the batter water activity, compared to the respective characteristics of the batters containing non treated brans. The increase in batter viscosity, which is possibly related to the increased soluble fiber content, is important as it helps retaining the incorporated through mixing air until the end of the baking time, and thus the achievement of more voluminous cakes. The increase in gelatinization temperature, that was observed in the batters containing endoxylanase treated brans, could be due to the interaction between the starch and the hydroxyl groups of the soluble arabinoxylans, and is also crucial, as it delays the end of oven spring and thus allows more time for the cake to expand and increase its volume. In addition, the diminished water activity of the batter containing endoxylanase treated brans, indicates less water available for starch gelatinization, relocating the gelatinization temperatures of the respective samples in higher temperature areas. The highest gelatinization temperature was observed in the batter containing endoxylanase treated oat bran (91. 289 °C) and the lowest in the batter containing rice bran (89.721 °C). The aforementioned changes relate both with the increase in the cake volume, and the improvement of the porosity, the texture and the sensory characteristics attained in the respective cakes.

During storage, cake staling induced an increase in crumb firmness and enthalpy of amylopectin retrogradation, while crumb moisture and sensory quality and acceptability scores of cakes decreased, as expected. Endoxylanase treatment of brans delayed cake staling, by slowing down the rate of crumb moisture loss and amylopectin retrogradation, which induced slower crumb firming and deterioration of the sensory characteristics in the respective cakes. In particular, cake crumb firmness with endoxylanase treated oat bran was 35 % lower compared to the firmness of the crumb of the respective samples with untreated oat bran during storage, while in the case of the rice bran containing cakes, crumb firmness of the cakes containing endoxylanase treated rice bran was 43 % lower after 1 day of storage and 31 % after 7 days of storage than the respective untreated rice bran containing cakes. A possible explanation of the antistaling action of endoxylanases is that they lead to the hydrolysis of the cell wall polysaccharides that could affect the water balance and may interfere with protein–starch interaction during storage, while the higher soluble fiber content of the endoxylanase treated brans, that is more absorptive than insoluble dietary fiber, is also an important factor to be taken into consideration. The elongation of the storage time is very important for bakery products, as they are generally characterized by short shelf-life and the financial impact of destroying the expired products is big. Finally, it should be mentioned that the level of endoxylanase treatment did not differentiate significantly ($P < 0.05$) the functional properties of the brans, the quality characteristics of the cakes or any of the cake staling attributes.

Due to the fact that the incorporation of dietary fiber from oat (endoxylanase treated bran from the low cost sources and isolated fiber from the conventional sources), induced the greatest improvement on the product quality, response surface methodology (RSM) was used to determine the addition level of the respective fiber sources in the cake formula that results to the cakes with the optimum quality characteristics. The optimal formulation contained 15 % oat fiber and 15 % endoxylanase treated oat bran (flour weight basis) and had the highest specific volume ($3.263 \text{ cm}^3/\text{g}$), the lowest crumb firmness (3.483 N) and the best sensory perception (8.55/9). The developed mathematical models for the measured responses could be successfully used for their prediction during baking.

Finally, cake flour replacement decreased the digestible starch content of the cakes, inducing a decrease also in the expected glycaemic index (eGI) value. Cakes containing oat fiber and barley fiber exhibited the lowest in vitro eGI, compared to cakes containing the other dietary fiber sources and cakes with no added fiber.

Περιεχόμενα

1. Εισαγωγή	1
2. Γλυκά Αρτοσκευάσματα- Κέικ	
2.1 Εισαγωγή	4
2.2 Συστατικά του κέικ και λειτουργίες τους	4
2.2.1 Άλευρο.....	4
2.2.1.1 Άλεση	6
2.2.1.2. Συστατικά αλεύρου ζαχαροπλαστικής	8
2.2.1.3 Χημική επεξεργασία του αλεύρου με χρήση χλωριούχων παραγόντων	15
2.2.2 Λιπαρά.....	16
2.2.3. Γλυκαντικές ύλες-Σακχαρόζη	18
2.2.4. Αυγά.....	20
2.2.5 Γάλα.....	21
2.2.6 Διογκωτικοί παράγοντες	22
2.2.7 Μικρο-συστατικά	26
2.3 Τύποι κέικ	26
2.4 Ανάμιξη συστατικών και σχηματισμός ζύμης	28
2.4.1 Σκοπός/Διαδικασία Ανάμιξης.....	28
2.4.2 Μέθοδοι ανάμιξης.....	30
2.4.2.1 Μέθοδος κρεμοποίησης (ή sugar batter μέθοδος)	30
2.4.2.2 Blending Μέθοδος (ή flour batter)	31
2.4.2.3 Μέθοδος ενός σταδίου	32
2.4.2.4 Μέθοδος γαλακτώματος	33
2.4.2.5 Συνεχής μέθοδος.....	33
2.5 Χαρακτηριστικά ζύμης.....	34
2.5.1 Ρεολογικά χαρακτηριστικά ζύμης	34
2.5.2 Ειδικό βάρος.....	36
2.6 Κλιβανισμός.....	36
2.6.1 Παράμετροι ελέγχου κλιβανισμού.....	38
2.6.2. Κλίβανοι.....	39
2.7 Παλαίωση (Μπαγιάτεμα) κατά την αποθήκευση.....	40
2.8 Οργανοληπτικά Χαρακτηριστικά κέικ	42
2.8.1 Εξωτερικά χαρακτηριστικά (Εμφάνιση)	43

2.8.1.1. Φρέσκο προϊόν	43
2.8.1.2 Παλαιωμένο προϊόν.....	44
2.8.2 Εσωτερικά χαρακτηριστικά (τομή του προϊόντος).....	44
2.8.2.1 Φρέσκο προϊόν	44
2.8.2.2 Παλαιωμένο προϊόν.....	45
2.8.3 Χαρακτηριστικά αντιληπτά στη στοματική κοιλότητα.....	45
2.8.3.1 Φρέσκο προϊόν	45
2.8.3.2 Παλαιωμένο προϊόν.....	46

3. Διαιτητικές Ίνες

3.1 Εισαγωγή	47
3.2 Ορισμός των διαιτητικών ινών.....	49
3.3 Χημική σύσταση διαιτητικών ινών.....	55
3.3.1 Μονομερή που απαρτίζουν τα υδατανθρακικά πολυμερή	56
3.3.2 Πολυσακχαρίτες	57
3.3.3 Ολιγοσακχαρίτες	69
3.3.4. Λιγνίνη	69
3.4 Πηγές και προϊόντα διαιτητικών ινών.....	69
3.4.1 Συμπυκνώματα διαιτητικών ινών από σιτηρά.....	70
3.4.1.1 Πίτυρο σίτου	72
3.4.1.2 Πίτυρο βρώμης	75
3.4.1.3 Πίτυρο ρυζιού	78
3.4.1.4 Πίτυρο κριθαριού.....	80
3.4.1.5 Πίτυρο καλαμποκιού	83
3.4.1.6 Πίτυρο σίκαλης	84
3.4.1.7 Λοιπά σιτηρά και ψευδοσιτηρά	85
3.4.2 Συμπυκνώματα διαιτητικών ινών από άλλες πηγές	87
3.4.2.1 Όσπρια	87
3.4.2.2 Φρούτα και λαχανικά	88
3.4.2.3 Ζαχαρότευτλα	90
3.4.3 Ανθεκτικό άμυλο	91
3.4.3.1 Τύποι ανθεκτικού αμύλου	92
3.4.3.2 Πηγές και προϊόντα ανθεκτικού αμύλου.....	95
3.4.4 Εκχυλίσματα φυτών (mucilages).....	96
3.4.5 Εκκρίματα φυτών	99
3.4.6 Εκχυλίσματα από φύκη	100

3.4.7 Κόμμεα από σπόρους.....	101
3.4.8 Τροποποιημένοι φυσικοί πολυσακχαρίτες.....	102
3.4.9 Κόμμεα παραγόμενα από μικροοργανισμούς.....	104
3.4.10 Συνθετικά κόμμεα	105
3.5 Λειτουργικές ιδιότητες διαιτητικών ινών	106
3.5.1 Διαλυτότητα	107
3.5.2 Ιδιότητες ενυδάτωσης.....	108
3.5.3 Αύξηση του ιζώδους.....	110
3.5.4 Ικανότητα δέσμευσης λιπαρών.....	111
3.5.5 Κρυσταλλοπροστατευτική δράση.....	112
3.6 Επεξεργασία διαιτητικών ινών και επίδραση στις ιδιότητές τους	113
3.6.1 Επεξεργασία διαιτητικών ινών.....	113
3.6.1.1 Άλεση (Grinding)	113
3.6.1.2 Θερμική επεξεργασία	115
3.6.1.3 Θερμοφυσική επεξεργασία	116
3.6.1.4 Χημική επεξεργασία	116
3.6.1.5 Ενζυμική επεξεργασία	117
3.6.2 Επεξεργασία τροφίμων που περιέχουν διαιτητικές ίνες.....	1188
3.6.2.1 Θερμική επεξεργασία	119
3.6.2.2 Θερμομηχανική επεξεργασία.....	120
3.6.2.3 Κατάψυξη.....	121
3.6.2.4 Ζύμωση	121
3.6.2.5 Ελεγχόμενη βλάστηση	121
3.7 Φυσιολογικές επιδράσεις από την κατανάλωση διαιτητικών ινών	122
3.7.1 Λειτουργικές ιδιότητες διαιτητικών ινών και φυσιολογικές επιδράσεις	122
3.7.2 Καλή λειτουργία (εκκένωση) εντέρου.....	124
3.7.2.1 Καρκίνος του παχέος εντέρου	125
3.7.3 Μετρίαση χοληστερόλης - Μεταβολισμός λιπιδίων.....	126
3.7.4 Μετρίαση επιπέδων γλυκόζης στο αίμα-Μεταβολισμός υδατανθράκων.....	128
3.7.5 Λοιπές φυσιολογικές επιδράσεις.....	129
3.7.5.1 Δράση κατά καρκίνων που σχετίζονται με ορμόνες.....	129
3.7.5.2 Έλεγχος σωματικού βάρους.....	131
3.7.5.3 Λοιπές δράσεις και δυσμενείς επιπτώσεις.....	131
3.8 Μέθοδοι προσδιορισμού διαιτητικών ινών.....	131
3.9 Επισήμανση τροφίμων που περιέχουν διαιτητικές ίνες και ισχυρισμοί υγείας που σχετίζονται με την κατανάλωση διαιτητικών ινών	137
3.10 Ένζυμα και διαιτητικές ίνες.....	140
3.10.1 Ενδογενή ένζυμα σιτηρών.....	141

3.10.2 Ενζυμική τροποποίηση του κλάσματος των διαιτητικών ινών	142
3.10.2.1 Ενδοξυλανάσες (EC 3.2.1.8).....	143
3.10.2.2 Επίδραση των ενδοξυλανασών στις αραβινοξυλάνες.....	145
3.10.2.3 Εφαρμογές των ενδοξυλανασών στη βιομηχανία.....	147

4. Εμπλουτισμός αρτοσκευασμάτων με διαιτητικές ίνες

4. 1. Εισαγωγή	148
4.2 Ενσωμάτωση διαιτητικών ινών σε αρτοσκευάσματα.....	148
4.2.1 Άρτος	148
4.2.2 Κέικ	158
4.2.2.1 Μελέτες υποκατάστασης αλεύρου	158
4.2.2.2 Υποκατάσταση λιπαρού ή/και ζάχαρης.....	177
4.3. Εφαρμογή ενζύμων (ενδοξυλανασών) σε αρτοσκευάσματα	177

5. Πειραματικό Μέρος

5.1 Σκοπός	188
5.2 Υλικά	190
5.2.1 Υλικά για την παρασκευή κέικ	190
5.2.2 Υλικά για την παρασκευή άρτου ελευθέρου γλουτένης	191
5.3 Πειραματική Διαδικασία	192
5.3.1 Παρασκευή Κέικ	192
5.3.2 Παρασκευή άρτου ελευθέρου γλουτένης	194
5.3.3 Ενζυμική επεξεργασία πιτύρων βρώμης και ρυζιού.....	195
5.4 Μέθοδοι – Μετρήσεις – Αναλύσεις	196
5.4.1 Προσδιορισμός διαιτητικών ινών	196
5.4.1.1 Ολικές διαιτητικές ίνες (TDF).....	197
5.4.1.2 Αδιάλυτες διαιτητικές ίνες (IDF)	197
5.4.1.3 Διαλυτές διαιτητικές ίνες (SDF)	198
5.4.2 Προσδιορισμός λειτουργικών ιδιοτήτων.....	198
5.4.2.1 Ικανότητα συγκράτησης νερού (WHC)	198
5.4.2.2 Ικανότητα δέσμησης νερού (WBC)	198
5.4.2.3 Ικανότητα δέσμησης λιπαρού (FBC)	199
5.4.2.4 Ικανότητα διόγκωσης (SC)	199
5.4.3 Προσδιορισμός απορρόφησης νερού μίγματος αλεύρου/ινών, αλεύρου/πιτύρων	199
5.4.4 Εξέταση μικροδομής με ηλεκτρονικό μικροσκόπιο σάρωσης (SEM)	200

5.4.6 Προσδιορισμός μοριακού βάρους αραβινοξυλάνων	200
5.4.7 Μέτρηση υγρασίας	200
5.4.8 Μέτρηση ενεργότητας νερού.....	200
5.4.9 Μέτρηση χρώματος.....	201
5.4.10 Προσδιορισμός ρεολογικών χαρακτηριστικών.....	202
5.4.11 Προσδιορισμός θερμοφυσικών χαρακτηριστικών	202
5.4.11.1 Ζελατινοποίηση αμύλου	203
5.4.11.2 Αναδιαμόρφωση αμύλου	203
5.4.12 Μέτρηση ειδικού βάρους ζύμης	203
5.4.13 Μέτρηση ειδικού όγκου.....	204
5.4.14 Μέτρηση πορώδους.....	204
5.4.15 Μέτρηση χαρακτηριστικών υφής	205
5.4.16 Προσδιορισμός αναμενόμενου γλυκαιμικού δείκτη	206
5.4.17 Εκτίμηση οργανοληπτικών χαρακτηριστικών.....	207
5.5 Σχεδιασμός πειραμάτων	208
5.6 Στατιστική Επεξεργασία	211

6. Αποτελέσματα- Συζήτηση

6.1 1 ^η Σειρά Πειραμάτων: Προσδιορισμός Χημικής σύστασης και λειτουργικών ιδιοτήτων των διαιτητικών ινών	212
6.1.1 Χημική σύσταση διαιτητικών ινών	213
6.1.2 Λειτουργικές ιδιότητες διαιτητικών ινών.....	214
6.1.3 Κατανομή μεγέθους σωματιδίων διαιτητικών ινών	215
6.1.4 Συμπεράσματα 1 ^{ης} σειράς πειραμάτων	216
6.2 2 ^η Σειρά Πειραμάτων: Μελέτη υποκατάστασης αλεύρου σίτου με πηγές διαιτητικών ινών σε κέικ.....	217
6.2.1 Ρεολογικά χαρακτηριστικά ζύμης κέικ.....	219
6.2.2 Ποιοτικά Χαρακτηριστικά Κέικ	221
6.2.3 Οργανοληπτική αξιολόγηση κέικ	227
6.2.4 Μελέτη παλαίωσης	230
6.2.5 Συμπεράσματα 2 ^{ης} σειράς πειραμάτων	238
6.3 3 ^η Σειρά Πειραμάτων: Μελέτη προσθήκης διαιτητικών ινών σε άρτο ελεύθερο γλουτένης.....	239
6.3.1 Ρεολογικά χαρακτηριστικά ζυμαριού	240
6.3.2 Θερμικά χαρακτηριστικά ζυμαριού.....	242
6.3.3 Ποιοτικά χαρακτηριστικά άρτου ελεύθερου γλουτένης.....	246

6.3.4	Βελτιστοποίηση άρτων εμπλουτισμένων με διαιτητικές ίνες καλαμποκιού και μελέτη αποθήκευσής τους.....	253
6.3.5	Συμπεράσματα 3 ^{ης} σειράς πειραμάτων	256
6.4	4 ^η Σειρά Πειραμάτων: Μελέτης ενζυμικής επεξεργασίας πιτύρων.....	258
6.4.1	Επίδραση ενζυμικής επεξεργασίας στο χρώμα των πιτύρων	258
6.4.2	Επίδραση ενζυμικής επεξεργασίας στις ολικές, διαλυτές και αδιάλυτες διαιτητικές ίνες των πιτύρων	260
6.4.3	Επίδραση ενζυμικής επεξεργασίας στις λειτουργικές ιδιότητες των πιτύρων	262
6.4.4	Επίδραση ενζυμικής επεξεργασίας στη μικροδομή των πιτύρων	266
6.4.5	Επίδραση ενζυμικής επεξεργασίας στην κατανομή μοριακού βάρους των υδατικά εκχυλίσμων αραβινοξυλανών (WE-AXs).....	269
6.4.6	Συμπεράσματα 4 ^{ης} σειράς πειραμάτων	271
6.5	5 ^η Σειρά Πειραμάτων: Μελέτη υποκατάστασης αλεύρου σίτου με ενζυμικά επεξεργασμένα πίτυρα σε κέικ.....	272
6.5.1	Ρεολογικά χαρακτηριστικά και ειδικό βάρος ζύμης	273
6.5.2	Θερμικά χαρακτηριστικά ζύμης	275
6.5.3	Ποιοτικά χαρακτηριστικά κέικ.....	278
6.5.4	Οργανοληπτικά χαρακτηριστικά κέικ.....	283
6.5.5	Πρόβλεψη των οργανοληπτικών χαρακτηριστικών.....	288
6.5.6	Συμπεράσματα 5 ^{ης} σειράς πειραμάτων	291
6.6	6 ^η Σειρά Πειραμάτων: Μελέτη διατηρησιμότητας των εμπλουτισμένων με ενζυμικά επεξεργασμένα πίτυρα κέικ.....	292
6.6.1	Φυσικοχημικά χαρακτηριστικά	293
6.6.2	Αναδιαμόρφωση αμύλου	297
6.6.3	Μοντέλα κινητικής παλαίωσης	303
6.6.4	Οργανοληπτικά Χαρακτηριστικά.....	306
6.6.5	Συμπεράσματα 6 ^{ης} σειράς πειραμάτων	311
6.7	7 ^η Σειρά Πειραμάτων: Μελέτη βελτιστοποίησης των ποιοτικών χαρακτηριστικών κέικ εμπλουτισμένων με διάφορες πηγές διαιτητικών ινών με χρήση της μεθοδολογίας επιφανειών απόκρισης.....	312
6.7.1	Μελέτη βελτιστοποίησης	313
6.7.2	Χαρακτηριστικά και μελέτη αποθήκευσης βέλτιστου προϊόντος.....	319
6.7.3	Συμπεράσματα 7 ^{ης} σειράς πειραμάτων	325
6.8	8 ^η Σειρά Πειραμάτων: Μελέτη της αφομοιωσιμότητας του αμύλου και του αναμενόμενου γλυκαιμικού δείκτη (eGI) των εμπλουτισμένων με διαιτητικές ίνες και πίτυρα (επεξεργασμένα και μη κέικ).....	326
6.8.1	Αφομοιωσιμότητα αμύλου	327

6.8.2 Αναμενόμενος γλυκαιμικός δείκτης.....	328
6.8.3 Συμπεράσματα 8 ^{ης} σειράς πειραμάτων	329
7.Συμπεράσματα-Προτάσεις.....	330
8. Βιβλιογραφία.....	333
9. Παράρτημα	395

Ευρετήριο Πινάκων

Κεφάλαιο 2		
Πίνακας 2.1.	Τα κυριότερα ποιοτικά χαρακτηριστικά των κέικ	43
Κεφάλαιο 3		
Πίνακας 3.1.	Δομικές μονάδες διαιτητικών ινών	55
Πίνακας 3.2.	Μέση σύσταση (%) των πιτύρων βρώμης, ρυζιού, σίτου, καλαμποκιού και κριθαριού	71
Πίνακας 3.3.	Μέση σύσταση διαιτητικών ινών (%) σε 14 ποικιλίες κριθαριού με κέλυφος και 14 χωρίς κέλυφος	80
Πίνακας 3.4.	Τύποι ανθεκτικού αμύλου	92
Πίνακας 3.5.	Φυσιολογικές επιδράσεις αδιάλυτων και διαλυτών διαιτητικών ινών	124
Πίνακας 3.6.	Επίσημες μέθοδοι προσδιορισμού διαιτητικών ινών	134
Κεφάλαιο 4		
Πίνακας 4.1.	Βιβλιογραφική ανασκόπηση εργασιών που αφορούν την υποκατάσταση (ή προσθήκη) αλεύρου με πηγές/προϊόντα διαιτητικών ινών από σιτηρά	150
Πίνακας 4.2.	Βιβλιογραφική ανασκόπηση εργασιών που αφορούν την προσθήκη απομονωμένων από τα σιτηρά ενώσεων που ανήκουν στις διαιτητικές ίνες	152
Πίνακας 4.3.	Βιβλιογραφική ανασκόπηση εργασιών που αφορούν την υποκατάσταση (ή προσθήκη) του αλεύρου με πηγές/προϊόντα διαιτητικών ινών εκτός των σιτηρών	153
Πίνακας 4.4.	Βιβλιογραφική ανασκόπηση εργασιών που αφορούν την υποκατάσταση (ή προσθήκη) του αλεύρου με υπερσυμπυκνώματα διαιτητικών ινών	153
Πίνακας 4.5.	Βιβλιογραφική ανασκόπηση εργασιών που αφορούν την υποκατάσταση (ή προσθήκη) του αλεύρου με μίγματα πηγών ινών	155
Πίνακας 4.6.	Βιβλιογραφική ανασκόπηση εργασιών που αφορούν την υποκατάσταση αλεύρου σίτου με άλευρα πλούσια σε διαιτητικές ίνες	156
Πίνακας 4.7.	Βιβλιογραφική ανασκόπηση εργασιών που αφορούν την ενσωμάτωση πηγών/προϊόντων διαιτητικών ινών σε κέικ μέσω της υποκατάστασης αλεύρου ή προσθήκης	165
Πίνακας 4.8.	Βιβλιογραφική ανασκόπηση εργασιών που αφορούν στην εφαρμογή ξυλανασών ή μελέτη δράσης ενδογενών ξυλανασών σε άρτο (από λευκό άλευρο σίτου) ή λευκό άλευρο σίτου	181
Πίνακας 4.9.	Βιβλιογραφική ανασκόπηση εργασιών που αφορούν στην εφαρμογή ξυλανασών σε απομονωμένες αραβινοξυλάνες από ενδοσπέρμιο και πίτυρο σίτου	183
Πίνακας 4.10.	Βιβλιογραφική ανασκόπηση εργασιών που αφορούν στην εφαρμογή ξυλανασών σε άρτο με υψηλή περιεκτικότητα διαιτητικών ινών	184
Πίνακας 4.11	Βιβλιογραφική ανασκόπηση εργασιών που αφορούν στην εφαρμογή ξυλανασών σε πηγές/προϊόντα διαιτητικών ινών	186

Κεφάλαιο 5

Πίνακας 5.1.	Χαρακτηριστικά των διαιτητικών ινών	190
Πίνακας 5.2.	Χαρακτηριστικά των πιτύρων σιτηρών	190
Πίνακας 5.3.	Βασική συνταγή παρασκευής κέικ βασισμένη στο βάρος του αλεύρου	192
Πίνακας 5.4.	Βασική συνταγή παρασκευής των ελεύθερων γλουτένης αρτοσκευασμάτων	193
Πίνακας 5.5.	Σειρές πειραμάτων	209

Ευρετήριο Σχημάτων

Κεφάλαιο 2		
Σχήμα 2.1.	Μοριακός τύπος μορίων αμυλόζης και αμυλοπηκτικής	9
Σχήμα 2.2.	Σχηματική παράσταση των αλλαγών που πραγματοποιούνται σε μίγμα νερού-αμύλου κατά τη διάρκεια της θέρμανσης, ψύξης και αποθήκευσης	11
Σχήμα 2.3.	Κίνηση στρωμάτων ρευστού με την επιβολή δύναμης	34
Σχήμα 2.4.	Μεταβολή του ιξώδους των νευτωνικών και διαφόρων τύπων μη νευτωνικών ρευστών	34
Κεφάλαιο 3		
Σχήμα 3.1.	Μονομερή που συγκροτούν τα υδατανθρακικά πολυμερή των διαιτητικών ινών	57
Σχήμα 3.2.	α και β γλυκοζιτικοί δεσμοί μεταξύ 2 εξοζών	57
Σχήμα 3.3.	Δομή κυτταρίνης	58
Σχήμα 3.4.	Δομή ξυλογλυκάνης	59
Σχήμα 3.5.	Δομή των κύριων ετεροξυλανών των σιτηρών	59
Σχήμα 3.6.	Δομή γλυκομαννάνης	60
Σχήμα 3.7.	Δομή γαλακτανών	60
Σχήμα 3.8.	Δομή γαλακτομαννάνης	61
Σχήμα 3.9.	Δομή β-γλυκάνης (μικτής σύνδεσης)	62
Σχήμα 3.10.	Δομή καλλόζης	63
Σχήμα 3.11.	Δομή Ομογαλακτουρονάνης (HG)	63
Σχήμα 3.12.	Δομή ξυλογαλακτουρονάνης (XylG)	64
Σχήμα 3.13.	Δομή ραμνογαλακτουρονάνης τύπου II (RG-II)	64
Σχήμα 3.14.	Δομή ραμνογαλακτουρονάνης τυπου I (RG-I)	65
Σχήμα 3.15.	Δομή αραβινογαλακτάνης τύπου II	67
Σχήμα 3.16.	Δομή Ινουλίνης (n,m ≥10) και φρουκτο-ολιγοσακχαριτών (n,m=2-8)	67
Σχήμα 3.17.	Δομή αλγινικών	68
Σχήμα 3.18.	Δομή γαλακτο-ολιγοσακχαριτών	68
Σχήμα 3.19.	Δομή του σπόρου του σίτου	73
Σχήμα 3.20.	Η δομή του καρπού της βρώμης	75
Σχήμα 3.21.	Η δομή του καρπού του ρυζιού	78
Σχήμα 3.22.	Δομή του καρπού του κριθαριού	81
Σχήμα 3.23.	Δομή του σπόρου του καλαμποκιού	84
Σχήμα 3.24.	Δομή του σπόρου της σίκαλης	85

Σχήμα 3.25.	Συστατικά διαιτητικών ινών μετρήσιμων και μη μετρήσιμων με τις επίσημες μεθόδους	136
Σχήμα 3.26.	Αποδόμηση αραβινοξυλάνης σιτηρών με ενδοξυλανάσες της οικογένειας 10 (EXI) και 11 (EXIII) του <i>Aspergillus awamori</i>	144
Σχήμα 3.27.	Απεικόνιση των σημείων δράσης των κυριότερων ξυλανολυτικών ενζύμων σε μία υποθετική αλυσίδα ξυλάνης με τους πιθανούς της υποκαταστάτες	146
Κεφάλαιο 5		
Σχήμα 5.1	Διάγραμμα ροής πειραματικής διαδικασίας παραγωγής κέικ	192
Σχήμα 5.2	Διάγραμμα ροής πειραματικής διαδικασίας παραγωγής άρτου ελεύθερου γλουτένης	194
Σχήμα 5.3	Διάγραμμα ροής ενζυμικής επεξεργασίας πιτύρων	195
Σχήμα 5.4	Ανάλυση χρωματικών παραμέτρων συστήματος CIELAB	201
Σχήμα 5.5	Τυπικό διάγραμμα ροής θερμότητας – θερμοκρασίας που προκύπτει από διαφορικό θερμιδόμετρο σάρωσης	202
Σχήμα 5.6	Διάγραμμα δύναμης-χρόνου αναλυτή υφής	205

Συντομογραφίες

C	Τυφλό δείγμα (αρτοσκεύασμα χωρίς την προσθήκη πηγής ινών)
DF	Διαιτητικές Ίνες
OF/O	Διαιτητικές Ίνες Βρώμης
WF/W	Διαιτητικές Ίνες Σίτου
BF/B	Διαιτητικές Ίνες Κριθαριού
MF/M	Διαιτητικές Ίνες Καλαμποκιού
CB	Πίτυρα Σιτηρών
WB	Πίτυρα Σίτου
OB/ OB0	Πίτυρα Βρώμης
OB1 /EX OB	Επεξεργασμένα με 70 ppm Ενδοξυλανάση Πίτυρα Βρώμης
OB2	Επεξεργασμένα με 700 ppm Ενδοξυλανάση Πίτυρα Βρώμης
RB/RB0	Πίτυρα Ρυζιού
RB1	Επεξεργασμένα με 70 ppm Ενδοξυλανάση Πίτυρα Ρυζιού
RB2	Επεξεργασμένα με 700 ppm Ενδοξυλανάση Πίτυρα Ρυζιού

1. Εισαγωγή

Οι διαιτητικές ίνες έχουν διαδραματίσει ιστορικά σημαντικό ρόλο στην ανθρώπινη διατροφή. Η πρώτη αναφορά στα οφέλη από την κατανάλωση πλούσιων σε διαιτητικές ίνες τροφίμων είχε γίνει από τον Ιπποκράτη, ο οποίος αναγνώρισε την καθαρτική δράση που επιφέρει η κατανάλωση αλεύρου σίτου ολικής άλεσης. Ειδικότερα όμως, ο όρος «διαιτητικές ίνες» χρησιμοποιήθηκε για πρώτη φορά το 1953 από τον Hispley, για να περιγράψει τα συστατικά των φυτικών κυτταρικών τοιχωμάτων, τα οποία, όπως υποστήριξε, παρέχουν προστασία από την τοξιναιμία της κύησης. Ύστερα από έρευνα αρκετών χρόνων φτάνουμε στη σημερινή εποχή, όπου οι διαιτητικές ίνες αποτελούν σημαντικά συστατικά της ανθρώπινης διατροφής με πολλές ευεργετικές επιδράσεις στην υγεία (καλή λειτουργία εντέρου, μείωση χοληστερόλης και διαβήτη κλπ.). Λόγω όμως της χαμηλής κατανάλωσης διαιτητικών ινών στις ανεπτυγμένες χώρες (κατά μέσο όρο κάτω από το συνιστώμενο όριο λήψης 23-25 g ινών/ημέρα), προέκυψε η ανάγκη εμπλουτισμού των τροφίμων με πλούσια σε διαιτητικές ίνες συστατικά. Ιδανικά τρόφιμα/οχήματα προς εμπλουτισμό είναι αυτά που διαθέτουν ευχάριστη γεύση και έχουν ευρεία κατανάλωση.

Τα αρτοσκευάσματα αποτελούν σημαντικό μέρος του ανθρώπινου διαιτολογίου, αφού είναι πλούσια σε θρεπτικά συστατικά (υδατάνθρακες, μέταλλα, βιταμίνες κλπ.) και έχουν ιδιαίτερα ευχάριστα οργανοληπτικά χαρακτηριστικά. Τα προϊόντα αυτά ποικίλλουν κυμαινόμενα από απλά προϊόντα με λίγα συστατικά, μέχρι πολύπλοκα προϊόντα με πολυάριθμα συστατικά, όπως τα κέικ. Τα κέικ είναι από τα πιο διαδεδομένα και ευρέως καταναλισκόμενα αρτοσκευάσματα και ανήκουν στα γλυκά αρτοσκευάσματα ή αρτοσκευάσματα ζαχαροπλαστικής. Είναι σύνθετα προϊόντα που χαρακτηρίζονται από γλυκιά γεύση, τρυφερή υφή και ευχάριστο άρωμα, ενώ λόγω ακριβώς της ποικιλίας των συστατικών που εμπλέκονται στην παραγωγή τους μπορεί να προκύψει και μεγάλο εύρος προϊόντων. Λόγω των παραπάνω χαρακτηριστικών τους και της οργανοληπτικής τους συμβατότητας με τις ίνες, τα κέικ μπορούν να χρησιμοποιηθούν ως φορείς των διαιτητικών ινών. Οι προς ενσωμάτωση διαιτητικές ίνες μπορεί να είναι εξευγενισμένες (υπερσυμπυκνώματα) ή ακατέργαστα παραπροϊόντα φυτικής προέλευσης (τα οποία περιέχουν υψηλό ποσοστό διαιτητικών ινών). Η προσθήκη εξευγενισμένων προϊόντων διαιτητικών ινών συνήθως δεν επηρεάζει αρνητικά τα χαρακτηριστικά του προϊόντος, αυξάνει όμως το κόστος παραγωγής του. Αντιθέτως, η ενσωμάτωση χαμηλού κόστους παραπροϊόντων (όπως τα πίτυρα σιτηρών) δεν επηρεάζει το κόστος παραγωγής του προϊόντος, όμως πολλές φορές η προσθήκη τους στο απαιτούμενο για τις αναμενόμενες

ευεργετικές φυσιολογικές δράσεις στον οργανισμό επίπεδο οδηγεί στην παραγωγή προϊόντων με υποδεέστερα ποιοτικά χαρακτηριστικά. Προκειμένου να εκμεταλλευτούν οι χαμηλού κόστους πηγές διαιτητικών ινών και να βελτιωθεί η ποιότητα των εμπλουτισμένων με τις ίνες αυτές αρτοσκευασμάτων, έχουν εξεταστεί διάφορες τεχνικές αξιοποίησης. Ιδιαίτερα πλεονεκτήματα παρουσιάζει η ενζυμική επεξεργασία των πηγών διαιτητικών ινών, αφού τα ένζυμα είναι ιδιαιτέρως εύχρηστα εργαλεία, που έχουν συγκεκριμένη δράση, και επιπροσθέτως είναι στοιχεία που δεν επιβαρύνουν την «ετικέτα» του προϊόντος (clean label compounds). Τα ένζυμα που δρουν στις ίνες (ξυλανάσες και ειδικότερα ενδοξυλανάσες), τροποποιούν τις ιδιότητες και τη σύσταση των πηγών των διαιτητικών ινών, επηρεάζοντας και τα χαρακτηριστικά του τελικού προϊόντος.

Ο εμπλουτισμός των τροφίμων γίνεται, κυρίως, με σκοπό να ενισχύσει το καταναλισκόμενο ποσοστό διαιτητικών ινών, έτσι ώστε να επιτευχθεί η απαραίτητη ημερήσια δόση διαιτητικών ινών που προβλέπεται για όλες τις ομάδες του πληθυσμού. Εκτός αυτού, όμως, τα εμπλουτισμένα με ίνες τρόφιμα μπορεί να απευθύνονται σε κάποιες ομάδες πληθυσμού με ακόμα χαμηλότερα επίπεδα λήψης, λόγω ειδικών παθήσεων που τους απαγορεύουν την κατανάλωση κάποιων τροφίμων. Μία από τις πιο συνηθισμένες τροφικές υπερευαίσθησιες (αλλεργίες) είναι αυτή που αφορά την κατανάλωση τροφίμων που περιέχουν γλουτένη από άτομα με σχετική γενετική προδιάθεση, από την οποία πάσχει σημαντικό μέρος του πληθυσμού της γης (περίπου 1%). Θεραπεία αποτελεί η “αυστηρή διά βίου δίαιτα χωρίς γλουτένη” που έχει ως συνέπεια τον αποκλεισμό διάφορων τροφών όπως ψωμί, δημητριακά, πίτσες, μακαρόνια και ο,τι άλλο παρασκευάζεται από αλεύρο σίτου, σίκαλης ή κριθαριού. Με τον αποκλεισμό όμως των παραπάνω τροφών απομακρύνονται ταυτόχρονα και βασικά συστατικά της καθημερινής διατροφής, συμπεριλαμβανομένων των διαιτητικών ινών. Επομένως ο εμπλουτισμός των αρτοσκευασμάτων ελεύθερων γλουτένης, και ιδιαιτέρως του άρτου που αποτελεί το πιο βασικό αρτοσκεύασμα, με διαιτητικές ίνες είναι κρίσιμος για τους πάσχοντες από κοιλιοκάκη ασθενείς.

Με βάση τα παραπάνω, η παρούσα διατριβή θα εστιάσει στην ενσωμάτωση διάφορων εξευγενισμένων πηγών διαιτητικών ινών (απομονωμένες διαιτητικές ίνες σίτου, βρώμης, κριθαριού και καλαμποκιού) και χαμηλού κόστους πηγών διαιτητικών ινών που αποτελούν παραπροϊόντα αγροτικών βιομηχανιών (πίτυρα σίτου, βρώμης, ρυζιού) σε αρτοσκευάσματα (κέικ, άρτο ελεύθερο γλουτένης). Ειδικότερα, οι απομονωμένες διαιτητικές ίνες θα προστεθούν σε άρτο ελεύθερο γλουτένης (σε ποσοστό 3-9%), ενώ όλες οι πηγές διαιτητικών ινών θα χρησιμοποιηθούν για υποκατάσταση του αλεύρου σίτου σε κέικ (10-30%). Θα διερευνηθεί η επίδραση του τύπου των διαιτητικών ινών και του ποσοστού

ενσωμάτωσής τους στα ρεολογικά και θερμικά χαρακτηριστικά της ζύμης/ζυμαριού, όπως και στα ποιοτικά και οργανοληπτικά χαρακτηριστικά των αρτοσκευασμάτων, καθώς και στη διατηρησιμότητα αυτών. Επίσης, θα εξεταστεί η ενζυμική επεξεργασία των χαμηλού κόστους πηγών διαιτητικών ινών, η οποία βελτιώνει την ενσωμάτωσή τους στο κέικ έτσι ώστε να προκύψει ένα ποιοτικά ανώτερο προϊόν.

2. Γλυκά Αρτοσκευάσματα- Κέικ

2.1 Εισαγωγή

Στα αρτοσκευάσματα (bakery products) ανήκουν προϊόντα όπως ψωμί, κέικ, μπισκότα, κράκερ και τάρτες, τα οποία περιέχουν ως βασικό υλικό το αλεύρο και η παραγωγή τους περιλαμβάνει το ψήσιμο (baking). Τα προϊόντα αυτά ποικίλλουν κυμαινόμενα από απλά προϊόντα με λίγα συστατικά, μέχρι προϊόντα με πολυάριθμα συστατικά, όπως τα κέικ. Τα κέικ ανήκουν στα γλυκά αρτοσκευάσματα ή αρτοσκευάσματα ζαχαροπλαστικής και χαρακτηρίζονται για τη γλυκιά γεύση, την τρυφερή υφή και το ευχάριστο άρωμα. Το βασικό συστατικό των κέικ είναι το αλεύρο, ενώ τα αυγά, η ζάχαρη, οι λιπαρές ύλες, τα διογκωτικά μέσα, το νερό και το γάλα συμβάλλουν επίσης στην ανάπτυξη και το σχηματισμό της δομής τους. Στο κέικ μπορεί επιπλέον να προστεθούν και άλλα συστατικά, όπως κακάο και αρωματικές ύλες, προκειμένου να του προσδώσουν χαρακτηριστική γεύση και άρωμα. Η ποιότητα του κέικ εξαρτάται από πολλούς παράγοντες όπως η επιλογή των κατάλληλων συστατικών και η σωστή αναλογία τους στη συνταγή, καθώς και η τήρηση του χρόνου και των συνθηκών ανάμιξης και κλιβανισμού. Στη συνέχεια αναφέρονται τα βασικά συστατικά του κέικ και η λειτουργικότητά τους.

2.2 Συστατικά του κέικ και λειτουργίες τους

2.2.1 Άλευρο

Το αλεύρο αποτελεί το βασικό και κοινό συστατικό όλων των προϊόντων αρτοποιίας, το οποίο διαμορφώνει τη δομή, την υφή, και το άρωμά τους. Το είδος του αλεύρου, η σύνθεση και οι ιδιότητές του επηρεάζουν άμεσα τις ιδιότητες του τελικού προϊόντος. Ο σημαντικότερος καλλιεργούμενος καρπός που χρησιμοποιείται εμπορικά για παραγωγή αλεύρου αρτοποιίας είναι ο σίτος, ακριβώς λόγω των μοναδικών του αρτοποιητικών ιδιοτήτων. Τρεις ποικιλίες σίτου χρησιμοποιούνται εμπορικά: η *Triticum aestivum* (κοινός σίτος), η *Triticum durum* (σκληρός σίτος) και η *Triticum compactum*, με διαφορετικά καθεμία ποιοτικά χαρακτηριστικά. Η ποιότητα του αλεύρου εξαρτάται από την ποιότητα του σίτου, τη μέθοδο άλεσης, την έκταση της εξαγωγής και το βαθμό της χημικής επεξεργασίας (Conforti 2006).

Στις Ηνωμένες Πολιτείες και σε ορισμένα άλλα μέρη, ο κοινός σίτος ταξινομείται ως σκληρός ή μαλακός, με βάση την υφή του καρπού ή την απαιτούμενη δύναμη για τη σύνθλιψή του, η οποία επηρεάζεται τόσο από γενετικούς όσο και περιβαλλοντικούς παράγοντες. Επίσης, ταξινομείται ως ερυθρός ή λευκός (ανάλογα με το χρώμα του πιτύρου του σίτου), και ως ανοιξιάτικος ή χειμερινός σίτος (ανάλογα με την εποχή σποράς και

ανάπτυξης του σίτου- ανοιξιάτικος όταν η σπορά γίνεται την άνοιξη και ο θερισμός τέλη καλοκαιριού και χειμερινός όταν η σπορά γίνεται τέλη καλοκαιριού/αρχές φθινοπώρου και ο θερισμός τέλη του επόμενου καλοκαιριού). Οι παραπάνω τύποι σίτου ευδοκούν σε διαφορετικά μέρη των Ηνωμένων Πολιτειών (Tanheco & Ng 2008). Αντίθετα, στην Ευρώπη, ο κοινός σίτος (*Triticum aestivum*) καλείται μαλακός, ενώ ως σκληρός χαρακτηρίζεται ο *Triticum durum* και χρησιμοποιείται σχεδόν αποκλειστικά για την παραγωγή σιμιγδαλιού για ζυμαρικά (Τσιάρας 1984).

Πολλά προϊόντα αρτοποιίας παρασκευάζονται με χρήση αλεύρων με ειδικά χαρακτηριστικά που εξαρτώνται από την ποικιλία του σίτου, την τοποθεσία στην οποία καλλιεργείται και τις συνθήκες καλλιέργειας του σίτου προέλευσης. Τόσο η ποσότητα όσο και η δύναμη της πρωτεΐνης του αλεύρου είναι σημαντικοί δείκτες της καταλληλότητάς του για διάφορες εφαρμογές. Η αντοχή του αλεύρου εξαρτάται κατά κύριο λόγο, αλλά όχι εξ ολοκλήρου, από το ποσό και τον τύπο της περιεχόμενης πρωτεΐνης στο άλευρο.

Άλευρα από σκληρό σίτο (με βάση την υφή του καρπού) τα οποία διαθέτουν σχετικά υψηλό πρωτεϊνικό περιεχόμενο (>11%), σε συνδυασμό με δυνατές πρωτεΐνες, χρησιμοποιούνται για την παρασκευή αρτοσκευασμάτων που διογκώνονται λόγω μαγιάς, όπως ο άρτος. Άλευρα από μαλακό σίτο (με βάση την υφή του καρπού) έχουν συνήθως χαμηλή περιεκτικότητα σε πρωτεΐνες (8- 10%) και πιο αδύναμες πρωτεΐνες που είναι επιθυμητές σε προϊόντα όπως μπισκότα, κέικ και άλλα προϊόντα ζαχαροπλαστικής (χημικώς διογκούμενα). Αξίζει να σημειωθεί, πάντως, ότι τα άλευρα από μαλακό σίτο χρησιμοποιούνται και για προϊόντα που απαιτούν μεγάλη ποσότητα πρωτεϊνών, όχι απαραίτητα όμως δυνατών πρωτεϊνών, όπως τα κράκερ (Tanheco & Ng 2008).

Στη συνέχεια αναφέρεται η διαδικασία της άλεσης (μέσω της οποίας μετατρέπονται οι σπόροι του σίτου σε άλευρο), τα βασικά συστατικά του αλεύρου ζαχαροπλαστικής (που επηρεάζουν την ποιότητα του κέικ), και η χημική επεξεργασία λεύκανσης του αλεύρου με χρήση ενώσεων χλωρίου (που επηρεάζει τα χαρακτηριστικά του αλεύρου και του κέικ).

2.2.1.1 Άλεση

Οι σπόροι του σίτου μετατρέπονται σε άλευρο μέσω της άλεσης. Ειδικότερα, η άλεση του σίτου έχει ως σκοπό τον καλύτερο δυνατό διαχωρισμό του ενδοσπερμίου από το περίβλημα (πίτυρο) και το φύτρο, την παραλαβή όσο το δυνατόν μεγαλύτερου ποσού ενδοσπερμίου, καθώς και τη σταδιακή κονιοποίηση (λειοτρίβηση) του ενδοσπερμίου προς άλευρα ορισμένης κοκκομετρίας και σύστασης. Η άλεση αποτελείται από πέντε βασικά βήματα: τη θραύση των σπόρων του σίτου, την απομόνωση/καθαρισμό του ενδοσπερμίου,

την ελάττωση μεγέθους των σωματιδίων του ενδοσπερμίου (αλεύρου), την κοσκίνιση και την ταξινόμηση του αλεύρου.

Ύστερα από τον καθαρισμό του σίτου από τις ξένες ύλες και το κοντισιονάρισμα του σπόρου (όπως περιγράφεται αναλυτικά στη μέθοδο 26-10A της AACCI), ο σίτος τροφοδοτείται με συνεχή σταθερή ροή, μέσω του δοχείου (χοάνης) άλεσης, διαδοχικά σε σύστημα κυλίνδρων θραύσης (5-7 ή 10 κυλινδρόμυλοι-κύλινδρα σε σειρά συνδεδεμένοι με αντίστοιχα δονούμενα κόσκινα), προκειμένου να θραυστεί ο σπόρος και να διαχωριστεί το ενδοσπέρμιο από τα υπόλοιπα μέρη. Κάθε κυλινδρόμυλος αποτελείται από ζεύγος οριζόντιων κυλίνδρων που φέρουν αυλακώσεις και οι οποίοι απέχουν συγκεκριμένη απόσταση μεταξύ τους και περιστρέφονται με αντίθετη φορά και διαφορετική ταχύτητα. Η απόσταση μεταξύ των δύο οριζόντιων κυλίνδρων και οι ταχύτητες περιστροφής τους ρυθμίζονται, κατά τη διεργασία της άλεσης, ανάλογα με τον τύπο και την κατάσταση του σίτου. Γενικά, καθώς προχωρά η άλεση (από το πρώτο προς το τελευταίο ζεύγος κυλίνδρων), η απόσταση μεταξύ των κυλίνδρων μειώνεται σταδιακά και οι αυλακώσεις τους γίνονται λιγότερο έντονες, προκειμένου να αποφευχθεί η καταστροφή των κόκκων του αμύλου. Σε αυτό το στάδιο παράγεται και το άλευρο θραύσης το οποίο έχει πολύ μικρό μέγεθος σωματιδίων και συχνά περιέχει και ποσότητα πιτύρου που είναι προσκολλημένο στο ενδοσπέρμιο, το οποίο στη συνέχεια απομακρύνεται πνευματικά. Αξίζει να σημειωθεί ότι ο μαλακός σίτος (με βάση την υφή του καρπού) σπάει πιο εύκολα και παράγει περισσότερο άλευρο στο στάδιο της θραύσης από ότι ο σκληρός σίτος. Έτσι, οι σπόροι του σίτου διέρχονται αρχικά μέσα από το πρώτο ζεύγος κυλίνδρων, όπου πραγματοποιείται θραύση του περιβλήματός τους (σκληρότερο μέρος) και θρυμματισμός αντίστοιχα του ενδοσπερμίου τους (μαλακότερο μέρος). Το «καθαρό» (χωρίς πίτυρο) και θρυμματισμένο ενδοσπέρμιο που ελευθερώνεται από τους κυλίνδρους θραύσης (middlings), απαιτεί περαιτέρω άλεση και συνεπώς οδηγείται στους υπόλοιπους κυλινδρόμυλους (λειοτρίβησης), όπου συμβαίνει σταδιακή ελάττωση του μεγέθους των σωματιδίων του ενδοσπερμίου προς παραγωγή αλεύρου ορισμένης κοκκομετρίας και σύστασης. Οι κυλινδρόμυλοι λειοτρίβησης ακολουθούν τους κυλινδρόμυλους θραύσης και έχουν πιο λείες επιφάνειες (Finney 1994, Fessas & Schiraldi 2000, Conforti 2006).

Τα κλάσματα της άλεσης από κάθε ζεύγος κυλίνδρων μεταφέρονται διαδοχικά πνευματικά από τους κυλίνδρους στα αντίστοιχα (δονούμενα) κόσκινα και διακρίνονται σε χονδροαλεσμένα, αποτελούμενα κυρίως από το περίβλημα και τα σκληρότερα τμήματα του ενδοσπερμίου (περισσότερο πρωτεϊνούχα και λιγότερο αμυλούχα), και σε λεπτά κλάσματα, αποτελούμενα κυρίως από μαλακότερα τμήματα του ενδοσπερμίου (αμυλούχα). Τα

κλάσματα μετά το διαχωρισμό τους κατά μέγεθος, είτε αποτελούν τελικό προϊόν ή επιστρέφουν με τη βαρύτητα στον επόμενο κύλινδρο προς συνέχιση της άλεσης.

Κατά την κοσκίνιση, τα κλάσματα αλεύρου συλλέγονται σε ειδικά σιλό (ταξινόμηση) όπου θα προστεθούν αργότερα και από τους άλλους κυλίνδρους τα αντίστοιχα κλάσματα και θα αποτελέσουν το τελικό προϊόν. Η διαδικασία επαναλαμβάνεται, οδηγώντας τα χονδρά κλάσματα (που δεν διέρχονται από τα κόσκινα) προς περαιτέρω άλεση σε επόμενο ζεύγος κυλίνδρων κλπ., με αποτέλεσμα τα σωματίδια του ενδοσπερμίου να αποκτούν ολοένα και μικρότερο μέγεθος, και να επιτυγχάνεται συλλογή συνεχώς μεγαλύτερης ποσότητας λεπτοαλεσμένου αλεύρου. Συνεπώς η απόδοση σε λευκό άλευρο αυξάνει σταδιακά μετά από κάθε κοσκίνιση, ενώ η παραπάνω διαδικασία συνεχίζεται έως ότου διαχωριστεί το μέγιστο ποσοστό αλεύρου (τουλάχιστον το 72% του σίτου) (Posner & Hibbs 1997, Beldeirok 2000, Lai & Lin 2006).

Έτσι, παράγονται διαφορετικοί τύποι αλεύρων ανάλογα με το βαθμό άλεσης. Ο βαθμός κατεργασίας/άλεσης του καρπού εκφράζει την απόδοση σε αλεσμένο προϊόν και ποικίλλει από 72 % για το λευκό άλευρο, 85-90 % για το σκούρο (wheat-meal flour), σε 100 % για το άλευρο ολικής άλεσης (whole-meal flour). Το λευκό άλευρο (κυρίως T. 70% στην ελληνική αγορά) από μαλακό σίτο (με βάση την υφή του καρπού κατά την Ευρωπαϊκή ταξινόμηση) ή ανάμικτο διακρίνεται σε τέσσερις τύπους: αρτοποιίας (δυνατό, μεσαίο ή μαλακό- με βάση το πρωτεϊνικό περιεχόμενο και το είδος των πρωτεϊνών), ζαχαροπλαστικής, για όλες τις χρήσεις και αυτοδιογκούμενο. Το άλευρο για όλες τις χρήσεις προκύπτει από συνδυασμό αλεύρου σκληρού και μαλακού σίτου και συνήθως είναι ελάχιστα πιο αδύναμο από το άλευρο αρτοποιίας, έτσι ώστε να μπορεί να χρησιμοποιηθεί και για γλυκά. Το αυτοδιογκούμενο άλευρο είναι λευκό άλευρο (συνήθως ζαχαροπλαστικής ή όλων των χρήσεων) στο οποίο έχουν προστεθεί οι παράγοντες διόγκωσης (μαγειρική σόδα και κάποιες φορές αλάτι) (Conforti 2006). Ένας ακόμα τύπος λευκού αλεύρου είναι το 55% ή πολυτελείας, που χρησιμοποιείται τόσο στην αρτοποιία όσο και στην ζαχαροπλαστική σε ειδικές εφαρμογές (π.χ. άρτος πολυτελείας). Τέλος, άλευρα από σκληρό σίτο (κίτρινα άλευρα) κατηγορίας M- ψιλό ή χονδρό, χρησιμοποιούνται επίσης στην αρτοποιία για την παρασκευή προϊόντων όπως χωριάτικων άρτων (Conforti 2006, Lai & Lin 2006).

Η άλεση του σίτου έχει επιπτώσεις στη χημική σύνθεση του αλεύρου, μεταβάλλοντας, ανάλογα με το βαθμό άλεσης, την περιεκτικότητά του σε πρωτεΐνες, αμινοξέα, βιταμίνες και μέταλλα. Σοβαρή μείωση παρατηρείται στα ανόργανα συστατικά, αφού μόνο το 30 % του ψευδαργύρου, χαλκού, σιδήρου και φωσφόρου παραμένει στο άλευρο με βαθμό άλεσης 66 %, ενώ η συγκέντρωση σε ασβέστιο μειώνεται κατά 50 %. Αντίστοιχα και οι

βιταμίνες μειώνονται σε μεγάλο βαθμό, κυρίως η νιασίνη και η θειαμίνη (Pedersen & Eggum 1983).

2.2.1.2. Συστατικά αλεύρου ζαχαροπλαστικής

Τα συστατικά του αλεύρου, εν μέρει, καθορίζουν και τα χαρακτηριστικά του, τα οποία στη συνέχεια καθορίζουν και την τελική χρήση του. Τα πιο σημαντικά συστατικά του αλεύρου, που σχετίζονται με τη λειτουργικότητά του, περιλαμβάνουν τους υδατάνθρακες (άμυλο και μη αμυλούχους πολυσακχαρίτες), τις πρωτεΐνες και τα λιπίδια. Αυτά διαφέρουν, λόγω του διαφορετικού γενότυπου και των διαφορετικών περιβαλλοντολογικών συνθηκών ανάπτυξης των σίτων.

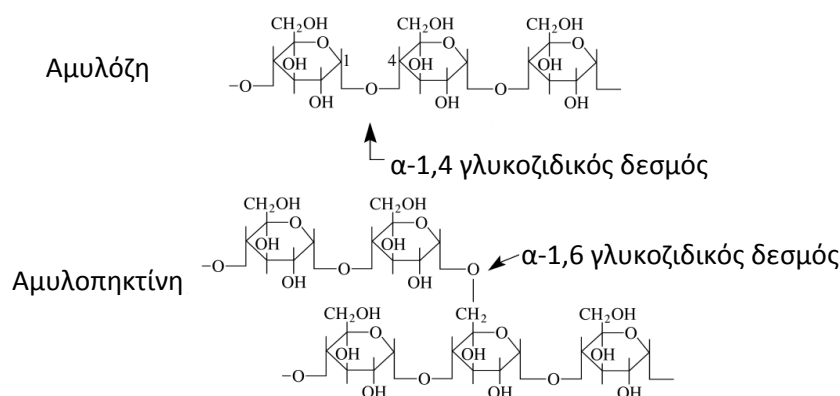
➤ Υδατάνθρακες (άμυλο και μη αμυλούχοι πολυσακχαρίτες)

Το άμυλο αποτελεί τον κύριο αποταμιευτικό πολυσακχαρίτη των φυτών και το σημαντικότερο υδατάνθρακα στην ανθρώπινη διατροφή, παρέχοντας σημαντικά ποσά ενέργειας κατά την κατανάλωσή του. Είναι το βασικό συστατικό του ενδοσπερμίου του σίτου και κατά συνέπεια και του αλεύρου σίτου (~ 70 % επί ξηρού βάρους αλεύρου), και συμμετέχει ουσιαστικά στη διαμόρφωση των χαρακτηριστικών του αλεύρου και των ποιοτικών χαρακτηριστικών των ψημένων προϊόντων.

Το άμυλο είναι πολυμερές της γλυκόζης και βρίσκεται στα διάφορα φυτά υπό μορφή κόκκων, οι οποίοι διαφέρουν σε μέγεθος και σχήμα ανάλογα με την προέλευσή τους. Οι κόκκοι του αμύλου διακρίνονται με βάση το μέγεθος και το σχήμα σε μεγάλους φακοειδείς τύπου Α (περίπου 25 μm στη μεγάλη διάσταση και 10 μm στη μικρή) και μικρότερους σφαιρικούς κόκκους τύπου Β (με διάμετρο περίπου 10 μm). Αποτελούνται από δύο κατηγορίες πολυμερών ουσιών: την αμυλόζη (γραμμικό πολυμερές γλυκόζης με α-1,4 δεσμούς, με βαθμό πολυμερισμού 500-6000 και μοριακό βάρος περίπου 170000) και την αμυλοπηκτίνη (αποτελούμενο από μόρια γλυκόζης συνδεδεμένα γραμμικά με α-1,4 δεσμούς και κατά διακλαδώσεις (σε ποσοστό 5 %) με α-1,6 δεσμούς, βαθμό πολυμερισμού $3 \cdot 10^5$ - $3 \cdot 10^6$ και μοριακό βάρος $100 \cdot 10^6$) (**Σχήμα 2.1**). Στο άλευρο σίτου, η αμυλόζη αποτελεί το 25-28 % περίπου του αμύλου, ενώ η αμυλοπηκτίνη το υπόλοιπο 72-75 % (Karim et al. 2000, Van der Maarel et al. 2002).

Οι υγιείς κόκκοι αμύλου εμφανίζουν ανάκλαση του πολωμένου φωτός και μερική κρυσταλλικότητα (σε βαθμό 20-40 %) που αποδίδεται κυρίως στα δομικά στοιχεία της αμυλοπηκτίνης. Βρίσκονται στενά συνδεδεμένοι μεταξύ τους (πυκνότητα περίπου 1.6 g/L) και έχουν την ικανότητα να απορροφούν 30-50 % του βάρους τους σε νερό και να διογκώνονται κατά περίπου 5 %. Κατά τη διάρκεια της άλεσης ένα μέρος των κόκκων του

αμύλου καταστρέφεται λόγω των δυνάμεων συνάφειας που αναπτύσσονται ανάμεσα σε αυτούς και τους κυλίνδρους άλεσης. Αυτή η «βλάβη» στη δομή των κόκκων έχει σοβαρές επιπτώσεις στις ιδιότητες του αμύλου. Το σπασμένο άμυλο (damaged starch) δεν διαθέτει ικανότητα ανάκλασης του φωτός, παρουσιάζει υψηλότερη απορρόφηση νερού και είναι πιο ευαίσθητο σε ενζυμική υδρόλυση. Τα άλευρα από μαλακό σίτο, γενικά, ενδέχεται να έχουν μικρότερο ποσοστό σπασμένου αμύλου, σε σχέση με τα άλευρα από σκληρό σίτο, λόγω της μαλακότερης υφής του σπόρου και της υψηλότερης απόδοσης σε άλευρο κατά τη θραύση. Στο άλευρο αρτοποιίας χρειάζεται ένα ποσοστό σπασμένου αμύλου, προκειμένου να διευκολυνθεί η ενζυμική υδρόλυση. Αντιθέτως, στα προϊόντα μαλακού αλεύρου, η αυξημένη απορρόφηση νερού που σχετίζεται με αυξημένα επίπεδα σπασμένου αμύλου, μπορεί να αποβεί καταστρεπτική για την ποιότητα του προϊόντος (Goesaert et al. 2005, Tanhehco & Ng 2008).

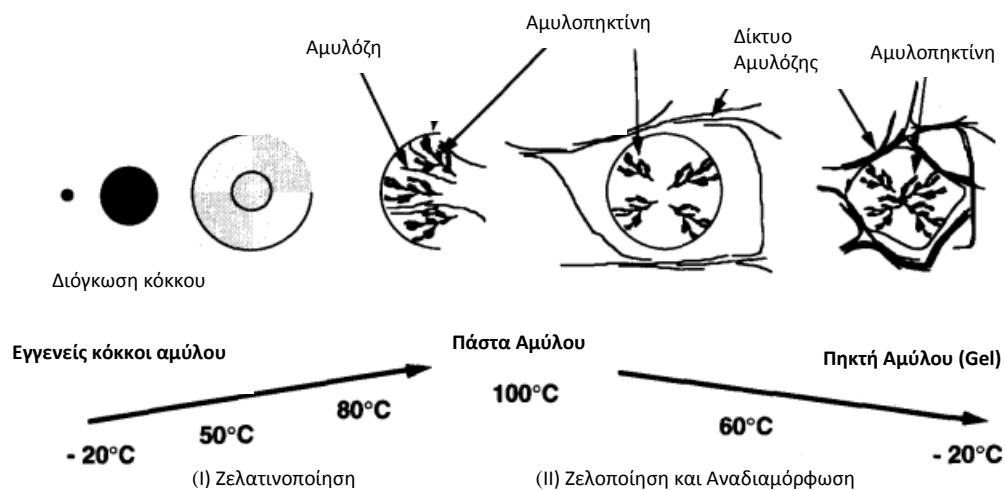


Σχήμα 2.1. Μοριακός τύπος μορίων αμυλόζης και αμυλοπηκτίνης.

Μια από τις σημαντικότερες ιδιότητες του αμύλου, είναι η ικανότητά του να διογκώνεται και να απορροφά νερό, όταν θερμαίνεται σε περίσσεια νερού. Χαρακτηριστικά, σε θερμοκρασία περιβάλλοντος και με περίσσεια νερού, οι κόκκοι του αμύλου διογκώνονται έως ένα βαθμό. Η διαδικασία αυτή, όταν η θερμοκρασία παραμένει κάτω από μία χαρακτηριστική τιμή (θερμοκρασία ζελατινοποίησης), είναι αναστρέψιμη. Κατά την άνοδο της θερμοκρασίας όμως πάνω από το όριο αυτό, το άμυλο υφίσταται μία σειρά μεταβολών που οδηγούν τελικά στην αναντίστροφη καταστροφή της δομής του (ζελατινοποίηση). Η διαδικασία ζελατινοποίησης συνοδεύεται από διόγκωση και διάρρηξη των κόκκων (λόγω αυξημένης απορρόφησης νερού) και περιορισμένη διάλυση του αμύλου (κυρίως διάχυση αμυλόζης εκτός του κόκκου), που αυξάνει το ιξώδες του μίγματος αμύλου-νερού (**Σχήμα 2**). Η θέρμανση του διαλύματος πάνω από τη θερμοκρασία ζελατινοποίησης προκαλεί περαιτέρω διόγκωση των κόκκων του αμύλου και απώλεια της κρυσταλλικότητας, οπότε το μίγμα καθίσταται ιξώδες και ημιδιαφανές (πάστα αμύλου). Η πάστα αμύλου μπορεί να

περιγραφεί ως ένα διφασικό σύστημα που αποτελείται από μια συνεχή φάση διαχυμένης διαλυτοποιημένης αμυλόζης και μια διεσπαρμένη φάση διογκωμένων και άμορφων κόκκων αμύλου. Η ζελατινοποίηση του αμύλου ξεκινά κατά τη θέρμανση του μίγματος, ολοκληρώνεται δε μετά από ψύξη του, σχηματίζοντας ένα πλέγμα με εγκλεισμό νερού (ζελοποίηση). Αν η φάση της αμυλόζης είναι συνεχής, η συσσωμάτωση με τα γραμμικά τμήματα της αμυλοπηκτίνης κατά την ψύξη θα έχει ως αποτέλεσμα το σχηματισμό μιας ισχυρής πηκτής. Η ζελατινοποίηση γίνεται με θέρμανση σε μία περιοχή θερμοκρασίας $\sim 10^{\circ}\text{C}$ και όχι σε συγκεκριμένη θερμοκρασία και η πορεία της εξαρτάται από την παρουσία κρυσταλλικών και άμορφων περιοχών στον κόκκο του αμύλου. Επηρεάζεται από το μοριακό βάρος και το λόγο αμυλόζης/αμυλοπηκτίνης, το μήκος και τις διακλαδώσεις των μορίων της αμυλοπηκτίνης, καθώς και από παράγοντες του μίγματος όπως την παρουσία άλλων ουσιών (σάκχαρα, λιπαρά, επιφανειοενεργές ουσίες κ.α.) και την περιεκτικότητα του μίγματος σε νερό. Η ζελατινοποίηση είναι πολύ σημαντική για την ποιότητα του αλεύρου, αφού καθορίζει τις αλληλεπιδράσεις αμύλου και νερού στα τρόφιμα (Zobel 1984, Bornet 1993, Fessas & Schiraldi 2000, Conde-Petit 2003, Moraru & Kokini 2003, Rao 2003, Richardson et al. 2003, Liu 2005, Eliasson & Gudmundsson 2006).

Όπως αναφέρθηκε και προηγουμένως, κατά την ψύξη της πάστας αμύλου σχηματίζεται σταδιακά μια πηκτή (gel) μέσω δημιουργίας τρισδιάστατου πλέγματος των μορίων αμύλου (ιδιαίτερα της ευθύγραμμης αμυλόζης). Με περαιτέρω ψύξη ή/και κατά την αποθήκευση της πηκτής, οι πολυσακχαρίτες του αμύλου (κυρίως αμυλοπηκτίνη), επανασυνδέονται με δεσμούς υδρογόνου προς μία περισσότερο διατεταγμένη ή κρυσταλλική μορφή (αναδιαμόρφωση αμύλου) (**Σχήμα 2.2**). Το φαινόμενο αυτό επηρεάζεται από πολλούς παράγοντες (π.χ. παρουσία αλάτων, σακχάρων) και θα περιγραφεί αναλυτικά στο υποκεφάλαιο της παλαιώσης (μπαγιάτεμα) του κέικ (Bornet 1993, Fessas & Schiraldi, 1998; Hallberg & Chinachoti, 2002; Karim, et al., 2000; Mohamed & Rayas-Duarte, 2003, Eliasson & Gudmundsson 2006).



Σχήμα 2.2. Σχηματική παράσταση των αλλαγών που πραγματοποιούνται σε μίγμα νερού-αμύλου κατά τη διάρκεια της θέρμανσης, ψύξης και αποθήκευσης (Bornet 1993)

(I) Φαινόμενο ζελατινοποίησης, που συνδέεται με τη διόγκωση των κόκκων, τη διάχυση της αμυλόζης και τη μερική διάσπαση των κόκκων, με συνέπεια το σχηματισμό πάστας αμύλου

(II) Φαινόμενο ζελοποίησης (α) και αναδιαμόρφωσης (β): σχηματισμός δικτύου αμυλόζης (πήξη/αναδιαμόρφωση αμυλόζης) κατά την ψύξη της πάστας αμύλου (α) και σχηματισμός διατεταγμένων ή κρυσταλλικών μορίων αμυλοπηκτίνης (αναδιάταξη αμυλοπηκτίνης) κατά την αποθήκευση (β).

Ο ρόλος του αμύλου στο σχηματισμό της δομής του κέικ είναι ιδιαίτερα σημαντικός. Η αύξηση της θερμοκρασίας της ζύμης κατά τον κλιβανισμό προκαλεί την ζελατινοποίηση του αμύλου (αυξάνοντας το ιξώδες της ζύμης), που σε συνδυασμό με τη συνεχή επέκταση των κυψελίδων, διαρρηγνύει τις διακριτές κυψελίδες αέρα της ζύμης οπότε σχηματίζονται οι συνδεδεμένες κυψελίδες της τελικής δομής. Η διόγκωση σταματά, όταν η δομή σταθεροποιηθεί από την πλήρη ζελατινοποίηση του αμύλου (κυρίως) και την πήξη των πρωτεϊνών (δευτερευόντως), κατά συνέπεια η θερμοκρασία ζελατινοποίησης είναι ιδιαίτερα σημαντική για την επεξεργασία αμυλούχων τροφίμων.

Εκτός από το άμυλο, το άλευρο περιέχει και μη αμυλούχους πολυσακχαρίτες (κυρίως αραβινοξυλάνες (85 %), εκχυλίσιμες και μη εκχυλίσιμες στο νερό), οι οποίοι διαθέτουν μοναδικές φυσικοχημικές ιδιότητες λόγω της δομής τους. Οι αραβινοξυλάνες του σίτου έχουν μελετηθεί ιδιαίτερα, αφού αποτελούν την κύρια πηγή διαιτητικών ινών στο άλευρο. Τα κυτταρικά τοιχώματα του αμυλούχου ενδοσπερμίου περιέχουν περίπου 70% αραβινοξυλάνες, υδατοδιαλυτές και μη υδατοδιαλυτές. Οι αραβινοξυλάνες, αν και αποτελούν μόνο περίπου το 2-3% του αλεύρου, επηρεάζουν την επεξεργασία των σιτηρών,

τη συμπεριφορά του αλεύρου και τις ιδιότητες των προϊόντων των σιτηρών. Ειδικότερα αυξάνουν το ιξώδες της ζύμης του κέικ, λόγω της μεγάλης ικανότητας δέσμευσης νερού, και επομένως επηρεάζουν θετικά τον αερισμό της ζύμης του κέικ, μειώνοντας την τάση ανάδυσης και διαφυγής των φυσαλίδων αέρα από την ζύμη, όπως θα περιγραφεί αναλυτικά στη συνέχεια. Οι υδατοδιαλυτές αραβινοζυλάνες επίσης έχει αποδειχθεί ότι έχουν επιφανειοενεργό δράση, αφού σταθεροποιούν τις μεμβράνες του αφρού της ζύμης, επιβραδύνοντας τη διάχυση του αερίου μέσω της διεπιφάνειας αερίου-μεμβράνης ή ενεργούν ως στερικοί σταθεροποιητές των μεμβρανών που περιβάλλουν τις φυσαλίδες αερίου. Οι μη αμυλούχοι πολυσακχαρίτες που συναντώνται στα κυτταρικά τοιχώματα του ενδοσπερμίου του σίτου, αποτελούν διαιτητικές ίνες και θα περιγραφούν αναλυτικά στο αντίστοιχο κεφάλαιο.

Τέλος, στο άλευρο σίτου περιέχονται και μικρές ποσότητες υδατοδιαλυτών μονοσακχαριτών και ολιγοσακχαριτών (π.χ. γλυκόζης, φρουκτόζης, σακχαρόζης, μαλτόζης, ραφινόζης, κ.α.) καθώς και μικρές ποσότητες δεξτρινών.

➤ *Πρωτεΐνες*

Κατά την άλεση του σίτου ένα μέρος μόνο των πρωτεϊνών που απαντώνται στον καρπό (κυρίως στο ενδοσπέρμιο) μεταφέρεται στο άλευρο. Οι πρωτεΐνες αυτές ταξινομούνται κατά Osborne με βάση τη διαλυτότητά τους σε: αλβουμίνες (υδατοδιαλυτές), γλοβουλίνες (διαλυτές σε αραιά υδατικά διαλύματα αλάτων), προλαμίνες (διαλυτές σε αλκοόλες) και γλουτελίνες (διαλυτές σε οξέα ή αλκάλια) (Kulp & Ponte 1990).

Οι κύριες πρωτεΐνες του αλεύρου -οι γλοιαδίνες που ανήκουν στις προλαμίνες και οι γλουτενίνες που ανήκουν στις γλουτελίνες-, είναι περίπλοκα μίγματα μεμονωμένων πρωτεϊνών και έχουν τη μοναδική ικανότητα να σχηματίζουν ιξωδοελαστικό δίκτυο, που επιτρέπει την παραγωγή προϊόντων όπως το ψωμί. Όταν οι παραπάνω πρωτεΐνες αναμιγνύονται με νερό, σχηματίζουν ένα ελαστικό δίκτυο, γνωστό ως γλουτένη. Ειδικότερα, τα πρωτεϊνικά μακρομόρια της γλουτένης στο άλευρο είναι τοποθετημένα σε πυκνές θέσεις και συγκρατούνται μεταξύ τους κυρίως μέσω δεσμών υδρογόνου και ιοντικών δεσμών μεταξύ ηλεκτραρνητικών (κυρίως COO^-) και ηλεκτροθετικών (κυρίως NH_3^+) πλευρικών ομάδων. Κατά την ενυδάτωση του αλεύρου, οι πρωτεΐνες απορροφούν νερό και διογκώνονται, οπότε οι δυνάμεις συνοχής μεταξύ των πρωτεϊνικών μακρομορίων εξασθενούν, ενώ παράλληλα πραγματοποιούνται αντιδράσεις ανταλλαγής σουλφυδρυλίων ($-\text{SH}$) και δισουλφιδίων ($-\text{S}-\text{S}-$).

Στο πρωτεϊνικό δίκτυο της γλουτένης του ζυμαριού, οι γλοιαδίνες και γλουτενίνες διαθέτουν διαφορετικό ρόλο. Οι γλουτενίνες είναι μεγάλα πρωτεϊνικά πολυμερή που

συγκρατούνται με δισουλφιδικούς δεσμούς και διαμορφώνουν ένα συνεχές δίκτυο που παρέχει δύναμη (αντίσταση στην παραμόρφωση) και ελαστικότητα στη ζυμάρι. Οι γλοιαδίνες είναι μικρότερα πρωτεϊνικά μονομερή και θεωρείται ότι δρουν ως πλαστικοποιητές του πολυμερούς συστήματος της γλουτενίνης, επηρεάζοντας την εκτατότητα του ζυμαριού. Η ικανότητα της γλουτένης να εκτείνεται οφείλεται στην εσωτερική πίεση των αερίων (ατμού, CO₂) σε συνδυασμό με την ελαστικότητα της γλουτενίνης και την εκτατότητα της γλοιαδίνης. Συνεπώς, σημαντικοί παράγοντες για την ποιότητα του αλεύρου είναι η αναλογία γλοιαδίνης/γλουτενίνης και τα ποιοτικά χαρακτηριστικά του κλάσματος της γλουτενίνης. Ειδικότερα, η αναλογία γλοιαδίνης/γλουτενίνης πρέπει να βρίσκεται σε τέτοια επίπεδα, ώστε να διατηρείται κατάλληλη ισορροπία ανάμεσα στο ιξώδες και την ελαστικότητα/δύναμη του ζυμαριού. Έτσι συνήθως η γλοιαδίνη αποτελεί το 52 % περίπου της γλουτένης και η γλουτενίνη το υπόλοιπο 48 % αυτής, αν και η μεταξύ τους αναλογία δεν είναι τόσο σταθερή (Sontag-Stroh et al. 1996, Goesaert et al. 2005).

Τόσο η ποσότητα όσο και η ποιότητα (τύπος) της πρωτεΐνης είναι ιδιαίτερα σημαντικές για τα χαρακτηριστικά του αλεύρου. Η ποιότητα των πρωτεϊνών είναι καθοριστική κυρίως για προϊόντα που απαιτούνται δυνατές πρωτεΐνες, όπως ο άρτος, αλλά παρόλα αυτά επηρεάζει την ποιότητα του τελικού προϊόντος σε όλα τα αρτοσκευάσματα. Τα άλευρα με δυνατές πρωτεΐνες και υψηλή περιεκτικότητα σε πρωτεΐνες (συνήθως σκληρά άλευρα) προτιμώνται για προϊόντα που διογκώνονται με μαγιά, αφού οι δυνατές πρωτεΐνες της γλουτένης είναι ικανές να σχηματίζουν δίκτυο με συνεκτική, ελαστική δομή που συγκρατεί τα παραγόμενα αέρια. Τα αρτοσκευάσματα που προκύπτουν από τέτοια άλευρα εμφανίζουν ικανοποιητική διόγκωση, ομοίμορφο σχήμα και ελκυστική δομή ψίχας. Το ζυμάρι που παράγεται από τέτοια άλευρα είναι ευκολότερο στο χειρισμό του, ενώ έχει λιγότερες απαιτήσεις κατά την ανάμιξη, την ζύμωση και τον κλιβανισμό (Hoseney και Rogers 1990, Hoseney 2000, Parker 2003, Tanhehco & Ng 2008).

Αντιθέτως, τα άλευρα που έχουν αδύναμες πρωτεΐνες και χαμηλή περιεκτικότητα σε πρωτεΐνες (8-10%) (συνήθως μαλακά άλευρα), σχηματίζουν ζυμάρια με χαλαρή δομή και μειωμένη ικανότητα συγκράτησης αερίων, που απαιτούν ειδικό χειρισμό κατά την ανάμιξη και ζύμωσή τους. Τα αρτοσκευάσματα που προκύπτουν από αυτά χαρακτηρίζονται από ικανοποιητική αίσθηση στο στόμα, τρυφερή και λεπτή δομή και λιγότερο ελαστική υφή. Ειδικότερα, το άλευρο για κέικ έχει πολύ λεπτή, απαλή και μεταξένια υφή, ενώ η χαμηλή περιεκτικότητά του σε πρωτεΐνες (8%) και το μικρό μέγεθος σωματιδίων του έχουν ως αποτέλεσμα τη μικρή ανάπτυξη γλουτένης, η οποία προσδίδει στο κέικ την επιθυμητή δομή

και υφή. Οι πρωτεΐνες του σίτου που σχηματίζουν τη γλουτένη δεν αποτελούν καθοριστικό παράγοντα για την ποιότητα του κέικ, αφού ο σχηματισμός της δομής του οφείλεται στο άμυλο. Πρέπει να αναφερθεί, πάντως, ότι αν και το υψηλό πρωτεϊνικό περιεχόμενο του αλεύρου σχετίζεται με κακή ποιότητα κέικ, οι διαλυτές πρωτεΐνες (από το άλευρο ή τα άλλα συστατικά του κέικ) είναι απαραίτητες για τη σταθερότητα της αφρώδους δομής του κέικ, αφού αποτελούν επιφανειοενεργές ουσίες που έχουν την ικανότητα να συσσωρεύονται στις διεπιφάνειες αέρα-νερού και ελαίου-νερού (Howard et al. 1968, Pomeranz 1988, Sahi 2008, Tanhehco & Ng 2008).

➤ *Λιπίδια*

Ο σπόρος του σίτου περιέχει 2-4% λιπίδια και το ενδοσπέρμιο 1-2% λιπίδια, τα οποία αποτελούνται κυρίως από μίγμα λιπαρών οξέων λινελαϊκού (C18:2) και σε χαμηλότερα ποσοστά παλμιτικού (C16:0) και ελαϊκού οξέος (C18:1). Στο άλευρο, τα λιπίδια διακρίνονται σε λιπίδια του αμύλου (κυρίως λυσοφωσfolιπίδια που σχηματίζουν ελικοειδή σύμπλοκα με την αμυλόζη στους κόκκους αμύλου) και σε μη-αμυλούχα λιπίδια (NSL). Τα μη-αμυλούχα λιπίδια καταλαμβάνουν περίπου τα 2/3-3/4 των συνολικών λιπιδίων του αλεύρου και διακρίνονται σε ελεύθερα (εκχυλιζόμενα με πετρελαϊκό αιθέρα ή διαιθυλαιθέρα) και δεσμευμένα (εκχυλιζόμενα με ψυχρά μίγματα πολικών διαλυτών). Τα ελεύθερα NSL μπορεί να διαχωριστούν περαιτέρω σε μη πολικά λιπίδια (τριγλυκερίδια, διγαλακτοζιδικά διγλυκερίδια, μονογλυκερίδια, λιπαρά οξέα, στερόλες, κλπ.) και πολικά λιπίδια (γλυκολιπίδια και φωσfolιπίδια). Αντιθέτως, τα δεσμευμένα NSL (συνήθως με πρωτεΐνες) αποτελούνται μόνο από πολικά λιπίδια (φωσfolιπίδια και γλυκολιπίδια). Τέλος, το ασαπνωποίητο κλάσμα των λιπών του αλεύρου περιέχει φυτοστερόλες, (κυρίως σιτοστερόλη), καροτένια, ξανθοφύλλες και τοκοφερόλες.

Τα αμυλούχα λιπίδια θεωρείται ότι είναι λιγότερο σημαντικά από λειτουργική άποψη απ' ότι τα NSL, αφού παραμένουν ισχυρά συνδεδεμένα στους κόκκους του αμύλου, με αποτέλεσμα να είναι ουσιαστικά μη διαθέσιμα κατά την επεξεργασία του ζυμαριού έως την έναρξη της ζελατινοποίησης του αμύλου. Έτσι, επηρεάζουν κυρίως τις ιδιότητες του αμύλου, ιδιαίτερα κατά την ζελατινοποίηση και την αναδιαμόρφωση αυτού. Αξίζει να αναφερθεί ότι τα αμυλούχα λιπίδια, λόγω του προστατευμένου περιβάλλοντός τους, δεν μεταβάλλονται ούτε κατά τη λεύκανση του αλεύρου.

Οι λιπαρές ύλες του αλεύρου ζαχαροπλαστικής, αν και αποτελούν μόνο ένα μικρό κλάσμα του, επηρεάζουν τα ποιοτικά χαρακτηριστικά των τελικών προϊόντων, όπως το άπλωμα /διόγκωση των μπισκότων και τον όγκο και την υφή του κέικ. Σε μελέτες που έχουν γίνει με άλευρα από τα οποία είχαν αφαιρεθεί τα λιπαρά, παρατηρήθηκε ότι τα κέικ που

προέκυψαν είχαν μειωμένο όγκο και φτωχή υφή, ενώ εισάγοντας τα απομονωμένα λιπαρά του αλεύρου το προϊόν ανακτούσε τον αρχικό όγκο και την υφή του. Επιπροσθέτως τα λιπαρά του αλεύρου φαίνεται να καθυστερούν τη σκλήρυνση της ψίχας κατά την παλαίωση των διαφόρων αρτοσκευασμάτων. Καθοριστική είναι, επίσης, η αναλογία μη πολικών/πολικών λιπιδίων, η οποία έχει άμεση σχέση με τον όγκο του κέικ. Σε μελέτες του Takeda (1994), η εισαγωγή των απομονωμένων πολικών λιπιδίων επανέφερε τον όγκο του κέικ στο αρχικό του μέγεθος, ενώ η εισαγωγή των απομονωμένων μη πολικών κλασμάτων είχε μικρή επίδραση. Ειδικότερα, η θετική επίδραση των πολικών λιπιδίων συνδέεται με τη σταθεροποίηση των φυσαλίδων αερίου, μέσω του σχηματισμού ενός στρώματος λιπιδίων στη διεπιφάνεια αερίου/υγρού των φυσαλίδων αερίου που ενισχύει τη συγκράτηση του αερίου από την ζύμη του κέικ, καθώς και με τις ισχυρές επιφανειοενεργές ιδιότητές τους (Acker & Becker 1971, Morrison 1978a, Morrison 1978b, Spies & Kirleis 1978, Τσιάρας 1984, Pomeranz 1988, Takeda 1994, Gan et al. 1995, Goesaert et al. 2005, Tanhehco & Ng 2008).

2.2.1.3 Χημική επεξεργασία του αλεύρου

Η χημική επεξεργασία με ενώσεις χλωρίου (chlorination) γίνεται αποκλειστικά στο άλευρο κέικ, προκειμένου να βελτιώσει τις ιδιότητες του αλεύρου. Οι χλωριούχοι παράγοντες, αποτελούν κατεχοχίν λευκαντικές ουσίες. Όμως, εκτός από τον αποχρωματισμό των χρωστικών του αλεύρου, η χημική επεξεργασία προκαλεί μείωση στο pH του αλεύρου από περίπου 6.0 σε 4.5- 5.2, ενώ επηρεάζει και τα συστατικά του αλεύρου με τέτοιο τρόπο, ώστε να προκύπτουν προϊόντα με βελτιωμένη υφή και όγκο. Ειδικότερα, ο οξειδωτικός αποπολυμερισμός του αμύλου που προκαλείται από τη χημική επεξεργασία, διευκολύνει τη διόγκωση των κόκκων του αμύλου και αυξάνει την ικανότητα συγκράτησης νερού και ελαίου του αμύλου. Αυτή η αύξηση είναι απαραίτητη κυρίως σε άλευρα που προορίζονται για κέικ με υψηλή αναλογία ζάχαρης, δεδομένου ότι η ζάχαρη είναι καλός ανταγωνιστής για το νερό. Επιπροσθέτως, κατά τη χημική επεξεργασία διασπώνται οι διαμοριακοί και ενδομοριακοί δεσμοί υδρογόνου, καθώς και μερικοί πεπτιδικό δεσμοί των πρωτεϊνών του αλεύρου, με συνέπεια οι πρωτεΐνες να παρουσιάζουν αυξημένη διαλυτότητα και η γλουτένη να αποδυναμώνεται. Τέλος, παρατηρείται αύξηση της υδροφοβικότητας των πρωτεϊνών του αλεύρου, λόγω αλλαγής της διαμόρφωσής τους. Η χημική επεξεργασία με ενώσεις χλωρίου ξεκίνησε το 1930, ενώ σήμερα επιτρέπεται μόνο στις ΗΠΑ, στον Καναδά, στην Αυστραλία, στη Νέα Ζηλανδία και σε κάποιες χώρες της Νοτίου Αφρικής (Huang et al. 1982, Conforti & Johnson 1992, Sinha et al. 1997, Fustier & Gelinas 1998, Figoni 2011).

2.2.2 Λιπαρά

Στην παραγωγή αρτοσκευασμάτων χρησιμοποιούνται πολλά είδη λιπαρών. Κάθε ένα από αυτά έχει διαφορετικά χαρακτηριστικά, οπότε εκπληρώνει διαφορετικούς σκοπούς και είναι κατάλληλο για την παραγωγή διαφορετικών προϊόντων. Οι κυριότερες ιδιότητες που προσδίδουν τα λιπαρά στα τελικά προϊόντα είναι: τρυφερή υφή, ιδιαίτερη αίσθηση στο στόμα, λιπαντική ικανότητα, γεύση/άρωμα και βελτίωση της δομής. Τα λιπαρά που χρησιμοποιούνται συνήθως στην παρασκευή αρτοσκευασμάτων είναι:

- Βούτυρο: 80% λιπαρά γάλακτος, 16% νερό, 2.5% αλάτι και 1.5% στερεά γάλακτος (συνήθως καζεΐνη)
- Μαργαρίνη: 80-85% υδρογονωμένα ζωικά και φυτικά λιπαρά, 10-15% νερό, και 5% αλάτι, στερεά γάλακτος, γαλακτωματοποιητές κλπ.
- Μαγειρικά λίπη (shortening): πλαστικά λιπαρά (plastic fats) ή ρευστά λιπαρά (fluid /rumpable shortening) συνήθως 100% υδρογονωμένα φυτικά έλαια ή/και ζωικά λίπη ενώ συνήθως περιέχουν γαλακτωματοποιητές και νερό
- Φυτικά έλαια: αραβοσιτέλαιο, σογιέλαιο κλπ.

Οι βασικές ιδιότητες των λιπαρών, που καθορίζουν τη λειτουργικότητα και επομένως την καταλληλότητα ενός λιπαρού για τα διάφορα προϊόντα αρτοποιίας, είναι η αναλογία στερεών στην υγρή φάση (δείκτης στερεών λιπαρών-SFI που εξαρτάται από πολλούς παράγοντες της μετατροπής και του είδους του λιπαρού), η οξειδωτική του σταθερότητα και οι πλαστικές ιδιότητες του λιπαρού. Ιδιαίτερα σημαντικός παράγοντας για τις ιδιότητες των λιπαρών είναι η κρυσταλλική δομή τους η οποία επίσης εξαρτάται από την πηγή του λιπαρού. Τα λιπαρά κατά τη στερεοποίησή τους, λαμβάνουν μια από τις τρεις κύριες κρυσταλλικές μορφές (α, β' και β), οι οποίες διαφέρουν ως προς την κρυσταλλική μορφή και το σημείο τήξης. Με ταχεία ψύξη συνήθως λαμβάνεται η ασταθής μορφή α με το χαμηλότερο σημείο τήξεως, ενώ με βραδεία ψύξη λαμβάνεται η σταθερή μορφή β με το υψηλότερο σημείο τήξεως – και οι δύο μορφές μεταπίπτουν με την πάροδο του χρόνου στην πιο σταθερή μορφή β'. Γενικά, οι κρύσταλλοι α μορφής προσδίδουν στο λιπαρό κηρώδη υφή, οι κρύσταλλοι β' μορφής κρεμώδη και απαλή υφή και οι β μορφής τραχιά και κοκκώδη υφή. Παρόλο που οι κρύσταλλοι β μορφής είναι πιο σταθεροί, στην ζαχαροπλαστική προτιμώνται τα λιπαρά με κρυστάλλους β' μορφής, λόγω της ομαλότητας των κρυστάλλων και των άριστων ιδιοτήτων κρεμοποίησης των αντίστοιχων λιπαρών.

Στα κέικ χρησιμοποιούνται κυρίως πλαστικά λιπαρά που περιέχουν κάποια ποσότητα νερού και γαλακτωματοποιητή (βοηθά στη διασπορά του νερού στο λιπαρό και στη διατήρηση της σταθερότητας του μίγματος κατά την αποθήκευση). Οι ιδιότητες των λιπαρών επηρεάζουν

την ικανότητα ενσωμάτωσης του αέρα στην ζύμη του κέικ και τη ρεολογία της, καθώς και στα χαρακτηριστικά της υφής (αίσθηση υγρής και απαλής υφής στο στόμα) και τη διάρκεια ζωής του κέικ, όπως θα περιγραφεί αναλυτικότερα στη συνέχεια.

Κατά την παρασκευή των κέικ το λιπαρό παίζει μεγάλο ρόλο, επηρεάζοντας το σωστό αερισμό και επιτρέποντας την ισοκατανομή των αερίων διόγκωσης και του ατμού που απελευθερώνεται κατά τον κλιβανισμό. Για αυτό, η ικανότητα κρεμοποίησης του λιπαρού, δηλαδή η ικανότητά του να εγκλωβίζει αέρα, είναι πολύ σημαντικός παράγοντας. Ειδικότερα, κατά την ανάμιξη η απόδραση του μίγματος σακχαρόζης-λιπαρού επιφέρει αποσταθεροποίηση των λιποσφαιρίων, η οποία διευκολύνει την ενσωμάτωση φυσαλίδων αέρα. Οι φυσαλίδες αέρα βρίσκονται σε διασπορά στα σωματίδια λιπαρού τα οποία με τη συνεχή απόδραση του μίγματος διαχωρίζονται σε πολλά και μικρότερα σταγονίδια και διασπείρονται σε όλο το μίγμα της ζύμης του κέικ. Η παρουσία του γαλακτωματοποιητή στο λιπαρό συμβάλλει στη δημιουργία μικρών φυσαλίδων αέρα και στην ομοιόμορφη διασπορά τους στην ζύμη, ενώ παρεμποδίζει και τη συσσωμάτωση των φυσαλίδων αέρα. Κατά τη διάρκεια του κλιβανισμού οι φυσαλίδες αυτές λειτουργούν ως πόροι αερίου (σημεία πυρήνωσης) στους οποίους διαχέονται το CO₂ και ο ατμός, και όταν το λίπος τήκεται ελευθερώνεται ο εγκλωβισμένος αέρας, ενισχύοντας επιπλέον τη διόγκωση του προϊόντος. Έτσι, προκύπτουν κέικ με αυξημένο όγκο, χαμηλότερο ειδικό βάρος και ψίχα με μικρούς πόρους.

Προκειμένου να επιτευχθεί ο απαιτούμενος αερισμός, οι κρύσταλλοι του λιπαρού πρέπει να έχουν την κατάλληλη μορφή και το λιπαρό να διαθέτει τη σωστή αναλογία στερεών στην επιθυμητή περιοχή θερμοκρασίας τήξης. Έτσι, ένα έλαιο δεν θα παγιδεύσει αέρα με τον ίδιο τρόπο με ένα στερεό λιπαρό, αλλά και ένα λιπαρό με πάρα πολύ υψηλό επίπεδο στερεών θα δημιουργήσει ένα πολύ πυκνό κέικ. Τα στερεά του λιπαρού βοηθούν στον εγκλωβισμό του αέρα, ενώ η πλαστικότητά του βοηθά στο διασκορπισμό του αέρα στο μίγμα, αφού λόγω αυτής μπορεί να περικλείονται (περικυκλώνονται) οι φυσαλίδες αέρα.

Τα λιπαρά, επίσης, μαλακώνουν την υφή των προϊόντων αρτοποιίας, εμποδίζοντας το σχηματισμό σκληρής και ανθεκτικής μάζας από τα υπόλοιπα συστατικά του αλεύρου, επειδή παρεμβάλλονται μεταξύ των πρωτεϊνών και του αμύλου του αλεύρου. Ουσιαστικά τα λιπαρά επικαλύπτουν τα μόρια της γλουτένης με μία λεπτή μεμβράνη, εμποδίζοντας τις πρωτεΐνες να έρθουν σε επαφή με το νερό και να σχηματίσουν πλέγμα γλουτένης (στις περιοχές επαφής), και επομένως μη ευνοώντας το σχηματισμό συνεκτικής μάζας.

Τέλος, ιδιαίτερα σημαντική είναι η γαλακτωματοποιητική δύναμη των λιπαρών αρτοποιίας, που καθορίζει πόσο υγρό μπορεί να ενσωματωθεί στην ζύμη του κέικ χωρίς να σβολιάσει

(curdling). Η ζύμη αποτελείται από μία λιπαρή φάση και από μία υδατική φάση με τα υπόλοιπα συστατικά. Τα λιπαρά, λόγω της γαλακτωματοποιητικής ικανότητάς τους ενσωματώνουν την υδατική φάση στο μίγμα σχηματίζοντας το γαλάκτωμα της ζύμης, χωρίς σχηματισμό πηγμάτων και συσσωματωμάτων. Η ποσότητα της υδατικής φάσης που ενσωματώνεται στο μίγμα, είναι καθοριστική για την επίτευξη της «υγρής» υφής του κέικ. Για τη μείωση της περιεκτικότητας των αρτοσκευασμάτων σε λιπαρές ύλες και την παρασκευή προϊόντων πιο υγιεινών και με λιγότερες θερμίδες χρησιμοποιούνται είτε υποκατάστατα λιπαρών (fat substitutes) είτε μιμητές λιπαρών (fat mimetics). Τα υποκατάστατα λιπαρών (π.χ. πολυεστέρες της σακχαρόζης) είναι συνθετικές ουσίες που έχουν τις λειτουργικές ιδιότητες των πραγματικών λιπαρών αλλά μεταβολίζονται διαφορετικά, αφού δεν υδρολύονται πλήρως από τα λιπολυτικά ένζυμα της εντερικής περιοχής και απεκκρίνονται από τον οργανισμό χωρίς να υποστούν καμία μεταβολή, αποδίδοντας σημαντικά λιγότερες θερμίδες. Οι μιμητές λιπαρών είναι ουσίες πρωτεϊνικής (π.χ. Simplesse-σταγόνες υδατικού διαλύματος μικροεγκλεισμένες σε πρωτεΐνες αυγού ή γάλακτος- όχι ιδιαίτερα αποτελεσματικό στο κέικ καθώς κατά τη θέρμανση οι πρωτεΐνες χάνουν το σφαιρικό τους σχήμα και τη λιπαντική τους ικανότητα) ή υδατανθρακικής φύσης (πολυδεξτρόζη, μαλτοδεξτρίνες, κυτταρίνες, κόμμεα κλπ.) που μιμούνται τις οργανοληπτικές και λειτουργικές ιδιότητες των λιπαρών και έχουν σημαντικά μικρότερο θερμιδικό περιεχόμενο (Bennion & Bamford 1973, Pyley 1988, Matz 1989, Stauffer 1990, Τζια 2000, Brooker, 1993a, 1993b, Stauffer 1996, Doerry 1995, Stauffer 1998, Wainwright 1999, Wang 2000, Cauvain & Young 2006, Conforti 2006, Lai & Lin 2006, Edwards 2007).

2.2.3. Γλυκαντικές ύλες-Σακχαρόζη

Οι γλυκαντικές ύλες κατηγοριοποιούνται σε θρεπτικές γλυκαντικές ύλες όπως σακχαρόζη, φρουκτόζη, γλυκόζη (δεξτρόζη), σιρόπια (καλαμποκιού, υψηλής περιεκτικότητας σε φρουκτόζης [HFCS], σφενδάμου), μέλι και μελάσα, και σε μη-θρεπτικές γλυκαντικές ύλες ή εναλλακτικά γλυκαντικά που κατηγοριοποιούνται περαιτέρω σε πολυόλες (μαννιτόλη, μαλτιτόλη, σορβιτόλη, ερυθριτόλη, ξυλιτόλη κλπ.) και γλυκαντικά μεγάλης έντασης (ακετοσουλφαμικό κάλιο, σουκραλόζη, ασπαρτάμη, κυκλαμικό οξύ, σακχαρίνη κλπ.).

Παραδοσιακά στα κέικ χρησιμοποιείται η σακχαρόζη, η οποία εκτός του ότι προσδίδει γλυκύτητα, επηρεάζει τον όγκο, την υγρασία, την τρυφερότητα (υφή), το χρώμα, την εμφάνιση και το θερμιδικό περιεχόμενο (kcal) των κέικ. Τα εναλλακτικά γλυκαντικά χρησιμοποιούνται ως υποκατάστατα της σακχαρόζης σε κέικ χαμηλού θερμιδικού περιεχομένου ή σε κέικ που απευθύνονται σε ειδικές ομάδες πληθυσμού (π.χ. διαβητικούς).

Η ζάχαρη ή σακχαρόζη είναι ένας δισακχαρίτης που αποτελείται από ένα μόριο γλυκόζης και ένα μόριο φρουκτόζης και παραλαμβάνεται από τα ζαχαρότευτλα ή το ζαχαροκάλαμο.

Η κατεργασμένη ζάχαρη (λευκή ζάχαρη) κατηγοριοποιείται με βάση το μέγεθος των κρυστάλλων της σε κρυσταλλική, λεπτή ή άχνη ζάχαρη. Η άχνη ζάχαρη συνήθως περιέχει και 3% άμυλο αραβοσίτου, ώστε να μην απορροφά υγρασία. Το μέγεθος των κρυστάλλων (granulation) της ζάχαρης επηρεάζει το ρυθμό με τον οποίο οι κρύσταλλοί της θα διαλυθούν στην υδατική φάση και επομένως και τη λειτουργικότητά της στο κέικ. Γενικά οι πιο μικροί κρύσταλλοι αναμιγνύονται ευκολότερα στην ζύμη και δημιουργούν πιο λεπτή και ομοιόμορφη δομή, ενώ οι πιο μεγάλοι κρύσταλλοι είναι πιθανό να μην διαλυθούν ακόμα και μετά από πολύωρη ανάμιξη και να δημιουργήσουν σκούρες κηλίδες στην κρούστα του κέικ και ανώμαλη δομή.

Η ζάχαρη συμβάλλει σημαντικά στην ανάπτυξη του όγκου του κέικ και τη δημιουργία τρυφερής υφής, αφού αυξάνει το ιξώδες της ζύμης διευκολύνοντας τη διατήρηση του αέρα εντός αυτής, καθυστερεί κυρίως τη θερμοκρασία ζελατινοποίησης του αμύλου και δευτερευόντως της πήξης (coagulation) των πρωτεϊνών, ενώ επιπροσθέτως παρεμβάλλεται ανάμεσα στις πρωτεΐνες του αλεύρου, αποδυναμώνοντας τη δομή της γλουτένης. Κατά τη διάρκεια του κλιβανισμού η ζάχαρη αυξάνει τη θερμοκρασία ζελατινοποίησης του αμύλου και πήξης των πρωτεϊνών, επιτρέποντας στις φυσαλίδες αέρα να διογκωθούν (expand) σωστά λόγω του ατμού πριν από τη σταθεροποίηση της δομής του κέικ (cake sets). Η ικανότητα της ζάχαρης να περιορίζει το διαθέσιμο νερό για το άμυλο πιστεύεται ότι καθυστερεί την ζελατινοποίηση μέσω συνδυασμού δύο ανεξάρτητων μηχανισμών: της μείωσης της ενεργότητας νερού της ζύμης και της αλληλεπίδρασης με τις αλυσίδες του αμύλου για τη σταθεροποίηση των άμορφων περιοχών του κόκκου. Επίσης, η ζάχαρη περιορίζει το διαθέσιμο νερό που είναι απαραίτητο για την ενυδάτωση των πρωτεϊνών της γλουτένης, καθυστερεί και περιορίζει το σχηματισμό της γλουτένης, δημιουργώντας την τρυφερή υφή του κέικ.

Εκτός από τη συμβολή της στη διόγκωση και στην υφή του κέικ, η ζάχαρη λόγω της υγροσκοπικής της φύσης συμβάλλει στη διατήρηση της υγρασίας του κέικ, με αποτέλεσμα την αύξηση της διατηρησιμότητάς του. Τέλος, η ζάχαρη, ως μη αναγωγικό σάκχαρο, βοηθά μόνο μερικώς στο χρωματισμό της κρούστας μέσω αντιδράσεων καραμελοποίησης και κασπάνωσης Maillard (Spies & Hosenev 1982, Ngo & Taranto 1986, Matz 1989, Whistler & Be Miller 1997a, Conforti 2006, Lai & Lin 2006, Gómez 2008, Indrani & Rao 2008).

2.2.4. Αυγά

Τα αυγά αποτελούνται από τον κρόκο (40% του βάρους) και το λεύκωμα (60% του βάρους). Ο κρόκος αποτελείται κυρίως από λιπίδια και συγκεκριμένα φωσφολιπίδια, τριγλυκερίδια και χοληστερόλη. Το λεύκωμα αποτελείται βασικά από νερό και πρωτεΐνες (αλβουμίνη και γλοβουλίνες) μαζί με μικρό ποσοστό σακχάρων και ανόργανων αλάτων. Τα αυγά λόγω του υψηλού περιεχομένου τους σε νερό (75%) είναι μαζί με το γάλα τα κύρια συστατικά μέσω των οποίων εισέρχεται το νερό στη συνταγή του κέικ. Στην ζαχαροπλαστική χρησιμοποιούνται κυρίως φρέσκα ολόκληρα αυγά, υγρό αυγό (ψυγμένο ή κατεψυγμένο), υγρό λεύκωμα (για προϊόντα που δεν είναι επιθυμητό το κιτρινωπό χρώμα), αφυδατωμένη σκόνη αυγού, αφυδατωμένη σκόνη αλβουμίνης, κλπ.

Τα αυγά συμβάλλουν σημαντικά στην ανάπτυξη της δομής του κέικ με τη μετουσίωση (λόγω της θερμότητας) και την πήξη των πρωτεϊνών τους. Συγκεκριμένα, οι πρωτεΐνες του αυγού σχηματίζουν ένα σύνθετο δίκτυο σε συνδυασμό με τη γλουτένη του αλεύρου, το οποίο σταθεροποιούν με την πήξη τους κατά τον κλιβανισμό, διαμορφώνοντας τη δομή και προσδίδοντας σκληρότητα στη ψίχα του κέικ. Αυτή η λειτουργία είναι ιδιαίτερα σημαντική στην περίπτωση του κέικ αφρώδους τύπου που περιέχει χαμηλά επίπεδα αλεύρου, του οποίου η αδύναμη γλουτένη δεν είναι ικανή να σχηματίσει και να συγκρατήσει ικανοποιητικό όγκο κατά τον κλιβανισμό.

Τα αυγά, επίσης, συνεισφέρουν στη διόγκωση του κέικ, με διάφορους τρόπους ανάλογα με το είδος του κέικ και τη διαδικασία παραγωγής του. Συγκεκριμένα, η διόγκωση επιτυγχάνεται είτε λόγω της ενσωμάτωσης μεγάλων ποσοτήτων αέρα μέσω της γαλακτωματοποίησης του λιπαρού με τη βοήθεια της λεκιθίνης του κρόκου (στις συνήθεις κατηγορίες κέικ), είτε λόγω της δημιουργίας αφρού κατά την απόδραση του λευκώματός τους (ειδικές κατηγορίες κέικ που προστίθεται μαρέγκα), είτε λόγω της δημιουργίας ατμού από το περιεχόμενο νερό. Έτσι κατά την τυπική παρασκευή κέικ, τα αυγά προστίθενται σταδιακά σε μίγματα λίπους-ζάχαρης, ενισχύοντας τη διαμόρφωση ενός σταθερού γαλακτώματος (λόγω της λεκιθίνης). Επιπροσθέτως οι πρωτεϊνικές μεμβράνες των διεσπαρμένων στην ζύμη φυσαλίδων, διατηρούν τα αέρια διόγκωσης (που παράγονται από τους διογκωτικούς παράγοντες, τον ατμό και τον εγκλωβισμένο αέρα) αυξάνοντας τον όγκο του κέικ και συνεισφέρουν σε μια ομοιόμορφη δομή των κυττάρων στην ψίχα με το να ελαχιστοποιούν τη συνένωση των μικροσκοπικών φυσαλίδων αέρα σε μεγαλύτερες.

Στην περίπτωση της δημιουργίας μαρέγκας (κέικ αφρώδους τύπου), οι πρωτεΐνες του λευκώματος μετατρέπονται με την απόδραση σε αφρό αποτελούμενο από ιδιαίτερα λεπτές φυσαλίδες αέρα. Ο αέρας μαζί με τον ατμό που παράγεται διαστέλλουν τα τοιχώματα του αφρού που σχηματίζονται από τις πρωτεΐνες του λευκώματος. Τότε μετουσιώνεται η

ωομυκίνη (ονομυκίνη), προκειμένου να διαμορφώσει ένα ημιστερεό αφρό και ο όγκος του αφρού αυξάνει, ενώ αμέσως μετά πήζει η οβαλβουμίνη και σταθεροποιείται η δομή του αφρού, διατηρώντας έτσι τον αυξημένο όγκο του. Ειδικότερα το λεύκωμα του αυγού έχει την ικανότητα να σχηματίζει σταθερούς αφρούς, ικανούς να ενσωματώσουν και να συγκρατήσουν μεγάλες ποσότητες ζάχαρης και αλεύρου, μέχρι να αναπτυχθεί κατά τον κλιβανισμό σταθερό δίκτυο από την πήξη των πρωτεϊνών. Πρέπει να σημειωθεί ότι οι πρωτεΐνες του λευκώματος (αλβουμίνες) συμβάλλουν στον αερισμό της ζύμης και ιδιαίτερα στον εγκλωβισμό του αέρα στην υδατική φάση και το σχηματισμό της δομής μόνο σε περιορισμένα προϊόντα που δεν περιέχουν λιπαρά, αφού η παρουσία του λιπαρού αναστέλλει την ικανότητα σχηματισμού αφρού της αλβουμίνης.

Επιπροσθέτως, τα αυγά επηρεάζουν και την υφή του κέικ, συμβάλλοντας συνολικά στη δημιουργία τρυφερής υφής. Ειδικότερα, το λεύκωμα του αυγού λειτουργεί ως παράγοντας σκλήρυνσης, τόσο λόγω των πρωτεϊνών του που πήζουν σταθεροποιώντας τη δομή, όσο και λόγω του περιεχόμενου νερού του που συμβάλλει στην αύξηση του διαθέσιμου νερού για την ζελατινοποίηση του αμύλου και την ανάπτυξη της γλουτένης. Αντιθέτως, ο κρόκος συμβάλλει στη δημιουργία τρυφερής υφής, λόγω της περιεκτικότητάς του σε λιπίδια.

Τέλος, τα αυγά προσδίδουν υγρασία (moistening) στα κέικ λόγω της υψηλής περιεκτικότητάς τους σε νερό και συμβάλλουν στην ανάπτυξη της γεύσης, του αρώματος και του χρώματος του κέικ (της ψίχας λόγω των χρωστικών του κρόκου και της κρούστας λόγω των σακχάρων του λευκώματος που συμμετέχουν στις αντιδράσεις καστανώσης) (Bennion & Bamford 1973, Hosenev 1986, Pyle 1988, Matz 1989, Penfield & Campbell 1990, Kato 1995, Conforti 2006, Cauvain & Young 2006, Lai & Lin 2006).

2.2.5 Γάλα

Το γάλα είναι απαραίτητο συστατικό του κέικ που συμβάλλει κυρίως στη διαμόρφωση του καστανού χρώματος της κρούστας του, ενώ επιπροσθέτως μαζί με τα αυγά είναι η κύρια πηγή νερού στο μίγμα της ζύμης του κέικ. Το γάλα αποτελείται από πρωτεΐνες (καζεΐνη (80%), γαλακταλβουμίνη και γαλακτογλοβουλίνη), σάκχαρα (λακτόζη), λιπαρά (κυρίως τριγλυκερίδια των λιπαρών οξέων), ανόργανα στοιχεία (π.χ. ασβέστιο, το μαγνήσιο, κλπ.), βιταμίνες και νερό. Χρησιμοποιείται είτε ως έχει σε υγρή μορφή (φρέσκο, συμπυκνωμένο, UHT κλπ.), είτε σε στερεή (σκόνη γάλακτος) που παρασκευάζεται με αφυδάτωση του γάλακτος. Η σκόνη γάλακτος προστίθεται στα διάφορα προϊόντα είτε ως σκόνη (π.χ. στα κέικ αναμιγνύεται ως σκόνη με τη ζάχαρη και το λιπαρό) ή διαλυμένη σε νερό (π.χ. στα μπισκότα όπου αποφεύγεται το σβόλιασμα της σκόνης μέσα στην ζύμη και η εμφάνιση καφέ κηλίδων από αδιάλυτα στερεά).

Το νερό της συνταγής του κέικ, που προστίθεται είτε άμεσα (όταν χρησιμοποιείται σκόνη γάλακτος) είτε ως μέρος του γάλακτος (88%) και του αυγού (75%), εξυπηρετεί τις παρακάτω λειτουργίες:

- Ενυδατώνει το άμυλο του αλεύρου και προωθεί την ζελατινοποίηση του αμύλου
- Ενυδατώνει τις πρωτεΐνες του αλεύρου και προωθεί το σχηματισμό της γλουτένης (σε πολύ μικρό βαθμό όμως, απλώς για να συγκρατήσει τα αέρια που παράγονται από τα διογκωτικά)
- Λειτουργεί ως διαλύτης για τα συστατικά της ζύμης (ζάχαρη και παράγοντες διόγκωσης) κατά την ανάμιξη και το ψήσιμο
- Είναι απαραίτητο για τη σωστή δράση των διογκωτικών παραγόντων και την ολική απελευθέρωση του CO₂ από αυτούς
- Παράγει ατμό, όταν το νερό μετατρέπεται σε υδρατμούς καθώς η θερμοκρασία της ζύμης του κέικ αυξάνεται κατά τον κλιβανισμό, ασκώντας έτσι μεγαλύτερη πίεση στο εσωτερικό της ζύμης του κέικ, με αποτέλεσμα την αύξηση του όγκου των τελικών προϊόντων
- Προσδίδει υγρασία στο κέικ
- Διευκολύνει το χειρισμό της ζύμης.

Το επίπεδο προσθήκης και ο ρυθμός προσθήκης είναι πολύ κρίσιμα για την ζύμη του κέικ και επηρεάζουν τον όγκο, την εμφάνιση, τη συμμετρία και τη δομή της ψίχας του κέικ. Χαρακτηριστικά αναφέρεται ότι υπερβολική ποσότητα νερού στην ζύμη προκαλεί έντονη κορυφή στην επιφάνεια του κέικ και μειωμένο όγκο, ενώ μειωμένη ποσότητα μειώνει τον όγκο του κέικ και προκαλεί κατάρρευση στο κέντρο του.

Τέλος, το γάλα εκτός του ότι συνεισφέρει νερό, προσθέτει επίσης άρωμα και θρεπτικά και περιέχει συγκεκριμένα συστατικά που προωθούν τη δημιουργία βελουδίνης υφής, υποκίτρινης ψίχας και καστανής κόρας. Ειδικότερα η λακτόζη του γάλακτος είναι το κύριο σάκχαρο που συμμετέχει στις αντιδράσεις κασάνωσης που δημιουργούν την καστανή κρούστα, ενώ οι πρωτεΐνες του βοηθούν στη σταθεροποίηση της δομής του κέικ (Matz 1989, Penfield & Campbell 1990, Doerry 1995, Conforti 2006, Indrani & Rao 2008).

2.2.6 Διογκωτικοί παράγοντες

Η διόγκωση (leavening) γίνεται μέσω της παραγωγής ή ενσωμάτωσης αερίων σε ένα αρτοσκεύασμα κατά τη διάρκεια της ανάμιξης και του ψησίματος, και έχει ως αποτέλεσμα την αύξηση του όγκου και τη διαμόρφωση του σχήματος και της υφής του. Τα αέρια πρέπει να διατηρηθούν στο προϊόν έως ότου η δομή σταθεροποιηθεί από την πήξη των πρωτεϊνών (της γλουτένης και του αυγού) και την ζελατινοποίηση του αμύλου, έτσι ώστε να

διατηρηθεί ο όγκος και το σχήμα του. Ο όρος διογκωτικός παράγοντας (leavening agent) χρησιμοποιείται για να δείξει την πηγή του αερίου που προκαλεί τη διόγκωση της ζύμης και μπορεί να είναι βιολογικός (μαγιά-*Saccharomyces cerevisiae* που μετατρέπει τα απλά σάκχαρα σε CO₂), χημικός (όξινο ανθρακικό νάτριο, όξινο ανθρακικό αμμώνιο, baking powder), αέρας (μηχανικά ενσωματωμένος) ή ατμός (από εξάτμιση νερού). Η επιλογή του διογκωτικού παράγοντα εξαρτάται από το είδος και τα χαρακτηριστικά του αρτοποιήσματος, ενώ σε μερικές περιπτώσεις χρησιμοποιείται συνδυασμός τους. Χαρακτηριστικά αναφέρεται ότι σε αρτοποιήματα με άλευρο από σκληρό σιτάρι (π.χ. άρτος) χρησιμοποιείται μαγιά, ενώ σε αρτοποιήματα με άλευρο από μαλακό σιτάρι (π.χ. κέικ) χρησιμοποιούνται χημικά διογκωτικά, επειδή το μειωμένο επίπεδο γλουτένης των τελευταίων δεν μπορεί να διατηρήσει τα παραγόμενα από τη μαγιά αέρια.

Στη διόγκωση του κέικ συμβάλλουν: α) ο αέρας που ενσωματώνεται μηχανικά κατά την κρεμοποίηση του λιπαρού και της ζάχαρης ή την απόδραση των αυγών (ανάλογα με τον τύπο του κέικ), και ελευθερώνεται κατά τη διάρκεια του κλιβανισμού, β) ο ατμός που παράγεται κατά τη θέρμανση των υγρών συστατικών της ζύμης (αυγά ή γάλα) και γ) κυρίως το CO₂ που παράγεται από τους χημικούς διογκωτικούς παράγοντες και μεγεθύνει τις μικρές κυψελίδες αερίου που έχουν δημιουργηθεί κατά την ανάμιξη. Τα χημικά διογκωτικά συστήματα παράγουν CO₂, είτε λόγω της χημικής διάσπασής τους κατά τη θέρμανση, είτε μέσω αντίδρασης ενός όξινου και ενός βασικού συστατικού τους. Το CO₂ μπορεί να σχηματιστεί σε όλες τις φάσεις της παρασκευής (π.χ. ανάμιξη, κλιβανισμό) ανάλογα με τις χρησιμοποιούμενες χημικές ουσίες (κυρίως τα οξέα), ενώ ο ρυθμός και το στάδιο έκλυσης αυτού επηρεάζει την ποιότητα του τελικού προϊόντος.

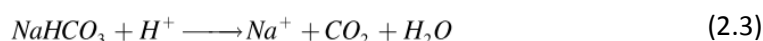
Οι κυριότερες ουσίες των χημικών διογκωτικών συστημάτων είναι άλατα νατρίου (όξινο ανθρακικό νάτριο - εμπορική μαγειρική σόδα) και αμμωνιακά άλατα. Τα αμμωνιακά άλατα (ανθρακικό αμμώνιο και όξινο ανθρακικό αμμώνιο) απελευθερώνουν αμμωνία και CO₂ και χρησιμοποιούνται για διόγκωση και εξάπλωση αρτοποιημάτων που έχουν πορώδη δομή και χαμηλή υγρασία (π.χ. βουτήματα, μπισκότα), καθώς από αυτά απομακρύνεται ευκολότερα η δυσάρεστη γεύση και οσμή της αμμωνίας. Επομένως, λόγω της υψηλής υγρασίας του κέικ, στην παρασκευή του χρησιμοποιείται το όξινο ανθρακικό νάτριο σε συνδυασμό με διάφορα οξέα ή η σκόνη εμπορίου baking powder.

Το όξινο ανθρακικό νάτριο (NaHCO₃) παράγει CO₂ με διαφορετικό τρόπο, ανάλογα με τις συνθήκες του συστήματος. Έτσι, σε συστήματα χωρίς την παρουσία οξέος (άνυδρα ή ένυδρα, αντίδραση 2.1 και 2.2 αντίστοιχα) αποσυντίθεται λόγω θερμότητας και απελευθερώνει κατά τον κλιβανισμό μία ποσότητα CO₂ (1/2 περίπου), νερό και ουδέτερο

ανθρακικό νάτριο (Na_2CO_3). Το ουδέτερο ανθρακικό νάτριο που σχηματίζεται στην περίπτωση αυτή, παραμένει στο τελικό προϊόν και επηρεάζει τόσο τη γεύση του αρτοσκευάσματος (δυσάρεστα αλκαλική), όσο και το χρώμα του (καφεκίτρινο).

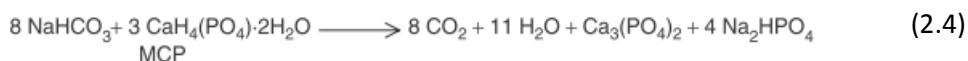


Προκειμένου να αποφευχθούν τα παραπάνω και να απελευθερωθεί όλη η ποσότητα CO_2 , προστίθεται στο σύστημα των χημικών παραγόντων διόγκωσης και κάποιο οξύ, το οποίο αντιδρά με το όξινο ανθρακικό νάτριο προς CO_2 , νερό και άλας νατρίου της όξινης ένωσης:



Τα οξέα που χρησιμοποιούνται συνήθως στα χημικά διογκωτικά συστήματα, προκειμένου να παρέχουν σταθερή και ελεγχόμενη παραγωγή αερίων, είναι δυσόξινο φωσφορικό ασβέστιο (Monocalcium Phosphate-MCP: $\text{Ca}(\text{H}_2\text{PO}_4)_2 \cdot \text{H}_2\text{O}$), δυσόξινο πυροφωσφορικό νάτριο (Sodium Acid Pyrophosphate -SAPP: $\text{Na}_2\text{H}_2\text{P}_2\text{O}_7 \cdot \text{H}_2\text{O}$), τρυγικό οξύ ($\text{H}_2\text{C}_4\text{H}_4\text{O}_6$) κλπ. Η επιλογή του οξινιστικού μέσου εξαρτάται από το ρυθμό αντίδρασης (ο ρυθμός έκλυσης CO_2 σε σχέση με την υγρασία ή τη θερμοκρασία) και την τιμή ουδετεροποίησής του (g του όξινου ανθρακικού νατρίου που απαιτούνται έτσι, ώστε να ουδετεροποιηθούν πλήρως 100 g από το οξύ). Ο στόχος είναι η ισορροπία του συστήματος, έτσι ώστε να μην παραμένει στο προϊόν ούτε οξύ ούτε βάση. Τα οξέα κατηγοριοποιούνται ως «ταχείας» δράσης (αντιδρούν ως επί το πλείστον σε θερμοκρασίες περιβάλλοντος κατά την ανάμιξη) και «βραδείας» δράσης (αντιδρούν κατά τη διάρκεια του κλιβανισμού).

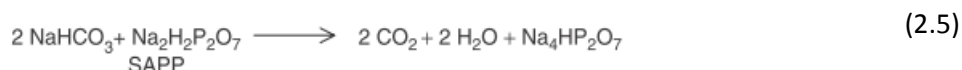
Στην παρασκευή κέικ συνήθως συνδυάζονται με το όξινο ανθρακικό νάτριο τα οξέα δυσόξινο φωσφορικό ασβέστιο (MCP) και δυσόξινο πυροφωσφορικό νάτριο (SAPP), τα οποία έχουν διαφορετικό τρόπο δράσης. Το MCP ανήκει στα «ταχείας» δράσης οξέα και όταν διαλυθεί στην υδατική φάση της ζύμης αντιδρά γρήγορα και σε θερμοκρασία περιβάλλοντος με το όξινο ανθρακικό νάτριο, απελευθερώνοντας περίπου τα 2/3 του CO_2 μέσα στα πρώτα 2 min.



Ως εκ τούτου, το MCP λειτουργεί ως οξύ πυρήνωσης (nucleation), δημιουργώντας μικρές φυσαλίδες αερίου κατά τη διάρκεια της ανάμιξης, που προωθούν την ομοιογενή επέκταση (expansion) του προϊόντος κατά τη διάρκεια του ψησίματος, όπως ακριβώς συμβαίνει και με τη μηχανική ενσωμάτωση του αέρα κατά την ανάμιξη. Σε εφαρμογές όπως τα κέικ, που πρέπει η αρχική απελευθέρωση αερίου να επιβραδυνθεί, χρησιμοποιείται επικαλυμμένο άνυδρο φωσφορικό ασβέστιο. Τέλος, ιδιαίτερα σημαντική είναι η κοκκομετρία του MCP,

όπου επιβάλλεται η χρήση λεπτής σκόνης για την εξάλειψη του κινδύνου σχηματισμού μαύρων στιγμάτων στην επιφάνεια του τελικού προϊόντος.

Το SAPP δρα με βραδύ ρυθμό σε χαμηλή θερμοκρασία και απελευθερώνει το περισσότερο CO₂ κατά τη διάρκεια του κλιβανισμού. Υπάρχουν διάφοροι τύποι SAPPs (χημικά όμοιοι) που έχουν διαφορετικούς ρυθμούς αντίδρασης και διαφέρουν ως προς τις συνθήκες επεξεργασίας, το πορώδες και το μέγεθος κόκκων. Το SAPP τυπικά απελευθερώνει 20-40% του CO₂ στα 2 min ανάμιξης και τα υπόλοιπα κατά τη διάρκεια του κλιβανισμού.



Ο ρυθμός με τον οποίο παράγεται το CO₂ κατά τον κλιβανισμό είναι ιδιαίτερα σημαντικός, αφού εάν παράγεται υπερβολική ποσότητα CO₂ κατά την έναρξη και η αντίδραση τερματιστεί νωρίς, το κέικ θα καταρρεύσει μόλις εξαχθεί από τον κλίβανο. Ειδικότερα τα αέρια πρέπει να παράγονται όσο η ζύμη μπορεί ακόμα να διογκωθεί, αλλά όχι τόσο νωρίς που ένα μέρος του αερίου να διαφύγει, ούτε πολύ αργά που όχι μόνο δεν θα διογκωθεί η ζύμη, αλλά θα καταστραφεί και η δομή του κέικ από την υπερβολική πίεση που αναπτύσσεται. Τέλος τα υψηλά επίπεδα SAPP μπορεί να προσδώσουν ελαφρώς πικρή γεύση στο προϊόν.

Η σκόνη εμπορίου baking powder αποτελείται από ένα ή περισσότερα όξινα άλατα (ταχείας και βραδείας δράσης) σε συνδυασμό με μαγειρική σόδα και κάποιο φορέα, όπως άμυλο. Το άμυλο παρεμβάλλεται ανάμεσα στο οξύ και τη βάση και εμποδίζοντάς τα να αντιδρούν κατά την αποθήκευση, ενώ επιπροσθέτως απορροφά την περίσσεια υγρασίας του αέρα. Το baking powder μπορεί να είναι είτε απλής ενέργειας (περιέχουν μόνο οξέα ταχείας δράσης όπως MCP) είτε διπλής ενέργειας (συνδυασμός οξέων). Τα baking powder διπλής ενέργειας είναι τα συνηθέστερα που περιέχουν δύο όξινα άλατα τα οποία αντιδρούν σε διαφορετικές θερμοκρασίες και απελευθερώνουν CO₂ σε δύο διαφορετικές στιγμές. Συγκεκριμένα, ποσότητα CO₂ απελευθερώνεται, όταν υγραίνονται τα ξηρά συστατικά όπου το όξινο φωσφορικό άλας του ασβεστίου αντιδρά με το όξινο ανθρακικό νάτριο σε θερμοκρασία δωματίου, και το υπόλοιπο CO₂ απελευθερώνεται κατά τον κλιβανισμό όπου το NaAl(SO₄)₂ (Sodium aluminum sulfate) αντιδρά με το όξινο ανθρακικό νάτριο (Hoseney 1986, Hoseney 1994, Freeland-Graves & Peckham 1995, Cauvain & Young 2006, Köksel & Gökmen 2008).

2.2.7 Μικρο-συστατικά

Πέρα από τα βασικά συστατικά του κέικ μπορεί να προστεθούν και κάποια άλλα συστατικά που χαρακτηρίζονται ως μικρο-συστατικά, λόγω του ότι προστίθενται σε πολύ μικρές ποσότητες και δεν επηρεάζουν τη λειτουργία των υπόλοιπων συστατικών του κέικ. Χαρακτηριστική περίπτωση μικρο-συστατικών είναι ουσίες που ενισχύουν τη γεύση και το άρωμα του κέικ, όπως η βανίλια. Στο εμπόριο υπάρχει κυρίως ως σκόνη βανίλιας, υγρό εκχύλισμα βανίλιας, βανιλίνη και απομίμηση βανίλιας (Doerry 1995).

2.3 Τύποι κέικ

Τα κέικ ταξινομούνται σε διάφορες κατηγορίες ανάλογα με τα υλικά/συνταγή τους και τη μέθοδο ανάμιξης. Οι κυριότερες κατηγορίες/τύποι είναι τα κέικ με λιπαρά (shortened cakes), τα κέικ αφρού (foam cakes) και τα σιφόν κέικ (chiffon cakes) και διαφέρουν ως προς την προετοιμασία, τα χαρακτηριστικά τους, καθώς και τα προβλήματα που μπορεί να προκύψουν κατά την παρασκευή τους.

Τα κέικ με λιπαρά περιέχουν άλευρο, ζάχαρη, αυγά, γάλα, λιπαρά και χημικούς παράγοντες διόγκωσης και αποτελούν τους συνηθέστερους τύπους κέικ. Κατά την παρασκευή τους αρχικά αναμιγνύονται η ζάχαρη και το λιπαρό (στάδιο κρεμοποίησης), ενώ σε μετέπειτα βήματα προστίθενται τα υγρά υλικά, δημιουργώντας το γαλάκτωμα (λίπους σε υγρό) της ζύμης και τέλος το άλευρο. Το στάδιο κρεμοποίησης είναι ιδιαίτερα σημαντικό καθώς κατά τη διάρκειά του ενσωματώνεται ο αέρας στη φάση του λιπαρού, οποίος μαζί με τους χημικούς παράγοντες διόγκωσης και τον ατμό διογκώνουν τα κέικ. Τα κέικ αυτά χαρακτηρίζονται από ιδιαίτερα λεπτή και τρυφερή υφή. Χαρακτηριστικά παραδείγματα κέικ τέτοιου τύπου είναι το round κέικ (1 round (lb) από λιπαρό, ζάχαρη, άλευρο και αυγά), το κίτρινο κέικ (με ολόκληρα αυγά), το λευκό κέικ (με λεύκωμα αυγών) κλπ. Πιο αναλυτικά θα περιγραφεί η διαδικασία παραγωγής και τα χαρακτηριστικά των κέικ με λιπαρά στη συνέχεια, όπου θα αναφέρονται ως κέικ για λόγους συντομίας.

Τα κέικ αφρού δεν περιέχουν λιπαρά (εκτός από τα λιπαρά του αυγού) και εξαρτώνται από τις ιδιότητες αφρισμού και αερισμού των αυγών, οι οποίες καθορίζουν τη δομή και τον όγκο τους. Κατά την παρασκευή τους γίνεται απόδραση είτε ολόκληρων αυγών είτε του λευκώματος των αυγών (ανάλογα με τον τύπο του κέικ αφρού) με τη ζάχαρη, έτσι ώστε να ενσωματωθούν οι φυσαλίδες αέρα στην ζύμη, που σε αυτήν την περίπτωση ονομάζεται αφρός. Η προσθήκη του αλεύρου γίνεται προσεκτικά και απαλά, προκειμένου αφενός να μην καταστραφεί ο αφρός και εξαφανιστεί ο εγκλωβισμένος αέρας και αφετέρου να αποτραπεί ο σχηματισμός της γλουτένης στο άλευρο, γεγονός που θα έκανε το κέικ

συμπαγές και σκληρό. Τα κέικ αφρού πρέπει να ψήνονται αμέσως, προκειμένου να επιτυγχάνεται το μέγιστο αποτέλεσμα διόγκωσης από τις φυσαλίδες αέρα του αφρού, που αποτελούν μαζί με τον ατμό τα μόνα διογκωτικά (δεν χρησιμοποιούνται χημικά διογκωτικά). Από τους κυριότερους τύπους κέικ αφρού είναι το angel food κέικ το οποίο ουσιαστικά είναι μια μαρέγκα (από το λεύκωμα των αυγών) στην οποία έχει προστεθεί ζάχαρη και άλευρο, και το sponge κέικ (σπογγώδους μορφής) στο οποίο η διόγκωση οφείλεται στην απόδραση των ολόκληρων αυγών (συνήθως γίνεται απόδραση του λευκώματος με τμήμα της ζάχαρης και των κρόκων με την υπόλοιπη ζάχαρη, και στη συνέχεια συνδυάζονται με προσοχή οι δύο αφροί και αναμιγνύονται ελαφρά με το άλευρο). Τα κέικ αφρού είναι ελαφριά και αφρώδη με μετρίως μεγάλους πόρους και χαρακτηρίζονται κυρίως από ελαστική (springy) υφή, ενώ είναι πιο σκληρά από τα κέικ με λιπαρά, καθιστώντας τα κατάλληλα για τη δημιουργία πιο σύνθετων επιδορπίων (π.χ. παντεσπάνι σε τούρτες και γεμιστά ρολά) που απαιτούν εκτενή χειρισμό για την παρασκευή τους. Για αυτό το λόγο το άλευρο που χρησιμοποιείται σε αυτά τα κέικ πρέπει να είναι πολύ αδύναμο, έτσι ώστε να μην γίνει το κέικ πιο σκληρό από ότι χρειάζεται.

Τα κέικ σιφόν είναι ένας συνδυασμός των κέικ με λιπαρά και με αφρό. Ειδικότερα, περιλαμβάνουν φυτικά έλαια (υγρά λιπαρά και όχι στερεά όπως στα κέικ με λιπαρά) και κρόκο αυγού ως υγρά συστατικά, ενώ η διόγκωσή τους στηρίζεται στον αφρό που σχηματίζεται από το λεύκωμα αυγού και στα χημικά διογκωτικά. Αυτά τα κέικ χαρακτηρίζονται από ιδιαίτερα πλούσια, υγρή (λόγω του υγρού λιπαρού), τρυφερή και ταυτόχρονα αφρώδη υφή.

Τέλος, τα κέικ (με λιπαρά, αφρού ή σιφόν) κατηγοριοποιούνται επίσης με βάση την αναλογία ζάχαρης και υγρού σε σχέση με το βάρος του αλεύρου. Έτσι, μια ειδική κατηγορία που συναντάται συχνά, ιδιαίτερα στις ΗΠΑ, είναι τα κέικ υψηλής αναλογίας (υγρού ή ζάχαρης) που έχουν γενικά αναλογία ζάχαρης: αλεύρου $\geq 1:1$ (π.χ. sponge, angel food) ή αναλογία υγρών: αλεύρου $\geq 1.1:1$ (Pomeranz 1988, Pyle 1988, Penfield & Campbell 1990, Doerry 1995, Cauvain & Young 2006, Conforti 2006, Lai & Lin 2006).

2.4 Ανάμιξη συστατικών και σχηματισμός ζύμης

2.4.1 Σκοπός/Διαδικασία Ανάμιξης

Όπως αναφέρθηκε προηγουμένως, η διαδικασία και οι μέθοδοι ανάμιξης διαφέρουν ανάλογα με την κατηγορία και τον τύπο του κέικ. Στη συνέχεια η παρουσίαση θα εστιαστεί στην κατηγορία των κέικ με λιπαρά, τα οποία είναι τα πιο διαδεδομένα και με τα οποία ασχολήθηκε η παρούσα διατριβή.

Η ποιότητα του κέικ επηρεάζεται από τα συστατικά που χρησιμοποιούνται, από την κατάλληλη και σωστά ισορροπημένη σύνθεση/συνταγή, από τη μέθοδο ανάμιξης και τον κλιβανισμό. Ειδικότερα η διαδικασία της ανάμιξης λαμβάνει χώρα σε αναμίχτες με διάφορους αναδευτήρες (με πεπλατυσμένους-beater ή συρμάτινους-whisk) που ακολουθούν ελλειπτική κίνηση κατά τη διάρκεια της ανάμιξης, προκειμένου να ενσωματώνεται ο αέρας στην ζύμη, χωρίς να αναπτύσσονται έντονες τριβές που αυξάνουν τη θερμοκρασία. Σε βιομηχανική κλίμακα χρησιμοποιούνται είτε αναμίχτες συνεχούς λειτουργίας στους οποίους ο αέρας εμβολίζεται στην ζύμη κατά την ανάμιξη, είτε ασυνεχούς λειτουργίας (κατά παρτίδες) αναμίχτες (οριζόντιοι ή κάθετοι) στους οποίους χρησιμοποιείται κάποια από τις συνήθεις μεθόδους ανάμιξης. Η κοινή απαίτηση για όλες τις μεθόδους ανάμιξης είναι η καλή διασπορά των συστατικών και η ενσωμάτωση και διατήρηση του αέρα στην ζύμη, προκειμένου να παραχθεί κέικ με κατάλληλη υφή και διόγκωση. Επιπροσθέτως, ιδιαίτερα σημαντικός είναι ο χρόνος ανάμιξης, αφού υπερβολική ανάμιξη θα προκαλέσει απώλεια του αέρα και θα έχει ως αποτέλεσμα την παραγωγή ενός συμπαγούς και εύθραυστου κέικ, με ρωγμές στην κρούστα και ενίοτε με κορυφή στο κέντρο.

Στη συνέχεια θα γίνει σύντομη περιγραφή των βασικών λειτουργιών της ανάμιξης.

➤ Διάλυση/Διασπορά των συστατικών

Μια από τις δύο βασικές λειτουργίες της ανάμιξης είναι η πλήρης διάλυση/διασπορά όλων των συστατικών. Δύο από τα σημαντικότερα συστατικά των κέικ, τα λιπαρά και το νερό (από το γάλα και τα αυγά) είναι μη αναμίξιμα. Ο πρώτος στόχος της ανάμιξης είναι ο σχηματισμός ενός γαλακτώματος νερού σε έλαιο, έτσι ώστε το νερό να συγκρατείται από το λιπαρό. Ένα πιθανό πρόβλημα που μπορεί να προκύψει σε αυτή την περίπτωση και συναντάται κυρίως στη μέθοδο κρεμοποίησης είναι να μην μπορεί πλέον το λιπαρό να συγκρατήσει το νερό σε κατάσταση γαλακτώματος. Τότε η ζύμη σβολιάζει (δημιουργούνται συσσωματώματα) και αλλάζει προς ένα γαλάκτωμα ελαίου σε νερό. Για να αποφευχθεί το σβόλιασμα της ζύμης κατά την ανάμιξη, απαιτείται η χρήση υψηλής αναλογίας λιπαρών με γαλακτωματοποιητή, η διατήρηση της θερμοκρασίας των συστατικών και της ζύμης περίπου στους 21 ° C για σχηματισμό σταθερού γαλακτώματος, η βραδεία ανάμιξη των συστατικών στο πρώτο στάδιο της διαδικασίας και η σταδιακή προσθήκη των υγρών. Η σωστή θερμοκρασία των συστατικών και η χαμηλή ταχύτητα ανάμιξης είναι απαραίτητες για τον καλό σχηματισμό των κυψελίδων αέρα. Ειδικότερα το ψυχρό λιπαρό (θερμοκρασία < 16 ° C) θεωρείται πολύ σκληρό και το θερμό λιπαρό (θερμοκρασία > 24 ° C) πολύ μαλακό για το σχηματισμό κατάλληλων κυψελίδων αέρα. Η ταχύτητα ανάμιξης θα πρέπει να είναι

χαμηλή προς μέτρια (μέση ταχύτητα), αφού κατά την ανάμιξη σε υψηλή ταχύτητα η θερμότητα που παράγεται μέσω τριβής θερμαίνει την ζύμη οπότε σχηματίζονται λίγες κυψελίδες αέρα, χονδροειδείς και ακανόνιστες.

➤ Ενσωμάτωση αέρα

Κατά την ανάμιξη των συστατικών που απαρτίζουν την ζύμη, η κίνηση του στελέχους ανάμιξης την μετακινεί, πιέζοντάς την στην άκρη και δημιουργώντας κενό στον κάδο ανάμιξης. Καθώς η ζύμη ρέει προς το κενό που έχει δημιουργηθεί, εγκλωβίζεται αέρας ο οποίος ενσωματώνεται σε αυτήν. Η ενσωμάτωση του αέρα γίνεται σε δύο στάδια: στο πρώτο στάδιο ο αέρας ενσωματώνεται γρήγορα σε μορφή μεγάλων φυσαλίδων, ενώ στο δεύτερο στάδιο (στάδιο σταθεροποίησης) οι φυσαλίδες μειώνονται σε μέγεθος. Οι μικρές αυτές φυσαλίδες αέρα έχουν ακτίνα r , επιφανειακή τάση γ και εσωτερική πίεση p για τις οποίες ισχύει η σχέση:

$$p = 2\gamma/r \quad (2.6)$$

Συστατικά που μειώνουν το γ , όπως διαλυτές πρωτεΐνες ή επιφανειοενεργές ουσίες, ευνοούν το σχηματισμό φυσαλίδων (κατά την ανάμιξη), αφού έτσι μειώνεται η εσωτερική πίεση που χρειάζεται για το σχηματισμό κάθε φυσαλίδας. Από τη σχέση αυτή φαίνεται και ότι δεν μπορούν να σχηματιστούν αυθόρμητα νέες φυσαλίδες από το CO₂ που παράγεται από τους χημικούς διογκωτικούς παράγοντες, αφού το αρχικό r είναι 0 και επομένως το p τείνει στο άπειρο. Αντιθέτως σε μια ζύμη μπορεί να μειωθεί ο αριθμός των φυσαλίδων αέρα, είτε λόγω συνένωσης δύο διαφορετικών φυσαλίδων, ή μείωσης του μεγέθους των φυσαλίδων έως ότου εξαφανιστούν, ή αύξησης του μεγέθους τους που τους επιτρέπει να αναδυθούν στην επιφάνεια (αύξηση buoyancy) και να χαθούν. Για αυτό είναι απαραίτητη η σταθεροποίηση που προσφέρουν τα λιπαρά και οι γαλακτωματοποιητές, που βοηθά στη διατήρηση των φυσαλίδων στην ζύμη.

Η παρουσία και η διασπορά των φυσαλίδων αέρα είναι ουσιαστικής σημασίας, αφού δρουν ως πυρήνες στους οποίους αργότερα διοχετεύονται τα αέρια διόγκωσης, ενώ επιπροσθέτως ο παγιδευμένος αέρας διαστέλλεται με τη θερμότητα και συνεισφέρει μαζί με τον ατμό και το CO₂ που παράγεται από τα χημικά διογκωτικά στη διόγκωση του κέικ. Έτσι, η δημιουργία πολυάριθμων, μικρών και ομοιόμορφων κυψελίδων αέρα στην ζύμη κέικ είναι απαραίτητη για ένα κέικ με λεπτή και ομαλή υφή και καλή διόγκωση, ενώ μεγάλες ή ακανόνιστες κυψελίδες αέρα οδηγούν σε κέικ με τραχιά υφή (Bennion & Bamford 1973b, Pyle 1988, Penfield & Campbell 1990, Vali & Choudhary 1990, Frye & Setser 1991, Doerry 1995, Sahi & Alava 2003, Conforti 2006, Lai & Lin 2006, Edwards 2007, Tireki 2008, Sahi 2008, Sahin 2008).

2.4.2 Μέθοδοι ανάμιξης

Για την παρασκευή των κέικ χρησιμοποιούνται διάφορες μέθοδοι ανάμιξης που διαφέρουν ως προς τη σειρά προσθήκης των συστατικών, τη διάρκεια και το ρυθμό ανάμιξης κατά τα διάφορα στάδια των πολυσταδιακών μεθόδων, και ως προς άλλους παράγοντες ανάλογα με τον τύπο του παραγόμενου κέικ. Οι πιο συχνά χρησιμοποιούμενες είναι η μέθοδος κρεμοποίησης (sugar batter), η μέθοδος blending (flour batter), η μέθοδος ενός σταδίου, η μέθοδος γαλακτώματος και η συνεχής μέθοδος (βιομηχανική κλίμακα).

2.4.2.1 Μέθοδος κρεμοποίησης (ή sugar batter μέθοδος)

Η μέθοδος αυτή είναι η συνηθέστερα ακολουθούμενη και εφαρμόζεται σε όλα τα κέικ με λιπαρά, εκτός από τα υψηλής αναλογίας ζάχαρης. Αρχικά αναμιγνύεται στο μίξερ, σε χαμηλή ή μεσαία ταχύτητα, το λιπαρό μαζί με την ζάχαρη, προκειμένου να σχηματιστεί ένα ελαφρύ και αφράτο μίγμα που προσομοιάζει με κρέμα (κρεμοποίηση). Σε αυτό το στάδιο εισάγονται μικρές φυσαλίδες αέρα στα διάσπαρτα σωματίδια του λιπαρού. Η χρονική διάρκεια της κρεμοποίησης του λιπαρού με την ζάχαρη εξαρτάται από το χρησιμοποιούμενο αναμίκτη και τον τύπο του λιπαρού (π.χ. μαγειρικό λίπος ή μαργαρίνη), αλλά συνήθως κυμαίνεται στα 10 min. Στη συνέχεια προστίθεται το υγρό αυγό σε μικρές μερίδες (5 ή 6 συνήθως) εντός 5-10 min με καλή ανάμιξη/κρεμοποίηση ανάμεσα σε κάθε προσθήκη, έτσι ώστε να ενσωματωθεί στο γαλάκτωμα και να μην διασπαστεί αυτό (curdle ζύμης). Μετέπειτα προστίθενται και αναμιγνύονται με ήπιο τρόπο τα υλικά που προσδίδουν άρωμα ή γεύση (π.χ. βανιλίνη). Τέλος προστίθενται το γάλα και το άλευρο σταδιακά σε μικρές μερίδες (πρώτα το γάλα και μετά το άλευρο ή εναλλάξ). Η μέθοδος διαρκεί 15 με 20 min, με 8 έως 10 min να είναι το αρχικό στάδιο της κρεμοποίησης, 5 με 6 min το δεύτερο στάδιο της ενσωμάτωσης των αυγών και 5 έως 6 min η τελική φάση προσθήκης του γαλακτος και του αλεύρου.

Τα κύρια πλεονεκτήματα αυτής της μεθόδου είναι ο μεγάλος όγκος ενσωμάτωσης του αέρα στη φάση του λιπαρού κατά το στάδιο της κρεμοποίησης και η επικάλυψη των σωματιδίων του αλεύρου και της ζάχαρης από το λιπαρό, που καθυστερεί την ενυδάτωση και διαλυτοποίησή τους. Στην ιδανική περίπτωση, οι φυσαλίδες αέρα είναι ομοιόμορφες, μικρές, και περιβάλλονται από λιπαρό. Ο βέλτιστος αερισμός της ζύμης εξαρτάται από το μέγεθος των κρυστάλλων του λιπαρού, με τους μικρούς κρυστάλλους β' μορφής που προσανατολίζονται γύρω από τις κυψελίδες του αέρα και παρέχουν προστατευτική μεμβράνη, να είναι οι πιο κατάλληλοι. Οι φυσαλίδες του αέρα, σε αυτήν την περίπτωση, είναι ιδιαίτερα σταθερές, λόγω του ότι παραμένουν εγκλωβισμένες στο λιπαρό (έως ότου το λιπαρό τακεί) και έτσι η ζύμη μπορεί να αφεθεί για αρκετό χρονικό διάστημα χωρίς να

εξαφανιστούν. Καθώς θερμαίνεται η ζύμη και τήκεται το λιπαρό, οι φυσαλίδες αερίου ελευθερώνονται στην υδατική φάση, όπου τα διογκωτικά αέρια μπορούν να διαχυθούν σε αυτές και να διογκώσουν το κέικ. Επίσης, ένα ακόμα πλεονέκτημα είναι ο σχεδόν ανύπαρκτος σχηματισμός γλουτένης στον οποίο συμβάλλει ο ελάχιστος χρόνος ανάμιξης του αλεύρου στην ζύμη (προστίθεται τελευταίο), γεγονός που όμως δεν έχει τόση σημασία, όταν χρησιμοποιούνται μαλακά άλευρα.

Στο γαλάκτωμα της ζύμης που σχηματίζεται σε αυτήν την περίπτωση, οι φυσαλίδες αέρα είναι διεσπαρμένες στη λιπαρή φάση (λιπαρή ουσία και λιπαρά αυγού και γάλακτος) και τα υπόλοιπα υλικά διεσπαρμένα ή διαλυμένα στην υδατική φάση (νερό από το γάλα και τα αυγά). Όπως αναφέρθηκε προηγουμένως, πρέπει να δίνεται ιδιαίτερη προσοχή στο ρυθμό προσθήκης των υγρών και τη θερμοκρασία των υλικών, προκειμένου να αποφεύγεται η καταστροφή του γαλακτώματος και ο διαχωρισμός του λιπαρού από την υδατική φάση (curdle ζύμης). Παρόλα αυτά, το γαλάκτωμα της ζύμης μπορεί να επανέλθει με την προσθήκη του αλεύρου (που ουσιαστικά απορροφά το νερό) χωρίς να επηρεάσει αισθητά την ποιότητα του κέικ (Bennion & Bamford 1973b, Hosney 1986, Pylar 1988, Penfield & Campbell 1990, Doerry 1995, Cauvain & Young 2001, Conforti 2006, Lai & Lin 2006, Edwards 2007, Tireki 2008).

2.4.2.2 Blending Μέθοδος (ή flour batter)

Σε αυτή τη μέθοδο το άλευρο χωρίζεται σε δύο μέρη. Το ένα μέρος (περίπου όσο το βάρος του λιπαρού ή λίγο λιγότερο) κρεμοποιείται με το λιπαρό προς μια αφράτη μάζα σε ένα μπολ/μίξερ, ενώ το άλλο θα αναμιχθεί στην ζύμη αργότερα. Το λιπαρό επικαλύπτει τα σωματίδια του αλεύρου και περιορίζει την ανάπτυξη γλουτένης. Παράλληλα (σε διαφορετικό μίξερ/δοχείο) γίνεται απόδραση των αυγών με τμήμα της ζάχαρης (όσο το βάρος των αυγών) σε μέτρια ταχύτητα προς σχηματισμό αφρού, όπως στην περίπτωση των κέικ αφρού. Η ξεχωριστή ανάμιξη στα δύο δοχείων/μίξερ διαρκεί περίπου 6-10 min. Συστατικά, όπως αρωματικές ύλες μπορούν να προστεθούν στο μίγμα αλεύρου και λιπαρού. Στη συνέχεια ο αφρός του αυγού και της ζάχαρης προστίθεται προσεκτικά στο μίγμα λιπαρού-αλεύρου σε 3-5 δόσεις και αναμιγνύονται με μικρή ταχύτητα. Τέλος, στο καλά αναμεμιγμένο μίγμα προστίθεται το υπόλοιπο άλευρο μαζί με το γάλα (σε μικρές δόσεις), ενώ και η υπόλοιπη ζάχαρη ενσωματώνεται σε αυτό το σημείο, διαλυμένη στο γάλα. Η ανάμιξη αυτών γίνεται στη χαμηλότερη δυνατή ταχύτητα του μίξερ ή χειρωνακτικά. Η μέθοδος αυτή επιτρέπει τη γρήγορη ενσωμάτωση των αυγών, ενώ μειώνει την πιθανότητα σβολιάσματος της ζύμης σε σχέση με τη μέθοδο κρεμοποίησης. Επιπροσθέτως η δημιουργία αφρού των αυγών με τη ζάχαρη προσδίδει εξαιρετικά λεπτή και ομοιόμορφη

υφή στο τελικό προϊόν και επιτρέπει τη χρήση υψηλότερων επιπέδων ζάχαρης και υγρών από ότι είναι δυνατόν με τη μέθοδο κρεμοποίησης. Για αυτό το λόγο η μέθοδος αυτή χρησιμοποιείται κυρίως για την παραγωγή κέικ υψηλής αναλογίας υγρού ή ζάχαρης.

Ιδιαίτερη προσοχή πρέπει να δοθεί, ώστε να μην ενσωματώνεται υπερβολική ποσότητα αέρα στο μίγμα αυγού και ζάχαρης, γιατί έτσι το κέικ θα είναι πολύ ελαφρύ. Στην περίπτωση της μεθόδου κρεμοποίησης, η παρουσία του λιπαρού περιορίζει την ποσότητα του αέρα που μπορεί να ενσωματωθεί, οπότε δεν υφίσταται τέτοιο πρόβλημα. Επιπροσθέτως υπάρχει και ο κίνδυνος απώλειας αέρα λόγω της μεταφοράς των μιγμάτων. Τέλος, η χρήση δύο δοχείων/μίξερ θεωρείται ένα πρόσθετο μειονέκτημα (Bennion & Bamford 1973b, Pyle 1988, Doerry 1995, Cauvain & Young 2001, Conforti 2006, Lai & Lin 2006, Edwards 2007, Tireki 2008).

2.4.2.3 Μέθοδος ενός σταδίου

Η μέθοδος αυτή αφορά ταχεία ανάμιξη (8-10 min), όπου όλα τα συστατικά τοποθετούνται σε ένα δοχείο και αναμιγνύονται έντονα, με επίπεδο στέλεχος ανάμιξης, προκειμένου να διαλυθούν όλα τα συστατικά και να σχηματιστεί μια ομοιογενής μάζα. Συνήθως η ανάμιξη γίνεται για 1 έως 3 min σε χαμηλή ταχύτητα, ακολουθεί από 3 έως 5 min σε μεσαία ταχύτητα και τέλος 2 min σε χαμηλή ταχύτητα. Η ενσωμάτωση των χημικών διογκωτικών γίνεται προς το τέλος της ανάμιξης.

Τροποποίηση της μεθόδου ενός σταδίου είναι η μέθοδος δύο σταδίων που ονομάζεται έτσι, επειδή τα υγρά προστίθενται σε δύο στάδια. Το πρώτο βήμα είναι η ανάμιξη του αλεύρου και των άλλων ξηρών συστατικών με το λιπαρό. Το λιπαρό επικαλύπτει τα σωματίδια του αλεύρου και περιορίζει την ανάπτυξη γλουτένης. Στη συνέχεια, προστίθενται τα υγρά σε δύο στάδια, ενώ μαζί με αυτά μπορεί να ενσωματωθούν και τα χημικά διογκωτικά. Η ανάμιξη πρέπει να γίνεται σε χαμηλή ταχύτητα, ενώ συνιστάται και περιοδική παύση του μίξερ και απόξεση της ζύμης από τα τοιχώματα του δοχείου, προκειμένου να σχηματίζεται μια ομαλή (smooth) και καλά αναμεμιγμένη ζύμη. Η μέθοδος αυτή χρησιμοποιείται για τα κέικ υψηλής αναλογίας υγρού ή ζάχαρης και παράγει υγρά κέικ με λεπτή υφή.

Στις παραπάνω μεθόδους χρησιμοποιούνται λιπαρά που περιέχουν μονο-και δι-γλυκερίδια (επιφανειοενεργές ουσίες) που βοηθούν στον άμεσο εγκλωβισμό του αέρα στην υδατική φάση της ζύμης. Ιδιαίτερη προσοχή πρέπει να δίνεται, ώστε η ζύμη να μην αφεθεί για μεγάλο διάστημα πριν τον κλιβανισμό καθώς δεν είναι σταθερή. Αυτό συμβαίνει γιατί ο εγκλεισμένος αέρας στην υδατική φάση μπορεί να διαχυθεί στην ζύμη, και λόγω της διαφοράς πίεσης ανάμεσα στις μικρές και τις μεγάλες φυσαλίδες, να εξαφανιστούν οι μικρές και να αυξηθεί ο όγκος των μεγάλων καθώς και η τάση διαφυγής τους (Bennion &

Bamford 1973b, Hosenev 1986, Pyle 1988, Penfield & Campbell 1990, Conforti 2006, Lai & Lin 2006, Tireki 2008).

2.4.2.4 Μέθοδος γαλακτώματος

Αυτή η μέθοδος είναι ιδιαίτερα κατάλληλη για μίξερ μεγάλου όγκου. Αρχικά η ζάχαρη και το λιπαρό κρεμοποιούνται για 2 έως 3 min. Στη συνέχεια προστίθεται το γάλα σε μικρές δόσεις εντός 5 min, ενώ συνεχίζεται η απόδοση/χτύπημα σε μέτρια ταχύτητα, έως ότου σχηματιστεί μια αφρώδης μάζα που προσομοιάζει κρέμα βουτύρου. Τέλος προστίθεται το άλευρο (εντός 2 min) και ύστερα τα αυγά και αναμιγνύονται για επιπλέον 4 έως 5 min. Ο συνολικός χρόνος ανάμιξης της μεθόδου γαλακτώματος είναι 12 έως 15 min (Conforti 2006, Tireki 2008).

2.4.2.5 Συνεχής μέθοδος

Οι αναμίχτες συνεχούς λειτουργίας κατασκευάστηκαν με σκοπό να επιταχύνουν και να ομαλοποιήσουν την παραγωγική διαδικασία και για να παρέχουν προϊόντα ομοιόμορφα και σταθερής ποιότητας σε βιομηχανική κλίμακα. Η συνηθέστερα χρησιμοποιούμενη διάταξη αποτελείται από έναν προ-αναμίκτη, ένα δοχείο αναμονής και ένα συνεχή αναμίκτη. Στον προαναμίκτη γίνεται η προετοιμασία του πολτού (slurry), όπου τροφοδοτούνται τα συστατικά κατά ρεύματα (υγρά-στερεά συστατικά), εκτός από το λιπαρό που προστίθεται συνήθως χωριστά. Τα υλικά αναμιγνύονται σε κατακόρυφες δεξαμενές που είναι εξοπλισμένες με υψηλής ταχύτητας αναδευτήρες προς ένα ομογενές υγρό μίγμα (πολτός) χωρίς καθόλου ή με ελάχιστο αερισμό, αφού η παρουσία αέρα δυσκολεύει την άντληση. Ο πολτός αυτός μεταφέρεται μέσω αντλίας στο δοχείο αναμονής και πάλι μέσω αντλίας στο θάλαμο ανάμιξης του συνεχούς αναμίκτη με ελεγχόμενο ρυθμό. Στο συνεχή αναμίκτη, που αποτελείται από μια κεφαλή ανάμιξης ικανή να διασπείρει επαρκώς τα συστατικά σε πολύ μικρό χρονικό διάστημα, ο πολτός ομογενοποιείται και γαλακτωματοποιείται, ενώ ταυτόχρονα εμβολίζεται πεπιεσμένος αέρας και ενσωματώνεται στην ζύμη. Το ειδικό βάρος της ζύμης που εξάγεται από το συνεχή αναμίκτη συνήθως ελέγχεται αυτόματα και με βάση αυτό προσαρμόζεται και η ροή του αέρα (Bennion & Bamford 1973b, Pyle 1988, Conforti 2006, Lai & Lin 2006, Tireki 2008).

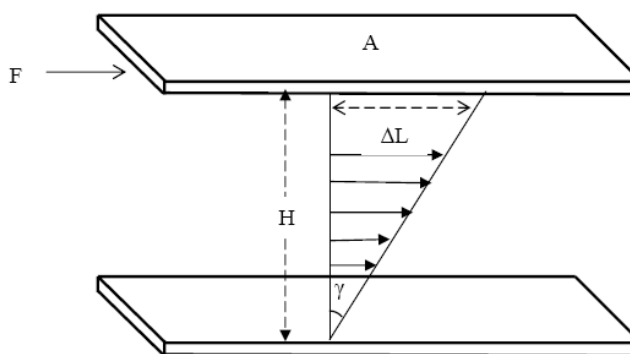
2.5 Χαρακτηριστικά ζύμης

Το ιξώδες της ζύμης μαζί με το ειδικό βάρος είναι από τα πιο βασικά χαρακτηριστικά της ζύμης του κέικ, που καθορίζουν την ποιότητα του κέικ (υφή και όγκο).

2.5.1 Ρεολογικά χαρακτηριστικά ζύμης

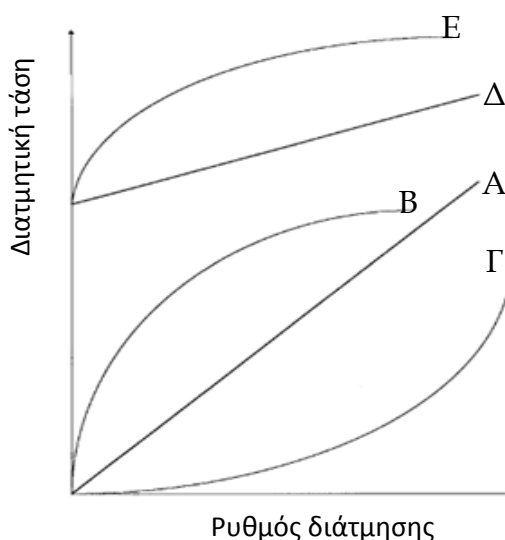
Η ρεολογία εξετάζει την παραμόρφωση των αντικειμένων υπό την επίδραση κάποιας δύναμης. Όταν μία δύναμη επιβάλλεται σε ένα υλικό, αυτό παραμορφώνεται και ο ρυθμός και ο τύπος της παραμόρφωσης χαρακτηρίζουν τις ρεολογικές του ιδιότητες.

Τα ρευστά μπορούν να παρασταθούν ως πολυστρωματικά συστήματα, στα οποία κατά τη ροή πάνω σε μία επιφάνεια, το ανώτερο στρώμα κινείται με ορισμένη ταχύτητα (ταχύτητα διάτμησης) και παρασύρει το επόμενο με ελαφρώς μικρότερη ταχύτητα κλπ. μέχρις ότου το τελευταίο στρώμα που εφάπτεται στην επιφάνεια να είναι ακίνητο (**Σχήμα 2.3**). Η δύναμη που κινεί το ρευστό είναι γνωστή ως διατμητική δύναμη (F) ενώ η κλίση της ταχύτητας διάτμησης ως διατμητική τάση (γ).



Σχήμα 2.3. Κίνηση στρωμάτων ρευστού με την επιβολή δύναμης (Daubert & Foegeding, 2003).

Στα νευτωνικά ρευστά (π.χ. νερό, κάποια έλαια κλπ.), η γραφική παράσταση της διατμητικής τάσης προς το ρυθμό διάτμησης είναι γραμμική (γραμμή Α – **Σχήμα 2.4**), ενώ στα μη-νευτωνικά (π.χ. γαλακτώματα, αιωρήματα κλπ.) η παραπάνω σχέση δεν είναι γραμμική (γραμμές Β,Γ,Δ,Ε – **Σχήμα 2.4**).



Σχήμα 2.4. Μεταβολή του ιξώδους των **νευτωνικών (Α)** και διαφόρων τύπων μη-νευτωνικών ρευστών, όπως **(Β) ψευδοπλαστικών** (το ιξώδες μειώνεται με αύξηση του ρυθμού διάτμησης π.χ. ζύμη κέικ), **(Γ) διασταλτικών** (το ιξώδες αυξάνεται με αύξηση του ρυθμού διάτμησης), **(Δ) πλαστικών τύπου Bingham** (δεν παρατηρείται ροή μέχρις ότου η δύναμη διάτμησης αποκτήσει μία κρίσιμη τιμή, από το σημείο αυτό και έπειτα η διατμητική τάση είναι γραμμική) και **(Ε) πλαστικών τύπου Casson** (δεν παρατηρείται ροή μέχρις ότου η δύναμη διάτμησης αποκτήσει μία κρίσιμη τιμή, από το σημείο αυτό και έπειτα η διατμητική τάση είναι μη-γραμμική).

Ο όρος ιξώδες χρησιμοποιείται στη βιομηχανία τροφίμων για να περιγράψει τη συμπεριφορά των υγρών τροφίμων στη ροή και ουσιαστικά εκφράζει την εσωτερική αντίσταση ενός ρευστού στη ροή. Η μέτρηση/έκφραση του ιξώδους θεωρείται συχνά πολύπλοκη, εξαιτίας των πολλών όρων που χρειάζονται για την περιγραφή του. Οι όροι δυναμικό ιξώδες (δύναμη προς τάση διάτμησης), κινηματικό ιξώδες (δυναμικό ιξώδες προς την πυκνότητα) και φαινόμενο ιξώδες (τάση διάτμησης σε συγκεκριμένο ρυθμό διάτμησης) είναι από τους συνηθέστερα χρησιμοποιούμενους. Για τον προσδιορισμό των ιδιοτήτων διάτμησης, και επομένως και του ιξώδους, χρησιμοποιούνται διάφορων τύπων ιξωδόμετρα όπως περιστροφικά ιξωδόμετρα, δυναμικά ιξωδόμετρα ταλάντωσης κλπ.

Το ιξώδες της ζύμης εξαρτάται κυρίως από τον τύπο (σχήμα, μέγεθος, κατανομή μοριακού βάρους κλπ.) και τη συγκέντρωση των συστατικών, το επίπεδο της ενσωμάτωσης αέρα και τη θερμοκρασία (στα υγρά το ιξώδες μειώνεται με αύξηση της θερμοκρασίας). Το υψηλό ιξώδες βοηθά στη διατήρηση περισσότερων φυσαλίδων αέρα στην ζύμη, αφού επιβραδύνει τη διάχυση των αερίων και την ανάδυση των φυσαλίδων στην επιφάνεια. Ειδικότερα, ο ρυθμός ανάδυσης των φυσαλίδων είναι αντιστρόφως ανάλογος με το ιξώδες της ζύμης. Επιπροσθέτως, το υψηλό ιξώδες εμποδίζει τη συνένωση των φυσαλίδων του παγιδευμένου αέρα που μπορεί να συμβεί λόγω της αποστράγγισης της περιβάλλουσας ζύμης κατά τη διάρκεια του κλιβανισμού και επομένως μειώνει τη συρρίκνωση του κέικ. Αντιθέτως, στα λιγότερο ιξώδη συστήματα, το CO₂ και οι υδρατμοί που παράγονται μπορεί να διαφύγουν από την ζύμη κατά τον κλιβανισμό και να περιορίσουν τη διόγκωση του κέικ ή ακόμα και να προκαλέσουν κατάρρευση του κέικ κατά τον κλιβανισμό. Στην πραγματικότητα, υπάρχει βέλτιστο ιξώδες που δεν είναι ούτε πολύ χαμηλό οπότε να αδυνατεί να συγκρατήσει τα αέρια στο εσωτερικό της ζύμης, ούτε πολύ υψηλό οπότε να περιορίζει την επέκταση (ικανότητα ροής) της ζύμης κατά τη θέρμανση (Pyley 1988, Vali & Choudhary 1990, Frye & Setser 1991, Doerry 1995, Cauvain & Young 2000, Fellows 2000, Sahi & Alava 2003, Sahin 2008).

2.5.2 Ειδικό βάρος

Το ειδικό βάρος της ζύμης ουσιαστικά δείχνει την ποσότητα του αέρα που έχει ενσωματωθεί στην ζύμη. Ορίζεται ως το πηλίκο της πυκνότητας της ζύμης προς την πυκνότητα του νερού και υπολογίζεται ως λόγος του βάρους συγκεκριμένου όγκου ζύμης προς το βάρος ίδιου όγκου νερού. Η ζύμη του κέικ έχει ειδικό βάρος <1 λόγω του ενσωματωμένου αέρα. Ο χρόνος της ανάμιξης έχει ιδιαίτερη επίπτωση στο ειδικό βάρος της ζύμης. Ειδικότερα, όσο μεγαλύτερη είναι η διάρκεια της ανάμιξης τόσο χαμηλότερο είναι το ειδικό βάρος της ζύμης, τουλάχιστον έως ότου φθάσει σε ένα ελάχιστο. Συχνά ελέγχεται κατά τη διάρκεια της ανάμιξης και αποτελεί κριτήριο καθορισμού του πέρατός της. Ιδανικά η ζύμη θα πρέπει να έχει χαμηλό ειδικό βάρος, που σε συνδυασμό με ένα σχετικά υψηλό ιξώδες, θα έχει ως αποτέλεσμα τη δημιουργία κέικ με μεγάλο όγκο και ομοιόμορφη δομή (Pylar 1988).

2.6 Κλιβανισμός

Ο κλιβανισμός είναι πιθανώς το πιο καθοριστικό στάδιο για την ποιότητα του κέικ, αφού όταν δεν γίνει σωστά μπορεί να αντισταθμίσει τη θετική επίδραση όλων των άλλων παραγόντων όπως ισορροπημένης συνταγής, καλών πρώτων υλών και κατάλληλων μεθόδων ανάμιξης. Κατά τον κλιβανισμό η ρευστή ζύμη μετατρέπεται σε ένα ελαφρύ, πορώδες, εύπεπτο και εύγευστο προϊόν με την επιβολή θερμότητας. Οι σπουδαιότερες μεταβολές που παρατηρούνται κατά τον κλιβανισμό είναι: αύξηση του όγκου, σχηματισμός και κασάνωση κρούστας, πήξη πρωτεϊνών, ζελατινοποίηση του αμύλου και απώλεια υγρασίας.

Στα αρχικά στάδια του κλιβανισμού τα λιπαρά τήκονται με τη βοήθεια της θερμότητας, αρχικά στο εξωτερικό μέρος της ζύμης και σταδιακά προς τα εσωτερικά τμήματα (αφού η μετάδοση της θερμότητας στην ζύμη είναι ταχύτερη μέσω των επιφανειών σε επαφή με τις φόρμες έψησης), και μειώνεται το ιξώδες της ζύμης. Η αύξηση της θερμοκρασίας στην εξωτερική πλευρά προκαλεί το σχηματισμό μίας λεπτής επιφανειακής επιδερμίδας η οποία αρχικά εμφανίζει διασταλτική ικανότητα. Παράλληλα προκαλείται διαστολή του αέρα και του CO_2 που βρίσκεται ήδη στις κυψελίδες της ζύμης, παράγεται ατμός από το υγρό και προωθείται η παραγωγή επιπλέον CO_2 από τους παράγοντες διόγκωσης, που εκτείνει περαιτέρω τις κυψελίδες. Ιδιαίτερα σημαντικό σε αυτό το στάδιο είναι το ιξώδες της ζύμης, καθώς παρότι μειώνεται λόγω αύξησης της θερμοκρασίας, πρέπει να είναι αρκετά υψηλό, ώστε να παρεμποδίσει στο μεγαλύτερο δυνατό βαθμό τη συνένωση των φυσαλίδων (που εξαρτάται επίσης και από το μέγεθος και τη διακύμανση του μεγέθους τους) και τη διαφυγή αερίου.

Στα μετέπειτα στάδια του κλιβανισμού, η θερμοκρασία της ζύμης συνεχίζει να αυξάνεται και το άμυλο αρχίζει να ζελατινοποιείται (αυξάνοντας το ιξώδες της ζύμης), ενώ η ζύμη εξακολουθεί να βρίσκεται σε κατάσταση τήξης και να διογκώνεται, λόγω των πιέσεων από τα αέρια διόγκωσης που επεκτείνουν τις κυψελίδες και τις διατηρούν τεντωμένες. Η πίεση αυτή πρέπει να διατηρηθεί στις κυψελίδες μέχρι να στερεοποιηθεί η δομή του κέικ, ενώ από την άλλη πλευρά αποτελεί αιτία δημιουργίας των κορυφών και ρωγμών που συναντώνται συχνά στην επιφάνεια του κέικ. Η συνεχής επέκταση των κυψελίδων σε συνδυασμό με την ζελατινοποίηση του αμύλου διαρρηγνύουν τις διακριτές κυψελίδες αέρα της ζύμης και έτσι σχηματίζονται οι συνδεδεμένες κυψελίδες της τελικής δομής. Η διόγκωση σταματά, όταν η δομή σταθεροποιηθεί από την πλήρη ζελατινοποίηση του αμύλου (κυρίως) και την πήξη των πρωτεϊνών (δευτερευόντως). Η θερμοκρασία στην οποία σταθεροποιείται η δομή επηρεάζεται από τη συγκέντρωση της σακχαρόζης και άλλων συστατικών στην ζύμη που καθυστερούν την ζελατινοποίηση του αμύλου. Όσο υψηλότερη είναι η περιεκτικότητά τους, τόσο μεγαλύτερη είναι η θερμοκρασία ζελατινοποίησης και η διάρκεια που θα παραμείνει υγρή η ζύμη κατά τη διάρκεια του κλιβανισμού, επιτρέποντας να επιτευχθεί μεγαλύτερος όγκος κέικ. Αν η θερμοκρασία ζελατινοποίησης είναι μικρότερη από το σημείο ζέσεως του νερού, το κέικ σταθεροποιείται σε ένα στερεό σύστημα. Αντιθέτως, αν αυξηθεί υπερβολικά και υπερβεί το σημείο ζέσεως του νερού, η ζύμη δεν μπορεί να σταθεροποιηθεί και το κέικ θα καταρρεύσει.

Τέλος η επιφάνεια του κέικ αποκτά ένα καστανό χρωματισμό. Η μέγιστη θερμοκρασία στο εσωτερικό της ζύμης είναι 100 °C, ενώ στην επιφάνεια είναι πολύ υψηλότερη (150 με 180 °C), με αποτέλεσμα να λαμβάνουν χώρα οι θερμικά καταλυόμενες αντιδράσεις καστανώσης, οι οποίες είναι μη-ενζυμικές και μη-οξειδωτικές και μπορούν να διακριθούν σε αντιδράσεις τόσο καραμελοποίησης όσο και Maillard. Και οι δύο αυτές αντιδράσεις πραγματοποιούνται στην επιφάνεια των προϊόντων και συμβάλλουν στο σχηματισμό του χαρακτηριστικού καστανού χρωματισμού τους.

Μετά τη σταθεροποίηση της ζύμης, σταματά η επέκτασή της και παρατηρείται μικρή συστολή του κέικ, καθώς η εσωτερική πίεση των αερίων εξισώνεται με αυτή της περιβάλλουσας ατμόσφαιρας. Τότε θεωρείται ότι έχει ολοκληρωθεί ο κλιβανισμός και είναι απαραίτητη η άμεση απομάκρυνση του κέικ από τον κλίβανο, καθώς όσο παραμένει στον κλίβανο θα χάνει υγρασία, οπότε η ποιότητά του θα υποβαθμίζεται και θα μειώνεται η διάρκεια ζωής του. Προκειμένου να προσδιοριστεί ο βέλτιστος χρόνος κλιβανισμού χρησιμοποιούνται διάφορες τεχνικές όπως η εισαγωγή ενός στελέχους στο κέικ ή η ελαφριά πίεση (με το δάχτυλο) στο κέντρο της επιφάνειας του κέικ που αποτελεί το τελευταίο τμήμα

που στερεοποιείται. Εφόσον το κέικ είναι έτοιμο, στην πρώτη περίπτωση το στέλεχος δεν θα έχει ίχνη ζύμης κατά την απομάκρυνσή του, και στη δεύτερη περίπτωση η επιφάνεια θα επανέλθει στο αρχικό σχήμα (springs back).

Το κέικ κατά την απομάκρυνσή του από τον κλίβανο είναι εύθραυστο, λόγω του ατμού που εξακολουθεί να παράγεται. Για αυτό αφήνεται να κρυώσει στη φόρμα έψησης για 10 min περίπου, προκειμένου να σταθεροποιηθεί. Στη συνέχεια το κέικ αφαιρείται από τη φόρμα έψησης, τοποθετείται σε ράφι/σχάρα και αφήνεται για να ψυχθεί. Η σχάρα επιτρέπει ομοιόμορφη κυκλοφορία του αέρα και αποτρέπει τη συμπύκνωση υγρασίας (Bennion & Bamford 1973b, Pyle 1988, Hosney 1988, Penfield & Campbell 1990, Cauvain & Young 2000, Cauvain & Young 2001, Cauvain & Young 2006, Conforti 2006, Lai & Lin 2006).

2.6.1 Παράμετροι ελέγχου κλιβανισμού

Οι βέλτιστες συνθήκες θερμοκρασίας και χρόνου κλιβανισμού του κέικ καθορίζονται από διάφορους παράγοντες όπως από την ποιότητα και ποσότητα των συστατικών, το επίπεδο των γλυκαντικών, την ποσότητα των υγρών στην ζύμη, το ιξώδες της ζύμης, το μέγεθος του κέικ κλπ. Χαρακτηριστικά αναφέρεται ότι οι ζύμες με υψηλή περιεκτικότητα σε ζάχαρη και λιπαρά χρειάζονται χαμηλότερες θερμοκρασίες κλιβανισμού. Ο χρόνος κλιβανισμού, συμβατικά στις θερμικές κατεργασίες, είναι αντιστρόφως ανάλογος προς τη θερμοκρασία κλιβανισμού.

Η θερμοκρασία κλιβανισμού επηρεάζει σημαντικά την ταχύτητα διεύδυσης της θερμότητας. Αν η θερμοκρασία του κλιβάνου είναι πολύ χαμηλή, το εξωτερικό μέρος του κέικ σταθεροποιείται με βραδύτερο ρυθμό και η μεμβράνη της επιφάνειας σχηματίζεται για μεγαλύτερο διάστημα, με αποτέλεσμα να χάνεται ποσότητα αερίων. Καθώς χάνονται τα αέρια από τις κυψελίδες, οι εναπομείνουσες κυψελίδες διογκώνονται, τα τοιχώματά τους γίνονται παχιά, ο όγκος του κέικ μειώνεται (διότι ορισμένα από τα κύτταρα καταρρέουν), ενώ το κέικ ενδέχεται να στερεοποιηθεί στο κεντρικό μέρος. Η υγρή ζύμη διογκώνεται ομοιόμορφα και οδηγεί σε κέικ με επίπεδη επιφάνεια. Επιπροσθέτως, τα κέικ χαρακτηρίζονται από αποχρωματισμένη ψίχα (ιδιαίτερα στον πυθμένα) και έχουν ξηρή αίσθηση κατά την κατανάλωση.

Αν η θερμοκρασία κλιβανισμού είναι πολύ υψηλή, σχηματίζεται και σταθεροποιείται αμέσως η κρούστα στην επιφάνεια του κέικ, ενώ το εσωτερικό του είναι ακόμα υγρό και δεν έχει διογκωθεί πλήρως. Η πίεση που δημιουργείται εντός της υγρής ζύμης πιέζει την κρούστα, προκαλώντας έντονα εξογκώματα ή κορυφές σε αυτήν. Επομένως τα κέικ που προκύπτουν διακρίνονται από έντονο χρωματισμό της κρούστας, μικρό όγκο, εξογκώματα ή κορυφές και ακανόνιστη ψίχα. Υψηλότερες θερμοκρασίες κλιβανισμού χρησιμοποιούνται

σε κέικ με υψηλή περιεκτικότητα σε λιπαρά και ζάχαρη, επειδή αυτά τα συστατικά ανυψώνουν τη θερμοκρασία στην οποία πήζουν οι πρωτεΐνες της κρούστας και ζελατινοποιείται το άμυλο. Έτσι, επιτρέπουν στην κρούστα να παραμείνει κάπως ευέλικτη ακόμη περισσότερο χρόνο και να αντέξει τις πιέσεις που παράγονται από το εσωτερικό της ζύμης (Bennion & Bamford 1973b, Pyle 1988, Doerry 1995, Conforti 2006, Lai & Lin 2006).

2.6.2. Κλίβανοι

Οι κλίβανοι κατηγοριοποιούνται σε μικρής δυναμικότητας (retailer ovens) και μεγάλης δυναμικότητας (wholesaler ovens). Οι μικρής δυναμικότητας περιλαμβάνουν σχεδόν όλους τους κλιβάνους ασυνεχούς λειτουργίας όπως κλίβανοι ορόφων, τροχού, ραφιών και περιστρεφόμενου δαπέδου, ενώ οι μεγάλης δυναμικότητας διακρίνονται σε κλιβάνους κινούμενου δαπέδου ή σήραγγας (tunnel ή traveling hearth ovens), κινούμενων δίσκων (traveling tray ovens) και μεταφορικής ταινίας (band ovens). Κατά τη διάρκεια του κλιβανισμού παράγεται θερμική ενέργεια (θερμότητα) που μεταφέρεται στο τρόφιμο μέσω αγωγής, συναγωγής και ακτινοβολίας.

Κατά τη συναγωγή τα ρεύματα αέρα μέσα στο θάλαμο του κλιβάνου μεταφέρουν θερμότητα με επαφή, όταν συναντούν στερεές επιφάνειες. Εντός της ζύμης η συναγωγή εμφανίζεται ως αποτέλεσμα της κίνησης υδρατμών και άλλων αερίων. Επιπλέον, η μετακίνηση του νερού, του τηγμένου λιπαρού και άλλων υγρών προκαλεί τη μεταφορά θερμότητας από μία περιοχή της ζύμης σε κάποια άλλη. Η συναγωγή αφορά άμεσα μόνο τις επιφάνειες που εκτίθενται σε ρεύμα αέρα, δηλαδή την επιφάνεια της ζύμης. Ο πυθμένας και τα πλευρικά τμήματα της ζύμης προστατεύονται από τη φόρμα έψησης και δεν συμμετέχουν άμεσα σε αυτό τον τύπο μεταφοράς θερμότητας. Αντιθέτως, η θερμότητα από συναγωγή μετατρέπεται σε θερμότητα από αγωγή, όταν αυξάνεται η θερμοκρασία ενός στερεού σώματος (φόρμα έψησης, πυθμένας κλιβάνου, κλπ.).

Κατά την αγωγή, η θερμότητα μεταδίδεται από θερμές σε ψυχρές περιοχές. Ειδικότερα κατά τον κλιβανισμό πραγματοποιείται αγωγή θερμότητας από τη θερμή φόρμα έψησης στην ψυχρή ζύμη του κέικ. Η φόρμα έψησης λαμβάνει τα αποθέματα ενέργειάς της μέσω ακτινοβολίας, με συναγωγή και μέσω της θερμότητας που επάγεται από τα ράφια στα οποία στηρίζεται. Επομένως, οι θερμότερες περιοχές είναι αυτές που έρχονται σε επαφή με τη φόρμα έψησης και ειδικά εκείνες όπου η φόρμα έρχεται σε επαφή με το ράφι του κλιβάνου.

Κατά την ακτινοβολία, η μεταφορά θερμότητας γίνεται από τις θερμές επιφάνειες, χωρίς τη μεσολάβηση κάποιου μέσου μεταφοράς. Η μεταφορά ενέργειας με υπέρυθρη ακτινοβολία αποτελεί σημαντικό παράγοντα για τη λειτουργία των περισσότερων κλιβάνων. Η

ακτινοβολία μετατρέπεται σε θερμότητα μέσω απορρόφησής της ή αλληλεπίδρασής της στα μόρια που απορροφάται. Η ενέργεια ακτινοβολίας προέρχεται από την πηγή θερμότητας του κλιβάνου και όλα τα θερμά μεταλλικά μέρη του. Η ενέργεια αυτή μεταφέρεται γραμμικά και ένα μεγάλο ποσοστό της δεν φτάνει ποτέ στο προϊόν, επειδή διακόπτεται από μη διαπερατές από την ακτινοβολία ουσίες.

Η αγωγή και η ακτινοβολία προκαλούν τοπικές διακυμάνσεις θερμότητας, αφού η αγωγή αυξάνει κυρίως τη θερμοκρασία του πυθμένα του ζύμης, ενώ η ακτινοβολία αντίστοιχα τη θερμοκρασία των εκτεθειμένων επιφανειών. Αντιθέτως η συναγωγή τείνει να εξισορροπήσει τις διακυμάνσεις αυτές. Όταν χρησιμοποιείται συμβατικός κλίβανος (ηλεκτρικός) πρέπει να δίνεται ιδιαίτερη προσοχή στη θέση των κέικ μέσα σε αυτόν. Συνήθως τα κέικ τοποθετούνται στη μέση ή στο κατώτερο τμήμα του κλιβάνου, έτσι ώστε να εξασφαλίζεται η αποτελεσματική ροή των ρευμάτων αέρα που θα έχει ως αποτέλεσμα την προώθηση ενός ομοιομόρφου ψησίματος και καστώνωσης του κέικ. Στην περίπτωση του κλιβάνου με αέρα, η κυκλοφορία του θερμού αέρα γίνεται με ανεμιστήρα και ως εκ τούτου, η έψηση επιτυγχάνεται πιο γρήγορα. Επιπροσθέτως στην περίπτωση αυτή, η θέση των κέικ στον κλίβανο δεν επηρεάζει την ποιότητά τους, λόγω της ομοιόμορφης κατανομής της θερμότητας κατά τη διάρκεια της έψησης (Matz 1992, Cauvain & Young 2001, Amendola & Rees 2003, Conforti 2006, Zhou & Therdthai 2008).

2.7 Παλαίωση (Μπαγιάτεμα) κατά την αποθήκευση

Η παλαίωση ή μπαγιάτεμα (staling) είναι ένας γενικός όρος που χρησιμοποιείται για να περιγράψει οποιαδήποτε αλλαγή (χημική ή φυσική), εκτός από τη μικροβιολογική αλλοίωση, που συμβαίνει/εμφανίζεται στα αρτοσκευάσματα κατά τη διάρκεια της αποθήκευσής τους και τα καθιστά λιγότερο αποδεκτά από τον καταναλωτή, λόγω υποβάθμισης του αρώματος και της υφής τους. Ο όρος παλαίωση αρχικά συνδέθηκε με τις αλλαγές στην κρυσταλλικότητα του αμύλου των αρτοσκευασμάτων, και για αυτό θεωρήθηκε από τους επιστήμονες των σιτηρών ότι για την περιγραφή των παραπάνω αλλαγών πιο κατάλληλος είναι ο όρος «αντιληπτή απώλεια φρεσκάδας» (perceived loss of freshness). Τελικά όμως καθιερώθηκε ο όρος παλαίωση.

Στην περίπτωση του κέικ, η παλαίωση είναι μια σύνθετη διαδικασία που περιλαμβάνει την απώλεια και την ανακατανομή υγρασίας σε συνδυασμό με την αναδιαμόρφωση του αμύλου, και οδηγεί σε υποβάθμιση της υφής του κέικ (ειδικότερα σε απώλεια της τρυφερότητάς του) και σε απώλεια του αρώματος του κέικ. Η παλαίωση στα κέικ συμβαίνει με βραδύτερο ρυθμό και σε μεγαλύτερο χρονικό διάστημα σε σχέση με την παλαίωση του άρτου. Αυτό μπορεί να αποδοθεί σύμφωνα με τους Gelinias et al. (1999) εν μέρει στο υψηλό

ποσοστό λιπαρού και στο χαμηλότερο ποσοστό αλεύρου του κέικ. Το χαμηλότερο ποσοστό αλεύρου έχει ως αποτέλεσμα την ύπαρξη χαμηλότερου επίπεδου αμύλου, οπότε και λιγότερου αναδιαμορφωμένου αμύλου που συμβάλλει καθοριστικά στην παλαίωση του κέικ. Το υψηλό ποσοστό λιπαρού οδηγεί στη δημιουργία περισσότερων συμπλόκων αμυλόζης-λιπαρού κατά το ψήσιμο και επομένως μειώνει την αναδιαμόρφωση του αμύλου κατά την αποθήκευση. Τα σύμπλοκα αμυλόζης-λιπαρού δεν μεταβάλλονται κατά την αποθήκευση, καθώς η θερμοκρασία αποθήκευσης δεν μπορεί να προκαλέσει τη διάλυσή τους. Επίσης, άλλη μια διαφορά ανάμεσα στην παλαίωση του κέικ και του άρτου έγκειται στη σχέση του ρυθμού σκλήρυνσης σε συνάρτηση με τη θερμοκρασία. Ειδικότερα στην περίπτωση του κέικ είναι ανάλογος (αυξάνεται με αύξηση της θερμοκρασίας αποθήκευσης στην περιοχή - 7 έως 20 °C), ενώ στην περίπτωση του άρτου αντιστρόφως ανάλογος (αυξάνεται καθώς μειώνεται η θερμοκρασία μέχρι τους -15 °C) με τη θερμοκρασία. Τέλος, αξίζει να σημειωθεί ότι ένα παλαιωμένο κέικ δεν επανέρχεται στην αρχική του κατάσταση με θέρμανση, όπως συμβαίνει στην περίπτωση της ψίχας του άρτου, γεγονός που υποδεικνύει διαφορετικό μηχανισμό παλαίωσης.

Η ψίχα του κέικ χάνει τη τρυφερότητά της και γίνεται πιο σκληρή, ενώ επιπροσθέτως χαρακτηρίζεται και από μια φαινόμενη ξηρότητα (apparent dryness), κατά τη διάρκεια της αποθήκευσης. Η σκληρότητα της ψίχας του κέικ αυξάνει πιο γρήγορα κατά τα πρώτα στάδια της αποθήκευσης, λόγω της αναδιαμόρφωσης του αμύλου και της απώλειας υγρασίας. Ειδικότερα η υγρασία που συγκρατείται στην ψίχα μεταναστεύει στις περιοχές χαμηλότερης υγρασίας, πιο κοντά και πάνω στην κρούστα, με αποτέλεσμα η κρούστα να χάνει την τραγανότητά της (μικρής σημαντικότητας, αφού τα κέικ δεν χαρακτηρίζονται από τραγανή κρούστα) και η ψίχα να «στεγνώνει». Στα πρώτα στάδια παρατηρείται και η απώλεια αρώματος, αφού τα διαλυτά αρωματικά συστατικά χάνονται μαζί με την υγρασία. Ύστερα από κάποιο χρονικό διάστημα (συνήθως 5-6 ημέρες), η υγρασία της ψίχας σταθεροποιείται, η σκληρότητα όμως της ψίχας συνεχίζει να αυξάνεται με χαμηλότερο ρυθμό. Η αύξηση αυτή οφείλεται στην αναδιαμόρφωση του αμύλου (η οποία φθάνει σε οριακή τιμή και σταματά να εξελίσσεται μετά από 10-15 ημέρες) καθώς και σε μια διαδικασία διάχυσης που περιλαμβάνει πιθανώς μεταφορά υγρασίας σε μικροσκοπικό επίπεδο μεταξύ των συστατικών του κέικ. Από τα παραπάνω είναι προφανές ότι η υγρασία της ψίχας είναι καθοριστική για την ποιότητα του κέικ κατά την αποθήκευση. Οργανοληπτικές μελέτες των Guy et al. (1983) επιβεβαιώνουν τον καθοριστικό ρόλο της υγρασίας και στην οργανοληπτική φρεσκάδα του κέικ, αφού σύμφωνα με αυτές οι καταναλωτές συνδέουν το φρέσκο κέικ με το υγρό κέικ.

Η αναδιαμόρφωση του αμύλου παίζει κυρίαρχο ρόλο στις αλλαγές που συμβαίνουν κατά την παλαίωση και περιλαμβάνει την προοδευτική ένωση των ζελατινοποιημένων τμημάτων του αμύλου σε μια πιο οργανωμένη (ordered) δομή. Η αναδιαμόρφωση του αμύλου γίνεται κατά την ψύξη και κατά την παλαίωση και περιλαμβάνει δύο διαφορετικές διαδικασίες: την ζελοποίηση της αμυλόζης που έχει διαλυτοποιηθεί κατά την ζελατινοποίηση (που κυριαρχεί τα πρώτα στάδια της αναδιαμόρφωσης-κατά την ψύξη του κέικ) και την ανακρυστάλλωση της αμυλοπηκτίνης μέσα στα ζελατινοποιημένα μόρια, που θεωρείται υπεύθυνη για τις μακροχρόνιες αλλαγές στη σκληρότητα και κρυσταλλικότητα των πηγμάτων αμύλου. Η αναδιαμόρφωση της αμυλοπηκτίνης επηρεάζεται επιπλέον, από την περιεκτικότητα της ψίχας σε υγρασία.

Εκτός από τις αλλαγές που συνδέονται με την παλαίωση, στα κέικ κατά την αποθήκευσή τους παρατηρείται και η ανάπτυξη μούχλας που είναι καθοριστική για το χρόνο ζωής τους. Τα κέικ, όταν εξέρχονται από τον κλίβανο δεν φέρουν μικροοργανισμούς, οπότε η ύπαρξη σπορίων ζυμών οφείλεται σε μόλυνση μεταγενέστερη του κλιβανισμού. Η αναπαραγωγή των σπορίων και επομένως η ανάπτυξη μούχλας εξαρτάται από την ενεργότητα νερού (a_w) του προϊόντος (Willhoft 1973, Guy 1983, Biliaderis 1990, Zobel & Kulp 1996, Gordon & Davis 1998, Szczesniak 1998, Gelinis et al. 1999, Cauvain & Young 2000, Edwards 2007).

2.8 Οργανοληπτικά Χαρακτηριστικά κέικ

Ο οργανοληπτικός έλεγχος των τροφίμων στηρίζεται στην εξέταση των χαρακτηριστικών τους με τις αισθήσεις και στη βαθμολόγησή τους με βάση αυθαίρετες κλίμακες. Τα οργανοληπτικά χαρακτηριστικά του κέικ παίζουν πρωταρχικό ρόλο στην ποιοτική του εκτίμηση και την αποδοχή του από τους καταναλωτές. Η αξιολόγηση των χαρακτηριστικών του κέικ και γενικότερα όλων των αρτοσκευασμάτων αρχίζει με την οπτική παρατήρηση της εμφάνισής τους και της εσωτερικής τομής τους, και συνεχίζει με αξιολόγηση της οσμής, της υφής, της αίσθησης στο στόμα, της γεύσης και του αρώματος αυτών. Έτσι, η αξιολόγηση των αρτοσκευασμάτων ξεκινά από τα εξωτερικά χαρακτηριστικά, συνεχίζει στα εσωτερικά και καταλήγει στα χαρακτηριστικά που γίνονται αντιληπτά με την εισαγωγή στη στοματική κοιλότητα (**Πίνακας 2.1**). Τα περισσότερα εσωτερικά και εξωτερικά ποιοτικά χαρακτηριστικά μπορούν να προσδιοριστούν και με αντικειμενικές μεθόδους, ενώ τα αντιληπτά στη στοματική κοιλότητα αξιολογούνται σχεδόν αποκλειστικά οργανοληπτικά.

Πίνακας 2.1. Τα κυριότερα ποιοτικά χαρακτηριστικά των κέικ

	Εξωτερικά	Εσωτερικά	Αντιληπτά στη στοματική κοιλότητα
Όγκος/Μέγεθος	X		
Σχήμα	X		
Χαρακτηριστικά κρούστας	X		
Χρώμα	X	X	
Δομή ψίχας/Πορώδες		X	
Υφή		X	X
Αίσθηση στο στόμα			X
Γεύση			X
Άρωμα			X

2.8.1 Εξωτερικά χαρακτηριστικά (Εμφάνιση)

2.8.1.1. Φρέσκο προϊόν

Όγκος: Είναι ο χώρος που συνολικά καταλαμβάνει το κέικ και εκφράζεται σε mL/g προϊόντος (ειδικός όγκος). Υπολογίζεται αντικειμενικά συνήθως με τη μέθοδο εκτόπισης σπόρων και αξιολογείται οργανοληπτικά ως επαρκής ή ανεπαρκής. Γενικά είναι επιθυμητός ο μεγάλος όγκος που δείχνει αφράτο κέικ, ενώ αντιθέτως ο μικρός όγκος δείχνει συρρίκνωση του κέικ .

Σχήμα: Διαφέρει ανάλογα με τον τύπο κέικ και τη φόρμα έψησης και αξιολογείται οργανοληπτικά κυρίως ως προς την ομοιομορφία του (μετατοπισμένη κορυφή, βυθισμένη κορυφή, συρρικνωμένες πλευρές, κλπ.), ενώ αντικειμενικά προσδιορίζεται και η συμμετρία του. Τα υψηλής ποιότητας κέικ εμφανίζουν λεία και στρογγυλεμένη επιφάνεια και δεν εμφανίζουν προεξοχές και αιχμηρές άκρες.

Χαρακτηριστικά κρούστας: Αξιολογούνται οργανοληπτικά τυχόν σκασίματα και ρωγμές που αναφέρονται στη διάσπαση της κρούστας και σχηματίζονται κατά τη διόγκωση στον κλιβανισμό. Επιπροσθέτως, ανάλογα με τον τύπο κέικ, μπορεί να προσδιοριστεί (αντικειμενικά και οργανοληπτικά) το πάχος, η σκληρότητα και η τραγανότητα της κρούστας. Επιθυμητή είναι η ύπαρξη λεπτής κρούστας, όχι ιδιαίτερα σκληρής και τραγανής, με όσο το δυνατόν λιγότερα σκασίματα και ρωγμές (ανάλογα με τον τύπο του κέικ).

Χρώμα κρούστας: Συνήθως κυμαίνεται από σκούρο κίτρινο έως καστανό. Επηρεάζεται από τη θερμοκρασία κλιβανισμού, το είδος της φόρμας έψησης και τα συστατικά της ζύμης (περιεκτικότητα σε σάκχαρα και πρωτεΐνες). Το χρώμα αξιολογείται οργανοληπτικά ως ανοιχτό, σκούρο, ανομοιόμορφο (ύπαρξη στιγμάτων), θαμπό κλπ. και προσδιορίζεται αντικειμενικά με χρήση χρωματομέτρου. Το χρώμα (κρούστας και ψίχας) θεωρείται σημαντικός παράγοντας εκτίμησης του τελικού προϊόντος, αφού η αρχική αποδοχή ή απόρριψη του προϊόντος συνήθως βασίζεται στην εμφάνισή του, της οποίας κύρια

παράμετρος είναι το χρώμα (Penfield & Campbell 1990, Doerry 1995, Cauvain & Young 2006).

2.8.1.2 Παλαιωμένο προϊόν

Στα παλαιωμένα κέικ προσδιορίζεται οργανοληπτικά η συρρίκνωσή τους, που αποτελεί κατεξοχήν επίπτωση της παλαίωσης, καθώς και τα χαρακτηριστικά της κρούστας, αφού συχνά παρατηρείται διάνοιξη των υπαρχουσών ρωγμών. Επιπροσθέτως, η επιφάνεια των παλαιωμένων κέικ αξιολογείται ως προς τη νωπότητα (που συνήθως αυξάνει λόγω της μεταφοράς της υγρασίας από την ψίχα στην κρούστα και είναι ανεπιθύμητη) και το χρώμα της (ομοιόμορφο, εμφάνιση λευκών στιγμάτων κλπ.). Αλλοιωμένο και μερικά αποχρωματισμένο κέικ, όχι μόνο επηρεάζει αρνητικά τους καταναλωτές, αλλά μπορεί συχνά να συνοδεύεται και από ανεπιθύμητες μεταβολές στην υφή και τη γεύση του.

2.8.2 Εσωτερικά χαρακτηριστικά (τομή του προϊόντος)

2.8.2.1 Φρέσκο προϊόν

Χρώμα ψίχας: Αποτελεί αποτέλεσμα της επίδρασης όλων των επιμέρους συστατικών της ζύμης και συνήθως είναι λευκό, υποκίτρινο ή κίτρινο (ανάλογα με τον τύπο του κέικ). Προσδιορίζεται αντικειμενικά με τη χρήση χρωματόμετρου και αξιολογείται οργανοληπτικά, ενώ γενικά επιθυμητός είναι ένας υποκίτρινος χρωματισμός.

Δομή ψίχας: Αποκαλύπτεται κατά την κοπή των αρτοσκευασμάτων και συνδέεται και με την υφή τους. Αντικειμενικά προσδιορίζεται με διάφορες οπτικές τεχνικές, ενώ οργανοληπτικά αξιολογείται ως προς το μέγεθος των κυψελίδων/πόρων (ανοικτή όταν αποτελείται από μεγάλες μεμονωμένες κυψελίδες και κλειστή όταν εμφανίζει μικροσκοπικές κυψελίδες), ως προς την ομοιομορφία και το σχήμα των κυψελίδων, ως προς το πάχος των τοιχωμάτων των κυψελίδων, ως προς την ύπαρξη οπών και ραβδώσεων, κλπ. Ιδιαίτερα το πάχος των τοιχωμάτων επηρεάζει και την υφή της ψίχας, αφού όταν τα τοιχώματα είναι λεπτά προκύπτει ψίχα με πιο απαλή υφή, ενώ αντίστοιχα, όταν έχουν μεγάλο πάχος, δίνουν ψίχα με τραχιά υφή. Ιδανικά τα κέικ έχουν κλειστή δομή με ομοιόμορφες σφαιρικές κυψελίδες και λεπτά τοιχώματα, χωρίς την ύπαρξη οπών και ραβδώσεων.

Υφή ψίχας: Προσδιορίζεται αντικειμενικά με χρήση αναλυτή υφής και αξιολογείται οργανοληπτικά συνήθως με ελαφριά συμπίεσή της με τις άκρες των δακτύλων ή με κοπή με μαχαίρι, ως προς διάφορα χαρακτηριστικά όπως σκληρότητα, συνεκτικότητα (ευθρυπτότητα), ελαστικότητα, προσκολλησιμότητα κλπ. Οι περισσότεροι καταναλωτές επιθυμούν προϊόντα με απαλή και τρυφερή ψίχα που να μην είναι εύθρυπτα, κομμιώδη και

κολλώδη, ούτε ιδιαίτερα ελαστικά (Penfield & Campbell 1990, Doerry 1995, Cauvain & Young 2006).

2.8.2.2 Παλαιωμένο προϊόν

Κατά την παλαίωση του προϊόντος εξετάζονται κυρίως οι παράμετροι της υφής της ψίχας, ενώ η δομή και το χρώμα της δεν μεταβάλλονται. Ειδικότερα, προσδιορίζεται η σκληρότητα, η συνεκτικότητα (ευθρυπτότητα), η ελαστικότητα και η προσκολλησιμότητα, όπως και στην περίπτωση του φρέσκου προϊόντος.

2.8.3 Χαρακτηριστικά αντιληπτά στη στοματική κοιλότητα

Τα χαρακτηριστικά αυτά αξιολογούνται μόνο οργανοληπτικά, ύστερα από την κατανάλωση του προϊόντος.

2.8.3.1 Φρέσκο προϊόν

Χαρακτηριστικά υφής

Η υφή των τροφίμων επιδρά σημαντικά στην αντίληψη των ποιοτικών τους χαρακτηριστικών από τους καταναλωτές. Τα χαρακτηριστικά της υφής του κέικ που αξιολογούνται στη στοματική κοιλότητα είναι η σκληρότητα, η αίσθηση αποδόμησης, η μασητικότητα, το κομμώδες, η προσκολλησιμότητα κλπ. Ειδικότερα, κατά τη διάρκεια της μάσησης, μεταφέρονται στον εγκέφαλο πληροφορίες για τις μεταβολές στην υφή μέσω των υποδοχέων που βρίσκονται στη στοματική κοιλότητα και των αισθητήρων της ακοής, με αποτέλεσμα να σχηματίζεται μια εικόνα των χαρακτηριστικών υφής του τροφίμου. Η διαδικασία αυτή ολοκληρώνεται σε διάφορα στάδια τα οποία μπορούν να περιγραφούν ως εξής:

1. κατά την πρώτη δαγκωματιά, σχηματίζεται η αρχική αντίληψη της σκληρότητας, της ικανότητας θραύσης και της συνοχής,
2. κατά τη μάσηση, σχηματίζεται η αντίληψη της μασητικότητας, της προσκολλησιμότητας και του κομμώδους. Επίσης γίνεται αισθητή η υγρασία και η λιπαρότητα του τροφίμου καθώς και το σχήμα κάθε κομματιού του,
3. κατά τη μάσηση γίνεται αντιληπτός ο ρυθμός με τον οποίο αποδομείται το τρόφιμο, η μορφή των κομματιών που σχηματίζονται, η απελευθέρωση ή απορρόφηση υγρασίας που παρατηρείται και η τυχόν κάλυψη της στοματικής κοιλότητας ή της γλώσσας με τεμάχια τροφίμου.

Ιδανικά τα κέικ πρέπει να έχουν τρυφερή υφή και ευχάριστη αίσθηση στο στόμα, η οποία να μην είναι ούτε ξηρή ούτε εύθρυπτη, ούτε κολλώδης, ούτε κομμώδης, και να διαλύεται

γρήγορα στο στόμα κατά τη μάσηση, χωρίς να σχηματίζονται συσσωματώματα με δυσκολία ενυδάτωσης και κατάποσης.

Χαρακτηριστικά αρώματος/γεύσης (flavour)

Το άρωμα και η γεύση είναι από τα βασικότερα ποιοτικά χαρακτηριστικά του κέικ και καθορίζουν σε μεγάλο βαθμό την αποδοχή των προϊόντων από τους καταναλωτές. Η γεύση ανιχνεύεται από τους γευστικούς κάλυκες της γλώσσας και του στόματος και χαρακτηρίζεται ως πικρή, αλμυρή, γλυκιά ή ξινή, ενώ το άρωμα είναι το χαρακτηριστικό που προκύπτει από το συνδυασμό των αισθήσεων της οσμής και της γεύσης και ανιχνεύεται κυρίως στο στόμα??. Τα χαρακτηριστικά αυτά καθορίζονται από τα συστατικά του κέικ. Τα υψηλής ποιότητας κέικ πρέπει να χαρακτηρίζονται από ευχάριστο άρωμα και γεύση, ενώ δεν πρέπει να ανιχνεύεται σε αυτά οποιαδήποτε ξένη ή δυσάρεστη γεύση ή άσχημη μετάγευση (Cauvain & Young 2006).

2.8.3.2 Παλαιωμένο προϊόν

Κατά την παλαίωση μεταβάλλονται τόσο οι παράμετροι της υφής όσο και του αρώματος/γεύσης (flavor). Ειδικότερα αξιολογούνται η σκληρότητα, η αίσθηση αποδόμησης, το κολλώδες και το κομμιώδες αναφορικά με την υφή, ενώ ιδιαίτερη βαρύτητα δίνεται στην ανάπτυξη δυσάρεστου αρώματος και μετάγευσης, καθώς και ταγγής γεύσης.

3. Διαιτητικές ίνες

3.1 Εισαγωγή

Οι διαιτητικές ίνες έχουν διαδραματίσει ιστορικά σημαντικό ρόλο στην ανθρώπινη διατροφή. Για πρώτη φορά τα οφέλη από την κατανάλωση ακατέργαστων τροφίμων αναφέρονται από τον Ιπποκράτη, όπου πρώτος εκείνος αναγνώρισε την καθαρτική δράση που επιφέρει η κατανάλωση αλεύρου σίτου ολικής άλεσης. Πολύ αργότερα, τον 19ο αιώνα, ο S. Graham, από τη βιομηχανία Graham Cracker, υποστήριξε ότι η κατανάλωση επεξεργασμένων υδατανθράκων είναι «μη υγιεινή» για τον ανθρώπινο οργανισμό. Κατόπιν αυτού οι βιομηχανίες επεξεργασίας σιτηρών Kellogg και Post άρχισαν να αυξάνουν την περιεκτικότητα του πιτύρου σιταριού στα προϊόντα τους. Στα μέσα του 20ου αιώνα, η ανάπτυξη της «υπόθεσης των διαιτητικών ινών» («Dietary Fiber Hypothesis») αποτέλεσε την απαρχή της σύγχρονης έρευνας, σε σχέση με τις ευεργετικές επιδράσεις από την κατανάλωση πλούσιων σε διαιτητικές ίνες τροφίμων (Prosky & DeVries 1992, Johnson & Southgate 1994).

Ο όρος «διαιτητικές ίνες» χρησιμοποιήθηκε για πρώτη φορά το 1953 από τον Hispley, για να περιγράψει τα συστατικά των φυτικών κυτταρικών τοιχωμάτων, τα οποία, όπως υποστήριξε, παρέχουν προστασία από την τοξιναιμία της κύησης. Ωστόσο, η υπόθεση των διαιτητικών ινών θεμελιώθηκε τη δεκαετία του 1970 με ιατρικές μελέτες που αφορούσαν τη σχέση μεταξύ διατροφής (και ιδίως του ρόλου των πολυσακχαριτών στη δίαιτα) και συχνότητας εμφάνισης ορισμένων χρόνιων ασθενειών. Συγκεκριμένα, η «υπόθεση των διαιτητικών ινών» προέκυψε από τις εργασίες δύο Βρετανών ιατρών, των Denis Burkitt και Hugh Trowell, στις αρχές της δεκαετίας του 1970 (Burkitt & Trowell 1975). Οι Burkitt και Trowell, κατά τη διαμονή τους στην ανατολική Αφρική, παρατήρησαν ότι οι εμφανιζόμενες εκεί ασθένειες διέφεραν από τις αντίστοιχες ασθένειες στις ανεπτυγμένες χώρες του δυτικού κόσμου. Ο Trowell ασχολήθηκε ιδιαίτερα με τις «μεταβολικές» ασθένειες (παχυσαρκία, διαβήτη και στεφανιαία νόσο), ενώ ο Burkitt, ως χειρουργός, κυρίως με τις ασθένειες του παχέος εντέρου και συγκεκριμένα με τον καρκίνο του παχέος εντέρου. Και οι δύο στηρίχθηκαν σε προγενέστερες έρευνες των A.R.P. Walker (Walker 1974) και T.L. Cleave, οι οποίοι είχαν διαπιστώσει μια σχέση μεταξύ των διατροφικών συνηθειών των λαών και των εμφανιζόμενων ασθενειών. Ειδικότερα ο Cleave είχε αναπτύξει την ιδέα της «ασθένειας των σακχάρου» και του «σύνδρομου της μειωμένης πρόσληψης ινών», που βασιζόνταν στην υπερβολική κατανάλωση επεξεργασμένων υδατανθράκων (σακχαρόζης, λευκού αλεύρου) και στη μειωμένη κατανάλωση ακατέργαστων φυτικών τροφίμων, αντίστοιχα (Cleave 1956, Cleave & Campbell 1966).

Το 1971 δημοσιεύτηκε το πρώτο σχετικό άρθρο στη βιβλιογραφία, όπου υποστηρίχτηκε ότι η εκκολπωματώση οφειλόταν σε δίαιτα χαμηλής περιεκτικότητας σε ίνες (Painter & Burkitt 1971). Ακολούθως ο Trowell (1972) σε άρθρα του σχετικά με τον καρκίνο του παχέος εντέρου και την ισχαιμική καρδιοπάθεια, χρησιμοποίησε τον όρο «διαιτητικές ίνες», που είχε χρησιμοποιηθεί νωρίτερα από τον Hipsley, για να περιγράψει τα συστατικά των φυτικών κυτταρικών τοιχωμάτων (Southgate 1992). Έτσι, διατυπώθηκε συνοπτικά η «υπόθεση των διαιτητικών ινών» ως εξής:

Δίαιτες οι οποίες είναι πλούσιες σε τρόφιμα που περιέχουν φυτικά κυτταρικά τοιχώματα σε σχετικά φυσική κατάσταση, προστατεύουν από μία σειρά ασθενειών που κυριαρχούν στις εύρωστες δυτικές χώρες, όπως είναι ο διαβήτης, η στεφανιαία νόσος, η παχυσαρκία, η νόσος της χοληδόχου κύστης, η εκκολπωματώση και ο καρκίνος του παχέος εντέρου.

Η υπόθεση αναφέρεται ουσιαστικά στην προστατευτική επίδραση της διατροφής η οποία είναι πλούσια σε φυτικά τρόφιμα και συγκεκριμένα σε συστατικά που περιέχονται στα κυτταρικά τοιχώματα των φυτών. Με βάση τα παραπάνω, οι Burkitt και Trowell εστίασαν την προσοχή τόσο της ιατρικής κοινότητας όσο και του πληθυσμού στα κυτταρικά τοιχώματα των φυτών, στα οποία αποδόθηκε και καθιερώθηκε ο όρος «διαιτητικές ίνες».

Έκτοτε, αναγνωρίζεται όλο και περισσότερο ότι με την κατανάλωση φυτικών τροφίμων (φρούτων, λαχανικών, σιτηρών) προσλαμβάνονται συστατικά με σημαντική βιολογική λειτουργία (διαιτητικές ίνες). Τα τελευταία 30 έτη έχει προκύψει σωρεία επιστημονικών δεδομένων, για τη σχέση της κατανάλωσης πλούσιων σε διαιτητικές ίνες τροφίμων και της προστασίας από τις παραπάνω ασθένειες. Ως εκ τούτου, οι διαιτητικές ίνες χαρακτηρίστηκαν ως «λειτουργικά τρόφιμα», καθώς μπορούν να επηρεάσουν θετικά μία ή περισσότερες στοχευμένες δράσεις του ανθρώπινου οργανισμού (Diplock *et al.* 1999).

Σήμερα, η έκδοση συνιστώμενων ημερήσιων ποσοτήτων λήψης διαιτητικών ινών από τους αρμόδιους οργανισμούς και οι αλλαγές στις διατροφικές συνήθειες των λαών, εντείνουν την προσπάθεια εμπλουτισμού των τροφίμων με συστατικά υψηλής περιεκτικότητας σε ίνες. Επιπροσθέτως, η κατανόηση της τεχνολογικής λειτουργικότητας κατά τη χρήση των ινών, συνέβαλε στη βελτίωση της οργανοληπτικής ποιότητας των εμπλουτισμένων με διαιτητικές ίνες τροφίμων, και επομένως στην αύξηση της κατανάλωσής τους.

3.2 Ορισμός των διαιτητικών ινών

Προτού καθιερωθεί η επωνομασία των «ινών» ως διαιτητικών, είχαν χρησιμοποιηθεί και κάποιοι άλλοι όροι που περιέγραφαν εν μέρει τις διαιτητικές ίνες σύμφωνα με τον ισχύοντα σήμερα ορισμό. Έτσι, κατά τον 19^ο αιώνα χρησιμοποιήθηκε ο όρος ακατέργαστες ίνες (crude fiber), για να περιγράψει ορισμένα συστατικά των ζωοτροφών που παρέμεναν ως υπόλειμμα μετά από παρατεταμένη και έντονη χημική χώνευση. Οι ακατέργαστες ίνες θεωρούνταν εξολοκλήρου μη αφομοιώσιμα και μικρής αξίας συστατικά για την ανθρώπινη διατροφή, και σπανίως αναφέρονταν στους διατροφικούς πίνακες, παρά μόνο για τον ορθότερο υπολογισμό του θερμιδικού περιεχομένου των εκάστοτε τροφίμων, μετά την αφαίρεσή τους. Ένας όρος που χρησιμοποιήθηκε ακόμη από τον PJ Van Soest (Van Soest 1963) ήταν «detergent» ίνες, που αφορούσε επίσης τις περιεχόμενες στις ζωοτροφές ίνες και δεν περιλάμβανε τα διαλυτά συστατικά.

Όπως ήδη αναφέρθηκε, ο όρος «διαιτητικές ίνες» χρησιμοποιήθηκε πρώτα από τον Hipsley και αργότερα από τον Trowell. Έκτοτε, έχουν διατυπωθεί διάφοροι ορισμοί για τις διαιτητικές ίνες, βασιζόμενοι σε διαφορετικές προσεγγίσεις. Ειδικότερα, ο ορισμός με βάση τη «βοτανική» προσέγγιση, αναφέρει τις διαιτητικές ίνες ως συστατικά των κυτταρικών τοιχωμάτων των φυτών, ο ορισμός με βάση τη «χημική» προσέγγιση αναφέρει τις διαιτητικές ίνες ως μη αμυλούχους πολυσακχαρίτες, και τέλος ο ορισμός με βάση τη «φυσιολογική» προσέγγιση αναφέρει τις διαιτητικές ίνες ως πολυσακχαρίτες, ολιγοσακχαρίτες και άλλες σχετικές ουσίες των κυτταρικών τοιχωμάτων που παρουσιάζουν ανθεκτικότητα στην πέψη στον ανώτερο γαστρεντερικό σωλήνα (Guillon et al. 2000).

Ο Trowell διατήρησε τον όρο «ίνες» που είχε σχέση με τη μη αφομοιωσιμότητα, αλλά ανέπτυξε έναν ορισμό που περιελάμβανε όλα τα σημαντικά διαιτητικά συστατικά και όχι μόνο το υπόλειμμα που προέκυπτε από την τεχνική μέτρησης των ακατέργαστων ινών. Ειδικότερα, με τον όρο διαιτητικές ίνες περιέλαβε όλες τις ουσίες με κοινό χαρακτηριστικό τη μη αφομοιωσιμότητά τους από τα πεπτικά ένζυμα του ανθρώπου. Έτσι, ο ορισμός που διατυπώθηκε από τον Trowell το 1976 ήταν ο εξής: «Οι διαιτητικές ίνες αποτελούνται από υπολείμματα (remnants) των φυτικών κυττάρων που δεν υδρολύονται (αφομοιώνονται) από τα πεπτικά ένζυμα του ανθρώπου». Ως κύρια συστατικά των διαιτητικών ινών ορίστηκαν οι ημικυτταρίνες, η κυτταρίνη, η λιγνίνη, οι ολιγοσακχαρίτες, οι πηκτίνες και τα κόμμεα.

Οι διαιτητικές ίνες λοιπόν συνοπτικά καθορίστηκαν από το 1976. Καθώς όμως με έρευνες αποδεικνύονταν νέες ιδιότητες των διαιτητικών ινών με σημαντικές επιδράσεις στην ανθρώπινη διατροφή, επανήλθε η συζήτηση για τον ορισμό τους. Το 1979, στην 93^η ετήσια

συνάντηση της AOAC (Association of Official Analytical Chemists), οι Prosky και Harland ξεκίνησαν τη διαδικασία προτυποποίησης τόσο του ορισμού όσο και της μεθοδολογίας για τον προσδιορισμό των διαιτητικών ινών με διεξαγωγή συλλογικών (collaborative) μελετών (ανάπτυξη της AOAC 985.29 de facto μεθόδου). Το 1981, στην 95^η συνάντηση της AOAC, από εκατοντάδες προτάσεις της επιστημονικής κοινότητας, κατέληξαν στον ορισμό του Trowell.

Εναλλακτικά, οι Englyst et al. (1987) πρότειναν να απαλειφθεί ο όρος μη αφομοιώσιμα υπολείμματα, προκειμένου να γίνει αποδεκτός ένας πιο αυστηρά χημικός (σε αντίθεση με τις αναφορές σε φυσιολογικές δράσεις) ορισμός, που θα όριζε τις διαιτητικές ίνες ως μη αμυλούχους πολυσακχαρίτες. Οι μη αμυλούχοι πολυσακχαρίτες θα προσδιορίζονταν με μεθόδους ενόργανης ανάλυσης μετά την απομόνωσή τους με ενζυμική κατεργασία. Η εναλλακτική αυτή προσέγγιση ενείχε ως βασικό μειονέκτημα ότι δεν περιλάμβανε στις διαιτητικές ίνες το ανθεκτικό άμυλο, το οποίο αποτελεί συστατικό ορισμένων τροφίμων που δεν αφομοιώνεται από τα ένζυμα του ανθρώπου (Prosky & DeVries 1992).

Μεταγενέστερα, κατά τα έτη 1992-1993, η AOAC International προκειμένου να επιτευχθεί συναίνεση σχετικά με τον ορισμό των διαιτητικών ινών, τις μεθόδους προσδιορισμού τους, και την κατάλληλη ταξινόμηση των μη υδρολυόμενων από τα πεπτικά ένζυμα του ανθρώπου ολιγοσακχαριτών (Lee & Prosky 1995), διεξήγαγε δύο έρευνες. Βάσει αυτών προέκυψε ότι: α) ο ορισμός των διαιτητικών ινών θα πρέπει να ενσωματώνει τόσο τις φυσιολογικές δράσεις που επιφέρει η κατανάλωσή τους στον ανθρώπινο οργανισμό όσο και τη χημική τους φύση, και β) ουσίες όπως το ανθεκτικό άμυλο, η λιγνίνη και οι ολιγοσακχαρίτες που δεν υδρολύονται από τα πεπτικά ένζυμα των ανθρώπων, θα πρέπει να συμπεριληφθούν στον ορισμό των διαιτητικών ινών. Οι Cho (πρώην Lee) και Prosky πρότειναν επίσης την επέκταση του ορισμού των διαιτητικών ινών και τη διερεύνηση νέων μεθόδων προσδιορισμού για όλες τις παραπάνω ουσίες, πρόταση η οποία υιοθετήθηκε τον Οκτώβριο του 1995 στο AOAC Workshop για τους σύνθετους υδατάνθρακες (Lee & Prosky 1995, Cho & Prosky 1999). Τελικά, σε μεταγενέστερες συναντήσεις υπό την αιγίδα της AACC (American Association of Cereal Chemists) το 2000, προέκυψε ο παρακάτω ορισμός που ενσωματώνει όλα τα στοιχεία του ορισμού του Trowell του 1975 καθώς και νέα στοιχεία από τις γνώσεις που αποκτήθηκαν κατά τα επόμενα 25 χρόνια:

«Διαιτητικές ίνες αποτελούν τα εδώδιμα μέρη των φυτών ή οι ανάλογοι υδατάνθρακες, που είναι ανθεκτικά στην πέψη και την απορρόφηση στο λεπτό έντερο του ανθρώπου, με πλήρη ή μερική ζύμωση στο παχύ έντερο. Οι διαιτητικές ίνες περιλαμβάνουν πολυσακχαρίτες, ολιγοσακχαρίτες, λιγνίνη και συνδεδεμένες με αυτά φυτικές ουσίες. Οι

δισακχαρικές ίνες προωθούν ευεργετικές φυσιολογικές δράσεις, συμπεριλαμβανομένων της καλής λειτουργίας (εκκένωσης) του εντέρου, και/ή μετρίασης της χοληστερόλης του αίματος, και /ή μετρίασης της γλυκόζης του αίματος».

Εν τω μεταξύ, η επιτροπή τροφίμων και διατροφής του ΙΟΜ (Institute of Medicine-Ινστιτούτο της Ιατρικής) είχε καταλήξει σε διαφορετικό ορισμό των διαιτητικών ινών, σύμφωνα με τον οποίο αυτές διακρίνονταν σε λειτουργικές, ολικές και διαιτητικές ίνες ανάλογα με την προέλευσή τους. Το 2002 το ΙΟΜ συμφώνησε με τον ορισμό της ΑΑΑΑ (ΙΟΜ 2002) και αυτός υιοθετήθηκε το 2006 και από τον FDA με την εξής διατύπωση:

«Οι διαιτητικές ίνες είναι πολυμερή υδατανθράκων με βαθμό πολυμερισμού μεγαλύτερο από 3, τα οποία δεν πέπτονται ούτε απορροφώνται στο λεπτό έντερο. Ο βαθμός πολυμερισμού μικρότερος του 3 αποσκοπεί στον αποκλεισμό των μονο-και δισακχαριτών και δεν αντιστοιχεί στο μέσο βαθμό πολυμερισμού ενός μίγματος. Οι διαιτητικές ίνες αποτελούνται από: εδώδιμα πολυμερή υδατανθράκων που απαντώνται φυσικά στα τρόφιμα, ή/και πολυμερή υδατανθράκων που έχουν ληφθεί από πρώτες ύλες τροφίμων με φυσικά, ενζυμικά ή χημικά μέσα, ή/και συνθετικά πολυμερή υδατανθράκων» (ALINORM 06/29/26).

Τελικά, η επιτροπή του Codex Alimentarius το 2009 με βάση όλους τους προγενέστερους ορισμούς διατύπωσε τον παρακάτω ορισμό, που ισχύει μέχρι και σήμερα:

«Οι διαιτητικές ίνες αποτελούνται από υδατανθρακικά πολυμερή με δέκα ή περισσότερα μονομερή** τα οποία δεν αφομοιώνονται ούτε απορροφώνται από το λεπτό έντερο του ανθρώπινου οργανισμού και εμπίπτουν στις εξής κατηγορίες: α) εδώδιμα υδατανθρακικά πολυμερή που απαντώνται φυσικά στα τρόφιμα ως έχουν, ή β) εδώδιμα υδατανθρακικά πολυμερή που έχουν ληφθεί από πρώτες ύλες τροφίμων με φυσικά, ενζυμικά ή χημικά μέσα και έχουν ωφέλιμη επίδραση στη φυσιολογία του οργανισμού, η οποία αποδεικνύεται με γενικώς αποδεκτά επιστημονικά στοιχεία, ή γ) εδώδιμα συνθετικά υδατανθρακικά πολυμερή που έχουν ωφέλιμη επίδραση στη φυσιολογία του οργανισμού, η οποία αποδεικνύεται με γενικώς αποδεκτά επιστημονικά στοιχεία».*

*όταν η πηγή προέλευσης είναι φυτική, οι διαιτητικές ίνες μπορεί να περιλαμβάνουν κλάσματα λιγνίνης και/ή άλλες ενώσεις που συνδέονται με τους πολυσακχαρίτες στα κυτταρικά τοιχώματα των φυτών. Οι ουσίες αυτές (κλάσματα λιγνίνης, φαινολικές ενώσεις, κηροί, άλατα φυτικού οξέος, σαπωνίνες, κουτίνη, φυτοστερόλες, κτλ.), όταν είναι ισχυρά συνδεδεμένες με υδατανθρακικά πολυμερή φυτικής προέλευσης, εκχυλίζονται κατά την ανάλυση των διαιτητικών ινών με τα υδατανθρακικά πολυμερή και συγκαταλέγονται στις

διαιτητικές ίνες. Ωστόσο, όταν οι συνδεδεμένες αυτές ουσίες απομονώνονται από τα υδατανθρακικά πολυμερή και προστίθενται σε ένα τρόφιμο, δεν θα πρέπει να θεωρούνται ως διαιτητικές ίνες, γιατί μόνο όταν αυτές συνδυάζονται με τους πολυσακχαρίτες μπορεί να παρέχουν επιπρόσθετα φυσιολογικά οφέλη.

****η απόφαση για το αν θα περιλαμβάνονται υδατάνθρακες με 3 έως 9 μονομερή επαφίεται στη διακριτική ευχέρεια των εθνικών αρχών.**

Αξίζει να σημειωθεί ότι ο ορισμός του Codex Alimentarius περιλαμβάνει στις διαιτητικές ίνες και πολυσακχαρίτες από ζωικές πηγές, η φυσιολογική επίδραση των οποίων στον οργανισμό, όταν είναι ενδογενείς, δεν χρειάζεται να αποδειχθεί. Το τμήμα αυτό του νέου ορισμού δεν συζητήθηκε εκτενώς στη συνάντηση της επιτροπής και είναι πιθανόν να αναδιατυπωθεί. Επίσης, τα φυσιολογικά κριτήρια που πρέπει να πληρούν οι ουσίες, για να χαρακτηρίζονται διαιτητικές ίνες, δεν είναι καθορισμένα και μπορεί να διαφέρουν σημαντικά ανάλογα με τη χώρα. Τέλος, δεν είναι σαφές κατά πόσο οι πολυσακχαρίτες με 3-9 μονομερή μπορούν να αναφέρονται ως διαιτητικές ίνες, παρόλο που οι αρμόδιες αρχές των περισσότερων χωρών (με εξαίρεση τις ΗΠΑ-FDA) τους έχουν ήδη συμπεριλάβει στον ορισμό (Lupton 2010).

Συνοψίζοντας, οι τρεις εν ενεργεία ορισμοί (AACC, IOM, Codex) φαίνεται ότι δεν διαφέρουν σημαντικά. Όλοι οι ορισμοί δίνουν έμφαση στα φυσιολογικά οφέλη (αν και ο τελευταίος δεν αναφέρει συγκεκριμένες φυσιολογικές επιδράσεις που θα πρέπει να επιφέρει η κατανάλωση διαιτητικών ινών), και συμπεριλαμβάνουν ολιγοσακχαρίτες με περισσότερα από 3 μονομερή (αν και ο τελευταίος αναθέτει την απόφαση για τη συμμετοχή τους στις αρμόδιες αρχές κάθε χώρας) (DeVries 2010).

Στη συνέχεια αναλύεται σύντομα ο βασικός ορισμός της AACC ο οποίος περιγράφει καταλληλότερα τα κύρια χαρακτηριστικά των ινών:

Οι διαιτητικές ίνες είναι τα εδώδιμα μέρη των φυτών: Τονίζεται η φυτική τους κυρίως υπόσταση, ενώ υπάρχουν ακόμη ενστάσεις για το αν τα μη αφομοιώσιμα μέρη ζωικών τροφών θα πρέπει να συμπεριληφθούν στις εδώδιμες ίνες, όπως ορίζει ο πιο πρόσφατος ορισμός του Codex Alimentarius.

ή ανάλογοι υδατάνθρακες: Οι υδατάνθρακες που έχουν δομή ανάλογη με εκείνη των φυσικά απαντώμενων διαιτητικών ινών, έχει αποδειχθεί ότι παρουσιάζουν και ανάλογες φυσιολογικές ιδιότητες. Οι ανάλογοι υδατάνθρακες παράγονται είτε με χημικές ή/και φυσικές διεργασίες (τροποποιημένοι φυσικοί πολυσακχαρίτες, ανθεκτικό άμυλο) είτε με σύνθεση. Το ανθεκτικό άμυλο αποτελεί μια τέτοια χαρακτηριστική περίπτωση και ορίζεται ως το άθροισμα του αμύλου και των

προϊόντων αποικοδόμησής του που δεν απορροφώνται στο λεπτό έντερο (Asp 1992, Asp et al. 1996). Στην πραγματικότητα, το άμυλο μπορεί να αφομοιωθεί ελλιπώς για διάφορους λόγους, εξωγενείς που σχετίζονται με το περιβάλλον του αμύλου στα τρόφιμα (π.χ. εγκλεισμός του στη μήτρα των τροφίμων), ή εγγενείς που αναφέρονται στα ίδια τα χαρακτηριστικά του αμύλου (π.χ. ανθεκτικοί κόκκοι αμύλου, τροποποιημένο άμυλο, αναδιαμορφωμένο άμυλο).

που είναι ανθεκτικά στην πέψη και την απορρόφηση στο λεπτό έντερο του ανθρώπου: Λόγω ακριβώς της αντοχής στην πέψη και στην απορρόφηση οι διαιτητικές ίνες θεωρούνται κατ' ουσίαν τόσο σημαντικές στη διατροφή του ανθρώπου. Τα θρεπτικά συστατικά (εκτός από τις διαιτητικές ίνες) θεωρούνται βιοδιαθέσιμα, εφόσον διασπώνται ή διαλύονται και απορροφώνται από τα τοιχώματα του λεπτού εντέρου έτσι, ώστε να είναι διαθέσιμα για τις λειτουργίες του ανθρώπινου σώματος. Οι ουσίες που χαρακτηρίζονται ως διαιτητικές ίνες έχουν την ιδιαιτερότητα ότι περνούν από το λεπτό έντερο και φθάνουν στο παχύ έντερο άθικτες.

με πλήρη ή μερική ζύμωση στο παχύ έντερο: Οι θετικές επιδράσεις των διαιτητικών ινών στην υγεία σχετίζονται, εν μέρει, με τη ζύμωση που υφίστανται στο παχύ έντερο από τα εντερικά βακτήρια. Η ζύμωση αυτή επιδρά θετικά στην εκκένωση και το pH του εντέρου, ενώ κατ' αυτήν παράγονται λιπαρά οξέα μικρής αλυσίδας στα οποία έχουν αποδοθεί τα θετικά φυσιολογικά αποτελέσματα των ινών.

Οι διαιτητικές ίνες περιλαμβάνουν πολυσακχαρίτες: Πολυσακχαρίτες όπως η κυτταρίνη και οι ημικυτταρίνες είναι τα κύρια συστατικά των διαιτητικών ινών. Η μεγάλου μοριακού μεγέθους κυτταρίνη προσδίδει στις διαιτητικές ίνες "ινώδη" εμφάνιση. Οι πολυσακχαρίτες όπως οι β-γλυκάνες τους προσδίδουν κομμώδη και ζελατινώδη φύση, χαρακτηριστική των διαλυτών διαιτητικών ινών. Όλοι οι μη αφομοιώσιμοι και μη ζυμώσιμοι πολυσακχαρίτες περιλαμβάνονται στον ορισμό των διαιτητικών ινών, είτε πρόκειται για γλυκάνες όπως η κυτταρίνη ή β-γλυκάνες, ή για φρουκτάνες όπως η ινουλίνη, ή για ετεροπολυμερή όπως οι αραβινοξυλάνες και οι αραβινογαλακτάνες, ή για ανάλογους υδατάνθρακες όπως το ανθεκτικό άμυλο.

ολιγοσακχαρίτες: Οι μη αφομοιώσιμοι ολιγοσακχαρίτες, που αναφέρονται και ως ανθεκτικοί ολιγοσακχαρίτες, ορίζονται είτε με βάση φυσιολογικά κριτήρια (είναι ανθεκτικοί στην ενζυμική υδρόλυση στο λεπτό έντερο λόγω της φύσης των γλυκοζιτικών δεσμών τους) είτε με χημικά κριτήρια (βαθμός πολυμερισμού) και συνεισφέρουν στον οργανισμό πολλά από τα φυσιολογικά οφέλη των διαιτητικών ινών. Το ακριβές όριο μεταξύ ολιγοσακχαριτών και πολυσακχαριτών είναι αυθαίρετο,

αλλά γενικώς ως ολιγοσακχαρίτες ορίζονται τα σάκχαρα που περιέχουν 3 έως 10 μονοσακχαρίτες (<10:FAO/WHO 1997, Asp et al. 1992). Ο ορισμός αυτός περιλαμβάνει και τους ολιγοσακχαρίτες με πρεβιοτικές ιδιότητες που έχουν βαθμό πολυμερισμού 3-10. Από τους πιο σημαντικούς ολιγοσακχαρίτες είναι οι φρουκτο-ολιγοσακχαρίτες και οι γαλακτο-ολιγοσακχαρίτες (α-γαλακτοζίτες) (Cho et al. 1999, Guillon et al. 2000).

Λιγνίνη: Αν και η λιγνίνη δεν είναι πολυσακχαρίτης, είναι άρρηκτα συνδεδεμένη με τους πολυσακχαρίτες των διαιτητικών ινών στα τρόφιμα και αυξάνει την αντίσταση στην πέψη.

και συνδεδεμένες φυτικές ουσίες: Οι κηροί, η κουτίνη και η σουβερίνη είναι μη αφομοιώσιμα παράγωγα λιπαρών οξέων τα οποία, όπως και η λιγνίνη, βρίσκονται συνδεδεμένα με τους πολυσακχαρίτες των διαιτητικών ινών, χρησιμεύοντας συχνά ως συνδετικά μεταξύ των διαφόρων συστατικών και αυξάνοντας την αντίσταση στην πέψη.

Οι διαιτητικές ίνες προωθούν ευεργετικές φυσιολογικές δράσεις: Ένα συστατικό του διαιτολογίου θεωρείται σημαντικό για τη διατροφή και την υγεία, εφόσον προκαλεί είτε αρνητική είτε θετική επίδραση σε λειτουργίες του ανθρώπινου οργανισμού. Στην περίπτωση των διαιτητικών ινών, οι παλαιότεροι ορισμοί βασίζονταν σε επιστημονικές έρευνες που αποδείκνυαν τα αναμενόμενα θετικά φυσιολογικά οφέλη από την κατανάλωση των διαιτητικών ινών. Για τους ανάλογους υδατάνθρακες που συμπεριλαμβάνονται στις διαιτητικές ίνες πρέπει να αποδεικνύεται τουλάχιστον μία από τις θετικές φυσιολογικές επιδράσεις που περιέχονται στον ορισμό αυτό.

συμπεριλαμβανομένης της καλής λειτουργίας (εκκένωσης) του εντέρου: Η εκκένωση του εντέρου αποτελεί δεδομένο και πολύ σημαντικό φυσιολογικό αποτέλεσμα που προκύπτει από την αύξηση κατανάλωσης διαιτητικών ινών έναντι άλλων συστατικών τροφίμων.

και/ή: Η χρήση του «και/ή» περιλαμβάνεται στον ορισμό των διαιτητικών ινών, επειδή όλες οι διαιτητικές ίνες δεν επιφέρουν το σύνολο των θετικών επιδράσεων, αναμένεται όμως να επιφέρουν τουλάχιστον μία από αυτές.

μετρίαση της χοληστερόλης του αίματος, και /ή μετρίαση της γλυκόζης του αίματος: Μετρίαση είναι η προσαρμογή μίας παραμέτρου σε ένα κατάλληλο ή επιθυμητό επίπεδο (συνήθως χαμηλότερο). Έρευνες έχουν δείξει ότι η αυξημένη κατανάλωση διαιτητικών ινών ρυθμίζει τα επίπεδα της χοληστερόλης, ενός δείκτη που σχετίζεται με τη στεφανιαία νόσο. Η αυξημένη κατανάλωση διαιτητικών ινών έναντι άλλων τροφών μειώνει αισθητά τα επίπεδα της γλυκόζης του αίματος μετά την κατανάλωση φαγητού.

Παρότι όλες οι διαιτητικές ίνες δεν επιδεικνύουν τις ευεργετικές αυτές ιδιότητες (και ως εκ τούτου, δηλώνεται με και/ή στον ορισμό), συνήθως οι παραπάνω θετικές επιδράσεις παρουσιάζονται γενικώς ως αποτέλεσμα της κατανάλωσης διαιτητικών ινών.

3.3 Χημική σύσταση διαιτητικών ινών

Σύμφωνα με τον ορισμό, οι διαιτητικές ίνες είναι είτε εδώδιμα μέρη των φυτών (ομοπολυσακχαρίτες, ετεροπολυσακχαρίτες, ολιγοσακχαρίτες, λιγνίνη) είτε ανάλογοι υδατάνθρακες (ανθεκτικό άμυλο, τροποποιημένοι φυσικοί πολυσακχαρίτες, συνθετικά πολυμερή κλπ.). Στον **Πίνακα 3.1** που ακολουθεί συνοψίζονται τα μονομερή και τα πολυμερή που αποτελούν τις διαιτητικές ίνες (εκτός της λιγνίνης).

Πίνακας 3.1. Δομικές μονάδες διαιτητικών ινών

Μονομερή	Πολυμερή	
	Ολιγοσακχαρίτες	Πολυσακχαρίτες
Αραβινόζη	Φρουκτο- ολιγοσακχαρίτες	Κυτταρίνη
Ξυλόζη		Ξυλογλυκάνες
Γαλακτόζη	Γαλακτο- ολιγοσακχαρίτες	(Γλυκουρονο)-Αραβινοξυλάνες
Γλυκόζη		Γλυκομαννάνες
Φρουκτόζη		Γαλακτάνες
Μαννόζη		Γαλακτομαννάνες
Φουκόζη		β-Γλυκάνες
Ραμνόζη		β-1,3 Γλυκάνες
Γαλακτουρονικό οξύ		Πηκτίνες
Γλυκουρονικό οξύ		(Γαλακτουρονάνες, Ραμνογαλακτουρονάνες)
Μαννουρονικό οξύ		Αραβινογαλακτάνες
Γουλουρονικό οξύ		Αραβινάνες
	Φρουκτάνες (Ινουλίνη)	
	Αλγινικά	

Τα φυσικά υδατανθρακικά πολυμερή απαντώνται κυρίως στα κυτταρικά τοιχώματα των φυτών και δευτερευόντως σε εκκρίματα και εκχυλίσματα αυτών. Κυτταρικό τοίχωμα ονομάζεται το μεμβρανοειδές στρώμα που περιβάλλει εξωτερικά την κυτταρική μεμβράνη των κυττάρων, κύριος ρόλος του οποίου είναι να παρέχει στα κύτταρα ακαμψία, στερεότητα και προστασία έναντι μηχανικών καταπονήσεων. Η δομή και η χημική σύσταση των κυτταρικών τοιχωμάτων διαφέρουν ανάλογα με το είδος του φυτού (σιτηρά, φρούτα κλπ.) και το τμήμα του φυτού από το οποίο προέρχονται (τα μέρη των φυτών αποτελούνται από διαφορετικούς τύπους κυττάρων που έχουν διαφορετικά τοιχώματα).

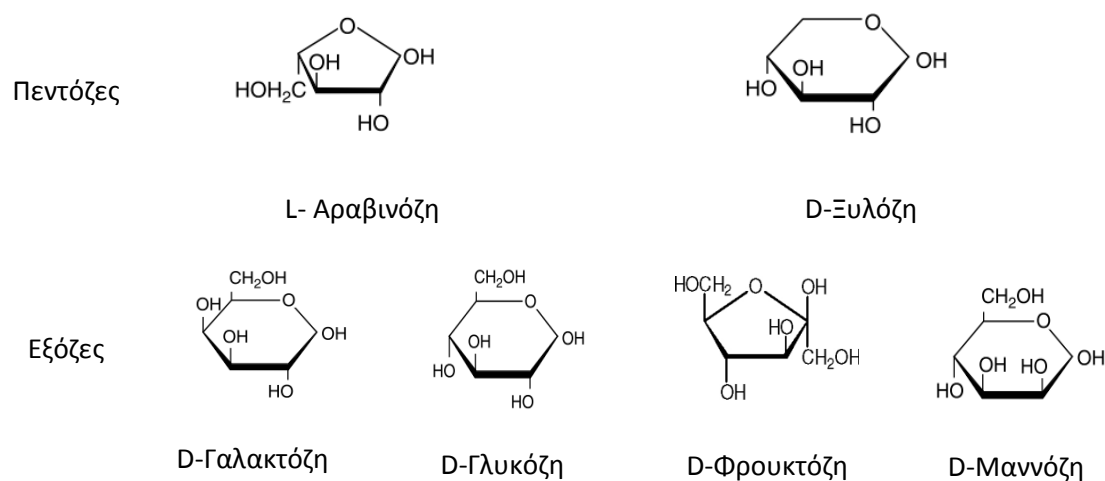
Οι ανάλογοι υδατάνθρακες παράγονται είτε με τροποποίηση των φυσικών υδατανθρακικών πολυμερών, είτε με σύνθεση και έχουν παρόμοια σύσταση (π.χ. απαρτίζονται από τα ίδια

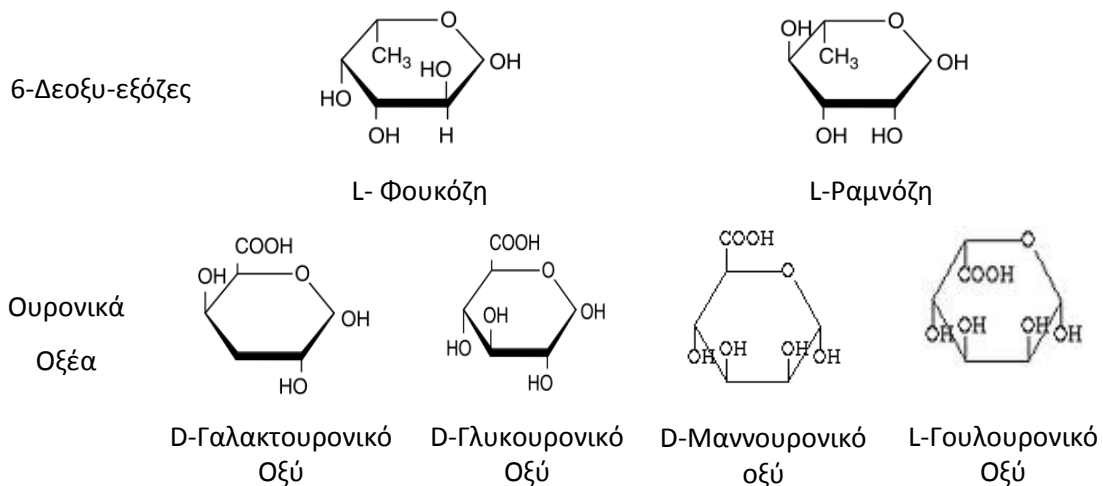
μονομερή) με τα φυσικά υδατανθρακικά πολυμερή. Το ανθεκτικό άμυλο και οι τροποποιημένες κυτταρίνες αποτελούν χαρακτηριστικές περιπτώσεις και θα περιγραφούν αναλυτικά στο υποκεφάλαιο των προϊόντων διαιτητικών ινών (Selvendran & O'Neill 1987, Andersson et al. 2006, Chesson 2006).

3.3.1 Μονομερή που απαρτίζουν τα υδατανθρακικά πολυμερή

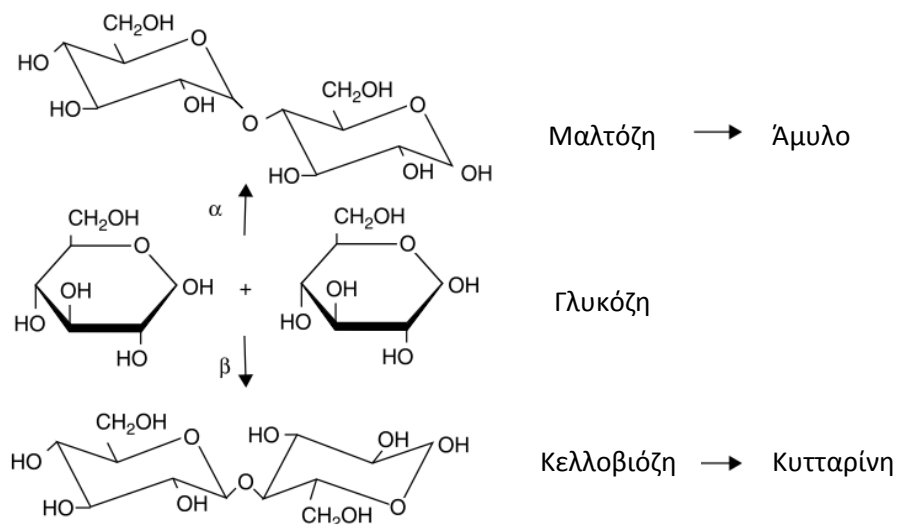
Τα υδατανθρακικά πολυμερή που αποτελούν τις διαιτητικές ίνες αποτελούνται κυρίως από 12 μονομερή (μονοσακχαρίτες και ουρονικά οξέα) (Σχήμα 3.1). Τα μονομερή αυτά απαρτίζουν κυρίως τους πολυσακχαρίτες των κυτταρικών τοιχωμάτων, με εξαίρεση τη φρουκτόζη που αποτελεί το δομικό συστατικό μόνο των φρουκτανών (ινουλίνης) και της ολιγοφρουκτόζης, και τα ουρονικά οξέα: μανουρονικό οξύ και γουλουρονικό οξύ, τα οποία συναντώνται μόνο σε εκχυλίσματα φυκών (αλγίνη).

Τα μονομερή, ανάλογα με τη διαμόρφωσή τους (-α και β ανωμερή-), τον τρόπο σύνδεσης μεταξύ τους (μεταξύ διαφορετικών ατόμων άνθρακα, τύπος δεσμού α ή β) και τον αριθμό των μονάδων μονομερούς, είναι δυνατόν να σχηματίσουν πολυμερή με πολυάριθμες διαφορετικές δομές και διαφορετικό βαθμό πολυμερισμού (DP). Τα πολυμερή που προκύπτουν έχουν διαφορετικές ιδιότητες και συνήθως απαντώνται σε διαφορετικούς ιστούς ή/και είδος φυτού. Χαρακτηριστικό παράδειγμα αποτελεί η περίπτωση της κυτταρίνης και του αμύλου, που προκύπτουν από τα ίδιο μονομερές (γλυκόζη) με διαφορετική όμως σύνδεση, έχουν εντελώς διαφορετικές ιδιότητες και βρίσκονται σε διαφορετικούς φυτικούς ιστούς (Dervill et al. 1980, Hayashi 1989, Northcote et al. 1989, Stone 1996, Stephen 2004, Chesson 2006, Guillon et al. 2007) (Σχήμα 3.2).





Σχήμα 3.1. Μονομερή που συγκροτούν τα υδατανθρακικά πολυμερή των διαιτητικών ινών.



Σχήμα 3.2. α και β γλυκοζιτικοί δεσμοί μεταξύ 2 εξοζών.

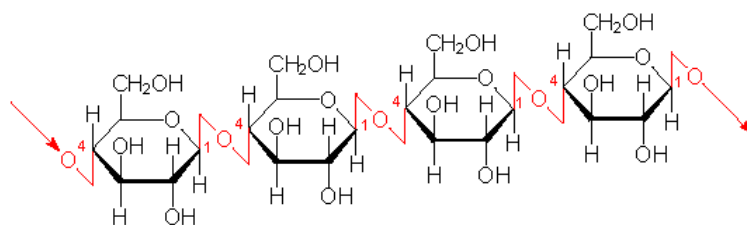
3.3.2 Πολυσακχαρίτες

Τα κύρια υδατανθρακικά πολυμερή που απαρτίζουν τις διαιτητικές ίνες είναι πολυσακχαρίτες που βρίσκονται στα κυτταρικά τοιχώματα, τα εκκρίματα και τα εκχυλίσματα των φυτών. Στη συνέχεια περιγράφονται συνοπτικά τα σπουδαιότερα από αυτά.

➤ Κυτταρίνη

Η κυτταρίνη ανήκει στις γλυκάνες των φυτών και μαζί με το άμυλο είναι από τους λίγους ομοπολυσακχαρίτες που συναντώνται στο φυτικό βασίλειο. Η κυτταρίνη είναι πολυμερές αποτελούμενο από μονάδες γλυκόζης ενωμένες μεταξύ τους με β-1,4-D-γλυκοζιτικούς δεσμούς, είναι δηλαδή μια β-1,4-D-γλυκάνη (**Σχήμα 3.3**). Κατά την υδρολυτική της

διάσπαση, σχηματίζεται ο δισακχαρίτης κελλοβιόζη. Ο βαθμός πολυμερισμού της εξαρτάται από τη φύση της και, συνήθως είναι της τάξης των 8.000-10.000, έτσι ώστε οι σχηματιζόμενες αλυσίδες πολυμερούς έχουν μήκος 4000-6000 nm, και μοριακό βάρος πάνω από ένα εκατομμύριο. Οι αλυσίδες γλυκάνης ενώνονται μεταξύ τους με ενδομοριακούς και διαμοριακούς δεσμούς υδρογόνου, προκειμένου να σχηματίσουν ινώδεις και τρισδιάστατες δομές υδροφοβικής φύσης (μικροϊνίδια κυτταρίνης), που παρουσιάζουν μεγαλύτερη αντίσταση σε χημικές ή ενζυμικές κατεργασίες σε σχέση με τις μεμονωμένες αλυσίδες γλυκάνης. Τα μικροϊνίδια κυτταρίνης δεν έχουν παντού τον ίδιο βαθμό κρυσταλλικότητας. Έτσι, περιοχές όπου οι παράλληλες αλυσίδες γλυκάνης είναι ακριβώς ευθυγραμμισμένες και η ένωση με δεσμούς υδρογόνου είναι μέγιστη (κρυσταλλική περιοχή), βρίσκονται διεσπαρμένες μαζί με περιοχές στις οποίες ο βαθμός κρυσταλλικότητας είναι πολύ χαμηλότερος (άμορφη περιοχή). Η παράλληλη διάταξη των ,επιμηκών μορίων της κυτταρίνης σε μικροϊνίδια εξηγεί τις μηχανικές της ιδιότητες, ενώ η εισαγωγή υποκατάστατων ομάδων στη δομή της κυτταρίνης παρεμβαίνει στον προσανατολισμό των αλυσίδων, περιορίζοντας τη δυνατότητα αλληλεπίδρασης μεταξύ των αλυσίδων και αυξάνοντας τη διαλυτότητά της. Χαρακτηριστικά αναφέρεται ότι η κρυσταλλικότητα της κυτταρίνης των εδώδιμων φυτικών ιστών είναι πολύ χαμηλότερη σε σύγκριση με εκείνη του βαμβακιού ή του ξύλου (Fincher & Stone 1986, Delmer 1999, Dreher 1999, Chesson 2006).

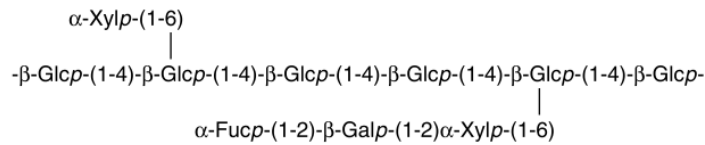


Σχήμα 3.3. Δομή κυτταρίνης.

➤ Ξυλογλυκάνες

Οι ξυλογλυκάνες αποτελούνται κυρίως από γλυκόζη και ξυλόζη, μαζί με μικρότερες ποσότητες D-γαλακτόζης, L-φουκόζης και L-αραβινόζης (**Σχήμα 3.4**). Το πολυμερές της ξυλογλυκάνης αποτελείται από μια κύρια αλυσίδα β-1,4 συνδεδεμένων μονάδων γλυκόζης στην οποία προσαρτώνται μόρια D-ξυλόζης με α-1,6 δεσμό. Οι ξυλόζες μπορεί να υπάρχουν ως τερματικές μονάδες ή ως πλευρικές αλυσίδες. Η ξυλόζη στις πλευρικές αλυσίδες συνδέεται με γαλακτόζη (β-D-γαλακτόζη) και αυτή συνδέεται περαιτέρω με φουκόζη (α-D-φουκόζη). Τα κλάσματα ξυλογλυκανών διαφοροποιούνται ως προς το μοριακό βάρος, τη σύνθεση και την κατανομή των πλευρικών αλυσίδων. Γενικά πάντως οι ξυλογλυκάνες

αποτελούνται από επαναλαμβανόμενους επτασακχαρίτες γλυκόζης με προσαρτημένες μονάδες γαλακτόζης, φουκόζης και σπανιότερα αραβινόζης, όπως φαίνεται στο **Σχήμα 3.4.** (Fincher & Stone 1986, Ryden & Selvendran 1990, Andersson et al. 2006).

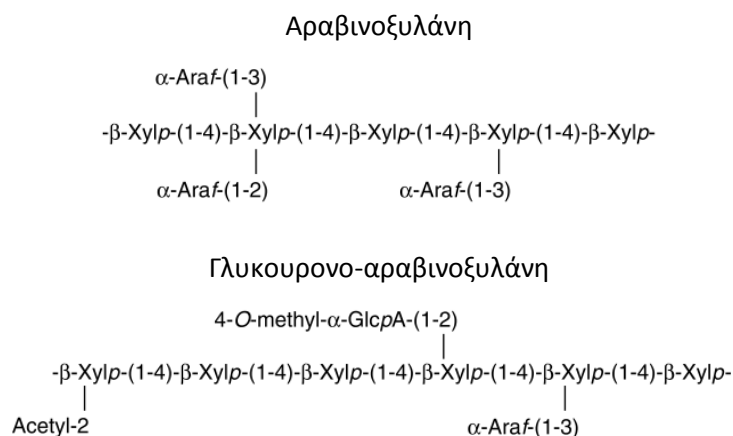


Σχήμα 3.4. Δομή ξυλογλυκάνης (GlcP: γλυκόζη, Xylp: ξυλόζη Galp: γαλακτόζη, Fucp: φουκόζη).

➤ Ετεροξυλάνες (Αραβινοξυλάνες και Γλυκουρονο-Αραβινοξυλάνες)

Οι ετεροξυλάνες βασίζονται σε μια γραμμική σκελετική αλυσίδα β-1,4-D-ξυλόζης στην οποία συνδέονται μόρια αραβινόζης (αραβινοξυλάνες) ή/και γλυκόζης, γαλακτόζης, γλυκουρονικού οξέος και 4-O-μεθυλιωμένων παραγώγων τους (γλυκουρονο-αραβινοξυλάνες).

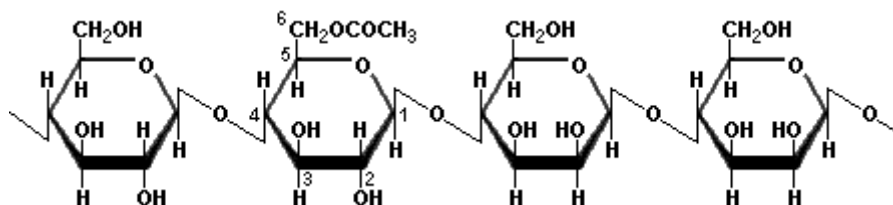
Οι ετεροξυλάνες που αποτελούν μέρος του ανθρώπινου διαιτολογίου είναι οι αραβινοξυλάνες των κυτταρικών τοιχωμάτων του ενδοσπερμίου και των στρωμάτων της αλευρόνης που περιέχονται στα άλευρα των σιτηρών, και οι αραβινοξυλάνες και γλυκουρονο-αραβινοξυλάνες των κυτταρικών τοιχωμάτων της στοιβάδας ΤΕΣΤΑ και του περικαρπίου, που περιέχονται στο πίτυρο των σιτηρών (Fincher & Stone 1986, Meuser & Suckow 1986, Joseleau et al. 1992, Dervilly et al. 2000, Andersson & Aman 2001, Teleman et al. 2002, Habibi et al. 2003, Guillon et al. 2007) (**Σχήμα 3.5**).



Σχήμα 3.5. Δομή των κύριων ετεροξυλανών των σιτηρών (Xylp:ξυλόζη, Araf: αραβινόζη, GlcPA: γλυκουρονικό οξύ).

➤ Γλυκομαννάνες

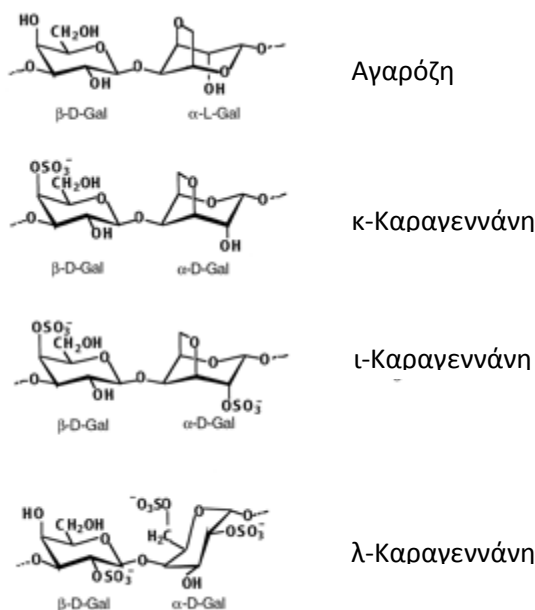
Οι γλυκομαννάνες είναι γραμμικά συμπολυμερή β-1,4-γλυκόζης και μαννόζης και λειτουργούν είτε ως δομικοί και ταυτόχρονα αποθηκευτικοί πολυσακχαρίτες, ή μόνο ως αποθηκευτικοί πολυσακχαρίτες (Chesson 2006) (Σχήμα 3.6).



Σχήμα 3.6. Δομή γλυκομαννάνης.

➤ Γαλακτάνες

Οι γαλακτάνες είναι γραμμικά ομοπολυμερή της γαλακτόζης, τα οποία ενώνονται μεταξύ τους με β-1,3 δεσμούς και με α-1,4 δεσμούς, ο αριθμός των οποίων διαφέρει ανάλογα με την πηγή. Οι πιο γνωστές γαλακτάνες που παρουσιάζουν ενδιαφέρον για τα τρόφιμα βρίσκονται στα φύκη (εκχυλίσματα) και είναι η αγαρόζη και οι καραγεννάνες (κ-, ι- και λ-) (Σχήμα 3.7) (Delattre et al. 2011).

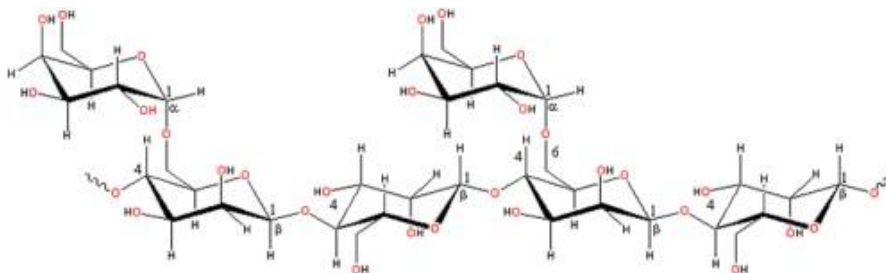


Σχήμα 3.7. Δομή γαλακτανών (αγαρόζης, κ-,ι- και λ- καραγεννάνης) (Gal:γαλακτόζη).

➤ Γαλακτομαννάνες

Οι γαλακτομαννάνες είναι ουσιαστικά γραμμικά πολυμερή, όπου μονάδες μαννόζης ενωμένες με β-1,4 δεσμούς σχηματίζουν την κύρια σκελετική αλυσίδα στην οποία προσαρτώνται μονάδες α-D-γαλακτόζης στον C-6 της μαννόζης (Σχήμα 3.8). Ο βαθμός

υποκατάσταση με γαλακτόζη είναι συγκεκριμένος για κάθε είδος γαλακτομαννάνης, κυμαινόμενος από $\leq 20\%$ έως και ολική υποκατάσταση. Οι γαλακτομαννάνες βρίσκονται μόνο στα κυτταρικά τοιχώματα του ενδοσπερμίου των σπόρων των ψυχανθών, όπου λειτουργούν ταυτόχρονα ως δομικοί και ως αποθηκευτικοί πολυσακχαρίτες και εξάγονται από τους αλεσμένους σπόρους με θερμό νερό, αναφερόμενες συχνά ως κόμμεα σπόρων (π.χ. κόμμι γκουάρ και κόμμι χαρουπιού) (Henry 1985, Chesson 2006).



Σχήμα 3.8. Δομή γαλακτομαννάνης.

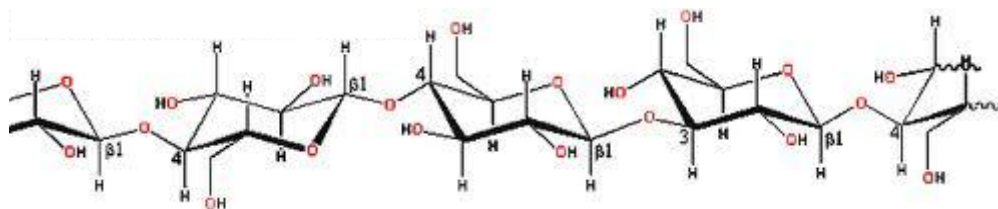
➤ **β-Γλυκάνες**

Οι (μικτής σύνδεσης) β-γλυκάνες ((1,3)-(1,4)-β-D-γλυκάνες) (που γενικώς αναφέρονται ως β-γλυκάνες) είναι γραμμικά πολυμερή γλυκόζης στα οποία περίπου το 70% των δεσμών είναι β-1,4 και το υπόλοιπο β-1,3 και είναι χαρακτηριστικές ενώσεις των σιτηρών. Συγκεκριμένα, το μόριο της β-γλυκάνης αποτελείται από ομάδες (blocks) 2 έως 4 μονάδων γλυκόζης, στις οποίες οι μονάδες γλυκόζης ενώνονται μεταξύ τους με β-1,4 δεσμούς, ενώ οι ομάδες (blocks) συνδέονται μεταξύ τους με β-1,3 δεσμούς (**Σχήμα 3.9**). Λόγω των διαφορετικών δεσμών, προκαλούνται διαφορές στις φυσικές και λειτουργικές ιδιότητες στα μόρια των γλυκανών. Οι β-γλυκάνες μικτής σύνδεσης διαφέρουν δομικά ως προς την αναλογία των τρι-και τετρα-σακχαριτικών μονάδων, η οποία είναι για τις β-γλυκάνες της βρώμης: 2.1-2.4, του κριθαριού: 2.8-3.3 (Wood et al. 1994) και του σίτου: 3.0-3.8 (Wood et al. 1991). Μεγαλύτερες ομάδες με συνεχόμενους β-1,4 δεσμούς, κυτταρινικής φύσης, έχουν επίσης ανιχνευθεί σε β-γλυκάνες κριθαριού. Μεταξύ των κυτταρινικών περιοχών των γειτονικών αλυσίδων γλυκάνης, σχηματίζονται επίσης ζώνες διασταύρωσης με δεσμούς υδρογόνου, στις οποίες οφείλεται και το υψηλό ιξώδες που εμφανίζουν τα διαλύματα β-γλυκανών.

Το μοριακό βάρος των β-γλυκανών κυμαίνεται μεταξύ $20 \cdot 10^3$ - $40 \cdot 10^6$ Da και οι τιμές παρουσιάζουν διαφορές ανάλογα με τη μέθοδο απομόνωσης και προσδιορισμού. Σε πρόσφατες μελέτες, το μέσο μοριακό βάρος β-γλυκανών από κριθάρι και βρώμη βρέθηκε περίπου $2 \cdot 10^6$ Da, ενώ σημαντικά χαμηλότερο ήταν το αντίστοιχο των β-γλυκανών από σίκαλη και σιτάρι. Οι β-γλυκάνες με υψηλό μοριακό βάρος και μεγάλο ποσοστό β-1,4

δεσμών είναι συνήθως αδιάλυτες, ενώ οι β-γλυκάνες με χαμηλό μοριακό βάρος και με μεγάλο ποσοστό β-1,3 δεσμών είναι διαλυτές. Ως επί το πλείστον πάντως οι β-γλυκάνες είναι υδατοδιαλυτές.

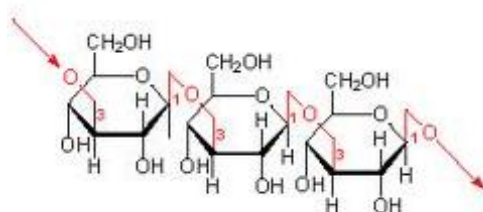
Το κριθάρι περιέχει 2.5-11% β-γλυκάνες, η βρώμη 1.8-8.5%, η σίκαλη 1.2-2.9%, το σιτάρι 0.4-1.4% και το σόργο 0.1-1.0%. Συγκεκριμένα, οι β-γλυκάνες από κριθάρι και βρώμη (που θεωρούνται δομικά ίδιες) έχουν μελετηθεί εκτενώς, κυρίως λόγω των θετικών επιπτώσεών τους στην ανθρώπινη υγεία. Ανάλογα με το είδος του σπόρου, η κατανομή των β-γλυκανών (μεταξύ ενδοσπερμίου και φλοιού) διαφέρει, γεγονός που επιτρέπει το διαχωρισμό κλασμάτων αλεύρου πλούσιων σε β-γλυκάνες, ενώ ακόμη και για το ίδιο είδος σιτηρού (π.χ. του *A. Sativa της βρώμης*), η συγκέντρωση των β-γλυκανών εξαρτάται από την ποικιλία όπως και από τις εδαφοκλιματικές συνθήκες καλλιέργειας (Henry 1987, Rimsten et al. 2003, Harris et al. 2005, Chesson 2006, Lazaridou et al. 2007, Tapola & Sarkkinen 2009).



Σχήμα 3.9. Δομή β-γλυκάνης (μικτής σύνδεσης).

➤ β-1,3 Γλυκάνες

Οι β-1,3 γλυκάνες αποτελούνται από μονομερή D-γλυκόζης που συνδέονται με β-γλυκοζιτικούς δεσμούς στον C1 και τον C3, σχηματίζοντας μια γραμμική αλυσίδα χωρίς διακλαδώσεις. Απαντώνται στα κυτταρικά τοιχώματα, ενώ παράγονται και με μικροβιακή ζύμωση (curdlan). Χαρακτηριστική β-1,3 γλυκάνη των κυτταρικών τοιχωμάτων είναι η καλλόζη (**Σχήμα 3.10**) η οποία αποτίθεται συχνά σε συμπαγείς μάζες, ελεύθερη από άλλες ουσίες των τοιχωμάτων ως αποτέλεσμα του τραυματισμού των φυτικών οργανισμών (Stone 1985, McGregor et al. 1993).



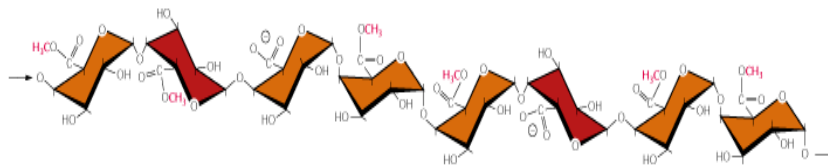
Σχήμα 3.10. Δομή καλλόζης.

- Πηκτινικοί πολυσακχαρίτες (Γαλακτουρονάνες, Ραμνογαλακτουρονάνες) και Πηκτίνη

Γαλακτουρονάνες

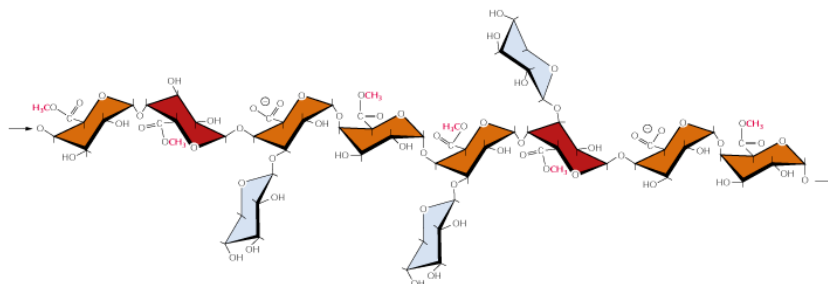
Οι γαλακτουρονάνες αποτελούνται από επαναλαμβανόμενες μονάδες D-γαλακτουρονικού οξέος με πλευρικές αλυσίδες L-αραβινόζης και D-γαλακτόζης, και διακρίνονται σε ομογαλακτουρονάνες (χωρίς υποκαταστάτες), γαλακτουρονάνες με υποκαταστάτες (ξυλογαλακτουρονάνες) και ραμνογαλακτουρονάνες τύπου II.

Οι ομογαλακτουρονάνες (HG) αποτελούνται από γραμμικές αλυσίδες α-1,4-D-γαλακτουρονικού οξέος (**Σχήμα 3.11**) και μπορεί να αποτελούν μέχρι και το 60% των πηκτινικών πολυσακχαριτών στα κυτταρικά τοιχώματα. Οι καρβοξυλικές ομάδες του γαλακτουρονικού οξέος παρουσιάζονται εστεροποιημένες σε ορισμένο βαθμό με μεθανόλη. Οι μη εστεροποιημένες περιοχές των αλυσίδων ομογαλακτουρονανών υπάρχει δυνατότητα να συνδέονται μεταξύ τους με ιοντικές αλληλεπιδράσεις μέσω γεφυρών κατιόντων (ιόντων ασβεστίου).



Σχήμα 3.11. Δομή Ομογαλακτουρονάνης (HG).

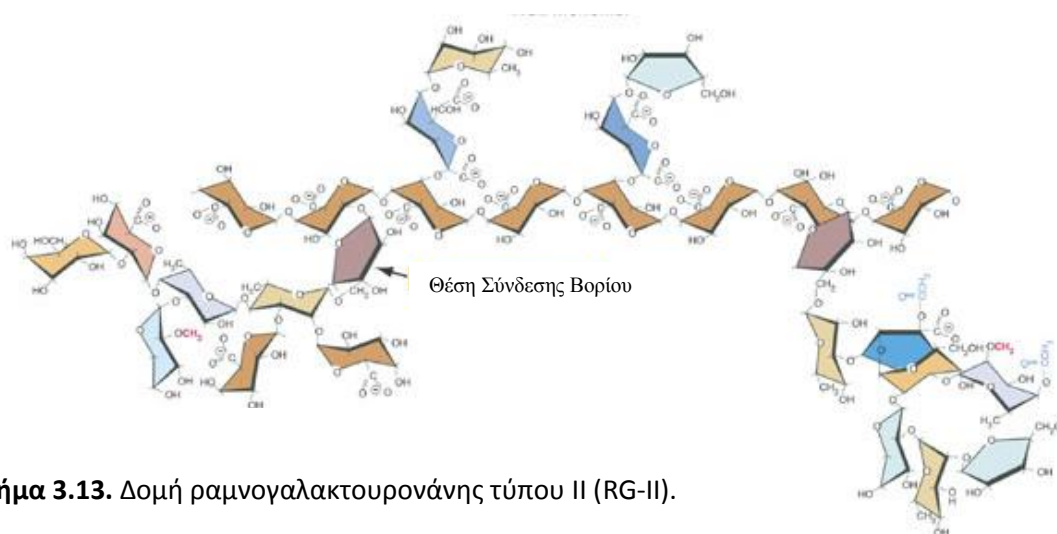
Οι ξυλογαλακτουρονάνες (XylG) αποτελούνται από μία κύρια αλυσίδα ομογαλακτουρονανών, με υποκαταστάτες πλευρικές μονάδες ξυλόζης στο O-3 (**Σχήμα 3.12**). Ο βαθμός υποκατάστασης διαφέρει κυμαινόμενος από 25% (στο καρπούζι) έως 75% (στο μήλο). Όπως και στην περίπτωση των HG, οι καρβοξυλικές ομάδες του γαλακτουρονικού οξέος παρουσιάζονται εστεροποιημένες σε κάποιο βαθμό με μεθανόλη (Schols et al. 1995, Visser & Voragen 1996).



Σχήμα 3.12. Δομή ξυλογαλακτουρονάνης (XylG).

Οι ραμνογαλακτουρονάνες τύπου II (RG-II) ανήκουν στις γαλακτουρονάνες, αποτελούμενες ουσιαστικά από μια κύρια αλυσίδα ομογαλακτουρονάνης που έχει 4 διακλαδώσεις.

Ειδικότερα, δύο διαφορετικοί διασακχαρίτες συνδέονται στον C3 των μορίων του γαλακτουρονικού οξέος της κύριας αλυσίδας και δύο διαφορετικοί ολιγοσακχαρίτες επισυνάπτονται στον C2 των μορίων του γαλακτουρονικού οξέος της κύριας αλυσίδας. Η ονομασία της ραμνογαλακτουρονάνης τύπου II είναι παραπλανητική, αφού υπονοεί ότι η κύρια αλυσίδα της αποτελείται από ραμνόζη, ενώ στην πραγματικότητα η ραμνόζη υπάρχει σε μικρό ποσοστό μόνο σε κάποιες πλευρικές αλυσίδες, και η κύρια αλυσίδα αποτελείται από μονάδες (τουλάχιστον 8) α -1,4-D-γαλακτουρονικού οξέος (**Σχήμα 3.13**). Είναι σπανιότερο συστατικό των κυτταρικών τοιχωμάτων και εμφανίζεται σε αυτό συνήθως με τη μορφή διμερών, διασταυρωμένων μέσω διεστέρων του βορίου (O'Neill et al. 2001, Vincken et al. 2003).



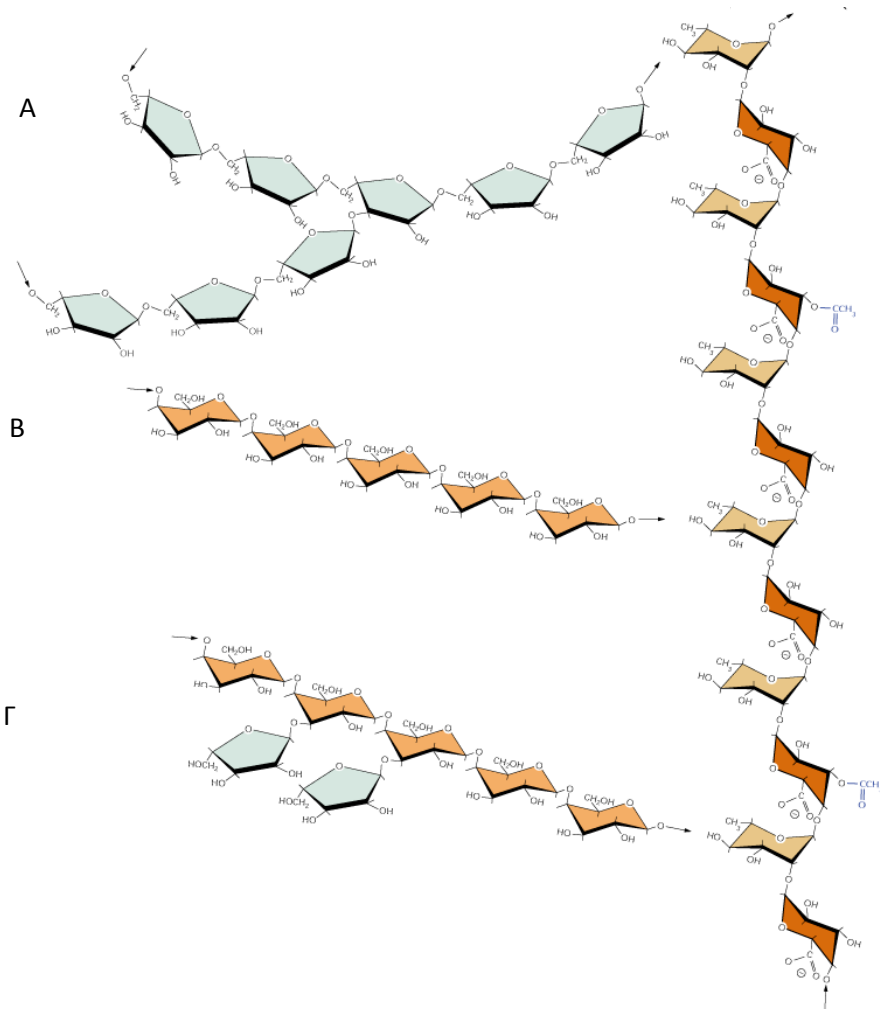
Σχήμα 3.13. Δομή ραμνογαλακτουρονάνης τύπου II (RG-II).

Ραμνογαλακτουρονάνες

Οι ραμνογαλακτουρονάνες τύπου I (RG-I) είναι ομάδες πολυσακχαριτών που αποτελούνται από επαναλαμβανόμενες μονάδες διασακχαριτών α -1,4-D-γαλακτουρονικού οξέος και α -1,2-L-ραμνόζης. Τα μόρια ραμνόζης της κύριας αλυσίδας του πολυμερούς μπορούν να υποκατασταθούν περαιτέρω στον C-4 της ραμνόζης με πλευρικές αλυσίδες πλούσιες σε αραβινόζη και γαλακτόζη (οι οποίες συνήθως τερματίζονται με μονάδες φουκόζης, γλυκόζης ή μεθυλ-ο-γλυκουρονικού οξέος), δημιουργώντας διακλαδώσεις. Οι πλευρικές αλυσίδες μπορεί να είναι απλές μονάδες ή πολυμερή γαλακτόζης όπως αραβινογαλακτάνη τύπου I και αραβινάνες. Τέτοια συμπλέγματα αναφέρονται ως πηκτινικές τριχοειδείς περιοχές (pectic hairy regions), στις οποίες οι αραβινογαλακτάνη τύπου I και οι αραβινάνες αποτελούν τα «τριχοειδή». Ο βαθμός υποκατάστασης των μονάδων ραμνόζης κυμαίνεται από 20% έως 80% (ανάλογα με την πηγή του πολυσακχαρίτη) (**Σχήμα 3.14**).

Τα γαλακτουρονικά οξέα των ραμνογαλακτουρονανών τύπου I μπορεί να είναι ακετυλιωμένα στον C-2 ή C-3 των μορίων τους και να φέρουν φαινολικά οξέα συνδεδεμένα

μέσω εστέρα στον C-2 των μορίων τους. Ανάμεσα στις διαφορετικές αλυσίδες ραμνογαλακτουρονανών τύπου I συνήθως σχηματίζονται μη ομοιοπολικές αλληλεπιδράσεις, στις οποίες οφείλονται και οι ιδιότητες σχηματισμού πηκτής αυτών των πολυμερών (Vincken et al. 2003, Chesson 2006).



Σχήμα 3.14. Δομή ραμνογαλακτουρονάνης τύπου I (RG-I) με πλευρικές αλυσίδες αραβινάνης (Α), γαλακτάνης (Β) και αραβινογαλακτάνης τύπου I (Γ).

Μακρομοριακή δομή της πηκτίνης

Η πηκτίνη αποτελεί ένα πολύπλοκο δίκτυο των πηκτινικών πολυσακχαριτών στα κυτταρικά τοιχώματα. Παρόλο που η δομή των πηκτινικών πολυσακχαριτών στο μακρομόριο της πηκτίνης είναι γνωστή, ο τρόπος με το οποίο συνδυάζονται τα δομικά αυτά στοιχεία δεν είναι διασαφηνισμένος. Ειδικότερα, παλαιότερα θεωρούσαν ότι οι ΗG και RG-I σχημάτιζαν μια συνεχόμενη κύρια αλυσίδα, η οποία ήταν ουσιαστικά μια εκτεταμένη αλυσίδα που συνδύαζε RG-I (συμπεριλαμβανομένων των τριχωδών περιοχών), ΗG (ή ΧγΙG) και απομονωμένες μονάδες ραμνόζης, οι οποίες παρεμβάλλονταν ανάμεσα στις ΗG. Πρόσφατα

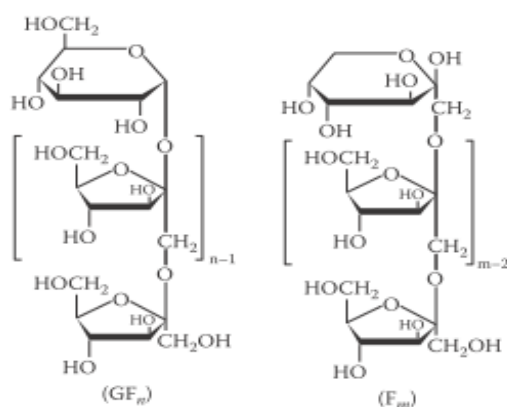
Σχήμα 3.15. Δομή αραβινογαλακτάνης τύπου II (Araf: αραβινόζη, Galp: γαλακτόζη).

➤ Αραβινάνες

Οι αραβινάνες είναι σχεδόν πάντα διακλαδισμένα πολυμερή με γραμμικές αλυσίδες α-1,5-αραβινόζης, με περαιτέρω υποκατάσταση στο O-3 (και σε μικρότερο βαθμό στο O-2) από μεμονωμένες μονάδες αραβινόζης ή αραβινοολιγομερών. Ομοπολυμερή αραβινόζης είναι σπάνια και συνήθως εμφανίζονται σε σπόρους, είτε ως διακριτοί πολυσακχαρίτες ή σε συνδυασμό με τις RG-I (**Σχήμα 3.14**) (Ridley et al. 2001, Chesson 2006).

➤ Ινουλίνη (Φρουκτάνες)

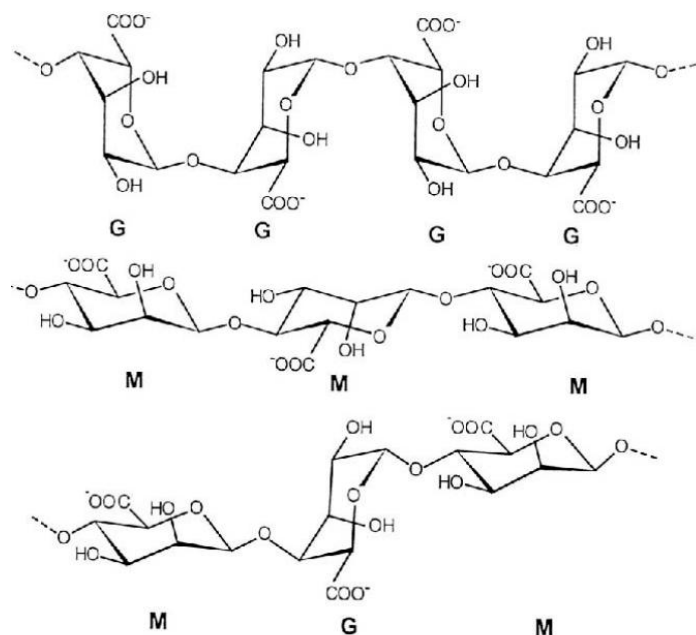
Η ινουλίνη ανήκει στην ευρύτερη οικογένεια των φρουκτανών (φρουκτοζανών) και είναι μίγμα ολιγομερών και πολυμερών β-2,1 φρουκτόζης, ενώ συνήθως οι αλυσίδες της περιέχουν και τερματικές μονάδες γλυκόζης ενωμένες με β-1,2 γλυκοζιτικούς δεσμούς. Η δομή της απεικονίζεται από τον τύπο GF_n ή F_m, όπου G οι μονάδες γλυκόζης, F οι μονάδες φρουκτόζης και n, m ≥ 10 ο αριθμός των μονάδων φρουκτόζης στα GF_n και F_m μόρια αντίστοιχα (**Σχήμα 3.16**) (Coussement & Franck 2001, Franck & Bosscher 2009).



Σχήμα 3.16. Δομή Ινουλίνης (n,m ≥ 10) και φρουκτο-ολιγοσακχαριτών (n,m=2-8).

➤ Αλγινικά

Τα αλγινικά είναι πολυσακχαρίτες που αποτελούνται από τα άλατα του μανουρονικού (M) και γουλουρονικού οξέος (G), τα οποία βρίσκονται είτε σε ομάδες ομοπολυμερών (MMMMM)-(GGGGGG) είτε σε ομάδες ετεροπολυμερών (MGMGMG), ανάλογα με την προέλευσή τους (**Σχήμα 3.17**). Βρίσκονται κυρίως σε εκχυλίσματα φυκών (Onsøyen 2001).

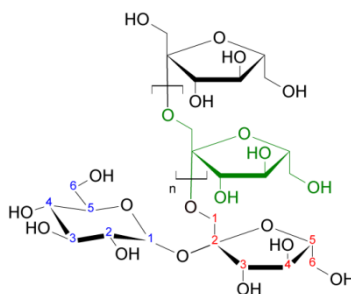


Σχήμα 3.17. Δομή αλγινικών (M: μαννουρονικό, G: γουλουρονικό).

3.3.3 Ολιγοσακχαρίτες

➤ Γαλακτο-ολιγοσακχαρίτες

Οι πιο συχνά απαντώμενοι στα τρόφιμα γαλακτο-ολιγοσακχαρίτες είναι οι α-γαλακτοζίτες, οι οποίοι δεν υδρολύονται από τα ανθρώπινα πεπτικά ένζυμα και επομένως συγκαταλέγονται στις διαιτητικές ίνες. Αποτελούνται από τρεις έως πέντε μονοσακχαρίτες ενωμένους με α-1,6 δεσμούς με τη δομή: γαλακτόζη(1,6)_nσακχαρόζη, με n=1 ραφινόζη και n=2 σταχυόζη (**Σχήμα 3.18**) (Martínez-Villaluenga et al. 2008).



Σχήμα 3.18. Δομή γαλακτο-ολιγοσακχαριτών.

➤ Φρουκτο-ολιγοσακχαρίτες

Οι φρουκτο-ολιγοσακχαρίτες είναι ολιγοσακχαρίτες φρουκτανών και αποτελούνται από μικρές αλυσίδες μονάδων φρουκτόζης (n,m=2-8) ενωμένων με β-2,1 γλυκοζιτικούς δεσμούς (και με β-1,2 στην περίπτωση της ένωσης με μονάδα γλυκόζης στο τέλος της αλυσίδας).

Παράγονται κυρίως με υδρόλυση του πολυμερούς της ινουλίνης (**Σχήμα 3.16**) (Coussement & Franck 2001, Franck & Bosscher 2009).

3.3.4. Λιγνίνη

Η λιγνίνη δεν είναι πολυσακχαρίτης, αλλά μία πολυφαινόλη και χρησιμεύει ως συνδετική «κόλλα» που κρατά ενωμένες τις δέσμες κυτταρίνης και ημικυτταρίνης στα ώριμα κυτταρικά τοιχώματα. Λόγω της ισχυρής σύνδεσής της με τους πολυσακχαρίτες των κυτταρικών τοιχωμάτων συγκαταλέγεται στις διαιτητικές ίνες. Η λιγνίνη είναι ένα υψηλού μοριακού βάρους, άμορφο, υδρόφοβο, αρωματικό πολυμερές, που σχηματίζεται από υδροξυφαινυλοπροπανοϊκές μονάδες ενωμένες με δεσμούς C-C και C-O-C. Οι μονάδες αυτές προέρχονται από τον οξειδωτικό πολυμερισμό ενός ή περισσότερων από τα τρία είδη μονολιγνολών (υδροξυκιναμυλικών αλκοολών), της κουμαριλικής (4-υδροξυ-κινναμική), της κωνιφερυλικής (3-μεθοξυ-4-υδροξυ-κινναμική) και της σιναπυλικής αλκοόλης (3,5-μεθοξυ-4-υδροξυ-κινναμική). Περίπου 100 μονομερή συνθέτουν το πολυμερές της λιγνίνης, το οποίο είναι σκληρό και ανθεκτικό σε χημική και ενζυμική αποικοδόμηση και είναι πιθανώς η πιο ανθεκτική ουσία που βρίσκεται στη φύση. Γενικά είναι μη εδώδιμη και όταν βρίσκεται σε μεγάλα ποσοστά στις πηγές διαιτητικών ινών επιβάλλεται απολιγνινοποίησή τους (Carpita & Gibcut 1993, Stone 1996, MacDougall & Selvendran 2001, Chesson 2006).

3.4 Πηγές και προϊόντα διαιτητικών ινών

Οι διαιτητικές ίνες απαντώνται στα τρόφιμα, ως εγγενή συστατικά των διάφορων φυτικών τροφίμων, αλλά απομονώνονται και από πηγές τροφίμων και χρησιμοποιούνται ως προστιθέμενα συστατικά (προϊόντα διαιτητικών ινών) στα διάφορα τρόφιμα. Ως εγγενή συστατικά, λαμβάνονται μέσω της κατανάλωσης τροφίμων όπως σιτηρά και προϊόντα τους, ρίζες, βολβοί, λαχανικά και φρούτα, που αποτελούν καλές πηγές διαιτητικών ινών.

Τα προϊόντα διαιτητικών ινών προκύπτουν μέσω απομόνωσης των διαιτητικών ινών από τις φυτικές πηγές υπό μορφή συμπυκνωμάτων και υπερσυμπυκνωμάτων, ή μέσω σύνθεσης υπό μορφή υπερσυμπυκνωμάτων. Τα προϊόντα διαιτητικών ινών (απομονωμένα φυσικά ή συνθετικά) χρησιμοποιούνται με σκοπό τον εμπλουτισμό των τροφίμων. Τα συμπυκνώματα (concentrates) περιέχουν σημαντική ποσότητα μη-ινωδών συστατικών, ενώ τα υπερσυμπυκνώματα (isolates) αποτελούνται σχεδόν εξολοκλήρου από ινώδεις πολυσακχαρίτες.

Οι πηγές από τις οποίες λαμβάνονται τα συμπυκνώματα διαιτητικών ινών είναι σιτηρά (κυρίως πίτυρα), όσπρια φρούτα, λαχανικά και ζαχαρότευτλα. Η σύνθεση και οι ιδιότητες αυτών των ινών, εξαρτώνται από την πηγή προέλευσής τους και από τη διατήρηση της

ακεραιότητας των κυττάρων κατά τη διαδικασία απομόνωσης και παραλαβής τους. Η τεχνολογία απομόνωσης/παραλαβής τους συνήθως περιλαμβάνει άλεση και θερμική επεξεργασία (αφυδάτωση) και θα περιγραφεί αναλυτικά ανά περίπτωση προϊόντος στη συνέχεια. Συνήθως, τα συμπυκνώματα ενσωματώνονται στα τρόφιμα, κυρίως για να αυξήσουν το ποσοστό των διαιτητικών ινών των τροφίμων και κατά δεύτερον προκειμένου να εκμεταλλευτούν οι λειτουργικές τους ιδιότητες.

Τα υπερσυμπυκνώματα διαιτητικών ινών περιλαμβάνουν κυρίως εκχυλίσματα φυτών και φυκών, εκκρίματα φυτών, κόμμεα από σπόρους, συνθετικά κόμμεα και τροποποιημένους φυσικούς πολυσακχαρίτες. Η τεχνολογία απομόνωσης/παραλαβής των υπερσυμπυκνωμάτων διαφέρει και συνήθως περιλαμβάνει υγρή κατεργασία, καθαρισμό και ανάκτηση ενός τύπου πολυσακχαριτών (π.χ. πηκτίνες, αλγινικά), ή ξήρανση και άλεση των έμφυτων εκκριμάτων (π.χ. αραβικό κόμμι). Οι συνθήκες εξαγωγής διαφέρουν ανάλογα με τους προς απομόνωση πολυσακχαρίτες. Τα προϊόντα σύνθεσης (π.χ. πολυδεξτρόζη) και οι τροποποιημένοι πολυσακχαρίτες περιλαμβάνονται στα υπερσυμπυκνώματα διαιτητικών ινών λόγω του ότι αποτελούνται εξολοκλήρου από ινώδη συστατικά, αν και δεν προέρχονται από διαδικασία απομόνωσης από κάποια πηγή. Τα υπερσυμπυκνώματα χρησιμοποιούνται κυρίως λόγω των λειτουργικών ιδιοτήτων τους (πηκτικά ή σταθεροποιητές γαλακτωμάτων) σε χαμηλές συγκεντρώσεις (συνήθως 0.5 – 2.0%). Η ενσωμάτωση υψηλότερων ποσοστών επιβάλλει τη μεταβολή της συνταγής και της διαδικασίας παραγωγής των προϊόντων στα οποία αυτά προστίθενται, και μπορεί να έχει αρνητικές συνέπειες για τις οργανοληπτικές ιδιότητες των προϊόντων αυτών. Λόγω των μικρών προστιθέμενων ποσοστών τους, δεν προορίζονται για τον εμπλουτισμό των τροφίμων με διαιτητικές ίνες, παρότι αυξάνουν το περιεχόμενο ποσοστό των διαιτητικών ινών του τροφίμου στο οποίο προστίθενται (Asp 1990, Guillon et al. 2000).

Το ανθεκτικό άμυλο είναι μια ιδιαίτερη περίπτωση. Βρίσκεται φυσικά σε πηγές όπως όσπρια, μπανάνες κλπ., όμως τα προϊόντα ανθεκτικού αμύλου (υπερσυμπυκνώματα) δεν προκύπτουν από την απομόνωσή του από κάποια πηγή, αλλά παρασκευάζονται με διάφορες διεργασίες, προσομοιάζοντας την περίπτωση των τροποποιημένων πολυσακχαριτών.

Στη συνέχεια περιγράφονται τα σημαντικότερα προϊόντα διαιτητικών ινών.

3.4.1 Συμπυκνώματα διαιτητικών ινών από σιτηρά

Τα σιτηρά είναι οι καρποί των αγρωστωδών που ανήκουν στο γένος *Gramineae*. Τα σιτηρά που καλλιεργούνται και χρησιμοποιούνται στην ανθρώπινη διατροφή είναι κυρίως ο σίτος (ή σιτάρι), η βρώμη, το ρύζι, το κριθάρι, το καλαμπόκι και η σίκαλη. Οι καρποί των σιτηρών

έχουν παρόμοια δομή που περιλαμβάνει το κέλυφος (husk) και το σπόρο (caryopsis). Οι σπόροι του σιταριού, της σίκαλης, του καλαμποκιού και του σόργου παραλαμβάνονται χωρίς κέλυφος, επειδή ο σπόρος και το κέλυφος διαχωρίζονται άμεσα κατά τη διάρκεια της συγκομιδής, ενώ η βρώμη, το ρύζι και το κριθάρι διατηρούν τα κελύφη τους και μετά τη συγκομιδή (Fisher 1985, Fincher & Stone 1986).

Ο σπόρος των σιτηρών αποτελείται από τρία βασικά μέρη- το πίτυρο, το ενδοσπέρμιο και το φύτρο. Κατά την άλεση του σπόρου, αρχικά απομακρύνεται το πίτυρο (παραπροϊόν) και στη συνέχεια το αμυλούχο ενδοσπέρμιο λειοτριβείται προς άλευρο. Ανάλογα με το βαθμό άλεσης προκύπτουν και άλευρα (π.χ. για το σίτο ~90% ολικής άλεσης άλευρο που περιλαμβάνει μεγάλο τμήμα του πιτύρου, 70% λευκό άλευρο αρτοποιίας) με διαφορετικό περιεχόμενο διαιτητικών ινών. Η διαδικασία άλεσης και μέσω αυτής η παραλαβή του πιτύρου, που ενδιαφέρει ως πηγή και προϊόν διαιτητικών ινών, είναι ξεχωριστή για κάθε σιτηρό και θα περιγραφεί αναλυτικότερα στη συνέχεια. Η μέση σύσταση των βασικότερων πιτύρων σιτηρών αναφέρεται στον **Πίνακα 3.2**. Η ποσότητα των διαιτητικών ινών των πιτύρων κυμαίνεται από 10% για το πίτυρο βρώμης, έως 90% για το πίτυρο καλαμποκιού.

Πίνακας 3.2. Μέση σύσταση (%) των πιτύρων βρώμης, ρυζιού, σίτου, καλαμποκιού και κριθαριού (οι διαθέσιμοι υδατάνθρακες προκύπτουν από αφαίρεση των αναφερόμενων συστατικών).

	Πίτυρο Βρώμης	Πίτυρο Ρυζιού	Πίτυρο Σίτου	Πίτυρο Καλαμποκιού	Πίτυρο Κριθαριού
Υγρασία	7-10	6-12	6-13	6-9	3-8
Πρωτεΐνες	15-20	12-16	14-17	4-7	17-18
Λιπαρά	1-12	16-22	3-7	1-2	6-7
Ολικές Διαιτητικές Ίνες	10-40	20-47	34-45	70-90	65-70
Διαλυτές Διαιτητικές Ίνες	5-20	2-7	2-4	1-11	2-7
Τέφρα	3-4	7-10	5-7	2-3	2-3

Πηγές: Stauffer 1993, Dreher 1999, Nelson, 2001, Guillon et al. 2000, Cheruvanky 2003

Με εξαίρεση τα ολικής άλεσης άλευρα, τα πίτυρα σιτηρών είναι οι πιο άμεσα διαθέσιμες πηγές διαιτητικών ινών σιτηρών, αφού κατά την άλεση οι ίνες συγκεντρώνονται στο κλάσμα του πιτύρου. Έτσι, τα πίτυρα σιτηρών (ακατέργαστα ή κατεργασμένα) είναι από τα συνηθέστερα χρησιμοποιούμενα προϊόντα διαιτητικών ινών για την αύξηση των συστατικών αυτών στα τρόφιμα. Οι κύριοι λόγοι για την ευρεία χρήση τους είναι: το χαμηλό κόστος, η διαθεσιμότητα, η λειτουργικότητα και τα αποδεκτά οργανοληπτικά χαρακτηριστικά. Από την άλλη πλευρά, μειονέκτημα αποτελεί η αυξημένη συγκέντρωσή

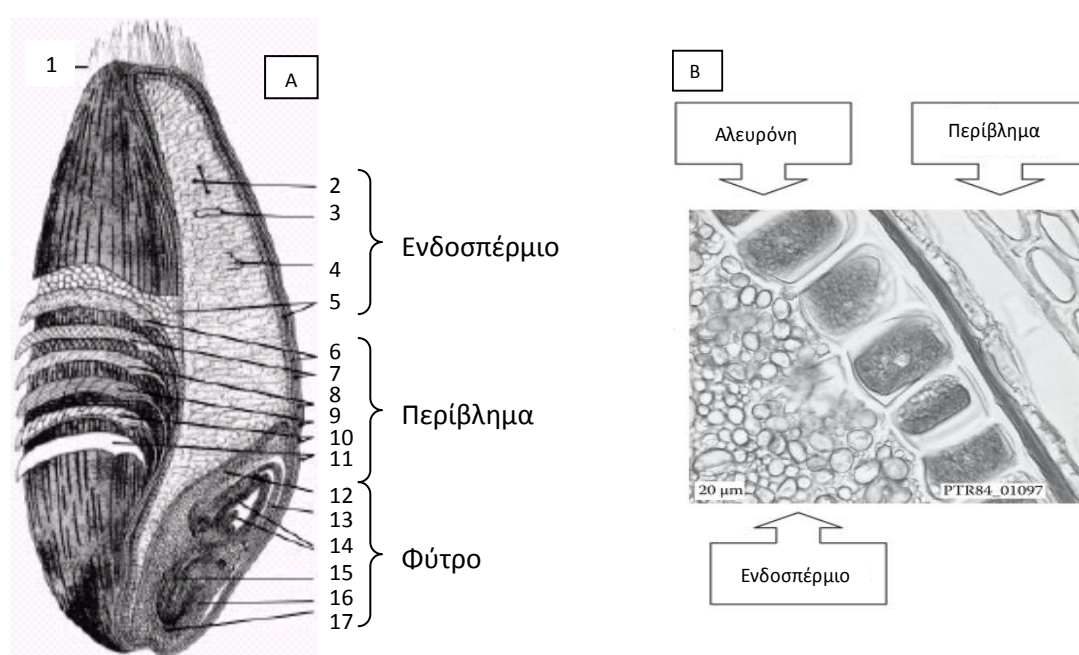
τους σε φυτικό οξύ, που βρίσκεται κυρίως στη στοιβάδα της αλευρόνης ορισμένων σιτηρών και μπορεί να δεσμεύει μέταλλα.

3.4.1.1 Πίτυρο σίτου

Υπάρχουν τρεις εμπορικές ποικιλίες σίτου: η *Triticum aestivum* (κοινός σίτος), η *Triticum durum* (σκληρός σίτος) και η *Triticum compactum*. Η συγκέντρωση διαιτητικών ινών στο σπόρο του σίτου κυμαίνεται από 11-13 % (ξ.β.) (Carson & Edwards 2009). Παρόλα αυτά, ο ώριμος σπόρος αποτελείται από πολλές και διαφορετικές στοιβάδες οι οποίες διαφέρουν σημαντικά στα συστατικά τους. Ο σπόρος του σίτου ανατομικά αποτελείται από τρία διακριτά μέρη (**Σχήμα 3.19 A**): το εξωτερικό περίβλημα ή φλοιός (πίτυρο), το ενδοσπέρμιο και το φύτρο (έμβρυο). Το ενδοσπέρμιο, που αποτελεί τον κύριο αποθηκευτικό ιστό και το 70-80% του ξηρού βάρους του σπόρου, περιέχει 2-2.5% διαιτητικές ίνες και χρησιμοποιείται για την παραγωγή του λευκού αλεύρου. Το πίτυρο αποτελείται από την εξωτερική στοιβάδα των κυττάρων του ενδοσπερμίου (στοιβάδα αλευρόνης), τα κύτταρα της οποίας έχουν πιο παχιά τοιχώματα (**Σχήμα 3.19 B**) και διαφορετική σύσταση από τα κύτταρα του ενδοσπερμίου, και τις στοιβάδες του περιβλήματος (περικάρπιο και επισπέρμιο). Αυτό το κλάσμα περιέχει περίπου 34-45% διαιτητικές ίνες. Οι στοιβάδες του περιβλήματος αποτελούνται κυρίως από κυτταρίνη (30%), αραβινοξυλάνες και γλυκουρονο-αραβινοξυλάνες (κυρίως μη υδατοδιαλυτές) (60%) και μικρά ποσοστά λιγνίνης (περίπου 10%), και δρουν ως φράγμα προστασίας για το σπόρο, ενώ οι στοιβάδες της αλευρόνης αποτελούνται από 30% β-γλυκάνες, 65% αραβινοξυλάνες και μικρά ποσοστά κυτταρίνης. Τα εμπορικά προϊόντα πιτύρου σίτου, συνήθως, περιέχουν επιπλέον μικρή ποσότητα φύτρου και ενδοσπερμίου λόγω της δυσκολίας του διαχωρισμού τους (Stone & Morell 2009, Shewry et al. 2010).

Η άλεση του σίτου γίνεται συνήθως σε συστήματα κυλινδρόμυλων και κοσκίνων, που αποτελούνται από ορισμένο αριθμό κυλίνδρων (5-7 ή 10 σε σειρά) συνδεδεμένων με αντίστοιχα δονούμενα κόσκινα (σίτες - πλανσίχτερ). Οι σπόροι του σίτου διέρχονται αρχικά μέσα από το πρώτο ζεύγος κυλίνδρων, όπου πραγματοποιείται θραύση του φλοιού (σκληρότερο μέρος) και θρυμματισμός αντίστοιχα του ενδοσπερμίου (μαλακότερο μέρος), και ακολούθως από διαδοχικά ζεύγη κυλίνδρων (σταδιακά πιο λείων και μειούμενης απόστασης μεταξύ τους). Τα κλάσματα της άλεσης από κάθε ζεύγος κυλίνδρων διαχωρισμένα με κοσκίνιση αποδίδουν τα χονδροαλεσμένα, αποτελούμενα κυρίως από το πίτυρο και τα σκληρότερα τμήματα του ενδοσπερμίου (περισσότερο πρωτεϊνούχα και λιγότερο αμυλούχα), και τα λεπτά κλάσματα, αποτελούμενα κυρίως από μαλακότερα τμήματα του ενδοσπερμίου (αμυλούχα) (Lineback & Raspe 1988, Matz 1991).

Το πίτυρο σίτου χρησιμοποιείται ευρέως στη διατροφή των ζώων, τα τελευταία χρόνια όμως ενσωματώνεται και σε τρόφιμα, προκειμένου να αυξήσει την περιεκτικότητά τους σε διαιτητικές ίνες. Οι ίνες σίτου προκύπτουν με περαιτέρω επεξεργασία του πιτύρου σίτου και αποτελούνται κυρίως από κυτταρίνη και ημικυτταρίνη, ενίοτε δε περιέχουν και χαμηλά επίπεδα λιγνίνης. Τα εμπορικά προϊόντα ινών σίτου έχουν υψηλή περιεκτικότητα σε διαιτητικές ίνες (~98%) οπότε και χαμηλή θερμιδική αξία. Χαρακτηρίζονται από υψηλή ικανότητα δέσμευσης νερού, έχουν λευκό χρώμα, ουδέτερη γεύση/οσμή και είναι σταθερά κατά την αποθήκευση. Επιπροσθέτως, αξίζει να αναφερθεί ότι το πίτυρο σίτου καταναλώνεται ευρέως σε δημητριακά πρωινού, μετά όμως από επεξεργασία, με σκοπό τη βελτίωση της γεύσης (Bollinger 1996, Moris & Rose 1996, Cho & Clark 2001).



Σχήμα 3.19. Δομή του σπόρου του σίτου (Wang 2003, Fenech et al. 2009).

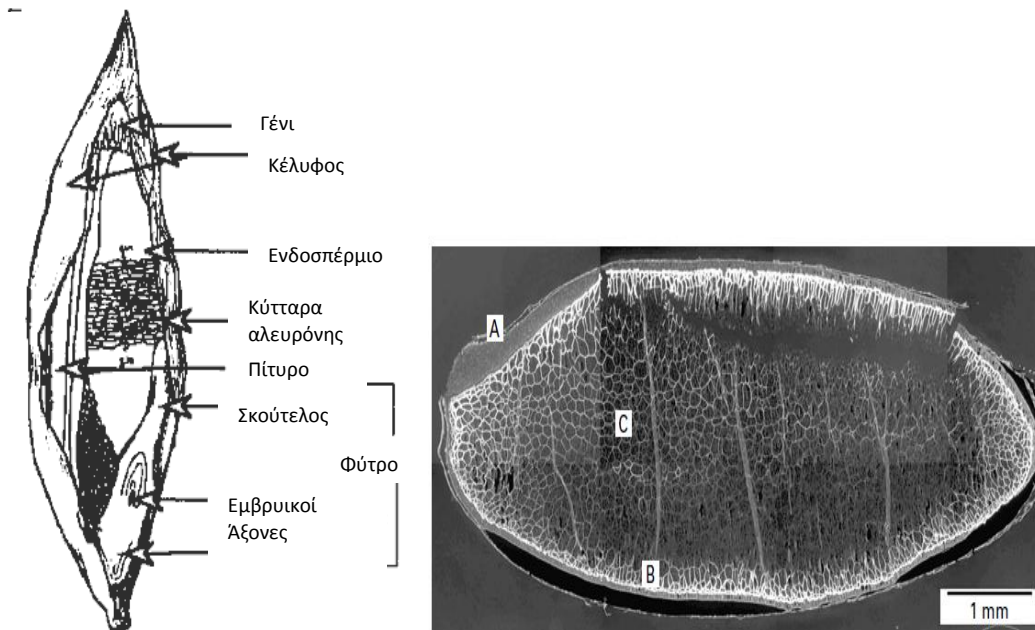
(Α) Ανάλυση σπόρου σίτου: 1) Γένη, 2) Ενδοσπέρμιο, 3) Κυψέλες κόκκων αμύλου μέσα στο πρωτεϊνικό πλέγμα, 4) Τοιχώματα κυτταρίνης, 5) Στοιβάδα αλευρόνης, 6) Κυτταρικός ιστός (υαλώδης στοιβάδα), 7) Επισπέρμιο (σπερματικός υμένας), 8) Σωληνωτά/Αυλωτά κύτταρα, 9) Διασταυρούμενα κύτταρα, 10) Υποδερμίδα, 11) Επιδερμίδα, 12) Ασπίδιο (κάλυμμα φύτρου), 13) Καταβολές (περίβλημα) βλαστού, 14) Ατροφικός βλαστός, 15) Ατροφική ρίζα, 16) Καταβολές (περίβλημα) ρίζας και 17) Κάλυμμα ρίζας **(Β) Θέση αλευρόνης σε σχέση με το ενδοσπέρμιο και το περίβλημα.**

Η αλευρόνη, όπως αναφέρθηκε, είναι το εξωτερικό μέρος του ενδοσπερμίου, ενώ η ίδια καλύπτεται από το πολυστρωματικό περικάρπιο και μπορεί να είναι μονοστρωματική όπως στην περίπτωση του σίτου, ή πολυστρωματική όπως στο κριθάρι, το ρύζι και τη βρώμη. Η

αλευρόνη του σίτου περιέχει 45-50% (ξ.β.) διαιτητικές ίνες, ανάλογα με την ποικιλία του σίτου και την καθαρότητα των κλασμάτων της αλευρόνης (Brouns et al. 2010). Το άλευρο πλούσιο σε ίνες αλευρόνης (ALF) είναι ένα σχετικά νέο προϊόν, που προέρχεται από τα κύτταρα της στοιβάδας της αλευρόνης του σίτου και περιέχει πολλά βιοδραστικά συστατικά (ίνες, μέταλλα, αντιοξειδωτικά, βιταμίνες). Κατά συνέπεια, τα τελευταία χρόνια υπάρχει αυξανόμενο ενδιαφέρον για την ανάπτυξη καινοτόμων τεχνολογιών άλεσης, με σκοπό την απομόνωση του κλάσματος της αλευρόνης του σίτου. Η μόνη μέχρι πρόσφατα εμπορικά βιώσιμη διαδικασία άλεσης, που αναπτύχθηκε αρχικά από την Goodman Fielder Pty. (Αυστραλία), επέτρεψε την απομόνωση της στοιβάδας της αλευρόνης, διαρρηγνύοντας ταυτόχρονα τα κυτταρικά τοιχώματα και απελευθερώνοντας το περιεχόμενο αυτών των κυττάρων. Πρόσφατα η Bühler AG (Ελβετία), υπέβαλε πατέντα στην οποία η αλευρόνη απομονώνεται από το πίτυρο του σίτου με απόδοση 65-90% σε καθαρά κύτταρα αλευρόνης (Fenech et al. 2009).

3.4.1.2 Πίτυρο βρώμης

Η βρώμη είναι μία από τις πλουσιότερες και πιο οικονομικές πηγές διαλυτών διαιτητικών ινών, η οποία περιέχει παράλληλα και αδιάλυτες διαιτητικές ίνες. Στο **Σχήμα 3.20** απεικονίζεται η δομή του καρπού της βρώμης, που αποτελείται από το κέλυφος (husk) και το σπόρο (groat), ενώ υπάρχουν και ορισμένες ποικιλίες βρώμης χωρίς κέλυφος («γυμνές»). Οι διαιτητικές ίνες της βρώμης προέρχονται είτε από το πίτυρο (διαλυτές και αδιάλυτες), είτε από τα κελύφη του σπόρου (εξολοκλήρου αδιάλυτες), και ανάλογα με την προέλευσή τους παρουσιάζουν διαφορετικές λειτουργικές ιδιότητες (π.χ. οι ίνες από τα κελύφη διαθέτουν μεγάλη ικανότητα δέσμησης νερού) και διαφορετικές φυσιολογικές επιδράσεις.



Σχήμα 3.20. Η δομή του καρπού της βρώμης: α) Ανάλυση καρπού (Haard & Chism 1996) β) Διαμήκης τομή χρωματισμένη με calcofluor A: Κέλυφος, B: Πίτυρο, C: Ενδοσπέρμιο (Kaukovirta-Norja & Lehtinen 2008).

Τα κυριότερα είδη βρώμης που καλλιεργούνται και διατίθενται σήμερα στο εμπόριο είναι η *Avena sativa* (λευκή βρώμη) και η *Avena byzantina* (κόκκινη βρώμη). Τα κελύφη της βρώμης παλαιότερα απορρίπτονταν κατά την επεξεργασία του καρπού, ή χρησιμοποιούνταν ως ζωοτροφή. Σήμερα θεωρούνται σημαντικά συστατικά, που ενσωματώνονται σε διάφορα τρόφιμα, λόγω της υψηλής περιεκτικότητάς τους σε διαιτητικές ίνες. Το κέλυφος της βρώμης αποτελεί το 20-35% του συνολικού βάρους του καρπού και περιέχει περίπου 90% αδιάλυτες διαιτητικές ίνες. Για την απομόνωση των διαιτητικών ινών από τα κελύφη εμπορικά χρησιμοποιούνται διάφορες μέθοδοι, όπως κατεργασία με αλκαλικό διάλυμα υπεροξειδίου του υδρογόνου για λεύκανση και μερική απολιγνινοποίηση, ή κατεργασία με διάλυμα υδροξειδίου του νατρίου σε υψηλή θερμοκρασία και υψηλή πίεση, για διάλυση της λιγνίνης και του διοξειδίου του πυριτίου που προσδίδουν τραχιά υφή (Gould et al. 1989). Αρκετοί ερευνητές έχουν αναπτύξει διαδικασίες για την απομόνωση και τη βελτίωση της λειτουργικότητας των ινών βρώμης σε εργαστηριακή κλίμακα (Dougherty et al. 1988, Inglett 1995, Larrea et al. 1997, Galdeano & Grossmann 2005). Σύμφωνα με αυτές, τα κελύφη βρώμης κατεργάζονται σε υψηλή θερμοκρασία με χρήση χημικών ουσιών, με σκοπό την απομάκρυνση ορισμένων κλασμάτων και τη διατήρηση κάποιων άλλων. Συνήθως το άμυλο, οι πρωτεΐνες και τα λιπαρά του κελύφους της βρώμης αφαιρούνται, ακόμη και στις πιο ήπια επεξεργασμένες ίνες, ενώ η λιγνίνη, οι ημικυτταρίνες, η κυτταρίνη, και το διοξείδιο του πυριτίου διατηρούνται. Σε πιο έντονες συνθήκες επεξεργασίας η λιγνίνη

αποικοδομείται και αφαιρείται, μειώνοντας την περιεκτικότητα τέφρας/διοξειδίου του πυριτίου και επομένως απαλείφοντας την τραχιά υφή των ινών. Η απομάκρυνση της λιγνίνης επιτρέπει επίσης το διαχωρισμό των δεσμών των ινών σε επιμέρους ταινίες ινών (defibrillation=απινίδωση), οι οποίες έχουν πολύ μεγαλύτερη επιφάνεια και είναι ελεύθερες προς διόγκωση και απορρόφηση νερού. Εμπορικά κυκλοφορεί ποικιλία προϊόντων ινών βρώμης, τα οποία προέρχονται από διαφορετικό βαθμό επεξεργασίας/εξαγωγής (extraction) διαθέτοντας κατά συνέπεια διαφορετικές λειτουργικές και φυσικοχημικές ιδιότητες. Γενικά χαρακτηριστικά των προϊόντων ινών βρώμης, που προέρχονται από τα κελύφη της, είναι η υψηλή περιεκτικότητά τους σε αδιάλυτες διαιτητικές ίνες (~90%) και η ικανότητα δέσμευσης νερού έως 800% κατά βάρος (Bodner & Cho 2009).

Το υπόλοιπο εδώδιμο μέρος του καρπού της βρώμης, ο σπόρος, περιέχει συνήθως 6-9% διαιτητικές ίνες, το ήμισυ των οποίων περίπου είναι αδιάλυτες. Το πίτυρο βρώμης, σε αντίθεση με τα πίτυρα άλλων σιτηρών, δεν αποτελείται από ένα συγκεκριμένο και διακριτό μέρος του σπόρου της βρώμης, καθώς η στοιβάδα της υποαλευρόνης, η οποία συνίσταται από χοντρά κυτταρικά τοιχώματα, ακολουθεί τις χονδρές εξωτερικές στοιβάδες του σπόρου και περιλαμβάνεται, συνεπώς, στο πίτυρο (Fulcher & Miller 1993). Έτσι, για το πίτυρο βρώμης ισχύει ο ακόλουθος ορισμός (Committee on Oat Bran 1989): *«Το πίτυρο βρώμης παράγεται από την άλεση σπόρων βρώμης ή νιφάδων βρώμης, και το διαχωρισμό του προκύπτοντος αλεύρου βρώμης με κατάλληλα μέσα σε κλάσματα τέτοια, έτσι ώστε το κλάσμα του πιτύρου να μην υπερβαίνει το 50% της πρώτης ύλης, και να περιέχει τουλάχιστον 5.5% (ξ.β) διαλυτές ίνες β-γλυκάνης και 16% (ξ.β.) ολικές διαιτητικές ίνες, από τις οποίες τουλάχιστον το 1/3 είναι διαλυτές».*

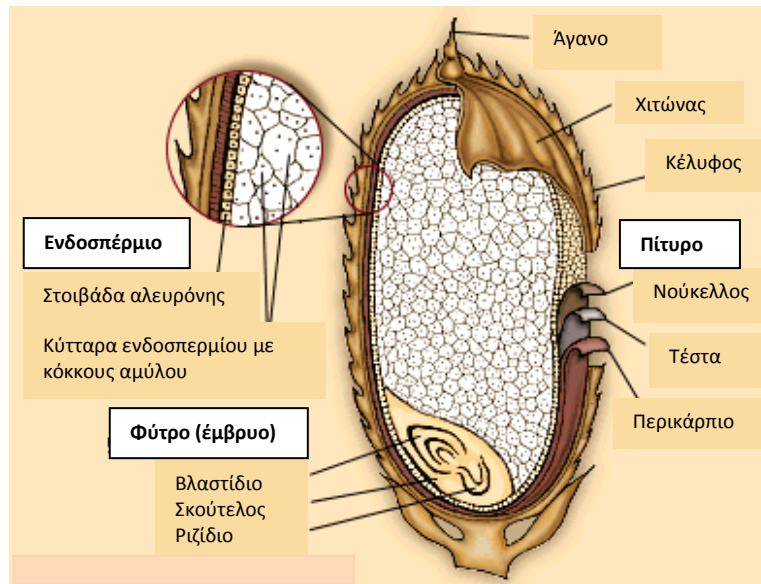
Το κύριο συστατικό των διαλυτών ινών της βρώμης είναι β-γλυκάνες. Οι β-γλυκάνες βρίσκονται στα κυτταρικά τοιχώματα του ενδοσπερμίου που είναι παχιά και προσκολλημένα στη στοιβάδα της αλευρόνης, και αποτελούν τη στοιβάδα της υποαλευρόνης. Το σύνολο των β-γλυκανών της βρώμης ποικίλλει από 1.8 έως 8.5% εξαρτώμενο από γενετικούς κυρίως παράγοντες και δευτερευόντως από περιβαλλοντικούς παράγοντες (κλιματικές συνθήκες όπως θερμοκρασία κατά την ωρίμανση, και βροχοπτώσεις, τύπος εδάφους, τοποθεσία κλπ.) (Wood 1986, Welch & Lloyd 1989, Fulcher & Miller 1993, Cho & White 1993, Miller 1993). Υψηλότερες τιμές β-γλυκανών έχουν παρατηρηθεί σε ποικιλίες με μεγάλους σπόρους, σε εδάφη με χαμηλή τιμή pH, ενώ και η υψηλή περιεκτικότητα σε φωσφόρο περιορίζει την περιεκτικότητα σε β-γλυκάνες, πιθανώς μέσω διευκόλυνσης της αύξησης του φυτικού οξέος, το οποίο σχετίζεται αρνητικά με τις β-

γλυκάνες. Τέλος, όσον αφορά το μοριακό βάρος των β-γλυκανών της βρώμης, στα προϊόντα του εμπορίου, αυτό κυμαίνεται μεταξύ $0.6-3 \cdot 10^6$ Da (Saastamoinen et al. 1992, Saastamoinen 1995).

Η επεξεργασία του καρπού της βρώμης διαφέρει από εκείνη των άλλων σιτηρών. Μετά την προεπεξεργασία που περιλαμβάνει τον καθαρισμό και τη διαλογή, κατά το πρώτο στάδιο της άλεσης γίνεται η αφαίρεση των κελυφών (αποφλοιώση). Τα κελύφη αυτά, όπως αναφέρθηκε, δεν περιέχουν διαλυτές ίνες, αλλά απώλειες και άλλων τμημάτων κατά την απομάκρυνσή τους, οδηγούν σε απώλειες διαλυτών ινών στο κλάσμα των κελυφών. Η θερμική κατεργασία που συνήθως εφαρμόζεται εξυπηρετεί διάφορους σκοπούς. Η ξηρή θερμική κατεργασία χρησιμοποιείται για ανάπτυξη της ιδιαίτερης γεύσης ψημένου, ή/και πριν την αποφλοιώση, για τη διευκόλυνση της απελευθέρωσης του κελύφους. Η υγροθερμική κατεργασία, αντιθέτως, αδρανοποιεί τα ένζυμα, ειδικά τις λιπάσες, τις λιποξυγενάσες (που μπορεί να προκαλέσουν ταγγισμό και πικρή γεύση) και τις β-γλυκανάσες, βελτιώνει τη διαλυτότητα των β-γλυκανών και «πλαστικοποιεί» το πλιγούρι. Τέλος, ακολουθεί η άλεση των σπόρων οπότε προκύπτει το αλεύρι ολικής άλεσης βρώμης, ενώ το εξευγενισμένο αλεύρι βρώμης προκύπτει κατά την περαιτέρω επεξεργασία του, αφαιρώντας το κλάσμα του πιτύρου με κοσκίνιση (Dorn 1989, Caldwell et al. 1990, Paton & Lenz 1993, Webster 1996, Malkki 2001).

3.4.1.3 Πίτυρο ρυζιού

Το ρύζι είναι ένα από τα πιο σημαντικά σιτηρά και αποτελεί τη βασική τροφή για το περισσότερο από το μισό μέρος του πληθυσμού της γης. Ο καρπός του ρυζιού αποτελείται από το σπόρο (ή κόκκο) και ένα εξωτερικό περίβλημα, το κέλυφος, το οποίο είναι μη βρώσιμο και αντιστοιχεί περίπου στο 16-28% του βάρους του καρπού. Η στεγανότητα του κελύφους γύρω από τον κόκκο σχετίζεται με την αντίσταση του καρπού στην εισβολή των εντόμων. Το κέλυφος είναι πλούσιο σε κυτταρίνη (25%), λιγνίνη (30%), ημικυτταρίνες (15%) και τέφρα (21%). Στο εσωτερικό του κελύφους και γύρω από το ενδοσπέρμιο του κόκκου διακρίνονται τρεις στοιβάδες που συγκρατούν την καρύοψη, οι οποίες είναι το περικάρπιο, η τέστα και ο νούκελλος. Μετά τις τρεις στοιβάδες εμφανίζεται το φύτρο (**Σχήμα 3.21**).



Σχήμα 3.21. Η δομή του καρπού του ρυζιού (Juliano & Bechtel 1985).

Το ρύζι κατά τη συγκομιδή του είναι αναποφλοιώτο (ο σπόρος περιβάλλεται πλήρως από το κέλυφος), συνήθως όμως καταναλώνεται ως λευκό μυλεμένο και στιλβωμένο ρύζι. Τα κύρια στάδια της επεξεργασίας του ρυζιού περιλαμβάνουν τον καθαρισμό, την αποφλοίωση, το διαχωρισμό των μη αποφλοιωμένων κόκκων, τη μύλωση ή επιφανειακή κατεργασία, το διαχωρισμό και τη στίλβωση. Μετά τον καθαρισμό, το πρώτο στάδιο της μύλωσης είναι η απομάκρυνση του κελύφους και επομένως η παραγωγή του καστανού ρυζιού. Το καστανό ρύζι διατηρεί τη στοιβάδα του περικαρπίου που προσδίδει σε αυτό το χαρακτηριστικό καφέ χρώμα, το άρωμα του ξηρού καρπού και την τραχιά υφή. Στη συνέχεια, το εξωτερικό καστανό στρώμα αφαιρείται από τον κόκκο του καστανού ρυζιού και τελικά παράγεται το λευκό ρύζι. Η διαχωριζόμενη καστανή στοιβάδα ονομάζεται πίτυρο ρυζιού (η οποία στις Ηνωμένες Πολιτείες περιλαμβάνει και το φύτρο) και αποτελεί το 10% του καρπού του ρυζιού.

Το πίτυρο ρυζιού αποτελεί επομένως παραπροϊόν που περιέχει τις στοιβάδες του περικαρπίου, του νούκελλου, της αλευρόνης και τη στοιβάδα τέστα, ενώ μπορεί να περιλαμβάνει και μικρές ποσότητες ενδοσπερμίου. Οι κύριοι υδατάνθρακες στα εμπορικά προϊόντα πιτύρου ρυζιού είναι κυτταρίνη, ημικυτταρίνες και άμυλο. Το άμυλο δεν βρίσκεται στα εξωτερικά στρώματα του περικαρπίου, αλλά εμφανίζεται στο πίτυρο μετά από τη θραύση του ενδοσπερμίου κατά τη μύλωση και η ποσότητά του ποικίλλει ανάλογα με την έκταση της θραύσης και το βαθμό μύλωσης, κυμαινόμενη συνήθως σε τιμές 10-20%. Οι ημικυτταρίνες και η κυτταρίνη αποτελούν το 8.7-11.4% και 9.6-12.8% αντίστοιχα του πιτύρου, ενώ οι β-γλυκάνες βρίσκονται σε επίπεδα μικρότερα του 1%. Το σύνολο των

διαιτητικών ινών στο πίτυρο του ρυζιού κυμαίνεται από 20 έως 47%, ενώ οι διαλυτές διαιτητικές ίνες δεν ξεπερνούν το 7%.

Σε παγκόσμια κλίμακα παράγονται 63-76*10⁶ τν πιτύρου ρυζιού ετησίως, από τους οποίους πάνω από το 90% πωλείται σε χαμηλές τιμές ως ζωοτροφή. Τα τελευταία χρόνια όμως, έχει αυξηθεί σημαντικά η προσθήκη πιτύρου ρυζιού σε τρόφιμα για αύξηση του περιεχομένου των διαιτητικών ινών. Ιδιαίτερη προσοχή πρέπει να δίνεται στην περιεχόμενη λιπάση, η οποία προκαλεί υδρολυτικό ταγγισμό των λιπαρών του πιτύρου. Για αποφυγή της υποβάθμισης αυτής, το πίτυρο ρυζιού υποβάλλεται σε θερμική κατεργασία, για απενεργοποίηση της λιπάσης και παραγωγή σταθεροποιημένου πιτύρου.

Το πίτυρο ρυζιού εκτός από τις διαιτητικές ίνες περιέχει υψηλής ποιότητας πρωτεΐνες, έλαιο, πολυσακχαρίτες, λιποδιαλυτές βιοδραστικές ενώσεις, βιταμίνες Β και Ε, πολυφαινόλες, αντιοξειδωτικά και μέταλλα. Έτσι, τα πίτυρα που προκύπτουν από τη μύλευση του αποφλοιωμένου ρυζιού χρησιμοποιούνται και για παραγωγή πρωτεάσης και άλλων ενζύμων, ινοσιτόλης, ορυζανόλης, τοκοφερόλης, φερουλικού οξέος, ενώ μπορούν να χρησιμοποιηθούν και για εξαγωγή του ελαίου τους. Η συγκέντρωση του πιτύρου σε έλαιο ανέρχεται σε 16-22 %. Το έλαιο έχει ως βασικά λιπαρά οξέα παλμιτικό, ελαϊκό και λινελαϊκό, και περιέχει επίσης 3-4% κηρούς και περίπου 4% ασαπνωποίητα συστατικά, ποσοστό μεγαλύτερο από άλλα φυτικά έλαια. Το ασαπνωποίητο κλάσμα του αποτελείται από ενώσεις (όπως ορυζανόλες, β-σιτοστερόλη και τοκοφερόλες) που βοηθούν στη μείωση της χοληστερόλης. Ιδιαίτερη σημασία έχει δοθεί και στις πρωτεΐνες του πιτύρου ρυζιού, λόγω της υψηλής διατροφικής τους αξίας και της αφομοιωσιμότητάς τους (~ 75%).

Τέλος, αξίζει να σημειωθεί και η περίπτωση του υγροθερμικά κατεργασμένου πιτύρου ρυζιού, όπου το άμυλο ζελατινοποιείται κάτω από τη στοιβάδα του πιτύρου, με αποτέλεσμα τη μεγαλύτερη μεν απόδοση σε λευκό ρύζι, και την παραγωγή λιγότερων σπασμένων κόκκων ρυζιού και την ταυτόχρονη παραγωγή πιτύρου με υψηλότερη περιεκτικότητα σε ίνες. Με τη διαδικασία αυτή προκύπτει σταθεροποιημένο πίτυρο (αφού απενεργοποιείται η λιπάση, όμως παράλληλα μπορεί να καταστραφούν και τα αντιοξειδωτικά συστατικά του), συνήθως λεπτοαλεσμένο, με ελαφρώς καφετί χρώμα και σχετικά ήπια γεύση (Saunders 1990, Juliano 1992, Blakeney 1996, Dreher 1999, Kahlon & Chow 2001, Cheruvanky 2003, Kahlon 2009).

3.4.1.4 Πίτυρο κριθαριού

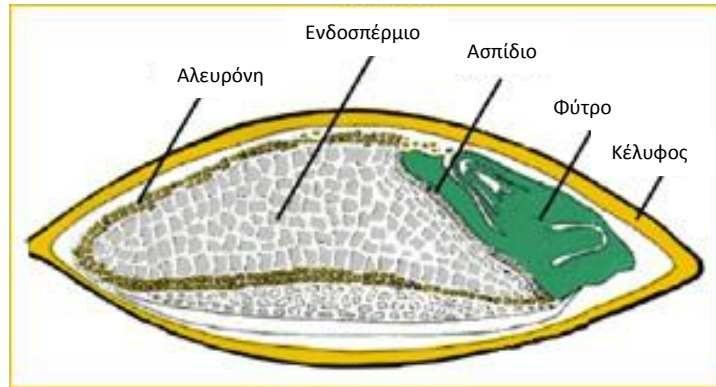
Οι ποικιλίες κριθαριού διαφέρουν ως προς τον αριθμό των σταχυιδίων (δίστιχο και εξάστιχο κριθάρι), την παρουσία κελύφους (ισχυρά συνδεδεμένου κελύφους ή χαλαρά συνδεδεμένου κελύφους που απομακρύνεται κατά τη συγκομιδή), και την περιεκτικότητα

του αμύλου σε αμυλόζη (κηρώδες, κανονικό, υψηλής περιεκτικότητας σε αμυλόζη). Οι διαιτητικές ίνες του κριθαριού χαρακτηρίζονται από μία μοναδική ισορροπία διαλυτών και αδιάλυτων ινών, και βρίσκονται σε όλα τα μέρη του ώριμου καρπού (κέλυφος, περικάρπιο, κυτταρικά τοιχώματα αλευρόνης και αμυλούχου ενδοσπερμίου). Οι διαιτητικές ίνες κριθαριού, όμως, διαφέρουν σημαντικά, ανάλογα με το μέρος του καρπού από το οποίο προέρχονται και την ποικιλία του κριθαριού (**Πίνακας 3.3**).

Πίνακας 3.3. Μέση σύσταση διαιτητικών ινών (%) σε 14 ποικιλίες κριθαριού με κέλυφος και 14 χωρίς κέλυφος (Fastnaught 2009).

	Με Κέλυφος	Χωρίς Κέλυφος
Ολικές διαιτητικές ίνες	20.03	15.00
Αραβινοξυλάνες	7.5	5.01
Αναλογία A-X	0.44	0.72
Κυτταρίνη	4.6	2.39
β-Γλυκάνες	4.91	5.64
Κίason λιγνίνη	1.5	0.81
Ουρονικό οξύ	0.8	0.7
Γαλακτόζη	0.3	0.3
Μαννόζη	0.4	0.4

Η δομή του καρπού του κριθαριού απεικονίζεται στο **Σχήμα 3.22**. Οι διαιτητικές ίνες από τα επιμέρους τμήματα του καρπού διαφέρουν ως προς τη σύνθεσή τους. Η κυτταρίνη είναι βασικό συστατικό του κελύφους, ενώ οι αραβινοξυλάνες και οι β-γλυκάνες είναι τα κύρια συστατικά των κυτταρικών τοιχωμάτων της αλευρόνης και του αμυλούχου ενδοσπερμίου, αντίστοιχα. Συγκεκριμένα, οι ίνες που προέρχονται από το κέλυφος αποτελούνται από περίπου 20% λιγνίνη και ίσα μέρη κυτταρίνης και αραβινοξυλανών, ενώ οι ίνες από τα κυτταρικά τοιχώματα του περικάρπιου και της αλευρόνης αποτελούνται από 70% αραβινοξυλάνες και 25% β-γλυκάνες, και τέλος οι ίνες από τα κυτταρικά τοιχώματα του αμυλούχου ενδοσπερμίου αποτελούνται από 75% β-γλυκάνες και 20% αραβινοξυλάνες αντίστοιχα (Fincher 1992, Xue et al. 1997, Baik & Ullrich 2008).



Σχήμα 3.22. Δομή του καρπού του κριθαριού.

Το κέλυφος και το αμυλούχο ενδοσπέρμιο αντιπροσωπεύουν το 85% του καρπού, και ως εκ τούτου η σύνθεση του συνόλου των διατητικών ινών επηρεάζεται από αυτά. Δεδομένου ότι το κέλυφος από τις ποικιλίες χωρίς κέλυφος απομακρύνεται κατά τη συγκομιδή, οι ίνες που απομονώνονται από τις αντίστοιχες ποικιλίες είναι ποσοτικά λιγότερες, και έχουν διαφορετική σύσταση (λιγότερη κυτταρίνη και αραβινοξυλάνες, αλλά περισσότερες β-γλυκάνες). Ενδεικτικά αναφέρεται ότι οι ποικιλίες χωρίς κέλυφος έχουν 19-26% λιγότερες διατητικές ίνες, και συγκεκριμένα 40-50% λιγότερη κυτταρίνη, 46-55% λιγότερη λιγνίνη και 30%-50% λιγότερες αραβινοξυλάνες, από ότι οι ποικιλίες με κέλυφος. Αντιθέτως οι περιεχόμενες β-γλυκάνες είναι κατά 15-18% περισσότερες, λόγω του ότι η απομάκρυνση του κελύφους μειώνει την κυτταρίνη και τις αραβινοξυλάνες, αλλά όχι τις β-γλυκάνες (Fincher 1992, Oscarsson et al. 1996, Musatto et al. 2006).

Οι β-γλυκάνες και οι αραβινοξυλάνες αποτελούν τα κύρια συστατικά των διαλυτών ινών στο κριθάρι. Ειδικότερα για τις β-γλυκάνες, οι μελέτες της δομής τους έχουν επικεντρωθεί στην κατανομή του μοριακού βάρους και στα προϊόντα της ενζυμικής τους κατεργασίας. Η αναλογία αμυλόζης:αμυλοπηκτίνης στο άμυλο του κριθαριού, η περιεκτικότητα του σπόρου σε πρωτεΐνες, ο όγκος των κυτταρικών τοιχωμάτων, η δράση της β-γλυκανάσης, καθώς και περιβαλλοντολογικοί παράγοντες έχουν σημαντική επίπτωση στην ποσότητα των β-γλυκανών. Το κριθάρι, όπως και η βρώμη, έχει πολύ μεγαλύτερη συγκέντρωση β-γλυκανών στα κυτταρικά τοιχώματα (3.7-8.2% για τις ποικιλίες με κέλυφος και μέχρι 16% για τις ποικιλίες χωρίς κέλυφος), συγκριτικά με τα υπόλοιπα σιτηρά. Το κριθάρι όμως, περιέχει περισσότερες διαλυτές β-γλυκάνες από ότι η βρώμη, αφού στις τυπικές ποικιλίες το 55-63% των β-γλυκανών είναι διαλυτές. Τα υψηλά επίπεδα β-γλυκανών συνδέονται με πολλές από τις ευεργετικές επιπτώσεις στην υγεία, που επιφέρει η κατανάλωση κριθαριού (Henry 1985, Newman et al. 1989, Newman et al. 1990, Marlett 1993, MacGregor & Fincher 1994, Fastnaught 2001, Fastnaught 2009).

Η ποικιλία και το περιβάλλον ανάπτυξης του κριθαριού επηρεάζουν επίσης και την περιεκτικότητά του σε αραβινοξυλάνες. Οι ποικιλίες με κέλυφος έχουν 30-50% περισσότερες αραβινοξυλάνες, ενώ εκείνες με άμυλο υψηλής περιεκτικότητας σε αμυλόζη, ή με υψηλή περιεκτικότητα σε πρωτεΐνη, έχουν υψηλότερα επίπεδα αραβινοξυλανών σε σχέση με παρόμοιες ποικιλίες με ή χωρίς κέλυφος (Henry 1986, Fleury et al. 1997, Fastnaught 2001).

Σε ορισμένες ποικιλίες κριθαριού έχει βρεθεί και ανθεκτικό άμυλο (τύπου 3), το οποίο μπορεί να ενισχυθεί μέσω θερμικής και χημικής επεξεργασίας, ενώ ο σχηματισμός του ευνοείται σε άμυλα με υψηλή περιεκτικότητα αμυλόζης (Bjorck et al. 1990, Granfeldt 1994). Οι διαιτητικές ίνες κριθαριού μπορεί να αποτελεί παραπροϊόν άλλης επεξεργασίας (ζυθοποιίας, παραγωγή αιθανόλης), ή να είναι ένα από τα πρωτογενή προϊόντα της άλεσης (ξηρή ή υγρή) του κριθαριού. Στην πρώτη περίπτωση αποτελούνται από το κέλυφος και άλλα αδιάλυτα στο νερό συστατικά, που απομένουν αφού το κριθάρι μετατραπεί σε βύνη, εμβαπτιστεί και εκπλυθεί, διαδικασίες κατά τις οποίες αφαιρούνται τα διαλυτά συστατικά. Αυτά τα προϊόντα περιέχουν 48-59% διαιτητικές ίνες, το 98% εκ των οποίων είναι αδιάλυτες (Weber & Chaudhary 1987, Zhang et al. 1992).

Τα πρωτογενή προϊόντα κριθαριού (ολόκληρο κριθάρι, κριθάρι μετά από μύλευση, αλεύρι κριθαριού), περιέχουν σημαντικά επίπεδα ινών και παράγονται και από τους δύο τύπους κριθαριού. Η άλεση του σπόρου γίνεται με: (α) συμβατικό κυλινδρόμυλο και κοσκίνιση, ή (β) σφυρόμυλο και πνευματική κλασματοποίηση ή κοσκίνιση, ή (γ) μύλευση. Τα προϊόντα που προκύπτουν από τη συμβατική άλεση με κυλινδρόμυλο ταξινομούνται ως αλεύρι, χονδράλευρο και πίτυρο, ανάλογα με το μέγεθος των σωματιδίων. Συχνά το πίτυρο και το χονδράλευρο συνδυάζονται, επειδή η ευθραυστότητα του πιτύρου εμποδίζει το διαχωρισμό του από το χονδράλευρο. Έτσι, το πίτυρο του κριθαριού που απομονώνεται με αυτή τη μέθοδο περιέχει τις στοιβάδες του περικάρπιου, τη στοιβάδα τέστα, και τις στοιβάδες της αλευρόνης και της υποαλευρόνης (Bhatty & Rosnagel 1998).

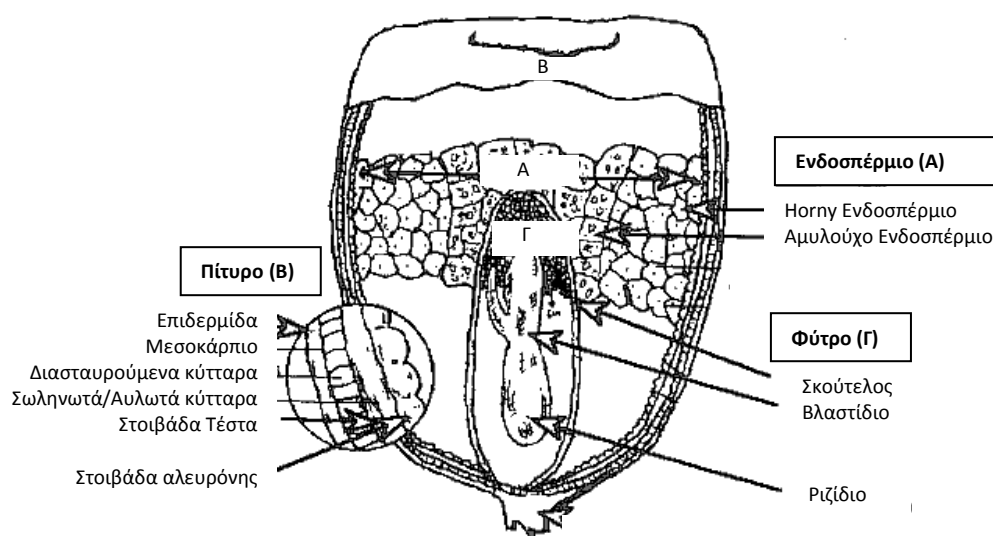
Η άλεση με σφυρόμυλο χρησιμοποιείται σε αποφλοιωμένους σπόρους προς παραγωγή αλεύρου ολικής άλεσης με διαφορετικό μέγεθος σωματιδίων. Η πνευματική ταξινόμηση ή η κοσκίνιση που ακολουθεί, συγκεντρώνει αποτελεσματικά τις ίνες και τις β-γλυκάνες στα χοντρά κλάσματα (Foehse 1991, Bhatty 1993, Knuckles & Chiu 1995).

Η μύλευση είναι η πιο διαδεδομένη διαδικασία παραλαβής του πιτύρου του κριθαριού. Κατά τη μύλευση κριθαριού από ποικιλίες με κέλυφος αφαιρούνται με λειαντικά μέσα τα εξωτερικά στρώματα, τα οποία περιέχουν μεγάλο μέρος της κυτταρίνης και των αραβινοξυλανών του σπόρου. Το πίτυρο που προκύπτει έχει υψηλή περιεκτικότητα σε ίνες

(μέχρι 58%) και τέφρα, και μικρότερη περιεκτικότητα αμύλου και β-γλυκάνης (Bhatty 1995), σε σχέση με το πίτυρο που παράγεται από κυλινδρόμυλο (από ποικιλίες με κέλυφος, χωρίς να έχει προηγηθεί αποφλοιώση). Κατά τη μύλωση του κριθαριού χωρίς κέλυφος αφαιρείται το περικάρπιο, η τέστα και η αλευρόνη, παράγοντας το "πραγματικό πίτυρο" (true bran). Το κριθάρι που έχει υποστεί μύλωση, περιέχει 35%-78% λιγότερες αδιάλυτες διαιτητικές ίνες, ανάλογα με το βαθμό μύλωσης. Αντιθέτως, οι διαλυτές ίνες και η β-γλυκάνη μειώνονται ελαφρώς, ή παρουσιάζουν αύξηση από 5% έως 32% (Edney 1996, Bhatty & Rosnagel 1998, Klamczynski et al. 1998, Marconi et al. 2000, Zheng 2000, Newman et al. 2002).

3.4.1.5 Πίτυρο καλαμποκιού

Το καλαμπόκι ή αραβόσιτος (*Zea mays*, L.) κατατάσσεται σε 7 τύπους (σκληρό, οδοντωτό, αλευρώδες, σακχαρώδες, κηρώδες, μικρό και «ντυμένο»), ανάλογα με τα χαρακτηριστικά των σπόρων του. Η άλεσή του γίνεται με ξηρή ή υγρή άλεση. Η ξηρή άλεση διαχωρίζει κυρίως τα ανατομικά μέρη του καλαμποκιού (πίτυρο, φυτόρο και ενδοσπέρμιο), ενώ η υγρή άλεση διαχωρίζει το σπόρο ως προς τα χημικά συστατικά του (άμυλο, πρωτεΐνες, λιπαρά και ίνες). Παρόλο που η υγρή άλεση χρησιμοποιείται πιο συχνά, η ξηρή άλεση εφαρμόζεται συνήθως για την παραγωγή πιτύρου καλαμποκιού για ανθρώπινη κατανάλωση. Το πίτυρο του καλαμποκιού περιέχει το περικάρπιο, τη στοιβάδα της αλευρόνης καθώς και προσκολλημένα κομμάτια του αμυλούχου ενδοσπερμίου (**Σχήμα 3.23**). Λόγω της διαφοράς πυκνότητας μεταξύ φυτόρου, ενδοσπερμίου και πιτύρου, το ακατέργαστο πίτυρο καλαμποκιού μπορεί να διαχωριστεί πνευματικά προς περαιτέρω καθαρισμό, αύξηση της συγκέντρωσης και μεταβολής του μεγέθους των σωματιδίων του. Έτσι προκύπτει ένα προϊόν με πολύ υψηλό ποσοστό (περίπου 85% ή περισσότερο) διαιτητικών ινών, από τις οποίες το περίπου 65% είναι ημικυτταρίνες (κυρίως αραβινοξυλάνες) και το 20% κυτταρίνη. Οι αραβινοξυλάνες του ρυζιού, του σόργου και του καλαμποκιού είναι πιο περίπλοκες από του σίτου, της σίκαλης και του κριθαριού, επειδή σε αυτές εκτός από τις πλευρικές αλυσίδες αραβινόζης υπάρχουν και μικρά ποσοστά ξυλόζης, γαλακτόζης και ουρονικού οξέος. Οι αραβινοξυλάνες του πιτύρου του καλαμποκιού εκχυλίζονται με αλκαλικά ή όξινα διαλύματα, για την παραγωγή υδατοδιαλυτού κόμματος (Burge & Duensing 1989, Alexander 1991, Boyer & Shannon 1991, May 1991, Watson 1991, Whistler 1993, Saulnier et al. 1995, Eckhoff & Paulsen 1996, Izydorczyk & Biliaderis 2007, Holguin-Acuna et al. 2011).



Σχήμα 3.23. Δομή του σπόρου του καλαμποκιού (Haard & Chism 1996).

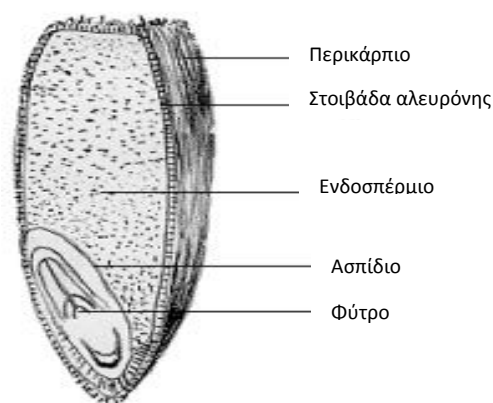
3.4.1.6 Πίτυρο σίκαλης

Η σίκαλη (*Secale cereale*, L.), αν και έχει παρόμοια δομή με το σιτάρι, παρουσιάζει ωστόσο σημαντικά διαφορετική χημική σύνθεση και άλλες τεχνολογικές ιδιότητες. Ο καρπός της αποτελείται από το κέλυφος (που αφαιρείται κατά τη συγκομιδή) και το σπόρο. Τα εξωτερικά στρώματα του σπόρου περιλαμβάνουν το περικάρπιο και την τέστα, που περιβάλλουν το φυτό και το ενδοσπέρμιο (αλευρόνη και αμυλούχο ενδοσπέρμιο) (Σχήμα 3.24).

Η σίκαλη περιέχει υψηλότερα ποσοστά διαιτητικών ινών, σε σύγκριση με το σιτάρι (15-21% έναντι 11-13%). Το πίτυρο της σίκαλης περιέχει 35-49% διαιτητικές ίνες, κύρια συστατικά των οποίων είναι οι αραβινοξυλάνες (8-12%), οι β-γλυκάνες (1.3 - 2.2%) και η κυτταρίνη (1 - 1.7%), ενώ περιέχει επίσης και φρουκτάνες (συμπεριλαμβανομένων των φρουκτοολιγοσακχαριτών) σε ποσοστά 4.6-6.6% (Shewry & Bechtel 2001, Hansen et al. 2003, Karppinen et al. 2003). Η ισχύουσα περίληψη των φρουκτανών στις διαιτητικές ίνες συνεπάγεται περαιτέρω αύξηση του περιεχομένου των διαιτητικών ινών της σίκαλης.

Ο σπόρος της σίκαλης αλέθεται και κλασματοποιείται σε άλευρα διαφορετικής ποιότητας και πίτυρα. Η άλεση των σπόρων με κυλινδρόμυλο αποδίδει έως και 50 κλάσματα με κυμαινόμενη χημική σύνθεση και διαφορετικές τεχνολογικές ιδιότητες. Στα εξευγενισμένα άλευρα, το κλάσμα του πιτύρου (στοιβάδες περικαρπίου, τέστας και αλευρόνης) μαζί με το φυτό, που είναι πλούσια σε ίνες και θρεπτικά συστατικά, διαχωρίζονται από το αμυλούχο ενδοσπέρμιο. Αξίζει να σημειωθεί ότι το αλεύρι σίκαλης, λόγω της δυσκολίας διαχωρισμού του φύτρου και του πιτύρου από το ενδοσπέρμιο, διατηρεί περισσότερα θρεπτικά συστατικά από το αλεύρι σίτου. Εφόσον τα μέταλλα είναι συγκεντρωμένα στα εξωτερικά

στρώματα του σπόρου της σίκαλης, η περιεκτικότητα του αλεύρου σε τέφρα υποδεικνύει και την περιεκτικότητα των εξωτερικών στρωμάτων στο άλευρο. Το αλεύρι σίκαλης ολικής άλεσης (σκουρόχρωμη σίκαλη) περιέχει 14% διαιτητικές ίνες και 2% τέφρα, το μετρίως εξευγενισμένο αλεύρι σίκαλης 9% διαιτητικές ίνες και 0.9% τέφρα, και το εξευγενισμένο αλεύρι σίκαλης (ανοιχτόχρωμη σίκαλη) 7% διαιτητικές ίνες και 0.8% τέφρα, αντίστοιχα (Kamal-Eldin et al. 2008).



Σχήμα 3.24. Δομή του σπόρου της σίκαλης (Weipert 1996).

3.4.1.7 Λοιπά σιτηρά και ψευδοσιτηρά

Το σόργο (*Sorghum bicolor Moench*) είναι ένα σιτηρό με γυμνό σπόρο, καθώς το κέλυφός του απομακρύνεται κατά τη συγκομιδή, και απαρτίζεται από το πίτυρο, το φύτρο και το ενδοσπέρμιο. Οι διαιτητικές του ίνες αποτελούνται κυρίως από αδιάλυτες γλυκουρονοαραβινοξυλάνες. Από διατροφική άποψη είναι σημαντικό ότι πολλές ποικιλίες του περιέχουν αξιόλογες ποσότητες φαινολικών ενώσεων, που έχουν ισχυρή αντιοξειδωτική δράση, ενώ σε λίγες ποικιλίες περιέχονται συμπυκνωμένες ταννίνες στη στοιβάδα τέστα κάτω από το περικάρπιο (Verbruggen et al. 1993, Awika & Rooney, 2004).

Το κεχρί (*Pennisetum glaucum, L.*) όπως και το σόργο έχει γυμνό σπόρο. Βασική διαφορά αποτελεί, ωστόσο, ότι το φύτρο του είναι αναλογικά αρκετά μεγάλο (περίπου 18% του συνόλου του σπόρου), γεγονός που επηρεάζει την περιεκτικότητά του σε διάφορα θρεπτικά συστατικά (π.χ. μεγάλη περιεκτικότητα σε λιπαρά και πρωτεΐνες). Περιέχει περίπου 9.7% διαιτητικές ίνες, που αποτελούνται κυρίως από αδιάλυτες αραβινοξυλάνες με υποκαταστάτες ουρονικά οξέα. Στο περικάρπιό του επίσης περιέχει φαινολικές ενώσεις και флаβονοειδή, που έχουν αντιοξειδωτική δράση, μερικά όμως (π.χ. goitrogens) ενεργούν και ως αντιθρεπτικά συστατικά. Δεδομένου ότι τα παραπάνω είναι συγκεντρωμένα στο περικάρπιο, μειώνονται σημαντικά μετά την αφαίρεση των εξωτερικών στοιβάδων του σπόρου κατά την άλεση (Hadimani et al. 2001).

Το τριτικάλε (*Triticale* ή *Triticosecale*) αποτελεί τον πρώτο καρπό σιτηρών που δημιουργήθηκε από τον άνθρωπο (διασταύρωση σίτου-*Triticum* και σίκαλης-*Secale*). Ως προϊόν διασταύρωσης εμφανίζει ενδιάμεσες ιδιότητες μεταξύ σίτου και σίκαλης, με διαφορετικές επιδράσεις από κάθε γονέα.

Ο αμάρανθος, ο πυρίανθος και ο φαγόπυρος είναι από τα πιο διαδεδομένα ψευδοσιτηρά. Ο καρπός του αμάρανθου (*Amaranthus caudatus*) θεωρείται πλούσιος σε άμυλο, ενώ περιέχει και υψηλότερα ποσοστά πρωτεϊνών (14-16 %) από τα σιτηρά. Οι πρωτεΐνες του έχουν υψηλή θρεπτική αξία, αφού περιέχουν λυσίνη σε ποσοστά συγκρίσιμα με της σόγιας. Ο καρπός έχει επίσης υψηλή περιεκτικότητα σε λιπαρά (6-8 %), περιορίζοντας έτσι τη διατηρησιμότητά του και παρεμποδίζοντας την παραγωγή προϊόντων εκβολής (Taylor & Emmambux 2008).

Ο πυρίανθος (*Chenopodium quinoa*) ανήκει στα δικοτυλήδονα φυτά και ο καρπός του είναι πλούσιος σε πρωτεΐνες (~ 14 %), λιπαρά (~ 9 %) και διαιτητικές ίνες (~ 13 %), το μεγαλύτερο (>80%) των οποίων είναι αδιάλυτες (Ruales et al. 2002). Η χρήση του στα τρόφιμα περιορίζεται λόγω της υψηλής συγκέντρωσης σε σαπωνίνες/γλυκοζίδια και άλλα αντιθρεπτικά συστατικά, και συνεπώς καθίσταται αναγκαία η επεξεργασία για την απομάκρυνσή τους. Το άλευρο του πυρίανθου χρησιμοποιείται συνήθως ως κουάκερ ή σε νηπιακές τροφές, λόγω της υψηλής ενέργειας και της πρωτεϊνικής του αξίας. Ο πυρίανθος ακόμα μπορεί να χρησιμοποιηθεί στα τρόφιμα ως παράγοντας ελέγχου της όρεξης (appetite controlling), αφού έχει υψηλότερο δείκτη κορεσμού από τους άλλους σπόρους σιτηρών (Berti et al. 2005).

Ο φαγόπυρος (*Fagopyrum Esculentum*) είναι καλή πηγή ενέργειας, πρωτεϊνών, βιταμινών και μετάλλων. Περιέχει ~23% διαιτητικές ίνες (Bonafaccia et al. 2003) που είναι συγκεντρωμένες κυρίως στο εξωτερικό περίβλημα και το κέλυφος. Έτσι εξηγείται και το χαμηλότερο ποσοστό διαιτητικών ινών του σπόρου (~7%). Έχει προταθεί ως λειτουργικό τρόφιμο, αφού περιέχει αρκετά λειτουργικά συστατικά όπως φλαβονοειδή, φλαβόνες, φυτοστερόλες, φαγοπυρίνες και πρωτεΐνες που δεσμεύουν τη θειαμίνη. Επίσης έχει βρεθεί ότι οι βρασμένοι σπόροι του περιέχουν υψηλή περιεκτικότητα σε ανθεκτικό άμυλο (4.4% ξ.β.). Ιδιαίτερη προσοχή πρέπει να δοθεί στην παρουσία δυνητικά αλλεργιογόνων πρωτεϊνών, που είναι επικίνδυνες για συγκεκριμένες ομάδες πληθυσμού (Skrabanja et al. 2001, Steadman et al. 2001, Krkošková & Mrázová 2005, Wijngaard & Arendt 2006, Taylor & Emmambux 2008).

3.4.2 Συμπυκνώματα διαιτητικών ινών από άλλες πηγές

3.4.2.1 Όσπρια

Τα όσπρια που καταναλώνει άμεσα ο άνθρωπος είναι τα φασόλια, οι φακές, τα ρεβίθια, τα κουκιά, τα μπιζέλια, η σόγια κλπ. Οι σπόροι τους αποτελούν πηγές διαιτητικών ινών. Χαρακτηριστικά αναφέρεται ότι οι φακές περιέχουν 10.6% και τα φασόλια 17.3% (ξ.β.) διαιτητικές ίνες. Ειδικότερα τα συμπυκνώματα διαιτητικών ινών οσπρίων προκύπτουν από αλεσμένους ή αποφλοιωμένους σπόρους κατά την παραλαβή των κλασμάτων αμύλου και των πρωτεϊνικών συμπυκνωμάτων. Η σύσταση και οι ιδιότητες των συμπυκνωμάτων διαιτητικών ινών οσπρίων διαφέρουν ανάλογα με το τμήμα του σπόρου από το οποίο προέρχονται (πίτυρο ή υπόλοιπη κοτυληδόνα). Ειδικότερα, τα προϊόντα από το πίτυρο περιέχουν κυρίως αδιάλυτες ίνες, ενώ εκείνα από την κοτυληδόνα είναι πλούσια σε πηκτίνες και ημικυτταρίνες, εν μέρει διαλυτές. Στα όσπρια απαντώνται επίσης και οι μη αφομοιώσιμοι ολιγοσακχαρίτες α-γαλακτοζίτες (της οικογένειας της ραφινόζης). Ιδιαίτερη σημασία πρέπει να δίνεται στο σημαντικό ποσοστό πρωτεϊνών που περιέχουν τα όσπρια κατά την αξιολόγηση των φυσιολογικών επιδράσεων των σπόρων τους (Guillon et al. 2000, Arnoldi 2004).

Τα κυτταρικά τοιχώματα της σόγιας αποτελούνται από ~30% πηκτίνες, ~50% ημικυτταρίνες και ~20% κυτταρίνη. Από την επεξεργασία της σόγιας προκύπτουν 3 προϊόντα πλούσια σε ίνες: το πίτυρο σόγιας που λαμβάνεται από το κέλυφος του σπόρου, οι διαιτητικές ίνες σόγιας που λαμβάνονται από το ενδοσπέρμιο (κοτυληδόνα) και τα συμπυκνώματα πρωτεϊνών σόγιας που επίσης λαμβάνονται από το ενδοσπέρμιο του σπόρου. Η διαδικασία παραγωγής πρωτεϊνικών συμπυκνωμάτων σόγιας (κύριο προϊόν) έχει ως συνέπεια την παραγωγή των άλλων δύο προϊόντων ινών. Πρώτο προϊόν αποτελεί το πίτυρο σόγιας, που προκύπτει κατά την απομάκρυνση του κελύφους πριν την επεξεργασία του σπόρου για την παραγωγή πρωτεϊνικών συμπυκνωμάτων. Τα κελύφη επεξεργάζονται περαιτέρω (μέρος της επεξεργασίας αποτελεί και η απομάκρυνση λιπαρών), για να επιτευχθεί το επιθυμητό επίπεδο καθαρότητας (65-95% διαιτητικές ίνες-κυρίως αδιάλυτες) και το προϊόν αλέθεται σε διάφορα μεγέθη. Αφετέρου, η διαδικασία παραγωγής πρωτεϊνικών συμπυκνωμάτων, περιλαμβάνει ένα βήμα διαλυτοποίησης σε ελαφρώς αλκαλικό pH, κατά το οποίο απομακρύνεται το μεγαλύτερο μέρος των πρωτεϊνών και ορισμένες διαλυτές ίνες (πρωτεϊνικό συμπύκνωμα), ενώ απομένει το μη διαλυτοποιημένο υπόλειμμα (ίνες σόγιας). Τα πρωτεϊνικά συμπυκνώματα σόγιας περιέχουν περίπου 20% διαλυτές ίνες και 70% πρωτεΐνες, ενώ τα προϊόντα ινών σόγιας περιέχουν συνήθως 75-80% διαιτητικές ίνες (αδιάλυτες και διαλυτές) (Nelson 2001, Riaz 2001).

3.4.2.2 Φρούτα και λαχανικά

Συμπυκνώματα ινών από φρούτα και λαχανικά προκύπτουν μέσω αφυδάτωσης και μπορούν να χρησιμοποιηθούν ως συστατικά εμπλουτισμού των τροφίμων με διαιτητικές ίνες. Η λειτουργικότητά τους εξαρτάται από την πηγή από την οποία εξάγονται και από τη διαδικασία απομόνωσής τους. Για παράδειγμα, η θερμική αφυδάτωση μπορεί να καταστρέψει τη δομή των κυτταρικών τοιχωμάτων, σε αντίθεση με τη λυοφιλίωση που τη διατηρεί.

Αν και οι ίνες από λαχανικά δεν είναι τόσο διαδεδομένες, οι πιο συχνά χρησιμοποιούμενες ίνες λαχανικών είναι οι ίνες καρότου και πατάτας. Οι διαιτητικές ίνες στο καρότο αποτελούνται από πηκτίνη (7.41%), ημικυτταρίνες (9.14%), κυτταρίνη (80.94%) και λιγνίνη (2.48%) (ξ.β.). Μετά την επεξεργασία, τα υπολείμματα καρότου (φλοιοί και πολτός), συνήθως απορρίπτονται ή χρησιμοποιούνται ως ζωοτροφή. Ωστόσο, τα παραπροϊόντα αυτά περιέχουν υψηλή περιεκτικότητα σε ευεργετικές για την υγεία ουσίες, όπως αντιοξειδωτικά και διαιτητικές ίνες. Ο πολτός καρότου που συνήθως προκύπτει ύστερα από χυμοποίηση των καρότων, περιέχει 37-48% διαιτητικές ίνες. Η μέθοδος και οι συνθήκες ξήρανσης των παραπροϊόντων επεξεργασίας του καρότου, καθώς και άλλες κατεργασίες (όπως η λεύκανση) που συνήθως παρεμβάλλονται, επηρεάζουν την περιεκτικότητα των διαιτητικών ινών στο προϊόν καθώς και τις λειτουργικές τους ιδιότητες (Bao & Chang 1994, Nawirska & Kwasniewska 2005, Chantaro et al. 2008, Datt Sharma 2012). Τα μεγάλα ποσά πολτού και φλοιών πατάτας, που προκύπτουν από τη βιομηχανική επεξεργασία του αλεύρου και άλλων προϊόντων πατάτας, έχουν ιδιαίτερο ενδιαφέρον, λόγω της περιεκτικότητάς τους σε διαιτητικές ίνες. Ο πολτός πατάτας συνήθως παράγεται ως παραπροϊόν κατά την εξαγωγή του αμύλου πατάτας και περιέχει κυτταρίνη, λιγνίνη, ημικυτταρίνες και πηκτίνες. Μπορεί να χρησιμοποιηθεί είτε άμεσα, μετά από ξήρανση, είτε μετά από απομόνωση των διαιτητικών ινών (συνήθως με ενζυμική επεξεργασία). Οι φλοιοί πατάτας προκύπτουν κυρίως κατά την παραγωγή τσιπ πατάτας και περιέχουν ~40% (ξ.β.) διαιτητικές ίνες. Στην περίπτωση των φλοιών πατάτας σημαντικό ρόλο παίζει η μέθοδος αποφλοιώσης, καθώς επηρεάζει τις περιεχόμενες διαιτητικές ίνες (Camire & Flint 1991, Camire et al. 1997, Mayer 1998).

Στα φρούτα οι διαιτητικές ίνες βρίσκονται κυρίως στα παρεγχυματικά κύτταρα, από τα οποία αποτελούνται τα όργανα αναπαραγωγής τους που περιέχουν ένα ή περισσότερους σπόρους (συμπεριλαμβανομένου του εμβρύου). Αυτά τα κύτταρα έχουν λεπτά τοιχώματα και πολύ κενό χώρο ανάμεσά τους και μπορούν να σταθεροποιούν ιστούς με υψηλή περιεκτικότητα σε νερό, λόγω της δομής τους και της υψηλότερης αναλογίας πηκτίνης και ημικυτταρίνης έναντι της κυτταρίνης. Πρώτες ύλες για την παραγωγή ινών από φρούτα

είναι διαθέσιμες σε μεγάλες ποσότητες και συνήθως αποτελούν παραπροϊόντα της χυμοποίησης αυτών. Στη βιομηχανία το υπόλειμμα χυμοποίησης ξηραίνεται, καθαρίζεται σε κάποιο βαθμό και αλέθεται σε καθορισμένη κοκκομετρία. Οι βασικές ιδιότητες των ινών φρούτων είναι οι ιδιότητες ενυδάτωσης, ενίσχυσης του ιξώδους και αποφυγής συναίρεσης. Οι διαιτητικές ίνες φρούτων, λόγω της μεγάλης ικανότητας δέσμευσης νερού, χρησιμοποιούνται συνήθως σε σχετικά χαμηλά επίπεδα, με αποτέλεσμα τα τυποποιημένα τρόφιμα να μην απαιτούν αναγραφή του ισχυρισμού. Έτσι, χρησιμοποιούνται κυρίως λόγω των λειτουργικών τους ιδιοτήτων σε προϊόντα χαμηλής περιεκτικότητας σε λιπαρά ή σε χαμηλής θερμιδικής αξίας τρόφιμα (Walter 1985, Larrauri 1999, Sandrou & Arvanitoyannis 2000, MacDougall & Selvendran 2001, Waldron et al. 2003).

Χαρακτηριστική περίπτωση ινών φρούτων είναι οι ίνες μήλου. Η παραγωγή χυμού μήλου συνοδεύεται από τη συμπαραγωγή περίπου 20% υπολείμματος, το οποίο ξηραίνεται αμέσως μετά τη χυμοποίηση του φρούτου. Το προκύπτον παραπροϊόν αποτελείται από φλοιούς, σπόρους, πυρήνες και κυρίως κυτταρικά τοιχώματα της σάρκας (παρεγχυματικό ιστό), περιέχει περίπου 60% διαιτητικές ίνες, το 20% εκ των οποίων περίπου είναι διαλυτές (κυρίως πηκτίνες). Στην περίπτωση της επεξεργασίας των εσπεριδοειδών (χυμοποίησης ή απομόνωσης των αιθερίων ελαίων τους), τα παραπροϊόντα (φλοιοί, πούλπα και σπόροι) αποτελούν 40%-60% του φρούτου και χρησιμοποιούνται για την παραγωγή δευτερογενών προϊόντων, όπως ζαχαρωμένοι φλοιοί, πηκτίνες, ή ίνες (από φλοιούς και/ή πούλπα). Ανάλογα με το τμήμα του φρούτου, μπορεί να παραχθούν προϊόντα διαιτητικών ινών με διαφορετικές ιδιότητες. Για παράδειγμα, η συνολική περιεκτικότητα σε διαιτητικές ίνες του φλοιού του πορτοκαλιού είναι 9.6%, των μεμβρανών 9.7%, του χυμού 11% και των σπόρων 14.6%, ενώ η περιεκτικότητά τους σε νερό είναι 69%, 81%, 84% και 48% αντίστοιχα (Braddock & Graumlich 1980, Grigelmo-Miguel & Martina-Belloso 1999, Licandro & Odio 2002).

Αν και οι ποσότητες των παραπροϊόντων που παράγονται από την επεξεργασία φρούτων είναι μεγάλες, η εμπορική παραγωγή προϊόντων ινών φρούτων είναι περιορισμένη και τα παραπροϊόντα χρησιμοποιούνται κυρίως στη βιομηχανία ζωοτροφών. Οι ιστοί των νωπών φρούτων μετά τη συμπίεση δεν είναι σταθεροί και υπόκεινται σε ενζυμικές και μικροβιολογικές αλλοιώσεις. Κατά την ωρίμανση των φρούτων επιπλέον συμβαίνει αποικοδόμηση των κυτταρικών τοιχωμάτων (στην οποία οφείλεται και το μαλάκωμα της υφής τους) και επομένως υποβάθμιση των διαιτητικών ινών. Ως εκ τούτου, μετά την επεξεργασία των φρούτων είναι απαραίτητη η αφυδάτωση, η οποία λόγω της μεγάλης περιεκτικότητας νερού του παραπροϊόντος και της υψηλής ικανότητας δέσμευσης νερού

των κυτταρικών τοιχωμάτων των φρούτων είναι δαπανηρή. Επιπλέον, καθίσταται επίπονη η διατήρηση της ικανότητας δέσμευσης νερού των ινών που τους προσδίδει τη λειτουργικότητά τους, καθώς εξαρτάται σε μεγάλο βαθμό από τη διατήρηση της δομής του κυτταρικού τοιχώματος κατά την αφυδάτωση. Λόγω των ανωτέρω παραγόντων η παραγωγή προϊόντων ινών από φρούτα συνήθως θεωρείται μη συμφέρουσα οικονομικά (Kunzek et al. 1999, Fischer 2009).

3.4.2.3 Ζαχαρότευτλα

Οι διαιτητικές ίνες από ζαχαρότευτλα (ή τεύτλα) προέρχονται κυρίως από τον πολτό των τεύτλων μετά την εκχύλιση της σακχαρόζης, που είναι το κύριο παραπροϊόν της βιομηχανίας της ζάχαρης. Ο πολτός των τεύτλων παράγεται σε μεγάλες ποσότητες (500 kg υγρού βάρους/ tn τεύτλων) και μπορεί να αξιοποιηθεί άμεσα (ξηρό βάρος ~ 10%), μετά από πίεση (ξηρό βάρος ~ 27%), ή ως αφυδατωμένος (ξηρό βάρος ~ 90%), και χρησιμοποιείται ευρέως σε ζωοτροφές μηρυκαστικών. Δεδομένου ότι το υπόλειμμα αυτό αποτελείται κυρίως από πολυσακχαρίτες του κυτταρικού τοιχώματος, αρκετές βιομηχανίες ζάχαρης έχουν μελετήσει την αξιοποίησή του ως συστατικό πλούσιο σε διαιτητικές ίνες, ή την απομόνωση των ίδιων των διαιτητικών ινών του.

Ο πολτός τεύτλων έχει υψηλή περιεκτικότητα σε διαιτητικές ίνες (>75%) και ιδίως σε διαλυτές ίνες. Πριν χρησιμοποιηθεί σε τρόφιμα υποβάλλεται συνήθως σε επεξεργασία (καθαρισμός, εξαγωγή, κοσκίνισμα και θέρμανση), καθώς έχει μια χαρακτηριστική δυσάρεστη γεύση, ή έντονο χρώμα, ενώ μπορεί να περιέχει και υψηλές ποσότητες από χρώμα ή άμμο. Αρκετές διαδικασίες έχουν κατοχυρωθεί με δίπλωμα ευρεσιτεχνίας και έχουν αποκτήσει εμπορικές ονομασίες. Σήμερα, το επικρατέστερο προϊόν ινών από τεύτλα είναι το Fibrex, που αναπτύχθηκε από την Danisco Sugar A/S (Δανία) και κυκλοφορεί σε διάφορες κοκκομετρίες (από <32 μm μέχρι νιφάδες). Η διαδικασία απομόνωσης που ακολουθείται περιλαμβάνει δύο βήματα άτμισης - ξήρανσης σε βέλτιστες συνθήκες θερμοκρασίας, πίεσης και χρόνου, καθώς και ένα βήμα άλεσης και διαχωρισμού της άμμου από το τελικό προϊόν.

Οι διαιτητικές ίνες των τεύτλων προέρχονται αποκλειστικά από τα κυτταρικά τους τοιχώματα. Η σύνθεση των κυτταρικών τοιχωμάτων που απομονώνονται από πολτό τεύτλων είναι παρόμοια με εκείνη των ακατέργαστων τεύτλων. Τα κυτταρικά τοιχώματα των τεύτλων, και ως εκ τούτου και οι διαιτητικές ίνες από τεύτλα, χαρακτηρίζονται από πολύ υψηλή περιεκτικότητα σε πηκτίνες, με περίπου 20% γαλακτουρονικό οξύ και 20% αραβινόζη. Οι πηκτίνες που απομονώνονται από τεύτλα δεν σχηματίζουν πηκτές στις συνθήκες συνθήκες, αλλά μόνο μετά από κατάλληλη επεξεργασία. Οι ίνες των τεύτλων,

παρουσιάζουν υψηλή ικανότητα ενυδάτωσης, ιδιαίτερα σε σύγκριση με τις ίνες από πίτυρα σιτηρών. Οι ιδιότητες ενυδάτωσης διαφέρουν ανάλογα με τον τρόπο παραλαβής και επεξεργασίας των ινών και από την άλλη πλευρά και τις συνθήκες μέτρησης των ιδιοτήτων. Οι κύριοι παράγοντες που επηρεάζουν τις ιδιότητες ενυδάτωσης είναι το μέγεθος των σωματιδίων, οι συνθήκες ξήρανσης και τυχόν θερμικές ή θερμοφυσικές κατεργασίες που παρεμβάλλονται. Επιπλέον, η μέτρηση των ιδιοτήτων ενυδάτωσης επηρεάζεται από εξωγενείς παράγοντες, όπως η ιοντική ισχύς του διαλύματος ενυδάτωσης και η σύνθεση των ιόντων του. Το μέγεθος των σωματιδίων επηρεάζει και την ικανότητα διατήρησης υγρασίας και βελτίωσης της υφής και της στοματικής αίσθησης των διαιτητικών ινών των τεύτλων (Fibrex), που είναι τα κύρια τεχνολογικά χαρακτηριστικά τους (Bertin 1988, Tjebbes 1988, Christensen 1989, Guillon et al. 1992, Ralet et al. 1993, Auffret et al. 1994, Dronnet et al. 1997, Guillon et al. 1998, Thibault et al. 2001, Reddad et al. 2002, Levigne et al. 2002, Ralet et al. 2009).

3.4.3 Ανθεκτικό άμυλο

Οι περισσότεροι τύποι αμύλου ανήκουν στην κατηγορία του ταχέως αφομοιώσιμου αμύλου (RDS-Rapid Digestible Starch) ή βραδέως αφομοιώσιμου αμύλου (SDS- Slow Digestible Starch) και, υπό κανονικές συνθήκες, αφομοιώνονται πλήρως στο λεπτό έντερο. Παρόλα αυτά, υπάρχουν ορισμένοι τύποι αμύλου που είναι ανθεκτικοί ή δεν είναι προσπελάσιμοι από τα αμυλολυτικά ένζυμα του ανθρώπου. Το άμυλο αυτό ονομάζεται ανθεκτικό άμυλο (RS) και ορίζεται ως «το σύνολο του αμύλου και των προϊόντων της αποικοδόμησης του αμύλου που δεν απορροφώνται στο λεπτό έντερο των υγιών ανθρώπων» (Asp 1992). Το ανθεκτικό άμυλο είναι μια ετερογενής ομάδα, που διακρίνεται σε τέσσερις διαφορετικούς υποτύπους αμύλου, με βάση το μηχανισμό με τον οποίο το άμυλο ανθίσταται στην πέψη (Brown et al. 1995, Sajilata et al. 2006) (**Πίνακας 3.4**). Αντίσταση στην πέψη μπορεί να προκύψει από διάφορους παράγοντες, ενδογενείς (είδος κόκκων αμύλου) και εξωγενείς (λόγω της επεξεργασίας και αποθήκευσης των τροφίμων).

Το ανθεκτικό άμυλο απαντάται φυσικά σε ευρύ φάσμα αμυλούχων τροφίμων, ή μπορεί να προστεθεί στα τρόφιμα ως λειτουργικό συστατικό. Αποτελεί μία ασυνήθιστη μορφή διαιτητικών ινών, λόγω του ότι το ποσό του μπορεί να μεταβληθεί κατά τη διάρκεια της επεξεργασίας των τροφίμων στα οποία περιέχεται. Αναφέρεται ότι σήμερα καταναλώνονται ημερησίως περίπου 5 g ανθεκτικού αμύλου, τα οποία προέρχονται από την κατανάλωση αμυλούχων τροφίμων, όπως ψωμί και δημητριακά πρωινού, ενώ παλαιότερα που καταναλώνονταν λιγότερο επεξεργασμένα τρόφιμα και περισσότερα όσπρια και σιτηρά, η καταναλισκόμενη ποσότητα του ανθεκτικού αμύλου ήταν πολύ

μεγαλύτερη (Berry 1985, Englyst & Kingman 1990, Mahadevamma 2003, Brown 2004, Champ 2004, Lee & Chang 2004, Lewandowicz & Soral-Smietana 2004, Shin 2004, Bauer 2005, Leeman et al. 2005, Chesson 2006, Birkett & Brown 2008, Finocchiaro et al. 2009).

Πίνακας 3.4. Τύποι ανθεκτικού αμύλου (Brown et al. 1995, Sajilata et al. 2006)

Τύπος Ανθεκτικού Αμύλου	Ιδιότητες	Πηγές	Παρατηρήσεις
RS1 Φυσικά μη προσπελάσιμο	Δεν διογκώνεται, δεν ζελατινοποιείται και δεν διασπείρεται πλήρως. Η μήτρα δεν είναι εύκολα προσβάσιμη από τα αμυλολυτικά ένζυμα.	Ολόκληροι ή μερικώς αλεσμένοι σπόροι, υδροθερμικά κατεργασμένο ρύζι, όσπρια	Επηρεάζεται από την άλεση και τη ζελατινοποίηση
RS2 Εγγενώς ανθεκτικό	Κοκκώδες με περιοχές υψηλής κρυσταλλικότητας	Ωμές πατάτες, πράσινες μπανάνες, καλαμπόκι άμυλο υψηλής περιεκτικότητας σε αμυλόζη (HAM)	Μειώνεται όταν ζελατινοποιηθεί το άμυλο
RS3 Αναδιαμορφωμένο	Μη κοκκώδες	Μαγειρεμένα και ψυγμένα άμυλα	Αυξάνεται με συγκεκριμένες διεργασίες
RS4 Τροποποιημένο	Διαλυτό ή αδιάλυτο	Δεν απαντάται στη φύση ή σε φυσικά προϊόντα	

3.4.3.1 Τύποι ανθεκτικού αμύλου

Το ανθεκτικό άμυλο τύπου 1 (RS1) είναι το φυσικά μη προσπελάσιμο άμυλο. Η «προστασία» του αποδίδεται είτε στα άθικτα κυτταρικά τοιχώματα, που εμποδίζουν ή περιορίζουν φυσικά την πρόσβαση της αμυλάσης, είτε σε πλέγμα που δημιουργείται μέσα στο τρόφιμο και παγιδεύει τους κόκκους του αμύλου, έτσι ώστε να μην μπορούν να διογκωθούν και επομένως να προστατεύονται φυσικά. Πρέπει να σημειωθεί ότι διεργασίες που μεταβάλλουν τη δομή του αμύλου, όπως διεργασίες μείωσης του μεγέθους σωματιδίων (π.χ. άλεση, λείανση) και θερμικές κατεργασίες (π.χ. μαγείρεμα), μειώνουν γενικώς το ποσό του RS1. Το φυσικά απροσπέλαστο άμυλο συναντάται σε μερικώς αλεσμένα σιτηρά και σπόρους, καθώς και όσπρια, όπως φασόλια και φακές. Αναφέρεται ότι το ακατέργαστο σιτάρι περιέχει 14% RS1, ενώ το αλεσμένο αλεύρι από σιτάρι περιέχει μόνο 2% (Snow & O’Dea 1981, Tovar 1996, Champ et al. 1999, Wursch 1999, Bednar et al. 2001, Henningsson et al. 2001, Siddhuraju & Becker 2001).

Το ανθεκτικό άμυλο τύπου 2 (RS2) απαντάται φυσικά σε κόκκους αμύλου που δεν έχουν υποστεί κάποια επεξεργασία (π.χ. θερμική) και η ανθεκτικότητά του οφείλεται κυρίως στην κρυσταλλική του δομή. Ειδικότερα, τα ακατέργαστα άμυλα ταξινομούνται σε 3 βασικούς

τύπους ανάλογα με το σχήμα (pattern) περίθλασης των ακτινών Χ. Στον τύπο Α ανήκουν τα περισσότερα άμυλα σιτηρών και το άμυλο κασσάβα, στον τύπο Β ανήκουν το άμυλο πατάτας και μπανάνας και στον τύπο C ανήκουν τα περισσότερα άμυλα οσπρίων/ψυχανθών. Το άμυλο τύπου Β, όταν δεν είναι θερμικά κατεργασμένο, είναι πολύ ανθεκτικό σε ενζυμική υδρόλυση και αποτελεί το RS2. Το RS2 είναι σχετικά σπάνιο και, δεδομένου ότι σχετίζεται με την κρυσταλλική δομή των κόκκων αμύλου, που κανονικά καταστρέφεται κατά τη διάρκεια του μαγειρέματος (οι περισσότερες από τις διαδικασίες μαγειρέματος ζελατινοποιούν τα ακατέργαστα άμυλα), βρίσκεται μόνο σε τρόφιμα όπως μπανάνες (που είναι η κύρια πηγή RS2 στη διατροφή του ανθρώπου) και ωμές πατάτες (Englyst & Cummings 1986, Champ et al. 1999).

Το ανθεκτικό άμυλο τύπου 3 (RS3) είναι μη κοκκώδες (non granular) κρυσταλλικό άμυλο, το οποίο προκύπτει φυσικά, όταν το ζελατινοποιημένο άμυλο ψύχεται και κρυσταλλώνεται (αναδιαμορφώνεται). Συγκεκριμένα, κατά τη θερμική κατεργασία (μαγείρεμα) των τροφίμων τα μόρια του αμύλου ζελατινοποιούνται, ενώ κατά την ψύξη ή/και την παρατεταμένη αποθήκευση (παλαίωση), η αμυλόζη του ζελατινοποιημένου αμύλου αναδιαμορφώνεται (ανακρυσταλλώνεται) γρήγορα. Το προϊόν της ανακρυστάλλωσης σταθεροποιείται λόγω σχηματισμού δεσμών υδρογόνου, μεταξύ των αλυσίδων του κλάσματος της αμυλόζης με χαμηλό μοριακό βάρος (περίπου 10000 Da). Το αναδιαμορφωμένο αυτό άμυλο (RS3) συνήθως δείχνει αυξημένη αντίσταση σε αναδιάλυση στο νερό και στην πέψη από την α-αμυλάση των θηλαστικών. Το ποσοστό του αναδιαμορφωμένου αμύλου που σχηματίζεται διαφέρει εξαρτώμενο εν μέρει από την αναλογία αμυλόζης/αμυλοπηκτίνης του αρχικού αμύλου και εν μέρει από την εφαρμοζόμενη θερμική επεξεργασία. Η αμυλόζη και η αμυλοπηκτίνη έχουν διαφορετικό μήκος αλυσίδας, μοριακό βάρος, σημείο τήξης και διαφορετική τρισδιάστατη δομή. Η αμυλοπηκτίνη είναι εύκολα προσβάσιμη από τις αμυλάσες και επομένως λιγότερο ανθεκτική στην πέψη σε σχέση με την ευθείας αλυσίδας αμυλόζη, ενώ το χαμηλότερο σημείο τήξης της αμυλοπηκτίνης συμβάλλει στη μικρότερη αντίστασή της στα θερμικά επεξεργασμένα τρόφιμα. Ο σχηματισμός του RS3 ενισχύεται με αλληπάλληλους κύκλους θέρμανσης και ψύξης, ενώ η διαδικασία ψύξης μπορεί να επηρεάσει σημαντικά την κρυσταλλική δομή του αναδιαμορφωμένου αμύλου. Λόγω του ότι η επαναλαμβανόμενη θέρμανση-ψύξη δεν μπορεί να εφαρμοστεί σε πολλά τρόφιμα, ένας τρόπος για να αυξηθεί η ποσότητα του RS3, είναι να χρησιμοποιηθεί άμυλο με μεγάλη περιεκτικότητα σε αμυλόζη, όπως θα περιγραφεί στη συνέχεια. Άλλοι παράγοντες που επηρεάζουν το σχηματισμό αναδιαμορφωμένου αμύλου είναι το περιεχόμενο νερό, το pH, η κατάψυξη και η ξήρανση.

Η εκβολή, που χρησιμοποιείται στην παραγωγή σνακ και δημητριακών πρωινού, προκαλεί επίσης αναδιαμόρφωση, και μπορεί να αυξήσει το περιεχόμενο RS. Το RS3 αποτελεί σχετικά χαμηλό ποσοστό των περισσότερων προϊόντων σιτηρών, και ~1% του καθημερινά καταναλισκόμενου αμύλου. Αναφέρεται ότι στο λευκό ψωμί ~0.6-0.9% του αμύλου καταλήγει ως ανθεκτικό (Englyst et al. 1983, Bjorck et al. 1986, Szczodrak & Pomeranz 1991, Champ et al. 1999, Haralampu 2000, Haros et al. 2002, Liljeberg - Elmstahl 2002, Chesson 2006).

Σχετικά με το RS3 υπήρχαν διαφωνίες μεταξύ των ερευνητών, αν θα πρέπει να κατηγοριοποιηθεί στις διαιτητικές ίνες. Τα επιχειρήματα της αντίθετης άποψης για την κατηγοριοποίηση βασίζονταν στο ότι το RS3 είναι προϊόν της επεξεργασίας που έχει υποστεί το τρόφιμο και δεν είναι πρωτογενές υλικό. Από αναλυτική άποψη όμως, το παραπάνω ανθεκτικό άμυλο δεν πέπτεται ούτε απορροφάται από τον οργανισμό, επομένως θα πρέπει να συγκαταλέγεται στις διαιτητικές ίνες (Stauffer 1993).

Ο τελευταίος τύπος ανθεκτικού αμύλου είναι το τροποποιημένο άμυλο (RS4). Η πεπτικότητα του αμύλου μπορεί να μεταβληθεί είτε μέσω εισαγωγής διαφορετικών χημικών δομών, είτε μέσω τροποποίησης της υφιστάμενης χημικής δομής του, ώστε να μην υδρολύεται από τα πεπτικά ένζυμα. Οι χημικές αλλαγές που προκύπτουν από διαδικασίες όπως δεξτρίνοποίηση, αιθεροποίηση, εστεροποίηση, οξειδωση κλπ., απλές ή συνδυασμοί τους, μπορεί να επηρεάσουν σημαντικά τόσο τη λειτουργικότητα όσο και τις θρεπτικές ιδιότητες του αμύλου. Οι ανθεκτικές δεξτρίνες και μαλτοδεξτρίνες, αν και προκύπτουν από τροποποίηση του αμύλου (μέσω δεξτρίνοποίησης), αναφέρονται ως προϊόντα αποικοδόμησης του αμύλου (μετά τη μετατροπή δεν χαρακτηρίζονται πια ως άμυλα) και όχι ως ανθεκτικό άμυλο, και έχουν πολύ διαφορετικές ιδιότητες από όλους τους τύπους του ανθεκτικού αμύλου. Τροποποιημένα άμυλα μπορεί να προκύψουν, επίσης, με ενζυμική κατεργασία του αμύλου, ή γενετική τροποποίηση των πηγών του. Ειδικότερα, διαγονιδιακές φυτικές πηγές αμύλου έχουν αποφέρει μεγάλη ποικιλία τροποποιημένων αμύλων με διαφορετικές αναλογίες αμυλόζης/αμυλοπηκτίνης και τροποποιημένες δομές με ανάλογες φυσικές ιδιότητες (Andersson et al. 2002, Gerard et al. 2002, Ji et al. 2002, Noda et al. 2002, You & Izydorczyk 2002, Chesson 2006).

Όσον αφορά τους τύπους του ανθεκτικού αμύλου, μπορεί να αναγνωριστεί ακόμη ένας τύπος (δυσνητικά RS5), ο οποίος βασίζεται στην ικανότητα των πολυμερών του αμύλου (όπως η αμυλόζη) να δημιουργούν σύμπλοκα με πολικά λιπίδια. Αυτές οι V-δομές (όπως αναγνωρίζονται με κρυσταλλογραφία ακτίνων X), έχουν παρατηρηθεί σε άμυλα υψηλής περιεκτικότητας σε αμυλόζη και ενδέχεται να σχηματιστούν κατά την ζελατινοποίηση του

αμύλου του ρυζιού (Priestley 1976) καθώς και κατά την εκβολή του αμύλου (Mercier et al. 1979). Οι V-δομές μπορεί να «προστατεύσουν» τα αμυλούχα υλικά τόσο κατά τη διάρκεια της επεξεργασίας των τροφίμων, όσο και κατά τη διέλευσή τους από το γαστρεντερικό σύστημα, έτσι ώστε να επιφέρουν τα αντίστοιχα φυσιολογικά οφέλη (Zobel 1992, Birkett & Brown 2008).

3.4.3.2 Πηγές και προϊόντα ανθεκτικού αμύλου

Τα RS1, RS2 και RS3 είτε απαντώνται φυσικά, είτε προκύπτουν κατά την επεξεργασία των τροφίμων και για αυτό ονομάζονται «φυσικά». Πολλά τρόφιμα περιέχουν πάνω από έναν τύπο φυσικού ανθεκτικού αμύλου, όπως για παράδειγμα τα μαγειρεμένα φασόλια (RS1 και RS3) και οι μπανάνες (RS1 και RS2) που αποτελούν καλές πηγές αυτού. Αντιθέτως, το RS4 (τροποποιημένο άμυλο), χαρακτηρίζεται ως «μη παραδοσιακή» πηγή ανθεκτικού αμύλου και ανήκει στα προϊόντα ανθεκτικού αμύλου, αποτελώντας εναλλακτική εμπορική προσέγγιση του φυσικού ανθεκτικού αμύλου (Finocchiaro et al. 2009).

Όπως αναφέρθηκε και προηγουμένως, ένας από τους σημαντικότερους παράγοντες που επηρεάζουν την αντίσταση στην πέψη των εγγενών αμύλων είναι η αναλογία αμυλόζης/αμυλοπηκτίνης του αμύλου, όπου, λόγω του ότι η αμυλοπηκτίνη είναι λιγότερο ανθεκτική στην πέψη, προτιμώνται τα άμυλα με υψηλή περιεκτικότητα αμυλόζης. Κατά την ζελατινοποίηση των κόκκων του αμύλου στα περισσότερα άμυλα, όμως, οι διαφορές μεταξύ αμυλόζης και αμυλοπηκτίνης απαλείφονται. Εξαιρέση αποτελούν τα άμυλα καλαμποκιού με υψηλή περιεκτικότητα σε αμυλόζη (HAM), που διατηρούν την κοκκώδη δομή τους ακόμη και σε θερμοκρασίες που εφαρμόζονται συνήθως κατά την παρασκευή τροφίμων. Συγκεκριμένα, τα HAM άμυλα έχουν πιο ανθεκτική κρυσταλλική δομή (B - διάταξη) σε σύγκριση με άλλα άμυλα και δεν ενυδατώνονται πλήρως, ούτε ζελατινοποιούνται σε θερμοκρασίες κάτω των 150 °C (συνήθεις θερμοκρασίες μαγειρέματος). Επιπλέον, σε ακραίες συνθήκες αν συμβεί ζελατινοποίηση, το άμυλο αναδιαμορφώνεται άμεσα και αποκτά μια επίσης ανθεκτική δομή (V-διάταξη). Επομένως, το ανθεκτικό άμυλο των HAM αμύλων μπορεί να ενισχυθεί περαιτέρω με επαναλαμβανόμενους κύκλους θέρμανσης - ψύξης. Εξαιτίας όλων των ανωτέρω, το HAM άμυλο είναι πιο ανθεκτικό στη δράση της αμυλάσης από ότι το τυπικό άμυλο καλαμποκιού (~ 25% αμυλόζη), ή το κηρώδες άμυλο καλαμποκιού (≤ 1% αμυλόζη). Εφόσον τα HAM άμυλα είναι από τα πιο ανθεκτικά φυσικά άμυλα, αποτελούν την πλέον πρόσφορη πηγή για την παρασκευή προϊόντων ανθεκτικού αμύλου με φυσικές, χημικές και ενζυμικές κατεργασίες (Annison & Topping 1994, Brown et al. 1995, Haralampu 2000, Gelski 2006, Sajilata et al. 2006, Birkett & Brown 2008).

Στις αρχές του δεκαετίας του 1990 κυκλοφόρησαν για πρώτη φορά στο εμπόριο προϊόντα ανθεκτικού αμύλου, το άμυλο Novelose το 1993 από την National Starch Chemical Co. και το άμυλο Crystalean το 1994 από την Opta Food Ingredient. Και τα δύο προϊόντα είναι τύπου RS3 και παρασκευάζονται από HAM άμυλο, περιέχουν περίπου 30% ανθεκτικό άμυλο και διατηρούν την αντοχή τους κατά τις κοινές διεργασίες παρασκευής των τροφίμων. Η παρασκευή προϊόντων RS3, κατά κανόνα περιλαμβάνει θερμική κατεργασία των κόκκων του αμύλου, με διαδοχικά βήματα θέρμανσης και ψύξης και προαιρετική κατεργασία με αμυλάση προς ενίσχυση της κρυστάλλωσης της αμυλόζης. Αυτού του τύπου τα άμυλα χαρακτηρίζονται από μεγάλο μέγεθος σωματιδίων και χαμηλή περιεκτικότητα σε ανθεκτικό άμυλο (Iyengar et al 1991, Chiu et al 1994, Henley & Chiu 1995).

Αργότερα, στα μέσα της δεκαετίας του 1990, κυκλοφόρησαν στο εμπόριο και τα τύπου RS2 προϊόντα ανθεκτικού αμύλου, που χαρακτηρίζονται από υψηλότερη περιεκτικότητα σε ανθεκτικό άμυλο και μικρότερο μέγεθος σωματιδίων. Τα σχετικά ανθεκτικά στις συνήθεις διεργασίες RS2 είναι φυσικά κοκκώδη άμυλα που παρασκευάζονται με απλή υγροθερμική κατεργασία. Το πρώτο εμπορικά διαθέσιμο προϊόν RS2 ήταν το Hi-maize, που παρασκευάζεται από HAM άμυλο χωρίς χημική ή ενζυμική κατεργασία και περιέχει 45% ανθεκτικό άμυλο (Shi & Trzasko 1997, Shi 2003).

Τέλος, στις αρχές της δεκαετίας του 2000, εισήχθησαν για πρώτη φορά στην αγορά τα χημικώς τροποποιημένα άμυλα RS4. Σήμερα για την παρασκευή προϊόντων RS4 χρησιμοποιούνται κοκκώδη και προζελατινοποιημένα άμυλα. Σχετικά με τη χρήση των RS4 προϊόντων, αξίζει να σημειωθεί ότι πριν την κυκλοφορία τους στην αγορά πρέπει αφενός να εξασφαλιστεί ότι είναι ασφαλή για τον ανθρώπινο οργανισμό (με κλινικές μελέτες) και αφετέρου ότι επιφέρουν τα αναμενόμενα φυσιολογικά οφέλη των διαιτητικών ινών (Ohkuma et al. 1994, Fouache et al. 2003, Woo et al. 2006, Finocchiaro et al. 2009).

3.4.4 Εκχυλίσματα φυτών (mucilages)

Οι **πηκτίνες** απαντώνται στη διατροφή είτε ως πρόσθετα συστατικά των τροφίμων (προϊόντα) είτε ως εγγενή συστατικά, που όπως αναφέρθηκε προηγουμένως, βρίσκονται στα κυτταρικά τοιχώματα των φρούτων και των λαχανικών. Τα υπερσυμπυκνώματα πηκτίνης παράγονται με όξινη εκχύλιση από φλοιούς εσπεριδοειδών, από υπολείμματα έκθλιψης μήλων, από στέμφυλα και από πολτό ζαχαρότευτλων, που προκύπτει από τη χυμοποίηση και την παραγωγή ζάχαρης, αντίστοιχα. Οι πηκτίνες που απομονώνονται από μήλα και εσπεριδοειδή έχουν συνήθως υψηλό μοριακό βάρος και μεγάλη ικανότητα συγκράτησης νερού, ενώ οι αντίστοιχες από τον πολτό των τεύτλων έχουν χαμηλότερο μοριακό βάρος. Ο βαθμός μεθυλεστεροποίησης των καρβοξυλομάδων είναι καθοριστικός

για το χρόνο και τις συνθήκες πήξης, καθώς και για τη δύναμη της πηκτικής της πηκτίνης. Οι πηκτίνες γενικά λειτουργούν ως πηκτικά και γεμιστικά μέσα, ενώ έχουν και εξαιρετικές ιδιότητες συγκράτησης νερού και σταθεροποίησης γαλακτωμάτων (Johnson & Southgate 1994, Fernandez 2001, Endress & Mattes 2009).

Η **β-γλυκάνη** είναι ένας πολυσακχαρίτης του κυτταρικού τοιχώματος και προέρχεται κυρίως από τη βρώμη και το κριθάρι (Marlett 1994), ενώ έχει απομονωθεί και από μικροοργανισμούς. Ειδικότερα, η β-γλυκάνη έχει απομονωθεί από μαγιά αρτοποιίας, αφού αποτελεί σημαντικό δομικό συστατικό των κυτταρικών τοιχωμάτων των ζυμομυκήτων. Χαρακτηριστικό παράδειγμα αποτελεί το υπερσυμπύκνωμα (86%) β-γλυκάνης Fibercel (Alpha-Beta Technology Inc., Massachusetts) σε μορφή μικροσφαιρίων, που προσδίδει κρεμώδη υφή στα τρόφιμα η οποία συνήθως συνδέεται με την ύπαρξη λιπαρού.

Το πίτυρο βρώμης έχει εξ ορισμού τουλάχιστον 5.5% (ξ.β.) β-γλυκάνη, ενώ στα προϊόντα πιτύρου βρώμης βρίσκεται συνήθως σε ποσοστό 8%-10%, αν και αναφέρονται ποσοστά έως και 22%. Το περιεχόμενο σε β-γλυκάνη των προϊόντων βρώμης έχει αυξηθεί με την παραγωγή κλασμάτων με υψηλή περιεκτικότητα β-γλυκάνης, μέσω διαδικασιών ξηρής ή υγρής άλεσης, ή με νέες μεθόδους επεξεργασίας κατοχυρωμένες με δίπλωμα ευρεσιτεχνίας. Οι β-γλυκάνες με υψηλότερα μοριακά βάρη και μεγαλύτερο ποσοστό β-1,4 δεσμών είναι συνήθως αδιάλυτες, ενώ οι β-γλυκάνες με χαμηλότερα μοριακά βάρη και μεγαλύτερο ποσοστό β-1,3 δεσμών είναι αντίστοιχα διαλυτές. Τα κύρια εμπορικά προϊόντα β-γλυκάνης που παράγονται από βρώμη είναι τα: OatWell, Nurture 1500, Natureal (με ξηρή άλεση), Nutrim-OB, Glucagel, Cerogen (εξαγωγή υπό κατάψυξη), Oatrim, OatsCreme (ενζυμική υδρόλυση), OatVantage και Vitacel (αλκαλική εκχύλιση) (Stauffer 1993, Tapola & Sarkkinen 2009).

Υπάρχουν πολλές μέθοδοι υγρής άλεσης για την απομόνωση της β-γλυκάνης από το κριθάρι, έτσι ώστε κάθε προϊόν β-γλυκάνης να έχει ειδικά χαρακτηριστικά και ιδιαίτερη λειτουργικότητα. Για την παραγωγή υπερσυμπυκνωμάτων β-γλυκάνης κριθαριού έχουν χρησιμοποιηθεί διάφοροι συνδυασμοί διαλυτών, pH, θερμοκρασίας και ενζύμων (Jadhav et al. 1998). Οι εκχυλιζόμενες β-γλυκάνες συνήθως καταβυθίζονται με προσθήκη αλκοόλης, ενώ έχουν επίσης χρησιμοποιηθεί μέθοδοι που στηρίζονται σε εκχύλιση με θερμό νερό ακολουθούμενη από κατάψυξη και απόψυξη του εκχυλίσματος προκειμένου να επιτύχουν καταβύθιση των β-γλυκανών (Morgan & Ofman 1998). Έχουν αναπτυχθεί αρκετές πατέντες για μεθόδους εκχύλισης β-γλυκανών κριθαριού, οι οποίες χρησιμοποιούν μόνο νερό ή νερό σε συνδυασμό με ενζυμική κατεργασία (Inglett 1992, Lehtomaki 1993, Wang 1996), ή NaOH και ενζυμική κατεργασία (Bhatty 1996) ή οξύ (Fox 1997).

Η **ινουλίνη** απαντάται σε φυτά που ανήκουν κυρίως στην οικογένεια *Liliacea* (πράσο, κρεμμύδι, σκόρδο, σπαράγγια κλπ.), ή στην οικογένεια *Compositae* (ηλίανθος, ντάλια, ραδίκια κλπ.). Η ντάλια, η αγκινάρα της Ιερουσαλήμ (ή κολοκάσι) (*Tuberosus helianthus*) και τα ραδίκια (*Cichorium intybus*), λόγω της υψηλής περιεκτικότητάς τους σε ινουλίνη (> 10%), θεωρούνται καλές πηγές και θα μπορούσαν να χρησιμοποιηθούν για βιομηχανική παραγωγή ινουλίνης σε εύκρατες περιοχές. Ωστόσο, οι περισσότεροι τύποι ινουλίνης προέρχονται από τις ρίζες ραδικιών, που παρουσιάζουν υψηλό και σχετικά σταθερό περιεχόμενο ινουλίνης (16-17.6%) ανά περιοχή. Η ινουλίνη αποτελείται από μίγμα ολιγομερών και πολυμερών β-2,1-φρουκτόζης, ο βαθμός πολυμερισμού των οποίων κυμαίνεται μεταξύ 10 και 60 και είναι αντίστοιχος με εκείνον που είχε στο φυτό από το οποίο προέρχεται. Αρκετά προϊόντα ινουλίνης είναι διαθέσιμα, τα οποία έχουν πολύ υψηλή καθαρότητα και διαφέρουν ως προς τα χαρακτηριστικά τους (RaftilineST, RaftilineLS, RaftilineHP). Η ινουλίνη είναι μετρίως διαλυτή στο νερό (το πολύ 10% σε θερμοκρασία περιβάλλοντος), γεγονός που επιτρέπει την ενσωμάτωσή της σε υδατικά συστήματα όπου η καθίζηση άλλων ινών μπορεί να δημιουργεί προβλήματα. Γενικά συμβάλλει στη βελτίωση της υφής και της γεύσης των τροφίμων στα οποία προστίθεται, ενώ συχνά μειώνει και τη δυσάρεστη μετάγευση των τροφίμων που περιέχουν υψηλής έντασης γλυκαντικές ουσίες (Coussement & Franck 2001, Franck & Bosscher 2009).

Το **ψύλλιο** (psyllium) χρησιμοποιείται ως συστατικό των τροφίμων και προέρχεται από τα φυτά του γένους *Plantago*. Το γένος είναι πολύ διαδεδομένο, με πολλά είδη να είναι κοινά αγριόχορτα (*Buckhorn* και *Plantain*), ενώ οι τύποι του διαφέρουν ανάλογα με την περιοχή όπου αναπτύσσονται. Το εμπορικό ψύλλιο καλλιεργείται κυρίως σε Γαλλία, Ισπανία και Ινδία, και λιγότερο εκτεταμένα στη νοτιοδυτική Αμερική. Το Ισπανικό ψύλλιο ή zaragatona (*Plantago psyllium* L.) και το Ινδικό ή ξανθό ψύλλιο ή ispaghula (*Plantago ovata* Forsk) είναι τα μόνα καλλιεργούμενα είδη, ενώ το γαλλικό ή μαύρο ψύλλιο (*Plantago indica* L.) και τα υπόλοιπα είδη ψυλλίου είναι άγρια. Αν και το πραγματικό ψύλλιο προέρχεται από το φυτό *Plantago psyllium* L., στα τρόφιμα συνήθως χρησιμοποιούνται (και αναφέρονται ως ψύλλιο) ο φλοιός και οι σπόροι του *P. Ovata*. Το ψύλλιο είναι εξαιρετική πηγή διαλυτών ινών, οι οποίες κατά κύριο λόγο είναι όξινες αραβινοξυλάνες (85%) και ουδέτεροι πολυσακχαρίτες. Λόγω του ότι είναι υδροκολλοειδές και σχηματίζει πηκτή στο νερό χρησιμοποιείται ως σταθεροποιητής, γαλακτωματοποιητής και πηκτικό μέσο. Χαρακτηριστικοί σταθεροποιητές με βάση το ψύλλιο είναι το Meracol IC (για το παγωτό), το Meracol SH (για τα σορμπέ) και το Meracol Y (για το γιαούρτι). Τέλος, χρησιμοποιείται ευρέως ως καθαρτικό, λόγω των

ευεργετικών επιδράσεων του στη φυσιολογία του εντέρου (BeMiller 1973, Ziai 2009, Cho & Clark 2001).

Το κόμμα **Konjac** προέρχεται από τη ρίζα του πολυετούς βοτάνου *Amorphophallus konjac*. Οι ακετυλομάδες, που είναι διασκορπισμένες τυχαία κατά μήκος της γραμμικής αλυσίδας της γλυκομαννάνης του Konjac, συμβάλλουν στη διαλυτότητά του στο νερό. Το κόμμα Konjac έχει μοναδικές ιδιότητες πάχυνσης στο νερό, και λόγω των ιδιοτήτων σχηματισμού πηκτής και της συνέργειας με την κ-καραγεννάνη και τα άμυλα, χρησιμοποιείται για τη διατήρηση του σχήματος και της ακεραιότητας των τροφίμων κατά το μαγείρεμα (Tye 1991, Dreher 1999).

3.4.5 Εκκρίματα φυτών

Το **αραβικό κόμμα** (E414) ή κόμμα ακακίας είναι το αφυδατωμένο κολλώδες έκκριμα του βλαστού και των κλάδων δύο βοτανικών ειδών Ακακίας, της *Acacia Senegal* και της *Acacia Seyal*, που αναπτύσσονται κυρίως σε ημι-άνυδρες περιοχές της Αφρικής. Το αραβικό κόμμα παράγεται από δέντρα 3-30 ετών με βιοσύνθεση (gummosis), η οποία λαμβάνει χώρα όταν τα δέντρα υποβληθούν σε βεβιασμένες συνθήκες είτε από τραυματισμό, ή από φτωχά εδάφη, ή από έλλειψη υγρασίας, ή από πολύ υψηλές θερμοκρασίες. Το αραβικό κόμμα είναι χημικώς ουδέτερο ή ελαφρώς όξινο άλας ενός πολυσακχαριτικού συμπλόκου. Ειδικότερα, αποτελείται από ουδέτερα σάκχαρα και ουρονικό οξύ (95% ξ.β.), πρωτεΐνες (1-2% ανάλογα με το είδος), πολυφαινόλες (κατεχίνες, επικατεχίνες κλπ.), και μέταλλα (μαγνήσιο, κάλιο, ασβέστιο και νάτριο). Το μέσο μοριακό βάρος του ποικίλλει, κυμαινόμενο από 300 έως 800 kDa. Στην υψηλά διακλαδισμένη μορφή του, οι αραβινογαλακτάνες τύπου II συνδέονται σε πρωτεϊνικό σκελετό. Το αραβικό κόμμα διαλύεται εύκολα σε θερμό ή ψυχρό νερό και είναι το πιο λεπτόρευστο και πιο ευδιάλυτο υδροκολλοειδές. Κύριες χρήσεις του είναι στην ζαχαροπλαστική και στη βιομηχανία αναψυκτικών (Dreher 1999, Williams & Phillips 2001, Baray 2009).

Το **κόμμα καράγια** (E416) είναι το αφυδατωμένο εκχύλισμα του δέντρου *Sterculia*, που αναπτύσσεται στην κεντρική και βόρεια Ινδία. Είναι μια ραμνογαλακτουρονάννη τύπου I η οποία έχει επιπλέον πλευρικές αλυσίδες D-γλυκουρονικού οξέος. Το κόμμα καράγια έχει χαμηλή διαλυτότητα σε ψυχρό νερό και εμφανίζει ισχυρά κολλώδεις ιδιότητες σε υψηλές συγκεντρώσεις. Ουσιαστικά δεν διαλύεται στο νερό, αλλά απορροφά νερό και διογκώνεται, δημιουργώντας διασπορές. Οι διασπορές του σε ψυχρό νερό έχουν μεγάλο ιξώδες, ενώ με θέρμανση αυξάνεται η διαλυτότητα του κόμματος και μειώνεται το ιξώδες του. Το ιξώδες μειώνεται, επίσης, με προσθήκη ισχυρών ηλεκτρολυτών ή σε ακραία pH. Χρησιμοποιείται

κυρίως ως σταθεροποιητής σε σάλτσες καθώς και σε παγωτά για την αποφυγή σχηματισμού παγοκρυστάλλων (Dreher 1999).

Το **τραγακανθικό κόμμα** (E413) παράγεται από ορισμένα είδη του θάμνου *Astragalus*, ένα λοβοφόρο αιωνόβιο φυτό, που είναι εγγενές στη Μικρά Ασία και το Ιράν. Το τραγακανθικό κόμμα αποτελείται από μίγμα πολυσακχαριτών: το τραγακανθικό οξύ που είναι αδιάλυτο στο νερό και έτσι προσδίδει στο κόμμα τις ιδιότητες διόγκωσης στο νερό, και την αραβινογαλακτάνη τύπου II, που ως υδατοδιαλυτό πολυμερές προσδίδει στο κόμμα διαλυτότητα. Έχει πολύ υψηλό ιξώδες, είναι διαλυτό σε ψυχρό νερό και σταθερό σε θέρμανση και σε όξινο περιβάλλον. Είναι καλός γαλακτωματοποιητής και χρησιμοποιείται σε σάλτσες και milk shake προσδίδοντάς τους κρεμώδη υφή (Dreher 1999).

Το **κόμμα ghatti** ή Ινδικό κόμμα παράγεται από το δένδρο *Anogeissus latifolia* που ευδοκιμεί στην ανατολική Ινδία. Είναι μια ραμνογαλακτουρονάννη τύπου I που συναντάται ως άλας ασβεστίου και μαγνησίου. Είναι 80-90% υδατοδιαλυτό και σχηματίζει κολλοειδές διάλυμα σε θερμό ή ψυχρό νερό. Χρησιμοποιείται ως γαλακτωματοποιητής σε διάφορες εφαρμογές καθώς και στη βιομηχανία αφεψημάτων. Συχνά αντικαθιστά το αραβικό κόμμα (Kaur et al. 2009).

3.4.6 Εκχυλίσματα από φύκη

Η **αλγίνη** (E400-E405) εξάγεται από τα καφέ φύκη, γνωστά ως *Phaeophyceae*. Για την εμπορική παραγωγή της αλγίνης χρησιμοποιούνται κυρίως τα *Macrocystis pyrifera*, *Laminaria hyperborea*, *Laminaria digitata* και *Ascophyllum nodosum* που βρίσκονται στην Καλιφόρνια, το Ηνωμένο Βασίλειο, την Ιαπωνία, τη Νορβηγία, τον Καναδά, τη Γαλλία και την Ισπανία. Στα τρόφιμα συνήθως χρησιμοποιούνται τα αλγινικά άλατα (άλατα του μαννουρονικού και γουλουρονικού οξέος), που προκύπτουν από αντικατάσταση των κατιόντων της αλγίνης από νάτριο ή κάλιο. Για την παραγωγή αλγινικών τα φύκη αλέθονται, ακολουθούν εκπλύσεις με οξύ και στη συνέχεια τα αλγινικά εξάγονται με αλκαλική επεξεργασία. Το διάλυμα των αλγινικών διαυγάζεται, φιλτράρεται και ακολουθεί καταβύθιση, έτσι ώστε να ανακτηθεί το αδιάλυτο αλγινικό οξύ, είτε άμεσα ως αλγινικό οξύ ή μέσω συγκαταβύθισης με ασβέστιο ως αλγινικό ασβέστιο. Στην τελευταία περίπτωση ακολουθεί πλύση με οξύ για μετατροπή σε αλγινικό οξύ. Τα αλγινικά σχηματίζουν ηκτικές (μη αναστρέψιμες) σε ψυχρό νερό με ιόντα ασβεστίου, ιδιότητα που τα διακρίνει από τα υδροκολλοειδή που προέρχονται από τα ερυθρά φύκη. Χρησιμοποιούνται ως παράγοντες πάχυνσης ή για σταθεροποίηση γαλακτωμάτων, ζελοποίηση, σχηματισμό μεμβράνης, αποφυγή συναίρεσης και έλεγχο του αφρισμού (Dreher 1999, Onsoygen 2001).

Η **καραγεννάνη** (E407) εξάγεται από ερυθρά φύκη από τα οποία ο *Chondrus crispus*, που βρίσκεται συνήθως κατά μήκος των ακτών του Βόρειου Ατλαντικού, είναι η πιο γνωστή και ευρύτερα χρησιμοποιούμενη πηγή. Η καραγεννάνη αποτελείται από παράγωγα γαλακτανών, κυρίως από θειικούς ή διθειικούς εστέρες της γαλακτόζης. Υπάρχουν διάφορα είδη καραγεννάνης, χαρακτηριζόμενα με τα γράμματα κ, λ, μ, ι, τα οποία διαφέρουν ως προς το μέγεθος του μορίου τους και το βαθμό και τη θέση εστεροποίησης με θειικό οξύ, με αποτέλεσμα να παρουσιάζουν διαφορετικές πηκτικές και παχυρευστοποιητικές ιδιότητες. Η ι-καραγεννάνη και η κ-καραγεννάνη δρουν ως παράγοντες ζελοποίησης (σχηματίζοντας πηκτές), ενώ η λ-καραγεννάνη δεν δρα ως πηκτικό, αλλά λειτουργεί ως παράγοντας πάχυνσης (γεμιστικό). Γενικά χρησιμοποιούνται στα τρόφιμα λόγω της ικανότητας σχηματισμού πηκτής, ως γεμιστικά, ως σταθεροποιητές και γαλακτωματοποιητές καθώς και λόγω της αλληλεπίδρασής τους με τις πρωτεΐνες (Huffman & Shah 1995, Dreher 1999).

Το **άγαρ** (άγαρ-άγαρ) (E406) αποτελείται από μερικά εστεροποιημένες με θειικό οξύ γαλακτάνες και μπορεί να διαχωριστεί σε δύο τμήματα: την ουδέτερη αγαρόζη και την όξινη αγαροπηκτίνη. Εξάγεται και αυτό από τα ερυθρά φύκη και είναι διαλυτό σε θερμό νερό, δημιουργώντας συνεκτικά πήγματα ακόμη και σε μικρές συγκεντρώσεις. Το άγαρ χρησιμοποιείται σπάνια στα τρόφιμα και η κύρια χρήση του είναι λόγω της ανθεκτικότητάς του στη θέρμανση (Pomeranz 1991).

3.4.7 Κόμμεα από σπόρους

Το **κόμμι χαρουπιού** (E410) βρίσκεται στο ενδοσπέρμιο των σπόρων του αειθαλούς δέντρου *Ceratonia siliqua*, που συναντάται σε χώρες της Μεσογείου. Αυτό το υδροκολλοειδές είναι μια γαλακτομαννάνη με αναλογία μαννόζης:γαλακτόζης 4:1. Το κόμμι χαρουπιού είναι αδιάλυτο σε ψυχρό νερό, ενώ διαλύεται σε θερμό νερό, και δεν σχηματίζει πηκτή, παρά μόνο όταν συνδυάζεται με κόμμι ξανθάνης. Επιπλέον, δεδομένου ότι το κόμμι χαρουπιού είναι μη ιοντικό, είναι σταθερό σε όλο το εύρος pH (3.5-11.0) που συνήθως συναντάται στα τρόφιμα. Οι κύριες λειτουργίες του είναι η πάχυνση των συστημάτων στα οποία προστίθεται, η σταθεροποίηση των γαλακτωμάτων και η παρεμπόδιση της συναίρεσης (Dreher 1999).

Το **κόμμι γκουάρ** (E412) λαμβάνεται από το ενδοσπέρμιο του φυτού γκουάρ, *Cyamopsis tetragonolobus*, που συναντάται κυρίως στα ξηρά κλίματα της Ινδίας και του Πακιστάν, ενώ καλλιεργείται επίσης στο Τέξας και το Αρκάνσας. Είναι μια γαλακτομαννάνη με αναλογία γαλακτόζης-μαννόζης 1:2. Αφού το κόμμι γκουάρ έχει μεγαλύτερο βαθμό υποκατάστασης από το κόμμι χαρουπιού, είναι επομένως και πιο διαλυτό, και ενυδατώνεται πλήρως σε

ψυχρό νερό, δημιουργώντας διαλύματα υψηλού ιξώδους. Το ιξώδες εξαρτάται από τη θερμοκρασία, το pH, το χρόνο, τη συγκέντρωση και το μέγεθος των σωματιδίων του γκουάρ. Το κόμμι γκουάρ, όπως και το κόμμι χαρουπιού, είναι μη ιοντικό και επομένως σταθερό σε μεγάλο εύρος pH. Συνήθως χρησιμοποιείται σε χαμηλές συγκεντρώσεις, λόγω της ελαφρώς γλοιώδους υφής του στο στόμα, προκειμένου να προσδώσει κρεμώδη υφή στα τρόφιμα. Το κόμμι γκουάρ δεν σχηματίζει πηκτή και λειτουργεί κυρίως ως ενισχυτής του ιξώδους, σταθεροποιητής και ως παράγοντας συγκράτησης νερού (Dreher 1999, Ellis et al. 2001).

3.4.8 Τροποποιημένοι φυσικοί πολυσακχαρίτες

Οι τροποποιημένες **κυτταρίνες** και τα παράγωγα της κυτταρίνης (E460-E466), περιλαμβάνουν τις φυσικά τροποποιημένες κυτταρίνες όπως η στερεή κυτταρίνη και η μικροκρυσταλλική κυτταρίνη, καθώς και τα χημικώς τροποποιημένα παράγωγά της όπως η υδροξυπροπυλομεθυλοκυτταρίνη (HPMC), η μεθυλοκυτταρίνη, η καρβοξυμεθυλοκυτταρίνη (CMC) και το άλας της καρβοξυμεθυλοκυτταρίνης ή κόμμι κυτταρίνης (Na-CMC). Η κυτταρίνη παρουσιάζει διαφορές από τα παράγωγά της ως προς την έκταση της κρυστάλλωσης. Η μη διαλυτότητα της κυτταρίνης στο νερό δικαιολογείται από την κρυσταλλική δομή της, στην οποία τα μόρια είναι ισχυρά συνδεδεμένα με ενδομοριακούς και διαμοριακούς δεσμούς υδρογόνου. Για να μετατραπεί η κυτταρίνη στα παράγωγά της, τα οποία είναι διαλυτά στο νερό, είναι απαραίτητο να διασπαστούν οι δεσμοί υδρογόνου και να διαταραχθεί η κρυσταλλική της δομή. Τα παράγωγα κυτταρίνης έχουν υψηλή διαλυτότητα και δημιουργούν παχύρρευστα διαλύματα. Το σχήμα και το μέγεθος των σωματιδίων, η ενεργή επιφάνεια και η ικανότητα συγκράτησης νερού των εν λόγω κυτταρινών είναι σημαντικοί παράγοντες, καθοριστικοί για τις ιδιότητες και τη λειτουργικότητά τους.

Η στερεή κυτταρίνη αποτελείται από αλυσίδες β-1,4-D-γλυκάνης. Το μήκος των ινών της εξαρτάται από τη διαδικασία παραγωγής και κυμαίνεται στα εμπορικά σκευάσματα από 22-290 μm, ενώ η διάμετρος των ινών της είναι συνήθως 17 μm. Η μικροκρυσταλλική κυτταρίνη αποτελεί όξινα υδρολυμένη κυτταρίνη. Τα διάφορα προϊόντα μικροκρυσταλλικής κυτταρίνης είναι συνήθως λυοφιλιωμένα, προκειμένου τα παραγόμενα σωματίδια που είναι συσσωματώματα μικροκρυστάλλων να έχουν μοναδικές φυσικές ιδιότητες. Η κολλοειδής μικροκρυσταλλική κυτταρίνη είναι μίγμα σκόνης μικροκρυσταλλικής κυτταρίνης (πηκτή κυτταρίνης) και άλατος καρβοξυμεθυλοκυτταρίνης (κόμμι κυτταρίνης), και χρησιμοποιείται ευρέως στα τρόφιμα. Τέλος, η υδροξυπροπυλομεθυλοκυτταρίνη και η μεθυλοκυτταρίνη είναι τα μοναδικά κόμμια που σχηματίζουν αντιστρεπτές πηκτές με

θέρμανση. Γενικά οι τροποποιημένες κυτταρίνες χρησιμοποιούνται κυρίως σε αρτοσκευάσματα και σάλτσες ως γαλακτωματοποιητές, σταθεροποιητές, μέσα διασποράς, πηκτικά μέσα και υποκατάστατα λιπαρών. Επιπροσθέτως, μερικά από τα παράγωγα της κυτταρίνης χρησιμοποιούνται σε τηγανητά προϊόντα ως «φράγμα», όπου εξαιτίας της ιδιότητάς τους να σχηματίζουν μεμβράνη εμποδίζουν την απορρόφηση λιπαρού (McGinley 1991, Penichter & McGinley 1991, Prosky & DeVries 1992, Dreher 1999, Takahashi 2009).

Το κόμμα γκουάρ προσδίδει ιδιαίτερα υψηλό ιξώδες στα τρόφιμα που προστίθεται, γεγονός που ενίοτε δυσχεραίνει την ενσωμάτωσή του σε ορισμένα από αυτά. Προκειμένου να αποφευχθεί το παραπάνω πρόβλημα, αναπτύχθηκε το **μερικώς υδρολυμένο κόμμα γκουάρ** (γνωστό με την εμπορική ονομασία Sunfiber), που έχει τις ίδιες φυσιολογικές επιδράσεις με το κόμμα γκουάρ, αλλά προσδίδει χαμηλότερο ιξώδες (Karoo & Juneja 2009).

Η **ολιγοφρουκτόζη** (ή φρουκτο-ολιγοσακχαρίτες) παράγεται με μερική ενζυμική υδρόλυση της ινουλίνης, χρησιμοποιώντας καθαρή ενδοϊνουλινάση, για αποφυγή σχηματισμού μονοσακχαριτών και δισακχαριτών, ενώ θα μπορούσε να συντεθεί και ενζυμικά από σακχαρόζη (αν και πρακτικά δεν συνηθίζεται). Η ολιγοφρουκτόζη (RAFTULOSE) περιέχει μικρότερα κλάσματα ινουλίνης με βαθμό πολυμερισμού μεταξύ 3 και 8. Η γλυκύτητα της (καθαρής) ολιγοφρουκτόζης είναι περίπου 30% εκείνης της ζάχαρης. Οι τεχνολογικές ιδιότητες της ολιγοφρουκτόζης είναι παρόμοιες με της ζάχαρης και των σιροπιών γλυκόζης, αν και τα διατροφικά χαρακτηριστικά της είναι τελείως διαφορετικά, αφού συγκαταλέγεται στις πρεβιοτικές ουσίες. Χρησιμοποιείται (συνήθως σε συνδυασμό με ισχυρά γλυκαντικά) ως υποκατάστατο της ζάχαρης σε γαλακτοκομικά προϊόντα και προϊόντα αρτοποιίας, στα οποία διατηρεί την υφή και τη στοματική αίσθηση του προϊόντος, ενώ δεν χρησιμοποιείται σε όξινα τρόφιμα καθώς υδρολύεται προς φρουκτόζη (De Leenheer 1994, Coussement 1997, Guillon et al. 2000, Coussement & Franck 2001).

Η **α-κυκλοδεξτρίνη** (α-CD) είναι ένας κυκλικός ολιγοσακχαρίτης με έξι μονάδες γλυκόζης, που συνδέονται με α-1,4 γλυκοζιτικούς δεσμούς. Παρόλο που οι κυκλοδεξτρίνες παράγονται ως μία μορφή αποθηκευτικών υδατανθράκων από μικροοργανισμούς, η βιομηχανική τους παραγωγή συνήθως γίνεται με ενζυμική αποικοδόμηση της αμυλόζης από γλυκοζυλοτρανσφεράσες κυκλοδεξτρίνης (CGTs), μία ομάδα αμυλολυτικών ενζύμων που ανήκουν στην οικογένεια της α-αμυλάσης. Η α-κυκλοδεξτρίνη είναι ευδιάλυτη στο νερό και σχηματίζει διαυγή διαλύματα χαμηλού ιξώδους, είναι ανθεκτική στη θέρμανση (π.χ. παστερίωση) και σταθερή σε επίπεδα pH που κατά κανόνα αφορούν την παραγωγή τροφίμων. Χαρακτηριστικά εμπορικά σκευάσματα είναι τα FBCx και CAVAMAX® W6 (Wacker Biochem, MI), που αποτελούνται από διαλυτές διαιτητικές ίνες α-κυκλοδεξτρίνης

και χρησιμοποιούνται κυρίως για τον εμπλουτισμό αφεψημάτων (αφού δεν επηρεάζουν τη διαύγειά τους), προϊόντων αρτοποιίας και γαλακτοκομικών προϊόντων. Επιπροσθέτως η α-κυκλοδεξτρίνη, λόγω της ικανότητάς της να δημιουργεί συμπλέγματα εγκλεισμού, χρησιμοποιείται για την προστασία πτητικών ενώσεων και χημικά ευοξειδωτων ή φωτοχημικά ευαίσθητων προϊόντων. Έτσι, η α-CD χρησιμοποιείται ως φορέας για γεύσεις, αρώματα, χρώματα και γλυκαντικές ουσίες στα τρόφιμα (Buckley et al. 2009).

Οι **ανθεκτικές δεξτρίνες** (εμπορική ονομασία Nutriose) είναι μερικώς υδρολυμένα άμυλα, που έχουν υποστεί θερμική κατεργασία σε ασθενώς όξινο περιβάλλον. Η παραγωγή ανθεκτικών δεξτρινών γενικά περιλαμβάνει δεξτρινοποίηση, ακολουθούμενη από καθαρισμό με ενεργό άνθρακα και ιοντοεναλλακτικές ρητίνες. Το τελικό προϊόν είναι μία λεπτή σκόνη, πλήρως διαλυτή στο νερό που περιέχει έως 85% διαλυτές διαιτητικές ίνες. Οι ανθεκτικές δεξτρίνες είναι σταθερές στις συνθήκες κατεργασίας των τροφίμων, συμπεριλαμβανομένων των συνθηκών αποστείρωσης, καθώς και σε πολύ χαμηλά pH. Χρησιμοποιούνται λόγω της πολύ χαμηλής υγροσκοπικότητάς τους σε ξηρά μίγματα, ως φορείς γλυκαντικών ή αρωματικών και ως βελτιωτικά υφής σε διαιτητικά προϊόντα (Tharanathan 2005, Lefranc-Millot et al. 2009).

Οι **ανθεκτικές μαλτοδεξτρίνες** (εμπορική ονομασία Fibersol 2) αποτελούνται από μικρό ποσοστό ολιγοσακχαριτών με βαθμό πολυμερισμού 1-9, και μεγάλο ποσοστό πολυσακχαριτών με βαθμό πολυμερισμού ≥ 10 . Οι ανθεκτικές μαλτοδεξτρίνες δεν έχουν μόνο 1,4 και 1,6 δεσμούς (που συνδέουν τις μονάδες της γλυκόζης στο άμυλο), αλλά περιέχουν επίσης και 1,2 και 1,3 δεσμούς, που σχηματίζονται κατά τη διάρκεια της δεξτρινοποίησης. Περιέχουν πάνω από 90% διαλυτές διαιτητικές ίνες και χρησιμοποιούνται ευρέως στα τρόφιμα, λόγω του χαμηλού ιξώδους τους και της απουσίας γεύσης και αρώματος, καθώς και λόγω της υψηλής σταθερότητάς τους στη θέρμανση και σε όξινο περιβάλλον. Ιδιαίτερα χρησιμοποιούνται σε χαμηλού θερμιδικού περιεχομένου τρόφιμα, αφού όταν προστίθενται μαζί με ισχυρά γλυκαντικά (π.χ. ασπαρτάμη, Stevia) ενισχύουν σημαντικά το σώμα και την υφή του τροφίμου, και βοηθούν στην επίτευξη του επιθυμητού επιπέδου γλυκύτητας χωρίς να δημιουργούν δυσάρεστη μετάγευση που συνήθως συνοδεύει τέτοια γλυκαντικά (Hashizume & Okuma 2009).

3.4.9 Κόμμεα παραγόμενα από μικροοργανισμούς

Το **ξανθανικό κόμμι** ή ξανθάνη (E415) παράγεται κατά την καλλιέργεια του μικροοργανισμού *Xanthomonas campestris* σε υδατανθρακικό μέσο και ήταν το πρώτο κόμμι που παρήχθη βιοτεχνολογικά με μικροβιακή ζύμωση. Είναι ένας υψηλού μοριακού βάρους πολυσακχαρίτης που αποτελείται από μία κύρια αλυσίδα β-1,4-D-γλυκόζης

(κυτταρινικής φύσης) και πλευρικές αλυσίδες με δύο μόρια μαννόζης και ένα μόριο γλυκουρονικού οξέος. Παρότι η ξανθάνη δεν σχηματίζει μόνη της πηκτή, μπορεί όμως να διαμορφώσει θερμοαντιστρεπτές πηκτές συνδυαζόμενη με κόμμα χαρουπιού. Είναι πλήρως διαλυτή σε ψυχρό και θερμό νερό, και σε χαμηλές συγκεντρώσεις παράγει υψηλού ιξώδους διαλύματα, που χρησιμοποιούνται ως γεμιστικά και σταθεροποιητές. Επίσης χαρακτηρίζεται από εξαιρετική σταθερότητα σε υψηλές θερμοκρασίες και ακραίες τιμές pH (το ιξώδες του διαλύματος παραμένει σταθερό σε συνθήκες θερμοκρασίας από 0-100 °C και pH από 1.0-13.0), ενώ δεν επηρεάζεται από την παρουσία ενζύμων (Dreher 1999).

Το κόμμα **τζελάν** (E418) παράγεται από την καλλιέργεια του *Pseudomonas elodea* σε υδατανθρακικό μέσο. Η κύρια αλυσίδα του αποτελείται από τέσσερα σάκχαρα: την 1,3-β-D-γλυκόζη, το 1,4-β-D-γλυκουρονικό οξύ, την 1,4-β-D-γλυκόζη και την 1,4-α-D-ραμνόζη. Το κόμμα τζελάν σχηματίζει πηκτή ακόμη και σε συγκεντρώσεις 0.05 %, ενώ διαλύεται με θέρμανση και απαιτεί επιπλέον ενέργειες, προκειμένου να επιτευχθεί η ζελοποίηση κατά την ψύξη του διαλύματος. Με έλεγχο της συγκέντρωσης των κατιόντων, η παραγόμενη πηκτή μπορεί να σχεδιαστεί, ώστε να είναι θερμοαντιστρεπτή ή σταθερή σε θερμοκρασίες 65 - 120 °C. Είναι σταθερό σε όξινο περιβάλλον και σε υψηλές θερμοκρασίες και γενικά χρησιμοποιείται ως σταθεροποιητής ή γεμιστικό υλικό (Valli & Miskiel 2001).

Η **curdlan** (E424) είναι μια β-1,3 γλυκάνη που παράγεται από μικροβιακή ζύμωση του *Agrobacterium biovar I* σε μέσο που περιέχει γλυκόζη, πηγή αζώτου και ίχνη μεταλλικών στοιχείων. Διακρίνεται για την ιδιότητά της να δημιουργεί πηκτές, όταν θερμανθεί σε νερό (εξ' ου και το όνομά της -curdle: πήζω) και χρησιμοποιείται ευρέως στη βιομηχανία τροφίμων για βελτίωση της υφής, της ικανότητας συγκράτησης νερού, της θερμικής σταθερότητας κλπ. των τροφίμων (Yotsuzuka 2001).

3.4.10 Συνθετικά κόμματα

Η **πολυδεξτρόζη** (E1200) ανακαλύφθηκε από επιστήμονες της Pfizer που διερευνούσαν ένα χαμηλού θερμιδικού περιεχομένου γεμιστικό παράγοντα. Η πολυδεξτρόζη προκύπτει από θερμικό πολυμερισμό της γλυκόζης (μέσος βαθμός πολυμερισμού ~12) υπό κενό, χρησιμοποιώντας σορβιτόλη ως πλαστικοποιητή και κιτρικό οξύ ως καταλύτη. Είναι ένα υψηλής διακλάδωσης πολυμερές της γλυκόζης που περιέχει διάφορους τύπους γλυκοζιτικών δεσμών, με κυρίαρχους τους 1,6. Χρησιμοποιείται σε τρόφιμα ως λειτουργικό συστατικό (μερική υποκατάσταση ζάχαρης και λιπαρών ουσιών, υγροσκοπική ουσία, κρουπροστατευτικό, μείωση του σημείου κατάψυξης), ή ως συστατικό εμπλουτισμού με διαιτητικές ίνες. Χαρακτηριστικά εμπορικά σκευάσματά της είναι τα Litesse, Litesse Two και

Litesse Ultra (Danisco Sweeteners Ltd.) και το Winway (Shanghai Dietary Fiber Co.Ltd) (Craig et al. 1994, Craig et al. 1998, Stowell 2009).

3.5 Λειτουργικές ιδιότητες διαιτητικών ινών

Για την ανάπτυξη εμπλουτισμένων με ίνες τροφίμων, πρέπει να ληφθούν υπόψη οι φυσικοχημικές ιδιότητες των διαιτητικών ινών, τόσο από διατροφική όσο και από τεχνολογική σκοπιά. Τα κύρια δομικά συστατικά των διαιτητικών ινών είναι σάκχαρα (γλυκόζη, γαλακτόζη, ξυλόζη, μανόζη, αραβινόζη, ραμνόζη και φουκόζη) και οξέα σακχάρων (μαννουρονικό, γαλακτουρονικό, γλυκουρονικό και 4-O-μεθυλ-D-γλυκουρονικό). Τα σάκχαρα περιέχουν λειτουργικές ομάδες (υδρογόνα, υδροξύλια, καρβονύλια, καρβοξύλια, θειικά, μεθύλια), που τους επιτρέπουν να αλληλεπιδρούν τόσο μεταξύ τους όσο και με άλλα συστατικά του τροφίμου. Οι τύποι των σακχάρων, των οξέων σακχάρων και των λειτουργικών ομάδων τους είναι καθοριστικοί για τις φυσικοχημικές ιδιότητες των ινών, και επομένως και για τη λειτουργικότητά τους. Πρέπει να σημειωθεί ότι ο όρος φυσικοχημικές ιδιότητες είναι γενικότερος και περιλαμβάνει μαζί με τις λειτουργικές ιδιότητες (ενυδάτωσης, δέσμευσης ιόντων, κλπ.) και τις παραμέτρους δομής, όπως το μέγεθος των σωματιδίων και το πορώδες των ινών που ουσιαστικά επηρεάζουν τις λειτουργικές αυτές ιδιότητες.

Οι λειτουργικές ιδιότητες των διαιτητικών ινών δεν διαδραματίζουν μόνο θεμελιώδη ρόλο στις φυσιολογικές επιδράσεις στον ανθρώπινο οργανισμό, αλλά επηρεάζουν τις ιδιότητες των τροφίμων στα οποία προστίθενται. Έτσι, η ενσωμάτωση των ινών σε τρόφιμα τροποποιεί τη συνοχή, την υφή, τις ρεολογικές ιδιότητες και τη σταθερότητά τους με διάφορους μηχανισμούς που εξαρτώνται κυρίως από τη διαλυτότητά τους. Γενικά οι διαλυτές διαιτητικές ίνες αυξάνουν το ιξώδες της υγρής φάσης του τροφίμου, ανάλογα με το μέγεθος του πολυμερούς και την κατανομή του μοριακού βάρους, ενώ οι αδιάλυτες ίνες διογκώνονται και συγκρατούν νερό ανάλογα με το μέγεθος και την κατανομή των πόρων τους. Οι κρίσιμες λειτουργικές ιδιότητες των ινών που καθορίζουν την ενσωμάτωσή τους στα τρόφιμα, πέραν της διαλυτότητας, περιλαμβάνουν τις ιδιότητες ενυδάτωσης (συμπεριλαμβανομένου του σχηματισμού πηκτής), αύξησης του ιξώδους και απορρόφησης λιπαρών. Πρόσθετοι παράγοντες όπως το χρώμα και η γεύση των ινών, πρέπει να ληφθούν υπόψη σε πολλές εφαρμογές, λόγω των επιπτώσεών τους στα οργανοληπτικά χαρακτηριστικά του τελικού προϊόντος.

Τέλος, στις λειτουργικές ιδιότητες των ινών συμπεριλαμβάνεται και η ικανότητά τους να δεσμεύουν μέταλλα και οργανικά μόρια. Η ιδιότητα αυτή σχετίζεται με την αντίστοιχη

λειτουργικότητά τους στον ανθρώπινο οργανισμό και δεν επηρεάζει τις τεχνολογικές εφαρμογές τους (Gordon 1989, Thebaudin et al. 1997, Nelson 2001b, Tosh & Yada 2010).

3.5.1 Διαλυτότητα

Οι διαιτητικές ίνες ταξινομούνται ως διαλυτές και αδιάλυτες. Αν και ο όρος διαλυτές ίνες ορίστηκε για να περιγράψει τις ίνες που είναι διαλυτές σε ένα υδατικό σύστημα παρόμοιο με το ανθρώπινο γαστρεντερικό σύστημα, σήμερα χρησιμοποιείται ευρέως για να περιγράψει τη διαλυτότητα των ινών στο νερό. Η διαλυτότητα των ινών αναφέρεται στην κατάσταση διασποράς του πολυμερούς στο νερό, αφού τα μόρια των ινών δεν διαλύονται πλήρως, αλλά υπάρχουν ως κολλοειδείς διασπορές. Για αυτό το λόγο οι διαλυτές διαιτητικές ίνες ονομάζονται και υδροκολλοειδή. Οι διαλυτές ίνες περιλαμβάνουν πηκτικές ουσίες, κόμμεα και ορισμένες ημικυτταρίνες, ενώ οι αδιάλυτες περιλαμβάνουν την κυτταρίνη, τη λιγνίνη και ορισμένες ημικυτταρίνες.

Η διαλυτότητα των ινών επηρεάζεται κυρίως από τη μοριακή δομή και το μοριακό βάρος των πολυμερών τους. Για δείγματα με παρόμοιο μέγεθος σωματιδίων, η διαλυτότητα συνήθως μειώνεται με αύξηση του μοριακού βάρους. Διακλάδωση ή υποκατάσταση των πολυσακχαριτικών αλυσίδων μειώνει την πιθανότητα διαμοριακών συνδέσεων και αυξάνει ως εκ τούτου τη διαλυτότητα. Έτσι, οι υψηλά διακλαδισμένοι πολυσακχαρίτες συνήθως έχουν καλή διαλυτότητα στο νερό. Επίσης, η διαλυτότητα των πολυσακχαριτών επηρεάζεται από τη θέση των ενδομοριακών δεσμών μεταξύ των σακχάρων. Ορισμένοι τύποι δεσμών καθώς και η διαφοροποίηση αυτών εντός του πολυμερούς (π.χ. 1,3 – 1,4-, 1,6-) προκαλούν μη γραμμικότητα στο πολυμερές και μειώνουν την πιθανότητα για δημιουργία διαμοριακών δεσμών μεταξύ των αλυσίδων του, αυξάνοντας επομένως την ικανότητα διάλυσης στο νερό. Χαρακτηριστικό τέτοιο παράδειγμα είναι οι β-γλυκάνες μικτής σύνδεσης. Ακόμη, όσο πιο ανομοιόμορφο (εναλλαγή μονοσακχαριτών, εναλλαγή δεσμών α και β) είναι ένα πολυμερές, τόσο μεγαλύτερη είναι η διαλυτότητά του. Χαρακτηριστικά παραδείγματα διαλυτών ανομοιόμορφων πολυμερών είναι οι αραβινογαλακτάνες, η ξανθάνη κλπ. Τέλος, η διαλυτότητα των πολυσακχαριτών επηρεάζεται και από την παρουσία φορτισμένων ή ιονισμένων ομάδων (π.χ. καρβοξυλικές ομάδες), που διαλυτοποιούνται άμεσα στο νερό. Έτσι για παράδειγμα, αυξανόμενου του βαθμού εστεροποίησης του μορίου της πηκτίνης, ο αριθμός των ιονισμένων μονάδων μειώνεται και επομένως μειώνεται και η διαλυτότητά τους. Ένα ακόμα χαρακτηριστικό παράδειγμα είναι η παρουσία φορτισμένων ουρονικών οξέων, που γενικά ευνοεί τη διαλυτοποίηση των πολυμερών, αν και το αποτέλεσμα εξαρτάται και από το pH, τη θερμοκρασία και τη συγκέντρωση των λοιπών συστατικών (άλατα ή σάκχαρα) στο νερό.

Ο διαλυτός και ο αδιάλυτος χαρακτήρας των διαιτητικών ινών συνεπάγεται διαφορές στις φυσιολογικές επιδράσεις και τις τεχνολογικές λειτουργίες τους. Έτσι οι διαλυτές ίνες συμβάλλουν στη σταθεροποίηση της δομής του τροφίμου, τροποποιώντας τις ρεολογικές ιδιότητες της συνεχούς φάσης, λόγω των πηκτικών ιδιοτήτων (π.χ. καραγεννάνες, πηκτίνες), των ιδιοτήτων πάχυνσης (π.χ. κόμμι χαρουπιού και ξανθάνης) και συγκράτησης νερού που τις διακρίνουν. Οι αδιάλυτες ίνες μπορούν να επηρεάσουν την υφή των τροφίμων, λόγω της ικανότητας συγκράτησης νερού και της διόγκωσης που προκαλούν. Το διαλυτό κλάσμα των ινών έχει εξαιρετικά τεχνολογικά χαρακτηριστικά, χωρίς να εμφανίζει αρνητική επίδραση στη γεύση και είναι πιο εύκολο να ενσωματωθεί σε τρόφιμα και ποτά απ' ό,τι το αδιάλυτο κλάσμα. Έτσι, σε πολλές περιπτώσεις οι διαλυτές ίνες χρησιμοποιούνται λόγω των τεχνολογικών τους χαρακτηριστικών και δευτερευόντως για τις διατροφικές τους επιπτώσεις (συνήθως σε τόσο μικρά ποσοστά που δεν επαρκούν για διατροφικό ισχυρισμό) (Gordon 1989, Thibault et al. 1994, Thebaudin et al. 1997, Davidson & McDonald 1998, Jiménez-Escrig & Sánchez-Muniz 2000, Guillon et al. 2000, Nelson 2001b, Wang & Cui 2005).

3.5.2 Ιδιότητες ενυδάτωσης

Η προσθήκη διαιτητικών ινών στα τρόφιμα για τη δημιουργία προϊόντων υψηλής περιεκτικότητας σε ίνες περιορίζεται κυρίως από τα χαρακτηριστικά ενυδάτωσης των ινών, που καθορίζουν τα βέλτιστα επίπεδα χρήσης τους προκειμένου να διατηρηθεί μία επιθυμητή υφή. Επιπροσθέτως, η διατήρηση του νερού είναι ιδιαίτερα σημαντική για τη βιομηχανία τροφίμων, γιατί επηρεάζει τη λειτουργικότητα των συστατικών, την κατά βάρος απόδοση των προϊόντων και τη σταθερότητά τους, με ειδικό ενδιαφέρον για την αρτοποιία όπου το νερό συμμετέχει σε φαινόμενα που σχετίζονται με τη ζελατινοποίηση του αμύλου, την ενεργοποίηση των ενζύμων κατά την ανάμιξη και το ψήσιμο κλπ.

Ο τρόπος με τον οποίο αντιδρούν οι ίνες με το νερό μπορεί να περιγραφεί με τη χρήση διαφόρων όρων όπως ενυδάτωση, πρόσληψη, απορρόφηση, δέσμευση ή συγκράτηση νερού. Συνήθως, οι ιδιότητες ενυδάτωσης περιγράφονται από τη διόγκωση, την ικανότητα συγκράτησης νερού και την ικανότητα δέσμευσης νερού, ενώ μερικοί ερευνητές χρησιμοποιούν αντί των δύο τελευταίων, την ικανότητα διατήρησης νερού και το ρυθμό απορρόφησης νερού. Ο ρυθμός απορρόφησης νερού προσδιορίζεται με τη συσκευή Baumann ή/και χρησιμοποιώντας ωσμωτική πίεση και δίνει πληροφορίες σχετικά με τον όγκο των πόρων των ινών. Οι υπόλοιπες ιδιότητες παρέχουν μία γενική άποψη της ενυδάτωσης των ινών, που χρησιμεύει στην παραγωγή τροφίμων πλούσιων σε ίνες. Συχνότερα χρησιμοποιείται η ικανότητα δέσμευσης νερού, λόγω του ότι η παραγωγή και

επεξεργασία των τροφίμων συνήθως περιλαμβάνει τη χρήση κάποιου τύπου δύναμης (π.χ. ζύμωμα ψωμιού). Αναλυτικότερα οι ιδιότητες ενυδάτωσης ορίζονται ως εξής:

- Ικανότητα δέσμευσης νερού - Water Binding Capacity (WBC): Ως ικανότητα δέσμευσης νερού ορίζεται η ποσότητα του νερού που παραμένει δεσμευμένη στις ενυδατωμένες ίνες, μετά την εφαρμογή εξωτερικής δύναμης (πίεση ή πιο συχνά φυγοκέντρηση).
- Ικανότητα συγκράτησης νερού - Water Holding Capacity (WHC): Ως ικανότητα συγκράτησης νερού ορίζεται η ποσότητα του νερού που είναι δεσμευμένη στις ίνες, χωρίς την εφαρμογή εξωτερικής δύναμη (εκτός από τη βαρύτητα και την ατμοσφαιρική πίεση).
- Διόγκωση - Swelling: Ως διόγκωση ορίζεται ο όγκος που καταλαμβάνει μία συγκεκριμένη ποσότητα (γνωστό βάρος) (g) ινών, όταν επιτυγχάνεται ισορροπία παρουσία περίσσειας διαλύτη (συνήθως νερού).
- Ικανότητα διατήρησης νερού - Water Retention Capacity (WRC): Ως ικανότητα διατήρησης νερού ορίζεται η ποσότητα του νερού που διατηρείται από ένα γνωστό βάρος αδιάλυτων ινών, υπό τις συνθήκες χρήσης και μετά από φυγοκέντρηση στο αδιάλυτο υπόστρωμα (ίζημα).

Οι ιδιότητες ενυδάτωσης των διαιτητικών ινών εξαρτώνται από τη χημική (υδρόφιλες και υδρόφοβες περιοχές των πολυμερών, φορτισμένα πολυμερή, άμορφες και κρυσταλλικές περιοχές των πολυμερών) και φυσική δομή (μήκος ινών, πορώδες και μέγεθος των σωματιδίων) των πολυσακχαριτών που τις αποτελούν, από τις συνθήκες (pH, θερμοκρασία, παρουσία ιόντων και παρουσία άλλων μορίων που δεσμεύουν νερό κλπ.) που επικρατούν στο τρόφιμο και από την επεξεργασία που έχουν υποστεί κατά την παραλαβή τους (ξήρανση, θέρμανση, εκβολή κλπ.). Ιδιαίτερα, η ξήρανση μπορεί να επηρεάσει έντονα τις ιδιότητες ενυδάτωσης των ινών, μέσω ρήξης των κυτταρικών τοιχωμάτων τους και επομένως αλλαγής του πορώδους τους. Οι ίνες που αποτελούνται κυρίως από πολυσακχαρίτες των πρωτογενών κυτταρικών τοιχωμάτων παρουσιάζουν υψηλότερες τιμές των ιδιοτήτων ενυδάτωσης σε σχέση με τους αντίστοιχους των δευτερογενών κυτταρικών τοιχωμάτων. Επιπροσθέτως, οι τιμές των ιδιοτήτων ενυδάτωσης επηρεάζονται και από τη χρησιμοποιούμενη μέθοδο προσδιορισμού τους, η οποία για αυτό το λόγο πρέπει να αναφέρεται.

Οι πολυσακχαρίτες είναι υδρόφιλα μόρια και έχουν πολλές ελεύθερες ομάδες υδροξυλίου, οι οποίες μπορούν να σχηματίσουν δεσμούς υδρογόνου με το νερό. Κατά συνέπεια, τόσο οι διαλυτοί όσο και οι αδιάλυτοι πολυσακχαρίτες έχουν δυνατότητα να συγκρατούν νερό. Η

διαλυτότητα και η διόγκωση σχετίζονται μεταξύ τους, αφού το πρώτο βήμα της διαλυτοποίησης των πολυσακχαριτών είναι η διόγκωση. Ουσιαστικά το νερό εισέρχεται στη σταθερή δομή του πολυσακχαρίτη και απλώνει τα μόρια (διόγκωση), μέχρι αυτά να καταστούν εντελώς διεσπαρμένα. Αυτό το φαινόμενο μπορεί να οδηγήσει είτε σε διαλυτοποίηση των μορίων είτε σε απλή διόγκωση, στην περίπτωση πολυσακχαριτών που η τελική διασπορά δεν είναι δυνατή λόγω της διάταξής τους.

Οι αδιάλυτες ίνες απορροφούν νερό όπως το σφουγγάρι. Έτσι, δημιουργούν μία υδρόφιλη μήτρα, στην οποία εγκλωβίζεται το νερό, αλλά η κρυσταλλικότητα του πολυσακχαρίτη διατηρείται, και το νερό πληρώνει τα κενά προκαλώντας διόγκωση. Το νερό δεσμεύεται από τους αδιάλυτους πολυσακχαρίτες είτε μέσω της επιφανειακής τάσης στους πόρους της μήτρας είτε με δεσμούς υδρογόνου, ιοντικούς δεσμούς και/ή υδρόφοβες αλληλεπιδράσεις. Η κατανομή του νερού μεταξύ των δύο αυτών καταστάσεων καθορίζει και τις ιδιότητες ενυδάτωσής τους. Οι διαλυτοί πολυσακχαρίτες συγκρατούν το νερό μέσω του φαινομένου της ζελοποίησης (gelation), όπου σχετικά μικρή ποσότητα πολυσακχαρίτη μπορεί να παγιδεύσει το νερό στο οποίο είναι διαλυμένος στο τρισδιάστατο δίκτυο των μορίων του. Το νερό συγκρατείται στη μήτρα του πολυσακχαρίτη, μη μπορώντας να διαφύγει, και το σύστημα αποκτά τις ημιστερεές χαρακτηριστικές ιδιότητες μίας πηκτής. Ο σχηματισμός της πηκτής και ο τύπος της πηκτής εξαρτάται από πολλούς παράγοντες, όπως από τον τύπο των πολυσακχαριτών, τη συγκέντρωση, τη θερμοκρασία, την παρουσία ιόντων, το pH και την παρουσία άλλων κόμμεων. Έτσι, υπάρχουν και ορισμένες διαλυτές ίνες (κόμμεα) που δεν σχηματίζουν πηκτή όπως το γκουάρ, το αραβικό, το καράγια, η λ-καραγεννάνη και το τραγακανθικό κόμμι. Η ισχύς της πηκτής προσδιορίζεται με μέτρηση της δύναμης διείσδυσης και της αντίστασης της πηκτής στη δύναμη αυτή (Gordon 1989, Kindel et al. 1989, Fleury & Lahaye 1991, Thibault et al. 1992, Thibault et al. 1994, Thebaudin et al. 1997, Stauffer 1999, Guillon & Champ 2000, Guillon et al. 2000, Robertson et al. 2000, Nelson 2001, Nelson 2001b, Oakenfull 2001, Strange & Onwulata 2002, Kunzek et al. 2002, Rosell et al. 2009, Collar & Angioloni 2010, Elleuch et al. 2011).

3.5.3 Αύξηση του ιξώδους

Τα κύρια συστατικά που μπορούν να αυξήσουν το ιξώδες ενός διαλύματος είναι οι διαλυτές ίνες. Το ιξώδες (αντίσταση στη ροή), εξαρτάται κυρίως από τη συγκέντρωση των ινών και το ρυθμό διάτμησης. Γενικά αυξάνεται με αύξηση της συγκέντρωσης της διαλυμένης ή διεσπαρμένης ουσίας, ενώ μειώνεται με αύξηση του ρυθμού διάτμησης. Αρκετοί παράγοντες όμως σχετίζονται με τις μεταβολές του ιξώδους των διαλυμάτων διαιτητικών

ινών όπως το μοριακό βάρος, το μέγεθος των σωματιδίων, η χημική σύσταση και δομή των ινών, οι συνθήκες (θερμοκρασία, υγρασία, χρόνος) και το περιβάλλον (αλκαλικό ή όξινο). Παρόλο που και οι διαλυτές ίνες από σιτηρά ή φρούτα αυξάνουν το ιξώδες ενός διαλύματος, οι πιο ευρέως χρησιμοποιούμενες διαλυτές ίνες ως παράγοντες πάχυνσης είναι τα κόμμεα. Τα κόμμεα, λόγω της ικανότητας που έχουν για αύξηση του ιξώδους, χρησιμοποιούνται για τη σταθεροποίηση των τροφίμων μέσω αποφυγής διαχωρισμού των φάσεων, αποσταθεροποίησης των αφρών, κρυστάλλωσης και καθίζησης. Διεργασίες που επάγουν την υδρόλυση των διαλυτών διαιτητικών ινών σε χαμηλού μοριακού βάρους μόρια, συμβάλλουν σε μείωση της ικανότητας για αύξηση του ιξώδους των διαλυμάτων στα οποία προστίθενται. Αντίθετα, ορισμένες διεργασίες όπως η εκβολή, μπορεί να αυξήσουν την ποσότητα των υδατοδιαλυτών μορίων χωρίς τον εκτενή διαχωρισμό τους (Sanderson 1981, Morris 1990, Schneeman 2001, Nelson 2001b, Dikeman & Fahey 2006, Collar & Angioloni 2010).

3.5.4 Ικανότητα δέσμευσης λιπαρών

Παράλληλα με τις ιδιότητες ενυδάτωσης, οι ίνες έχουν την ικανότητα να δεσμεύουν λιπαρές ουσίες. Η ικανότητα δέσμευσης λιπαρών (Fat/Oil Binding Capacity) εκφράζει το ποσό του λιπαρού που κατακρατείται από τις ίνες, μετά από φυγοκέντρηση. Η ικανότητα δέσμευσης λιπαρών αφορά κυρίως τις αδιάλυτες ίνες και σχετίζεται με τις επιφανειακές ιδιότητες των σωματιδίων τους, με τη συνολική πυκνότητα φορτίου και με την υδρόφιλη φύση των συστατικών τους. Αν και η χημική σύσταση των ινών επηρεάζει την ικανότητα δέσμευσης λιπαρών, η παραπάνω εξαρτάται περισσότερο από το πορώδες της δομής των ινών παρά από την έλξη/συγγένεια των μορίων των ινών με τα λιπαρά (όπως στην περίπτωση της δέσμευσης νερού). Το μέγεθος των σωματιδίων επηρεάζει και αυτή την ιδιότητα, με τα μεγαλύτερα σωματίδια να παρουσιάζουν και μεγαλύτερες τιμές.

Η ικανότητα δέσμευσης λιπαρών επιτρέπει τη σταθεροποίηση τροφίμων υψηλής περιεκτικότητας σε λιπαρά και γαλακτωμάτων. Έτσι, αξιοποιείται σε προϊόντα ψημένου κρέατος για την ενίσχυση της διατήρησης των λιπαρών που συνήθως χάνονται κατά τη διάρκεια του μαγειρέματος, βοηθώντας έτσι στη διατήρηση της γεύσης και στην αύξηση της απόδοσης. Επίσης, η ιδιότητα αυτή είναι πολύ σημαντική σε προϊόντα κρέατος με χαμηλά λιπαρά, γιατί οι ίνες διατηρούν τα ήδη υπάρχοντα λιπαρά και βοηθούν στη διατήρηση της υφής και του χυμώδους του τελικού μαγειρεμένου προϊόντος. Τέλος, η προσθήκη προεμβλαπτισμένων στο νερό ινών σε χυλούς τηγανίσματος, μπορεί να μειώσει την ποσότητα του απορροφούμενου λιπαρού κατά το τηγάνισμα και κατ'επέκταση το τελικό περιεχόμενο σε λιπαρά του τηγανητού τροφίμου. Η εμβάπτιση μειώνει το ποσοστό λήψης λιπαρών από

τα συστατικά, αφού το νερό καταλαμβάνει τους πόρους των ινών πριν προστεθεί το λιπαρό (Caprez, Arrigoni, Amado, & Zeukom, 1986, Fleury & Lahaye, 1991, Nelson 2001b, Elleuch et al. 2011).

3.5.5 Κρυοπροστατευτική δράση

Ο όρος «κρυοπροστασία» είναι αρκετά γενικός και αναφέρεται σε όλες τις πιθανές δράσεις και τα φαινόμενα που λαμβάνουν χώρα κατά τα στάδια της κατάψυξης και αποθήκευσης των κατεψυγμένων προϊόντων, τα οποία σχετίζονται άμεσα με το σχηματισμό και την ανάπτυξη των παγοκρυστάλλων. Οι κύριοι παράγοντες που περιγράφουν την κρυοπροστατευτική δράση ενός υλικού είναι:

- Η ταπείνωση του σημείου πήξης.
- Οι αλλαγές στην υαλώδη κατάσταση του συστήματος.
- Το ποσοστό της μη κρυσταλλώσιμης υγρασίας.
- Η μοριακή κινητικότητα του νερού στη φάση ορού.
- Η διάχυση νερού από την υδατική φάση προς την επιφάνεια των παγοκρυστάλλων.
- Η δημιουργία πολυσακχαριτικών δικτύων ή διαμορφώσεων.
- Ο διαχωρισμός φάσεων θερμοδυναμικά ασύμβατων υλικών.
- Το μικροϊξώδες της υδατικής φάσης.
- Η παρεμπόδιση της διάρρηξης της κυτταρικής μεμβράνης των βακτηριακών κυττάρων, λόγω κρυστάλλωσης του εξωκυτταρικού και ενδοκυτταρικού υγρού (στην περίπτωση των ζυμωμένων κατεψυγμένων προϊόντων).

Παρόλο που υπάρχουν παλαιότερες αναφορές (Kindel et al. 1989) ότι ορισμένοι πολυσακχαρίτες των κυτταρικών τοιχωμάτων (π.χ. αραβινοξυλάνες από σιτάρι και σίκαλη), μπορεί να περιορίσουν το σχηματισμό των παγοκρυστάλλων, όταν η θερμοκρασία του νερού μειωθεί κάτω από το σημείο κατάψυξης, η χρήση των διαιτητικών ινών ως κρυοπροστατευτικά μέσα είναι σχετικά πρόσφατη. Κατά κύριο λόγο, ολιγοσακχαρίτες όπως η ινουλίνη και η ολιγοφρουκτόζη, έχουν χρησιμοποιηθεί ως μέσα κρυοπροστασίας και βελτίωσης της υφής κατεψυγμένων προϊόντων (Schaller-Povolny & Smith 1999, Akalin & Erisir 2002, Akin et al. 2007, Soukoulis et al. 2009), των οποίων η κρυοπροστατευτική δράση προκύπτει από την ανύψωση του σημείου πήξης που επιφέρουν. Σε πρόσφατη μελέτη της επίδρασης διαφόρων πηγών διαιτητικών ινών με κυμαινόμενη αναλογία διαλυτών και αδιάλυτων ινών σε κατεψυγμένο επιδόρπιο γάλακτος, διαπιστώθηκε ότι το σύνολο των διαιτητικών ινών επέφερε σημαντική ανύψωση του σημείου υαλώδους μετάπτωσης και του σημείου έναρξης τήξης. Η ανύψωση ήταν πιο σημαντική στην περίπτωση των διαλυτών ινών (ινουλίνη), ενώ οι αποκλίσεις ήταν μικρότερες για τις αδιάλυτες ίνες (ίνες βρώμης και

σίτου), και για το συνδυασμό αδιάλυτων-διαλυτών ινών (ίνες μήλου). Η προκύπτουσα κρυσταλλοπροστατευτική δράση από τις διαφορετικές πηγές ινών, αποδόθηκε σε διαφορετικούς μηχανισμούς. Ειδικότερα, η ινουλίνη φάνηκε να επιδρά άμεσα στη συγκέντρωση της φάσης ορού και τη μείωση της μοριακής κινητικότητας του νερού κατά τη συμπύκνωση της υδατικής φάσης λόγω κατάψυξης. Οι ίνες βρώμης και σίτου επηρέασαν τις θερμικές ιδιότητες των μιγμάτων παγωτού μέσω της ικανότητας σχηματισμού πλεγμάτων κυτταρινικής – ημικυτταρινικής φύσης και της συγκράτησης νερού, η οποία επιφέρει αύξηση της συγκέντρωσης της υδατικής φάσης. Τέλος, οι ίνες μήλου εκτός από την ικανότητά τους να απορροφούν σημαντικά ποσά νερού συμπυκνώνοντας τη φάση ορού, βρέθηκε ότι ελέγχουν τα φαινόμενα μετάπτωσης στην υαλώδη κατάσταση, μέσω του μηχανισμού της θερμοδυναμικής ασυμβατότητας της πηκτίνης με τις πρωτεΐνες γάλακτος (Soukoulis et al. 2009).

3.6 Επεξεργασία διαιτητικών ινών και επίδραση στις ιδιότητές τους

3.6.1 Επεξεργασία διαιτητικών ινών

Οι φυσικοχημικές ιδιότητες των ινών παίζουν καθοριστικό ρόλο στη λειτουργικότητά τους. Ωστόσο, λόγω των φυσικοχημικών ιδιοτήτων τους, που μπορεί να δημιουργήσουν τεχνολογικά και οργανοληπτικά προβλήματα στην ανάπτυξη προϊόντων, τα περισσότερα από τα παραπροϊόντα που χρησιμοποιούνται για τον εμπλουτισμό των τροφίμων με διαιτητικές ίνες, δεν μπορούν να προστεθούν σε τέτοιες ποσότητες που να επιτυγχάνονται οι αναμενόμενες φυσιολογικές επιδράσεις στον οργανισμό. Επιπλέον, η δυσάρεστη γεύση (off flavor), το χρώμα και η υφή τους μπορεί να δυσκολεύσουν την κατά περίπτωση ενσωμάτωσή τους.

Προκειμένου να ξεπεραστούν αυτά τα τεχνολογικά και οργανοληπτικά προβλήματα, πολλά προϊόντα διαιτητικών ινών τροποποιούνται, έτσι ώστε να βελτιωθεί η τεχνολογική λειτουργικότητά τους και/ή να αυξηθεί η περιεκτικότητά τους σε διαιτητικές ίνες (οπότε να χρειάζεται η προσθήκη μικρότερης ποσότητας). Ο τύπος και ο βαθμός επεξεργασίας επηρεάζει τόσο το περιεχόμενο σε διαιτητικές ίνες, όσο και τη λειτουργικότητα των τελικών συστατικών. Η άλεση, η ξήρανση, το ψήσιμο, η εκβολή, η λεύκανση και η ενζυμική κατεργασία (που θα περιγραφεί αναλυτικά σε επόμενο υποκεφάλαιο) είναι από τις πιο συχνά χρησιμοποιούμενες επεξεργασίες στην παραγωγή προϊόντων διαιτητικών ινών.

3.6.1.1 Άλεση (Grinding)

Η άλεση είναι μια διαδικασία που μειώνει το μέγεθος των σωματιδίων των ινών και εφαρμόζεται συνήθως για μείωση των αρνητικών επιδράσεων στην υφή γενικότερα και

ειδικότερα στην αίσθηση στο στόμα (mouthfeel). Η άλεση μεταβάλλει τις τιμές των ιδιοτήτων ενυδάτωσης, την ικανότητα διασποράς στο νερό και τη διαλυτότητα των ινών. Οι ιδιότητες αυτές επηρεάζονται από τον τύπο των ινών, την προηγούμενη επεξεργασία τους, όπως και από το βαθμό και τη μέθοδο άλεσής τους. Γενικεύσεις για τη σχέση του μεγέθους των σωματιδίων με τη διαλυτότητα και τις ιδιότητες ενυδάτωσης ή διασποράς δεν μπορούν να γίνουν για όλο το εύρος των διαιτητικών ινών, λόγω των διαφορών στη φυσική (π.χ. όγκος πόρων, μήκος) και χημική σύστασή τους.

Η άλεση μπορεί να προκαλέσει διάφορες αλλαγές στις ίνες. Καταρχάς, μειώνει το μέγεθος των σωματιδίων, αυξάνοντας την ολική επιφάνεια των κόκκων των ινών, με αποτέλεσμα την ύπαρξη μεγαλύτερης διαθέσιμης επιφάνειας προς επαφή με το νερό. Ωστόσο, η εκτεταμένη άλεση μπορεί να οδηγήσει σε μείωση της ειδικής επιφάνειας. Επομένως η άλεση μπορεί να αυξομειώσει τις τιμές των ιδιοτήτων ενυδάτωσης του ίδιου υλικού, ανάλογα με το μέγεθος των σωματιδίων του. Στην περίπτωση των υδρόφοβων ινών (αδιάλυτων), η αύξηση της ολικής επιφάνειας των κόκκων των ινών μπορεί τελικά να αυξήσει την έκθεση των υδρόφοβων ινών στο νερό και να μειώσει την αλληλεπίδρασή τους με το νερό. Οι αλλαγές στην αλληλεπίδραση με το νερό επηρεάζουν τις ιδιότητες δέσμευσης και συγκράτησης νερού. Για τις μεγάλοι μήκους αδιάλυτες ίνες, όπως οι ίνες βρώμης, μείωση του μεγέθους των σωματιδίων συνήθως προκαλεί μείωση και των τιμών των ιδιοτήτων ενυδάτωσης. Σε άλλες περιπτώσεις όμως μπορεί να τις βελτιώσει ως συνέπεια της αύξησης της επιφάνειάς τους. Σχετικά με την κινητική απορρόφησης του νερού, οι αλεσμένες ίνες ενυδατώνονται στιγμιαία σε σύγκριση με τις ακατέργαστες, και πάλι λόγω των αλλαγών στη φυσική τους δομή και ιδίως στην αύξηση της ειδικής τους επιφάνειας τους. Ακόμη, η επίδραση της μείωσης του μεγέθους των σωματιδίων στην *in vivo* συμπεριφορά των ινών (όπως αναφέρθηκε προηγουμένως) οφείλεται στην αύξηση της επιφάνειας και επομένως της πρόσβασης από τα ένζυμα και το νερό.

Εκτός από την αύξηση της επιφάνειας, η άλεση μπορεί να προκαλέσει μείωση του εσωτερικού όγκου των πόρων των ινών και επομένως μείωση της ικανότητας απορρόφησης νερού των ινών. Για ίνες όμως με μικρό εσωτερικό όγκο πόρων (π.χ. του σίτου και της σόγιας), η άλεση δεν προκαλεί σημαντικές αλλαγές στην απορρόφηση νερού. Επιπροσθέτως, η άλεση μπορεί να καταστρέψει τις περιοχές που ευθύνονται για την ικανότητα δέσμευσης νερού και μειώνοντας έτσι την ικανότητα αυτή.

Τέλος, οι ιδιότητες των ινών επηρεάζονται και από τη μέθοδο της άλεσης. Οι Chau, Wang, & Wen (2007), χρησιμοποιώντας διάφορες τεχνικές λειοτρίβησης για τη μείωση της μέσης διαμέτρου των σωματιδίων, έδειξαν ότι οι φυσικοχημικές ιδιότητες των αδιάλυτων ινών

καρότου δεν εξαρτώνται μόνο από το βαθμό άλεσης (μέγεθος σωματιδίων), αλλά και από τη μέθοδο άλεσης. Επίσης, έχει αποδειχθεί ότι η άλεση με σφαιρόμυλο, όχι μόνο μειώνει το μέγεθος των σωματιδίων, αλλά μπορεί επίσης να μειώσει την κρυσταλλικότητα της κυτταρίνης ανάλογα με το χρόνο άλεσης, ενώ η άλεση σε σφυρόμυλο δεν επιδρά στην κρυσταλλικότητα της κυτταρίνης (Heller et al. 1977, Fan et al. 1980, Gharpuray et al. 1983, Mongeau & Brassard 1982, Auffret et al. 1994, Ryden & Robertson 1995, Camire 1999, Guillon et al. 2000, Nelson 2001b).

3.6.1.2 Θερμική επεξεργασία

Η θερμική επεξεργασία μπορεί να μεταβάλει την αναλογία μεταξύ αδιάλυτων και διαλυτών ινών, τη συνολική ποσότητα των διαιτητικών ινών και τις φυσικοχημικές τους ιδιότητες. Οι μεταβολές αυτές εξαρτώνται από το είδος των ινών και τη φύση της επεξεργασίας.

Κατά την αφυδάτωση ή ξήρανση των ινών, η απομάκρυνση του νερού γίνεται με διάφορες μεθόδους (με αέρα, ξήρανση με κατάψυξη κλπ.), προκειμένου να παραχθεί προϊόν ινών σε μορφή σκόνης σταθερό και με μεγάλη διάρκεια ζωής. Τα χαρακτηριστικά των ινών πρέπει να λαμβάνονται υπόψη για το σχεδιασμό της διαδικασίας, έτσι ώστε να ελαχιστοποιούνται οι δυσμενείς επιπτώσεις (π.χ. συσσωμάτωση, παραμόρφωση ή μεταβολή χρώματος). Τα κυτταρικά τοιχώματα στηρίζουν μηχανικά το κύτταρο προσδίδοντας σχήμα σε αυτό. Όταν η ασκούμενη πίεση υπερβαίνει τη μηχανική αντοχή του τοιχώματος, συμβαίνει μη αναστρέψιμη παραμόρφωση του κυττάρου. Τέτοια παραμόρφωση λαμβάνει χώρα με τις περισσότερες μεθόδους ξήρανσης, με εξαίρεση την περίπτωση της λυοφιλίωσης. Η ξήρανση με αέρα (σε υψηλή θερμοκρασία) τις περισσότερες φορές μειώνει τη διόγκωση και την ικανότητα συγκράτησης νερού των ινών, αφού οι προκαλούμενες μεταβολές στη δομή των κυτταρικών τοιχωμάτων των αφυδατωμένων ινών μειώνουν τον όγκο των πόρων και περιορίζουν το βαθμό ενυδάτωσης. Η λυοφιλίωση, αντιθέτως, διατηρεί ή αυξάνει τη διόγκωση και την ικανότητα συγκράτησης νερού. Τέλος, οι συνθήκες ξήρανσης των ινών επηρεάζουν τη συρρίκνωσή τους. Οι ίνες που έχουν υποστεί ταχεία ξήρανση, περιέχουν γενικά περισσότερο κενό όγκο και παρουσιάζουν μικρότερη πυκνότητα από εκείνες που αφυδατώνονται με αργό ρυθμό.

Εκτός από την ξήρανση, οι διαιτητικές ίνες μπορεί να υποβληθούν και σε άλλες θερμικές επεξεργασίες όπως το ψήσιμο (roasting) και το φρυγάνισμα (toasting). Οι υψηλές θερμοκρασίες που αναπτύσσονται κατά το ψήσιμο και το φρυγάνισμα ευνοούν τις αντιδράσεις μαυρίσματος Maillard και καραμελοποίησης, δημιουργούν καστανά στίγματα και προσδίδουν γεύση καρυδιού, ενισχύοντας το χρώμα και τη γεύση του τελικού προϊόντος, ενώ μπορεί επίσης να μειώσουν την πικρή γεύση που έχουν κάποια προϊόντα

πιτύρου. Οι αρνητικές αυτές επιπτώσεις σχετίζονται με τη μείωση της διαλυτότητας των ινών. Συγκεκριμένα, η διασπορά και η ενυδάτωση των διαλυτών ινών δυσχεραίνεται, και τα τελικά προϊόντα μπορεί να καταστούν αδιάλυτα.

Τέλος, σύμφωνα με τους Carpez et al. (1986) με υγροθερμική επεξεργασία του πιτύρου σίτου επηρεάζονται οι επιφανειακές ιδιότητες των διαιτητικών ινών, με αποτέλεσμα την αύξηση της ικανότητας συγκράτησης ελαίου (Larrauri 1999, Guillon et al. 2000, Nelson 2001b, Elleuch et al. 2011)

3.6.1.3 Θερμοφυσική επεξεργασία

Η εκβολή υλικών πλούσιων σε ίνες μπορεί να τροποποιήσει τη λειτουργικότητά τους, επηρεάζοντας τις ιδιότητες ενυδάτωσης και κατά πολύ τη διαλυτότητα των ινών. Οι ιδιότητες των διαιτητικών ινών μεταβάλλονται κατά την εκβολή, κυρίως λόγω των αναπτυσσόμενων διαμηθικών τάσεων. Ειδικότερα, οι διακλαδώσεις ενός πολυμερούς είναι ευάλωτες στις διαμηθικές τάσεις και μπορεί να αποκοπούν από την κύρια αλυσίδα του πολυμερούς, μεταβάλλοντας τη λειτουργικότητα των συστατικών (π.χ. μειώνοντας το ιξώδες). Οι διαλυτές ίνες ενδέχεται να αυξηθούν ανάλογα με το προϊόν και τις συνθήκες εκβολής, συνήθως με σχηματισμό επιπλέον συστατικών μέσω μετα-γλυκοζιλίωσης, όπου δεσμοί 1,4 C-O διασπώνται και νέοι δεσμοί ανυδρο-γλυκόζης σχηματίζονται. Επίσης κατά την εκβολή έχει παρατηρηθεί αύξηση και των αδιάλυτων διαιτητικών ινών, λόγω σχηματισμού αναδιαμορφωμένου αμύλου (RS3). Αξίζει να σημειωθεί ότι ιδιαίτερα κατά την εκβολή πιτύρων, εκτός από την τροποποίηση της δομής τους, μπορεί να συμβεί και επικάλυψη του φυσικά απαντώμενου στο πίτυρο αμύλου με λιγνοκυτταρινούχο υλικό, καθιστώντας το μη διαθέσιμο (Dreher 1999, Nelson 2001b, Vasanthan et al. 2002, Stojceska et al. 2010, Elleuch et al. 2011).

3.6.1.4 Χημική επεξεργασία

Η χημική κατεργασία των ινών με οργανικούς διαλύτες, οξειδωτικά, όξινα ή αλκαλικά μέσα μεταβάλλει σημαντικά τις ιδιότητες ενυδάτωσης των ινών. Με τη δράση των παραπάνω χημικών μέσων εκχυλίζονται ορισμένες ενώσεις, όπως η λιγνίνη, περισσότερο ή λιγότερο επιλεκτικά. Η έκταση της εκχύλισης εξαρτάται από τη συγκέντρωση της χημικής ουσίας και τη θερμοκρασία. Εκτός τούτων παρατηρείται και μεταβολή των ιδιοτήτων ενυδάτωσης, και συγκεκριμένα αύξηση της διόγκωσης των κυτταρινούχων υλών που αποδίδεται στη διάσπαση των ενδομοριακών και διαμοριακών δεσμών (π.χ. με αλκαλική κατεργασία ή με κατεργασία με φωσφορικό οξύ).

Η επεξεργασία με υπεροξειδίο του υδρογόνου είναι χαρακτηριστικό παράδειγμα χημικής επεξεργασίας των ινών. Το υπεροξειδίο του υδρογόνου διασπά τη λιγνίνη προς διάφορα

προϊόντα που αλλιώς θα θεωρούνταν απόβλητα (π.χ. άχυρο σίτου, κελύφη βρώμης) και τα μετατρέπει σε άλευρα πλούσια σε ίνες. Μερική απολιγνινοποίηση των λιγνινοκυτταρινούχων υλικών με αλκαλική επεξεργασία υπεροξειδίου του υδρογόνου, παράγει κυτταρινούχα υλικά με μεγάλη ικανότητα απορρόφησης νερού και διόγκωσης (ανάλογα με τις συνθήκες επεξεργασίας), λόγω της διαλυτοποίησης μέρους (συνήθως κατά 40-60%) της λιγνίνης. Η διασπορά των λιγνινοκυτταρινούχων υλικών σε αλκαλικό διάλυμα υπεροξειδίου του υδρογόνου επιτρέπει τη διαλυτοποίηση της λιγνίνης διατηρώντας παράλληλα τα άλλα συστατικά, όπως τις ημικυτταρίνες.

Η λεύκανση σκουρόχρωμων ινών κρίνεται πολλές φορές απαραίτητη, ιδιαιτέρως όταν αυτές πρόκειται να προστεθούν σε ανοιχτόχρωμα τρόφιμα. Από χημική άποψη η λεύκανση είναι μια οξειδωτική διεργασία στην οποία χρησιμοποιούνται χημικά με οξειδωτική δράση, με πιο συχνά χρησιμοποιούμενο αραιό διάλυμα υπεροξειδίου του υδρογόνου. Με τον τρόπο αυτό απελευθερώνονται οι υδατάνθρακες που είναι συνδεδεμένοι στη λιγνίνη και στις φαινολικές ενώσεις, ενώ πρέπει να δίνεται προσοχή στη διατήρηση άλλων ευοξειδωτων οργανικών συστατικών. Η λεύκανση μπορεί να αυξήσει την ικανότητα απορρόφησης νερού και διόγκωσης των ινών (Sinitsyn et al. 1991, Dreher 1999, Guillon et al. 2000, Nelson 2001b, Elleuch et al. 2011).

3.6.1.5 Ενζυμική επεξεργασία

Η ενζυμική επεξεργασία περιλαμβάνει την ενζυμική τροποποίηση των διαιτητικών ινών όπως και τη χρήση ενζύμων για αύξηση του περιεχομένου των διαιτητικών ινών ή προετοιμασία συμπυκνωμάτων διαιτητικών ινών. Για την ενζυμική τροποποίηση των διαιτητικών ινών χρησιμοποιούνται ένζυμα (κυρίως ενδοξυλανάσες) που υδρολύουν τους πολυσακχαρίτες των κυτταρικών τοιχωμάτων. Σε γενικές γραμμές, οι ενζυμικές κατεργασίες οδηγούν σε μικρή μείωση των ολικών διαιτητικών ινών σε συνδυασμό με αλλαγές αδιάλυτων σε διαλυτές ίνες, καθώς επίσης και σε μεταβολή της κατανομής του μοριακού τους βάρους. Η ενζυμική τροποποίηση των διαιτητικών ινών μπορεί να βελτιώσει τη λειτουργικότητά τους (π.χ. με αλλαγή των ιδιοτήτων ενυδάτωσης και του ιξώδους), καθώς και τις οργανοληπτικές ιδιότητες των τροφίμων στα οποία αυτές προστίθενται (Carprez et al. 1987, Dreher 1999, Arrigoni 2001). Η περίπτωση της ενζυμικής τροποποίησης των διαιτητικών ινών θα περιγραφεί αναλυτικότερα παρακάτω.

Αύξηση της περιεκτικότητας σε ίνες διαφόρων πηγών ινών έχει επιτευχθεί, αφαιρώντας τις εύπεπτες ενώσεις π.χ. με αποικοδόμηση του αμύλου με χρήση θερμοανθεκτικής α-αμυλάσης (Termamyl, Amylogal) και βακτηριακής αμυλογλυκοζιδάσης (AMG), και των πρωτεϊνών με βακτηριακές πρωτεάσες (Alcalase, Neutrase). Πριν από την ενζυμική

επεξεργασία, εάν είναι αναγκαίο, οι ξηρές πηγές ινών αλέθονται και απειλώνονται. Μετά την ενζυμική επεξεργασία οι διαλυτές ίνες καταβυθίζονται σε αιθανόλη, και ακολουθεί διήθηση ή φυγοκέντρηση και ξήρανση. Τελικά λόγω της αφαίρεσης των εύπεπτων ενώσεων, παρατηρείται έμμεση αύξηση του συνόλου των διαιτητικών ινών, χωρίς να προκαλούνται σημαντικές αλλαγές στη δομή τους. Με προσθήκη ενζυμικά τροποποιημένων πηγών ινών, παρατηρήθηκε σημαντικά υψηλότερη ικανότητα συγκράτησης νερού, αλλά αργός ρυθμός απορρόφησης νερού, που σε συνδυασμό με την αυξημένη περιεκτικότητα σε ίνες και την απομάκρυνση των λοιπών ενώσεών τους, δεν οδήγησε τελικά σε βελτιώσεις (Oh 1990, Hoebler et al. 1991).

Τέλος, οι ενζυμικές κατεργασίες χρησιμοποιούνται και στην παραγωγή ορισμένων προϊόντων ινών. Χαρακτηριστικά αναφέρεται η χρήση της α-αμυλάσης για την παραγωγή του Oatrim (υπερσυμπύκνωμα διαλυτών ινών βρώμης) και ορισμένων φρουκτο-ολιγοσακχαριτών που παράγονται από σακχαρόζη.

3.6.2 Επεξεργασία τροφίμων που περιέχουν διαιτητικές ίνες

Τα περισσότερα τρόφιμα επεξεργάζονται με θερμικές, θερμομηχανικές και μη θερμικές κατεργασίες, είτε στη βιομηχανία τροφίμων είτε σε οικιακό επίπεδο. Η βιομηχανική επεξεργασία εφαρμόζεται για παράταση της διάρκειας ζωής των προϊόντων, ή για παραγωγή τροφίμων έτοιμων προς κατανάλωση, ή για παραγωγή τροφίμων με εύκολη προετοιμασία, διατηρώντας ταυτόχρονα την ποιότητά τους. Οι συνθήκες θερμοκρασίας, πίεσης, διατμητικής δύναμης κλπ. στις οποίες υποβάλλεται το τρόφιμο κατά τη διάρκεια παραγωγής του, μπορεί να οδηγήσουν σε αύξηση της διαλυτότητας των περιεχόμενων ινών, μείωση ή μικρή αύξηση της περιεκτικότητας σε ίνες και απώλεια των φυσιολογικών ιδιοτήτων των περιεχόμενων ινών. Επιπλέον, μεταβολές στην περιεκτικότητα σε διαιτητικές ίνες προκαλούνται και έμμεσα, λόγω της απώλειας άλλων συστατικών κατά το μαγείρεμα με αποτέλεσμα τον «εμπλουτισμό» σε ίνες, ή αντιθέτως λόγω της ενσωμάτωσης του λίπους σε τηγανητά τρόφιμα κατά το τηγάνισμα, με αποτέλεσμα την αραιώση των διαιτητικών ινών. Γενικά, η επεξεργασία υπό κανονικές συνθήκες έχει μικρή επίδραση στην ποσότητα των διαιτητικών ινών όταν εκφράζεται "ως έχει" ή σε υγρή βάση, ενώ τα αποτελέσματα σε ξηρή βάση επηρεάζονται περισσότερο (Rabe 1999).

Συνοπτικά, οι πιθανές μεταβολές στις περιεχόμενες διαιτητικές ίνες κατά την επεξεργασία των τροφίμων είναι:

- Εκχύλιση των διαλυτών διαιτητικών ινών (π.χ. πηκτίνες) στο νερό μαγειρέματος
- Αποδόμηση των διαλυτών ή αδιάλυτων διαιτητικών ινών σε μικρότερα μόρια που δεν προσδιορίζονται ως διαιτητικές ίνες

- Μετατροπή των αδιάλυτων ινών σε διαλυτές ίνες (με σταθερό όμως συνολικό περιεχόμενο)
- Μείωση των αποδομήσιμων συστατικών (άμυλο, πρωτεΐνες) που οδηγεί σε έμμεση αύξηση των διαιτητικών ινών
- Σχηματισμός και/ή αύξηση του ανθεκτικού αμύλου
- Σχηματισμός και/ή αύξηση των αδιάλυτων προϊόντων Maillard.

3.6.2.1 Θερμική επεξεργασία

Οι θερμικές επεξεργασίες των τροφίμων διαχωρίζονται σε υγρές και ξηρές. Οι υγρές θερμικές επεξεργασίες περιλαμβάνουν κυρίως το ζεμάτισμα, το βράσιμο, την κονσερβοποίηση, την επεξεργασία με ατμό και την επεξεργασία σε φούρνο μικροκυμάτων. Οι κύριες συνέπειες των παραπάνω είναι η απελευθέρωση των περιεχόμενων συστατικών των κυττάρων και η διαλυτοποίηση των ασταθών διαιτητικών ινών (πηκτίνες, β-γλυκάνες, αραβινοξυλάνες, ολιγοσακχαρίτες). Η έκταση της διαλυτοποίησης των πολυσακχαριτών των κυτταρικών τοιχωμάτων, εξαρτάται από τη χημική σύνθεσή τους και τη σύνδεσή τους με άλλα μακρομόρια εντός των κυτταρικών τοιχωμάτων, καθώς και από τις παραμέτρους της επεξεργασίας (θερμοκρασία, διάρκεια, κλπ). Ως αποτέλεσμα της μερικής διαλυτοποίησης των συστατικών του κυτταρικού τοιχώματος, το αδιάλυτο πλέγμα ινών μπορεί να εμφανίζει μεγαλύτερη διόγκωση, λόγω ενός πιο χαλαρού και πιο πορώδους δικτύου, ενώ η ικανότητα διατήρησης νερού μπορεί να αυξομειώνεται ανάλογα με την κατανομή του μεγέθους των πόρων. Ακόμα, μετά από έντονη θερμική κατεργασία το ιξώδες των υδατοδιαλυτών ινών μειώνεται και παρατηρείται μετατόπιση προς χαμηλότερα μοριακά βάρη.

Το ζεμάτισμα, αν και εφαρμόζεται για απενεργοποίηση των ενζύμων, μπορεί επίσης να προκαλέσει μερική διαλυτοποίηση. Η θέρμανση σε μικροκύματα θεωρείται γενικά ως μια ήπιας μορφής θερμική επεξεργασία και δεν επηρεάζει τις περιεχόμενες διαιτητικές ίνες, και μόνο σε ακραίες καταστάσεις επαναλαμβανόμενης εφαρμογής έχει παρατηρηθεί μείωση αυτών. Μαγείρεμα των τροφίμων σε περίσσεια νερού (βράσιμο) οδηγεί σε απώλεια των υδατοδιαλυτών ινών στο νερό. Συγκεκριμένα, κατά τη διάρκεια του βρασίματος των λαχανικών, οι ημικυτταρίνες και οι πηκτίνες συνήθως εκχυλίζονται μέσα στο νερό. Οι πηκτίνες αποπολυμερίζονται πλήρως με θέρμανση και δεν ανιχνεύονται στο νερό βρασίματος, ενώ οι ημικυτταρίνες μπορεί να αποσυντεθούν μερικώς. Περισσότερες ίνες διατηρούνται σε λαχανικά επεξεργασμένα στον ατμό, αφού το τρόφιμο δεν εμβαπτίζεται στο νερό και η διαλυτοποίηση ελαχιστοποιείται.

Οι ξηρές θερμικές επεξεργασίες (ψήσιμο) δεν μεταβάλλουν σημαντικά το περιεχόμενο των διαιτητικών ινών. Σε ακραίες συνθήκες μπορεί να παρατηρηθεί αύξηση της περιεχόμενης

λιγνίνης και μείωση των τιμών των ιδιοτήτων ενυδάτωσης. Αυτό θα μπορούσε να αποδοθεί στο σχηματισμό προϊόντων Maillard, τα οποία, λόγω του ότι δεν αφομοιώνονται από τα υπάρχοντα ένζυμα στο λεπτό έντερο, συνεισφέρουν στην αύξηση του περιεχομένου των διαιτητικών ινών. Επίσης, θερμική επεξεργασία που ακολουθείται μετά από περίοδο ψύξης μπορεί να προκαλέσει σε αμυλούχες τροφές σχηματισμό ανθεκτικού αμύλου.

Τα εμπλουτισμένα με πίτυρο προϊόντα σιτηρών (π.χ. ψωμί, κέικ) δεν επηρεάζονται ιδιαίτερα από το ψήσιμο, αφού οι μεταβολές που προκαλούνται είναι πολύ μικρές σε σύγκριση με το περιεχόμενό τους σε διαιτητικές ίνες. Οι κύριες μεταβολές πάντως που παρατηρούνται οφείλονται στην αύξηση του ανθεκτικού αμύλου κατά τη διάρκεια του ψησίματος και ακόμη περισσότερο κατά τη διάρκεια της ψύξης (κυρίως στην περίπτωση του ψωμιού), και στη διαλυτοποίηση των αδιάλυτων ημικυτταρινών. Στη διαλυτοποίηση ακριβώς αυτή οφείλεται και η δυσανάλογη αύξηση σε αδιάλυτες ίνες του τελικού προϊόντος, σε σχέση με εκείνες που χρησιμοποιήθηκαν αρχικά στην παρασκευή του προϊόντος, όπως έχει παρατηρηθεί σε μελέτες εμπλουτισμού κέικ με συστατικά πλούσια σε αδιάλυτες ίνες (Camire 1999, Rabe 1999, Guillon et al.2000).

3.6.2.2 Θερμομηχανική επεξεργασία

Η εκβολή χρησιμοποιείται από τη βιομηχανία τροφίμων για την παραγωγή διάφορων ειδών σνακ, έτοιμων προς κατανάλωση προϊόντων δημητριακών, κλπ. Το προϊόν τροφοδοτείται σε έναν εκβολέα διπλού κοχλία, μεταφέρεται μέσω περιστροφής των κοχλιών και στο τέλος του εκβολέα περνά μέσα από μία μήτρα, όπου εξατμίζεται το περιεχόμενο νερό και προκαλείται διόγκωση του προϊόντος. Κατά την εκβολή παρατηρείται μικρή αύξηση των διαλυτών διαιτητικών ινών σε βάρος των αδιάλυτων, η οποία αυξάνεται όσο πιο έντονες γίνονται οι συνθήκες. Η διαλυτοποίηση που παρατηρείται είναι αποτελέσματα περισσότερο της μηχανικής μετατροπής παρά των θερμικών επιδράσεων, και για αυτό η αλλαγή της θερμοκρασίας κατά την εκβολή είναι λιγότερο σημαντική από εκείνη της μηχανικής ενέργειας. Οι διαλυτές ίνες, που δημιουργούνται κατά την εκβολή, είναι από χημική άποψη διαφορετικές από τις φυσικά απαντώμενες διαλυτές ίνες (πηκτίνη, κομμεα κλπ.), και ως εκ τούτου αναμένεται να έχουν διαφορετικές φυσιολογικές επιδράσεις. Ειδικότερα, οι αλλαγές των μορίων που προκαλούνται κατά την εκβολή, θα μπορούσαν να επηρεάσουν την ικανότητα των ινών για δέσμευση καρκινογόνων ουσιών.

Το σκάσιμο (porring), η νιφάδοποίηση και η υγρή παστερίωση (υπίεση) αποδιοργανώνουν το ενδοσπέρμιο των σπόρων (αυξάνοντας την προσβασιμότητα και αφομοιωσιμότητα του αμύλου), χωρίς να επηρεάζουν τα εξωτερικά στρώματα αυτού. Έτσι, μεταβάλλεται ελάχιστα η σύνθεση των ινών, με τους διαλυτούς υδατάνθρακες να παρουσιάζουν μικρή αύξηση σε

βάρος των αδιάλυτων, ενώ υπό έντονες συνθήκες μειώνεται το περιεχόμενο των ολικών διαιτητικών ινών. Τέλος, έχει παρατηρηθεί ότι το μαγείρεμα υπό πίεση μειώνει την περιεχόμενη κυτταρίνη και ημικυτταρίνη, με υποβάθμιση των πολυσακχαριτών προς απλά σάκχαρα.

Συμπερασματικά λοιπόν, η επίδραση των διαφόρων θερμομηχανικών επεξεργασιών στις ολικές διαιτητικές ίνες είναι μικρή, παρόλα αυτά διαλυτοποίηση σε κάποιο βαθμό των συστατικών των ινών παρατηρείται σε όλες τις διεργασίες (Guillon et al.2000, Rehman et al. 2003).

3.6.2.3 Κατάψυξη

Τα τρόφιμα μπορεί να αποθηκευτούν υπό κατάψυξη για μεγάλο χρονικό διάστημα. Κατά τη διάρκεια της αποθήκευσής τους όμως, μπορεί να συμβούν διάφορες μεταβολές στις περιεχόμενες διαιτητικές ίνες. Κατά την κατάψυξη συνήθως σχηματίζονται παγοκρύσταλλοι στα τρόφιμα, που μπορεί να οδηγήσουν σε διατάραξη των κυτταρικών τοιχωμάτων, με αποτέλεσμα την αυξημένη απελευθέρωση του περιεχομένου των κυττάρων και τη διαλυτοποίηση των πολυσακχαριτών του κυτταρικού τοιχώματος κατά το μαγείρεμα. Ο σχηματισμός και το μέγεθος των παγοκρυστάλλων εξαρτάται από τη θερμοκρασία και το ρυθμό ψύξης, με την ταχεία κατάψυξη να διατηρεί καλύτερα την ποιότητα των τροφίμων.

Επιπροσθέτως, σε τρόφιμα που περιέχουν πηκτίνες έχει παρατηρηθεί διαλυτοποίηση και αποικοδόμησή τους, λόγω της δράσης των πηκτινολυτικών ενζύμων, η οποία επιβραδύνεται αλλά δεν εμποδίζεται σε θερμοκρασίες κατάψυξης. Τέλος, σε κατεψυγμένα αμυλούχα τρόφιμα μπορεί να αναδιαμορφωθεί το άμυλο, γεγονός που οδηγεί σε σχηματισμό ανθεκτικού αμύλου και επομένως σε αύξηση των διαιτητικών ινών (Rahman et al. 1971, Camire 1999).

3.6.2.4 Ζύμωση

Η ζύμωση είναι μια οικονομική μέθοδος επεξεργασίας και διατήρησης των τροφίμων. Εφαρμόζεται κυρίως σε όσπρια, ενισχύοντας τη θρεπτική τους αξία, μειώνοντας ορισμένες αντιθρεπτικές τους ουσίες (π.χ. θρυψίνη) και βελτιώνοντας την αποδεκτότητά τους από τον καταναλωτή. Η ζύμωση των οσπρίων επιφέρει μείωση των διαλυτών ινών που οφείλεται στη χρήση τους από μικροοργανισμούς ως πηγή ενέργειας (Camire 1999 Guillon et al.2000).

3.6.2.5 Ελεγχόμενη βλάστηση

Η βυνοποίηση αποτελεί το κύριο στάδιο της διαδικασίας παραγωγής ζυμωμένων αφεψημάτων (κυρίως μπύρας), αλλά χρησιμοποιείται και για τη δημιουργία θρεπτικών προϊόντων (π.χ. βρεφικών τροφών). Η βυνοποίηση προσδίδει μία ιδιαίτερη γεύση στους

σπόρους, οι οποίοι στη συνέχεια ξηραίνονται και αλέθονται ή επεξεργάζονται περαιτέρω για σχηματισμό νιφάδων. Εκτός από το κριθάρι, που ανέκαθεν αποτελούσε τον πιο συχνά χρησιμοποιούμενο σπόρο λόγω του ρόλου του στη ζυθοποιία, σήμερα χρησιμοποιούνται και άλλοι σπόροι (σίτου, σίκαλης, βρώμης) που μεταδίδουν τη δική τους ξεχωριστή γεύση και χρώμα στα τρόφιμα.

Κατά τη βυνοποίηση το κριθάρι διαβρέχεται για διάστημα λίγων ημερών, εμβαπτίζεται σε θερμό νερό και στη συνέχεια αφήνεται να βλαστήσει υπό ελεγχόμενες συνθήκες. Η βλάστηση του σπόρου συνδέεται με την απορρόφηση νερού. Οι ορμόνες που προκύπτουν από τους εμβρυϊκούς άξονες, ενεργοποιούν τη σύνθεση και την έκκριση υδρολυτικών και άλλων ενζύμων, τα οποία αποπολυμερίζουν τους πολυσακχαρίτες των κυττάρων και τα αποθέματα πρωτεϊνών και αμύλου του ενδοσπερμίου. Έτσι, η βλάστηση προκαλεί χημικές και βιοχημικές αλλαγές στο σπόρο όπως μείωση του περιεχόμενου των α-γαλακτοζιτών, των λεκτινών, της τρυψίνης κλπ., ή ακόμη και διαλυτοποίηση και αποικοδόμηση κάποιων πολυσακχαριτών των κυτταρικών τοιχωμάτων. Χαρακτηριστικό παράδειγμα αποτελεί η σύνθεση ενδογενών β-γλυκανασών κατά τη διάρκεια της βυνοποίησης, οι οποίες προκαλούν τον αποπολυμερισμό των β-γλυκανών του κριθαριού, μειώνοντας έτσι την ικανότητά τους για αύξηση του ιξώδους του υδατικού διαλύματος (στην περίπτωση της βυνοποίησης αυτό είναι επιθυμητό). Επίσης, εκτεταμένη αποικοδόμηση των αραβινοξυλανών έχει παρατηρηθεί σε σπόρους σίτου μετά από βλάστηση (Fincher & Stone 1986, Kevin 1995, Guillon et al. 2000, Gelroth & Ranhotra 2001).

3.7 Φυσιολογικές επιδράσεις από την κατανάλωση διαιτητικών ινών

3.7.1 Λειτουργικές ιδιότητες διαιτητικών ινών και φυσιολογικές επιδράσεις

Οι ποικίλες φυσιολογικές δράσεις των διαιτητικών ινών αποδίδονται στις φυσικοχημικές ιδιότητες των μη αφομοιώσιμων υδατανθράκων που τις απαρτίζουν κατά τη διέλευσή τους από το γαστρεντερικό σύστημα. Οι φυσικοχημικές ιδιότητες (που ονομάζονται και λειτουργικές) εξαρτώνται από τη διαμόρφωση των επιμέρους πολυσακχαριτικών αλυσίδων και περιλαμβάνουν την ικανότητα διόγκωσης και συγκράτησης νερού, την ιδιότητά τους να μειώνουν τη διάχυση των επιμέρους συστατικών μέσω αύξησης του ιξώδους και πιθανώς σχηματισμού πηκτής στο γαστρεντερικό σωλήνα, την ικανότητα δέσμευσης τοξικών ουσιών και την ευεργετική για την υγεία παραγωγή προϊόντων βακτηριακής αποικοδόμησης (λυπαρά οξέα μικρής αλυσίδας) στο παχύ έντερο. Έτσι, πέρα από τη συγκέντρωση των διαιτητικών ινών σε ένα προϊόν, η διαλυτότητα, το μοριακό βάρος και το ιξώδες έχει αποδειχθεί ότι είναι ρυθμιστικοί παράγοντες για τη φυσιολογική δράση τους.

Δίαιτες πλούσιες σε διαιτητικές ίνες σχετίζονται με τη μείωση του κινδύνου εμφάνισης ασθενειών του γαστρεντερολογικού συστήματος, διαφόρων τύπων καρκίνου, διαβήτη τύπου 2, παχυσαρκίας, καρδιαγγειακών νοσημάτων και ισχαιμικών επεισοδίων (κίνδυνος αθηροσκλήρωσης) και γενικότερα με τη μείωση της θνησιμότητας που προέρχεται από αυτές τις ασθένειες. Αυτό επιτυγχάνεται μέσω μεταβολικών και μη οδών, όπως είναι η αύξηση του όγκου των κοπράνων, η μείωση της χοληστερόλης του πλάσματος και η καλύτερη ρύθμιση του μεταβολισμού των λιποπρωτεϊνών, η μείωση των λιπιδίων και της πίεσης του αίματος, η αύξηση της ευαισθησίας στην ινσουλίνη και η βελτίωση του ελέγχου της γλυκόζης στο αίμα κλπ.

Οι διαιτητικές ίνες ανάλογα με τον τύπο τους (διαλυτές ή αδιάλυτες) προκαλούν διαφορετικές επιδράσεις στον οργανισμό (**Πίνακας 3.5**). Οι αδιάλυτες διαιτητικές ίνες χαρακτηρίζονται από υψηλό πορώδες και χαμηλή πυκνότητα. Τα φυσιολογικά οφέλη των αδιάλυτων διαιτητικών ινών εστιάζονται στη βελτίωση της λειτουργίας του παχέος εντέρου και γενικότερα του γαστρεντερικού σωλήνα (αποφυγή δυσκοιλιότητας, αιμοροΐδων, προβλημάτων του εντέρου, μείωση κινδύνου εμφάνισης καρκίνου του παχέος εντέρου), καθώς επιταχύνουν τη διέλευση των τροφών από το πεπτικό σύστημα και συκρατούν νερό στο έντερο, αυξάνοντας τον όγκο και αλλάζοντας τη σύσταση των κοπράνων (και επομένως μειώνοντας το χρόνο διέλευσής τους από το έντερο). Σημαντικό ρόλο στη μείωση του χρόνου διέλευσης παίζει η κοκκομετρία των ινών, αφού σε πολύ μικρές κοκκομετρίες δεν αποδίδονται οι αναμενόμενες φυσιολογικές επιδράσεις. Οι διαιτητικές ίνες, επίσης, επιβραδύνουν την απορρόφηση της γλυκόζης και την υδρόλυση του αμύλου, μειώνοντας (σε μικρό βαθμό σε σχέση με τις διαλυτές) τη γλυκαιμική απόκριση των τροφίμων.

Οι διαλυτές ίνες, λόγω της ικανότητά τους να δημιουργούν πηκτές και να αυξάνουν το ιξώδες, ρυθμίζουν ουσιαστικά το ρυθμό με τον οποίο τα θρεπτικά και μη συστατικά απορροφώνται από το λεπτό έντερο, επιβραδύνουν την κένωση του στομάχου και επιβραδύνουν την απορρόφηση της γλυκόζης. Έτσι, οι διαλυτές διαιτητικές ίνες συμβάλλουν στη μείωση/ρύθμιση των μεταγευματικών επιπέδων της γλυκόζης στο αίμα, στη μείωση της χοληστερόλης και επομένως της πιθανότητας εμφάνισης καρδιαγγειακών παθήσεων, στη χρονική επιμήκυνση της αίσθησης του κορεσμού (καθώς παραμένουν αρκετό διάστημα στο στομάχι) και επομένως στον έλεγχο του σωματικού βάρους, στη μείωση του κινδύνου εμφάνισης καρκίνου του παχέος εντέρου (με την παραγωγή λιπαρών οξέων μικρής αλύσου) καθώς και σε άλλες ευεργετικές μεταβολικές δράσεις (Gordon & Pellet 1992, Stauffer 1993, Brennan et al. 2005, Schneeman 2007, Das 2010).

Πίνακας 3.5. Φυσιολογικές επιδράσεις αδιάλυτων και διαλυτών διαιτητικών ινών

Μείωση κινδύνου εμφάνισης ασθένειας	Αδιάλυτες Διαιτητικές Ίνες	Διαλυτές Διαιτητικές Ίνες
Καρκίνος του παχέος εντέρου	✓	✓
Δυσκοιλιότητα	✓	✓ *
Αιμορροΐδες	✓	
Καρδιαγγειακά νοσήματα		✓
Ισχαιμικά επεισόδια		✓
Διαβήτης τύπου 2	✓	✓
Παχυσαρκία	✓	✓

(*)Πρεβιοτικά

3.7.2 Καλή λειτουργία (εκκένωση) εντέρου

Αρκετές δυσλειτουργίες του εντέρου έχουν ως κοινό αίτιο τα υψηλής πυκνότητας και χαμηλού όγκου κόπρανα, που απαιτούν υπερβολική μυϊκή δύναμη για τη μετακίνησή τους μέσω του παχέος εντέρου. Οι ίνες είναι το μόνο γνωστό συστατικό των τροφίμων που αυξάνει τον όγκο των κοπράνων, είτε άμεσα ως μη αφομοιώσιμο υπόλειμμα, είτε υποστηρίζοντας την ανάπτυξη των μικροοργανισμών. Όλοι οι ερευνητές συμφωνούν ότι οι διαιτητικές ίνες βοηθούν σημαντικά την εκκένωση του εντέρου, και επομένως την πρόληψη και θεραπεία σχετιζόμενων ασθενειών όπως της δυσκοιλιότητας, των αιμορροΐδων, της ασυμπτωματικής εκκολπωμάτωσης και του καρκίνου του εντέρου.

Ουσιαστικά οι αδιάλυτες ίνες αυξάνουν τον όγκο και αλλάζουν τη σύσταση των κοπράνων (λόγω της ικανότητας συγκράτησης νερού), οπότε επιταχύνεται η κινητικότητα του εντέρου, με αποτέλεσμα τη μεγαλύτερη απόδοση κοπράνων, την πιο μαλακή υφή τους, την εύκολη διέλευσή τους από το έντερο και την αύξηση της συχνότητας εκκένωσης. Έτσι επιτυγχάνεται μεγαλύτερη κανονικότητα, μικρότερη πίεση κατά την αφόδευση των κοπράνων και συνεπώς μείωση συχνότητας δυσκοιλιότητας και των σχετικών ασθενειών. Οι διαλυτές διαιτητικές ίνες που είναι επίσης άπεπτες στο λεπτό έντερο, αλλά ζυμώνονται πλήρως ή μερικώς από τη μικροχλωρίδα του παχέος εντέρου, βοηθούν με διαφορετικό τρόπο στην καλή λειτουργία του εντέρου, παράγοντας λιπαρά οξέα μικρής αλυσίδας, όπως προπιονικό και βουτυρικό οξύ, τα οποία αποτελούν πηγή ενέργειας για τα κύτταρα του εντερικού επιθηλίου.

Μερικές διαλυτές διαιτητικές ίνες (π.χ. φρουκτοολιγοσακχαρίτες, ινουλίνη και γαλακτοολιγοσακχαρίτες), γνωστές και ως πρεβιοτικά, βοηθούν στην καλή λειτουργία του εντέρου, ενεργοποιώντας επιλεκτικά την ανάπτυξη ή/και τη δραστηριότητα ενός ή

περισσότερων βακτηριακών στελεχών που αποικίζουν το έντερο (προβιοτικά), συμπεριλαμβανομένων των λακτοβάκιλλων και των bifidobacteria. Προτεινόμενες φυσιολογικές επιδράσεις των πρεβιοτικών περιλαμβάνουν την αύξηση των προβιοτικών βακτηρίων του εντέρου, που με τη σειρά τους επιφέρουν ανακούφιση από τη δυσκοιλιότητα και ενίσχυση του ανοσοποιητικού συστήματος του οργανισμού. Αξίζει να σημειωθεί ότι υπάρχουν ενδείξεις πρεβιοτικής δράσης των β-γλυκανών και μάλιστα επιλεκτικής για μερικά είδη λακτοβάκιλλων (Cummings 1986, Prosky & DeVries 1992, Johnson & Southgate 1994, Chen et al. 1998, Salminen et al. 1998, Sanjoaquin et al. 2004, Khanna et al. 2006, Jones 2008, Ouwehand et al. 2009, McBurney 2010).

3.7.2.1 Καρκίνος του παχέος εντέρου

Όπως αναφέρθηκε προηγουμένως, ο πρωταρχικός ρόλος των ινών είναι να τροποποιούν τη φύση του περιεχομένου του γαστρεντερικού σωλήνα και να απορροφούν άλλα συστατικά. Δίαιτα πλούσια σε διαιτητικές ίνες (διαλυτές και αδιάλυτες) έχει αποδειχθεί ότι βοηθά στην πρόληψη του καρκίνου του παχέος εντέρου, στα πλαίσια μίας ισορροπημένης διατροφής. Οι μηχανισμοί, μέσω των οποίων οι διαιτητικές ίνες προστατεύουν από την εμφάνιση καρκίνου του παχέος εντέρου, είναι:

- Αυξημένος όγκος κοπράνων (έτσι ώστε καρκινογόνες ουσίες όπως τα χολικά άλατα να έχουν μικρότερη πιθανότητα επαφής με τα κύτταρα του παχέος εντέρου):
 - Μειωμένος χρόνος διέλευσης
 - Αραίωση των καρκινογόνων
- Δέσμευση χολικών οξέων ή άλλων πιθανών καρκινογόνων
- Χαμηλότερο pH κοπράνων:
 - Παρεμπόδιση της βακτηριακής αποικοδόμησης των συνήθων συστατικών των τροφίμων προς πιθανά καρκινογόνα
- Αλλαγές στη μικροχλωρίδα του εντέρου:
 - Ενίσχυση ωφέλιμων βακτηρίων που αναστέλλουν την ανάπτυξη παθογόνων μικροοργανισμών και επομένως και την παραγωγή χολικών οξέων
- Ζύμωση από τη μικροχλωρίδα των κοπράνων προς λιπαρά οξέα μικρής αλυσίδας:
 - Μείωση του pH του παχέος εντέρου
 - Παρεμπόδιση των καρκινογόνων
 - Παραγωγή βουτυρικού οξέος προς θρέψη των υγιών κυττάρων του παχέος εντέρου
- Αύξηση των αντιοξειδωτικών
- Παράγοντες ανάπτυξης πεπτιδίων.

Ως κύριος μηχανισμός πάντως αναφέρεται η αύξηση του όγκου των κοπράνων, με συνέπεια την ταχεία αποβολή τους και την αραίωση της συγκέντρωσης ουσιών που προκαλούν καρκίνο, όταν έρχονται σε επαφή με το βλεννογόνο του εντέρου. Συγκεκριμένα, οι ενυδατωμένες διαιτητικές ίνες που δεν έχουν αποικοδομηθεί μειώνουν τη συγκέντρωση των χολικών αλάτων (πρόδρομοι παράγοντες καρκινογένεσης) και δεν τους επιτρέπουν να αλληλεπιδράσουν με το επιθήλιο του παχέος εντέρου.

Παρόλα αυτά, η ζύμωση των ινών στο έντερο θεωρείται ότι προκαλεί την πιο σημαντική επίδραση στη φυσιολογία του. Πάνω από το 75% των διαιτητικών ινών σε μια κανονική δίαιτα διασπάται στο παχύ έντερο. Οι διαλυτές ίνες, γενικώς, διασπώνται στο παχύ έντερο σχεδόν στο σύνολό τους, ενώ οι αδιάλυτες σε κάποιο ποσοστό. Τα τελικά προϊόντα της ζύμωσης περιλαμβάνουν τα λιπαρά οξέα μικρής αλυσίδας (SCFAs), κυρίως οξικό, προπιονικό και βουτυρικό, και ορισμένα αέρια (H_2 , CO_2 και σε ορισμένες περιπτώσεις CH_4). Το ποσό και οι γραμμομοριακές αναλογίες των τριών κύριων SCFAs ποικίλλουν σημαντικά, ανάλογα με τον τύπο του υποστρώματος. Τα SCFAs μεταβολίζονται από το επιθήλιο του παχέος εντέρου, το ήπαρ και τους μύες, και έχουν άμεσες επιπτώσεις στα εντεροκύτταρα, διαμορφώνοντας τη λειτουργία τους και τη διαφοροποίησή τους. Μεταξύ των SCFAs, το βουτυρικό είναι το προτιμώμενο υπόστρωμα για τα κύτταρα του παχέος εντέρου και ευθύνεται για την προστατευτική επίπτωση των ινών κατά του καρκίνου του παχέος εντέρου. Το οξικό οξύ είναι το μόνο SCFA που μπορεί να ανιχνευτεί στο αίμα, ενώ το προπιονικό οξύ μεταβολίζεται κυρίως στο ήπαρ και σχετίζεται με τις επιδράσεις των ινών στο μεταβολισμό των υδατανθράκων και της χοληστερόλης, που θα περιγραφεί παρακάτω. Τέλος, επιδημιολογικές μελέτες υποδεικνύουν ότι η κατανάλωση διαιτητικών ινών σχετίζεται με μειωμένο κίνδυνο εμφάνισης καρκίνου του οισοφάγου, του στομάχου και γενικότερα του άνω γαστρεντερικού συστήματος (Johnson & Southgate 1994, Guillon et al. 2000, Schneeman 2007, Pins et al. 2001, Slavin 2007, Slavin 2001, Ouwehand et al. 2009, McBurney 2010).

3.7.3 Μετρίαση χοληστερόλης - Μεταβολισμός λιπιδίων

Η χοληστερόλη δεν κυκλοφορεί ελεύθερη στο αίμα, αλλά μεταφέρεται από λιποπρωτεΐνες (HDL-high density lipoprotein και LDL-low density lipoprotein). Η LDL μεταφέρει τη χοληστερόλη στα κύτταρα, οπότε σε υψηλές τιμές LDL χοληστερόλης υπάρχει κίνδυνος να φράξουν τα αγγεία και να προκληθούν καρδιαγγειακά προβλήματα. Αντιθέτως, η HDL μεταφέρει τη χοληστερόλη στο συκώτι, όπου ο οργανισμός μπορεί να απαλλαγεί από αυτήν, οπότε όσο περισσότερη HDL υπάρχει τόσο μικρότερη ποσότητα χοληστερόλης θα κυκλοφορεί στα αγγεία.

Η κατανάλωση τροφών πλούσιων σε διαιτητικές ίνες φαίνεται ότι επιφέρει επιλεκτική μείωση της LDL («κακής») χοληστερόλης, καθώς αυξάνει είτε την HDL («καλή») χοληστερόλη ή την αναλογία της HDL προς LDL χοληστερόλης. Η μείωση των επιπέδων της χοληστερόλης, που επιτυγχάνεται με την κατανάλωση διαλυτών διαιτητικών ινών, σύμφωνα με μελέτες (Ripsin et al. 1992, Brown et al. 1999) αντιστοιχεί σε πολλαπλάσια επίπεδα ελάττωσης του κινδύνου εμφάνισης καρδιαγγειακών νοσημάτων, στο πλαίσιο μιας υγιεινής διατροφής και ενός κανονικού τρόπου ζωής. Σύμφωνα με κλινικές μελέτες των Law et al. (1994), μείωση της ολικής χοληστερόλης στο αίμα κατά 0.6 mmol/L (~10%) αναμένεται να επιφέρει μείωση του κινδύνου εκδήλωσης στεφανιαίας νόσου κατά ~50%, και αντίστοιχα μείωση της LDL χοληστερόλης κατά 1% αναμένεται να επιφέρει ποσοστιαία μείωση του κινδύνου εμφάνισης καρδιαγγειακού νοσήματος κατά ~2- 3%.

Ο ακριβής μηχανισμός δράσης των διαιτητικών ινών σε ότι αφορά τη μείωση των επιπέδων της χοληστερόλης δεν είναι ακριβώς γνωστός, εικάζεται όμως ότι στηρίζεται στις παρακάτω υποθέσεις. Οι διαλυτές ίνες αυξάνουν σημαντικά το ιξώδες του εντερικού περιεχομένου δημιουργώντας ένα είδος πηκτής, οπότε μειώνουν την απορρόφηση της χοληστερόλης και άλλων λιπαρών ουσιών. Παράλληλα δεσμεύουν τα χολικά άλατα, εμποδίζοντας έτσι την επαναπορρόφηση τους στο τελικό τμήμα του εντέρου. Με την αποβολή των χολικών αλάτων στα κόπρανα, η συγκέντρωσή τους στην εντεροηπατική οδό μειώνεται, με αποτέλεσμα να ενεργοποιείται ο μηχανισμός σύνθεσής τους στο ήπαρ από τη χοληστερόλη, (που είναι πρόδρομος ουσία). Έτσι, η χοληστερόλη μειώνεται στο αίμα και δεν χρησιμοποιείται στην παραγωγή των λιποπρωτεϊνών (π.χ. LDL χοληστερόλης). Μία άλλη υπόθεση εστιάζει στη μικροβιακή αποικοδόμηση των ινών στο παχύ έντερο και στην παραγωγή προπιονικού οξέος, το οποίο επηρεάζει το μεταβολισμό της χοληστερόλης στο ήπαρ, με αποτέλεσμα τη μείωση των επιπέδων της στο αίμα. Αν και το προπιονικό οξύ έχει αποδειχθεί ότι αναστέλλει τη σύνθεση της χοληστερόλης, από την άλλη πλευρά η ζύμωση παράγει υψηλή συγκέντρωση οξικού οξέος, το οποίο απορροφάται και κυκλοφορεί στο αίμα με ενδεχόμενη αύξηση της χοληστερόλης. Επομένως, μείωση των λιπιδίων του ορού μέσω αυτής της οδού μπορεί να προκαλέσουν οι ίνες, που κατά τη μικροβιακή αποικοδόμησή τους δίνουν μειωμένη αναλογία οξικού: προπιονικού οξέος (Prosky & DeVries 1992, Brown et al. 1999, Guillon et al. 2000, Fernandez 2001, Jenkins et al. 2001, Marlett 2001, Pins et al. 2001, Aman et al. 2004, Önning 2007, Jones 2008, Viuda-Martos et al. 2010).

3.7.4 Μετρίαση επιπέδων γλυκόζης στο αίμα-Μεταβολισμός υδατανθράκων

Οι αφομοιώσιμοι υδατάνθρακες των τροφίμων απορροφώνται γρήγορα από το έντερο, περνούν στο αίμα και προκαλούν υψηλή γλυκαιμική απόκριση και γρήγορη έκκριση ινσουλίνης από το πάγκρεας. Ο γλυκαιμικός δείκτης ορίζεται ως η μεταγευματική απόκριση της γλυκόζης του αίματος, που καθορίζεται σε σχέση με την απόκριση που προκαλείται από την κατανάλωση καθαρής γλυκόζης ή λευκού ψωμιού, και δείχνει πόσο πολύ και πόσο γρήγορα αυξάνει το σάκχαρο στο αίμα μετά τη λήψη της τροφής. Γλυκαιμικός δείκτης <55 θεωρείται χαμηλός, 56-69 θεωρείται μέτριος και >70 θεωρείται υψηλός, ενώ η γλυκόζη εξ ορισμού κατέχει την τιμή 100. Τρόφιμα με χαμηλό γλυκαιμικό δείκτη απελευθερώνουν σταδιακά γλυκόζη στο αίμα, γεγονός που έχει ως αποτέλεσμα μικρότερη απαίτηση ινσουλίνης. Ο κύριος παράγοντας που επηρεάζει το γλυκαιμικό δείκτη των τροφίμων είναι όχι τόσο η ποσότητα, αλλά ο τύπος του υδατάνθρακα που περιέχει το τρόφιμο, αφού για τον υπολογισμό του γλυκαιμικού δείκτη χρησιμοποιείται σχεδόν πάντα ποσότητα τροφίμου που περιέχει 50 g αφομοιώσιμων υδατανθράκων. Για παράδειγμα, όταν ένα τρόφιμο περιέχει φρουκτόζη έχει χαμηλότερο γλυκαιμικό δείκτη από ένα άλλο που περιέχει γλυκόζη, αφού η φρουκτόζη δεν μπορεί να εισέλθει στο αίμα, αν δεν μετατραπεί πρώτα από το συκώτι σε γλυκόζη – μία αργή σχετικά διαδικασία. Εφόσον οι ίνες εξορισμού είναι μη αφομοιώσιμοι υδατάνθρακες, δεν συνυπολογίζονται στα 50 g υδατανθράκων, οπότε δεν επηρεάζουν το γλυκαιμικό δείκτη υπό την έννοια της αντικατάστασης των μεταβολισμών υδατανθράκων. Αντιθέτως, οι διαιτητικές ίνες, αντικαθιστώντας μεταβολίσιμους υδατάνθρακες στα τρόφιμα, μειώνουν το γλυκαιμικό φορτίο ενός τροφίμου, που υπολογίζεται πολλαπλασιάζοντας το γλυκαιμικό του δείκτη με την ποσότητα των αφομοιώσιμων υδατανθράκων (g) που παρέχονται από το τρόφιμο, εκφρασμένο επί τοις 100.

Τα κύρια μέρη απόθεσης της γλυκόζης είναι κυρίως οι ιστοί των σκελετικών μυών και του ήπατος. Οι υψηλές συγκεντρώσεις της γλυκόζης (που προκύπτουν από κατανάλωση τροφίμων με υψηλό γλυκαιμικό δείκτη) μπορεί να επηρεάσουν τη δράση της ινσουλίνης στον υποδοχέα ινσουλίνης, προκαλώντας οξεία αντίσταση στην ινσουλίνη (γνωστή αλλιώς ως χαμηλή ευαισθησία σε ινσουλίνη). Ως εκ τούτου, η μακροχρόνια κατανάλωση τροφών με υψηλό γλυκαιμικό δείκτη μπορεί να προκαλέσει χαμηλή ευαισθησία στην ινσουλίνη που πιστεύεται ότι αποτελεί καθοριστικό παράγοντα για την ανάπτυξη ασθενειών, όπως διαβήτη τύπου 2 (οι ιστοί αντιστέκονται στη δράση της ινσουλίνης- διαβήτη μη εξαρτώμενος από την παραγωγή ινσουλίνης) και καρδιαγγειακών νοσημάτων. Πολλές κλινικές μελέτες έχουν αποδείξει ότι η κατανάλωση τροφίμων πλούσιων σε διαιτητικές ίνες συμβάλλει στη μείωση της γλυκαιμικής απόκρισης. Καθοριστικό ρόλο παίζει η δομή των

συστατικών των ινών και η περιεκτικότητά τους σε διαλυτές ίνες (οι αδιάλυτες ίνες βοηθούν μόνο υπό την έννοια ότι ο αυξημένος όγκος κοπράνων αυξάνει τη διαδρομή, οπότε και το χρόνο για την απορρόφηση των σακχάρων). Η μειωμένη γλυκαιμική απόκριση έχει αποδοθεί είτε στην καθυστέρηση της κένωσης του στομάχου, είτε στην απορρόφηση της γλυκόζης (προϊόν διάσπασης του αφομοιώσιμου αμύλου) με αργότερους ρυθμούς στο έντερο (διαδικασίες που σχετίζονται με τα αυξημένα επίπεδα ιξώδους στο περιεχόμενο του γαστρεντερικού σωλήνα), είτε στην αλλαγή του μεταβολισμού της γλυκόζης μέσω της δημιουργίας λιπαρών οξέων μικρής αλυσίδας κατά τη ζύμωση στο παχύ έντερο. Η δράση τους μέσω αύξησης του ιξώδους του γαστρεντερικού σωλήνα, που διαρκεί και μετά την κατανάλωσή τους, εξηγεί και τη μειωμένη γλυκαιμική απόκριση τροφίμων που καταναλώνονται εκ των υστέρων και δεν περιέχουν διαλυτές διαιτητικές ίνες. Οι διαιτητικές ίνες μπορεί να αλλάξουν και τη δομή των τροφίμων, με τέτοιο τρόπο, ώστε να καθυστερήσουν ή και να μειώσουν την αποικοδόμηση του αμύλου και την απελευθέρωσή του στο γαστρεντερικό σωλήνα. Συγκεκριμένα, εικάζεται ότι οι ίνες μειώνουν την προσβασιμότητα των ενζύμων που αποικοδομούν το άμυλο στο αμυλούχο υπόστρωμα, εγκλείοντας τους κόκκους του αμύλου ή αλληλεπιδρώντας με τους κόκκους του αμύλου ή τέλος αλλάζοντας την κατανομή του νερού στο εσωτερικό του τροφίμου. Από εκτεταμένες έρευνες σχετικά με τη μείωση των επιπέδων γλυκόζης που προκαλούν οι β-γλυκάνες του κριθαριού και της βρώμης, αποδείχθηκε ότι η φυσιολογική δράση τους εξαρτάται σημαντικά από το μοριακό τους βάρος.

Συμπερασματικά, προϊόντα πλούσια σε διαιτητικές ίνες μπορεί να βελτιώσουν την ευαισθησία στην ινσουλίνη με άμεση επίπτωση στα επίπεδα της μεταγευματικής γλυκόζης, αρκετές ώρες μετά το γεύμα, οδηγώντας σε μειωμένη υπεργλυκαιμία. Η αυξημένη ευαισθησία στην ινσουλίνη έχει επίσης συσχετιστεί με τη μείωση κινδύνου εγκεφαλικού, καθώς και με τη μείωση της αρτηριακής πίεσης (Johnson & Southgate 1994, Cameron-Smith & Collier 2001, Anderson et al. 2001, Pins et al. 2001, Pereira et al. 2001, Cavallero et al. 2002, Brennan et al. 2005, Izydorczyk et al. 2005, Lazaridou et al. 2007, Poutanen et al. 2007, Pereira 2008, Patil 2008, Livesey & Tagami 2010).

3.7.5 Λοιπές φυσιολογικές επιδράσεις

3.7.5.1 Δράση κατά καρκίνων που σχετίζονται με ορμόνες

Η ανάπτυξη των καρκίνων του μαστού και του προστάτη γενικά πιστεύεται ότι εξαρτώνται από τη συνεχή έκθεση των αντίστοιχων ιστών στις ορμόνες του ορού - οιστρογόνα για τον καρκίνο του μαστού, ανδρογόνα (τεστοστερόνη) για τον καρκίνο του προστάτη.

Ο καρκίνος του μαστού θεωρείται ότι είναι αποτέλεσμα μακροχρόνιας έκθεσης σε υψηλά επίπεδα οιστρογόνων. Όπως έχει αποδειχθεί τα κυκλοφορούντα στο αίμα και βιοδιαθέσιμα οιστρογόνα βρίσκονται σε υψηλότερα επίπεδα σε γυναίκες με καρκίνο του μαστού, επομένως, η μείωση των επιπέδων των οιστρογόνων μπορεί να μειώσει τον κίνδυνο ανάπτυξης καρκίνου του μαστού. Ένας από τους σημαντικότερους μηχανισμούς προστασίας από τον καρκίνο του μαστού, που παρέχουν οι ίνες, είναι μέσω αλλαγής του μεταβολισμού των οιστρογόνων, ενώ άλλοι μηχανισμοί περιλαμβάνουν την αντικαρκινική δράση ουσιών που σχετίζονται με τις ίνες όπως το φυτικό οξύ και τα φυτοοιστρογόνα (λιγνάνες, ισοφλαβόνες και κουμπεστάνες). Τα φυτοοιστρογόνα παρουσιάζουν οιστρογονική δραστηριότητα, λόγω της ομοιότητας της δομής τους με τα ενδογενή οιστρογόνα. Οι αντικαρκινικές ιδιότητες οφείλονται στην επίδρασή τους στο μεταβολισμό, στη βιολογική δραστηριότητα και στην παραγωγή ενδογενούς ορμόνης. Στην περίπτωση του καρκίνου του μαστού υπάρχουν ενδείξεις που έχουν προκύψει από επιδημιολογικές μελέτες και σχετίζονται με την κατανάλωση κυρίως ινών πιτύρου σίτου, που λόγω της αυξημένης ποσότητας φυτικού οξέος αλλοιώνουν τον εντεροηπατικό κύκλο των οιστρογόνων.

Ενδείξεις υπάρχουν και σχετικά με την κατανάλωση ινών και το μειωμένο κίνδυνο εμφάνισης καρκίνου του προστάτη, που σχετίζονται με τη μείωση του ποσού των ανδρογόνων που κυκλοφορούν στο αίμα μέσω απομάκρυνσής τους από την εντεροηπατική οδό. Με την κατανάλωση περισσότερων ινών, η συγκέντρωση και η βιοδιαθεσιμότητα κάποιων προκαρκινογόνων ουσιών, συμπεριλαμβανομένων των ανδρογόνων, μειώνεται. Ακόμη, η υψηλή περιεκτικότητα σε ίνες μπορεί να αλλάξει τη βακτηριακή σύνθεση του εντέρου, εμποδίζοντας έτσι τη μετατροπή προκαρκινογόνων ουσιών σε ενεργούς παράγοντες των βακτηριακών ενζύμων. Τέλος, μία πλούσια σε ίνες διατροφή αυξάνει το ρυθμό διέλευσης των κοπράνων μέσω του παχέος εντέρου, μειώνοντας έτσι το χρόνο έκθεσής τους στο βλεννογόνο.

Πρέπει να αναφερθεί, πάντως, ότι παρόλο που υπάρχουν ενδείξεις ότι οι ίνες μπορεί να επηρεάσουν την ανάπτυξη καρκίνων που σχετίζονται με ορμόνες, μέσω μείωσης των κυκλοφορούντων επιπέδων των ορμονών, απαιτούνται περαιτέρω μελέτες, προκειμένου να προκύψουν οι αντίστοιχοι διατροφικοί ισχυρισμοί. Αυτό ισχύει και για τις δυο περιπτώσεις καρκίνων που αναφέρθηκαν προηγουμένως, ειδικά όμως για τον καρκίνο του προστάτη η έρευνα βρίσκεται σε αρχικό στάδιο (Black 1996, Baghurst & Baghurst 2001, Cho & Rickard 2001, Pins et al. 2001, Schwab & Pienta 2001, Slavin 2007).

3.7.5.2 Έλεγχος σωματικού βάρους

Από αρκετές μελέτες έχει αποδειχθεί ότι η κατανάλωση διαιτητικών ινών επηρεάζει το σωματικό βάρος μέσω διαφόρων μηχανισμών, όπως μέσω της ευεργετικής δράσης τους στο μεταβολισμό των λιπιδίων και των υδατανθράκων. Επιπροσθέτως, καταναλώνοντας τρόφιμα που είναι πλούσια σε διαιτητικές ίνες, μειώνονται και οι συνολικές θερμίδες που λαμβάνονται λόγω του χαμηλότερου θερμιδικού περιεχομένου τους. Συγκεκριμένα οι αδιάλυτες διαιτητικές ίνες συνεισφέρουν 0 kcal/g, ενώ οι διαλυτές διαφέρουν ανάλογα με τον τύπο τους και το βαθμό αφομοίωσής τους στο παχύ έντερο, κυμαινόμενες από 0-2.5 kcal/g. Επίσης, με την κατανάλωση διαιτητικών ινών μειώνεται η δυσκοιλιότητα που συνήθως προκαλείται σε δίαιτες με χαμηλό θερμιδικό περιεχόμενο. Τέλος, οι διαιτητικές ίνες αυξάνουν το αίσθημα κορεσμού, μειώνοντας αντίστοιχα το αίσθημα της πείνας. Αυτό συμβαίνει λόγω αύξησης του ιξώδους στο περιεχόμενο του στομάχου και καθυστέρησης της κένωσης του στομάχου (οπότε μεγάλος όγκος τροφής παραμένει στο στομάχι), λόγω μείωσης της απορρόφησης της τροφής από το λεπτό έντερο και μεταβολής της έκκρισης ορμονών του εντέρου, δράσεις που φαίνεται ότι οδηγούν στη μείωση της όρεξης (Guillon et al. 2000, Saltzmann et al. 2001, Jones 2008).

3.7.5.3 Λοιπές δράσεις και δυσμενείς επιπτώσεις

Οι διαιτητικές ίνες (και ιδιαίτερα οι β-γλυκάνες) φαίνεται ότι παίζουν ρόλο στη μείωση των χρωμοσωμικών ανωμαλιών, που προκαλούνται από διάφορους παράγοντες, συμβάλλοντας με τον τρόπο αυτό στη μείωση του κινδύνου εμφάνισης νεοπλασιών (Tohamy et al. 2003). Τέλος, ορισμένοι ερευνητές αναφέρουν και πιθανά μειωμένη βιοδιαθεσιμότητα ορισμένων μετάλλων (Ca, Zn, Mg κλπ.) σε δίαιτες πλούσιες σε διαιτητικές ίνες. Ιδιαίτερα σημαντικό ρόλο για τη δέσμευση των μετάλλων παίζει ο αριθμός των ελεύθερων καρβοξυλικών ομάδων και ιδιαίτερα τα περιεχόμενα ουρονικά οξέα. Ωστόσο, τα θετικά αποτελέσματα από την κατανάλωση των διαιτητικών ινών υπερβαίνουν κατά πολύ τις πιθανές δυσμενείς επιπτώσεις της μειωμένης απορρόφησης μετάλλων. Είναι πιθανό πάντως, τα μέταλλα να απελευθερώνονται κατά τη διάσπαση των ινών στο παχύ έντερο και να απορροφώνται από τον οργανισμό, απαλείφοντας τις οποιεσδήποτε αρνητικές επιδράσεις (Gordon 1989, Stauffer 1993, Harland & Narula 2001, Oakenfull 2001).

3.8. Μέθοδοι προσδιορισμού διαιτητικών ινών

Ύστερα από την πρώτη διατύπωση του ορισμού των διαιτητικών ινών από τον Trowell, ξεκίνησαν προσπάθειες ανεύρεσης μεθόδου ποσοτικού προσδιορισμού τους. Η κατάλληλη μέθοδος, που θα χρησιμοποιείτο για τον προσδιορισμό των ινών και θα εξυπηρετούσε τις

ανάγκες της επισήμανσής τους στα τρόφιμα, θα έπρεπε να ποσοτικοποιεί αποτελεσματικά όλα τα συστατικά που αναφέρονται στον ισχύοντα ορισμό (κυτταρίνη, ημικυτταρίνες, λιγνίνη, κόμμεα κλπ.) και ταυτόχρονα να αποκλείει όλα τα υπόλοιπα. Κύρια απαίτηση για τις μεθόδους ανάλυσης ήταν και παραμένει η αντίσταση στην πέψη (που περιγράφεται στον ορισμό) και για αυτό σε όλες τις μεθόδους υπάρχει ένα στάδιο πέψης του δείγματος με ένζυμα, που προσομοιώνουν το ανθρώπινο σύστημα πέψης στον πλησιέστερο δυνατό βαθμό.

Αρχικά, οι ερευνητές επικεντρώθηκαν στην απομάκρυνση κυρίως των εύπεπτων τμημάτων των τροφίμων από τα ανθεκτικά στην πέψη τμήματα, με χρήση ενζύμων. Η προσέγγιση αυτή για την ποσοτικοποίηση των διαιτητικών ινών έδωσε ενθαρρυντικά αποτελέσματα, χωρίς όμως να επιλύσει το πρόβλημα της ύπαρξης παράπλευρων ενζυμικών δράσεων, τις οποίες δεν εμφάνιζαν τα πεπτικά ένζυμα του ανθρώπινου οργανισμού. Έτσι, ύστερα από τροποποιήσεις στο πρωτόκολλο της μεθόδου και την επιτυχή ολοκλήρωση μίας συλλογικής μελέτης, τυποποιήθηκε μία μέθοδος ακριβείας, η AOAC 985.29 (**Πίνακας 3.6**). Η μέθοδος αυτή υιοθετήθηκε από την AOAC ως η πρώτη επίσημη (official) μέθοδος ανάλυσης για το σύνολο των διαιτητικών ινών, ενώ στη συνέχεια εγκρίθηκε και υιοθετήθηκε και από άλλους οργανισμούς (π.χ. εντάχθηκε στις εγκεκριμένες μεθόδους ανάλυσης της AACC). Σύμφωνα με την AOAC 985.29, τα απεικονιζόμενα δείγματα τροφίμων θερμαίνονται, προκειμένου να ζελατινοποιηθεί το άμυλο, και στη συνέχεια υποβάλλονται σε ενζυμική κατεργασία (πέψη) με πρωτεάση, αμυλάση και αμυλογλυκοζιδάση, προκειμένου να αφαιρεθούν τα αφομοιώσιμα συστατικά του τροφίμου. Τα χρησιμοποιούμενα ένζυμα που απαιτούνται για την πλήρη υδρόλυση του αμύλου και των πρωτεϊνών, είναι αντίστοιχα με τα ανθρώπινα πεπτικά ένζυμα που αφομοιώνουν τις πρωτεΐνες, το άμυλο και τα λίπη (εφόσον έχει προηγηθεί απελαίωση του τροφίμου, η μέθοδος δεν περιλαμβάνει κατεργασία με το αντίστοιχο ένζυμο). Τα υπολείμματα ποσοτικοποιούνται και αναπροσαρμόζονται ως προς την πρωτεΐνη και την τέφρα, για να εξασφαλιστεί ότι δεν θα προσμετρηθούν ως διαιτητικές ίνες οι πρωτεΐνες των ενζύμων και τα ανόργανα συστατικά που υπάρχουν στο δείγμα (Proskey et al. 1984, Proskey et al. 1985). Καθοριστικής σημασίας για την ακρίβεια της μεθόδου είναι η καθαρότητα των ενζύμων, αφού πρέπει να διασφαλίζεται ότι αφομοιώνουν μόνο τα συστατικά των τροφίμων που συνήθως είναι αφομοιώσιμα στο ανθρώπινο πεπτικό σύστημα, και ο ακριβής χειρισμός των βημάτων της πέψης. Η μέθοδος AOAC 985.29 κατέληξε να γίνει ο de facto λειτουργικός ορισμός των διαιτητικών ινών, λόγω της ευρείας αποδοχής και χρήσης της, και λόγω του ότι είχε σχεδιαστεί για την

ποσοτικοποίηση όλων των συστατικών των τροφίμων που περιγράφονταν ως διαιτητικές ίνες σύμφωνα με τον τότε (1985) ισχύοντα ορισμό.

Η ανάγκη για την πρώτη τροποποίηση της μεθόδου 985.29 προέκυψε, όταν αναγνωρίστηκαν οι σημαντικές λειτουργικές διαφορές μεταξύ αδιάλυτων και διαλυτών διαιτητικών ινών. Για να εξυπηρετηθούν οι νέες ανάγκες, έπρεπε να αναπτυχθεί μία μέθοδος προσδιορισμού η οποία να επιτρέπει την απομόνωση και την ποσοτικοποίηση του αδιάλυτου και του διαλυτού κλάσματος των διαιτητικών ινών και όχι μόνο του συνόλου των διαιτητικών ινών. Έτσι, οι έρευνες εστιάστηκαν κυρίως στην τροποποίηση του σταδίου της καταβύθισης των διαιτητικών ινών. Στη μέθοδο 985.29 η καταβύθιση των ινών γίνεται σε μίγμα αλκοόλης-νερού 4:1. Παρόλα αυτά, ο ορισμός αυτός καθαυτός δεν απαιτούσε αδιαλυτότητα ή καθίζηση σε υδατικό διάλυμα αιθανόλης. Έτσι, με τροποποίηση αυτού του σταδίου προέκυψε η νέα μέθοδος που απομόνωνε το αδιάλυτο κλάσμα πριν από την προσθήκη της αιθανόλης, και επομένως επέτρεπε την ποσοτικοποίηση των αδιάλυτων ινών. Η μέθοδος αυτή επικυρώθηκε ύστερα από συλλογική μελέτη το 1991 και υιοθετήθηκε ως η επίσημη μέθοδος AOAC 991.42. Αργότερα, το 1993, εκδόθηκε η επίσημη μέθοδος AOAC 993.19, στην οποία ο προσδιορισμός και η ποσοτικοποίηση των διαλυτών ινών πραγματοποιείτο άμεσα, και δεν προέκυπτε ως διαφορά μεταξύ συνολικών διαιτητικών ινών (985.29) και αδιάλυτων διαιτητικών ινών (991.42) όπως γινόταν μέχρι τότε.

Στη συνέχεια (1992-1995) οι Lee, Mongeau, Li και Theander (και οι συνεργάτες τους) ανέπτυξαν, επιβεβαίωσαν με συλλογικές μελέτες και όρισαν ως επίσημες τις μεθόδους AACC 32-21/AOAC 991.43, AOAC 992.16, AOAC 993.21 και AACC 32-05/AOAC 994.13 (Πίνακας 3.6). Παρότι αυτές οι μέθοδοι χρησιμοποιούσαν διαφορετικές προσεγγίσεις για την ποσοτικοποίηση των μη αφομοιώσιμων τμημάτων του δείγματος, όλες στηρίζονταν στον ορισμό του Trowell και η μέθοδος αναφοράς για τον έλεγχο της ακρίβειάς τους ήταν η de facto μέθοδος ορισμού AOAC 985.29. Ιδιαίτερα η 991.43 (που αποτελούσε άμεση τροποποίηση της 985.29, ενσωματώνοντας ωστόσο οργανικά διαλύματα αντί των φωσφορικών), είχε το πλεονέκτημα ενός λιγότερου σταδίου ρύθμισης του pH και ταχύτερου φιλτραρίσματος, στοιχεία που οδήγησαν στην εφαρμογή της από τα περισσότερα εργαστήρια αντί της AOAC 985.29. Εν τω μεταξύ την εποχή εκείνη, αναπτύχθηκαν και μέθοδοι προσδιορισμού της β-γλυκάνης (AOAC 995.16, AOAC 992.28), προκειμένου να διευκολύνουν στη χρήση διατροφικών ισχυρισμών σε τρόφιμα που περιείχαν β-γλυκάνες.

Πίνακας 3.6. Επίσημες μέθοδοι προσδιορισμού διαιτητικών ινών

Αριθμός Μεθόδου	Τίτλος	Αναλυτική Τεχνική	Αναφορά
AOAC 985.29	Ολικές διαιτητικές ίνες σε τρόφιμα	Ενζυμική-σταθμική μέθοδος	Prosky et al. 1985
AOAC 991.42	Αδιάλυτες διαιτητικές ίνες σε τρόφιμα και προϊόντα τροφίμων	Ενζυμική-σταθμική μέθοδος με ρυθμιστικό διάλυμα φωσφορικών	Prosky et al. 1992
AOAC 993.19	Διαλυτές διαιτητικές ίνες σε τρόφιμα και προϊόντα τροφίμων	Ενζυμική-σταθμική μέθοδος με ρυθμιστικό διάλυμα φωσφορικών	Prosky et al. 1994
AOAC 991.43 AACC 32-21	Ολικές, διαλυτές και αδιάλυτες διαιτητικές ίνες σε τρόφιμα	Ενζυμική-σταθμική μέθοδος με ρυθμιστικό διάλυμα MES-Tris	Lee et al. 1992
AOAC 992.16	Ολικές διαιτητικές ίνες	Ενζυμική-σταθμική μέθοδος	Mongeau & Brassard 1990, 1993
AOAC 993.21	Ολικές διαιτητικές ίνες σε τρόφιμα και προϊόντα τροφίμων με <2% Άμυλο	Μη ενζυμική-σταθμική μέθοδος	Li & Cardozo 1994
AOAC 994.13 AACC 32-05	Ολικές διαιτητικές ίνες- Καθορισμός ως ουδέτερα υπολείμματα σακχάρων, υπολείμματα ουρονικού οξέος και Klason λιγνίνης	Μέθοδος αέριας χρωματογραφίας-χρωματομετρική-σταθμική (Μέθοδος Ουψάλα)	Theander et al. 1995
AOAC 997.08	Φρουκτάνες σε τρόφιμα	Μέθοδος χρωματογραφίας ιοντοεναλλαγής	Hoebergs 1997
AOAC 999.03	Μέτρηση των ολικών φρουκτανών σε τρόφιμα	Ενζυμική-φωτομετρική μέθοδος	McCleary et al. 2000
AOAC 2001.02	Προσδιορισμός trans-γαλακτοολιγοσακχαριτών σε επιλεγμένα προϊόντα τροφίμων	Μέθοδος χρωματογραφίας ιοντοεναλλαγής	De Slegte 2002
AOAC 2000.11	Πολυδεξτρόζη σε τρόφιμα	Μέθοδος ιοντικής χρωματογραφίας	Craig et al. 2001
AOAC 2001.03	Ολικές διαιτητικές ίνες σε τρόφιμα που περιέχουν ανθεκτικές μαλτοδεξτρίνες	Ενζυμική-σταθμική μέθοδος και προσδιορισμός με υγρή χρωματογραφία	Okuma et al. 2000 Gordon & Okuma 2002
AOAC 2002.02	Ανθεκτικό άμυλο σε αμυλούχα και φυτικά υλικά	Ενζυμική πέψη	McCleary et al. 2002
AOAC 2009.01	Ολικές διαιτητικές ίνες σε τρόφιμα	Μέθοδος ενζυμική-σταθμική-υγρής χρωματογραφίας	McCleary et al. 2010

Από το 1981 που εγκρίθηκε ο ορισμός, και το 1985 που εκδόθηκε η επίσημη μέθοδος ανάλυσης 985.29, η έρευνα για τις διαιτητικές ίνες συνεχιζόταν, δημιουργώντας ερωτηματικά σχετικά με την καταλληλότητα τόσο του ορισμού όσο και των μεθόδων. Η επιστημονική κοινότητα αναγνώρισε επιπλέον οφέλη για την υγεία από την κατανάλωση διαιτητικών ινών, και προσδιόρισε συστατικά των τροφίμων που επιδείκνυαν συμπεριφορά ανάλογη με εκείνη των διαιτητικών ινών, αλλά δεν αναφέρονταν στον επίσημο ορισμό του Trowell και συνεπώς δεν προσδιορίζονταν με τις τότε υπάρχουσες μεθόδους. Συγκεκριμένα, ορίστηκε το «ανθεκτικό άμυλο», μελετήθηκαν οι φυσιολογικές και χημικές ιδιότητες των φρουκτανών και άλλων ολιγοσακχαριτών, και παρήχθησαν βρώσιμα υδατανθρακικά πολυμερή (πολυδεξτρόζη) με παρόμοια με τις διαιτητικές ίνες συμπεριφορά στο πεπτικό σύστημα. Έτσι, στα μέσα της δεκαετίας του 1990 οι επιστήμονες τροποποίησαν τον ορισμό των διαιτητικών ινών, προκειμένου να περιληφθούν και τα νέα συστατικά με ανάλογη συμπεριφορά, καθώς και οι αντίστοιχες φυσιολογικές επιδράσεις από την κατανάλωση των διαιτητικών ινών. Με την τροποποίηση του ορισμού, όμως, αναγκαστικά έπρεπε να τροποποιηθεί και η μεθοδολογία, αφού οι τότε ισχύουσες μέθοδοι δεν ποσοτικοποιούσαν ορισμένα συστατικά (σύμφωνα με το νέο ορισμό) των διαιτητικών ινών. Ειδικότερα στο βήμα της καταβύθισης με αιθανόλη δεν καταβυθίζονταν ή καταβυθίζονταν μερικώς ορισμένοι μη αφομοιώσιμοι υδατοδιαλυτοί ολιγοσακχαρίτες και πολυσακχαρίτες. Έτσι, συστατικά όπως το ανθεκτικό άμυλο, η ινουλίνη και οι μη αφομοιώσιμοι ολιγοσακχαρίτες όπως οι φρουκτο-ολιγοσακχαρίτες, η πολυδεξτρόζη, οι γαλακτο-ολιγοσακχαρίτες και οι ανθεκτικές μαλτοδεξτρίνες, είτε υποεκτιμούνταν κατά τη μέτρηση, είτε δεν μετρούνταν καθόλου, αφού δεν απομονώνονταν στο ίζημα κατά τη μέθοδο 985.29 ή τις ισοδύναμες μεθόδους.

Οι μέθοδοι που αναπτύχθηκαν ειδικά για τη μέτρηση αυτών των στοιχείων είναι οι AOAC 997.08 και AOAC 999.03 για τις φρουκτάνες (ινουλίνη και φρουκτο-ολιγοσακχαρίτες), η AOAC 2001.02 για τους γαλακτο-ολιγοσακχαρίτες, η AOAC 2000.11 για την πολυδεξτρόζη, η AOAC 2001.03 για τις ανθεκτικές μαλτοδεξτρίνες και η AOAC 2002.02 για το ανθεκτικό άμυλο (**Πίνακας 3.6**). Κατ'αυτόν τον τρόπο, όταν ενδιέφερε η συνολική ποσότητα των διαιτητικών ινών ενός τροφίμου, οι παραπάνω μέθοδοι χρησιμοποιούνταν σε συνδυασμό με την AOAC 991.43 ή τις ισοδύναμές της, προκειμένου να προσδιοριστούν και οι ίνες που δεν καταβυθίζονται στην AOAC 991.43. Υπήρχε όμως πρόβλημα, διότι για πολλούς υδατάνθρακες (ανθεκτικό άμυλο, ινουλίνη, ανθεκτικές μαλτοδεξτρίνες κλπ.) ένα τμήμα τους υπολογιζόταν και με την επίσημη μέθοδο AOAC 985.29 ή την AOAC 991.43, έτσι που αν η τιμή αυτή προστίθετο στην τιμή των ολικών διαιτητικών ινών, ένα μέρος αυτών

υπολογιζόταν διπλά (Σχήμα 3.25). Χαρακτηριστικό παράδειγμα αποτελεί ο τύπος 3 του ανθεκτικού αμύλου, που προσδιορίζεται και με την AOAC 991.43 και με την AOAC 2002.02. Για να υπερκεραστεί αυτό το πρόβλημα αναπτύχθηκε η επίσημη μέθοδος AOAC 2009.01, που βασίστηκε στις επίσημες μεθόδους AOAC 2002.02 (ανθεκτικό άμυλο), 991.43 (ολικές διαιτητικές ίνες) και 2001.03 (ανθεκτικές μαλτοδεξτρίνες), και προσδιορίζει όλο το εύρος των διαιτητικών ινών κατά τον ορισμό του Codex Alimentarius 2009 (περιλαμβάνει το ανθεκτικό άμυλο και τους μη αφομοιώσιμους ολιγοσακχαρίτες με DP \geq 3). Επιπροσθέτως, μια τροποποιημένη μέθοδος για χωριστή μέτρηση αδιάλυτων ινών (IDF), υψηλού μοριακού βάρους διαλυτών ινών (HMWSDF) και χαμηλού μοριακού βάρους διαλυτών ινών (LMWSDF) βρίσκεται ακόμα υπό αξιολόγηση (AACC 2001, McCleary 2007, McCleary et al. 2010).



Σχήμα 3.25. Συστατικά διαιτητικών ινών μετρήσιμων και μη μετρήσιμων με τις επίσημες μεθόδους (AOAC 985.19, AOAC 991.43).

Τέλος, για ιστορικούς λόγους πρέπει να αναφερθεί ότι τόσο πριν όσο και κατά τη διάρκεια ανάπτυξης των παραπάνω επίσημων μεθόδων, είχαν αναπτυχθεί και άλλες μέθοδοι, όπως η μέθοδος Southgate για τους μη διαθέσιμους πολυσακχαρίτες και η μέθοδος του Englyst για τους μη αμυλούχους πολυσακχαρίτες (που βασιζόταν σε διαφορετικό ορισμό των διαιτητικών ινών). Η μέθοδος του Englyst στηριζόταν σε υγρή-αέρια χρωματογραφία (GLC) και είχε κοινά στοιχεία με τη μέθοδο Ουψάλα, ενώ του Southgate μετρούσε χρωματομετρικά τους μονοσακχαρίτες στο προϊόν της υδρόλυσης (Southgate 1969, Southgate et al. 1978, Englyst et al. 1987, Englyst & Hudson 1992, Englyst & Hudson 1987, Andersson et al. 2006).

3.9 Επισήμανση τροφίμων που περιέχουν διαιτητικές ίνες και ισχυρισμοί υγείας που σχετίζονται με την κατανάλωση διαιτητικών ινών

Σύμφωνα με τον FDA, η συνιστώμενη ημερήσια δόση (RDI: Recommended Daily Intake) διαιτητικών ινών για ενήλικες και παιδιά ηλικίας 4 ετών και άνω, είναι της τάξης των 20-35 g και συγκεκριμένα 25 g σε μία δίαιτα 2000 cal. Για παιδιά κάτω των 4 ετών δεν ορίζεται κάποιο RDI από τον FDA, αλλά σύμφωνα με παιδιατρικές μελέτες τα παιδιά πρέπει να καταναλώνουν ημερησίως ποσό ίσο ή μεγαλύτερο από την ηλικία τους αυξανόμενο κατά 5 g (Williams et al. 1995, Cho 2009, FDA 2009).

Η ποσότητα (g) του συνόλου των διαιτητικών ινών ενός τροφίμου πρέπει να εμφανίζεται στο πλαίσιο με τις διατροφικές πληροφορίες, σύμφωνα με τους ακόλουθους κανόνες του FDA:

- Ποσότητα μικρότερη από 0.5 g διαιτητικών ινών πρέπει να επισημαίνεται ως 0 g
- Ποσότητα μικρότερη από 1 g αλλά τουλάχιστον 0.5 g φέρει την ένδειξη «Περιέχει λιγότερο από 1 g» ή παρατίθεται στο τέλος του πλαισίου η ένδειξη «δεν αποτελεί σημαντική πηγή διαιτητικών ινών»
- Ποσότητα μεγαλύτερη από 1 g πρέπει να επισημαίνεται με ακρίβεια στο πλησιέστερο g

Οι ποσότητες (g) των διαλυτών και των αδιάλυτων διαιτητικών ινών γενικά δεν απαιτούνται, αλλά επιτρέπεται να αναγράφονται στο πλαίσιο με τις διατροφικές πληροφορίες, ακολουθώντας και σε αυτήν την περίπτωση τους παραπάνω κανόνες. Η αναγραφή του ποσού τους απαιτείται μόνο στην περίπτωση που αναφέρονται ισχυρισμοί σχετικά με το περιεχόμενό τους και τα οφέλη στην υγεία ενός εκ των δύο ειδών ινών.

Υπολογισμός της θερμιδικής αξίας του τροφίμου (συνήθως με χρήση των συντελεστών 4, 9 και 4 kcal/g για τις πρωτεΐνες, τα λιπαρά και τους υδατάνθρακες, αντίστοιχα), γίνεται με αφαίρεση των αδιάλυτων ινών από τους ολικούς υδατάνθρακες. Οι διαλυτές ίνες, όπως αναφέρθηκε και προηγουμένως, έχουν κάποιο θερμιδικό περιεχόμενο που κυμαίνεται από 0-2.5 kcal/ g, και αυτό πρέπει να συνυπολογίζεται κατά περίπτωση στο συνολικό θερμιδικό περιεχόμενο του τροφίμου.

Τα επίπεδα των περιεχόμενων διαιτητικών ινών, προκειμένου να αναγραφούν οι αντίστοιχοι διατροφικοί ισχυρισμοί κατά την επισήμανση, είναι τα παρακάτω:

- ≥ 5 g/μερίδα (20% του RDI που αντιστοιχούν σε 25 g) αναφέρεται ως υψηλής περιεκτικότητας ή πλούσιο σε ίνες
- 2.5 - 4.9 g/μερίδα (10-19% του RDI) αναφέρεται ως καλή πηγή ινών ή ότι περιέχει διαιτητικές ίνες

- Με τουλάχιστον 2.5 g περισσότερες ίνες από το τρόφιμο αναφοράς, αναφέρεται με περισσότερες ή επιπρόσθετες ίνες.

Ισχυρισμός υγείας νοείται κάθε ισχυρισμός που δηλώνει, υπονοεί ή οδηγεί στο συμπέρασμα ότι υπάρχει σχέση μεταξύ κατηγορίας τροφίμων, τροφίμου, ή συστατικού του τροφίμου και της υγείας. Οι κανόνες σχετικά με την έγκριση ισχυρισμών υγείας που χρησιμοποιούνται στις ετικέτες των τροφίμων έχουν εκδοθεί από τη δράση Nutrition Labeling and Education Act (NLEA) του 1990. Μέχρι σήμερα ο FDA έχει εγκρίνει τους παρακάτω ισχυρισμούς υγείας, που σχετίζονται με την κατανάλωση διαιτητικών ινών (FDA 2011), ενώ υπάρχουν και αντίστοιχες γνωμοδοτήσεις της EFSA για την Ευρωπαϊκή Ένωση (ειδικότερα στην Ελλάδα αρμόδιος οργανισμός είναι ο ΕΦΕΤ):

- *CFR 101.76 Προϊόντα σιτηρών, φρούτα και λαχανικά που περιέχουν διαιτητικές ίνες και καρκίνος: Δίαιτες πλούσιες σε προϊόντα σιτηρών, φρούτα και λαχανικά που περιέχουν διαιτητικές ίνες και με χαμηλή περιεκτικότητα σε λιπαρά μπορεί να μειώσουν τον κίνδυνο εμφάνισης ορισμένων τύπων καρκίνου, ασθένεια που σχετίζεται με πολλούς παράγοντες. Τα παραπάνω τρόφιμα που περιέχουν ίνες πρέπει να χαρακτηρίζονται «καλές πηγές» διαιτητικών ινών χωρίς εμπλουτισμό.*
- *CFR 101.77 Δίαιτες πλούσιες σε φρούτα, λαχανικά και προϊόντα σιτηρών που περιέχουν διαιτητικές ίνες (συγκεκριμένα διαλυτές) και κίνδυνος καρδιαγγειακών παθήσεων: Δίαιτες πλούσιες σε φρούτα, λαχανικά, και προϊόντα σιτηρών που περιέχουν ορισμένα είδη διαιτητικών ινών (συγκεκριμένα διαλυτών) και με χαμηλό περιεχόμενο σε κορεσμένα λίπη και χοληστερόλη μπορεί να μειώσουν τον κίνδυνο των καρδιαγγειακών παθήσεων, ασθένεια που συνδέεται με πολλούς παράγοντες. Τα παραπάνω τρόφιμα πρέπει να περιέχουν χωρίς εμπλουτισμό τουλάχιστον 0.6 g διαλυτών διαιτητικών ινών ανά ποσό αναφοράς τροφίμου που συνήθως καταναλώνεται. Οι περιεχόμενες διαλυτές διαιτητικές ίνες πρέπει να αναφέρονται στο πλαίσιο με τις διατροφικές πληροφορίες της ετικέτας.*
- *CFR 101.78 Φρούτα και λαχανικά και καρκίνος: Δίαιτες χαμηλής περιεκτικότητας σε λιπαρά που είναι πλούσιες σε φρούτα και λαχανικά (τρόφιμα που είναι χαμηλά σε λιπαρά και μπορεί να περιέχουν διαιτητικές ίνες, βιταμίνη Α, ή βιταμίνη C) μπορεί να μειώσουν τον κίνδυνο εμφάνισης ορισμένων μορφών καρκίνου, ασθένεια που συνδέεται με πολλούς παράγοντες. Χαρακτηριστικό παράδειγμα αποτελεί το μπρόκολο, που είναι πλούσιο σε βιταμίνες Α και C και είναι καλή πηγή διαιτητικών ινών. Τα παραπάνω τρόφιμα πρέπει να χαρακτηρίζονται «καλές πηγές»*

τουλάχιστον μιας εκ των διαιτητικών ινών, βιταμίνης Α και βιταμίνης C, χωρίς εμπλουτισμό.

- ο *CFR 101.81 Διαλυτές ίνες από συγκριμένα τρόφιμα και κίνδυνος καρδιαγγειακών παθήσεων*: Διαλυτές ίνες από τρόφιμα όπως [τρόφιμα που περιέχουν ολόκληρη βρώμη και κριθάρι με τουλάχιστον 0.75 g διαλυτών διαιτητικών ινών, ή τρόφιμα που περιέχουν oatrim (βρώμης) ή betafiber (κριθαριού) με τουλάχιστον 0.75 g διαλυτών β-γλυκανών ή τρόφιμα που περιέχουν ψύλλιο με τουλάχιστον 1.7 g διαλυτών διαιτητικών ινών] ανά ποσό αναφοράς που καταναλώνεται από το συγκεκριμένο τρόφιμο, ως τμήμα δίαιτας χαμηλής σε κορεσμένα λιπαρά και χοληστερόλη μπορούν να μειώσουν τον κίνδυνο των καρδιαγγειακών παθήσεων, ασθένεια που συνδέεται με πολλούς παράγοντες. Μία μερίδα [όνομα τροφίμου] προμηθεύει (___) γραμμάρια από τα [τουλάχιστον 7 g διαλυτών ινών από το κέλυφος του σπόρου του ψύλλιου ή τουλάχιστον 3 g διαλυτών β-γλυκανών από βρώμη ή κριθάρι, ή από συνδυασμό των δύο όπως προσδιορίζονται παραπάνω] που είναι απαραίτητα/ημέρα για να επιφέρουν αυτό το αποτέλεσμα.

Από τους παραπάνω ισχυρισμούς είναι φανερό ότι για να επιτευχθούν τα επιθυμητά οφέλη στην υγεία, τα πλούσια σε ίνες τρόφιμα πρέπει να χαρακτηρίζονται επιπλέον και ως χαμηλά σε κορεσμένα λιπαρά (≤ 1 g κορεσμένων λιπαρών ανά μερίδα), χαμηλής χοληστερόλης (≤ 20 mg χοληστερόλης ανά μερίδα) και χαμηλών λιπαρών (≤ 3 g λιπαρών ανά μερίδα).

Οι τρεις ισχυρισμοί υγείας αφορούν τα τρόφιμα (επεξεργασμένα και μη, αφού ο ορισμός αναφέρει «το τρόφιμο πρέπει να είναι ή να περιέχει ένα προϊόν σιτηρού...») που περιέχουν ίνες και όχι τις ίνες καθαυτές. Μία απαίτηση αφορά τα τρόφιμα να περιέχουν ορισμένο επίπεδο ινών «χωρίς εμπλουτισμό». Αυτό σημαίνει ότι προϊόντα με βάση τα σιτηρά (π.χ. αρτοσκευάσματα, δημητριακά πρωινού) μπορούν να περιέχουν επιπρόσθετο πίτυρο από κάποιο σιτηρό ή άλλα συμπυκνώματα ινών από σιτηρά και να μην θεωρούνται εμπλουτισμένα. Ως εκ τούτου, στα εν λόγω προϊόντα θα μπορούσε να αναγραφεί ο ισχυρισμός υγείας. Αντιθέτως, προϊόντα με βάση τα σιτηρά στα οποία έχουν προστεθεί ίνες από πηγή που δεν σχετίζεται με τα σιτηρά, θεωρούνται εμπλουτισμένα και δεν επιτρέπεται χρήση του ισχυρισμού.

Ο τέταρτος και πιο πρόσφατος ισχυρισμός αναφέρεται σε διαλυτές ίνες από συγκεκριμένες πηγές. Τα τρόφιμα πρέπει να περιέχουν τουλάχιστον 0.75 g διαλυτών ινών από προϊόντα βρώμης (πίτυρο βρώμης, νιφάδες βρώμης, άλευρο βρώμης ολικής άλεσης, oatrim) ή κριθαριού (ολόκληρος καρπός κριθαριού, αλεσμένο κριθάρι, betafiber) ή 1.7 g διαλυτών

ινών από το κέλυφος του ψύλλιου/μερίδα (Vetter 1993, CFR 1998, Gelroth & Ranhotra 2001, Schmitz et al. 2008, Cho 2009, FDA 2009, FDA 2011).

3.10 Ένζυμα και διαιτητικές ίνες

Τα ένζυμα ταξινομούνται, ανάλογα με τις αντιδράσεις που καταλύουν, σε οξειδοαναγωγάσες, τρανσφεράσες, υδρολάσες, λυάσες διπλού δεσμού, ισομεράσες και λιγάσες. Η επιλεκτικότητα ως προς το υπόστρωμα και η καταλυτική απόδοση ενός τύπου ενζύμου μπορεί να ποικίλει σημαντικά, ανάλογα με την προέλευση του ενζύμου. Τα ένζυμα υδρολύουν το αντίστοιχο πολυμερικό υπόστρωμα, είτε απομακρύνοντας μεμονωμένες μονάδες του υποστρώματος διαδοχικά από τα άκρα (εξωένζυμα), είτε διαρρηγνύοντας τους εσωτερικούς δεσμούς κατά τυχαίο τρόπο σε οποιοδήποτε σημείο κατά μήκος της αλυσίδας (ενδοένζυμα). Τα εξωένζυμα με την αφαίρεση μεμονωμένων μονάδων επιδρούν διαφορετικά στις ιδιότητες του πολυμερούς. Χαρακτηριστικά αναφέρεται ότι τα εξωένζυμα μεταβάλλουν ελάχιστα το ιξώδες (που συνδέεται με το μέγεθος του πολυμερούς) σε αντίθεση με τα ενδοένζυμα, που με ένα και μοναδικό τεμαχισμό του πολυμερούς στη μέση μπορεί να μειώσουν δραστικά το ιξώδες του διαλύματος του πολυμερούς.

Τα ένζυμα που χρησιμοποιούνται στην επεξεργασία τροφίμων επιδρούν στα κύρια συστατικά των τροφίμων (υδατάνθρακες, πρωτεΐνες και λιπαρά). Τα ένζυμα που υδρολύουν υδατάνθρακες διακρίνονται στις υδρολάσες του αμύλου (ενδοένζυμο α-αμυλάση, εξωένζυμο β-αμυλάση, πουλλουλανάση, αμυλογλυκοζιδάση) και στις υδρολάσες των μη αμυλούχων πολυσακχαριτών [κυτταρινάσες (ένδο και έξω), ξυλανολυτικά ένζυμα (ενδοξυλανάσες, ξυλοζιδάσες, αραβινοφουρανοζιδάσες, α-γλυκουρουνοζιδάση), β-γλυκανάσες και πηκτινάσες]. Τα ένζυμα που υδρολύουν πρωτεΐνες διακρίνονται στις ενδοπρωτεάσες και τις εξωπρωτεάσες (καρβοξυπεπτιδάσες ή αμινοπεπτιδάσες), ενώ εκείνα που επιδρούν στα λιπαρά είναι κυρίως οι λιπάσες (και λοιπές εστεράσες) και οι λιποξυγενάσες.

Εφόσον οι διαιτητικές ίνες αποτελούνται κυρίως από μη αμυλούχους πολυσακχαρίτες των κυτταρικών τοιχωμάτων, ιδιαίτερη προσοχή πρέπει να δοθεί στα ένζυμα που έχουν άμεση σχέση με αυτούς. Οι ενδοκυτταρινάσες διασπούν την κυτταρίνη των διαιτητικών ινών αρχικά σε μικρότερα πολυμερή κυτταρίνης, τα οποία στη συνέχεια οι εξωκυτταρινάσες μετατρέπουν σε κελλοβιόζη και τέλος οι β-γλυκοζιδάσες (εξωκυτταρινάσες με εξειδίκευση σε β-D-γλυκοζιτικά υποστρώματα) σε γλυκόζη. Οι β-γλυκανάσες επίσης υδρολύουν τις ευεργετικές για την υγεία β-γλυκάνες, και επομένως είναι επιθυμητές μόνο σε περιπτώσεις που το υψηλό ιξώδες που δημιουργούν αυτά τα συστατικά είναι ανεπιθύμητο, όπως π.χ. στη ζυθοποιία. Οι πηκτινάσες περιλαμβάνουν τρεις τύπους ενζύμων, τις πηκτινεστεράσες,

τις πολυγαλακτουρονάσες και τις λυάσες της πηκτίνης, και δρουν στις πηκτινικές ουσίες των διαιτητικών ινών. Λόγω του ότι οι διαιτητικές ίνες των σιτηρών δεν είναι πλούσιες σε πηκτίνες, η εφαρμογή πηκτινασών δεν συνιστάται, αφού δεν επηρεάζει τα χαρακτηριστικά τους. Επομένως, η επωφελής ενζυμική τροποποίηση των διαιτητικών ινών, τόσο από τεχνολογική σκοπιά όσο και από φυσιολογική, σχετίζεται κυρίως με τη χρήση ξυλανολυτικών ενζύμων και ιδίως των ενδοξυλاناσών (Mathewson 1998, Whitaker 2003).

3.10.1 Ενδογενή ένζυμα σιτηρών

Τα ένζυμα είναι ένα χρήσιμο εργαλείο για τη βελτίωση της επεξεργασίας ή των ιδιοτήτων των σιτηρών και η χρήση τους αυξάνεται συνεχώς. Εκτός από τα ένζυμα που προστίθενται εξωγενώς, προκειμένου να εξυπηρετήσουν συγκεκριμένο σκοπό, στα σιτηρά απαντώνται και ενδογενή ένζυμα, που έχουν σημαντική επίδραση στην ποιότητα των σιτηρών και των προϊόντων τους. Παρά το γεγονός ότι τα ένζυμα δρουν σε μοριακό επίπεδο, είναι σε θέση να προκαλέσουν σημαντικές αλλαγές τόσο στη μικροδομή όσο και στις λειτουργικές ιδιότητες των σιτηρών. Τα ενδογενή ένζυμα σπάνια συμβάλλουν στη βελτίωση της ποιότητας των σπόρων των σιτηρών, ενώ συνήθως επιδρούν αρνητικά στις ιδιότητες επεξεργασίας των σιτηρών (με εξαίρεση τη βυνοποίηση), και για αυτό επιδιώκεται η ελαχιστοποίηση της δράσης τους και των επιπτώσεών τους. Ο προσδιορισμός της συγκέντρωσης των ενζύμων στις διάφορες στοιβάδες του σπόρου ενός σιτηρού, και η κατανόηση της εξειδίκευσης και των μηχανισμών τους, διευκολύνει τον έλεγχο ή την αξιοποίηση της δράσης των ενδογενών ενζύμων.

Τα ενδογενή ένζυμα δεν κατανέμονται κανονικά στα διάφορα κλάσματα που λαμβάνονται κατά την άλεση, με τα κλάσματα του ενδοσπερμίου να παρουσιάζουν γενικά χαμηλότερη ενζυμική δραστηριότητα. Σχετικά με τα ένζυμα που εντοπίζονται στα κλάσματα του ενδοσπερμίου, αξίζει να γίνει αναφορά στις αμυλάσες του σίτου. Η α-αμυλάση είναι ένα ενδοένζυμο που δρα ως καταλύτης στην υδρόλυση του αμύλου σε τυχαία σημεία, ενώ η β-αμυλάση είναι ένα εξωένζυμο που διασπά το πολυμερές του αμύλου προς μια συγκεκριμένη κατεύθυνση (ξεκινώντας από το μη αναγωγικό άκρο της αλυσίδας), απελευθερώνοντας αποκλειστικά το δισακχαρίτη μαλτόζη. Η α-αμυλάση και η β-αμυλάση διασπούν μόνο τους α-1,4-γλυκοζιτικούς δεσμούς του αμύλου και η δράση τους σταματά, όταν συναντούν σημείο διακλάδωσης με α-1,6 δεσμό. Η α-αμυλάση επιπροσθέτως σχετίζεται με τον αριθμό πτώσης του αλεύρου (falling number), μία εμπειρική δοκιμή που βασίζεται στην ικανότητα της ενδογενούς α-αμυλάσης να μειώνει το ιξώδες θερμικά επεξεργασμένων πολτών αλεύρου. Ο αριθμός πτώσης είναι αντιστρόφως ανάλογος με τη

δραστικότητα της α-αμυλάσης του αλεύρου και το αποδεκτό εύρος τιμών του εξαρτάται από τον τύπο του προϊόντος για το οποίο προορίζεται το άλευρο.

Στα κλάσματα του πιτύρου έχουν βρεθεί διάφορα ένζυμα (ξυλανολυτικά, λιπάσες, φυτάσες) που επηρεάζουν τα ποιοτικά χαρακτηριστικά του. Η παρουσία και τα επίπεδα των ενδογενών ενζύμων διαφέρουν, τόσο ανάλογα με το είδος του σιτηρού, όσο και με την ποικιλία του. Έτσι, στις διάφορες ευρωπαϊκές ποικιλίες σίτου έχουν εντοπιστεί διαφορές στα επίπεδα αραβινοφουρανοζιδάσης, ξυλοζιδάσης και ενδοξυλανάσης, που επηρεάζουν τη διαλυτοποίηση και το ιξώδες των συστατικών των ινών τους (π.χ. των αραβινοξυλανών). Τα ένζυμα αυτά, αν και συναντώνται σε χαμηλά επίπεδα, μπορεί να επηρεάσουν τη ρεολογική συμπεριφορά του ζυμαριού των αρτοσκευασμάτων. Επίσης, η ενδογενής δραστικότητα της λιπάσης είναι ιδιαίτερα σημαντική, αφού ο έλεγχος της λιπόλυσης και της οξείδωσης των λιπιδίων έχει μεγάλη σημασία για την αποδοχή των προϊόντων πιτύρων διάφορων σιτηρών όπως της βρώμης και του ρυζιού. Συγκεκριμένα, κατά την επεξεργασία της βρώμης, η ανενεργή στο πίτυρο του σπόρου λιπάση επιδρά στα λιπαρά οπότε σχηματίζονται ελεύθερα λιπαρά οξέα, τα οποία μπορεί να οξειδωθούν προκαλώντας ταγγισμό του προϊόντος. Ένα ακόμα ενδογενές ένζυμο που ενεργοποιείται κατά τη διάρκεια της επεξεργασίας των σιτηρών είναι η φυτάση. Σε αντίθεση με την ενδογενή δράση της λιπάσης, η ενεργοποίηση της φυτάσης είναι επιθυμητή. Βελτιστοποίηση της δραστικότητας της φυτάσης κατά τη διάρκεια της επεξεργασίας των τροφίμων συμβάλλει στην αύξηση της βιοδιαθεσιμότητας των μεταλλικών στοιχείων των τροφίμων. Παράγοντες που επηρεάζουν τη δραστικότητα της ενδογενούς φυτάσης σε ένα αλεύρι ολικής άλεσης περιλαμβάνουν το μέγεθος των σωματιδίων, το pH, τη θερμοκρασία, το χρόνο επεξεργασίας και την περιεκτικότητα σε νερό.

Τα εξωγενή ένζυμα, που προστίθενται στα τρόφιμα προκειμένου να επιτευχθεί μια συγκεκριμένη λειτουργία, αποτελούνται κυρίως από τους ίδιους τύπους ενζύμων που απαντώνται και φυσικά σε χαμηλά επίπεδα στους σπόρους, αλλά είναι συνήθως μικροβιακής προέλευσης. Η προσθήκη εξωγενών ενζύμων χρησιμοποιείται ευρέως σήμερα ως εναλλακτική έναντι της χρήσης χημικών προσθέτων.

3.10.2 Ενζυμική τροποποίηση του κλάσματος των διαιτητικών ινών

Μελέτες κυρίως στον τομέα της επεξεργασίας σιτηρών, έχουν δείξει ότι το επίπεδο προσθήκης σε προϊόντα μπορεί να αυξηθεί με την ενσωμάτωση ενζυμικά τροποποιημένων ινών στα τρόφιμα. Οι διαιτητικές ίνες συνήθως επεξεργάζονται ενζυμικά και στη συνέχεια προστίθενται στα διάφορα τρόφιμα, ενώ κάποιες φορές (ανάλογα με το προϊόν) η

εφαρμογή των ενζύμων γίνεται κατά τη διάρκεια της επεξεργασίας των τροφίμων που περιέχουν διαιτητικές ίνες.

Για την ενζυμική τροποποίηση των διαιτητικών ινών απαιτούνται ένζυμα που υδρολύουν τους πολυσακχαρίτες των κυτταρικών τοιχωμάτων. Στην περίπτωση των διαιτητικών ινών σιτηρών επιδιώκεται η στοχευμένη υδρόλυση των αραβινοξυλανών που επιτυγχάνεται κυρίως με τα ξυλανολυτικά ένζυμα ενδοξυλανάσες. Ο αποπολυμερισμός που σε κάποιο βαθμό οδηγεί σε διαλυτοποίηση των αραβινοξυλανών είναι επιθυμητός, αλλά ιδιαίτερη προσοχή πρέπει να δοθεί, ώστε να αποφεύγονται σημαντικές απώλειες, που οφείλονται σε έντονη επίθεση από τα ένζυμα και επηρεάζουν τις φυσιολογικά ευεργετικές ιδιότητες των ινών. Το τελευταίο αποφεύγεται με τη διερεύνηση των βέλτιστων συνθηκών επεξεργασίας, όπως του τύπου και της συγκέντρωσης του ενζύμου, του pH, της θερμοκρασίας και του χρόνου επώασης, που εξαρτώνται κυρίως από τη σύνθεση των ινών και τα επιλεγμένα ένζυμα και ως εκ τούτου πρέπει να αξιολογούνται σε κάθε περίπτωση.

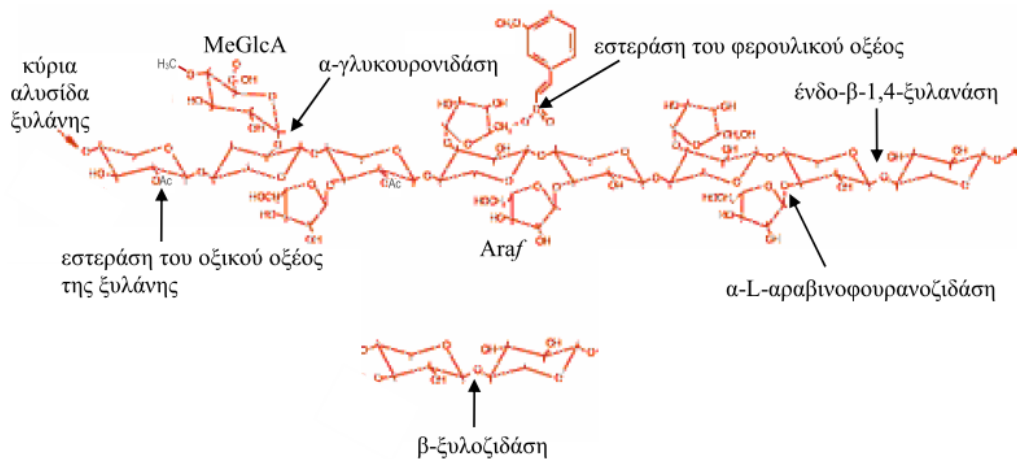
3.10.2.1 Ενδοξυλανάσες (EC 3.2.1.8)

Οι ενδο-β-1,4-ξυλανάσες (ή ενδοξυλανάσες) διασπούν τους εσωτερικούς β-1,4 γλυκοζιτικούς δεσμούς σε μη υποκατεστημένες περιοχές της κύριας αλυσίδας των αραβινοξυλανών, απελευθερώνοντας γραμμικά και υποκατεστημένα ξυλο-ολιγομερή. Οι ενδοξυλανάσες ταξινομούνται κυρίως με βάση την ομοιότητα στις ακολουθίες των αμινοξέων τους, στις οικογένειες 10 και 11 της ενζυμικής οικογένειας των γλυκοζιτικών υδρολασών (GHFs). Οι οικογένειες 5 και 43 περιλαμβάνουν επίσης ένα ή δύο ένζυμα με δραστηριότητα ενδοξυλανάσης (Henrissat 1991). Οι οικογένειες 10 και 11 των ενδοξυλανάσων διαφέρουν ως προς το μοριακό βάρος (~30 και 20 kDa), το ισοηλεκτρικό σημείο (3-4 και ≥ 4), τη βέλτιστη θερμοκρασία (60-80 και 40-60 °C) και την επιλεκτικότητα/εξειδίκευση ως προς το υπόστρωμα (εκχυλίσμα σε νερό και μη εκχυλίσμα σε νερό αραβινοξυλάνες), αντιστοίχως (Hille & Schooneveld-Bergmans 2004). Παρόλο που και οι δύο οικογένειες ενδοξυλανάσων δρουν κυρίως σε εσωτερικούς γλυκοζιτικούς δεσμούς, η καταλυτική τους δράση είναι διαφορετική (**Σχήμα 3.26**), με αποτέλεσμα να δίνουν διαφορετικά προϊόντα κατά τη δράση τους σε κοινό υπόστρωμα. Οι ενδοξυλανάσες της οικογένειας 10 έχουν μεγαλύτερο μοριακό βάρος και πιο σύνθετη δομή, που οδηγεί σε μεγαλύτερη καταλυτική ευελιξία ή μικρότερη εξειδίκευση ως προς το υπόστρωμα. Μελέτες των Katarodis et al. (2002, 2003) αναφέρουν ότι οι ενδοξυλανάσες της οικογένειας 10 απελευθερώνουν μικρότερους διακλαδωμένους ολιγοσακχαρίτες σε σχέση με εκείνους που απελευθερώνουν οι ξυλανάσες της οικογένειας 11. Επομένως, φαίνεται ότι οι ενδοξυλανάσες της οικογένειας 10 υδρολύουν την υποκατεστημένη ξυλάνη

3.10.2.2 Επίδραση των ενδοξυλανασών στις αραβινοξυλάνες

Οι ξυλάνες των σιτηρών περιέχουν μεγάλες ποσότητες L-αραβινόζης και ως εκ τούτου, αναφέρονται ως αραβινοξυλάνες, ενώ οι ξυλάνες των ξυλωδών φυτών αναφέρονται συχνά ως γλυκουρονοξυλάνες, λόγω της μεγάλης ποσότητας D-γλυκουρονικού οξέος που συνδέεται στην κύρια αλυσίδα τους. Η αραβινόζη συνδέεται με την κύρια αλυσίδα της ξυλάνης μέσω α -1,2 ή α -1,3 δεσμών στις θέσεις C2-OH και C3-OH, είτε ως απλός υποκατάστατος ή ως μικρές πλευρικές αλυσίδες. Οι ξυλάνες των σιτηρών έχουν μικρότερο μήκος αλυσίδας (συνήθως ~70 μονομερή ξυλόζης) σε σχέση με εκείνες των ξυλωδών φυτών, ενώ σε μικρό ποσοστό είναι υποκατεστημένες με 4-O-μεθυλ-D-γλυκουρονικό οξύ (<10%) (εξ ου και οι γλυκουρονοαραβινοξυλάνες που στο εξής θα αναφέρονται με τη γενικότερη ονομασία αραβινοξυλάνες) και συχνά είναι ακετυλιωμένες στις θέσεις C2-OH και C3-OH (Coughlan & Hazlewood 1993, Karmelink et al. 1993). Οι αραβινοξυλάνες διακρίνονται σε εκχυλίσιμες στο νερό (WE-AX) και μη εκχυλίσιμες στο νερό (WU-AX). Η μη εκχυλίσιμη φύση των τελευταίων οφείλεται σε ένα συνδυασμό μη-ομοιοπολικών αλληλεπιδράσεων και ομοιοπολικών δεσμών με γειτονικά μόρια αραβινοξυλανών και άλλα συστατικά του κυτταρικού τοιχώματος όπως πρωτεΐνες, κυτταρίνη και λιγνίνη. Η διαφορά στην εκχυλισιμότητα συνοδεύεται και από διαφορετικές φυσικοχημικές ιδιότητες. Οι εγγενείς WE-AX έχουν υψηλό μοριακό βάρος και οδηγούν στη δημιουργία παχύρρευστων διαλυμάτων όταν βρίσκονται σε υδατικό μέσο, ενώ οι WU-AX έχουν ισχυρή ικανότητα συγκράτησης νερού. Οι εγγενείς WE-AX έχουν επίσης την ικανότητα σχηματισμού σταυροειδών (ή διασταυρούμενων) δεσμών και ζελοποίησης κάτω από οξειδωτικές συνθήκες, με κύριο αποτέλεσμα την ισχυρή αύξηση του ιξώδους του διαλύματος αραβινοξυλανών.

Οι αραβινοξυλάνες μπορούν εν μέρει να αποικοδομηθούν από ένζυμα, αλλά η επιδεκτικότητά τους σε τέτοια υποβάθμιση εξαρτάται επίσης από την έκταση, το είδος και την κατανομή των υποκαταστατών στην κύρια αλυσίδα της ξυλάνης, καθώς και από τη γενικότερη δομή του κυτταρικού τοιχώματος. Αποικοδόμηση της κύριας αλυσίδας της αραβινοξυλάνης στα μονομερή σάκχαρα που την αποτελούν, απαιτεί ένα συνδυασμό από πολλά ένζυμα, τα οποία διασπών όχι μόνο τους γλυκοζιτικούς δεσμούς στην κύρια αλυσίδα, αλλά ακόμη και εκείνους μεταξύ των υποκαταστατών και της κύριας αλυσίδας. Στην ενζυμική αποικοδόμηση της αραβινοξυλάνης, τα κύρια ενζυμικά συστήματα που εμπλέκονται είναι εκείνα των ενδοξυλανασών, των αραβινοφουρανοζιδασών, των α-γλυκουρονιδασών, των β-ξυλοζιδασών και των εστερασών του φερουλικού και του οξικού οξέος (Σχήμα 3.27).



Σχήμα 3.27. Απεικόνιση των σημείων δράσης των κυριότερων ξυλανολυτικών ενζύμων σε μία υποθετική αλυσίδα ξυλάνης με τους πιθανούς της υποκαταστάτες (Ac:οξικό, Araf:αραβινόζη, MeGlcA:4-O-μεθυλ-D-γλυκουρονικό οξύ (Sunna and Antranikian 1997).

Τα πιο σημαντικά ένζυμα είναι οι ενδοξυλανάσες που όπως αναφέρθηκε και προηγουμένως υδρολύουν τον β-1,4 δεσμό μεταξύ των μονομερών της ξυλόζης (που αποτελούν την κύρια αλυσίδα της ξυλάνης) με έναν «ένδο» τρόπο δράσης, προσβάλλοντας τους εσωτερικούς δεσμούς του πολυσακχαρίτη. Οι διακλαδώσεις της αραβινοξυλάνης επηρεάζουν κυρίως τη δράση των ενδοξυλανασών, αφού οι τελευταίες υδρολύουν κατά προτίμηση τα μη υποκατεστημένα τμήματα κατά μήκος της κύρια αλυσίδα της ξυλάνης και παρεμποδίζονται από τις πλευρικές αλυσίδες της αραβινόζης. Η β-ξυλοζιδάση, τα αποδιακλαδίζοντα (debranching) ένζυμα (L-γλυκουρονιδάση και αραβινοφουρανοζιδάση) και οι εστεράσες επιτρέπουν την πλήρη υποβάθμιση των ξυλοολιγοσακχαριτών στα μονομερή συστατικά τους. Οι διαφορές των ενδοξυλανασών (λόγω της διαφορετικής πηγής και οικογένειας), κυρίως ως προς την εκλεκτικότητα δράσης σε υπόστρωμα WE-AX ή WU-AX και τον τρόπο διεξαγωγής της υδρόλυσης (πολλά ένζυμα υδρολύουν τις αραβινοξυλάνες προς ξυλόζη και ξυλοβιόζη, ενώ άλλα δεν προχωρούν πέρα από την ξυλοπεντόζη), έχουν ως αποτέλεσμα τη διαφορετική επίδραση στη δομή και τη λειτουργικότητα των αραβινοξυλανών. Συγκεκριμένα, οι ενδοξυλανάσες με εξειδίκευση στις WE-AX υποβαθμίζουν τις WE-AX σε χαμηλού μοριακού βάρους, μειώνοντας έτσι το ιξώδες και επηρεάζοντας μερικώς την πηκτική ικανότητα. Οι ενδοξυλανάσες με εξειδίκευση τις WU-AX αποπολυμερίζουν αυτό το κλάσμα και καθιστούν κάποιο ποσοστό τους διαλυτό, με αποτέλεσμα τη μείωση της δυνατότητας συγκράτησης νερού και την αύξηση του ιξώδους του υδατικού μέσου από τις διαλυτοποιημένες αραβινοξυλάνες (S-AX). Επίσης, λόγω της μείωσης της δυνατότητας συγκράτησης νερού, απελευθερώνεται νερό το οποίο στη συνέχεια προσλαμβάνεται από τα υπόλοιπα συστατικά του εκάστοτε συστήματος (Dekker

& Richards 1976, Reilly 1981, Henrissat 1991, Maat et al. 1992, Kormelink et al. 1993, Brett & Waldren 1996, Biely et al. 1997, Courtin & Delcour 2002, Andersson et al. 2003. Butt et al. 2008).

3.10.2.3 Εφαρμογές των ενδοξυλανασών στη βιομηχανία

Οι ενδοξυλανάσες χρησιμοποιούνται όλο και περισσότερο σε διάφορες βιομηχανικές διαδικασίες, λόγω της ικανότητάς τους να τροποποιούν τη λειτουργία των αραβινοξυλανών. Έτσι, προστίθενται σε ζωοτροφές, όπου με την αποδόμηση των WE-AX αυξάνουν το αφομοιώσιμο ποσό των πλούσιων σε σιτηρά ζωοτροφών. Επίσης, χρησιμοποιούνται κατά το διαχωρισμό της γλουτένης και του αμύλου του σίτου στη βιομηχανία, και πάλι προκειμένου να διασπάσουν τις WE-AX και να μειώσουν το ιξώδες του μίγματος. Το χαμηλό ιξώδες του μίγματος επιτρέπει καλύτερες συνθήκες επεξεργασίας και υψηλότερες αποδόσεις σε γλουτένη και άμυλο. Η βιομηχανία χάρτου και χαρτοπολτού αποτελεί ένα ακόμα πεδίο εφαρμογής των ενδοξυλανασών, όπου μπορούν να αντικαταστήσουν, τουλάχιστον εν μέρει, τη χημική λεύκανση με την υποβάθμιση των WU-AX ή WU ξυλανών σε θραύσματα του κυτταρικού τοιχώματος.

Ιδιαίτερη είναι η σημασία των ενδοξυλανασών για την αρτοποιία, όπου χρησιμοποιούνται ως βελτιωτικά, δεδομένου ότι διευκολύνουν το χειρισμό του ζυμαριού, βελτιώνουν τον όγκο του άρτου και τη δομή της ψίχας του άρτου, και προσδίδουν μεγαλύτερο χρόνο ζωής, ιδιαίτερα όταν ο άρτος περιέχει υψηλή ποσότητα διαιτητικών ινών. Τα ένζυμα υποβαθμίζουν *in situ* τις WU-AX των κυτταρικών τοιχωμάτων (του ενδοσπερμίου όταν πρόκειται για λευκό άρτο και του πιτύρου όταν πρόκειται για ολικής άλεσης), προκαλώντας έτσι σημαντικό εμπλουτισμό σε υδατοδιαλυτές αραβινοξυλάνες, με αντίστοιχη αύξηση του ιξώδους της υδατικής φάσης. Ιδιαίτερη προσοχή πρέπει να δίνεται στην ποσότητα του ενζύμου, αφού όταν τα ένζυμα προστίθενται σε περίσσεια προκαλούν εκτεταμένο αποπολυμερισμό των υδατοδιαλυτών αραβινοξυλανών, που έχει ως αποτέλεσμα τη μείωση του ιξώδους και την υποβάθμιση της ποιότητας του άρτου. Συμπερασματικά λοιπόν, η λειτουργικότητα της ενδοξυλανάσης οφείλεται τόσο στην απομάκρυνση των WU-AX, όσο και στο σχηματισμό των υψηλού μοριακού βάρους S-AX, ενώ η υποβάθμιση των S-AX και/ή των WE-AX είναι ανεπιθύμητη (Gruppen et al. 1993, Poutanen 1997, Laurikainen et al. 1998, Poutanen et al. 1998, Courtin et al. 1999, Rouau et al. 1994, Courtin & Delcour 2001).

4. Εμπλουτισμός αρτοσκευασμάτων με διαιτητικές ίνες

4.1 Εισαγωγή

Όπως περιγράφηκε αναλυτικά στο προηγούμενο κεφάλαιο, οι διαιτητικές ίνες αποτελούν σημαντικά συστατικά της ανθρώπινης διατροφής με πολλές ευεργετικές επιδράσεις στην υγεία. Λόγω της χαμηλής κατανάλωσης διαιτητικών ινών στις ανεπτυγμένες χώρες, δημιουργήθηκε η ανάγκη εμπλουτισμού με διαιτητικές ίνες διάφορων τροφίμων τα οποία θα έπρεπε να διαθέτουν ευχάριστη γεύση και να έχουν ευρεία κατανάλωση. Τα αρτοσκευάσματα, λόγω της φύσης τους και της οργανοληπτικής τους συμβατότητας με τις ίνες, αποτελούν ιδανικά οχήματα/φορείς διαιτητικών ινών. Πολλές φορές όμως η προσθήκη διάφορων πηγών ινών (όπως τα πίτυρα σιτηρών), στο απαιτούμενο για τις αναμενόμενες ευεργετικές φυσιολογικές δράσεις στον οργανισμό επίπεδο, οδηγεί στην παραγωγή προϊόντων με υποδεέστερα ποιοτικά χαρακτηριστικά. Προκειμένου να βελτιωθεί η ποιότητα των εμπλουτισμένων με διαιτητικές ίνες αρτοσκευασμάτων, προτείνεται η χρήση ενζύμων που δρουν στις ίνες (ξυλανάσες και ειδικότερα ενδοξυλανάσες).

Η παρούσα διατριβή εστίασε στην ενσωμάτωση και ενζυμική τροποποίηση επιλεγμένων πηγών ινών (κυρίως πιτύρων) σε κέικ. Επειδή όμως οι μελέτες ενσωμάτωσης διαιτητικών ινών σε κέικ είναι περιορισμένες και ειδικότερα των ενζυμικά τροποποιημένων ινών ελάχιστες, θα γίνει και αναφορά σε ανάλογες μελέτες που έχουν γίνει σε άρτο.

Με βάση τα παραπάνω, η βιβλιογραφική ανασκόπηση επικεντρώθηκε σε επιστημονικά άρθρα σχετικά με:

- Ενσωμάτωση διαιτητικών ινών σε αρτοσκευάσματα (άρτο, κέικ)
- Εφαρμογή ενζύμων (ενδοξυλανασών) σε αρτοσκευάσματα.

4.2 Ενσωμάτωση διαιτητικών ινών σε αρτοσκευάσματα

4.2.1 Άρτος

Σχετικά με τον εμπλουτισμό των αρτοσκευασμάτων με διαιτητικές ίνες, το μεγαλύτερο μέρος της ερευνητικής δραστηριότητας έχει επικεντρωθεί γύρω από τον άρτο, καθώς αποτελεί το πιο ευρέως καταναλισκόμενο αρτοσκευάσμα. Οι έρευνες σχετικά με τις επιδράσεις της προσθήκης διάφορων πηγών ινών σε άρτο ξεκινούν από το 1977 και συνεχίζονται έως σήμερα (**Πίνακες 4.1-4.5**) και αφορούν στην προσθήκη πιτύρων σιτηρών από διαφορετικές ποικιλίες σιτηρών, επεξεργασμένων και μη (**Πίνακας 4.1**), προϊόντων απομόνωσης διαιτητικών ινών (**Πίνακας 4.2**), φλοιών ψυχανθών, φρούτων και λαχανικών

συμπεριλαμβανομένου καινοτόμων πηγών ινών όπως από μάνγκο, χουρμάδες, κελύφη κακάο κλπ. (Πίνακας 4.3), υπερσυμπυκνωμάτων διαλυτών ινών όπως ινουλίνης, πηκτινών, β-γλυκανών, κόμμεων, ανθεκτικού αμύλου (Πίνακας 4.4) καθώς και μιγμάτων των παραπάνω πηγών ινών (Πίνακας 4.5). Τέλος, αξίζει να σημειωθεί ότι πολλές μελέτες έχουν γίνει με αντικείμενο τη χρήση αλεύρων ολικής άλεσης σιτηρών, και πρωτίστως κριθαριού από διάφορες ποικιλίες, με υψηλό ποσοστό διαιτητικών ινών και κυρίως β-γλυκανών (Πίνακας 4.6). Η επίδραση της προσθήκης των παραπάνω πηγών ινών στα ρεολογικά χαρακτηριστικά του ζυμαριού, καθώς και στα ποιοτικά και οργανοληπτικά χαρακτηριστικά του άρτου διερευνήθηκε και προσδιορίστηκε το περιεχόμενο διαιτητικών ινών στις πηγές διαιτητικών ινών όπως και στα αντίστοιχα εμπλουτισμένα προϊόντα, ενώ διεξήχθησαν και κλινικές μελέτες προκειμένου να αποδειχθούν οι διάφοροι διατροφικοί ισχυρισμοί.

Η έκταση και ο τύπος των επιπτώσεων της προσθήκης των διαιτητικών ινών εξαρτάται από το είδος και τα χαρακτηριστικά των ινών, καθώς και από το επίπεδο της ενσωμάτωσής τους στο προϊόν. Στην περίπτωση ενσωμάτωσης πιτύρων συνήθως παρατηρείται αύξηση της απορρόφησης νερού του ζυμαριού, με αποτέλεσμα να προκύπτει ζυμάρι ιδιαίτερα κολλώδες, με μειωμένη δύναμη και μειωμένη αντοχή ανάμιξης και ζύμωσης, και ο άρτος να χαρακτηρίζεται από μειωμένο όγκο, και τραχιά, σκουρόχρωμη και πολύ σκληρή ψίχα (Pomeranz et al. 1977, Shogren et al. 1981, Dreese & Hosenev 1982, Wootton & Sham-Ud-Din 1986, Lai et al. 1989a,b, Rao & Rao 1991, Gan et al. 1992, Zhang & Moore 1997 και 1999, Nelles et al. 1998, de Kock et al. 1999, Abdul-Hamid & Luan 2000, Sangnark & Noomhorm 2004, Hu et al. 2009). Στους πίνακες παρουσιάζονται οι μελέτες προσθήκης διάφορων πηγών/προϊόντων ινών σε άρτο, με κυριότερες του πιτύρου σίτου και δευτερευόντως του πιτύρου βρώμης. Το πίτυρο βρώμης σε ίδια επίπεδα προσθήκης με το πίτυρο σίτου, απορροφά γενικώς μεγαλύτερη ποσότητα νερού, παρέχοντας πιο κολλώδες ζυμάρι και μειωμένης διόγκωσης άρτο, ο οποίος όμως υπερέχει οργανοληπτικά (D'Arrolonia & Youngs 1978, Krishnan et al. 1987, Sosulski & Wu 1988). Επίσης, ιδιαίτερη επιρροή στα ποιοτικά χαρακτηριστικά του άρτου έχει και η ποικιλία του σιτηρού από το οποίο προέρχεται το πίτυρο, όπως έχει αποδειχθεί για σίτο και ρύζι (Zhang & Moore 1997, Nelles et al. 1998, de Kock et al. 1999, Sidhu et al. 1999, Zhang & Moore 1999, Lima et al. 2002, Aamodt et al. 2004, Seyer & Gelinas 2009), ή το αλεύρο όπως έχει αποδειχθεί στην περίπτωση του κριθαριού (Holtekjolen et al. 2008, Izydorczyk et al. 2008, Rieder et al. 2012).

Το γεγονός ότι με τη χρήση πιτύρου προέκυπταν ποιοτικά υποβαθμισμένα προϊόντα οδήγησε σε διερεύνηση της περαιτέρω επεξεργασίας τους με διάφορες μεθόδους, με σκοπό την παραγωγή ποιοτικών προϊόντων με υψηλό περιεχόμενο διαιτητικών ινών

(D'Appolonia & Youngs 1978, Nelles et al. 1998, Amirkaveei et al. 2009, Mosharraf et al. 2009, Anson et al. 2011, Steinmacher et al. 2012). Μεγάλο μέρος της έρευνας αφιερώθηκε στην ενζυμική επεξεργασία των ινών που θα αναφερθεί αναλυτικά στην ενότητα 4.3. Επίσης, η χρήση υπερσυμπυκνωμάτων διαλυτών ινών (σε περιορισμένα επίπεδα) βελτίωσε γενικώς τα ποιοτικά χαρακτηριστικά και τη διατροφική αξία των άρτων.

Πίνακας 4.1 Βιβλιογραφική ανασκόπηση εργασιών που αφορούν την υποκατάσταση (ή προσθήκη) αλεύρου με πηγές/προϊόντα διαιτητικών ινών από σιτηρά (με βάση την πηγή σιτηρών)

Πηγές/Προϊόντα Διαιτητικών Ινών	Ποσοστό Υποκατάστασης (ή προσθήκης)	Αναφορά
Βρώμη		
Κελύφη	3,5,7, 10,15%	Pomeranz et al. 1977
Πίτυρο (κατεργασμένο και μη)	10, 20, 30%	D'Appolonia & Youngs 1978
Πίτυρο (διαφορετικής κοκκομετρίας)	10,15%	Krishnan et al. 1987
Πίτυρο	4, 8%	Chen et al. 1988
Πίτυρο άγριας βρώμης	5, 10, 15, 20%	Sosulski & Wu 1988
Πίτυρο	15%	Chaudhary & Weber 1990
Πίτυρο	10, 20, 30, 40%	Sudha et al. 2007
Πίτυρο	40, 20% σε άρτο με προζύμι	Rieder et al. 2012
Ίνες (από κελύφη και από πίτυρο)	10, 20, 30%	D'Appolonia & Youngs 1978
Ίνες	40%	Dougherty et al. 1988
Ίνες (από κελύφη)	5, 10, 15%	Navickis & Nelsen 1992
Ίνες	12-23% (13% TDF στο προϊόν)	Rasco & Dong 1992
Ίνες	Διάφορα ποσοστά (5%, 10% TDF στο προϊόν)	Yue & Waring 1998
Ίνες	7.5%	Kopec et al. 2011
Καλαμπόκι		
Πίτυρο	5,10, 15%	Shogren et al. 1981
Πίτυρο	5, 10, 15, 20%	Sosulski & Wu 1988
Πίτυρο	15%	Chaudhary & Weber 1990
Πίτυρο	10, 20, 30%	Gul et al. 2009
Κριθάρι		
Υπολείμματα σπόρων από ζυθοποιία (BSG)	5,10, 15%	Prentice & D'Appolonia 1977
BSG (Κελύφη και πίτυρο)	15%	Dreese & Hosney 1982

BSG	12%-23% (13% TDF στο προϊόν)	Rasco & Dong 1992
BSG	10, 20, 30%	Stojceska & Ainsworth 2008
Ενζυμικά τροποποιημένο BSG	12%	Steinmacher et al. 2012
Πίτυρο	15%	Chaudhary & Weber 1990
Πίτυρο	10, 20, 30, 40%	Sudha et al. 2007
Ρύζι		
Πίτυρο	15, 30%	Sharp & Kitchens 1990
Πίτυρο (απελαιωμένο)	5, 10%	Abdul-Hamid & Luan 2000
Πίτυρο (απελαιωμένο και μη) από 3 ποικιλίες	10, 20%	Lima et al. 2002
Πίτυρο (απελαιωμένο)	5,10, 15, 20%	Ajmal et al. 2006
Πίτυρο	10, 20, 30, 40%	Sudha et al. 2007
Πίτυρο (απελαιωμένο)	5,10, 15%	Sairam et al. 2011
Ίνες από κάλαμο (κατεργασμένες με υπεροξειδίο του υδρογόνου)	5%	Sangnark & Noomhorm 2004
Αδιάλυτες ίνες από πίτυρο	2,4,6 %	Hu et al. 2009
Ημικυτταρίνη Β από απελαιωμένο πίτυρο	1,2,3%	
Σίτος		
Πίτυρο	3,5,7,10, 15%	Pomeranz et al. 1977
Πίτυρο	5,10, 15 %	Shogren et al. 1981
Πίτυρο (κλάσματα χονδρά, μεσαία και λεπτά) Εκχυλισμένο με νερό πίτυρο Υπόλειμμα εκχυλισμένου πιτύρου	5% (προσθήκη) 1.5-1.8 (προσθήκη) 2.9-3.3 (προσθήκη)	Wootton & Sham-Ud-Din 1986
Πίτυρο	4,8%	Chen et al. 1988
Πίτυρο	5, 10, 15 20%	Sosulski & Wu 1988
Πίτυρο με διάφορα μεγέθη σωματιδίων και μετά από αποθήκευση	15%	Galliard & Gallagher 1988
Shorts	11%	Lai et al. 1989 (a,b)
Πίτυρο και φύτρο (προσομοίωση shorts)	8.5%+2.5%	
Πίτυρο	15%	Chaudhary & Weber 1990
Πίτυρο		Rao & Rao 1991
Εξωτερικά στρώματα πιτύρου που έχουν αφαιρεθεί κατά τη στίλβωση (pearling) πριν από την άλεση	12.5%	Gan et al. 1992
Πίτυρο (λευκού) Υπόλειμμα αποστάγματος σπόρων	12-23% (13% TDF στο προϊόν)	Rasco & Dong 1992
Λεπτό και χονδρό πίτυρο	5,10,15%	Ozboy & Koxsel 1997
Πίτυρο (από ερυθρό σκληρό σίτο χειμώνα και άνοιξης, μαλακό λευκό σίτο, durum σίτο) με διαφορετική κοκκομετρία	5, 10, 15%	Zhang & Moore 1997 Zhang & Moore 1999
Πίτυρο από 4 ποικιλίες (υγροθερμικά κατεργασμένο και μη)	12%	Nelles et al. 1998
Πίτυρο	5, 10, 15, 20%	Başman & Köksel 1999
Πίτυρο (διαφορετικής προέλευσης με	9, 12, 15%	De Kock et al. 1999

διαφορετικό πρωτεϊνικό περιεχόμενο)		
Πίτυρο και φύτρο (λευκό, ερυθρό, λεπτό, χονδρό)	10,20, 30% (πίτυρο) 5, 7.5, 10% (φύτρο)	Sidhu et al. 1999
Πίτυρο (ζυμωμένο)	20%	Salmenkallio-Marttila et al. 2001
Πίτυρο σε άλευρο σόργου	30, 35%	Mallasy et al. 2002
Πίτυρο	5, 10, 15%	Shenoy & Prakash 2002
Πίτυρο από 20 ποικιλίες	20%	Aamodt et al. 2004
Πίτυρο	20%	Karaoglu 2006
Πίτυρο	10, 20, 30, 40%	Sudha et al. 2007
Πίτυρο	10,20%	Sanz Penella et al. 2008
Πίτυρο (ποικιλίας Tajan) (υγροθερμικά κατεργασμένο και μη)	0.5, 10%	Amirkaveei et al. 2009
Πίτυρο	10, 20, 30%	Gul et al. 2009
Πίτυρο υγροθερμικά κατεργασμένο (απομονωμένο από άλευρο ολικής άλεσης)	Προσθήκη του απομονωμένου από άλευρο πιτύρου	Mosharraf et al. 2009
Πίτυρο από 4 διαφορετικές ποικιλίες	Ενσωμάτωση 100% ως άλευρο ολικής άλεσης	Seyer & Gelinias 2009
Πίτυρο (ζυμωμένο και ενζυμικά κατεργασμένο)	9%	Anson et al 2011
Ίνες (από κάλαμο)	5, 10, 15%	Navickis & Nelsen 1992
Ίνες	Διάφορα ποσοστά (5%, 10% TDF στο προϊόν)	Yue & Waring 1998
Ίνες (με διαφορετικό μήκος)	2, 5%	Gómez et al. 2003
Ίνες από πίτυρο	7.5%	Saulnier et al. 2010

Πίνακας 4.2. Βιβλιογραφική ανασκόπηση εργασιών που αφορούν την προσθήκη απομονωμένων από τα σιτηρά ενώσεων που ανήκουν στις διαιτητικές ίνες.

Συστατικά Διαιτητικών Ινών	Ποσοστό Προσθήκης	Αναφορά
Σίτου		
Πεντόζες (διαλυτές και αδιάλυτες)	2%	Michniewicz et al. 1991 Michniewicz et al. 1992
Αραβινοξυλάνες (διαλυτές) διαφορετικού μοριακού βάρους	0.3-1.1%	Biliaderis et al. 1995
Αραβινοξυλάνες (διαλυτές)	0.48%	Fessas & Schiraldi 1998
Σίκαλης		
Πεντόζες (διαλυτές)	2%	Michniewicz et al. 1991 Michniewicz et al. 1992
Πεντόζες (διαλυτές) υψηλού μοριακού βάρους	2%	Vanhamel et al. 1993
Λοιπά		
Διαλυτοί μη αμυλούχοι πολυσακχαρίτες από ρύζι και ragi (native και malted)	0.25, 0.5%	Rao et al. 2007

Πίνακας 4.3. Βιβλιογραφική ανασκόπηση εργασιών που αφορούν την υποκατάσταση (ή προσθήκη) του αλεύρου με πηγές/προϊόντα διαιτητικών ινών εκτός των σιτηρών

Πηγές/Προϊόντα Διαιτητικών Ινών	Ποσοστό Υποκατάστασης (ή προσθήκης)	Αναφορά
Αρακάς		
Κέλυφος	5, 10, 15, 20%	Sosulski & Wu 1988
Ίνες	3%	Wang et al. 2002
Ίνες	2, 5%	Gómez et al. 2003
Κακάο		
Ίνες	2, 5%	Gómez et al. 2003
Διαλυτές ίνες από κέλυφος	2,4,6, 8%	Collar et al. 2009
Μήλο		
Ίνες	4,8,12%	Chen et al. 1988
Πούλπα	2,5,8, 11%	Masoodi & Chauhan 1998
Πατάτα		
Φλοιοί με διαφορετικό τρόπο παραλαβής	5, 10,15%	Toma et al. 1979
Ίνες από φλοιούς	5,10,15%	Orr et al. 1982
Αποξηραμένος πολτός Εμπορικό σκεύασμα ινών Ίνες από ενζυμικά τροποποιημένο πολτό Διαλυτοποιημένες ίνες	4,8,12%	Kaack et al. 2006
Σόγια		
Πίτυρο	5,10, 15 %	Shogren et al. 1981
Πίτυρο	15%	Chaudhary & Weber 1990
Ίνες	12-23% (13% TDF στο προϊόν)	Rasco & Dong 1992
Ζαχαρότευτλο/Ζαχαροκάλαμο		
Ίνες	5%	Sangnark & Noomhorm 2003
Ίνες (τροποποιημένες και μη)	0-15%	Filipovic et al. 2007
Fibrex	5%	Filipovic et al. 2010
Λοιπά		
Υπόλειμμα καρύδας	5,10, 15%	Shogren et al. 1981
Άλευρο από φλοιό φιστικιών (peanut)	4, 8%	Collins et al. 1982
Ίνες πορτοκαλιού, καφέ	2, 5%	Gómez et al. 2003
Τέστα φουντουκιού	5, 10%	Anil 2007
Ίνες από μάνγκο	40%	Vergara-Valencia et al. 2007
Ίνες από σάρκα χουρμάδων	0.5, 1, 2, 3%	Borchani et al. 2011

Πίνακας 4.4. Βιβλιογραφική ανασκόπηση εργασιών που αφορούν την υποκατάσταση (ή προσθήκη) του αλεύρου με υπερσυμπυκνώματα διαιτητικών ινών

Προϊόντα Διαιτητικών Ινών	Ποσοστό Υποκατάστασης (ή προσθήκης)	Αναφορά
---------------------------	-------------------------------------	---------

Ανθεκτικό άμυλο		
Ανθεκτικό άμυλο	Διάφορα ποσοστά (5%, 10% TDF στο προϊόν)	Yue & Waring 1998
Ανθεκτικό άμυλο (σε ελεύθερο γλουτένης)	10, 15,20%	Korus et al. 2009
Ανθεκτικό άμυλο	10, 20,30%	Ozturk et al. 2009
β-γλυκάνες		
Glucagel (β-γλυκάνες) από κριθάρι	2.5, 5%	Brennan & Cleary 2007
β-γλυκάνες βρώμης (σε ελεύθερο γλουτένης)	1,2% (με βάση άλευρο ρυζιού)	Lazaridou, et al. 2007
Υπερσυμπυκνώματα β-γλυκανών κριθαριού με διάφορα μοριακά βάρη	0.2, 0.6, 1.0, 1.4%	Skendi et al. 2010
β-γλυκάνες βρώμης	2.6% (κανονικό) 5.6% (σε άρτο ελεύθερο γλουτένης)	Hager et al. 2011
Ινουλίνη		
Άλευρο από αγκινάρα Ιερουσαλήμ (51–71% ινουλίνη)	10%	Praznik et al. 2002
Ινουλίνη	3%	Wang et al. 2002
Ινουλίνη, άλευρο ραδικιού (εκπικρισμένο)	3, 5, 8%	Korus et al. 2006
Ινουλίνη	1,2,3, 4%	Karolini-Skaradzinska et al. 2007
Ίνες αγκινάρας (πλούσιες σε ινουλίνη)	3, 6,9, 12%	Frutos et al. 2008
Ινουλίνη (διάφοροι τύποι)	2.5-7.5%	Peressini & Sensidoni 2009
Ινουλίνη (διάφοροι τύποι)	5%	Filipovic et al. 2010
Ινουλίνη	3,5%	Poinot, et al. 2010
Ινουλίνη	3%	Polaki et al. 2010
Ινουλίνη	6, 10% (υποκ. λιπαρού)	Brasil et al. 2011
Ινουλίνη	6.8% (κανονικό) 9% (σε άρτο ελεύθερο γλουτένης)	Hager et al. 2011
Ινουλίνη	2.5%	Kopec et al. 2011
Κόμμεα		
Αλγινικά	0.5%	Davidou et al. 1996
	0.5%	Rosell et al. 2001
	0.1-0.5% (προσθήκη)	Guarda et al. 2004
HPMC	0.5%	Rosell et al. 2001
	0.1-0.5% (προσθήκη)	Guarda et al. 2004
Κ-καραγεννάνη	0.5%	Rosell et al. 2001
	0.1-0.5% (προσθήκη)	Guarda et al. 2004
Ξανθάνη	0.5%	Davidou et al. 1996
	0.5%	Rosell et al. 2001
	0.1-0.5% (προσθήκη)	Guarda et al. 2004
	0.1-0.5%	Sidhu & Bawa 2002
	0.16-0.65%	Mandala & Sotirakoglou 2005
	1-2% (με βάση άλευρο ρυζιού σε ελεύθερο	Lazaridou et al. 2007

	γλουτένης)	
	3%	Ragae et al. 2011
Χαρούπι	1%	Davidou et al. 1996
	3%	Wang et al. 2002
	1,2,3,4,5%	Mis et al. 2012
Γκουάρ	0.16-0.65%	Mandala & Sotirakoglou 2005
CMC, αγαρόζη (σε ελεύθερο γλουτένης)	1-2% (με βάση άλευρο ρυζιού)	Lazaridou et al. 2007
Fenugreek gum (ως έχει και ύστερα από εκβολή)	5-10%	Roberts et al. 2012
Κυτταρίνη		
Κυτταρίνη	3,5,7,10, 15%	Pomeranz et al. 1977
A-κυτταρίνη	40%	Dougherty et al. 1988
Κυτταρίνη	15%	Chaudhary & Weber 1990
Κυτταρίνη	Διάφορα ποσοστά (5%, 10%TDF στο προϊόν)	Yue & Waring 1998
Μικροκρυσταλλική κυτταρίνη	2, 5%	Gómez et al. 2003
Κυτταρίνη (7 τύποι) με διαφορετική κοκκομετρία	10-20%	Seguchi et al. 2007
Κυτταρίνη	30%	Ragae et al. 2011
Πηκτίνες		
Πηκτίνη (σε ελεύθερο γλουτένης)	1,2% (με βάση άλευρο ρυζιού)	Lazaridou et al. 2007
Πηκτίνες χαμηλού και υψηλού βαθμού μεθυλίωσης	3, 6%	Sivam et al. 2011

Πίνακας 4.5 Βιβλιογραφική ανασκόπηση εργασιών που αφορούν την υποκατάσταση (ή προσθήκη) του αλεύρου με μίγματα πηγών ινών

Προϊόντα Διαιτητικών Ινών	Ποσοστό Υποκατάστασης (ή προσθήκης)	Αναφορά
Μίγμα ινών σίτου και ινών κελύφους ψύλλιου (7/3)	10%	Park et al. 1997
Μίγμα 50/50 ινών βρώμης με ανθεκτικό άμυλο	Διάφορα ποσοστά (5%, 10%TDF στο προϊόν)	Yue & Waring 1998
Αδιάλυτες ίνες από κελύφη ψυχανθών (αρακά, φακές, ρεβύθια)	3,5,7%	Dalgetty & Baik 2006
Διαλυτές ίνες από κοτυλιδόνες (αρακά, φακές, ρεβύθια)	1,3,5%	
Ινουλίνη (Fibuline)	1-5 %	Rosell et al. 2006
Ίνες από ζαχαρότευτλο (Fibrex)	3-13 %	Collar et al. 2007
Ίνες από κέλυφος αρακά (Exafine)	1-10 %	Santos et al. 2008
Ίνες από κυτταρικά τοιχώματα αρακά (Swelite)	1-10 %	Rosell et al. 2010
CMC, κόμμα χαρουπιού, πηκτίνη, ινουλίνη,	6, 9, 12%	Angioloni & Collar 2008

πολυδεξτρόζη και μίγματα τους 70/30		Angioloni & Collar 2009a
CMC, κόμμα χαρουπιού, ιουλίνη, πολυδεξτρόζη και μίγματα τους 70/30	10%	Angioloni & Collar 2009b Angioloni & Collar 2011
Πίτυρο σίτου, ανθεκτικό άμυλο και κόμμα χαρουπιού	RSM	Almeida et al. 2010
Πίτυρο σίτου Πίτυρο βρώμης	RSM 3-9% 6-12%	Yadav et al. 2010

Πίνακας 4.6 Βιβλιογραφική ανασκόπηση εργασιών που αφορούν την υποκατάσταση αλεύρου σίτου με άλευρα πλούσια σε διαιτητικές ίνες (σε χρονολογική σειρά ανά κατηγορία).

Είδος Αλεύρου	Ποσοστό Υποκατάστασης	Αναφορά
Βρώμη		
Άλευρο ολικής άλεσης	51%	Flander et al. 2007
Άλευρο ολικής άλεσης	30%	Ragae et al. 2011
Άλευρο ολικής άλεσης	5,10,15,20, 25%	Mis et al. 2012
Κριθάρι		
Άλευρο πλούσιο σε β-γλυκάνες	5,20, 40%	Knuckles et al. 1997
Άλευρο (ολικής άλεσης και pearled)	5-25%	Asna et al. 1998
Άλευρο	10,20, 30, 40%	Başman & Köksel 1999
Άλευρο από γυμνό σπόρο εμπλουτισμένο με β-γλυκάνες, Κοσκινισμένο κλάσμα αλεύρου Υδατικά εκχυλισμένο κλάσμα αλεύρου	50% 50% 20%	Cavallero et al. 2002
Άλευρο	10, 20%	Gaur et al. 2003
Άλευρο από γυμνό σπόρο (χωρίς κέλυφος)	40%	Andersson et al. 2004
Άλευρο	15, 25, 40, 55, 70, 85, 100%	Ereifej et al. 2006
Κλάσμα αλεύρου πλούσιο σε ίνες και β-γλυκάνες	20%	Jacobs et al. 2008
Άλευρο από 10 διαφορετικές ποικιλίες	40%	Holtekjolen et al. 2008
Άλευρο (θερμικά κατεργασμένο και μη)	2, 4%	Purhagen et al. 2008
Κλάσματα αλεύρου πλούσια σε ίνες από διαφορετικές ποικιλίες	20%	Izydorczyk et al. 2008
Άλευρο ολικής άλεσης	30%	Ragae et al. 2011
Άλευρο (2 ποικιλίες)	40%, 20% σε άρτο με προζύμι	Rieder et al. 2012
Σίκαλη		
Scalded (άλευρο και νιφάδες)	13.2-47%	Esteller & Lannes 2008
Άλευρο ολικής άλεσης	30%	Ragae et al. 2011
Λοιπά		
Άλευρο Teff	10, 20, 30%	Alaunyte et al. 2012
Άλευρο φαγοπύρου και κουινόα	15, 30%	Chlopicka et al. 2012
Άλευρο σόργου (λευκού, ερυθρού)	30, 40, 50%	Yousif et al. 2012

4.2.2 Κέικ

Από τα αρτοσκευάσματα, το κέικ είναι ιδιαίτερα αρεστό στους καταναλωτές και μπορεί να χρησιμοποιηθεί ως φορέας λειτουργικών συστατικών όπως οι διαιτητικές ίνες. Παρόλα αυτά, οι μελέτες που έχουν γίνει δεν είναι τόσο εκτεταμένες όσο στην περίπτωση του άρτου, και σε πολλές περιπτώσεις δεν έχουν ως στόχο τον εμπλουτισμό του κέικ, αλλά αφορούν την προσθήκη υπερσυμπυκνωμάτων διαλυτών ινών, προκειμένου να εκμεταλλευτούν τις λειτουργικές τους ιδιότητες ή για υποκατάσταση του λιπαρού (παραγωγή χαμηλού θερμιδικού περιεχομένου προϊόντων).

4.2.2.1 Μελέτες υποκατάστασης αλεύρου

Στον **Πίνακα 4.7** αναφέρονται οι μελέτες υποκατάστασης αλεύρου με προϊόντα/πηγές διαιτητικών ινών σε κέικ, και ακολουθεί μια σύντομη περιγραφή του αντικειμένου των κυριότερων εξ αυτών.

Διαιτητικές ίνες από σιτηρά

Όπως είναι φανερό και στον **Πίνακα 4.7**, πολλοί ερευνητές έχουν ασχοληθεί με την υποκατάσταση αλεύρου με πίτυρα και ίνες σιτηρών, κυρίως σίτου, βρώμης, ρυζιού, κριθαριού και καλαμποκιού.

Η ενσωμάτωση πιτύρων και ινών **σίτου** σε κέικ έχει μελετηθεί εκτεταμένα (Brockmole & Zabik 1976, Springsteen et al. 1977, Shafer & Zabik 1978, Shafer & Zabik 1979, Polizzoto et al. 1983, Chen et al. 1988, Jasberg et al. 1989, Sievert et al. 1990, Hudson et al. 1992, Daubenmire et al. 1993, Sreenath et al. 1996, Anjum et al. 2006, Onwulata 2008, Gomez et al. 2010b). Στις περιπτώσεις ενσωμάτωσης πιτύρου σίτου προέκυψαν κέικ με μικρότερο όγκο και λιγότερο επιθυμητά οργανοληπτικά χαρακτηριστικά (αποδεκτά όμως μέχρι σε ορισμένο βαθμό), φυσικά πάντα ανάλογα με το ποσοστό υποκατάστασης, την ποικιλία του πιτύρου, την προηγούμενη επεξεργασία του, τα χαρακτηριστικά του κλπ. Συγκεκριμένα αναφέρεται η υποκατάσταση αλεύρου σίτου σε κέικ κατά 30% με πίτυρο σίτου (μαλακού και σκληρού, λευκού και ερυθρού) (Shafer & Zabik 1978, 1979) ότι προκάλεσε αύξηση του ιξώδους της ζύμης του κέικ (που στο εξής θα αναφέρεται ως ζύμη), μείωση της σκληρότητας της ψίχας, του όγκου και της οργανοληπτικής αποδοχής του κέικ, ενώ η ποικιλία του πιτύρου σίτου δεν επηρέασε τα οργανοληπτικά χαρακτηριστικά του (Shafer & Zabik 1978, 1979). Σε μελέτη υποκατάστασης αλεύρου με 5-20% πίτυρο σίτου (Anjum et al. 2006), προέκυψαν κέικ με μεγαλύτερη σκληρότητα ψίχας και χαμηλότερη οργανοληπτική αποδοχή σε σχέση με τα τυφλά, ενώ με επεξεργασία του πιτύρου (με υπεροξειδίο του υδρογόνου) βελτιώθηκαν τα χαρακτηριστικά και η οργανοληπτική αποδοχή των

αντίστοιχων κέικ. Αντιθέτως, η υποκατάσταση αλεύρου με ίνες σίτου γενικώς επηρέασε θετικά τα ποιοτικά και οργανοληπτικά χαρακτηριστικά των κέικ (σε ποσοστό υποκατάστασης έως 30% σε μελέτη των Jasberg et al. 1989 και έως 24% σε μελέτη των Gomez et al. 2010b), επίσης ανάλογα με τα ιδιαίτερα χαρακτηριστικά τους (μήκος ινών και λειτουργικές ιδιότητες). Ειδικότερα, η υποκατάσταση αλεύρου σε ποσοστά 12-36% αύξησε την πυκνότητα (ειδικότερα για ίνες μεγαλύτερου μήκους περίπου 250 μm) και το συντελεστή συνεκτικότητας της ζύμης (ανάλογα με το μήκος των ινών). Επιπροσθέτως αύξησε τον όγκο του κέικ, τη σκληρότητα και τη μασητικότητα της ψίχας (σε υποκατάσταση $\geq 24\%$) ενώ μείωσε το συμμετρικό σχήμα του κέικ (Gomez et al. 2010b).

Πίτυρα και ίνες **βρώμης** έχουν επίσης χρησιμοποιηθεί για υποκατάσταση αλεύρου σίτου σε κέικ (Shafer & Zabik 1978, 1979, Polizzoto et al. 1983, Chen et al. 1988, Hudson et al. 1992, Daubenmire et al. 1993, MacLaurin et al. 1993, Yue & Waring 1998, Tosh et al. 2008, Gomez et al. 2010a και Gularte et al. 2012). Η ενσωμάτωση πιτύρου βρώμης επηρέασε αρνητικά τον όγκο και την υφή του κέικ, ενώ προσέδωσε και άσχημη γεύση (Shafer & Zabik 1978, 1979, Chen et al. 1988). Παρόμοια αποτελέσματα προέκυψαν και από την ενσωμάτωση κελυφών βρώμης (Polizzoto et al. 1983). Ολική υποκατάσταση του αλεύρου από πίτυρα βρώμης είχε ως αποτέλεσμα το σχηματισμό προϊόντων με αποδεκτά οργανοληπτικά χαρακτηριστικά (βαθμολογία >5), υψηλότερη περιεκτικότητα σε διαιτητικές ίνες και χαμηλότερη γλυκαιμική απόκριση (Hudson et al. 1992). Σε κέικ με άλευρο ολικής άλεσης, κατά την υποκατάσταση του αλεύρου από πίτυρο βρώμης προέκυψαν προϊόντα με πιο τρυφερή υφή και χαμηλότερη πυκνότητα, με παρόμοια όμως οργανοληπτικά χαρακτηριστικά με το τυφλό (Daubenmire et al. 1993, MacLaurin et al. 1993). Τέλος η ενσωμάτωση ινών βρώμης αύξησε τον όγκο (Yue & Waring 1998, Gomez et al. 2010b), και βελτίωσε και τα υπόλοιπα χαρακτηριστικά του κέικ (στην περίπτωση ενσωμάτωσης ινών μικρού μήκους), ενώ τα περισσότερα οργανοληπτικά χαρακτηριστικά του κέικ δεν επηρεάστηκαν με υποκατάσταση έως και 24% (MacLaurin et al. 1993, Gomez et al. 2010b).

Αρκετές μελέτες αφορούν την ενσωμάτωση πιτύρων **ρουζιού** σε κέικ (Polizzoto et al. 1983, Carroll 1990, Hudson et al. 1992, Daubenmire et al. 1993, Singh et al. 1995, Sekhon et al. 1997), ενώ καμία μελέτη δεν έχει γίνει σχετικά με την ενσωμάτωση ινών ρυζιού. Η ενσωμάτωση 5-10% (Sekhon et al. 1997) και 10-30% πιτύρου ρυζιού (σταθεροποιημένο και μη, απελαιωμένο και μη) (Singh et al. 1995) σε κέικ επέφερε αύξηση του όγκου σε όλα τα επίπεδα προσθήκης και ανεξάρτητα από την προηγούμενη επεξεργασία (σταθεροποίηση ή απελαίωση) (Singh et al. 1995, Sekhon et al. 1997), πιθανότατα λόγω της ικανότητας του πιτύρου ρυζιού να σχηματίζει αφρό (foaming), βοηθώντας στην ενσωμάτωση αέρα και τη

διόγκωση (Singh et al. 1995). Ειδικότερα, τα κέικ με μη απειλαιωμένο πίτυρο ρυζιού επέδειξαν υψηλότερη διόγκωση, εξαιτίας της περαιτέρω ενίσχυσης της ικανότητας δημιουργίας αφρού (foaming) του πιτύρου λόγω του περιεχόμενου λιπαρού, και υψηλότερη οργανοληπτική αποδεκτότητα (παρόμοια με του τυφλού). Αντιθέτως, η ενσωμάτωση μη σταθεροποιημένου πιτύρου σε υψηλά ποσοστά υποβάθμισε τα οργανοληπτικά χαρακτηριστικά χρώματος (κρούστας και ψίχας), υφής, αίσθησης στο στόμα και γεύσης, και μείωσε την οργανοληπτική αποδεκτότητα των κέικ (Singh et al. 1995). Στην περίπτωση ενσωμάτωσης μικρότερων ποσοστών ($\leq 20\%$) παρατηρήθηκαν βελτιωμένα οργανοληπτικά χαρακτηριστικά για όλα τα εμπλουτισμένα κέικ (Sekhon et al. 1997), ενώ μεγαλύτερη υποκατάσταση (60%) αλεύρου σίτου με πίτυρο ρυζιού έδωσε επίσης προϊόντα με αποδεκτά οργανοληπτικά χαρακτηριστικά, υψηλότερη περιεκτικότητα σε διαιτητικές ίνες και χαμηλότερη γλυκαιμική απόκριση, σε σχέση με τα τυφλά (Hudson et al. 1992). Τέλος, σε κέικ με άλευρο ολικής άλεσης σίτου, η υποκατάστασή του από πίτυρο ρυζιού έδωσε κέικ που χαρακτηρίζονταν από πιο τρυφερή υφή και μικρότερη πυκνότητα (Daubenmire et al. 1993).

Πίτυρα και ίνες **κριθαριού** έχουν αναφερθεί σε περιορισμένες μελέτες (Hudson et al. 1992, Newman et al. 1998), λόγω του ότι στην περίπτωση του κριθαριού μελετήθηκε ιδιαιτέρως η προσθήκη αλεύρου κριθαριού πλούσιου σε διαιτητικές ίνες και β-γλυκάνες. Υποκατάσταση αλεύρου σίτου με 23.2 % πίτυρο κριθαριού προκάλεσε μείωση του όγκου των κέικ, ενώ αύξησε την οργανοληπτική τους αποδοχή (Newman et al. 1998). Παρομοίως, η ενσωμάτωση 40% ινών κριθαριού πλούσιων σε β-γλυκάνες (19%) σε κέικ παρείχε προϊόντα με αποδεκτά οργανοληπτικά χαρακτηριστικά, που παράλληλα χαρακτηρίζονταν και από υψηλότερη περιεκτικότητα σε διαιτητικές ίνες και χαμηλότερη γλυκαιμική απόκριση (Hudson et al. 1992).

Τα πίτυρα **καλαμποκιού** έχουν χρησιμοποιηθεί σε κέικ σε περιορισμένη σχετικά έκταση (Shafer & Zabik 1978, Shafer & Zabik 1979, Polizzoto et al. 1983, Singh et al. 2012). Ενσωμάτωση 30% πιτύρου καλαμποκιού προκάλεσε αύξηση του όγκου του κέικ, υποβαθμίζοντας όμως τα οργανοληπτικά του χαρακτηριστικά, κυρίως ως προς τη γεύση (Shafer & Zabik 1978,1979). Αντιθέτως, ενσωμάτωση σε χαμηλότερα ποσοστά (5-30%) πιτύρου καλαμποκιού, προκάλεσε μείωση του όγκου του κέικ, ενώ δεν επηρέασε τα οργανοληπτικά χαρακτηριστικά του (Singh et al. 2012). Επιπροσθέτως, προκάλεσε αύξηση του ειδικού βάρους της ζύμης και της απώλειας υγρασίας της ψίχας, ενώ δεν επηρέασε την αω της ζύμης, ούτε τη σκληρότητα και την ελαστικότητα της ψίχας του κέικ (Singh et al. 2012).

Διαιτητικές ίνες από όσπρια

Οι πιο πολλές μελέτες ενσωμάτωσης ινών από όσπρια αφορούν στην ενσωμάτωση κελυφών (Shafer & Zabik 1978, 1979, Daubenmire et al. 1993, MacLaurin et al. 1993), πιτύρου (Polizzoto et al. 1983) και ινών σόγιας (Sievert et al. 1990, Brewer et al. 1992), ή κελυφών (DeFouw et al. 1982, Daubenmire et al. 1993, MacLaurin et al. 1993) και ινών (Sreenath et al. 1996) φασολιών. Στις μελέτες ενσωμάτωσης κελυφών και πιτύρων, τα κέικ που προέκυπταν συνήθως χαρακτηρίζονταν από μικρότερο όγκο και υποβαθμισμένα οργανοληπτικά χαρακτηριστικά, ενώ διακυμάνσεις παρατηρούνταν ανάλογα με το είδος των οσπρίων και την προηγούμενη επεξεργασία τους (π.χ. το καβούρδισμα μείωσε τις αρνητικές συνέπειες). Αντιθέτως, η εισαγωγή ινών οσπρίων επέφερε θετικά αποτελέσματα στα κέικ. Σύμφωνα με μελέτη με 5% υποκατάσταση του αλεύρου σε κέικ με διαιτητικές ίνες από περίβλημα φασολιών, πούλπα ανανά (απόβλητο) και άλευρο ολικής άλεσης σίτου, δεν μεταβλήθηκαν τα οργανοληπτικά χαρακτηριστικά των κέικ, ενώ αυξήθηκε, όπως ήταν αναμενόμενο το ποσοστό των διαιτητικών ινών στο τελικό προϊόν. Μειώθηκε όμως οριακά το ειδικό βάρος της ζύμης και ο όγκος των κέικ, με τα κέικ που περιείχαν τις ίνες φασολιών να παρουσιάζουν σημαντικά μικρότερο όγκο (Sreenath et al. 1996).

Άλευρα πλούσια σε διαιτητικές ίνες (ολικής άλεσης ή εξευγενισμένα)

Η υποκατάσταση αλεύρου σίτου με άλευρα άλλων σιτηρών και οσπρίων που είναι πλούσια σε ίνες (ολικής άλεσης ή εξευγενισμένα), κυρίως σόργου και κριθαριού, μπιζελιού και φακής, έχει μελετηθεί αρκετά. Η ενσωμάτωση αλεύρου **σόργου** σε ποσοστά 5-50% υποβάθμισε την ποιότητα των κέικ, μειώνοντας τον όγκο τους και προσδίδοντάς τους εύθρυπτη δομή, πιθανώς λόγω των λιπιδίων και του αμύλου του σόργου (Oyidi 1976, Glover et al. 1986), ενώ η υποκατάσταση σε ενδιάμεσο ποσοστό 30% δεν επηρέασε τα οργανοληπτικά χαρακτηριστικά των κέικ (Ragaee & Abdel-Aal 2006).

Υποκατάσταση του αλεύρου σίτου με άλευρο **κριθαριού** σε ποσοστά 20-30% δεν επηρέασε τα ποιοτικά χαρακτηριστικά του κέικ, αύξησε όμως το περιεχόμενο σε διαιτητικές ίνες (Newman et al. 1990, Ragaee & Abdel-Aal 2006). Αντιθέτως, η ενσωμάτωση 10-40% αλεύρου κριθαριού βελτίωσε το χρώμα και μείωσε τη σκληρότητα της ψίχας, ενώ παράλληλα αύξησε τη συνεκτικότητα και το κολλώδες αυτής (αυξανόμενου του ποσοστού υποκατάστασης) (Gurta et al. 2009). Σύμφωνα με μελέτη η χρήση αλεύρου κριθαριού για ολική υποκατάσταση αλεύρου σίτου βελτίωσε τον όγκο, αύξησε τη σκληρότητα της ψίχας και υποβάθμισε τα οργανοληπτικά χαρακτηριστικά των αντίστοιχων κέικ (Gomez et al. 2010a). Η οργανοληπτική αποδεκτότητα των κέικ φάνηκε ότι επηρεάζεται και από την ποικιλία του κριθαριού (Newman et al. 1990). Η ενσωμάτωση αλεύρου κηρώδους χωρίς

κέλυφος κριθαριού σε κέικ με βατόμουρα (σε ποσοστό 70%) μείωσε τον όγκο των κέικ, αλλά δεν επηρέασε τα οργανοληπτικά τους χαρακτηριστικά (Berglund et al. 1992). Τέλος η ολική υποκατάσταση με άλευρο ολικής άλεσης κριθαριού μείωσε τον όγκο των κέικ, αύξησε τη σκληρότητα της ψίχας και βελτίωσε τα οργανοληπτικά χαρακτηριστικά τους, σε σύγκριση τόσο με το τυφλό (από άλευρο σίτου) όσο και με τα κέικ από άλευρα ολικής άλεσης άλλων σιτηρών (σίκαλης, τριτικάλε και tritordeum) (Gomez et al. 2010a).

Μελέτες υποκατάστασης έχουν γίνει και με άλευρα οσπρίων, και ειδικότερα με 50-100% υποκατάσταση του αλεύρου σίτου με άλευρο **μπιζελιού** (εξευγενισμένο και ολικής) και **φακής** (από διάφορες ποικιλίες) (Gomez et al. 2008 και Hera et al. 2012, αντίστοιχα). Η εισαγωγή αλεύρου φακής και μπιζελιού μείωσε τον όγκο, τη συνεκτικότητα και την ελαστικότητα και αύξησε την σκληρότητα σε κέικ με λιπαρά. Σε κέικ σπογγώδους μορφής οι αλλαγές αυτές εμφανίστηκαν σε μικρότερο βαθμό, και ειδικότερα στην περίπτωση ενσωμάτωσης λεπτοαλεσμένου αλεύρου φακής παρατηρήθηκε αύξηση του όγκου των κέικ.

Διαιτητικές ίνες από φρούτα και λαχανικά

Οι περισσότερες μελέτες υποκατάστασης αλεύρου με προϊόντα ινών φρούτων έχουν γίνει για παραπροϊόντα μήλου (Chen et al. 1988, Wang & Thomas 1989, Masoodi et al. 2002, Sudha et al. 2007) και ίνες ροδάκινου (Grigelmo-Miguel et al. 1999, 2001), ενώ στα λαχανικά έχουν μελετηθεί κυρίως τα παραπροϊόντα πατάτας (Arora & Camire 1994, Kaack & Pedersen 2005) και καρότου (Kim 1998).

Η προσθήκη ινών μήλου (4-12%) μείωσε τον όγκο και αύξησε την πυκνότητα των κέικ (Chen et al. 1988). Ανάλογα αποτελέσματα ελήφθησαν και με χρήση αφυδατωμένου πολτού μήλου (5-15% σε μελέτη των Masoodi et al. 2002 και 10-30% σε μελέτη των Sudha et al. 2007), όπου παρατηρήθηκε αύξηση του ιξώδους και μείωση του ειδικού βάρους και του pH της ζύμης (Masoodi et al. 2002), όπως και αύξηση του βάρους, της συρρίκνωσης (με αυξανόμενο ποσοστό και μειούμενο μέγεθος σωματιδίων) (Masoodi et al. 2002), της πυκνότητας και της σκληρότητας της ψίχας (Sudha et al. 2007), καθώς και του όγκου (Masoodi et al. 2002, Sudha et al. 2007) και της συμμετρίας του κέικ (Masoodi et al. 2002). Παράλληλα υποβαθμίστηκαν και τα οργανοληπτικά χαρακτηριστικά των κέικ και μειώθηκε η ολική αποδεκτότητά τους (Sudha et al. 2007). Τέλος, σε μελέτη 50% υποκατάστασης πιτύρου σίτου με αφυδατωμένη πούλπα μήλου προέκυψαν κέικ με σημαντικά υψηλότερη οργανοληπτική αποδεκτότητα (Wang & Thomas 1989).

Υποκατάσταση αλεύρου με 6-32% ίνες ροδάκινου, με και χωρίς παράλληλη μείωση του περιεχόμενου λιπαρού (Grigelmo-Miguel et al. 2001 και 1999, αντίστοιχα) προκάλεσε σχηματισμό σκουρότερου χρώματος στην ψίχα των κέικ, αυξάνοντας παράλληλα τη

σκληρότητα και τη μασητικότητα αυτών (σημαντικά μεγαλύτερες μόνο σε ποσοστό 32%). Επίσης, και στις δύο περιπτώσεις τα κέικ με τις ίνες παρουσίασαν υψηλότερη υγρασία από το τυφλό, την οποία διατήρησαν και κατά τη διάρκεια της αποθήκευσης (7 ημέρες), λόγω της υψηλότερης ικανότητας δέσμευσης νερού των ινών (μειωμένη εξάτμιση κατά τον κλιβανισμό και την αποθήκευση) (Grigelmo-Miguel et al. 1999, 2001). Επιπροσθέτως, οργανοληπτικά αποδεκτά και όμοια με το τυφλό ήταν τα κέικ στα οποία το άλευρο είχε υποκατασταθεί μέχρι και 16% με ίνες ροδάκινου (Grigelmo-Miguel et al. 1999), ενώ στην περίπτωση παράλληλης μείωσης του λιπαρού τα κέικ με $\geq 16\%$ ίνες ροδάκινου είχαν μικρότερη αποδοχή από τα τυφλά (τόσο στα φρέσκα κέικ όσο και κατά την παλαίωση) (Grigelmo-Miguel et al. 2001). Τέλος, κατά την αποθήκευση των κέικ για 7 ημέρες δεν παρατηρήθηκαν στατιστικά σημαντικές διαφορές ανάμεσα στα κέικ που περιείχαν έως 16% ίνες ροδάκινου και το τυφλό (Grigelmo-Miguel et al. 2001).

Σχετικά με την αξιοποίηση παραπροϊόντων **πατάτας**, υποκατάσταση του αλεύρου σε ποσοστό 25% με φλοιούς πατάτας (με και χωρίς εκβολή) σε κέικ κανέλλας, είχε ως αποτέλεσμα την παραγωγή πιο σκουρόχρωμων κέικ, με μικρότερο όγκο και μεγαλύτερη ανθεκτικότητα στη συμπίεση (Aroga & Camire 1994). Επίσης συνδυαστική μελέτη με πούλπα πατάτας και κελύφη αρακά σε κέικ σοκολάτας έδειξε τη δυνατότητα παραγωγής οργανοληπτικά αποδεκτού κέικ με χαμηλό θερμιδικό περιεχόμενο (Kaack & Pedersen 2005). Η ενσωμάτωση ινών **καρότου** και ειδικότερα η 5-15% υποκατάσταση του αλεύρου του κέικ με αφυδατωμένο χυμό καρότου (που περιείχε 44.57% διαιτητικές ίνες) μετέβαλε την υφή των κέικ ως φρέσκων προϊόντων και κατά την αποθήκευσή τους για 10 ημέρες (τα κέικ με 5% ίνες ήταν πιο μαλακά σε όλη τη διάρκεια της αποθήκευσης), χωρίς να μεταβάλλει τον όγκο των προϊόντων. Ειδικότερα τα κέικ με 5% ίνες παρουσίασαν μαλακότερη υφή και παρόμοια οργανοληπτικά χαρακτηριστικά με το τυφλό (με εξαίρεση το χρώμα της κρούστας), ενώ για όλα τα επίπεδα υποκατάστασης παρατηρήθηκε παρόμοια οργανοληπτική αποδεκτότητα με το τυφλό (Kim 1998).

Ανθεκτικό Άμυλο

Υποκατάσταση του αλεύρου του κέικ με ανθεκτικό άμυλο τύπου 2 κατά 5-20% (Baixauli et al. 2008 a,b,c) και κατά 15% (Sanz et al. 2008, 2009) μείωσε το ιξώδες και τις ελαστικές ιδιότητες της ζύμης, αυξανόμενου του ποσοστού υποκατάστασης ανθεκτικού αμύλου, γεγονός που επηρέασε αντίστοιχα τα χαρακτηριστικά του τελικού προϊόντος (Baixauli et al. 2008b). Έτσι παρατηρήθηκε μείωση στις παραμέτρους της σκληρότητας, ελαστικότητας και συνεκτικότητας της ψίχας του κέικ (Baixauli et al. 2008a, Sanz et al. 2009), οι οποίες μεταβλήθηκαν σε μικρό βαθμό κατά την αποθήκευση (0-16 ημέρες) (Baixauli et al. 2008a),

ενώ το ύψος, ο όγκος, ο αριθμός και η επιφάνεια των κυψελίδων αέρα μειώθηκαν σε επίπεδο υποκατάστασης $\geq 15\%$ (Baixauli et al. 2008b, Sanz et al. 2008). Επιπροσθέτως, τα εμπλουτισμένα κέικ παρουσίασαν μεν υποδεέστερη εμφάνιση και βελτιωμένη υφή, αλλά γεύση και ολική αποδοχή παρόμοια με τα τυφλά, σύμφωνα με την οργανοληπτική τους αξιολόγηση (Baixauli et al. 2008c, Sanz et al. 2009). Διαφορετικά αποτελέσματα έχουν προκύψει από άλλες μελέτες προσθήκης ανθεκτικού άμυλου (σε διάφορα ποσοστά, ώστε τελικά τα κέικ να περιέχουν 3-4.5 % TDF) όπου τα κέικ παρουσίασαν μεγαλύτερο όγκο και μικρότερη απώλεια υγρασίας (Yue & Waring 1998), ή μελέτες 15% υποκατάστασης με ανθεκτικό άμυλο όπου δεν παρατηρήθηκαν διαφορές σε όλα τα ποιοτικά χαρακτηριστικά των κέικ (όγκο, υγρασία, υφή κλπ.) (Lin et al. 1994).

Ο τύπος του ανθεκτικού άμυλου επηρέασε διαφορετικά τα επιμέρους χαρακτηριστικά της ζύμης και του κέικ, με εξαίρεση τις παραμέτρους της υφής (σκληρότητα, ελαστικότητα και συνεκτικότητα της ψίχας) οι οποίες παρουσίασαν μειωμένες τιμές (Sanz et al. 2008, 2009). Ειδικότερα, υποκατάσταση (σε ποσοστό 15%) αλεύρου με ανθεκτικό άμυλο τύπου 3 προκάλεσε αύξηση του ιξώδους και της ιξωδοελαστικότητας της ζύμης, ενώ αντίθετως το ανθεκτικό άμυλο τύπου 2 προκάλεσε μείωση των παραπάνω χαρακτηριστικών. Τα εμπλουτισμένα κέικ με άμυλο τύπου 3 είχαν παρόμοιο χρώμα, ύψος, όγκο και αριθμό κυψελίδων με το τυφλό, ενώ τα κέικ που περιείχαν άμυλο τύπου 2 επέδειξαν σημαντικά χαμηλότερες τιμές των παραπάνω χαρακτηριστικών και ήταν πιο ανοιχτόχρωμα (Sanz et al. 2008). Τέλος τα κέικ που περιείχαν ανθεκτικό άμυλο τύπου 3 παρουσίασαν υποδεέστερα οργανοληπτικά χαρακτηριστικά, σε αντίθεση με τα αντίστοιχα με άμυλο τύπου 2 τα οποία είχαν ανώτερα ή παρόμοια με το τυφλό οργανοληπτικά χαρακτηριστικά (Sanz et al. 2009).

Υπερσυμπυκνώματα διαιτητικών ινών

Η υποκατάσταση αλεύρου κέικ με διάφορους τύπους κυτταρίνης προκάλεσε μείωση της διόγκωσης των κέικ (Zabik et al. 1977, Polizzoto et al. 1983, Fondroy et al. 1989, Ang & Miller 1991) και μόνο με μικροκρυσταλλική κυτταρίνη δεν παρουσιάστηκαν διαφορές από το τυφλό (Gomez et al. 2010b).

Η υποκατάσταση του αλεύρου με ινουλίνη, μίγματα ινουλίνης και ινών βρώμης, και μίγματα ινών βρώμης με κόμμι γκουάρ (Gularte et al. 2012 σε κέικ ελεύθερα γλουτένης), ή ινουλίνη και μίγματα αυτής με ολιγοφρουκτόζη (Volpini-Rapina et al. 2012 σε κέικ πορτοκαλιού), προκάλεσε αύξηση του όγκου (εκτός του συνδυασμού γκουάρ-βρώμης) (Gularte et al. 2012), και της σκληρότητας της ψίχας (μεγαλύτερη τιμή με το συνδυασμό γκουάρ-βρώμης) (Gularte et al. 2012), ενώ δεν επηρέασε τα οργανοληπτικά χαρακτηριστικά

των κέικ (εκτός της υφής που προέκυψε κατώτερη σε κέικ με ινουλίνη και ινουλίνη/ολιγοφρουκτόζη) (Volpini-Rarina et al. 2012).

Τέλος έχουν γίνει αρκετές μελέτες προσθήκης (χωρίς μεταβολή της συνταγής) διαφόρων υπερσυμπυκνωμάτων διαλυτών ινών σε κέικ. Χαρακτηριστικά αναφέρεται η προσθήκη του προερχόμενου από συμπύκνωμα πιτύρου βρώμης και πλούσιου σε β-γλυκάνες υδροκολλοειδούς C-trim 20, σε κατάλληλα ποσοστά ώστε τελικά να περιέχονται 1-2 g β-γλυκάνης ανά μερίδα κέικ (Lee et al. 2005b), η προσθήκη διάφορων κόμμεων και συνδυασμών τους σε ποσοστό 1% (ξανθάνης, γκουάρ, μίγματος ξανθάνης+γκουάρ, καραγεννάνης, χαρουπιού, HPMC και μίγματος ξανθάνης + καραγεννάνης) σε κέικ ρυζιού (Turabi et al. 2006), και αλγινικών, καραγεννάνης, πηκτίνης, HPMC, κόμμεος χαρουπιού, κόμμεος γκουάρ και ξανθάνης σε τυπική συνταγή κέικ (Gomez et al. 2007, 2010). Σε όλες τις περιπτώσεις παρατηρήθηκε αύξηση του όγκου του κέικ (με εξαίρεση τα αλγινικά), ενώ η σκληρότητα της ψίχας αυξήθηκε μόνο για ορισμένα υδροκολλοειδή (κόμμι χαρουπιού, ξανθάνη, γκουάρ, ξανθάνη+γκουάρ) (Turabi et al. 2006, Gomez et al. 2007 και 2010). Επιπροσθέτως, τα εμπλουτισμένα κέικ βρέθηκαν με βελτιωμένα οργανοληπτικά χαρακτηριστικά (με εξαίρεση την πηκτίνη) σε σχέση με το τυφλό, με βέλτιστα εκείνα με HPMC (Gomez et al. 2007, 2010). Αξίζει επίσης να αναφερθεί ότι το είδος του υδροκολλοειδούς επηρέασε τη σκληρότητα κατά την αποθήκευση, ενώ όλα τα κέικ (με εξαίρεση αυτά με HPMC) παρουσίασαν μικρότερες απώλειες υγρασίας κατά την αποθήκευσή τους (Gomez et al. 2007 και 2010). Γενικά, η εισαγωγή των υπερσυμπυκνωμάτων επηρέασε θετικά τα ποιοτικά και οργανοληπτικά χαρακτηριστικά των κέικ, χωρίς να συμβάλει σημαντικά στην αύξηση του καταναλισκόμενου ποσού διαιτητικών ινών (εκτός του C-trim 20 που παρείχε τελικά 2 g β-γλυκάνης/μερίδα).

Λοιπά

Εκτός από τα παραπάνω, έχει μελετηθεί και η ενσωμάτωση καινοτόμων πηγών διαιτητικών ινών σε κέικ. Χαρακτηριστικά αναφέρεται η 10-30% υποκατάσταση αλεύρου από σκόνη τσαγιού GABA (γ-αμινοβουτυρικού οξέος), η οποία προκάλεσε αύξηση του ιξώδους και του ειδικού βάρους της ζύμης, καθώς και της σκληρότητας και του περιεχομένου σε διαιτητικές ίνες, και μείωση της υγρασίας (στη ζύμη και το κέικ), της aw, του όγκου και του βαθμού αποδοχής των προϊόντων. Τέλος η υποκατάσταση αύξησε ελάχιστα το ρυθμό σκλήρυνσης της ψίχας κατά την παλαίωση (25 °C για 3 ημέρες ή 5 °C για 7 ημέρες), ενώ αντιθέτως βελτίωσε την οργανοληπτική τους αποδοχή (Lee & Lin 2008).

Πίνακας 4.7. Βιβλιογραφική ανασκόπηση εργασιών που αφορούν την ενσωμάτωση πηγών/προϊόντων διαιτητικών ινών σε κέικ μέσω της υποκατάστασης αλεύρου ή προσθήκης (όπου αναφέρεται).

Πηγές/ Προϊόντα Διαιτητικών Ινών	Ποσοστό	Χαρακτηριστικά που εξετάστηκαν	Αναφορά
Σιτηρά			
Σίτος			
Πίτυρο	4,8, 16%	Ζύμη: Ιξώδες, ειδικό βάρος Κέικ: Όγκος, συμμετρία, χρώμα, υφή, υγρασία, οργανοληπτικά χαρακτηριστικά	Brockmole & Zabik 1976
Πίτυρο	30-70%	Κέικ: Όγκος	Springsteen et al. 1977
Πίτυρο (μαλακό, σκληρό, λευκό, ερυθρό)	30%	Ζύμη: Ιξώδες Κέικ: Όγκος, χρώμα, υφή (τρυφερότητα), μέγεθος κυψελίδων, πάχος τοιχωμάτων κυψελίδων, οργανοληπτικά χαρακτηριστικά	Shafer & Zabik 1978 Shafer & Zabik 1979
Πίτυρο (εμπορικό, ερυθρό σκληρό)	25%	Κέικ: Ανάλυση σύστασης, οργανοληπτικά χαρακτηριστικά	Polizzoto et al. 1983
Πίτυρο	4, 8, 12%	Κέικ: Όγκος, βάρος, πυκνότητα	Chen et al. 1988
Πίτυρο	1, 2, 4%	Κέικ: Όγκος, υφή, οργανοληπτικά χαρακτηριστικά	Sievert et al. 1990
Πίτυρο	65% (υποκατάσταση σε άλευρο ολικής άλεσης)	Ζύμη: Ιξώδες Κέικ: Χρώμα, υγρασία, υφή	Daubenmire et al. 1993
Πίτυρο (κατεργασμένο με υπεροξείδιο του υδρογόνου και μη)	5,10, 15, 20%	Κέικ: Υφή, χρώμα, χαρακτηριστικά κυψελίδων (ομοιομορφία, μέγεθος, πάχος τοιχωμάτων) θερμιδικό περιεχόμενο, οργανοληπτικά χαρακτηριστικά	Anjum et al. 2006
Πίτυρο (ερυθρό) επικαλυμμένο με γαλάκτωμα(50/50)καζεΐνης/υπερσυμπυκνωμάτων πρωτεϊνών ορού (WPI)	5,10,15%	Κέικ: Όγκος, υγρασία, χρώμα, υφή, ανάλυση σύστασης	Onwulata 2008
Ίνες από το καλάμι	4 % (προσθήκη)	Κέικ: Όγκος, οργανοληπτικά χαρακτηριστικά	Jasberg et al. 1989

	10, 20,30% (υποκατάσταση)		
Ίνες	5%	Ζύμη: Ειδικό βάρος, pH Κέικ: Όγκος, χρώμα, υγρασία, οργανοληπτικά χαρακτηριστικά	Sreenath et al. 1996
Ίνες	12, 24, 36%	Ζύμη: Πυκνότητα, συντελεστής συνεκτικότητας (Kcp), δείκτης ροής (η) Κέικ: Όγκος, συμμετρία, χρώμα, υφή, υγρασία, οργανοληπτικά χαρακτηριστικά	Gomez et al. 2010β
Βρώμη			
Κελύφη	25%	Κέικ: Ανάλυση σύστασης, οργανοληπτικά χαρακτηριστικά	Polizzoto et al. 1983
Πίτυρο	30%	Ζύμη: Ιξώδες Κέικ: Όγκος, χρώμα, υφή (τρυφερότητα), μέγεθος κυψελίδων, πάχος τοιχωμάτων κυψελίδων, οργανοληπτικά χαρακτηριστικά	Shafer & Zabik 1978 Shafer & Zabik 1979
Πίτυρο	25%	Κέικ: Ανάλυση σύστασης, οργανοληπτικά χαρακτηριστικά	Polizzoto et al. 1983
Πίτυρο	4, 8, 12%	Κέικ: Όγκος, βάρος, πυκνότητα	Chen et al. 1988
Πίτυρο	100%	Κέικ: Οργανοληπτικά χαρακτηριστικά, περιεκτικότητα σε διαιτητικές ίνες, πέψη αμύλου in vitro	Hudson et al. 1992
Πίτυρο	65%	Ζύμη: Ιξώδες Κέικ: Χρώμα, υγρασία, υφή	Daubenmire et al. 1993
Πίτυρο	65% (υποκατάσταση σε άλευρο ολικής άλεσης)	Κέικ: Όγκος, οργανοληπτικά χαρακτηριστικά	MacLaurin et al. 1993
Πίτυρο με β-γλυκάνες διαφορετικού μοριακού βάρους	35, 55%	Κέικ: Γλυκαιμικός δείκτης	Tosh et al. 2008
Ίνες	65% (υποκατάσταση σε άλευρο ολικής άλεσης)	Κέικ: Όγκος, οργανοληπτικά χαρακτηριστικά	MacLaurin et al. 1993

Ίνες	65%	Κέικ: Όγκος, οργανοληπτικά χαρακτηριστικά	Sreenath et al. 1996
Ίνες Μίγμα 50/50 ινών βρώμης/ανθεκτικού αμύλου	Προσθήκη σε διάφορα ποσοστά έτσι ώστε το τελικό να περιέχει 3% και 4.5%TDF	Ζύμη: Ιξώδες Κέικ: Όγκος, ύψος, υφή, υγρασία, οργανοληπτικά χαρακτηριστικά Παλαίωση: Υφή, υγρασία, οργανοληπτικά χαρακτηριστικά	Yue & Waring 1998
Ίνες Μίγματα (με ινουλίνη, κόμμα γκουάρ)	20% (υποκατάσταση αλεύρου ρυζιού σε κέικ ελεύθερο γλουτένης)	Ζύμη: Ιξώδες, πυκνότητα Κέικ: Όγκος, υφή, ανάλυση σύστασης, αφομοιωσιμότητα αμύλου	Gularte et al. 2012
Ίνες	12, 24, 36%	Ζύμη: Πυκνότητα, συντελεστής συνεκτικότητας (Kcp), δείκτης ροής (n) Κέικ: Όγκος, συμμετρία, χρώμα, υφή, υγρασία, οργανοληπτικά χαρακτηριστικά	Gomez et al. 2010β
Ρύζι			
Πίτυρο	25%	Κέικ: Ανάλυση σύστασης, οργανοληπτικά χαρακτηριστικά	Polizzoto et al. 1983
Πίτυρο	0-20%	Κέικ: Όγκος, υγρασία Παλαίωση: Υγρασία	Caroll 1990
Πίτυρο	60%	Κέικ: Οργανοληπτικά χαρακτηριστικά, περιεκτικότητα σε διαιτητικές ίνες, πέψη αμύλου in vitro	Hudson et al. 1992
Πίτυρο	65%	Ζύμη: Ιξώδες Κέικ: Χρώμα, υγρασία, υφή	Daubenmire et al. 1993
Πίτυρο (σταθεροποιημένο και μη, απελαιωμένο και μη)	10, 20, 30%	Ζύμη: Θερμοκρασία ζελατινοποίησης Κέικ: Όγκος, οργανοληπτικά χαρακτηριστικά	Singh et al. 1995
Πίτυρο (απελαιωμένο και μη)	5,10,15%	Κέικ: Όγκος, οργανοληπτικά χαρακτηριστικά	Sekhon et al. 1997
Κριθάρι			
Ίνες	40%	Κέικ: Οργανοληπτικά χαρακτηριστικά,	Hudson et al. 1992

		περιεκτικότητα σε διαιτητικές ίνες, πέψη αμύλου in vitro	
Καλαμπόκι			
Πίτυρο	30%	Ζύμη: Ιξώδες Κέικ: Όγκος, χρώμα, υφή (τρυφερότητα), μέγεθος κυψελίδων, πάχος τοιχωμάτων κυψελίδων, οργανοληπτικά χαρακτηριστικά	Shafer & Zabik 1978 Shafer & Zabik 1979
Πίτυρο	25%	Κέικ: Ανάλυση σύστασης, οργανοληπτικά χαρακτηριστικά	Polizzoto et al. 1983
Πίτυρο	5,15,20,25,30%	Ζύμη: Ρεολογικά χαρακτηριστικά, ειδικό βάρος, aw Κέικ: Όγκος, υγρασία, χρώμα, οργανοληπτικά χαρακτηριστικά	Singh et al. 2012
Όσπρια			
Σόγια			
Κελύφη	30%	Ζύμη: Ιξώδες Κέικ: Όγκος, χρώμα, υφή (τρυφερότητα), μέγεθος κυψελίδων, πάχος τοιχωμάτων κυψελίδων, οργανοληπτικά χαρακτηριστικά	Shafer & Zabik 1978 Shafer & Zabik 1979
Κελύφη	65%	Ζύμη: Ιξώδες Κέικ: Χρώμα, υγρασία, υφή	Daubenmire et al. 1993
Πίτυρο	25%	Κέικ: Ανάλυση σύστασης, οργανοληπτικά χαρακτηριστικά	Polizzoto et al. 1983
Ίνες	1, 2, 4%	Κέικ: Όγκος, υφή, οργανοληπτικά χαρακτηριστικά	Sievert et al. 1990
Ίνες	40, 50, 60%	Κέικ: Όγκος, χρώμα, υφή, πυκνότητα, οργανοληπτικά χαρακτηριστικά	Brewer et al. 1992
Ίνες	65%	Κέικ: Όγκος, οργανοληπτικά χαρακτηριστικά	MacLaurin et al. 1993 Sreenath et al. 1996
Φασόλια			

Κελύφη (navy, καβουρδισμένα και μη)	15%	Κέικ: Χρώμα, υγρασία, υφή	DeFouw et al. 1982
Κελύφη (black-eyed pea, navy, pinto)	65%	Ζύμη: Ιξώδες Κέικ: Χρώμα, υγρασία, υφή	Daubemire et al. 1993
Ίνες (navy, pinto)	65%	Κέικ: Όγκος, οργανοληπτικά χαρακτηριστικά	MacLaurin et al. 1993 Sreenath et al. 1996
Ίνες	5%	Ζύμη: ειδικό βάρος, pH Κέικ: Όγκος, χρώμα, υγρασία, οργανοληπτικά χαρακτηριστικά	Sreenath et al. 1996
Αρακάς			
Κελύφη Μίγματα με πούλπα πατάτας	5-35% (προσθήκη επί του αλεύρου)	Ζύμη: Ιξώδες Κέικ: Χρώμα, υφή, οργανοληπτικά χαρακτηριστικά	Kaack & Pedersen 2005
Φρούτα και λαχανικά			
Μήλο			
Ίνες	4, 8, 12%	Κέικ: Όγκος, βάρος, πυκνότητα	Chen et al. 1988
Αποξηραμένος πολτός	50% (υποκατάσταση του πιτύρου σίτου)	Κέικ: Οργανοληπτικά χαρακτηριστικά	Wang & Thomas 1989
Αποξηραμένος πολτός	5,10,15%	Ζύμη: Ιξώδες, ειδικό βάρος, pH Κέικ: Όγκος, συμμετρία, βάρος	Masoodi et al. 2002
Αποξηραμένος πολτός	5, 10, 15%	Άλευρο: Ιδιότητες ενυδάτωσης μίγματος αλεύρου-πολτού Κέικ: Όγκος, πυκνότητα, υφή, ανάλυση σύστασης, οργανοληπτικά χαρακτηριστικά	Sudha et al. 2007
Αποξηραμένος φλοιός	4, 8, 16, 24, 32%	Κέικ: Ανάλυση σύστασης, φαινολικές ενώσεις	Rupasinghe et al. 2008
Ανανάς			
Ίνες (από πούλπα ανανά)	5%	Ζύμη: ειδικό βάρος, pH Κέικ: Όγκος, χρώμα, υγρασία, οργανοληπτικά χαρακτηριστικά	Sreenath et al. 1996
Ροδάκινο			

Ίνες	6,9.5,12.5,16, 32%	Κέικ: Υγρασία, βάρος, ύψος, υφή, χρώμα, οργανοληπτικά χαρακτηριστικά Παλαιώση: Υφή	Grigelmo-Miguel et al. 1999
		Κέικ: Χρώμα, υφή, ανάλυση σύστασης, οργανοληπτικά χαρακτηριστικά Παλαιώση: Υφή, υγρασία, οργανοληπτικός έλεγχος	Grigelmo-Miguel et al. 2001
Καρύδα			
Άλευρο (60% TDF)	20% (σε κέικ καρότου)	Κέικ: Γλυκαιμικός δείκτης	Trinidad et al. 2006
Πατάτα			
Φλοιοί (με ή χωρίς εκβολή)	25%	Κέικ: Όγκος, χρώμα, υφή, ύψος, οργανοληπτικά χαρακτηριστικά	Arora & Camire 1994
Πούλπα Μίγματα με κελύφη αρακά	5-35% (προσθήκη επί του αλεύρου)	Ζύμη: Ιξώδες Κέικ: Χρώμα, υφή, οργανοληπτικά χαρακτηριστικά	Kaack & Pedersen 2005
Καρότο			
Αφυδατωμένος χυμός	5, 10, 15%	Κέικ: Όγκος, χρώμα, υφή (σκληρότητα), υγρασία, ανάλυση σύστασης, οργανοληπτικός έλεγχος Παλαιώση: Υφή (σκληρότητα), οργανοληπτικά χαρακτηριστικά	Kim 1998
Πιπεριά			
Ίνες από αποξηραμένους φλοιούς και σπόρους πράσινης πιπεριάς		Ζύμη: Ιξώδες, ειδικό βάρος Κέικ: Όγκος, συμμετρία, χρώμα, υγρασία	Matsuda 1997
Άλευρα			
Σίτου			
Ολικής άλεσης	70%	Κέικ: Όγκος, χρώμα, οργανοληπτικά χαρακτηριστικά	Berglund et al. 1992
Ολικής άλεσης Εξευγενισμένο	100%	Άλευρο: Pasting ιδιότητες (RVA), απορρόφηση νερού	Gomez et al. 2010α

		Ζύμη: Πυκνότητα, συντελεστής συνεκτικότητας (Kcp), δείκτης ροής (n), G',G'' Κέικ: Όγκος, συμμετρία, χρώμα, υφή (σκληρότητα), οργανοληπτικά χαρακτηριστικά	
Κριθάρι			
Εξευγενισμένο (4 ποικιλίες)	23.2%	Κέικ: Όγκος, ύψος, υφή, οργανοληπτικά χαρακτηριστικά	Newman et al. 1990
Εξευγενισμένο	70%	Κέικ: Όγκος, χρώμα, οργανοληπτικά χαρακτηριστικά	Berglund et al. 1992
Εξευγενισμένο	10,20,30, 40%	Ζύμη: Ειδικό βάρος Κέικ: Όγκος, υφή, οργανοληπτικά χαρακτηριστικά	Gupta et al. 2009
Εξευγενισμένο	100%	Άλευρο: Pasting ιδιότητες (RVA), απορρόφηση νερού Ζύμη: Πυκνότητα, συντελεστής συνεκτικότητας (Kcp), δείκτης ροής (n), G',G'' Κέικ: Όγκος, συμμετρία, χρώμα, υφή (σκληρότητα), οργανοληπτικά χαρακτηριστικά	Gomez et al. 2010α
Ολικής άλεσης	0-30%	Άλευρο: pasting ιδιότητες Κέικ: Όγκος, οργανοληπτικά χαρακτηριστικά	Ragae & Abdel-Aal 2006
Ολικής άλεσης	100%	Άλευρο: Pasting ιδιότητες (RVA), απορρόφηση νερού Ζύμη: Πυκνότητα, συντελεστής συνεκτικότητας (Kcp), δείκτης ροής (n), G',G'' Κέικ: Όγκος, συμμετρία, χρώμα, υφή (σκληρότητα), οργανοληπτικά χαρακτηριστικά	Gomez et al. 2010α
Σίκαλη			
Εξευγενισμένο	100%	Άλευρο: Pasting ιδιότητες (RVA), απορρόφηση νερού Ζύμη: Πυκνότητα, συντελεστής συνεκτικότητας	Gomez et al. 2010α

		(Kcp), δείκτης ροής (η), G',G'' Κέικ: Όγκος, συμμετρία, χρώμα, υφή (σκληρότητα), οργανοληπτικά χαρακτηριστικά	
Ολικής άλεσης	100%	Άλευρο: Pasting ιδιότητες (RVA), απορρόφηση νερού Ζύμη: Πυκνότητα, συντελεστής συνεκτικότητας (Kcp), δείκτης ροής (η), G',G'' Κέικ: Όγκος, συμμετρία, χρώμα, υφή (σκληρότητα), οργανοληπτικά χαρακτηριστικά	Gomez et al. 2010α
Ολικής άλεσης	0-30%	Άλευρο: pasting ιδιότητες Κέικ: Όγκος, οργανοληπτικά χαρακτηριστικά	Ragae & Abdel-Aal 2006
Σόργο			
Εξευγενισμένο		Κέικ: Όγκος, υγρασία, υφή	Oyidi 1976
Εξευγενισμένο	5,10, 15, 30, 50%	Ζύμη: Θερμοκρασία ζελατινοποίησης Κέικ: Όγκος, υφή	Glover et al. 1986
Ολικής άλεσης	0-30%	Άλευρο: pasting ιδιότητες Κέικ: Όγκος, οργανοληπτικά χαρακτηριστικά	Ragae & Abdel-Aal 2006
Τριτικάλε			
Εξευγενισμένο (5 ποικιλίες)	10-50%	Κέικ: Όγκος, υφή, βαθμολογία εμφάνισης (εσωτερικά και εξωτερικά)	Kissell & Lorenz 1976
Εξευγενισμένο	100%	Άλευρο: Pasting ιδιότητες (RVA), απορρόφηση νερού Ζύμη: Πυκνότητα, συντελεστής συνεκτικότητας (Kcp), δείκτης ροής (η), G',G'' Κέικ: Όγκος, συμμετρία, χρώμα, υφή (σκληρότητα), οργανοληπτικά χαρακτηριστικά	Gomez et al. 2010α
Ολικής άλεσης	100%	Άλευρο: Pasting ιδιότητες (RVA), απορρόφηση νερού Ζύμη: Πυκνότητα, συντελεστής συνεκτικότητας (Kcp), δείκτης ροής (η), G',G''	Gomez et al. 2010α

		Κέικ: Όγκος, συμμετρία, χρώμα, υφή (σκληρότητα), οργανοληπτικά χαρακτηριστικά	
Λοιπά			
Μίλετ (ολικής άλεσης)	0-30%	Άλευρο: pasting ιδιότητες Κέικ: Όγκος, οργανοληπτικά χαρακτηριστικά	Ragae & Abdel-Aal 2006
Αμάρανθος	10, 20,30%	Ζύμη: Ειδικό βάρος Κέικ: Όγκος, χρώμα, οργανοληπτικά χαρακτηριστικά Παλαίωση: Υγρασία	Capriles et al. 2008
Μπιζέλι (ολικής άλεσης, εξευγενισμένο)	50, 100%	Ζύμη: Ιξώδες, ιξωδοελαστικά χαρακτηριστικά Κέικ: Όγκος, βάρος, συμμετρία, χρώμα, υφή, οργανοληπτικά χαρακτηριστικά Παλαίωση: Υφή	Gomez et al. 2008 Hera et al. 2012
Tritordeum (ολικής άλεσης, εξευγενισμένο)	100%	Άλευρο: Pasting ιδιότητες (RVA), απορρόφηση νερού Ζύμη: Πυκνότητα, συντελεστής συνεκτικότητας (Kcp), δείκτης ροής (n), G', G'' Κέικ: Όγκος, συμμετρία, χρώμα, υφή (σκληρότητα), οργανοληπτικά χαρακτηριστικά	Gomez et al. 2010α
Φακή (από διαφορετικές ποικιλίες)	50%, 100%	Ζύμη: Ιξώδες, πυκνότητα Κέικ: Όγκος, πυκνότητα συμμετρία, χρώμα, υφή	Hera et al. 2012
Ανθεκτικό άμυλο			
Ανθεκτικό άμυλο	5, 10, 15%	Ζύμη: Ζελατινοποίηση αμύλου, τήξη συμπλόκου αμυλόζης-λιπιδίου, ειδικό βάρος Κέικ: Όγκος, βάρος, υφή, υγρασία, aw	Lin et al. 1994 (στο ίδιο άρθρο κ σε λιπαρά 12.5, 25, 37.5, 50%)
Ανθεκτικό άμυλο Μίγμα 50/50 με ίνες βρώμης	Προσθήκη σε διάφορα ποσοστά έτσι ώστε το τελικό να περιέχει 3%	Ζύμη: Ιξώδες Κέικ: Όγκος, ύψος, υφή, υγρασία, οργανοληπτικά χαρακτηριστικά	Yue & Waring (1998)

	και 4.5% TDF	Παλαίωση: Υφή, υγρασία, οργανοληπτικά χαρακτηριστικά	
Ανθεκτικό άμυλο	5, 10, 15, 20%	Κέικ: Υφή Παλαίωση: Υφή, οργανοληπτικά χαρακτηριστικά	Baixauli et al. 2008
		Ζύμη: Ρεολογικές και ιξωδοελαστικές ιδιότητες, ειδικό βάρος Κέικ: Ύψος, αριθμός και επιφάνεια κυψελίδων αέρα	Baixauli et al. 2008β
		Κέικ: Οργανοληπτικά χαρακτηριστικά	Baixauli et al. 2008γ
Ανθεκτικό άμυλο (τύπου 2 και τύπου 3)	15%	Ζύμη: Ρεολογικές ιδιότητες Κέικ: Όγκος ύψος, αριθμός και επιφάνεια κυψελίδων αέρα	Sanz et al. 2008
		Κέικ: Υφή, χρώμα, οργανοληπτικά χαρακτηριστικά	Sanz et al. 2009
Υπερσυμπυκνώματα και κόμματα			
Κυτταρίνη			
Με διάφορα μήκη ινών, επικαλυμμένες με CMC και πηκτίνη	30%	Ζύμη: Ιξώδες Κέικ: Όγκος, οργανοληπτικά χαρακτηριστικά	Zabik et al. 1977
A-κυτταρίνη	25%	Κέικ: Ανάλυση σύστασης, οργανοληπτικά χαρακτηριστικά	Polizzoto et al. 1983
Από κάλαμο βρώμης Μικροκρυσταλλική κυτταρίνη	10, 25, 40% 40%	Κέικ: Όγκος, χρώμα, οργανοληπτικά χαρακτηριστικά	Fondroy et al. 1989
Μεγάλου μήκους ινών Μικροκρυσταλλική	2, 4% 12, 24, 36%	Κέικ: Όγκος, υφή (σκληρότητα) Ζύμη: Πυκνότητα, συντελεστής συνεκτικότητας (Kcp), δείκτης ροής (n) Κέικ: Όγκος, συμμετρία, χρώμα, υφή, υγρασία, οργανοληπτικά χαρακτηριστικά	Ang & Miller 1991 Gomez et al. 2010β
β-γλυκάνες			
Oatrim (με διαφορετική περιεκτικότητα β-	1,2,5, 10%	Κέικ: Διαιτητικές ίνες, ανθεκτικό άμυλο	Li et al. 2001

γλυκανών)			
C trim-20	Προσθήκη σε ποσοστό ώστε στο κέικ να περιέχονται 1 ή 2 g β-γλυκανών ανά μερίδα	Ζύμη: Ιξώδες, ιξωδοελαστικές ιδιότητες Κέικ: Όγκος, χρώμα, υφή	Lee et al. 2005β
Ιουλίνη			
Ιουλίνη Μίγματα με ίνες βρώμης	20% (υποκατάσταση αλεύρου ρυζιού σε κέικ ελεύθερο γλουτένης)	Ζύμη: Ιξώδες, πυκνότητα Κέικ: Όγκος, υφή, ανάλυση σύστασης, αφομοιωσιμότητα αμύλου	Gularte et al. 2012
Ιουλίνη Μίγμα ολιγοφρουκτόζης/ ιουλίνης	27%	Κέικ: Οργανοληπτικά χαρακτηριστικά	Volpini-Rapina et al. 2012
Κόμμεα			
Ξανθάνη Κόμμι γκουάρ Μίγμα ξανθάνης + γκουάρ Καραγεννάνης Κόμμι χαρουπιού HPMC Μίγμα ξανθάνης + καραγεννάνης	1% (προσθήκη)	Ζύμη: Ειδικό βάρος, ιξώδες, σταθερότητα γαλακτώματος Κέικ: Όγκος, συμμετρία, υφή (σκληρότητα), πορώδες Κέικ: Αριθμός και επιφάνεια πόρων, σχήμα, ανάλυση δομής (SEM)	Turabi et al. (2006) Turabi et al. (2010)
Αλγινικά Καραγεννάνη Πηκτίνη HPMC Κόμμι χαρουπιού Κόμμι γκουάρ Ξανθάνη	1% (προσθήκη)	Ζύμη: Πυκνότητα Κέικ: Όγκος, συμμετρία, υφή, οργανοληπτικά χαρακτηριστικά Παλαίωση: Υφή, υγρασία	Gomez et al. (2007)
Κόμμι γκουάρ Μίγματα με ίνες βρώμης	20% (υποκατάσταση αλεύρου ρυζιού σε κέικ ελεύθερο γλουτένης)	Ζύμη: Ιξώδες, πυκνότητα Κέικ: Όγκος, υφή, ανάλυση σύστασης, αφομοιωσιμότητα αμύλου	Gularte et al. 2012
Λοιπά			
Ψύλλιο	2,4,8%	Κέικ: Όγκος, χρώμα, υγρασία, υφή	Czuchajowska et al.

			1992
Κόμμι Λιναρόσπορου (Flaxseed)	2,5%	Ζύμη: Ιξώδες Κέικ: Χρώμα, υφή Παλαίωση: Όγκος, ύψος, βάρος, υφή, υγρασία	Shearer & Davies 2004
Λοιπά			
Κελύφη ηλιόσπορου	10 %	Κέικ: Οργανοληπτικά χαρακτηριστικά	Dreher & Padmanaban 1983
Αποξηραμένος πολτός cashew	10,30,50,70, 90%	Κέικ: Όγκος, βάρος, υγρασία, οργανοληπτικά χαρακτηριστικά	Aderiye et al. 1992
Αποξηραμένο τσάι GABA	10, 20, 30%	Ζύμη: Ειδικό βάρος, συντελεστής συνεκτικότητας (Kcp), δείκτης ροής (n), υγρασία Κέικ: Όγκος, χρώμα, υφή (σκληρότητα), υγρασία, aw, ανάλυση σύστασης	Lee & Lin 2008
Κάκτος (<i>Opuntia humifusa</i>)	3,5,7, 9%	Κέικ: Ειδικό βάρος κέικ, χρώμα, υφή, ανάλυση σύστασης, οργανοληπτικά χαρακτηριστικά	Kim et al. 2012

4.2.2.2 Υποκατάσταση λιπαρού ή/και ζάχαρης

Η υποκατάσταση των λιπαρών του κέικ με κόμμεα και γενικότερα με διαλυτές διαιτητικές ίνες έχει μελετηθεί ιδιαίτερα, με σκοπό την παραγωγή προϊόντων χαμηλού θερμιδικού περιεχομένου. Χαρακτηριστικά αναφέρεται η υποκατάσταση του λιπαρού με κόμμι γκουάρ, ξανθάνη και *simplesse* (Conforti & Canterella 1998), με HPMC (Conforti & Smith 1998), με διάφορες δεξτρίνες καλαμποκιού (μαλτοδεξτρίνη, αμυλοδεξτρίνη, *octenyl succinylated αμυλοδεξτρίνη* και μίγματά τους) (Kim et al. 2001), με το υδροκολλοειδές *Ricetrim*, προερχόμενο από πίτυρο ρυζιού και άλευρο κριθαριού (για υποκατάσταση κρέμας καρύδας) (Inglett et al. 2003), με σκόνη λιναρόσπορου (*flaxseed*) και το υδροκολλοειδές *Nutrim* προερχόμενο από πίτυρο βρώμης (Lee et al. 2004), με κόμμι γκουάρ και ξανθάνης (25%-100% υποκατάσταση λιπαρού) (Zambrano et al. 2004), με *Oatrim* (εμπορικό προϊόν με βάση β-γλυκάνες βρώμης και αμυλοδεξτρίνη) σε ποσοστά 20-60% (Lee et al. 2005a), με πολυδεξτρόζη ως υποκατάστατο λιπαρού και ζάχαρης (Kocer et al. 2007), με πηκτίνη για μερική υποκατάσταση λιπαρού (Carpiles et al. 2008), και με διάφορων τύπων ινουλίνη (Zahn et al. 2010).

Προκειμένου να παραχθεί κέικ χαμηλού θερμιδικού περιεχομένου, εκτός από την υποκατάσταση λιπαρών εξετάστηκε και η υποκατάσταση της ζάχαρης με προϊόντα διαιτητικών ινών. Ειδικότερα, εκτός από την πολυδεξτρόζη που αναφέρθηκε προηγουμένως (Kocer et al. 2007), μελετήθηκε η υποκατάσταση της ζάχαρης με μίγμα σορβιτόλης/στέβιας σε συνδυασμό με διάφορα υδροκολλοειδή (αραβικό κόμμι, κόμμι γκουάρ, ξανθάνη, καραγεννάνη, CMC) σε ποσοστό 0.5% και γαλακτωματοποιητές (0.5%), ενώ σε ορισμένα δείγματα υποκαταστάθηκε και το άλευρο με 10% αποπικρασμένη σκόνη σπόρου *fenureek*. Τα κέικ που προέκυψαν είχαν χαμηλότερο θερμιδικό περιεχόμενο και υψηλότερο ποσοστό διαιτητικών ινών, ενώ εμφάνισαν σημαντικά μικρότερο όγκο και πιο σκληρή ψίχα (Manisha et al. 2012).

4.3. Εφαρμογή ενζύμων (ενδοξυλανάσων) σε αρτοσκευάσματα

Πολλοί ερευνητές έχουν μελετήσει την επίδραση διάφορων ενδοξυλανάσων (που λόγω συντομίας θα αναφέρονται ξυλανάσες στη συνέχεια) σε άρτο (Πίνακας 4.8), σε απομονωμένες (*isolated*) αραβινοξυλάνες από το ενδοσπέρμιο και το πίτυρο σίτου (Πίνακας 4.9), σε άρτο εμπλουτισμένο με διαιτητικές ίνες (Πίνακας 4.10) και σε πηγές/προϊόντα διαιτητικών ινών (Πίνακας 4.11). Ανάλογες μελέτες σε κέικ δεν έχουν γίνει, ενώ ελάχιστες αναφορές υπάρχουν σε μπισκότα και μακαρόνια.

Ειδικές ξυλανάσες χρησιμοποιούνται συνήθως στην αρτοποιία για τη βελτίωση των ιδιοτήτων του ζυμαριού (απαλότητα, σταθερότητα, ελαστικότητα και εκτατότητα) (Maat 1992, Rouau et al. 1994, Hilhorst et al. 1999, Maheshwari et al. 2000, Courtin et al. 2001), της διόγκωσης κατά τον κλιβανισμό (Sprossler 1997), και του όγκου και της δομής της ψίχας του άρτου (McCleary et al. 1986, Maat 1992, Rouau et al. 1994, Sprossler 1997, Courtin et al. 1999, Hilhorst et al. 1999, Maheshwari et al. 2000, Courtin et al. 2001). Ειδικότερα οι Basez-Vasquen & Schofield (1993), Rouau et al. (1994), Qi Si (1997), Wang et al. (1998), Courtin et al. (1999, 2001) και Hille & Schooneveld-Bergmans (2004) βρήκαν ότι η εφαρμογή χαμηλών επιπέδων ξυλανασών (έως 75 ppm) με εκλεκτικότητα στις μη εκχυλίσιμες αραβινοξυλάνες βελτίωσε την εκτατότητα του ζυμαριού, καθώς και τον όγκο και τη δομή της ψίχας του άρτου. Επιπλέον, οι Weegels & Hamer (1992), Christophersen et al. (1997) και Wang et al. (2004a,b) απέδειξαν ότι οι ξυλανάσες διορθώνουν αποτελεσματικά τις αρνητικές επιπτώσεις των πεντοζανών κατά το σχηματισμό γλουτένης (gluten yield).

Ιδιαίτερη εφαρμογή στην αρτοποιία έχουν οι θερμοανθεκτικές ξυλανάσες, των οποίων η δράση διατηρείται και κατά τη διάρκεια του κλιβανισμού. Χαρακτηριστικά αναφέρεται η προσθήκη της ξυλανάσης από τον *Thermotoga maritima* (Maheshwari et al. 2000, Jiang et al. 2005a, Jiang et al. 2008), προσθήκη 120 ppm της οποίας αύξησε τον ειδικό όγκο του άρτου κατά 60.3%, ενώ παράλληλα βελτίωσε τη δομή και υφή της ψίχας (Jiang et al. 2005a). Αρκετοί ερευνητές που έχουν εστιάσει στη διερεύνηση του μηχανισμού της δράσης των ξυλανασών, απέδειξαν την απελευθέρωση υψηλού μοριακού βάρους υδατοδιαλυτών αραβινοξυλανών. Η απόδοση των ξυλανασών κατά την αρτοποιία εξαρτάται σε μεγάλο βαθμό από τη δράση τους στα υποστρώματα των WE-AX (εκχυλίσιμες αραβινοξυλάνες) και των WU-AX (μη εκχυλίσιμες αραβινοξυλάνες). Η ικανότητα των ενζύμων να υδρολύουν τα αντίστοιχα αδιάλυτα ή διαλυτά υποστρώματα και περαιτέρω τα απελευθερωνόμενα κλάσματά τους διαφέρει εξαρτώμενη από το υπόστρωμα (μη προσβασιμότητα, χημική σύσταση, κλπ.) και τα χαρακτηριστικά του ενζύμου. Σε σχετικές μελέτες έχει βρεθεί ότι οι ξυλανάσες που υδρολύουν τις WU-AX, προκαλώντας μείωση του ποσοστού των WU-AX (που επηρεάζουν αρνητικά τη διατήρηση των αερίων και επομένως και τη διόγκωση του άρτου) και αύξηση του ποσοστού των διαλυτοποιημένων (υψηλού μοριακού βάρους) αραβινοξυλανών, ενώ έχοντας παράλληλα χαμηλή επιλεξιμότητα προς τις WE-AX και τις διαλυτοποιημένες AX, βελτιώνουν τα ποιοτικά χαρακτηριστικά του ζυμαριού και του άρτου (Gruppen et al. 1993, Courtin et al. 1999, 2001, Courtin & Delcour 2001, Courtin & Delcour 2002, Romanowska et al. 2003). Ειδικότερα οι διαλυτοποιημένες αραβινοξυλάνες δεσμεύουν νερό στο ζυμάρι, και ως εκ τούτου μειώνουν τη σκληρότητά του, ενώ

επιπροσθέτως, κατά τη διάρκεια της ζύμωσης και της διόγκωσης κατά τον κλιβανισμό ενισχύουν τη σταθερότητα των υγρών μεμβρανών και της αφρώδους δομής του ζυμαριού, αυξάνοντας το ιξώδες της υδατικής φάσης του ζυμαριού. Ως αποτέλεσμα αυτών, η διόγκωση που συμβαίνει κατά το αρχικό στάδιο του ψησίματος επιμηκύνεται και το ζυμάρι διατηρεί το βέλτιστο όγκο του για περισσότερο χρόνο, συμβάλλοντας στην αύξηση του όγκου του άρτου και τη δημιουργία πιο λεπτής, μαλακής και ομοιογενούς ψίχας (Rouau 1993, Courtin et al. 1999, 2001). Σε αντίθεση με τα παραπάνω, οι ξυλανάσες που υδρολύουν τις WE-AX ή τις διαλυτοποιημένες αραβινοξυλάνες, επιφέρουν ελάχιστη ή και καμία βελτίωση στα ποιοτικά χαρακτηριστικά του άρτου (Courtin et al. 1999, 2001). Χαρακτηριστικά αναφέρεται η έρευνα των Gruppen et al. (1993) οι οποίοι χρησιμοποίησαν απομονωμένες ξυλανάσες από τον *Aspergillus awamori*, όπου ανάλογα με την ικανότητά τους να υδρολύουν τις WU-AX και WE-AX είχαν και διαφορετική επίπτωση στον όγκο του άρτου.

Η επίδραση της προσθήκης ξυλανάσης στα χαρακτηριστικά του άρτου εξαρτάται φυσικά και από το επίπεδο προσθήκης της. Τα παραπάνω θετικά αποτελέσματα προκύπτουν, όταν χρησιμοποιούνται βέλτιστες δόσεις του ενζύμου. Η υπερδοσολογία όμως (ανεξάρτητα από τη δράση της προς κάθε κλάσμα AX) λόγω της εκτεταμένης υποβάθμισης του πληθυσμού AX, καταστρέφει την ικανότητα δέσμευσης νερού των αραβινοξυλανών και έχει ως αποτέλεσμα το σχηματισμό κολλώδους ζυμαριού και ποιοτικά υποβαθμισμένου προϊόντος (μικρού όγκου, με ανεπαρκές χρώμα κρούστας, ανεπαρκή δομή και χρώμα ψίχας και ανομοιογενή κατανομή των κυψελίδων αέρα), όπως προκύπτει από τα αποτελέσματα των McCleary et al. (1986), Rouau et al. (1994), Hilhorst et al. (1999) και Courtin et al. (1999, 2001).

Πολλοί ερευνητές συνέκριναν τη δράση εμπορικών σκευασμάτων, διηθημάτων και καθαρισμένης (purified) ξυλανάσης. Γενικά τα αποτελέσματα της εφαρμογής εξαρτώνται εκτός από το χρησιμοποιούμενο επίπεδο του ενζύμου, όπως αναφέρθηκε προηγουμένως, και από το επίπεδο καθαρότητας, την παρουσία άλλων ενζύμων, κλπ. Ειδικότερα, οι Rouau (1993), Rouau et al. (1994), Sahlstrom & Brathen (1996) και Petit-Benvegnen et al. (1998) χρησιμοποίησαν εμπορικό ενζυμικό σκεύασμα (Grindamyl S 100) που περιείχε ξυλανάσες, καθώς και καθαρισμένες ξυλανάσες από το Grindamyl S 100 και διαπίστωσαν ότι ο άρτος είχε βελτιωμένα και ομοιόμορφα ποιοτικά χαρακτηριστικά. Η προσθήκη διηθήματος ξυλανάσης και καθαρισμένου ενζύμου (Laurikainen et al. 1998, Camacho & Aguilar 2003) έδειξε ότι και οι δύο μορφές ενζύμου βελτιώνουν τον όγκο του άρτου. Η καθαρισμένη ξυλανάση, όμως, προκάλεσε 30% μεγαλύτερη διόγκωση συγκριτικά με το

διήθημα/εκχύλισμα. Σχετικά με την καθαρότητα του ενζύμου, έχει αποδειχθεί ότι το πιο καθαρό ένζυμο είναι πιο αποτελεσματικό (και σε μικρότερη ποσότητα) σε σύγκριση με τα ακατέργαστα ή μερικώς καθαρισμένα ένζυμα, αλλά αυξάνει το τελικό κόστος παραγωγής.

Από μελέτες επίδρασης εμπορικών σκευασμάτων ενζύμων (που αποτελούνται από αμυλάση, ξυλανάση, λιπάση και οξειδάση της γλυκόζης), μεμονωμένων και σε συνδυασμούς, καθώς και εργαστηριακά σχεδιασμένων μιγμάτων αμυλάσης και/ή ξυλανάσης, αποδείχθηκε ότι όλα τα ένζυμα συνέβαλαν στο μαλάκωμα του ζυμαριού αμέσως μετά την ανάμιξη και περαιτέρω κατά τη διάρκεια της ανάπαυσης, οι ξυλανάσες όμως είναι εκείνες που προκάλεσαν τις κυριότερες αλλαγές. Επίσης, η προσθήκη ενζύμου μείωσε σημαντικά το χρόνο ζύμωσης, ενώ ο άρτος είχε βελτιωμένο όγκο, μεγαλύτερη ένταση αρώματος και μαλακότερη υφή. Τέλος, όλα τα ένζυμα καθυστέρησαν τη σκλήρυνση της ψίχας του άρτου, σε διαφορετικό ποσοστό ανάλογα με το είδος του ενζύμου (Martínez-Anaya & Jimenez 1997a,b και 1998, Jimenez & Martinez-Anaya 2001).

Βελτίωση στον όγκο του άρτου έχει επίσης παρατηρηθεί και σε μελέτες α-αμυλάσης-ξυλανάσης (Haseborg & Himmelstein 1988b, Rouau et al. 1994, Laurikainen et al. 1997, Hammond 1994, Koyuncu et al. 2008), πρωτεϊνάσης/ξυλανάσης (Prabhasankar et al. 2004), ξυλανάσης/οξειδάσης της γλυκόζης (Mutsaers 1997, Martinez-Anaya & Jimenez 1998, Primo-Martin et al. 2005), ξυλανάσης-υπεροξειδάσης (Hilhorst et al. 1999, 2002) και ξυλανάσης/κυτταρινολυτικών ενζύμων (Hille & Schooneveld-Bergmans 2004), από τις οποίες είναι σαφής η συνεργιστική δράση των ενζύμων. Ειδικότερα στην τελευταία περίπτωση, η συνεργιστική δράση που παρατηρήθηκε πιθανώς οφείλεται στην ενζυμική αφαίρεση της κυτταρίνης που προωθεί την προσβασιμότητα των WU-AX των κυτταρικών τοιχωμάτων από τις ξυλανάσες. Συνεργιστική δράση όμως έχει επίσης παρατηρηθεί για ένζυμα με ανάλογη δράση. Ειδικότερα οι Hille & Schooneveld-Bergmans (2004) μελέτησαν τη συνέργεια μεταξύ ξυλανασών από βακτήρια και μύκητες και την επίδρασή τους στα χαρακτηριστικά του ζυμαριού, τον όγκο του άρτου και την υφή της ψίχας.

Αρκετοί ερευνητές επίσης έχουν ασχοληθεί με την ευεργετική δράση των ξυλανασών κατά την παλαίωση του άρτου (antistaling). Η επίπτωσή τους στο ρυθμό παλαίωσης του άρτου δεν έχει οριστικά τεκμηριωθεί ακόμη, αφού τα δημοσιευμένα δεδομένα είναι αντικρουόμενα. Ειδικότερα, αν και οι ξυλανάσες θεωρείται ότι γενικά επιβραδύνουν το ρυθμό παλαίωσης του άρτου (Martínez-Anaya & Jimenez 1997a,b, Haros et al. 2002, Keskin et al. 2004, Caballero et al. 2007), μερικοί ερευνητές ανέφεραν επιτάχυνση στο ρυθμό παλαίωσης με την προσθήκη ξυλανασών (Bollaín et al. 2005, Gambaro et al. 2006). Τέτοιες

αντιφάσεις στα αποτελέσματα μπορεί να οφείλονται στη χρήση υψηλότερων δόσεων καθώς και στη χρήση ξυλανασών με διαφορετική δράση.

Άλλη μια κατηγορία άρτου στην οποία έχει μελετηθεί η δράση των ξυλανασών είναι τα κατεψυγμένα ζυμάρια. Εκτός από τη μικροβιολογική σταθερότητα, ένα σημαντικό πρόβλημα με τα κατεψυγμένα ζυμάρια μπορεί να είναι ότι, μετά από παρατεταμένη αποθήκευση, χάνουν την οργανοληπτική ποιότητα λόγω αποβολής ορού (syruing) του ζυμαριού. Αυτό το φαινόμενο σχετίζεται με εκτεταμένη αποδόμηση των αραβινοξυλανών από τις ξυλανάσες του αλεύρου σίτου. Στη συγκεκριμένη περίπτωση η δράση των ξυλανασών είναι ανεπιθύμητη και για αυτό επιλέγονται άλευρα με χαμηλή δράση ενδογενών ξυλανασών ή εισάγονται παρεμποδιστές ξυλανασών (Gys et al. 2003, Courtin et al. 2005, Courtin et al. 2006, De Schryver et al. 2008) .

Πίνακας 4.8. Βιβλιογραφική ανασκόπηση εργασιών που αφορούν στην εφαρμογή ξυλανασών ή μελέτη δράσης ενδογενών ξυλανασών σε άρτο (από λευκό άλευρο σίτου) ή λευκό άλευρο σίτου

Προέλευση (Μικροοργανισμός)	Χαρακτηριστικά (Εμπορική ονομασία/Καθαρότητα)	Αναφορά
<i>Aspergillus Aculeatus</i>		Courtin et al. 2001
<i>Aspergillus niger</i>	Fermizyme H400E, HL200, FFCP	Martinez-Anaya & Jimenez 1997α,β, 1998 Jimenez & Martinez-Anaya 2001 Harada et al. 2000 Indrani et al. 2003 Harada et al. 2005
<i>Aspergillus niger</i> (var. <i>Awamori</i>)		Maat et al. 1992 Gruppen et al. 1993 Maheshwari et al. 2000
<i>Aspergillus oryzae</i>	Veron HE, Veron ST Shearzyme 500 L	Haseborg & Himmelstein 1988 Courtin et al. 2001 Haros et al. 2002 Wang et al. 2004
<i>Aspergillus spp.</i>	Grindamyl S 100/Καθαρισμένη ξυλανάση Grindamyl S 100 Grindamyl S 100 Grindamyl S 100/ 3 Καθαρισμένες ξυλανάσες Uneks Co.	Rouau 1993 Rouau et al. 1994 Sahlstrom & Brathen 1996 Petit-Benvegnen et al. 1998 Koyuncu et al. 2008
<i>Aspergillus sp.</i> FP-470	Ακατέργαστο διήθημα Καθαρισμένη ξυλανάση	Camacho & Aguilar 2003

<i>Bacillus halodurans</i>		Collins et al. (2006)
<i>Bacillus subtilis</i>	EDS91 Belase B210	Courtin et al. 1999, 2001 Selinheimo et al. 2006 Collins et al. 2006
<i>Humicola insolens</i>	Pentopán 500	Martinez-Anaya & Jimenez 1997α,β, 1998 Jimenez & Martinez- Anaya 2001
Μίγμα <i>Trichoderma reesei</i> - <i>Bacillus sp.</i>	Biobake Καθαρισμένη ξυλανάση	Redgwell et al. 2001
<i>Cryptococcus adeliae</i>		Collins et al. (2006)
<i>Pseudoalteromonas haloplanktis</i>		Collins et al. (2006)
<i>Thermomyces lanuginosus</i>	Pentopan mono BG	Collar et al. 2000 Bollain et al. 2005 Bollain et al. 2006 Selinheimo et al. 2006 Caballero et al. 2007
<i>Thermomyces lanuginosus</i> CAU44		Jiang et al. 2005b
<i>Thermotoga maritima</i>		Maheshwari et al. 2000 Jiang et al. 2005a Jiang et al. 2008
<i>Trichoderma longibrachiatum</i>		Baez-Vasquez & Schofield 1993 Harada, et al. 2000 Harada, et al. 2005
<i>Trichoderma reesei</i>	Διήθημα, Καθαρισμένη Biobake CX160	Laurikainen et al. 1998 Hilhorst et al. 1999, 2002
Μίγμα <i>Trichoderma reesei</i> - <i>Bacillus sp.</i>	Biobake Καθαρισμένη ξυλανάση	Redgwell et al. 2001
<i>Trichoderma viride</i>		McCleary et al. 1986 Wang et al. 1998
Ενδογενή ενζυμα σίτου		Cleemput et al. 1997 Cleemput et al. 1995 Dornez et al. 2007

Διάφοροι ερευνητές επίσης έχουν ασχοληθεί με την εφαρμογή ξυλανασών σε απομονωμένες αραβινοξυλάνες (Πίνακας 4.9). Ειδικότερα οι Moers et al. μελέτησαν την εκλεκτικότητα υποστρώματος (εκχυλίσιμες ή μη αραβινοξυλάνες) έξι ξυλανασών (από *B.subtilis*, *A. Aculeatus*, *Trichoderma longibrachiatum*, *Aspergillus niger*, *T. Longibrachiatum* και *Trichoderma Viride*) σε απομονωμένες αραβινοξυλάνες του ενδοσπερμίου σίτου. Η μοναδική αναφορά σε αραβινοξυλάνες από το πύτυρο σίτου είναι του Beaugrand et al. (2004), ο οποίος χρησιμοποίησε ξυλανάση από τον *Thermobacillus xylanilyticus*.

Πίνακας 4.9. Βιβλιογραφική ανασκόπηση εργασιών που αφορούν στην εφαρμογή ξυλανασών σε απομονωμένες αραβινοξυλάνες από ενδοσπέρμιο και πίτυρο σίτου.

Προέλευση (Μικροοργανισμός)	Χαρακτηριστικά (Εμπορική ονομασία/Καθαρότητα)	Αναφορά
Ενδοσπέρμιο		
<i>Aspergillus aculeatus</i>		Courtin & Delcour 2001 Moers et al. 2005
<i>Aspergillus niger</i>		Moers et al. 2005
<i>Aspergillus spp.</i>	Grindamyl S 100 3 Καθαρισμένες ξυλανάσες	Petit-Benvegnen et al. 1998
<i>Bacillus subtilis</i>		Courtin & Delcour 2001 Moers et al. 2005
<i>Trichoderma longibrachiatum</i>		Moers et al. 2005
<i>Trichoderma viride</i>		Wang et al. 1998 Moers et al. 2005
Πίτυρο		
<i>Thermobacillus xylanilyticus</i>		Beaugrand et al. 2004

Αντιστοίχως, θετική επίδραση στο ζυμάρι καθώς και στα χαρακτηριστικά του άρτου έχει παρατηρηθεί με προσθήκη ξυλανασών σε άρτο υψηλής περιεκτικότητας σε διαιτητικές ίνες (με ολικής άλεσης άλευρα ή εμπλουτισμένα με πηγές/προϊόντα ινών). Σε αυτές τις περιπτώσεις, οι ξυλανάσες συνήθως διορθώνουν τις αρνητικές επιπτώσεις στα ποιοτικά χαρακτηριστικά του άρτου και του ζυμαριού, που προκαλούνται από την προσθήκη πηγών/προϊόντων διαιτητικών ινών. Έτσι, οι Trogh et al. (2004, 2006) αφού υποκατέστησαν 40 % του αλεύρου σίτου με άλευρο κριθαριού, διαπίστωσαν ότι ο άρτος είχε υποβαθμισμένα ποιοτικά και οργανοληπτικά χαρακτηριστικά. Με την προσθήκη ξυλανάσης όμως προέκυψε άρτος με αυξημένο όγκο και αυξημένα ποσοστά διαλυτών αραβινοξυλανών.

Σε μελέτες που έχουν γίνει σε άρτο με άλευρο ολικής άλεσης σίκαλης (Autio et al. 1996, Harkonen et al. 1995), όπου οι αραβινοξυλάνες είναι καθοριστικές για την ποιότητα του προϊόντος, οι αλλαγές που προκαλούνται από την ενζυμική κατεργασία έχουν ως αποτέλεσμα την παραγωγή πιο μαλακού ζυμαριού και πιο διογκωμένου άρτου. Παράλληλα σε όλες τις περιπτώσεις, εκτός από τη βελτίωση της υφής, οι ξυλανάσες μεταβάλλουν και το κλάσμα διαλυτών/αδιάλυτων ινών, επηρεάζοντας τη διατροφική αξία του προϊόντος. Οι Romapowska et al. (2003) χρησιμοποίησαν ξυλανάση από τον *Aspergillus niger* IBT-90 σε άρτο σίτου-σίκαλης και ολικής άλεσης. Η προσθήκη της συγκεκριμένης ξυλανάσης είχε ως αποτέλεσμα τη βελτίωση της ζύμωσης και την αύξηση του όγκου του άρτου σε όλες τις περιπτώσεις, ενώ παράλληλα οδήγησε σε βελτίωση του πορώδους της ψίχας, αύξηση της υγρασίας του άρτου και επέκταση της διάρκειας ζωής του προϊόντος.

Αντίστοιχα αποτελέσματα έχουν βρεθεί και σε μελέτες σε άρτους εμπλουτισμένους με διαιτητικές ίνες (Haseborg & Himmelstein 1988b, Krishnarau & Hoseneey 1994, Laurikainen et al. 1998, Haros et al. 2002, Katina et al. 2006), όπου η εφαρμογή ξυλανασών προκάλεσε βελτίωση στο χειρισμό του ζυμαριού, αύξηση του όγκου και μείωση της σκληρότητας της ψίχας των άρτων. Οι Katina et al. (2006) μελέτησαν την επίδραση μίγματος εμπορικού σκευάσματος ξυλανάσης, α-αμυλάσης και λιπάσης σε άρτο με 20% πίτυρο σίτου, με ή χωρίς προζύμι. Ο όγκος του άρτου σε όλες τις περιπτώσεις με το ένζυμο παρέμεινε ίδιος ή/και βελτιώθηκε, ενώ παράλληλα καθυστέρησε και η παλαίωση του άρτου και ειδικότερα η σκλήρυνση της ψίχας και η αναδιαμόρφωση του αμύλου. Τα ένζυμα ήταν πιο αποτελεσματικά στην περίπτωση του άρτου με προζύμι. Οι Laurikainen et al. (1998) χρησιμοποίησαν μερικώς καθαρισμένη ξυλανάση από τον *Aspergillus foetidus* και παρατήρησαν διαφορά στην απορρόφηση νερού του ζυμαριού (μείωση από 72 έως 64%), έτσι ώστε τα ζυμάρια που περιείχαν ξυλανάση να απαιτούν λιγότερο νερό, προκειμένου να έχουν παρόμοια συνεκτικότητα χωρίς να είναι κολλώδη. Επίσης, η προσθήκη ενζύμου προκάλεσε σημαντικές διαφορές στο κολλώδες του ζυμαριού. Αντιθέτως, οι Laurikainen et al. (1997) βρήκαν ότι μίγμα ημικυτταρινασών είναι πιο αποτελεσματικό από ότι μια καθαρισμένη ξυλανάση από τον *Trichoderma resei* στη διόγκωση του άρτου εμπλουτισμένου με ίνες.

Τέλος αξίζει να αναφερθεί η μελέτη επίδρασης της προσθήκης αμυλάσης ή μίγματος αμυλάσης και ξυλανάσης στην υφή brown pan άρτου, όπου παρατηρήθηκε συνεργιστική δράση μεταξύ αμυλάσης και ξυλανάσης, αφού προσθήκη του μίγματος είχε ως αποτέλεσμα μεγαλύτερη αύξηση της αποδοχής των καταναλωτών και μείωση του ρυθμού παλαίωσης, συγκριτικά με εκείνα που επιτυγχάνονται με εφαρμογή κάθε ενζύμου χωριστά (Gambaro et al. 2006).

Αναφορικά με την επίδραση των ξυλανασών στο ρυθμό παλαίωσης, όπως αναφέρθηκε και προηγουμένως, για την περίπτωση άρτου πλούσιου σε διαιτητικές ίνες, έχει αποδειχθεί επιβράδυνση του ρυθμού παλαίωσης από τους Haros et al. (2002), Romanowska et al. (2003), Gambaro et al. (2006) και Katina et al. (2006).

Πίνακας 4.10 Βιβλιογραφική ανασκόπηση εργασιών που αφορούν στην εφαρμογή ξυλανασών σε άρτο με υψηλή περιεκτικότητα διαιτητικών ινών.

Πηγή/Προϊόν διαιτητικών ινών	Προέλευση (Μικροοργανισμός)	Χαρακτηριστικά (Εμπορική ονομασία/ Καθαρότητα)	Αναφορά
Σίκαλη			
Εξευγενισμένο	<i>Trichoderma reesei</i>		Autio et al. 1996
	<i>Thermomyces</i>	Pentopan 200 MG	Graber 1999

		<i>Ianuginosus</i>		
Μίγμα σίτου-σικάλης		<i>Aspergillus niger</i>		Romanowska et al. 2003
Ολικής άλεσης		Ενδογενείς ξυλανάσες		Boskov Hansen et al. 2002
Πίτυρο	5%	<i>Trichoderma reesei</i>	Διήθημα, Καθαρισμένη	Laurikainen et al. 1998
	18%	<i>Bacillus subtilis</i> <i>Aspergillus niger</i> <i>Hypocrea jecorina</i>	Grindamyl H 640 Veron 191 Ecorulp TX200A Ecorulp TX200C	Damen et al. 2012a Damen et al. 2012b
Σίτος				
Ολικής άλεσης		<i>Aspergillus oryzae</i>	Veron HE Veron ST	Haseborg & Himmelstein 1988
		<i>Aspergillus niger</i>		Romanowska et al. 2003
		<i>Thermomyces lanuginosus</i>	Pentopan Mono BG	Gambaro et al. 2006
		<i>Aspergillus foetidus</i>		Shah et al. 2006
			Amano (προμηθευτής)	Van Hung et al. 2007
		<i>Bacillus subtilis</i>	Powerbake 7500 Grindamyl H 640	Almeida & Chang 2012
		<i>Bacillus subtilis</i> <i>Aspergillus niger</i> <i>Hypocrea jecorina</i>	Grindamyl H640 Veron 191 Ecorulp TX200A Ecorulp TX200C	Damen et al. 2012a Damen et al. 2012b
Πίτυρο	7%	<i>Thermomyces lanuginosus</i>	Pentopan Mono BG	Gambaro et al. 2006
	20%	<i>Thermomyces lanuginosus</i>	Pentopan mono BG	Katina et al. 2006
	18%	<i>Bacillus subtilis</i> <i>Aspergillus niger</i> <i>Hypocrea jecorina</i>	Grindamyl H640 Veron 191 Ecorulp TX200A Ecorulp TX200C	Damen et al. 2012a Damen et al. 2012b
Πεντόζες				Krishnarau & Hosenev 1994
Λοιπά				
40% άλευρο κριθαριού		<i>Bacillus subtilis</i>		Trogh et al. 2004 Trogh et al. 2006
10, 20, 30% BSGs		<i>Thermomyces lanuginosus</i>	Pentopan mono BG	Stojceska & Paul Ainsworth 2008
22% Μικροκρυσταλλική κυτταρίνη		<i>Aspergillus oryzae</i>	Veron HE Veron ST	Haseborg & Himmelstein 1988

Πίνακας 4.11 Βιβλιογραφική ανασκόπηση εργασιών που αφορούν στην εφαρμογή ξυλανασών σε πηγές/προϊόντα διαιτητικών ινών.

Προέλευση (Μικροοργανισμός)	Χαρακτηριστικά (Εμπορική ονομασία/Καθαρότητα)	Αναφορά
Πίτυρο σίτου		
<i>Aspergillus aculeatus</i>	Shearzyme 500L	Maes et al. 2004
<i>Bacillus subtilis</i>	Grindamyl H640	Maes et al. 2004 Swennen et al. 2006
<i>Thermobacillus xylanilyticus</i>	Καθαρισμένη GH 10, GH 11	Benamrouche et al. 2002 Beaugrand et al. 2004
Πίτυρο και κέλυφος <i>Triticum aestivum</i> ssp. <i>Spelta</i> (spelt)		
<i>Aspergillus aculeatus</i>	Shearzyme 2	Escarnot et al. 2012
<i>A. aculeatus</i> + <i>T. reesei</i>	Shearzyme Plus	
<i>Bacillus subtilis</i>	Belfeed B MP Grindamyl Powerbake 900	
<i>Humicola insolens</i>	Ultraflo L	
<i>Thermomyces lanuginosus</i>	Pentopan Mono BG	
<i>Trichoderma reesei</i>	Rohalase WL	
Σίκαλη (Πίτυρο και άλευρο ολικής άλεσης)		
<i>Aspergillus oryzae</i>	Bio-Feed Wheat	Andersson et al. 2003
<i>Bacillus subtilis</i>	Grindamyl H 640	
<i>Humicola insolens</i>	Bio-Feed Plus	
<i>Trichoderma reesei</i>		Harkonen et al. 1995
Ενδογενείς		Salmenkallio-Marttila & Hovinen 2005
Κελύφη Ψύλλιου		
<i>Aspergillus sp.</i>	Viscozyme L	Yu et al. 2003
<i>Aspergillus aculeatus</i>	Shearzyme 500L	Van Craeyveld et al. 2009
<i>Bacillus sp.</i>	Pulpzyme HC	
<i>Bacillus subtilis</i>	Grindamyl H640 Ecopulp TX-200A	

Τέλος αξίζει να αναφερθεί ότι εκτός από τον άρτο, οι ξυλανάσες έχουν χρησιμοποιηθεί και στην παρασκευή μπισκότων και κράκερ (Craig et al. 1992, Slade et al. 1994) και σε μακαρόνια. Συγκεκριμένα για την περίπτωση των μακαρονιών, οι Ingelbrecht et al. 2001 χρησιμοποίησαν ενδοξυλανάσες από τα στελέχη *Bacillus subtilis* και *Aspergillus niger*, και οι Brijis et al. 2004 από τα στελέχη *Bacillus subtilis* και *Aspergillus aculeatus*. Στην περίπτωση των μπισκότων/κράκερ η ενζυμική αποδόμηση των πεντοζανών, που δεσμεύουν μεγάλες ποσότητες νερού, μειώνει την απορρόφηση υγρασίας κατά την αποθήκευση και βελτιώνει την υφή τους.

5. Πειραματικό Μέρος

5.1 Σκοπός

Τη σημερινή εποχή στις ανεπτυγμένες χώρες η πρόσληψη διαιτητικών ινών είναι κατά μέσο όρο κάτω από το συνιστώμενο όριο λήψης (23-25 g ινών/ημέρα). Για το λόγο αυτό γίνονται προσπάθειες ανάπτυξης τροφίμων εμπλουτισμένων με διαιτητικές ίνες, και ειδικότερα αρτοσκευασμάτων. Το θέμα αυτό σχετίζεται άμεσα με το αντικείμενο της παρούσας διατριβής που ήταν ο εμπλουτισμός δύο αρτοσκευασμάτων, κυρίως κέικ και δευτερευόντως άρτου ελεύθερου γλουτένης. Από το σύνολο των αρτοσκευασμάτων, το κέικ επιλέχθηκε ως τρόφιμο ιδιαίτερα αρεστό στους καταναλωτές, επομένως και ιδανικός φορέας βιοδραστικών συστατικών, ενώ ο άρτος ελεύθερος γλουτένης επιλέχθηκε λόγω της ιδιαίτερα μειωμένης πρόσληψης ινών των ασθενών με κοιλιοκάκη. Ο σκοπός της παρούσας διδακτορικής διατριβής ήταν η μελέτη της επίδρασης της προσθήκης διάφορων πηγών διαιτητικών ινών στα ποιοτικά και διατροφικά χαρακτηριστικά και στη διατηρησιμότητα των συγκεκριμένων αρτοσκευασμάτων, και ακολούθως η βελτιστοποίηση των αντίστοιχων εμπλουτισμένων προϊόντων. Ιδιαίτερη βαρύτητα δόθηκε στην παραγωγή κέικ υψηλής ποιότητας με χρήση φτηνών πηγών διαιτητικών ινών, και ενσωμάτωσή τους μετά από ενζυμική επεξεργασία. Σε όλες τις περιπτώσεις, η προγενέστερη έρευνα στα επιμέρους αντικείμενα ήταν περιορισμένη.

Αρχικά πραγματοποιήθηκε συλλογή της υπάρχουσας βιβλιογραφίας και, με βάση τα βιβλιογραφικά δεδομένα, καθορίστηκαν οι βασικοί άξονες της έρευνας. Ειδικότερα με προκαταρκτικά πειράματα που πραγματοποιήθηκαν επιλέχθηκαν οι βέλτιστες συνθήκες της πειραματικής διαδικασίας (επιλογή υλικών και αναλογίας τους στη συνταγή, μέθοδος ανάμιξης, χρόνος-θερμοκρασία κλιβανισμού, συνθήκες και χρόνος αποθήκευσης) και μελετήθηκε η επαναληψιμότητα του πειράματος για την παρασκευή ικανού αριθμού δειγμάτων με ομοιόμορφα χαρακτηριστικά. Επιπροσθέτως, με βάση τις βιβλιογραφικές αναφορές επιλέχθηκαν οι πηγές διαιτητικών ινών και τα κατάλληλα ένζυμα για την επεξεργασία τους, και καθορίστηκαν τα επίπεδα και ο τρόπος προσθήκης/χρήσης τους. Προσπάθεια έγινε να μελετηθούν όλες οι βασικές πηγές διαιτητικών ινών σιτηρών, οι οποίες δεν είχαν ως τότε μελετηθεί εκτενώς, και να προκύψει αφετέρου μια ολοκληρωμένη μελέτη για την αξιοποίηση των πηγών διαιτητικών ινών στον εμπλουτισμό των αρτοσκευασμάτων.

Αρχικά διενεργήθηκε πειραματικός προσδιορισμός των λειτουργικών ιδιοτήτων των απομονωμένων διαιτητικών ινών των επιλεγμένων σιτηρών (σιτάρι, καλαμπόκι, βρώμη και κριθάρι). Ακολούθως διεξήχθησαν τα πειράματα παρασκευής των εμπλουτισμένων με ίνες

αρτοσκευασμάτων: α) κέικ με 10-50% υποκατάσταση του αλεύρου σίτου με απομονωμένες διαιτητικές ίνες (από σιτάρι, καλαμπόκι, βρώμη και κριθάρι) ή με πίτυρα (από σιτάρι, βρώμη και ρύζι), και β) άρτου ελεύθερου γλουτένης με προσθήκη 3-9% απομονωμένων διαιτητικών ινών (από σιτάρι, καλαμπόκι, βρώμη και κριθάρι). Η επίδραση των παραπάνω πηγών διαιτητικών ινών στα χαρακτηριστικά των φρέσκων αρτοσκευασμάτων καθώς και η μεταβολή τους κατά τη διάρκεια της αποθήκευσης ελέγχθηκε σε σύγκριση με τα δείγματα αναφοράς (τυφλά δείγματα), τα οποία παρασκευάστηκαν σύμφωνα με τη βασική συνταγή και αποθηκεύτηκαν κάτω από τις ίδιες συνθήκες με τα υπόλοιπα δείγματα. Στα προαναφερθέντα αρτοσκευάσματα μελετήθηκαν τα ρεολογικά και θερμικά χαρακτηριστικά της ζύμης/ζυμαριού, καθώς και τα ποιοτικά χαρακτηριστικά (όγκος, ενεργότητα νερού, χρώμα, πορώδες, υγρασία, υφή) και η διατηρησιμότητα των τελικών προϊόντων. Τα χαρακτηριστικά της ζύμης και η μεταβολή τους κατά την ενσωμάτωση πηγών διαιτητικών ινών έχουν ιδιαίτερη σημασία καθώς αυτά είναι καθοριστικά για το χειρισμό της ζύμης κατά την παραγωγική διαδικασία, αλλά και επηρεάζουν τα ποιοτικά χαρακτηριστικά των τελικών εμπλουτισμένων αρτοσκευασμάτων τα οποία είναι άμεσα εκτιμώμενα από τους καταναλωτές και παίζουν καθοριστικό ρόλο για την αποδοχή τους. Στην περίπτωση του άρτου ελεύθερου γλουτένης πραγματοποιήθηκε, επιπροσθέτως, βελτιστοποίηση του εμπλουτισμένου με ίνες καλαμποκιού προϊόντος. Τέλος, και για τα δύο αρτοσκευάσματα πραγματοποιήθηκε οργανοληπτική αξιολόγηση των παραγόμενων δειγμάτων, προκειμένου να προσδιοριστούν και να καταγραφούν όλα εκείνα τα χαρακτηριστικά που καθορίζουν την ποιότητα των αρτοσκευασμάτων και κατά συνέπεια την αποδοχή τους από τους καταναλωτές.

Με βάση τα προηγούμενα αποτελέσματα, η ενσωμάτωση πιτύρου βρώμης και ρυζιού υποβάθμισε τα ποιοτικά χαρακτηριστικά των αντίστοιχων κέικ. Λόγω όμως του ότι τα πίτυρα ρυζιού και βρώμης αποτελούν πηγές διαιτητικών ινών χαμηλού κόστους, με οικεία γεύση στους καταναλωτές, η προσθήκη τους διερευνήθηκε περαιτέρω. Ειδικότερα, τα πίτυρα βρώμης και ρυζιού επεξεργάστηκαν με διαφορετικά επίπεδα (0, 70 and 700 ppm) εμπορικής ενδοξυλανάσης και ενσωματώθηκαν σε κέικ σε ποσοστό 30% (υποκαθιστώντας το άλευρο σίτου). Τα ένζυμα αυτά επιλέχθηκαν με σκοπό να επηρεάσουν τις ιδιότητες των πιτύρων και να περιορίσουν τις αρνητικές επιπτώσεις που προκαλεί η προσθήκη τους στο κέικ. Εξετάστηκε η επίδραση του ενζύμου στις λειτουργικές ιδιότητες, στη σύσταση και στη μικροδομή των πιτύρων (μετρήσεις σε ηλεκτρονικό μικροσκόπιο-SEM), καθώς και στην κατανομή του μοριακού βάρους των αραβινοξυλανών (HPSEC profiles) των πιτύρων. Επιπροσθέτως εξετάστηκε η επίδραση της προσθήκης επεξεργασμένων και μη πιτύρων στη

συμπεριφορά της ζύμης, στα ποιοτικά και οργανοληπτικά χαρακτηριστικά του κέικ και στη διατηρησιμότητά του (αλλαγές στις φυσικοχημικές, θερμικές και οργανοληπτικές ιδιότητες των κέικ). Ειδικότερα, η επιμήκυνση του χρόνου αποθήκευσης είναι ιδιαίτερα σημαντική για τα αρτοσκευάσματα, λόγω του γενικώς μικρού χρόνου ζωής τους και του οικονομικού αντίκτυπου της καταστροφής των ληγμένων προϊόντων. Η προσθήκη ενζυμικά επεξεργασμένων πιτύρων σε κέικ δεν είχε δοκιμαστεί μέχρι σήμερα.

Εξαιτίας του γεγονότος ότι η προσθήκη διαιτητικών ινών βρώμης (επεξεργασμένου πιτύρου και απομονωμένων ινών) επέδειξε τα καλύτερα αποτελέσματα, εφαρμόστηκε το στατιστικό εργαλείο μεθοδολογίας επιφανειών απόκρισης (RSM), προκειμένου να προσδιοριστεί το ποσοστό προσθήκης των αντίστοιχων πηγών στο μίγμα της συνταγής, που οδηγεί σε κέικ με τα βέλτιστα χαρακτηριστικά. Τέλος μελετήθηκε η επίδραση των παραπάνω πηγών διαιτητικών ινών και του βέλτιστου μίγματος στον αναμενόμενο γλυκαιμικό δείκτη των κέικ (eGI), που αποτελεί ιδιαίτερα σημαντικό διατροφικό χαρακτηριστικό πλεονέκτημα.

Η εκπόνηση των πειραμάτων της παρούσας διατριβής πραγματοποιήθηκε στο Εργαστήριο Χημείας και Τεχνολογίας Τροφίμων, της Σχολής Χημικών Μηχανικών του ΕΜΠ.

5.2 Υλικά

5.2.1 Υλικά για την παρασκευή κέικ

Οι πρώτες ύλες που χρησιμοποιήθηκαν στα πειράματα παρασκευής κέικ ήταν οι εξής:

- Άλευρο μαλακού σίτου (λευκό), Τ.70% από τους κυλινδρόμυλους «Π. Δάκου» (Αυλώνας, Αττική) (14% υγρασία, 9.8% πρωτεΐνες, 0.52% τέφρα)
- Χημικοί διογκωτικοί παράγοντες:
 - Όξινο ανθρακικό νάτριο (NaHCO_3)
 - Δυσόξινο φωσφορικό ασβέστιο (MCP: $\text{Ca}(\text{H}_2\text{PO}_4)_2 \cdot \text{H}_2\text{O}$)
 - Όξινο πυροφωσφορικό νάτριο (SAPP: $\text{Na}_2\text{H}_2\text{P}_2\text{O}_7 \cdot \text{H}_2\text{O}$)

από τους κυλινδρόμυλους «Π. Δάκου» (Αυλώνας, Αττική)

- Κρυσταλλική ζάχαρη (EBZ, Λάρισα, Ελλάδα)
- Αυγά (φρέσκα, ολόκληρα)
- Σκόνη βανιλίνης (Merck GmbH, Darmstadt, Γερμανία)
- Πλήρες ΗΤST γάλα (Φάρμα ΦΑΓΕ, 3.5% λιπαρά)
- Σκόνη γάλακτος (Eriim, Latvia 97% ολικά στερεά, 35% στερεά πρωτεΐνης)
- Μαγειρικό λίπος (shortening) ζαχαροπλαστικής (Μινέρβα Α.Ε, Σχηματάρι, Ελλάδα)
- Ενζυμικό σκεύασμα ενδοξυλανάσης «Pentopan Mono BG» (2500 μονάδες ξυλανάσης/g) υπό μορφή σκόνης (Novo Nordisk, A/S, Denmark)

- Διαιτητικές ίνες
 - Σίτου (VITACEL 201, JRS GmbH, Germany)
 - Βρώμης (VITACEL 201, JRS GmbH, Germany)
 - Καλαμποκιού (Άστρον Χημικά Α.Ε., Ελλάδα)
 - Κριθαριού (Άστρον Χημικά Α.Ε., Ελλάδα)
- Πίτυρα σιτηρών
 - Βρώμης (Αλλατίνη Α.Ε., Ελλάδα)
 - Ρυζιού (AGRINO Α.Ε., Ελλάδα)
 - Σίτου (Άστρον Χημικά Α.Ε., Ελλάδα)

Τα χαρακτηριστικά των διαιτητικών ινών και των πιτύρων σιτηρών αναφέρονται στους Πίνακες 5.1 και 5.2 αντίστοιχα.

Πίνακας 5.1 Χαρακτηριστικά των διαιτητικών ινών.

Πηγή Ινών	Ίνες Σίτου	Ίνες Καλαμποκιού	Ίνες Βρώμης	Ίνες Κριθαριού
Υγρασία (g/100g)	5.83	8.35	6.27	5.73
Πρωτεΐνη (g/100g)	0.4	0.4	0.4	0.4
Τέφρα (g/100g)	0.8	2.4	2.31	2.3
Ολικές ίνες (g/100g)	97	97	97	97

Πίνακας 5.2 Χαρακτηριστικά των πιτύρων σιτηρών.

Πηγή Ινών	Πίτυρο Σίτου	Πίτυρο Βρώμης*	Πίτυρο Ρυζιού*
Υγρασία (g/100g)	8.5	9.3/ 7	10.2/ 7.5
Πρωτεΐνη (g/100g)	14.2	14.8/ 15.8	14.94/14.6
Τέφρα (g/100g)	5.4	2.7/ 3.3	8.47/ 8.5
Ολικές ίνες (g/100g)	42.7	15.2/ 36.1	20/ 47.4

* Οι πρώτες τιμές αποτελούν χαρακτηριστικά των πιτύρων που χρησιμοποιήθηκαν στη 2^η πειραματική σειρά και οι δεύτερες στις σειρές 4-8.

5.2.2 Υλικά για την παρασκευή άρτου ελευθέρου γλουτένης

Οι πρώτες ύλες που χρησιμοποιήθηκαν στα πειράματα παρασκευής άρτου ελεύθερου γλουτένης ήταν οι εξής:

- Άλευρο ρυζιού (Mediterranean Farm Α.Ε, Ελευσίνα, Ελλάδα) (12.8% υγρασία, 7.8% πρωτεΐνες, 0.68% τέφρα και 2% λιπαρά-ξηρή βάση)
- Άμυλο καλαμποκιού (ΧημικOTEχνική Α.Ε, Αθήνα, Ελλάδα)
- Κρυσταλλική ζάχαρη (EBZ, Λάρισα, Ελλάδα)

- Ιωδιούχο αλάτι (Κάλλας Α.Ε, Αθήνα, Ελλάδα)
- Στιγμαϊά ξηρή μαγιά αρτοποιίας (Γιώτης Α.Ε., Αθήνα, Ελλάδα)
- Ηλιέλαιο (Μινέρβα Α.Ε, Σχηματάρι, Ελλάδα)
- Υδροξυλοπροπυλομεθυλοκυτταρίνη- HPMC (Methocel, The Dow Company, Germany)
- Διαιτητικές ίνες
 - Σίτου (VITACEL 201, JRS GmbH, Germany)
 - Βρώμης (VITACEL 201, JRS GmbH, Germany)
 - Καλαμποκιού (Astron Chemicals S.A., Ελλάδα)
 - Κριθαριού (Astron Chemicals S.A., Ελλάδα).

Τα χαρακτηριστικά των διαιτητικών ινών αναφέρονται στον **Πίνακα 5.1**.

5.3 Πειραματική Διαδικασία

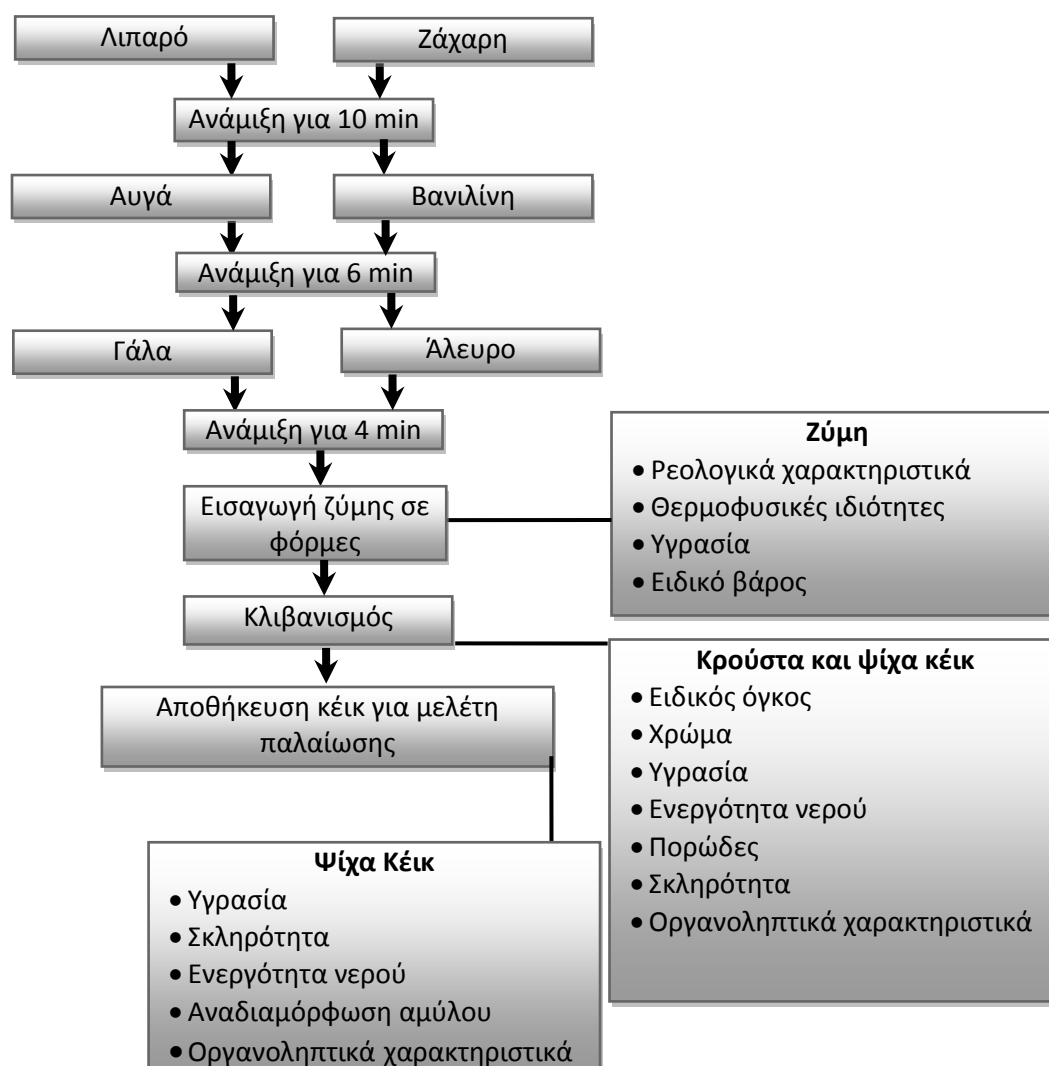
5.3.1 Παρασκευή Κέικ

Η πειραματική διαδικασία (**Σχήμα 5.1**) περιελάμβανε αρχικά τη ζύγιση των πρώτων υλών (σε ποσότητες σύμφωνα με τον **Πίνακα 5.3**) και την προσθήκη της ζάχαρης και του λιπαρού (σε θερμοκρασία περιβάλλοντος) στον κάδο του αναμίκτη (Kenwood Chef KM 400, Kenwood, UK). Ακολουθούσε ανάμιξή τους για 10 min σε μεσαία ταχύτητα (ταχύτητα 4- 180 rpm), και στη συνέχεια η σταδιακή προσθήκη των αυγών εντός 6 min και της βανιλίνης στην ίδια ταχύτητα. Τέλος προστίθενταν το γάλα και το αλεύρι (στο οποίο είχαν ενσωματωθεί οι διογκωτικοί παράγοντες) και ακολουθούσε ανάμιξη για 4 min στις 90 rpm. Κατάλληλες ποσότητες (50 g) μίγματος τοποθετούνταν στις ειδικές φόρμες και εισάγονταν στον κλίβανο όπου και ψήνονταν για 30 min σε θερμοκρασία 180 °C, ενώ τμήμα της ζύμης λαμβανόταν προκειμένου να προσδιοριστεί η ρεολογική συμπεριφορά, η υγρασία, το ειδικό βάρος και οι θερμοφυσικές ιδιότητες της ζύμης.

Μετά τον κλιβανισμό, τα κέικ αφήνονταν για περίπου 1 h σε ηρεμία σε θερμοκρασία περιβάλλοντος, ώστε να ψυχθούν. Κατάλληλος αριθμός δειγμάτων αποθηκευόταν σε πλαστικές σακούλες πολυαιθυλενίου στους 25°C και 60% RH για 7 ημέρες, προκειμένου να γίνει η μελέτη παλαίωσης, ενώ στα υπόλοιπα δείγματα εξετάζονταν τα ποιοτικά (ειδικός όγκος, χρώμα κόρας και ψίχας, υγρασία ψίχας, ενεργότητα νερού ψίχας, πορώδες ψίχας, σκληρότητα ψίχας) και οργανοληπτικά τους χαρακτηριστικά (περιγραφική και ηδονική ανάλυση). Ο ρυθμός παλαίωσης των κέικ εκτιμήθηκε προσδιορίζοντας τη σκληρότητα, την ενεργότητα νερού, την υγρασία και την αναδιαμόρφωση του αμύλου της ψίχας την ημέρα παρασκευής και μετά από 2, 4 και 6 ημέρες αποθήκευσης. Κατά την αποθήκευση πραγματοποιήθηκε και οργανοληπτική εξέταση των κέικ.

Πίνακας 5.3 Βασική συνταγή παρασκευής κέικ βασισμένη στο βάρος του αλεύρου.

Συστατικό	Ποσοστό (%) επί του βάρους του αλεύρου
Ζάχαρη	90
Λιπαρό	50
Γάλα	65
Αυγά	65
Βανιλίνη	0.2
Όξινο ανθρακικό νάτριο	1.11
Δυσόξινο φωσφορικό ασβέστιο	0.2
Όξινο πυροφωσφορικό νάτριο	1.35



Σχήμα 5.1 Διάγραμμα ροής πειραματικής διαδικασίας παραγωγής κέικ.

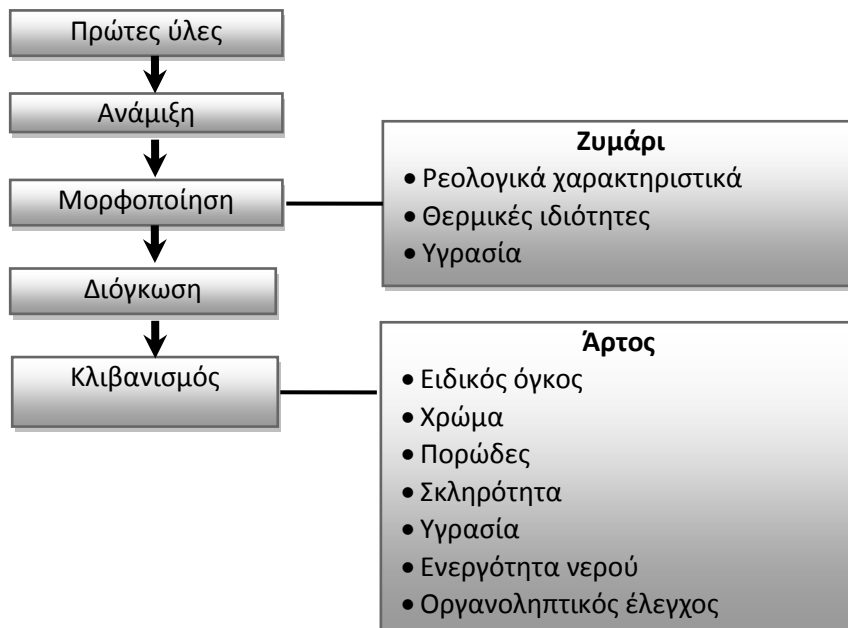
5.3.2 Παρασκευή άρτου ελευθέρου γλουτένης

Η πειραματική διαδικασία (Σχήμα 5.2) περιελάμβανε αρχικά τη ζύγιση των πρώτων υλών (σε ποσότητες σύμφωνα με τον Πίνακα 5.4) και την προσθήκη των συστατικών στον κάδο του αναμίκτη (Kenwood Chef KM 400, Kenwood, UK). Ακολουθούσε ανάμιξη των συστατικών για 2 min σε χαμηλή ταχύτητα (ταχύτητα 2- 90 rpm) και για άλλα 6 min σε μεσαία ταχύτητα (ταχύτητα 4- 180 rpm) οπότε και το ζυμάρι είχε πλέον σχηματιστεί. Τμήμα του ζυμαριού απομακρυνόταν προκειμένου να προσδιοριστεί η ρεολογική συμπεριφορά του, η υγρασία του και οι θερμοφυσικές ιδιότητές του, και το υπόλοιπο εισαγόταν σε φόρμες αλουμινίου, οι οποίες τοποθετούνταν σε θάλαμο ζύμωσης θερμοκρασίας 35 °C και 80% υγρασίας. Μετά από 35 min, οπότε είχε γίνει πλήρης ωρίμανση και ανάπτυξη του ζυμαριού, οι γεμάτες φόρμες εισάγονταν στον κλίβανο όπου και ψήνονταν για 30 min σε θερμοκρασία 200 °C.

Μετά τον κλιβανισμό, τα αρτοσκευάσματα αφήνονταν για περίπου 1 h σε ηρεμία σε θερμοκρασία περιβάλλοντος, ώστε να ψυχθούν, και προσδιοριζόταν ο ειδικός όγκος των αρτοσκευασμάτων, η υγρασία, η ενεργότητα νερού, το πορώδες και η σκληρότητα της ψίχας τους, καθώς και το χρώμα της κόρας και της ψίχας τους. Τέλος αξιολογούνταν τα οργανοληπτικά χαρακτηριστικά των προϊόντων, 4 h μετά τον κλιβανισμό τους.

Πίνακας 5.4 Βασική συνταγή παρασκευής των ελεύθερων γλουτένης αρτοσκευασμάτων.

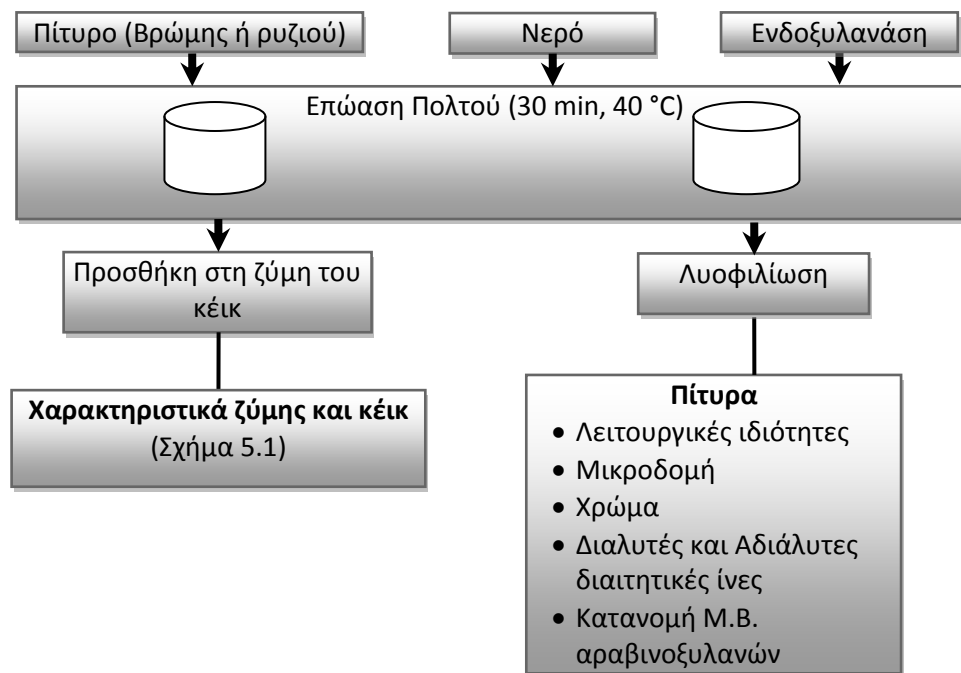
Συστατικό	Ποσοστό (%)
Άμυλο καλαμποκιού	75
Αλεύρι ρυζιού	25
Νερό	88.75
Ζάχαρη	4
Ηλιέλαιο	4
Αλάτι	2
Μαγιά	2
Υδροξυπροπυλομεθυλοκυτταρίνη	1.5



Σχήμα 5.2 Διάγραμμα ροής πειραματικής διαδικασίας παραγωγής άρτου ελεύθερου γλουτένης.

5.3.3 Ενζυμική επεξεργασία πιτύρων βρώμης και ρυζιού

Προκειμένου να επεξεργαστούν ενζυμικά τα πίτυρα, παρασκευάστηκαν σε 2 διαφορετικά δοχεία 2 πανομοιότυπα διαλύματα (πολτοί) που περιείχαν 35% πίτυρο, 65% απιονισμένο νερό και στο πρώτο προστέθηκαν 70 ppm (επίπεδο 1) ενώ στο δεύτερο 700 ppm (επίπεδο 2) ενδοξυλανάσης. Ο πολτοί αυτοί τοποθετήθηκαν για 30 min σε θάλαμο θερμοκρασίας 40 ° C, ενώ καθ' όλη τη διάρκεια ελεγχόταν το pH τους, το οποίο δεν έπρεπε να αποκλίνει από την τιμή 5.5±0.2, σύμφωνα με τα χαρακτηριστικά δράσης του ενζύμου. Μετά το πέρας των 30 min, ο ένας πολτός ενσωματώθηκε στη ζύμη του κέικ (στάδιο προσθήκης μετά το άλευρο), ενώ ο δεύτερος πολτός τοποθετήθηκε σε καταψύκτη προκειμένου να παγώσει και στη συνέχεια να ξηρανθεί (λυοφιλίωση), έτσι ώστε να εξεταστούν τα φυσικοχημικά και διατροφικά του χαρακτηριστικά. Η παραπάνω διαδικασία απεικονίζεται στο **Σχήμα 5.3**.



Σχήμα 5.3 Διάγραμμα ροής ενζυμικής επεξεργασίας πιτύρων.

5.4 Μέθοδοι – Μετρήσεις – Αναλύσεις

Οι αναλυτικές μέθοδοι που χρησιμοποιήθηκαν καθώς και οι μετρήσεις/αναλύσεις που διεξήχθησαν κατά τη διάρκεια των πειραμάτων της παρούσας διατριβής περιγράφονται παρακάτω.

5.4.1 Προσδιορισμός διαιτητικών ινών

Ο προσδιορισμός των ολικών, των αδιάλυτων και των διαλυτών διαιτητικών ινών έγινε με βάση την επίσημη μέθοδο AOAC 991.43/AACC 32-07 (*Enzymatic - Gravimetric MES - TRIS Buffer Method*), τα βασικά βήματα της οποίας περιγράφονται στη συνέχεια. Πρέπει να σημειωθεί ότι ο προσδιορισμός των ολικών διαιτητικών ινών γίνεται είτε απευθείας (όπως περιγράφεται στην παράγραφο 5.4.1.1), είτε αθροίζοντας τις αδιάλυτες (5.4.1.2) και διαλυτές (5.4.1.3) διαιτητικές ίνες.

- **Προετοιμασία ηθμών διήθησης:** 1 g Celite 545 προστίθεται σε κάθε ηθμό και ξηραίνεται στους 130 °C μέχρι σταθερού βάρους. Στη συνέχεια οι ηθμοί με τον περιεχόμενο Celite μεταφέρονται σε ξηραντήρα και μετά από 1 h ζυγίζονται με ακρίβεια 0.1 mg.
- **Προετοιμασία δείγματος:** Ποσότητες 1 ± 0.05 g ξηρού δείγματος ζυγίζονται εις διπλούν και μεταφέρονται στα δοχεία επώασης. Στη συνέχεια προστίθενται σε κάθε δοχείο 40 mL ρυθμιστικού διαλύματος MES - TRIS με pH 8.2 και αναδεύονται μέχρι τα δείγματα να διαλυθούν.

- **Ενζυμική χώνευση με α-αμυλάση:** Στα παραπάνω δοχεία επώασης προστίθενται 50 μL διαλύματος α-αμυλάσης και επωάζονται στους 95-100 °C για 35 min υπό συνεχή ανακίνηση. Κατά τη διάρκεια της χώνευσης τα δοχεία είναι καλυμμένα με αλουμινοχαρτο. Μετά το πέρας των 35 min τα δοχεία απομακρύνονται από το υδατόλουτρο και αφήνονται να κρυώσουν στους 60 °C, ενώ ταυτόχρονα αναδιαλύονται τυχόν κολλημένα στα τοιχώματα των δοχείων τεμάχια με τη βοήθεια πλαστικής σπάτουλας.
- **Ενζυμική χώνευση με πρωτεάση:** Τα δοχεία επώασης επανεισάγονται στο υδατόλουτρο και προστίθενται σε αυτά 100 μL διαλύματος πρωτεάσης. Επικαλύπτονται και πάλι με αλουμινοχαρτο και επωάζονται στους 60 °C με συνεχή ανακίνηση για 30 min.
- **Έλεγχος του pH:** Αφαιρείται το αλουμινοχαρτο και προστίθενται σε αυτά 5 mL διαλύματος υδροχλωρικού οξέος 0.56 M. Ρυθμίζεται το pH από 4 έως 4.7 με τη βοήθεια αραιών διαλυμάτων NaOH 1 N ή HCl 1 N.
- **Ενζυμική χώνευση με αμυλογλυκοζιδάση:** Ύστερα από τη ρύθμιση του pH, προστίθενται στα δοχεία επώασης 200 μL διαλύματος αμυλογλυκοζιδάσης. Επικαλύπτονται και πάλι με αλουμινοχαρτο και επωάζονται στους 60 °C με συνεχή ανακίνηση για 30 min.

5.4.1.1 Ολικές διαιτητικές ίνες (TDF)

Εφόσον έχει ολοκληρωθεί και η ενζυμική χώνευση με την αμυλογλυκοζιδάση, προστίθενται σε κάθε δοχείο επώασης 225 mL αιθανόλης 95 % προθερμασμένης στους 60 °C και αφήνονται για καταβύθιση σε θερμοκρασία περιβάλλοντος για 1 h. Ακολουθεί διήθηση υπό κενό μέσω των προπαρασκευασθέντων και προζυγισθέντων ηθμών. Στη συνέχεια, οι ηθμοί ξεπλένονται διαδοχικά με αιθανόλη 78 %, αιθανόλη 95 % και ακετόνη, και ξηραίνονται σε κλίβανο στους 105 °C μέχρι σταθερού βάρους (ακρίβεια ζύγισης 0.1 mg). Από τη διαφορά βαρών υπολογίζονται οι ολικές διαιτητικές ίνες που παρέμειναν στους ηθμούς. Τέλος χρησιμοποιείται το ένα δείγμα για τον προσδιορισμό της πρωτεΐνης (προσδιορισμός αζώτου με Kjeldhal και χρήση συντελεστή μετατροπής 6.25) και το δεύτερο δείγμα για τον προσδιορισμό της τέφρας (πύρωση στους 525 °C για 5 h).

5.4.1.2 Αδιάλυτες διαιτητικές ίνες (IDF)

Εφόσον έχει ολοκληρωθεί και η ενζυμική χώνευση με την αμυλογλυκοζιδάση, τα χωνευθέντα δείγματα διηθούνται υπό κενό μέσω των προπαρασκευασθέντων και προζυγισθέντων ηθμών. Τα δοχεία επώασης ξεπλένονται με 10 mL θερμού νερού 70 °C δύο φορές, και τα υγρά έκπλυσης επίσης διηθούνται υπό κενό. Το διήθημα απομακρύνεται και ογκομετρείται προκειμένου να χρησιμοποιηθεί για τον προσδιορισμό των διαλυτών

δισαηηηθικών ινών. Στη συνέχεια, οι ηθμοί ξεπλένονται διαδοχικά με αιθανόλη 95 % και ακετόνη, και ξηραίνονται σε κλίβανο στους 105 °C μέχρι σταθερού βάρους (ακρίβεια ζύγισης 0.1 mg). Από τη διαφορά βαρών υπολογίζονται οι ολικές διαηηηηικές ίνες που παρέμειναν στους ηθμούς. Τέλος χρησιμοποιείται το ένα δείγμα για τον προσδιορισμό της πρωτεΐνης (προσδιορισμός αζώτου με Kjeldhal και χρήση συντελεστή μετατροπής 6.25) και το δεύτερο δείγμα για τον προσδιορισμό της τέφρας (πύρωση στους 525 °C για 5 h).

5.4.1.3 Διαλυτές διαηηηηικές ίνες (SDF)

Στα διηθήματα της προηγούμενης διαδικασίας προστίθεται τετραπλάσια ποσότητα αιθανόλης 95 % και αφήνονται για καταβύθιση σε θερμοκρασία περιβάλλοντος για 1 h. Ακολουθεί διήθηση υπό κενό μέσω των προπαρασκευασθέντων και προζυγισθέντων ηθμών. Στη συνέχεια, οι ηθμοί ξεπλένονται διαδοχικά με αιθανόλη 78 %, αιθανόλη 95 % και ακετόνη, και ξηραίνονται σε κλίβανο στους 105 °C μέχρι σταθερού βάρους (ακρίβεια ζύγισης 0.1 mg). Από τη διαφορά βαρών υπολογίζονται οι ολικές διαηηηηικές ίνες που παρέμειναν στους ηθμούς. Τέλος χρησιμοποιείται το ένα δείγμα για τον προσδιορισμό της πρωτεΐνης (προσδιορισμός αζώτου με Kjeldhal και χρήση συντελεστή μετατροπής 6.25) και το δεύτερο δείγμα για τον προσδιορισμό της τέφρας (πύρωση στους 525 °C για 5 h).

5.4.2 Προσδιορισμός λειτουργικών ιδιοτήτων

5.4.2.1 Ικανότητα συγκράτησης νερού (WHC)

Προκειμένου να προσδιορισθεί η ικανότητα συγκράτησης νερού των πιτύρων και των διαηηηηικών ινών, 5 g δείγματος (B_s) προστίθενται σε 100 mL απιονισμένου νερού και αφήνονται να ενυδατωθούν για 16 h. Στη συνέχεια αποστραγγίζεται το επιπλέον υγρό και ζυγίζεται η ενυδατωμένη στερεή μάζα (B_{hs}). Η τιμή της WHC προκύπτει σύμφωνα με τη σχέση 5.1. Τα αποτελέσματα εκφράζονται ως g νερού/g στερεού.

$$WHC = \frac{B_{hs} - B_s}{B_s} \quad (5.1)$$

5.4.2.2 Ικανότητα δέσμευσης νερού (WBC)

Η ικανότητα δέσμευσης νερού των πιτύρων και των διαηηηηικών ινών προσδιορίζεται σύμφωνα με τη μέθοδο 56–30 της AACC. Τα αποτελέσματα εκφράζονται ως g νερού/g στερεού.

5.4.2.3 Ικανότητα δέσμευσης λιπαρού (FBC)

Προκειμένου να προσδιοριστεί η ικανότητα δέσμευσης λιπαρού των πιτύρων προστίθενται σε σωλήνα φυγοκέντρησης 4 g πιτύρου (B_s) και 20 mL αραβοσιτέλαιου. Ακολουθεί ανακίνηση για 30 s κάθε 5 min και μετά από 30 min φυγοκέντρηση για 25 min στα 1600 x g. Το ελεύθερο λιπαρό αποστραγγίζεται και το στερεό με το δεσμευμένο λιπαρό ζυγίζεται (B_{fs}). Η τιμή της FBC προκύπτει σύμφωνα με τη σχέση 5.2. Τα αποτελέσματα εκφράζονται ως g λιπαρού/g στερεού.

$$FBC = \frac{B_{fs} - B_s}{B_s} \quad (5.2)$$

5.4.2.4 Ικανότητα διόγκωσης (SC)

Η ικανότητα διόγκωσης εκτιμήθηκε διασπείροντας 5 g πιτύρου ή διαιτητικών ινών (B_s) σε 100 mL απιονισμένου νερού μέσα σε βαθμονομημένο ογκομετρικό κύλινδρο και επιτρέποντας να γίνει ενυδάτωση για 16 h. Μετά το πέρας του απαιτούμενου χρόνου, σημειώνεται ο όγκος που καταλαμβάνει το ενυδατωμένο δείγμα (V_{hs}). Η τιμή της SC προκύπτει σύμφωνα με τη σχέση 5.3. Τα αποτελέσματα εκφράζονται ως mL/g στερεού.

$$SC = \frac{V_{hs}}{B_s} \quad (5.3)$$

5.4.3 Προσδιορισμός απορρόφησης νερού μίγματος αλεύρου/ινών, αλεύρου/πιτύρων

Προκειμένου να προσδιοριστεί η απορρόφηση νερού του μίγματος αλεύρου/ινών ή αλεύρου/πιτύρων και επομένως και η κατάλληλη ποσότητα υγρού για την παρασκευή των αντίστοιχων κέικ, πραγματοποιήθηκε μέτρηση σε φαρινογράφο. Αρχικά τοποθετείται στο ζυμωτήριο ποσότητα 300 g μίγματος αλεύρου/ινών ή αλεύρου/πιτύρων και πραγματοποιείται ανάμιξη για 1 min. Ακολουθεί προσθήκη νερού μέχρις ότου το ζυμάρι αποκτήσει συνεκτικότητα 500 μονάδων Brabender (BU). Η απορρόφηση νερού, δηλαδή η ποσότητα νερού που απαιτείται ώστε να παραχθεί ζυμάρι με συνεκτικότητα 500 BU στην κορυφή της καμπύλης, υπολογίζεται από το φαρινογράφημα. Αξίζει να αναφερθεί ότι όταν προστίθεται υπερβολική ποσότητα νερού, το κέντρο της καμπύλης μειώνεται κάτω από τις 500 BU, ενώ με μικρότερη ποσότητα υπερβαίνει την τιμή αυτή.

5.4.4 Εξέταση μικροδομής με ηλεκτρονικό μικροσκόπιο σάρωσης (SEM)

Προκειμένου να διερευνηθεί η μικροδομή των πιτύρων, σκόνη λυοφιλιωμένων πιτύρων τοποθετείται σε ειδικό στέλεχος, επιχρυσώνεται (sputter coater Polaron 5100) και εισάγεται

στο ηλεκτρονικό μικροσκόπιο σάρωσης EDAX FEI Inspect (Czech Republic), όπου και παρατηρείται σύμφωνα με τις οδηγίες του κατασκευαστή. Το επίπεδο μεγέθυνσης που χρησιμοποιήθηκε ήταν 200x-3000x και το δυναμικό 15 kV.

5.4.5 Προσδιορισμός κατανομής μεγέθους σωματιδίων

Η κατανομή μεγέθους των σωματιδίων των πιτύρων προσδιορίστηκε μέσω κοσκίνισης 100 g πιτύρων σε τυποποιημένα κόσκινα (Fritsch GmbH, Germany), τα οποία είχαν τοποθετηθεί διαδοχικά από το μεγαλύτερο προς το μικρότερο και ανακινούνταν σε ψηφιακό τάρακτρο (Octagon 2000, Endecotts Ltd, UK) για 10 min. Μετά το πέρας του απαραίτητου χρόνου, τα κόσκινα απομακρύνονται από το τάρακτρο και ζυγίζεται το πτύρο που είχε συγκρατηθεί σε κάθε κόσκινο.

5.4.6 Προσδιορισμός μοριακού βάρους αραβινοξυλανών

Ο προσδιορισμός του μοριακού βάρους των αραβινοξυλανών στην παρούσα εργασία πραγματοποιήθηκε μέσω ανάλυσης με χρωματογραφία διαχωρισμού μεγέθους υψηλής απόδοσης (HPSEC). Το σύστημα αποτελείται από αντλία (HPLC – HP 1100- Hewlett Packard, Waldbronn, Germany), στήλη (Zorbax GF-250, 250x4.6 mm) και ανιχνευτή δείκτη διάθλασης (RI detector, HP 1047A, Hewlett Packard, Waldbronn, Germany). Η κινητή φάση είναι διάλυμα 0.3 % NaCl με ταχύτητα ροής 0.5 mL/min και το όλο σύστημα λειτουργεί σε θερμοκρασία 30 °C. Ο υπολογισμός των μοριακών μεγεθών των εκλουόμενων πολυσακχαριτών (κλάσματα κορυφών των χρωματογραφημάτων) γίνεται με βάση την πρότυπη καμπύλη που σχεδιάστηκε αναλύοντας στο ίδιο σύστημα πρότυπα εμπορικά δείγματα πουλλουλάνης P-82 (1.0 mg/mL) διάφορων μοριακών βαρών 78.8×10^4 , 40.4×10^4 , 21.2×10^4 , 11.2×10^4 , 4.73×10^4 , 2.28×10^4 , 1.18×10^4 , και 0.59×10^4 .

5.4.7 Μέτρηση υγρασίας

Για τη μέτρηση της υγρασίας της ψίχας του κέικ και του άρτου ελεύθερου γλουτένης, της κόρας του άρτου ελεύθερου γλουτένης, της ζύμης του κέικ και του ζυμαριού του άρτου ελεύθερου γλουτένης ακολουθήθηκε η σταθμική μέθοδος AACC 44-15A. Ειδικότερα, προζυγίζονται 4 τρυβλία και στη συνέχεια τοποθετούνται σ' αυτά περίπου 2-2.5 g δείγματος ζυγισμένα με ακρίβεια 0.001 g. Ακολουθεί ξήρανση σε κλίβανο με αέρα στους 105 °C μέχρι σταθερού βάρους, εισαγωγή σε ξηραντήριο με silica gel προκειμένου να αποκτήσουν θερμοκρασία περιβάλλοντος και να μην απορροφήσουν υγρασία, και ζύγιση σε ζυγό ακριβείας. Από την απώλεια βάρους τους υπολογίζεται η περιεχόμενη υγρασία τους και εκφράζεται % σε ξηρή βάση.

5.4.8 Μέτρηση ενεργότητας νερού

Η ενεργότητα νερού (a_w) της ψίχας των κέικ και του άρτου ελεύθερου γλουτένης μετρήθηκε με τη συσκευή Aqualab 3TE water activity meter (Decagon Devices Inc. Pullman, WA, USA) σύμφωνα με τις οδηγίες του κατασκευαστή.

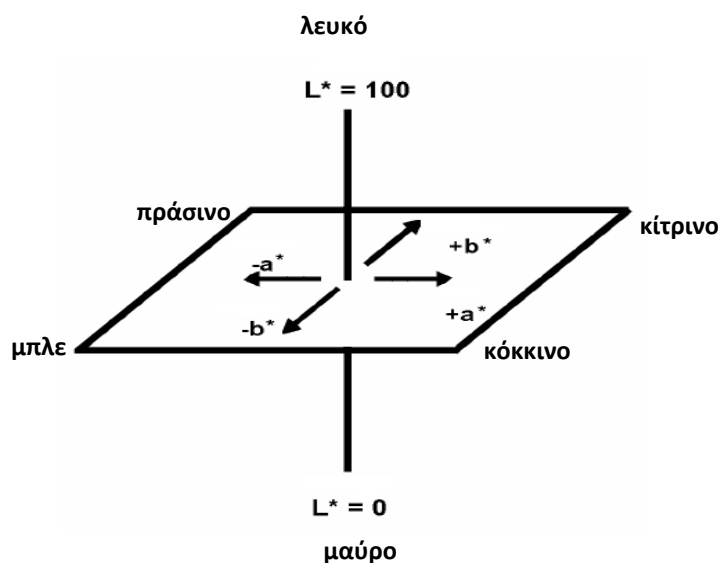
5.4.9 Μέτρηση χρώματος

Το χρώμα της κόρας και της ψίχας των δειγμάτων κέικ και άρτου ελεύθερου γλουτένης, καθώς και των πιτύρων και των διαιτητικών ινών μετρήθηκε με τη βοήθεια του χρωματόμετρου «Minolta CR/200» (Minolta Company, Chuo-ku, Osaka, Japan), το οποίο αποδίδει τις τιμές των χρωματικών παραμέτρων L^* , a^* , b^* βάσει του συστήματος CIELAB. Η μέτρηση έγινε κάθε φορά σε δύο παρόμοια δείγματα, ενώ σε κάθε δείγμα πραγματοποιείται τριπλή μέτρηση.

Η τιμή του χρώματος προκύπτει με βάση τη σχέση 5.4 ή 5.5. Το L^* εκφράζει τη φωτεινότητα του χρώματος. Οι τιμές των a^* , b^* είναι οι ορθογώνιες συντεταγμένες του χρώματος (συχνά ονομάζονται χρωματικότητα) πάνω στο επίπεδο διατομής του χρώματος, κάθετο στον άξονα μαύρου-άσπρου. Αν ένα δείγμα έχει μηδενική τιμή για τα a^* , b^* , πρέπει να βρίσκεται πάνω στον άξονα μαύρου-άσπρου. Η θετική τιμή για το a^* υποδεικνύει κόκκινο χρώμα, ενώ η αρνητική τιμή πράσινο χρώμα. Η θετική τιμή για το b^* υποδεικνύει κίτρινο χρώμα, ενώ η αρνητική τιμή μπλε χρώμα (Σχήμα 5.4).

$$E^* = \sqrt{L^{*2} + a^{*2} + b^{*2}} \quad (5.4)$$

$$C^* = \sqrt{a^{*2} + b^{*2}} \quad (5.5)$$



Σχήμα 5.4 Ανάλυση χρωματικών παραμέτρων συστήματος CIELAB.

Στην περίπτωση χαρακτηρισμού του χρώματος της ψίχας του κέικ (και ιδιαίτερα του κέικ που περιείχε πίτυρα) χρησιμοποιήθηκε και ο δείκτης κασάνωσης (Browning index-BI), ο οποίος υπολογίζεται σύμφωνα με τη σχέση 5.6 (Maskan 2001):

$$BI=[100(X-0.31)]/0.17 \quad (5.6)$$

$$\text{όπου } x=(a+1.75 L)/(5.645 L+a-3.012b)$$

5.4.10 Προσδιορισμός ρεολογικών χαρακτηριστικών

Η ρεολογική συμπεριφορά των δειγμάτων της ζύμης προσδιορίστηκε με χρήση περιστροφικού ρεόμετρου (Rheotec RC1, Messtechnik, Germany) το οποίο συνδέεται με μανδύα ψύξης (Lauda RE312, Lauda GmbH, Germany). Οι μετρήσεις πραγματοποιήθηκαν σε 20 g δείγματος υπό σταθερή θερμοκρασία 25 °C με τη χρήση του κυλίνδρου MS-CC25 DIN/FTK.

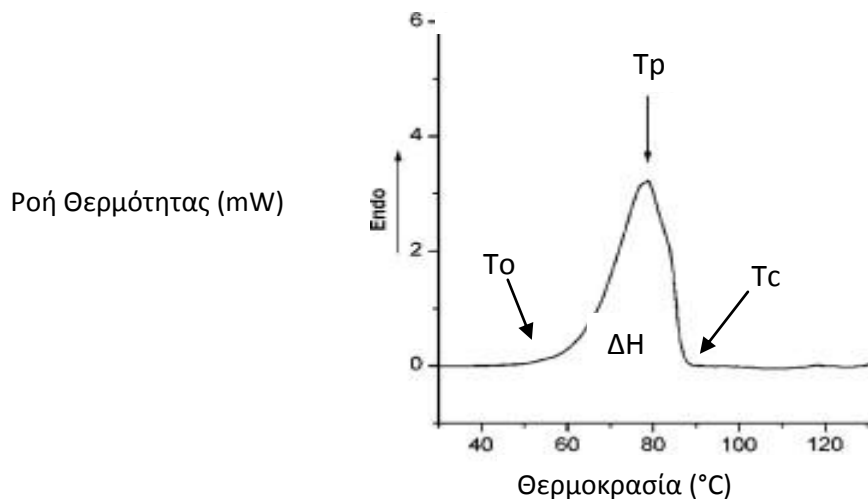
Η αύξηση του ρυθμού διάτμησης ήταν γραμμική (1-200 s⁻¹). Για την ερμηνεία των αποτελεσμάτων, όλες οι καμπύλες οι καμπύλες διατμητικής τάσης προσαρμόστηκαν στο μοντέλο του Ostwald ακολουθώντας την εξίσωση Power Law:

$$\sigma = K_{cp} (\dot{\gamma})^n \quad (5.7)$$

όπου σ = διατμητική τάση (Pa*s), $\dot{\gamma}$ = ρυθμός διάτμησης (s⁻¹), K_{cp} = συντελεστής συνεκτικότητας (Pa*sⁿ) και n =δείκτης ρεολογικής συμπεριφοράς.

5.4.11 Προσδιορισμός θερμικών χαρακτηριστικών

Η ανάλυση της θερμικής συμπεριφοράς των δειγμάτων ζύμης κέικ, ζυμαριού άρτου ελεύθερου γλουτένης και ψίχας κέικ πραγματοποιήθηκε με τη συσκευή DSC (DSC 6, PerkinElmer Inc., Wellesley, USA) η οποία ελέγχεται μέσω H/Y με το λογισμικό Pyris Manager Thermal Analysis Software. Η παραπάνω συσκευή καταγράφει το διαφορική ροή θερμότητας (differential heat flow) μεταξύ δείγματος και κελιού αναφοράς, υπό ατμοσφαιρικές συνθήκες. Η επιφάνεια κάτω από τις κορυφές των μεταπτώσεων που καταγράφονται είναι ανάλογη με τη μεταβολή της ενθαλπίας (ΔH) της μετάπτωσης, ενώ η φορά τους δηλώνει αν το θερμικό γεγονός είναι ενδόθερμο ή εξώθερμο. Η βαθμονόμηση του οργάνου πραγματοποιείται με ίνδιο ($T_m=156.6$ °C, $\Delta H_m=28.5$ J/g). Ένα τυπικό διάγραμμα διαφορικής θερμιδομετρικής ανάλυσης παρουσιάζεται στο **Σχήμα 5.5**. Για τον προσδιορισμό των παραμέτρων ζελατινοποίησης και αναδιαμόρφωσης του αμύλου ακολουθήθηκε η παρακάτω διαδικασία.



Σχήμα 5.5 Τυπικό διάγραμμα ροής θερμότητας – θερμοκρασίας που προκύπτει από διαφορικό θερμιδόμετρο σάρωσης.

5.4.11.1 Ζελατινοποίηση αμύλου

Δείγματα ζύμης και ζυμαριού (20-25 mg) τοποθετούνται σε ερμητικά κλειστούς υποδοχείς από αλουμίνιο χωρητικότητας 50 μL και ως δείγμα αναφοράς χρησιμοποιείται ένας κενός υποδοχέας. Η ψύξη επιτυγχάνεται με κυκλοφορία νερού, ενώ στο θάλαμο διοχετεύεται επίσης αέριο άζωτο (20 mL/min), προκειμένου να ελαχιστοποιείται η συμπύκνωση του νερού. Τα δείγματα θερμαίνονται με σταθερό ρυθμό 10 $^{\circ}\text{C}/\text{min}$ από τους 30 $^{\circ}\text{C}$ έως τους 180 $^{\circ}\text{C}$ και καταγράφονται οι θερμοκρασίες έναρξης (Onset temperature- T_o), κορύφωσης (peak temperature- T_p) και λήξης (conclusion temperature- T_c) της ζελατινοποίησης του αμύλου. Επιπροσθέτως, η μεταβολή της ενθαλπίας ζελατινοποίησης (ΔH_g) εκτιμάται μέσω του εμβαδού της καμπύλης ζελατινοποίησης και εκφράστηκε ως J/g .

5.4.11.2 Αναδιαμόρφωση αμύλου

Δείγματα ψίχας κέικ (10-15 mg) τοποθετούνται σε ερμητικά κλειστούς υποδοχείς από αλουμίνιο χωρητικότητας 50 μL και ως δείγμα αναφοράς χρησιμοποιείται ένας κενός υποδοχέας. Η ψύξη επιτυγχάνεται με κυκλοφορία νερού, ενώ στο θάλαμο διοχετεύεται, επίσης, αέριο άζωτο (20 mL/min) προκειμένου να ελαχιστοποιείται η συμπύκνωση του νερού. Οι συνθήκες σάρωσης περιλαμβάνουν: παραμονή των δειγμάτων για 1 min στους 30 $^{\circ}\text{C}$ και θέρμανση με σταθερό ρυθμό 10 $^{\circ}\text{C}/\text{min}$ από τους 30 $^{\circ}\text{C}$ έως τους 150 $^{\circ}\text{C}$. Τέλος καταγράφονται οι θερμοκρασίες έναρξης (Onset temperature- T_o), κορύφωσης (peak temperature- T_p) και λήξης (conclusion temperature- T_c) της αναδιαμόρφωσης του αμύλου και του συμπλόκου αμυλόζης-λιπιδίων, ενώ οι μεταβολές της ενθαλπίας τήξης της

αναδιαμορφωμένης αμυλοπηκτίνης ($\Delta H_{\text{amylopectin}}$) και του συμπλόκου αμυλόζης-λιπιδίων ($\Delta H_{\text{amylose}}$) εκτιμούνται μέσω του εμβαδού της αντίστοιχης καμπύλης και εκφράζονται ως J/g.

5.4.12 Μέτρηση ειδικού βάρους ζύμης

Το ειδικό βάρος της ζύμης υπολογίστηκε με διαίρεση του βάρους ενός περιέκτη όγκου 10 mL πληρωμένου με νερό (B_N) με το βάρος του ίδιου περιέκτη πληρωμένου με ζύμη (B_Z) (σχέση 5.8). Τα αποτελέσματα εκφράστηκαν σε g/cm^3 .

$$SG = \frac{B_N}{B_Z} \quad (5.8)$$

5.4.13 Μέτρηση ειδικού όγκου

Η ογκομέτρηση των αρτοσκευασμάτων έγινε με την εμπειρική μέθοδο εκτόπισης σπόρων (π.χ. σιναπιού, λιναριού, ελαιοκράμβης). Η διαδικασία που ακολουθήθηκε ήταν η εξής: από το αρχικά πλήρως συμπληρωμένο με σπόρους ποτήρι ζέσεως, αφαιρείται αρκετή ποσότητα σπόρων, τοποθετείται το δείγμα στο εσωτερικό του ποτηριού και συμπληρώνονται τα κενά με όσους σπόρους χρειάζονται. Ο όγκος του αρτοσκευάσματος προκύπτει από την ογκομέτρηση των εναπομεινάντων σπόρων, με τη βοήθεια ογκομετρικού κυλίνδρου (V_A). Με διαίρεση αυτού με το βάρος του κλιβανισμένου δείγματος (B_A) υπολογίζεται ο ειδικός όγκος (SV) του άρτου (σχέση 5.9) ο οποίος εκφράζεται σε cm^3/g προϊόντος.

$$SV = \frac{V_A}{B_A} \quad (5.9)$$

5.4.14 Μέτρηση πορώδους

Το πορώδες του αρτοσκευάσματος είναι ο λόγος του όγκου των διάκενων (V_k) προς το συνολικό (φαινόμενο) όγκο του δείγματος (V_b). Ο συνολικός όγκος είναι το άθροισμα του όγκου των στερεών (πραγματικός) και του όγκου των διάκενων και δίνεται από την εξίσωση 5.10.

$$V_b = V_s + V_k \quad (5.10)$$

Άρα το πορώδες δίνεται από την σχέση 5.11

$$\varepsilon = V_k/V_b = V_b - V_s/V_b = 1 - V_s/V_b \quad (5.11)$$

όπου V_s ο όγκος των στερεών και V_b ο φαινόμενος όγκος του δείγματος.

Ο φαινόμενος όγκος (V_b , cm^3) προσδιορίστηκε μετρώντας τις διαστάσεις του δείγματος ψίχας του κέικ ή του άρτου ελεύθερου γλουτένης με παχύμετρο. Για τον υπολογισμό του όγκου των στερεών (V_s , cm^3) χρησιμοποιήθηκε στερεοπυκνόμετρο με εκτόπιση ηλίου.

5.4.15 Μέτρηση χαρακτηριστικών υφής

Τα χαρακτηριστικά της υφής των κέικ και των άρτων ελεύθερων γλουτένης προσδιορίστηκαν με χρήση αναλυτή υφής (TA-XT2i Texture Analyser, Stable Micro Systems Ltd., Godalming, Surrey, UK) συνδεδεμένο με ηλεκτρονικό υπολογιστή που διαθέτει πρόγραμμα "Texture Expert." Για τη μέτρηση των χαρακτηριστικών υφής της κόρας των άρτων, η διαδικασία ήταν η εξής: τμήμα της επιφάνειάς τους τοποθετείται στον αναλυτή υφής, όπου και υφίσταται κοπή (ταχύτητα διείσδυσης 3 mm/s, βάθος διείσδυσης 15 mm) με ειδικό στέλεχος TA-45 Craft Knife, που προσομοιάζει τη διαδικασία της κοπής του άρτου με μαχαίρι. Η κοπή λαμβάνει χώρα πάντα προς την ίδια κατεύθυνση, και συγκεκριμένα από την εξωτερική επιφάνεια της κόρας προς την ψίχα, ώστε οι μετρήσεις των δειγμάτων να είναι αντιπροσωπευτικές και συγκρίσιμες μεταξύ τους.

Για τη μέτρηση των χαρακτηριστικών υφής της ψίχας των άρτων και του κέικ, 3 φέτες πάχους 2 cm λαμβάνονται από το εσωτερικό των δειγμάτων. Η μία από τις δύο ακραίες φέτες τοποθετείται στον αναλυτή υφής, με τέτοιον τρόπο, ώστε η κοπή να γίνεται στο εσωτερικό της ψίχας, ενώ στη μεσαία φέτα εφαρμόζεται διπλή συμπίεση, προσομοιάζοντας τη διαδικασία της μάσησης με το στέλεχος P/20 (20 mm diameter cylindrical probe) (ταχύτητα διείσδυσης 3 mm/s, βάθος διείσδυσης 50 %, 30 s καθυστέρηση ανάμεσα στην πρώτη και τη δεύτερη διείσδυση) για την περίπτωση των κέικ και το στέλεχος Sris P/75 (75 mm diameter aluminum platen probe) (ταχύτητα διείσδυσης 3 mm/s, βάθος διείσδυσης 15 mm) για την περίπτωση των άρτων.

Από όλες τις δοκιμές προκύπτουν τα διαγράμματα δύναμης-χρόνου (**Σχήμα 5.5**), που χρησιμοποιούνται για τον προσδιορισμό παραμέτρων όπως: η σκληρότητα, η ελαστικότητα, η προσκολλησιμότητα, η συνεκτικότητα και μέσω των τιμών αυτών το κομμώδες και η μασητικότητα των δειγμάτων.

Γενικά από ένα τυπικό διάγραμμα του αναλυτή υφής (Σχήμα 5.6) προκύπτουν τα εξής χαρακτηριστικά υφής:

Σκληρότητα: η μέγιστη δύναμη κατά την 1^η διείσδυση (σκληρότητα 1)

Ευθραυστότητα: αντιστοιχεί στο σπάσιμο της επιφάνειας κατά το πρώτο δάγκωμα

Προσκολλησιμότητα: το αρνητικό εμβαδό μεταξύ 1^{ης} και 2^{ης} διείσδυσης, αντιστοιχεί στο έργο που απαιτείται για την απομάκρυνση του στελέχους από το δείγμα

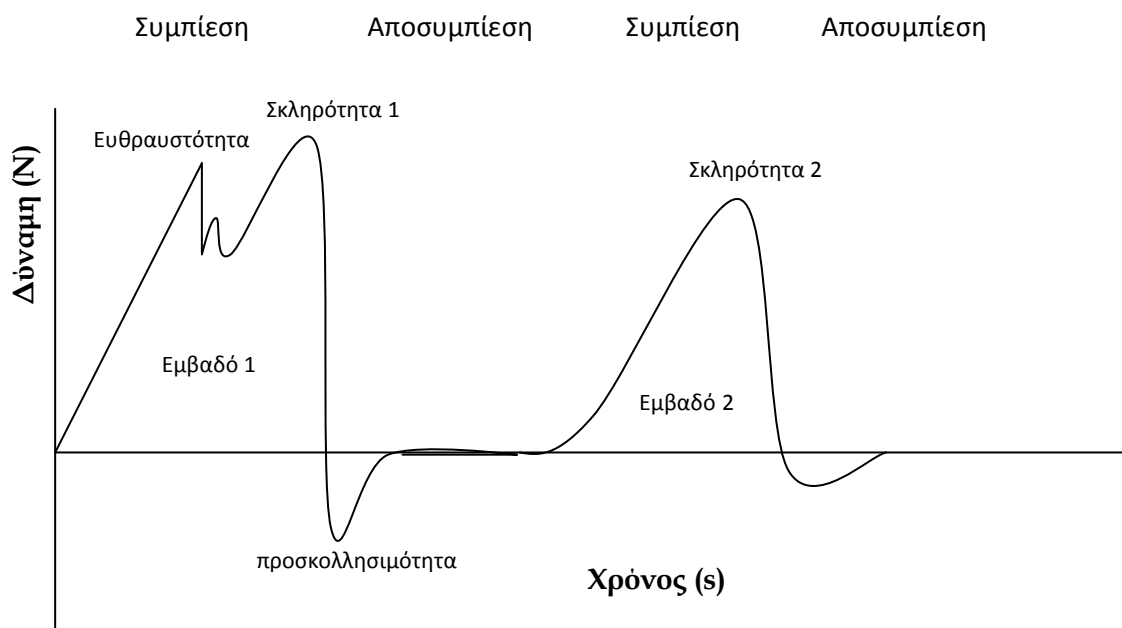
Συνεκτικότητα: ο λόγος του εμβαδού κατά τη 2^η διείδυση προς το αντίστοιχο εμβαδό της 1^{ης} διείδυσης (Εμβαδό 2/Εμβαδό 1)

Ελαστικότητα: ο χρόνος μεταξύ του τέλους της 1^{ης} και της αρχής της 2^{ης} διείδυσης

Κομμιώδες: σκληρότητα·συνεκτικότητα

Μασητικότητα: κομμιώδες·ελαστικότητα

Σταθερότητα: η δύναμη για διείδυση σε βάθος 25 % του συνολικού, κατά την 1^η συμπίεση.



Σχήμα 5.6 Διάγραμμα δύναμης-χρόνου αναλυτή υφής.

Κατά την κοπή των δειγμάτων, υπολογίζεται η σκληρότητα του άρτου στα αντίστοιχα μέρη, ενώ κατά τη συμπίεση της φέτας υπολογίζονται η σκληρότητα, η συνεκτικότητα, η ελαστικότητα και κατ' επέκταση το κομμιώδες και η μασητικότητα των αρτοσκευασμάτων. Στην επεξεργασία των αποτελεσμάτων της παρούσας διατριβής χρησιμοποιήθηκε κυρίως η μέτρηση της σκληρότητας η οποία θεωρείται και η πιο αντιπροσωπευτική.

5.4.16 Προσδιορισμός αναμενόμενου γλυκαιμικού δείκτη

Προκειμένου να προσδιοριστεί ο αναμενόμενος γλυκαιμικός δείκτης (expected Glycaemic Index- eGI) των κέικ, κατασκευάστηκε η καμπύλη υδρόλυσης του αμύλου, στην οποία ουσιαστικά καταγράφονταν οι τιμές της γλυκόζης σε διάφορα χρονικά διαστήματα (20 min-16 h). Από την καμπύλη αυτή υπολογίστηκε ο δείκτης υδρόλυσης (HI) και στη συνέχεια ο αναμενόμενος γλυκαιμικός δείκτης σύμφωνα με τη σχέση 5. 12 που προτάθηκε από τους Granfeldt et al. (1992).

$$eGI = 8.198 + 0.862 * HI$$

(5.12)

Για την υδρόλυση του αμύλου ακολουθήθηκε η παρακάτω διαδικασία. Σε δοκιμαστικό σωλήνα εισάγεται ποσότητα δείγματος που περιέχει 50 mg διαθέσιμων υδατανθράκων (available carbohydrates) και 0.5 mL 50 % κορεσμένου διαλύματος βενζοϊκού οξέος (δείγμα προς ανάλυση), ενώ σε δεύτερο δοκιμαστικό σωλήνα προστίθεται μόνο 0.5 mL 50 % κορεσμένου διαλύματος βενζοϊκού οξέος (τυφλό δείγμα). Σε όλα τα δείγματα προστίθεται 1 mL διαλύματος πεψίνης/guar gum και αυτά επωάζονται για 30 min σε θερμοκρασία 37 °C, με σκοπό την υδρόλυση των περιεχόμενων πρωτεϊνών. Στη συνέχεια, προστίθεται στα δείγματα αρχικά 0.5 mL ρυθμιστικού διαλύματος 0.5 M οξικού νατρίου (pH 5.2) και αργότερα (όταν η θερμοκρασία τους επανέλθει στους 37 °C) 0.5 mL διαλύματος παγκρεατίνης/αμυλογλυκοζιδάσης/ιμπερτάσης και αυτά επωάζονται υπό συνεχή ανακίνηση στους 37 °C, με σκοπό την εκκίνηση της πέψης των υδατανθράκων. Ο χρόνος προσθήκης του μίγματος παγκρεατίνης/αμυλογλυκοζιδάσης/ιμπερτάσης θεωρείται ως χρόνος μηδέν.

Μετά από 20 min ενζυμικής κατεργασίας, λαμβάνεται από κάθε δοκιμαστικό σωλήνα δείγμα, το οποίο τοποθετείται σε υδατόλουτρο θερμοκρασίας 90 °C για 20 min, με σκοπό την απενεργοποίηση των ενζύμων. Στη συνέχεια, λαμβάνονται 0.05 mL δείγματος από κάθε δοκιμαστικό σωλήνα, στα οποία προστίθενται 2 mL απιονισμένου νερού και το μίγμα φυγοκεντρείται. Το υπερκείμενο υγρό χρησιμοποιείται για τον προσδιορισμό της διαθέσιμης γλυκόζης στα 20 min (G_{20}). Όμοια διαδικασία ακολουθείται και για τα δείγματα που λαμβάνονται μετά από 60, 90, 120, 180, 240 και 960 min ενζυμικής κατεργασίας, τα οποία χρησιμοποιούνται για τον προσδιορισμό της ελεύθερης γλυκόζης στα αντίστοιχα χρονικά διαστήματα.

Ο προσδιορισμός των G_{20} , G_{60} , G_{90} , G_{120} , G_{180} , G_{240} , και G_{960} έγινε φωτομετρικά με kit προσδιορισμού της D-γλυκόζης (D-Glucose UV-Test, Enzymatic BioAnalysis/Food Analysis, by Boehringer Mannheim/R-Biopharm).

5.4.17 Εκτίμηση οργανοληπτικών χαρακτηριστικών

Ο οργανοληπτικός έλεγχος των αρτοσκευασμάτων (κέικ και άρτου ελεύθερου γλουτένης) πραγματοποιήθηκε στο διαπιστευμένο κατά ISO 17025 Εργαστήριο Οργανοληπτικών Δοκιμών του Εργαστηρίου Χημείας και Τεχνολογίας Τροφίμων της Σχολής Χημικών Μηχανικών ΕΜΠ. Οι δοκιμαστές αξιολογούσαν χωριστά τα δείγματα σε ειδικά σχεδιασμένους και κατάλληλα φωτιζόμενους θαλάμους. Προκειμένου να εξασφαλίζονται

σταθερές συνθήκες κατά τη διεξαγωγή των δοκιμών η θερμοκρασία του χώρου διατηρείτο σταθερή (23 ± 1 °C), ενώ χρησιμοποιούνταν σκεύη και αναλώσιμα (πλαστικά πιάτα, ποτήρια, εμφιαλωμένο νερό για την έκπλυση του στόματος κ.α.) με σταθερά χαρακτηριστικά.

Η διαδικασία προετοιμασίας των δειγμάτων που ακολουθήθηκε ήταν η εξής: φέτες πάχους 2 cm λαμβάνονται από το κέντρο των αρτοσκευασμάτων, τοποθετούνται σε λευκά πιάτα και κωδικοποιούνται με τυχαίους τριψήφιους κωδικούς. Από κάθε δείγμα λαμβάνονται 3 φέτες και ανά συνεδρία αξιολογούνται 3 δείγματα (με τυχαία σειρά) με διάλειμμα 15 min ανάμεσα στα δείγματα. Μεταξύ των διαδοχικών δοκιμών οι δοκιμαστές ξεπλένουν το στόμα τους με εμφιαλωμένο νερό, προκειμένου να ουδετεροποιήσουν τους υποδοχείς της γλώσσας. Κάθε ημέρα οργανοληπτικού ελέγχου πραγματοποιούνται 2 συνεδρίες.

Για την καλύτερη και πληρέστερη εκτίμηση των χαρακτηριστικών των αρτοσκευασμάτων, πραγματοποιήθηκε οργανοληπτική εξέταση των δειγμάτων από 5-32 δοκιμαστές εκπαιδευμένους στην αναγνώριση και την αξιολόγηση των αντίστοιχων χαρακτηριστικών με χρήση της ποσοτικής περιγραφικής ανάλυσης (Quantitative Descriptive Analysis, QDA). Η εκτίμηση και βαθμολόγηση των περιγραφικών όρων έγινε με χρήση 9-βάθμιας ή 5-βάθμιας κλίμακας (1-9 ή 1-5) (1 = λίγο/ανεπαρκές/μη ικανοποιητικό, 5 ή 9 = πολύ/κανονικό /ικανοποιητικό). Οι τιμές βαθμολόγησης σημειώνονταν σε ειδικά έντυπα οργανοληπτικού ελέγχου που κατασκευάστηκαν για το σκοπό αυτό. Επιπλέον, οι δοκιμαστές κλήθηκαν να σημειώσουν και προσωπικές κρίσεις στα έντυπα οργανοληπτικού ελέγχου, ιδιαίτερα στις περιπτώσεις όπου τα οργανοληπτικά χαρακτηριστικά του δείγματος δεν μπορούσαν επαρκώς να περιγραφούν από τους αναγραφόμενους στο έντυπο περιγραφικούς όρους.

Αναλυτικά τα χαρακτηριστικά που περιγράφονταν αναφέρονται στα χρησιμοποιούμενα έντυπα που παρατίθενται στο Παράρτημα, ενώ οι κύριες παράμετροι που μεταβάλλονταν και θα σχολιαστούν στα αποτελέσματα ήταν:

Εξωτερικά:

- Η εμφάνιση
- Η διόγκωση
- Το χρώμα της κρούστας/κόρας

Εσωτερικά:

- Το χρώμα της ψίχας
- Το πορώδες (μορφή της ψίχας και μέγεθος των σχηματιζόμενων οπών)
- Η υφή της ψίχας (σκληρότητα, ευθρυπτότητα, ελαστικότητα)

Στη στοματική κοιλότητα:

- Η αίσθηση αποδόμησης

- Η γεύση
- Το άρωμα και η ύπαρξη δυσάρεστου αρώματος (off flavor)
- Η μετάγευση

Τέλος σε όλες τις περιπτώσεις διενεργήθηκαν και δοκιμές ηδονικής εκτίμησης από 50 δοκιμαστές (μη εκπαιδευμένους) χωρίς προηγούμενη εμπειρία. Τα αρτοσκευάσματα αξιολογήθηκαν ως προς την ολική τους αποδοχή με χρήση 9-βάθμιας ηδονικής κλίμακας 1-9 (1: δεν αρέσει καθόλου, 9: αρέσει πάρα πολύ). Τα αρτοσκευάσματα θεωρούνταν αποδεκτά αν οι μέσοι όροι για την ολική αποδοχή ήταν πάνω από 5.

5.5 Σχεδιασμός πειραμάτων

Στον Πίνακα 5.5 που ακολουθεί παρουσιάζονται οι 8 σειρές πειραμάτων που πραγματοποιήθηκαν, ανάλογα με το σκοπό και τα χαρακτηριστικά κάθε πειράματος. Αρχικά προσδιορίστηκαν οι λειτουργικές ιδιότητες των απομονωμένων διαιτητικών ινών (που επιλέχθηκαν για τον εμπλουτισμό των αρτοσκευασμάτων) και ακολούθησε η ενσωμάτωσή τους σε αρτοσκευάσματα. Ειδικότερα, απομονωμένες διαιτητικές ίνες (σίτου, βρώμης, κριθαριού και καλαμποκιού) και πίτυρα σιτηρών (σίτου, βρώμης, ρυζιού) προστέθηκαν σε κέικ, υποκαθιστώντας το άλευρο σίτου, ενώ οι ίδιες απομονωμένες διαιτητικές ίνες (σίτου, βρώμης, κριθαριού και καλαμποκιού) προστέθηκαν και σε άρτο ελεύθερο γλουτένης. Τα πειράματα σχεδιάστηκαν σκοπεύοντας να διερευνηθεί η επίδραση του τύπου των διαιτητικών ινών και του ποσοστού ενσωμάτωσής τους στα ρεολογικά και θερμικά χαρακτηριστικά της ζύμης/ζυμαριού, όπως και στα ποιοτικά και οργανοληπτικά χαρακτηριστικά των αρτοσκευασμάτων, καθώς στη διατηρησιμότητα αυτών. Επιπροσθέτως, πραγματοποιήθηκε μελέτη βελτιστοποίησης του εμπλουτισμένου με ίνες καλαμποκιού άρτου ελεύθερου γλουτένης.

Εξαιτίας του ότι η προσθήκη πιτύρων βρώμης και ρυζιού οδηγούσε στην παραγωγή ποιοτικά υποβαθμισμένων προϊόντων, η έρευνα συνεχίστηκε με σκοπό την ενζυμική τροποποίηση των παραπάνω πηγών, προκειμένου κατά την ενσωμάτωσή τους στο κέικ να αποδώσουν ένα ποιοτικά ανώτερο προϊόν. Τα πειράματα σχεδιάστηκαν σκοπεύοντας να διερευνηθεί η επίδραση της ενζυμικής επεξεργασίας τόσο στις ιδιότητες των πιτύρων, όσο και στα ποιοτικά χαρακτηριστικά της ζύμης και του αντίστοιχου εμπλουτισμένου κέικ, ενώ σε κάθε περίπτωση εξετάστηκαν διάφορα ποσοστά ενζύμου για να επιλεγεί το βέλτιστο. Επιπροσθέτως, μελετήθηκε η συμπεριφορά του κέικ κατά την αποθήκευσή του και η επίδραση της χρήσης του ενζύμου και του επιπέδου προσθήκης του ενζύμου στην εξέλιξη της παλαίωσης.

Στη συνέχεια, με βάση τα αποτελέσματα που προέκυψαν από τα παραπάνω πειράματα, επιλέχθηκαν δύο πηγές διαιτητικών ινών (ίνες βρώμης και επεξεργασμένο πίτυρο βρώμης) και πραγματοποιήθηκε μελέτη βελτιστοποίησης των ποιοτικών χαρακτηριστικών των κέικ που περιείχαν μίγμα των πηγών αυτών. Τέλος, διερευνήθηκε η επίδραση της υποκατάστασης του αλεύρου σίτου με τις εξετασθείσες πηγές διαιτητικών ινών, καθώς και με το βέλτιστο μίγμα, στον αναμενόμενο γλυκαιμικό δείκτη (eGI) του κέικ.

Πίνακας 5.5 Σειρές πειραμάτων

1	Προσδιορισμός χημικής σύστασης και λειτουργικών ιδιοτήτων διαιτητικών ινών
Χαρακτηριστικά	<ul style="list-style-type: none"> ✓ Διαιτητικές ίνες σίτου, βρώμης, κριθαριού, καλαμποκιού • WHC, WBC, SC, IDF/SDF • Κατανομή μεγέθους σωματιδίων
2	Μελέτη υποκατάστασης αλεύρου σίτου με πηγές διαιτητικών ινών σε κέικ
Χαρακτηριστικά	<ul style="list-style-type: none"> ✓ Διαιτητικές ίνες σίτου, βρώμης, κριθαριού, καλαμποκιού ✓ Πίτυρα σίτου, βρώμης, ρυζιού ✓ Ποσοστό υποκατάστασης 10-50% <ul style="list-style-type: none"> • Επίδραση στα χαρακτηριστικά της ζύμης και του κέικ • Μελέτη διατηρησιμότητας/παλαιώσης
3	Μελέτη προσθήκης διαιτητικών ινών σε άρτο ελεύθερο γλουτένης
Χαρακτηριστικά	<ul style="list-style-type: none"> ✓ Ποσοστό προσθήκης 3-9% ✓ Διαιτητικές ίνες σίτου, βρώμης, κριθαριού, καλαμποκιού <ul style="list-style-type: none"> • Επίδραση στα χαρακτηριστικά της ζύμης και του άρτου • Βελτιστοποίηση άρτων εμπλουτισμένων με διαιτητικές ίνες καλαμποκιού και μελέτη αποθήκευσής τους
4	Μελέτης ενζυμικής επεξεργασίας πιτύρων
Χαρακτηριστικά	<ul style="list-style-type: none"> ✓ Πίτυρα βρώμης και ρυζιού ✓ 70 και 700 ppm ενδοξυλανάσης <ul style="list-style-type: none"> • Επίδραση στα χαρακτηριστικά των πιτύρων (λειτουργικές ιδιότητες, IDF/SDF, μικροδομή, κατανομή M.B. αραβινοξυλανών)
5	Μελέτη υποκατάστασης αλεύρου σίτου με ενζυμικά επεξεργασμένα πίτυρα σε κέικ
Χαρακτηριστικά	<ul style="list-style-type: none"> ✓ Πίτυρα βρώμης και ρυζιού

	<ul style="list-style-type: none"> ✓ Ποσοστό υποκατάστασης 30% • Επίδραση στα χαρακτηριστικά της ζύμης και του κέικ
6	Μελέτη διατηρησιμότητας των εμπλουτισμένων με ενζυμικά επεξεργασμένα πίτυρα κέικ
Χαρακτηριστικά	<ul style="list-style-type: none"> ✓ Πίτυρα βρώμης και ρυζιού ✓ Ποσοστό υποκατάστασης 30% ✓ Χρόνος αποθήκευσης 7 ημέρες <ul style="list-style-type: none"> • Επίδραση στο ρυθμό υποβάθμισης των ποιοτικών χαρακτηριστικών
7	Μελέτη βελτιστοποίησης των ποιοτικών χαρακτηριστικών κέικ εμπλουτισμένων με διάφορες πηγές διαιτητικών ινών με χρήση της μεθοδολογίας επιφανειών απόκρισης
Χαρακτηριστικά	<ul style="list-style-type: none"> ✓ Χρήση μιγμάτων ινών/πιτύρων που αποδείχθηκαν βέλτιστα από τις προηγούμενες σειρές ✓ Ποσοστό υποκατάστασης 30%
8	Μελέτη της αφομοιωσιμότητας του αμύλου και του αναμενόμενου γλυκαιμικού δείκτη (eGI) των εμπλουτισμένων με διαιτητικές ίνες και πίτυρα (επεξεργασμένα ή μη) κέικ
Χαρακτηριστικά	<ul style="list-style-type: none"> ✓ Διαιτητικές ίνες σίτου, βρώμης, κριθαριού ✓ Πίτυρα σίτου, βρώμης (ενζυμικά επεξεργασμένα ή μη), ρυζιού (ενζυμικά επεξεργασμένα ή μη) ✓ Βέλτιστο μίγμα (από την 7^η σειρά) ✓ Ποσοστό υποκατάστασης 30%

5.6 Στατιστική Επεξεργασία

Για την επεξεργασία των πειραματικών αποτελεσμάτων εφαρμόστηκαν στατιστικά εργαλεία παραμετρικής (Ανάλυση συνδιακύμανσης – ANOVA) και πολυπαραμετρικής ανάλυσης (ανάλυση παλινδρόμησης), ενώ η μελέτη βελτιστοποίησης έγινε με χρήση της μεθοδολογίας επιφανειών απόκρισης (RSM). Σε όλες τις περιπτώσεις η στατιστική επεξεργασία των δεδομένων έγινε με το πρόγραμμα STATISTICA (7, StatSoft Inc., Tulsa, OK, USA).

Ειδικότερα, για τον έλεγχο της σημαντικότητας της επίδρασης των σχεδιαστικών παραμέτρων της παρούσας διατριβής (είδος ινών/πιτύρων, ποσοστό προσθήκης ινών/πιτύρων, ενζυμική κατεργασία πιτύρων, ποσοστό ενζύμου) στις επιμέρους ιδιότητες

των πιτύρων, της ζύμης και των κέικ, χρησιμοποιήθηκε η τεχνική της ανάλυσης διακύμανσης ενός ή δύο παραγόντων (one or two way – ANOVA) ή της πολυμεταβλητής ανάλυσης διακύμανσης (MANOVA) ανάλογα με το σύνολο των σχεδιαστικών παραμέτρων. Στις περιπτώσεις που παρατηρήθηκαν σημαντικές επιδράσεις των σχεδιαστικών παραμέτρων, εφαρμόστηκε το κριτήριο Duncan's για τον έλεγχο των διαφορών των μέσων όρων των ιδιοτήτων.

Η ανάλυση παλινδρόμησης χρησιμοποιήθηκε προκειμένου να διερευνηθούν οι συσχετίσεις μεταξύ των αντικειμενικών (αντικειμενικές μετρήσεις, χημικές ιδιότητες) και οργανοληπτικών χαρακτηριστικών, καθώς και να σχηματιστούν μαθηματικά μοντέλα πρόβλεψης των ποιοτικών και οργανοληπτικών χαρακτηριστικών του κέικ από χαρακτηριστικά της ζύμης ή/και των συστατικών του κέικ.

Τέλος, η μεθοδολογία επιφανειών απόκρισης (RSM) χρησιμοποιήθηκε προκειμένου να βελτιστοποιηθεί ποιοτικά και διατροφικά το προϊόν. Η RSM εφαρμόζεται κυρίως σε περιπτώσεις όπου κάποιες ανεξάρτητες μεταβλητές (π.χ. ποσότητες πρώτων υλών) οι οποίες βρίσκονται υπό τον έλεγχο του ερευνητή, επηρεάζουν τα ποιοτικά χαρακτηριστικά ενός προϊόντος ή μιας διαδικασίας (αποκρίσεις). Με τη βοήθεια της RSM είναι δυνατή η εύρεση των βέλτιστων συνθηκών ή επιπέδων των ανεξάρτητων μεταβλητών (X_1 , X_2) που παράγουν επιθυμητές τιμές για τις αποκρίσεις (Y_1, Y_2) και οδηγούν στο πλέον επιθυμητό τελικό προϊόν.

6. Αποτελέσματα- Συζήτηση

6.1 1^η Σειρά Πειραμάτων: Προσδιορισμός χημικής σύστασης και λειτουργικών ιδιοτήτων των διαιτητικών ινών

Σύμφωνα με τον επικρατέστερο ορισμό των Diplock et al. (1999), ένα τρόφιμο μπορεί να θεωρηθεί λειτουργικό όταν επηρεάζει θετικά μία ή περισσότερες λειτουργίες του ανθρώπινου οργανισμού, έτσι ώστε να συνδέεται είτε με βελτίωση της κατάστασης της υγείας/ευεξίας, ή/και με μείωση του κινδύνου εμφάνισης κάποιας ασθένειας. Επομένως, τα εμπλουτισμένα με διαιτητικές ίνες τρόφιμα ανήκουν στην κατηγορία των λειτουργικών τροφίμων, αφού οι ευεργετικές επιδράσεις των διαιτητικών ινών έχουν αποδειχθεί. Οι διαιτητικές ίνες, όμως, εκτός του ότι αποτελούν λειτουργικά συστατικά, χαρακτηρίζονται και από ιδιαίτερες λειτουργικές ιδιότητες (σχετιζόμενες με τις φυσικοχημικές τους ιδιότητες), οι οποίες είναι απαραίτητο να μελετηθούν προκειμένου να ενσωματωθούν κατάλληλα και αποτελεσματικά στα τρόφιμα.

Οι λειτουργικές ιδιότητες των ινών (διαλυτότητα, διόγκωση, ιξώδες, ζελοποίηση, ικανότητα συγκράτησης νερού, ικανότητα δέσμευσης νερού και ελαίου, ικανότητα δέσμευσης μετάλλων) εξαρτώνται από τη σύσταση των ινών, την κατανομή μεγέθους των σωματιδίων των ινών και ιδίως το λόγο διαλυτών/αδιάλυτων ινών, ενώ μπορεί να μεταβληθούν ανάλογα με τον τρόπο παραγωγής τους (Larrea et al. 1997, Grigelmo-Miguel et al. 1999, Wang et al. 2002, Collar et al. 2007). Από τις λειτουργικές ιδιότητες των διαιτητικών ινών, ιδιαίτερα σημαντική είναι η κατανόηση των ιδιοτήτων ενυδάτωσης που καθορίζουν το ποσοστό προσθήκης τους στα τρόφιμα (Thebaudin et al. 1997, Hamid & Luan 2000). Χαρακτηριστικά αναφέρεται η περίπτωση της αρτοποιίας, όπου το νερό είναι απαραίτητο για να σχηματιστεί η δομή του άρτου, και τυχόν προσθήκη ινών που απορροφούν ταχέως το νερό του μίγματος παρασκευής του άρτου, θα εμποδίσει ή θα περιορίσει την εξέλιξη των αντιδράσεων που δημιουργούν τη δομή του άρτου (Strange & Onwulata 2000).

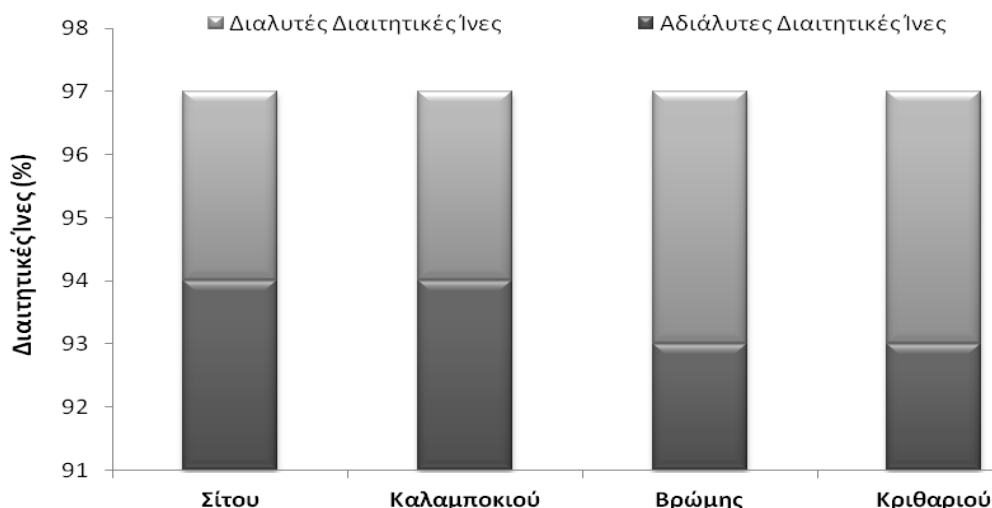
Η 1^η σειρά πειραμάτων αφορά τη μελέτη των λειτουργικών ιδιοτήτων των διαιτητικών ινών, έτσι ώστε να είναι δυνατή η συσχέτισή τους με τα χαρακτηριστικά των εμπλουτισμένων αρτοσκευασμάτων ελεύθερων γλουτένης και των κέικ στη συνέχεια. Οι διαιτητικές ίνες που μελετήθηκαν ήταν οι απομονωμένες διαιτητικές ίνες σίτου, καλαμποκιού, βρώμης και κριθαριού, που χρησιμοποιήθηκαν και στα δύο αρτοσκευάσματα. Στους **Πίνακες 6.1.1** και **6.1.2** παρουσιάζεται η σύσταση και οι ιδιότητες ενυδάτωσης των διαιτητικών ινών που μελετήθηκαν, ενώ στα **Σχήματα 6.1.1** και **6.1.2** το περιεχόμενό τους σε διαιτητικές ίνες (διαλυτές αδιάλυτες, ολικές) και η κατανομή μεγέθους των σωματιδίων τους αντίστοιχα.

6.1.1 Χημική σύσταση διαιτητικών ινών

Όσον αφορά τη χημική σύνθεση (Πίνακας 6.1.1), οι ίνες που εξετάστηκαν χαρακτηρίζονταν από πολύ χαμηλή περιεκτικότητα λιπαρών, ενώ η τέφρα τους κυμαινόταν από 0.8% (ίνες σίτου) σε 2.3% (ίνες βρώμης, καλαμποκιού, κριθαριού). Τα χαμηλά επίπεδα τέφρας και λιπαρών καθιστούν τις πηγές αυτές κατάλληλες για χρήση σε τρόφιμα. Οι πηγές ινών είχαν το ίδιο επίπεδο πρωτεΐνης (0.4 %), ενώ η περιεκτικότητά τους σε υδατάνθρακες ήταν πολύ υψηλή, κυμαινόμενη από 88% έως 92%. Χαρακτηριστικά όπως το περιεχόμενο ολικών, διαλυτών και αδιάλυτων διαιτητικών ινών, και η κατανομή μεγέθους σωματιδίων, που επηρεάζουν τη λειτουργικότητα των ινών, ήταν παρόμοια για όλες τις διαιτητικές ίνες που χρησιμοποιήθηκαν. Ωστόσο οι διαιτητικές ίνες παρουσίασαν διαφορές στις ιδιότητες ενυδάτωσης που είναι ιδιαίτερης σημασίας για την ποιότητα του τελικού προϊόντος (Σχήμα 6.1.1).

Πίνακας 6.1.1 Χημική σύσταση των διαιτητικών ινών που μελετήθηκαν (%).

Διαιτητικές ίνες	Σίτου	Καλαμποκιού	Βρώμης	Κριθαριού
Υγρασία	5.83	8.35	6.27	5.73
Πρωτεΐνες	0.4	0.4	0.4	0.4
Τέφρα	0.8	2.4	2.31	2.3
Λιπαρά	0.01	0.04	0.01	0.14
Υδατάνθρακες	92.96	88.81	91.01	91.43



Σχήμα 6.1.1. Περιεχόμενο σε διαλυτές, αδιάλυτες και ολικές (το άθροισμα των 2) διαιτητικές ίνες των μελετηθεισών πηγών.

6.1.2 Λειτουργικές ιδιότητες διαιτητικών ινών

Οι αδιάλυτες ίνες έχουν ισχυρές υγροσκοπικές ιδιότητες, οι οποίες είναι καθοριστικές για την ενσωμάτωσή τους στα αρτοσκευάσματα. Είναι γνωστό ότι η μέγιστη ποσότητα του νερού που μπορεί να συγκρατήσουν οι ίνες είναι συνάρτηση των χημικών (συγγένεια των δομικών τους μονάδων με το νερό), φυσικών και δομικών χαρακτηριστικών τους (Brett & Waldron 1996, Raghavendra et al. 2004). Ειδικότερα, σύμφωνα με τους Thebaudin et al. (1997), το νερό δεσμεύεται στους αδιάλυτους πολυσακχαρίτες είτε λόγω επιφανειακής τάσης στους πόρους της μήτρας είτε με δεσμούς υδρογόνου, ιοντικούς δεσμούς και/ή υδρόφοβες αλληλεπιδράσεις.

Πίνακας 6.1.2 Λειτουργικές ιδιότητες (ιδιότητες ενυδάτωσης) των διαιτητικών ινών που μελετήθηκαν.

Διαιτητικές ίνες	Σίτου	Καλαμποκιού	Βρώμης	Κριθαριού
Διόγκωση (mL/ g ινών)	9.49	9.18	9.28	9.33
WHC (g νερού/g ινών)	9.01	8.77	8.91	8.97
WBC (g νερού/g ινών)	8.60	8.00	8.00	8.00

WHC: Ικανότητα συγκράτησης νερού, WBC: Ικανότητα δέσμευσης νερού

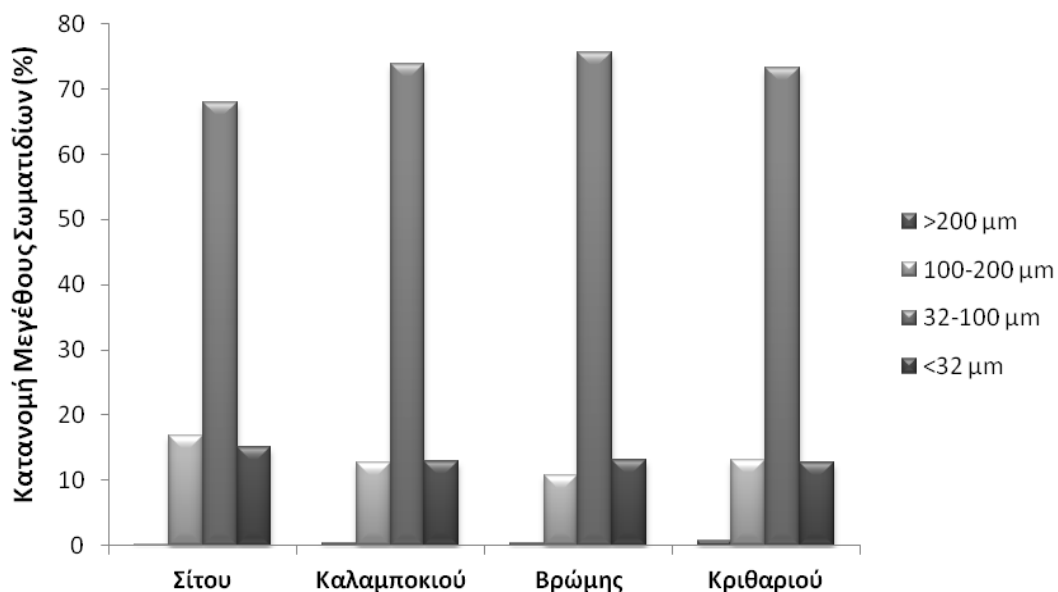
Η μεγάλη ικανότητα διόγκωσης (SC) είναι η πιο επιθυμητή παράμετρος για τη λειτουργικότητα των διαιτητικών ινών στο ανθρώπινο έντερο. Η ύπαρξη σημαντικής ικανότητας διόγκωσης χρειάζεται κατ' ανάγκη την ύπαρξη υδρόφιλων σημείων κατά μήκος των πολυσακχαριτών, έτσι ώστε τα μόρια νερού να μπορούν να σχηματίσουν δεσμούς υδρογόνου (Da Silva & Rao 1992). Οι πηγές ινών που χρησιμοποιήθηκαν στην παρούσα μελέτη παρουσίασαν υψηλές τιμές SC που κυμαίνονταν μεταξύ 9.18 mL/g (ίνες καλαμποκιού) και 9.49 mL/ g (ίνες σίτου) (**Πίνακας 6.1.2**). Οι πηγές ινών είχαν επίσης υψηλές τιμές ικανότητας συγκράτησης νερού (WHC) οι οποίες κυμαίνονταν μεταξύ 8.77 g νερού/g ινών (ίνες καλαμποκιού) και 9.01 g νερού/ g ινών (ίνες σίτου) (**Πίνακας 6.1.2**).

Η ικανότητα δέσμευσης νερού (WBC) είναι η ιδιότητα που επηρεάζει περισσότερο την ενσωμάτωση των ινών στα τρόφιμα, καθώς συνδέεται με την ποσότητα του νερού που διατηρείται από τις ίνες, για παράδειγμα, κατά τη διάρκεια ζύμωσης, ενώ δίνει και πληροφορίες για την ποσότητα του νερού που απαιτείται για την ενυδάτωση των ινών στο προϊόν. Επιπλέον, επηρεάζει τη λειτουργικότητα των συστατικών, την απόδοση του προϊόντος και τη σταθερότητα, και για αυτό είναι ιδιαίτερα σημαντική στην περίπτωση των αρτοσκευασμάτων, όπου το νερό μετέχει στην ζελατινοποίηση του αμύλου, στη μετουσίωση των πρωτεϊνών και στην ενεργοποίηση της μαγιάς κατά τη διάρκεια της ανάμιξης και του κλιβανισμού (Collar et al. 2007, Rosell et al. 2006). Οι ίνες σίτου παρουσίασαν την υψηλότερη τιμή WBC (8.6 g νερού/g ινών), ενώ οι άλλες πηγές

διαιτητικών ινών είχαν την ίδια WBC (8.0 g νερού/g ινών), η οποία ήταν σημαντικά χαμηλότερη (Πίνακας 6.1.2).

6.1.3 Κατανομή μεγέθους σωματιδίων διαιτητικών ινών

Η κατανομή μεγέθους σωματιδίων (PSD) είναι ιδιαίτερα σημαντική και καθορίζει τη λειτουργικότητα των ινών τόσο στο προϊόν όσο και στον οργανισμό (χρόνος διέλευσης, απέκκριση στα κόπρανα κλπ.). Τυπικά, η μείωση του μεγέθους των σωματιδίων των διαιτητικών ινών έχει συνδεθεί με μειωμένη ικανότητα συγκράτησης νερού (Zhang & Moore 1997, Sangnark & Noomhorm 2003), αν και ελλείψει της απαραίτητης δομής της μήτρας των διαιτητικών ινών, μείωση στο μέγεθος των σωματιδίων θα έχει ως αποτέλεσμα την εμφάνιση περισσότερων θέσεων πρόσδεσης νερού (Chau et al. 2006, Rosell et al. 2006). Ωστόσο, μελέτες των Rosell et al. έδειξαν ότι δεν υπάρχει σημαντική συσχέτιση ανάμεσα στο μέγεθος των σωματιδίων των ινών (PSD 10 έως 334 μm) και τις ιδιότητες ενυδάτωσης. Επιπλέον, οι Chau et al. δήλωσαν ότι η σχέση μεταξύ του PSD και των ιδιοτήτων ενυδάτωσης μπορεί να καθοριστεί μόνο σε ίδιου τύπου ίνες, των οποίων η μείωση του μεγέθους των σωματιδίων έχει γίνει με διαφορετικό τρόπο. Έτσι, η επίδραση του μεγέθους των σωματιδίων στις ιδιότητες ενυδάτωσης των ινών δεν μπορεί να γενικευτεί και, κατά συνέπεια, πρέπει να ελέγχεται για κάθε τύπο ινών (Strange & Onwulata 2002). Από τα παραπάνω είναι φανερό ότι όσον αφορά το πιο κατάλληλο μέγεθος των σωματιδίων των ινών για τα προϊόντα αρτοποιίας υπάρχουν αντικρουόμενες απόψεις. Ορισμένες μελέτες κατέληξαν στο συμπέρασμα ότι μικρότερο μέγεθος σωματιδίων έδωσε καλύτερα χαρακτηριστικά στα προϊόντα (Sangnark & Noomhorm 2003), ενώ άλλες περιέγραψαν την καταστροφική επίδραση των μικρών σωματιδίων στην ποιότητα του άρτου (Zhang & Moore 1999). Το PSD των ινών που χρησιμοποιήθηκαν στην παρούσα μελέτη κυμάνθηκε από περίπου 10 έως 200 μm, που μπορούν να θεωρηθούν ως λεπτά/μικρά σωματίδια, σύμφωνα με τις μελέτες που αναφέρθηκαν παραπάνω (Σχήμα 6.1.2).



Σχήμα 6.1.2 Κατανομή μεγέθους σωματιδίων (%) των διαιτητικών ινών που μελετήθηκαν.

6.1.4 Συμπεράσματα 1^{ης} σειράς πειραμάτων

Οι χρησιμοποιούμενες πηγές ινών είχαν παρόμοια ικανότητα διόγκωσης (SC), ικανότητα συγκράτησης νερού (WHC) και κατανομή μεγέθους σωματιδίων (PSD). Η ικανότητα δέσμευσης νερού (WBC) διέφερε με τις ίνες σίτου να έχουν τη μεγαλύτερη.

6.2 2^η Σειρά Πειραμάτων: Μελέτη υποκατάστασης αλεύρου σίτου με πηγές διαιτητικών ινών σε κέικ

Όπως αναφέρθηκε και προηγουμένως, η κατανάλωση συγκεκριμένης ποσότητας διαιτητικών ινών είναι απαραίτητη στα πλαίσια μιας ισορροπημένης διατροφής. Ως εκ τούτου, τα τελευταία χρόνια η ανάπτυξη καινοτόμων προϊόντων με βάση διάφορες πηγές διαιτητικών ινών αποτελεί πρόκληση για τη βιομηχανία τροφίμων. Τα αρτοσκευάσματα είναι ιδιαίτερα αρεστά στους καταναλωτές και λόγω της ευρείας κατανάλωσής τους και της συμβατής γεύσης τους με τις διαιτητικές ίνες, αποτελούν ιδανικά τρόφιμα προς εμπλουτισμό. Από το σύνολο των αρτοσκευασμάτων, έχει μελετηθεί εκτενώς ο εμπλουτισμός άρτου με διαιτητικές ίνες, ενώ λίγες σχετικά μελέτες αφορούν στον εμπλουτισμό του κέικ. Οι πηγές διαιτητικών ινών που χρησιμοποιούνται διαφέρουν στη δομή και τη χημική σύσταση, και επομένως έχουν διαφορετικό διατροφικό και λειτουργικό ενδιαφέρον. Λόγω αυτής της διαφοροποίησης, απαιτείται συστηματική μελέτη των επιπτώσεων των διαφορετικών πηγών διαιτητικών ινών στα ποιοτικά χαρακτηριστικά του κέικ, προκειμένου το προϊόν να είναι αποδεκτό από τον καταναλωτή.

Η 2^η σειρά πειραμάτων αφορά τη μελέτη των ιδιοτήτων κέικ εμπλουτισμένων με απομονωμένες διαιτητικές ίνες σιτηρών (DF) (σίτου, καλαμποκιού, βρώμης, κριθαριού) που θεωρούνται συμβατικές πηγές διαιτητικών ινών και πίτυρα σιτηρών (CB) (βρώμης, σίτου, ρυζιού) που θεωρούνται χαμηλού κόστους πηγές διαιτητικών ινών. Επιπροσθέτως, μελετήθηκε η μεταβολή των χαρακτηριστικών των εμπλουτισμένων προϊόντων κατά την αποθήκευσή τους (μελέτη παλαιώσης). Ο χρόνος αποθήκευσης ήταν 6 ημέρες και στο διάστημα αυτό πραγματοποιήθηκαν 4 δειγματοληψίες.

Τα ποσοστά υποκατάστασης του αλεύρου που δοκιμάστηκαν ήταν 10, 20, 30, 40 και 50%. Ωστόσο, 40% και 50% υποκατάσταση του αλεύρου με απομονωμένες διαιτητικές ίνες είχε ως αποτέλεσμα την υπερβολική αύξηση του ιξώδους της ζύμης, που δημιουργούσε προβλήματα κατά το χειρισμό της, ενώ αντίστοιχη υποκατάσταση με πίτυρα σιτηρών έδωσε μη αποδεκτά προϊόντα. Για αυτό το λόγο, στη συνέχεια θα παρουσιαστούν τα αποτελέσματα που προέκυψαν από υποκατάσταση του αλεύρου με 10-30% απομονωμένες διαιτητικές ίνες και πίτυρα σιτηρών. Όλα τα αποτελέσματα συγκρίνονται με το τυφλό δείγμα (κέικ αναφοράς) το οποίο δεν περιείχε καμία πηγή διαιτητικών ινών. Στους πίνακες **6.2.1** και **6.2.2** που ακολουθούν παρουσιάζεται η βασική συνταγή και η κωδικοποίηση των δειγμάτων αντίστοιχα.

Πίνακας 6.2.1 Βασική συνταγή που χρησιμοποιήθηκε στην παρασκευή του κέικ (2^η πειραματική σειρά).

Συστατικό	Ποσοστό (%) επί του βάρους του αλεύρου
Πηγή διαιτητικών ινών	0-30
Ζάχαρη	90
Λιπαρό	50
Γάλα	65
Αυγά	65
Βανιλίνη	0.2
Όξινο ανθρακικό νάτριο	1.11
Δυσόξινο φωσφορικό ασβέστιο	0.2
Όξινο πυροφωσφορικό νάτριο	1.35

Πίνακας 6.2.2 Κωδικοποίηση των δειγμάτων της 2^{ης} πειραματικής σειράς (εμπλουτισμός κέικ με διαιτητικές ίνες).

Πηγή Διαιτητικών Ινών	Ποσοστό Υποκατάστασης (%)	Κωδικός δείγματος	
—	—	C	
DF	Ίνες Σίτου	10	WF10
	Ίνες Σίτου	20	WF20
	Ίνες Σίτου	30	WF30
	Ίνες Καλαμποκιού	10	MF10
	Ίνες Καλαμποκιού	20	MF20
	Ίνες Καλαμποκιού	30	MF30
	Ίνες Βρώμης	10	OF10
	Ίνες Βρώμης	20	OF20
	Ίνες Βρώμης	30	OF30
	Ίνες Κριθαριού	10	BF10
	Ίνες Κριθαριού	20	BF20
	Ίνες Κριθαριού	30	BF30
CB	Πίτυρα Σίτου	10	WB10
	Πίτυρα Σίτου	20	WB20
	Πίτυρα Σίτου	30	WB30
	Πίτυρα Ρυζιού	10	RB10
	Πίτυρα Ρυζιού	20	RB20
	Πίτυρα Ρυζιού	30	RB30
	Πίτυρα Βρώμης	10	OB10
	Πίτυρα Βρώμης	20	OB20
	Πίτυρα Βρώμης	30	OB30

6.2.1 Ρεολογικά χαρακτηριστικά ζύμης κέικ

Στον Πίνακα 6.2.3 παρατίθενται οι τιμές των ρεολογικών παραμέτρων όπως προσδιορίστηκαν στην ζύμη των κέικ με DF, CB αλλά και στο τυφλό. Από τις μετρήσεις αποδείχθηκε ότι η προσθήκη DF οδήγησε σε αύξηση των τιμών του συντελεστή συνεκτικότητας (k_{cp}), ενώ προσθήκη πιτύρων σε μείωση των τιμών του k_{cp} . Οι τιμές του k_{cp} κυμαίνονταν από 0.468 Pa*sⁿ (για την ζύμη του κέικ με 10% πίτυρο ρυζιού) έως 20.210 Pa*sⁿ (για την ζύμη του κέικ με 30% ίνες σίτου). Από την ανάλυση διακύμανσης παρατηρήθηκε ότι τόσο η πηγή των ινών όσο και το επίπεδο προσθήκης επηρέασαν το συντελεστή συνεκτικότητας της ζύμης του κέικ σημαντικά ($P<0.05$).

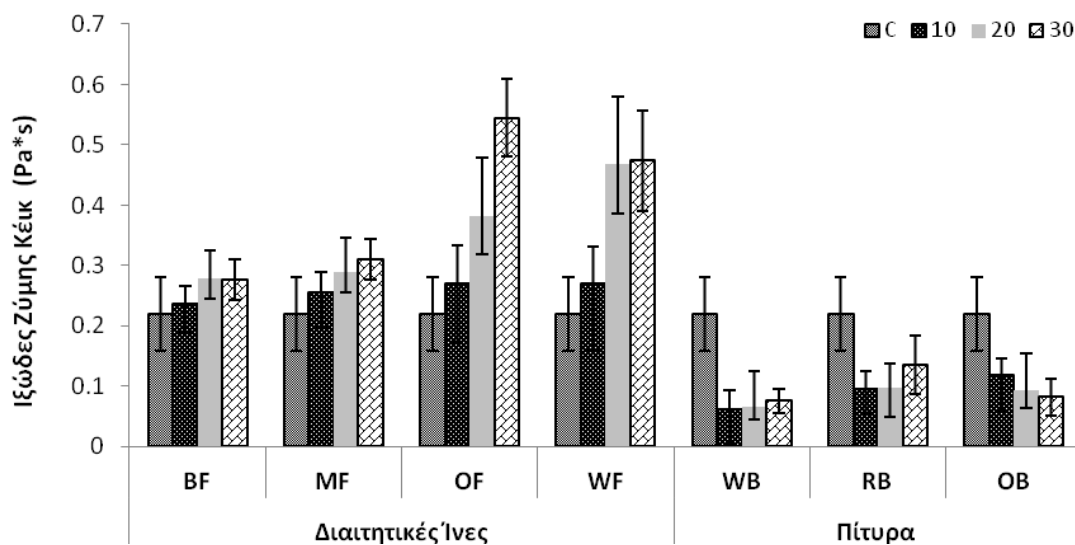
Ο δείκτης ρεολογικής συμπεριφοράς, n , χαρακτηρίζει την ψευδοπλαστική ($n<1$) ή τη Νευτωνική ($n=1$) συμπεριφορά του ρευστού. Σε όλες τις περιπτώσεις που μελετήθηκαν (υποκατάσταση αλεύρου με DF ή CB), η ζύμη του κέικ παρουσίασε ψευδοπλαστική συμπεριφορά (σε εύρος διατμητικής τάσης 0-200 s⁻¹). Έτσι, η μικροδομή της ζύμης φάνηκε να ευθυγραμμίζεται με τη διεύθυνση ροής καθώς αυξανόταν ο ρυθμός της διατμητικής τάσης, αφού σύμφωνα με τους Song et al. (2006) οι διάφορες πηγές διαιτητικών ινών κατά τη διάρκεια της διάτμησης προσανατολίζονται προς μία συγκεκριμένη διεύθυνση. Ο δείκτης ρεολογικής συμπεριφοράς επηρεάστηκε σημαντικά από την πηγή των διαιτητικών ινών και το επίπεδο προσθήκης ($P<0.05$) και κυμάνθηκε από 0.244 (ζύμη κέικ με 30% ίνες καλαμποκιού) έως 0.681 (ζύμη κέικ με 10% πίτυρα ρυζιού). Η ψευδοπλαστική συμπεριφορά ενισχύθηκε τόσο με την προσθήκη των DF όσο και με την αύξηση του επιπέδου προσθήκης τους. Οι χαμηλές τιμές n της ζύμης των κέικ με DF υποδηλώνουν την ύπαρξη μιας πιο περίπλοκης δομής (Πίνακας 6.2.3).

Τέλος, όσον αφορά το ιξώδες της ζύμης (Σχήμα 6.2.1), σημειώθηκε σημαντική μεταβολή του ανάλογα με το είδος των ινών και το ποσοστό χρήσης τους. Στην περίπτωση της ενσωμάτωσης CB παρατηρήθηκε σημαντική ($P<0.05$) μείωση σε σχέση με το ιξώδες του τυφλού, μεταβολή που συνδέεται περαιτέρω με την υποβάθμιση των ποιοτικών χαρακτηριστικών των αντίστοιχων κέικ (κυρίως της υφής και του όγκου). Αντίθετα, η προσθήκη DF προκάλεσε σημαντική ($P<0.05$) αύξηση στο ιξώδες της ζύμης, που οφείλεται στην αυξημένη ικανότητα απορρόφησης νερού των DF όπως παρατηρήθηκε επίσης από τους Brockmole & Zabik (1976). Για αυτό και τα κέικ που περιείχαν ίνες σίτου παρουσίασαν το μεγαλύτερο ιξώδες (WF3: 0.47 ± 0.08 Pa*s). Παρόμοια αποτελέσματα βρέθηκαν και από άλλους ερευνητές (Masoodi et al. 2002, Lee & Lin 2008).

Πίνακας 6.2.3 Επίδραση των διαιτητικών ινών στις ρεολογικές παραμέτρους της ζύμης του κέικ.

Κωδικός δείγματος	Συντελεστής συνεκτικότητας k_{cp} (Pa*s ⁿ)	Δείκτης ρεολογικής συμπεριφοράς (n)
C	2.956 (± 0.152) ^c	0.481(± 0.016) ^d
BF10	9.501 (± 0.173) ^f	0.263(± 0.021) ^a
BF20	11.610 (± 0.482) ^g	0.256(± 0.025) ^a
BF30	11.920 (± 0.341) ^g	0.249(± 0.019) ^a
MF10	11.330(±0.400) ^g	0.244(± 0.018) ^a
MF20	12.610(±0.843) ^g	0.246(± 0.026) ^a
MF30	13.730(±0.456) ^h	0.244(± 0.015) ^a
OF10	6.331(±1.024) ^d	0.340(± 0.023) ^{bc}
OF20	11.090(±2.132) ^g	0.328(± 0.012) ^b
OF30	15.880(±0.741) ⁱ	0.327(± 0.014) ^b
WF10	7.885(±1.240) ^e	0.327(± 0.014) ^b
WF20	18.610(±2.261) ^j	0.265(± 0.023) ^a
WF30	20.210(±1.282) ^k	0.251(± 0.022) ^a
WB10	1.454(±0.239) ^{abc}	0.373(± 0.031) ^c
WB20	1.897(±0.597) ^{abc}	0.328(± 0.016) ^b
WB30	2.081(±0.131) ^{bc}	0.340(± 0.015) ^{bc}
RB10	0.468(±0.185) ^a	0.681(± 0.028) ^g
RB20	0.637(±0.178) ^{ab}	0.626(± 0.024) ^f
RB30	0.902(±0.291) ^{ab}	0.622(± 0.027) ^f
OB10	1.228(±0.125) ^{ab}	0.534(± 0.025) ^e
OB20	1.425(±0.289) ^{abc}	0.456(± 0.021) ^d
OB30	1.301(±0.138) ^{ab}	0.448(± 0.026) ^d

C: Τυφλό δείγμα, BF: Ίνες κριθαριού, MF: Ίνες καλαμποκιού, OF: Ίνες βρώμης, WF: Ίνες σίτου, WB: Πίτυρα σίτου, RB: Πίτυρα ρυζιού, OB: Πίτυρα Βρώμης
 Ποσοστό υποκατάστασης αλεύρου σίτου 10:10%, 20:20%, 30:30%
 Μέσες τιμές ± τυπική απόκλιση με διαφορετικό γράμμα στον εκθέτη στην ίδια στήλη διαφέρουν σημαντικά στατιστικά ($P < 0.05$)



C: Τυφλό δείγμα, BF: Ίνες κριθαριού, MF: Ίνες καλαμποκιού, OF: Ίνες βρώμης, WF: Ίνες σίτου, WB: Πίτυρα σίτου, RB: Πίτυρα ρυζιού, OB: Πίτυρα Βρώμης
 Ποσοστό υποκατάστασης αλεύρου σίτου 10:10%, 20:20%, 30:30%
 Οι μπάρες σφάλματος απεικονίζουν την τυπική απόκλιση.

Σχήμα 6.2.1 Επίδραση των διαιτητικών ινών και των πιτύρων στο ιξώδες της ζύμης του κέικ.

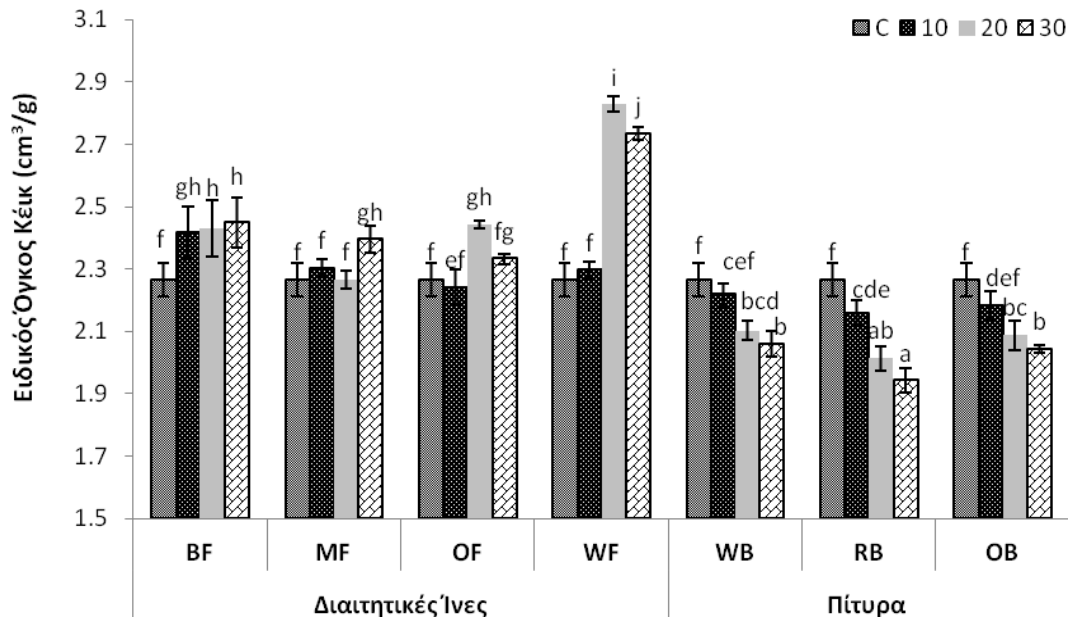
6.2.2 Ποιοτικά Χαρακτηριστικά Κέικ

Στα **Σχήματα 6.2.2-6.1.6** και τον **Πίνακα 6.2.4** παρουσιάζονται οι τιμές των ποιοτικών χαρακτηριστικών όπως προσδιορίστηκαν στα κέικ με DF, CB αλλά και στο τυφλό. Ο όγκος είναι ένα από τα σημαντικότερα ποιοτικά χαρακτηριστικά των κέικ που καθορίζει την επιλογή και αποδοχή τους από τους καταναλωτές. Η ενσωμάτωση DF αύξησε τον όγκο των κέικ, ενώ η ενσωμάτωση CB τον επηρέασε αρνητικά ($P < 0.05$) (**Σχήμα 6.2.2**). Παρόμοια τάση εμφάνισε και το πορώδες της ψίχας του κέικ, με τα πιο διογκωμένα κέικ να παρουσιάζουν και τις μεγαλύτερες τιμές πορώδους (**Σχήμα 6.2.3**). Αξίζει να σημειωθεί ότι ένας από τους παράγοντες που ελέγχουν τον όγκο του κέικ είναι το ιξώδες της ζύμης (Baixauli et al. 2008, Lee et al. 2004, Boyaci et al. 2008). Ο ρυθμός ανάδυσης των φυσαλίδων αέρα στην ζύμη του κέικ είναι συνήθως αντιστρόφως ανάλογος με το ιξώδες της. Συγκεκριμένα, υψηλό ιξώδες της ζύμης συμβάλλει στη διατήρηση περισσότερων φυσαλίδων αέρα, παρέχοντας πιο ογκώδη κέικ, όπως στην περίπτωση των κέικ με διαιτητικές ίνες (DF). Αντιθέτως, η απώλεια όγκου που παρατηρήθηκε στα κέικ με CB μπορεί να οφείλεται στις ταχέως αναδυόμενες φυσαλίδες αέρα λόγω του χαμηλού ιξώδους της αντίστοιχης ζύμης (**Σχήμα 6.2.2**). Ανάλογες παρατηρήσεις έχουν γίνει από τους Collins & Sunderline (1940), Yamazaki & Kissell (1978), Paton et al. (1981) και Ngo & Taranto (1986), οι οποίοι ανέφεραν ότι η χαμηλού ιξώδους ζύμη δεν μπορούσε συγκρατήσει τον ενσωματωμένο κατά την ανάμιξη αέρα όπως και τα απελευθερωνόμενα από τους παράγοντες διόγκωσης αέρια, με αποτέλεσμα να αναδύονται

στην επιφάνεια και να χάνονται κατά την έναρξη του κλιβανισμού. Τα κέικ με 20% ίνες σίτου παρουσίασαν το μεγαλύτερο ειδικό όγκο ($2.828 \text{ cm}^3/\text{g}$), ενώ τα κέικ με 30% πίτυρα ρυζιού το χαμηλότερο ($1.942 \text{ cm}^3/\text{g}$). Αύξηση του ποσοστού υποκατάστασης με CB προκάλεσε μείωση ($P<0.05$) στον ειδικό όγκο του κέικ, ενώ αύξηση του ποσοστού των DF προκάλεσε αύξηση του ειδικού όγκου (**Σχήμα 6.2.2**).

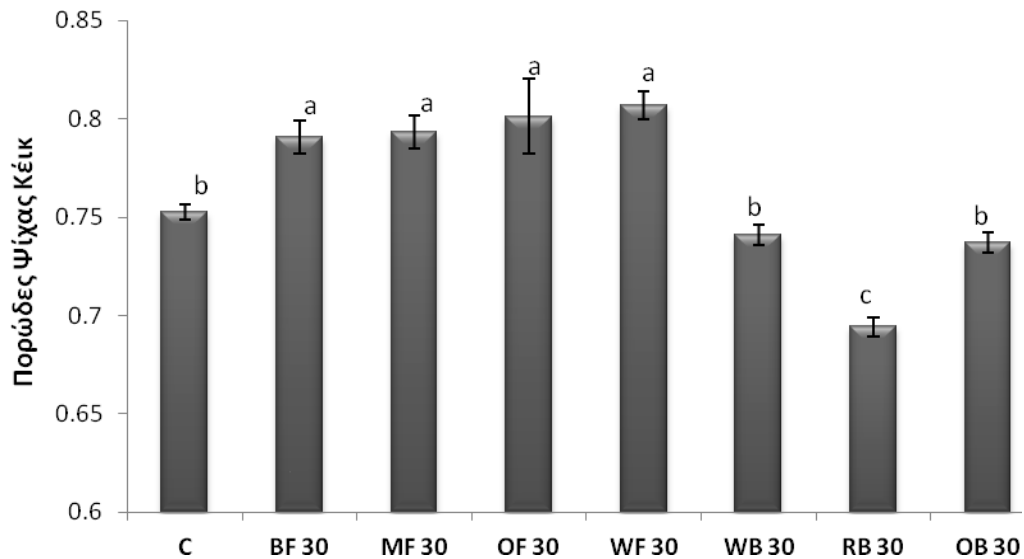
Η υφή είναι από τα κύρια χαρακτηριστικά των αρτοσκευασμάτων που επηρεάζεται από την προσθήκη ινών. Όλα τα κέικ που περιείχαν DF εμφάνισαν σημαντικά μικρότερες τιμές ($P<0.05$) σκληρότητας ψίχας από εκείνα με CB και το τυφλό (**Σχήμα 6.2.4**). Οι προστιθέμενες πηγές ινών επηρέασαν τη σκληρότητα της ψίχας αντιστρόφως από τον όγκο, με αποτέλεσμα τα πιο διογκωμένα κέικ να έχουν λιγότερο συμπαγή δομή και να είναι πιο μαλακά. Οι διαιτητικές ίνες ενισχύουν την τρυφερή υφή της ψίχας, αυξάνοντας την υγρασία της, όπως θα σχολιαστεί στη συνέχεια. Στη μελέτη παρατηρήθηκε αρνητική συσχέτιση μεταξύ της σκληρότητας της ψίχας και του όγκου του κέικ ($r = -0.81, P<0.05$) και μεταξύ της σκληρότητας ψίχας και του συντελεστή συνεκτικότητας της ζύμης ($r = -0.79, P<0.05$). Αύξηση του ποσοστού των DF δεν είχε σημαντική επίπτωση στη σκληρότητα της ψίχας, ενώ αύξηση του ποσοστού των CB επέφερε σημαντική αύξηση στη σκληρότητα της ψίχας. Η χαμηλότερη τιμή σκληρότητας σημειώθηκε σε κέικ με 20% ίνες σίτου (3.185 N), ενώ η υψηλότερη σε κέικ με 30% πίτυρο ρυζιού (10.843 N).

Η ενσωμάτωση DF δεν επηρέασε την ενεργότητα νερού (a_w) της ψίχας των κέικ, ενώ αύξησε την περιεχόμενη στην ψίχα υγρασία, σε σχέση με το τυφλό δείγμα (**Σχήματα 6.2.5-6.2.6**). Αντιθέτως, στα κέικ με CB σημειώθηκε ελάττωση της περιεχόμενης υγρασίας. Η διαφορά αυτή οφείλεται στην υψηλή ικανότητα απορρόφησης νερού των DF και τη χαμηλότερη των CB αντίστοιχα σε σχέση με το άλευρο. Στη μελέτη παρατηρήθηκε αρνητική συσχέτιση μεταξύ της υγρασίας της ψίχας και της σκληρότητας της ψίχας ($r = -0.92, P<0.05$), επιβεβαιώνοντας ουσιαστικά τη θετική επίδραση της υγρασίας στην τρυφερότητα της ψίχας.



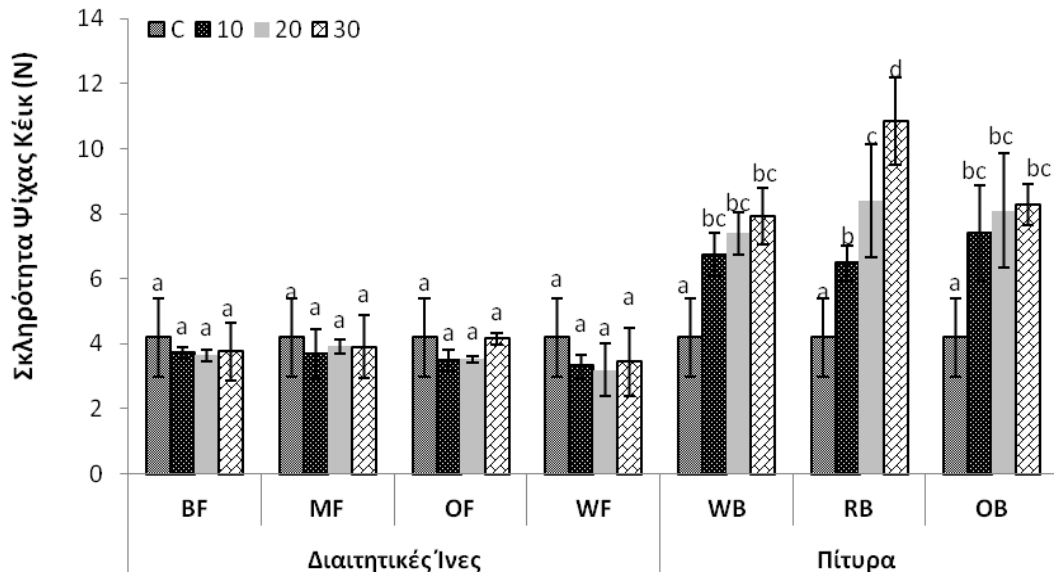
C: Τυφλό δείγμα, BF: Ίνες κριθαριού, MF: Ίνες καλαμποκιού, OF: Ίνες βρώμης, WF: Ίνες σίτου, WB: Πίτυρα σίτου, RB: Πίτυρα ρυζιού, OB: Πίτυρα Βρώμης
 Ποσοστό υποκατάστασης αλεύρου σίτου 10:10%, 20:20%, 30:30%
 Οι μπάρες σφάλματος απεικονίζουν την τυπική απόκλιση. Οι μπάρες με διαφορετικό γράμμα διαφέρουν σημαντικά στατιστικά ($P < 0.05$)

Σχήμα 6.2.2 Επίδραση των διαιτητικών ινών και των πιτύρων στον ειδικό όγκο του κέικ.



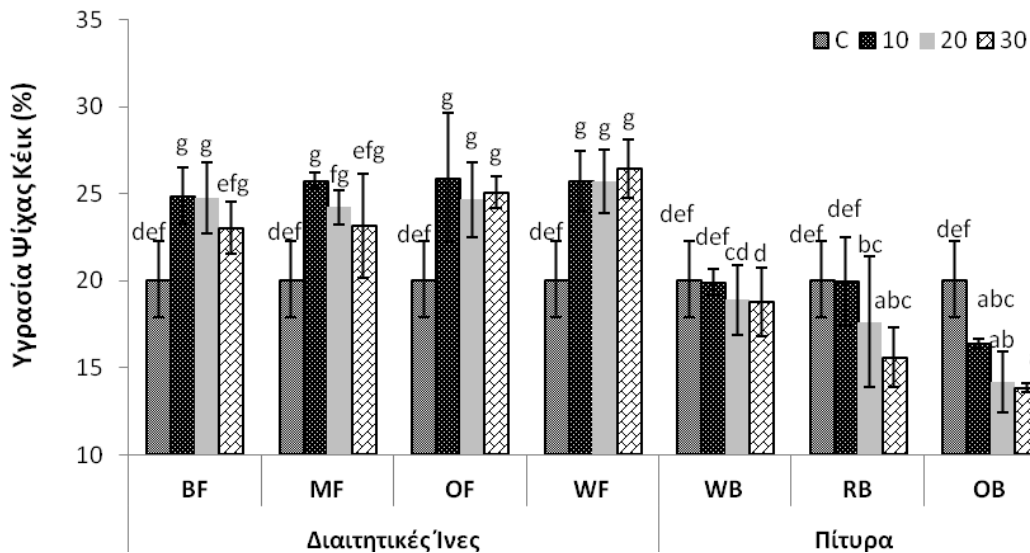
C: Τυφλό δείγμα, BF: Ίνες κριθαριού, MF: Ίνες καλαμποκιού, OF: Ίνες βρώμης, WF: Ίνες σίτου, WB: Πίτυρα σίτου, RB: Πίτυρα ρυζιού, OB: Πίτυρα Βρώμης
 Ποσοστό υποκατάστασης αλεύρου σίτου 30:30%
 Οι μπάρες σφάλματος απεικονίζουν την τυπική απόκλιση. Οι μπάρες με διαφορετικό γράμμα διαφέρουν σημαντικά στατιστικά ($P < 0.05$)

Σχήμα 6.2.3 Επίδραση της προσθήκης 30% διαιτητικών ινών και πιτύρων στο πορώδες της ψίχας του κέικ.



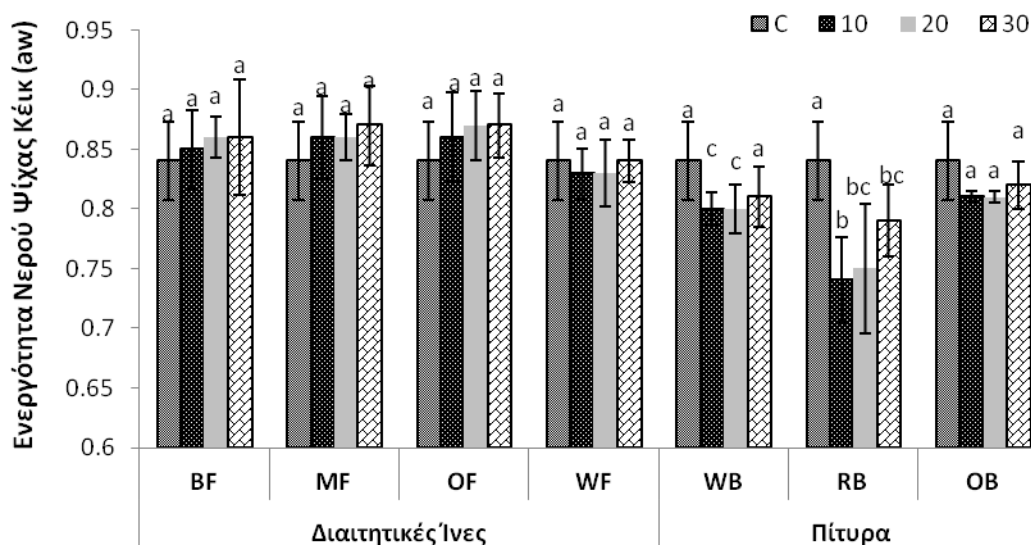
C:
 Τυφλό δείγμα, BF: Ύνες κριθαριού, MF: Ύνες καλαμποκιού, OF: Ύνες βρώμης, WF: Ύνες σίτου, WB: Πίτυρα σίτου, RB: Πίτυρα ρυζιού, OB: Πίτυρα Βρώμης
 Ποσοστό υποκατάστασης αλεύρου σίτου 10:10%, 20:20%, 30:30%
 Οι μπάρες σφάλματος απεικονίζουν την τυπική απόκλιση. Οι μπάρες με διαφορετικό γράμμα διαφέρουν σημαντικά στατιστικά ($P < 0.05$)

Σχήμα 6.2.4 Επίδραση των διαιτητικών ινών και των πιτύρων στη σκληρότητα της ψίχας του κέικ.



C:
 Τυφλό δείγμα, BF: Ύνες κριθαριού, MF: Ύνες καλαμποκιού, OF: Ύνες βρώμης, WF: Ύνες σίτου, WB: Πίτυρα σίτου, RB: Πίτυρα ρυζιού, OB: Πίτυρα Βρώμης
 Ποσοστό υποκατάστασης αλεύρου σίτου 10:10%, 20:20%, 30:30%
 Οι μπάρες σφάλματος απεικονίζουν την τυπική απόκλιση. Οι μπάρες με διαφορετικό γράμμα διαφέρουν σημαντικά στατιστικά ($P < 0.05$)

Σχήμα 6.2.5 Επίδραση των διαιτητικών ινών και των πιτύρων στην υγρασία της ψίχας του κέικ.



C: Τυφλό δείγμα, BF: Ύνες κριθαριού, MF: Ύνες καλαμποκιού, OF: Ύνες βρώμης, WF: Ύνες σίτου, WB: Πίτυρα σίτου, RB: Πίτυρα ρυζιού, OB: Πίτυρα Βρώμης
 Ποσοστό υποκατάστασης αλεύρου σίτου 10:10%, 20:20%, 30:30%
 Οι μπάρες σφάλματος απεικονίζουν την τυπική απόκλιση. Οι μπάρες με διαφορετικό γράμμα διαφέρουν σημαντικά στατιστικά ($P < 0.05$)

Σχήμα 6.2.6 Επίδραση των διαιτητικών ινών και των πιτύρων στην ενεργότητα νερού ($T=25$ °C) της ψίχας του κέικ.

Το χρώμα της ψίχας των κέικ επηρεάστηκε ($P < 0.05$) εφόσον γίνεται προσθήκη πηγών ινών, αλλά και από το ποσοστό των προστιθέμενων DF ή CB (**Πίνακας 6.2.4**). Λόγω του καστανού χρώματος των CB, τα αντίστοιχα κέικ εμφάνισαν σκουρόχρωμη ψίχα οπότε και σημαντικά ($P < 0.05$) μειωμένες τιμές φωτεινότητας (L values). Η μεταβολή αυτή του χρώματος έγινε πιο έντονη με κλιμάκωση του ποσοστού υποκατάστασης με CB. Πρέπει να αναφερθεί ότι το χρώμα της ψίχας εξαρτάται άμεσα από το χρώμα των προστιθέμενων πηγών ινών, λόγω του ότι η θερμοκρασία της ψίχας δεν φτάνει σε τόσο υψηλές τιμές όσο η κρούστα, ώστε να συμβούν αντιδράσεις Maillard και καραμελοποίησης που καθορίζουν το χρώμα της κρούστας (Gomez et al. 2007). Παρόλα αυτά, λόγω του ιδιαίτερα σκούρου χρώματος των CB, το χρώμα της κρούστας των κέικ επηρεάστηκε τόσο από την προσθήκη πηγών ινών όσο και από το επίπεδο προσθήκης τους. Συνεπώς, τα κέικ με CB είχαν πιο σκουρόχρωμη κρούστα από τα τυφλά, το χρώμα της κρούστας των οποίων επηρεάστηκε κυρίως από τις εμπλεκόμενες αντιδράσεις Maillard και καραμελοποίησης.

Πίνακας 6.2.4 Επίδραση των διαιτητικών ινών και των πιτύρων στο χρώμα της κρούστας και της ψίχας του κέικ.

Κωδικός Δειγμάτων	Κρούστα L	Κρούστα a	Κρούστα b	Ψίχα L	Ψίχα a	Ψίχα b
C	50.83(±1.92) ^{ab}	15.52(±0.17)	33.10(±1.74) ^{bc}	78.22(±0.35) ^k	-2.83(±0.12) ^{ab}	24.25(±1.03) ^{ab}
BF10	53.84(±0.07) ^{cd}	12.03(±0.38)	33.56(±0.8) ^c	71.98(±2.59) ^{ghi}	-2.89(±0.2) ^{ab}	27.73(±0.8) ^c
BF20	53.83(±1.53) ^{ab}	13.37(±0.57)	33.98(±0.6) ^c	74.54(±2.09) ^{ijk}	-1.03(±0.57) ^{de}	32.63(±0.22) ^d
BF30	55.66(±2.16) ^{bc}	13.80(±0.85)	37.07(±1.2) ^{de}	70.61(±0.49) ^{fgh}	-1.48(±0.21) ^{def}	32.25(±0.21) ^d
MF10	50.87(±1.54) ^{ab}	15.41(±0.86)	34.66(±0.65) ^{cd}	69.5(±2.12) ^{efg}	-0.23(±0.78) ^{efg}	31.64(±0.55) ^d
MF20	57.37(±3.11) ^{bc}	12.50(±1.81)	38.46(±1.69) ^{ef}	66.39(±0.95) ^{de}	-0.37(±0.28) ^{def}	32.10(±0.82) ^d
MF30	53.24(±2.37) ^{ab}	13.85(±0.51)	34.86(±1.45) ^{cd}	66.63(±1.75) ^{cde}	0.33(±0.29) ^{fg}	34.46(±0.21) ^d
OF10	66.55(±5.72) ^d	12.79(±4.11)	38.60(±1.44) ^{ef}	76.22(±0.63) ^{jk}	-3.61(±0.14) ^a	22.94(±0.77) ^{ab}
OF20	66.41(±1.92) ^d	11.77(±1.43)	38.68(±0.61) ^{ef}	76.00(±1.78) ^{hij}	-3.64(±0.19) ^{ab}	20.21(±0.35) ^{ab}
OF30	70.84(±5.1) ^e	12.31(±3.3)	37.52(±0.26) ^{ef}	76.23(±0.27) ^{hjk}	-3.33(±0.26) ^a	23.83(±0.47) ^{ab}
WF10	64.52(±1.63) ^d	11.01(±0.83)	39.92(±0.48) ^f	67.89(±0.66) ^{fgh}	-2.96(±0.27) ^{ab}	23.67(±0.6) ^{ab}
WF20	64.05(±1.58) ^d	12.66(±0.8)	36.81(±0.09) ^{de}	68.17(±1.48) ^{ef}	-2.56(±0.45) ^{ab}	21.90(±1.09) ^a
WF30	66.39(±1.22) ^{de}	12.63(±0.78)	36.72(±0.81) ^{de}	67.65(±2.32) ^{ef}	-2.61(±0.37) ^{ab}	21.65(±0.9) ^a
WB10	52.75(±0.44) ^{ab}	13.80(±0.25)	33.19(±0.86) ^c	65.29(±2.73) ^{bcd}	0.54(±0.66) ^g	22.18(±0.57) ^a
WB20	51.24(±2.35) ^{ab}	13.81(±1.01)	32.14(±0.74) ^{bc}	62.14(±1.46) ^{bc}	3.31(±0.67) ^h	23.11(±0.2) ^{ab}
WB30	48.75(±2.32) ^b	13.47(±0.53)	28.80(±1.39) ^a	61.03(±0.79) ^{ab}	4.29(±0.32) ⁱ	23.66(±0.81) ^{ab}
RB10	50.95(±1.48) ^{ab}	14.98(±0.48)	32.39(±0.52) ^{bc}	67.73(±1.88) ^{ef}	-1.40(±0.35) ^{cd}	23.24(±1.3) ^{ab}
RB20	48.44(±1.16) ^a	14.08(±0.83)	29.22(±2.11) ^a	63.87(±1.01) ^{bcd}	-0.42(±0.12) ^{defg}	25.18(±0.48) ^{abc}
RB30	48.39(±0.89) ^a	14.46(±0.2)	29.23(±0.35) ^a	60.87(±1.28) ^{ab}	0.37(±0.14) ^{fg}	23.76(±0.42) ^{ab}
OB10	51.87(±1.62) ^{ab}	15.46(±0.56)	30.64(±2.26) ^{ab}	68.83(±1.26) ^{efg}	-1.99(±0.26) ^{bc}	23.87(±1.69) ^{ab}
OB20	49.87(±1.48) ^{ab}	15.34(±0.63)	28.78(±1.79) ^a	63.78(±0.52) ^{bcd}	-0.88(±0.19) ^{de}	23.53(±1.24) ^{ab}
OB30	48.87(±1.63) ^b	15.23(±0.47)	28.83(±1.76) ^a	58.22(±1.74) ^a	0.20(±0.49) ^{fg}	25.73(±1.05) ^{bc}

C: Τυφλό δείγμα, BF: Ίνες κριθαριού, MF: Ίνες καλαμποκιού, OF: Ίνες βρώμης, WF: Ίνες σίτου, WB: Πίτυρα σίτου, RB: Πίτυρα ρυζιού, OB: Πίτυρα Βρώμης

Ποσοστό υποκατάστασης αλεύρου σίτου 10:10%, 20:20%, 30:30%

Μέσες τιμές ± τυπική απόκλιση με διαφορετικό γράμμα στον εκθέτη στην ίδια στήλη διαφέρουν σημαντικά στατιστικά ($P < 0.05$)

6.2.3 Οργανοληπτική αξιολόγηση κέικ

Στον Πίνακα 6.2.5 παρατίθενται οι βαθμολογίες των χαρακτηριστικών των κέικ, όπως προέκυψαν από την οργανοληπτική αξιολόγηση των δειγμάτων. Η προσθήκη DF προκάλεσε αύξηση του όγκου των κέικ, με πιο διογκωμένα εκείνα που περιείχαν ίνες σίτου, ενώ η προσθήκη CB μείωσε τον όγκο των κέικ, με λιγότερο διογκωμένα εκείνα που περιείχαν 30% πίτυρα ρυζιού. Καμία από τις παραμέτρους της περιγραφικής ανάλυσης δεν επηρεάστηκε σημαντικά από την αύξηση του ποσοστού των DF στα κέικ.

Τα αποτελέσματα της οργανοληπτικής αξιολόγησης του όγκου των κέικ συμφωνούσαν με τα αποτελέσματα της αντικειμενικής μέτρησης (με τη μέθοδο εκτόπισης σπόρων). Όσον αφορά τις παραμέτρους της υφής, δεν παρατηρήθηκαν σημαντικές διαφορές ανάμεσα στις τιμές της οργανοληπτικής σκληρότητας της ψίχας των κέικ. Τα υπόλοιπα χαρακτηριστικά της υφής των κέικ μεταβλήθηκαν ελάχιστα μετά την προσθήκη ινών βρώμης, σιταριού και καλαμποκιού, μόνο τα κέικ με ίνες κριθαριού παρουσίασαν σημαντικές μεταβολές, χαρακτηριζόμενα από λιγότερο ελαστική ψίχα και εντονότερη αίσθηση αποδόμησης στο στόμα. Η προσθήκη CB επηρέασε αρνητικά την ελαστικότητα της ψίχας των κέικ και αύξησε την αίσθηση της αποδόμησης στο στόμα, τη μετάγευση και το δυσάρεστο άρωμα. Η γεύση και το άρωμα των κέικ επηρεάστηκε μόνο στην περίπτωση προσθήκης CB, λόγω της χαρακτηριστικής εγγενούς γεύσης τους, σε αντίθεση με την ουδέτερη γεύση των DF. Ειδικότερα, τα κέικ με πίτυρα ρυζιού είχαν πιο δυσάρεστο άρωμα (off-flavor) και πιο έντονη μετάγευση ($P<0.05$), και συγκεκριμένα εκείνα με 30% πίτυρα ρυζιού θεωρήθηκαν από τους δοκιμαστές ως τα πιο εύθρυπτα και με την πιο έντονη αίσθηση αποδόμησης στο στόμα. Όσον αφορά την οργανοληπτική αξιολόγηση του χρώματος της ψίχας των κέικ, παρατηρήθηκε σημαντική μείωση στη βαθμολογία κατά την προσθήκη CB, ενώ κατά την προσθήκη DF δεν σημειώθηκε σημαντική ($P<0.05$) μεταβολή, με εξαίρεση την περίπτωση ινών καλαμποκιού. Ανάμεσα στις πηγές πιτύρων, η προσθήκη πιτύρου ρυζιού προκάλεσε τη μεγαλύτερη υποβάθμιση του χρώματος της ψίχας. Τα αποτελέσματα της οργανοληπτικής αξιολόγησης για το χρώμα της ψίχας των κέικ συμφωνούσαν με τα αποτελέσματα της αντικειμενικής μέτρησης του χρώματος (L) ($r=0.73$, $P<0.05$).

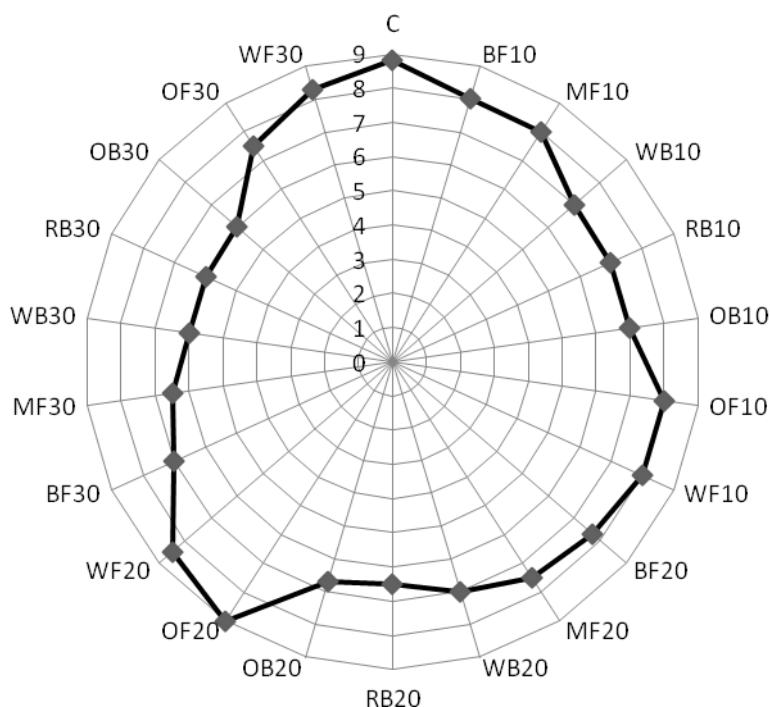
Πίνακας 6.2.5 Επίδραση των διαιτητικών ινών και των πιτύρων στα οργανοληπτικά χαρακτηριστικά του κέικ.

Κωδικός Δειγμάτων	Όγκος	Σκληρότητα Ψίχας	Ελαστικότητα Ψίχας	Ευθρυπτότητα Ψίχας	Αίσθηση Αποδόμησης	Δυσάρεστο Άρωμα	Μετάγευση	Χρώμα Ψίχας
C	4(±0.2) ^{def}	1(±0.5)	4(±0.2) ^{fg}	1(±0.3) ^a	0.5(±0.1) ^a	0.2(±0.2) ^a	0.5(±0.5) ^a	4.5(±0.2) ^f
BF10	3(±0.5) ^{bc}	0.5(±0.5)	2.5(±0.5) ^{cd}	1(±0.2) ^{ab}	1(±0.1) ^b	1(±0.5) ^b	0.5(±0.5) ^a	4(±0.5) ^{ef}
BF20	4(±0.5) ^{def}	0.5(±0.5)	2.5(±0.5) ^{cd}	2(±0.5) ^{cd}	1.5(±0.1) ^c	1(±0.5) ^b	1(±0.2) ^{ab}	4(±0.3) ^{ef}
BF30	3.5(±0.2) ^{cde}	1(±0.5)	2.5(±0.1) ^{cd}	2(±0.5) ^{cd}	1.5(±0.2) ^c	1(±0.5) ^b	1(±0.1) ^{ab}	4(±0.3) ^{ef}
MF10	4(±0.5) ^{def}	1(±0.3)	3(±0.1) ^{de}	1.5(±0.2) ^{bc}	0.5(±0.1) ^a	1(±0.2) ^b	1(±0.5) ^{ab}	3.5(±0.5) ^{de}
MF20	4(±0.5) ^f	1(±0.2)	3.5(±0.2) ^{ef}	2.5(±0.5) ^{de}	1.5(±0.3) ^{cd}	1(±0.2) ^b	1(±0.5) ^{ab}	3.5(±0.5) ^e
MF30	3.5(±0.3) ^{cde}	1(±0.2)	3(±0.1) ^{de}	2.5(±0.3) ^d	1(±0.1) ^b	1(±0.2) ^b	1.5(±0.5) ^{bc}	3(±0.2) ^{cd}
OF10	4(±0.5) ^{def}	0.5(±0.5)	3.5(±0.5) ^{ef}	1(±0.4) ^{ab}	0.5(±0.2) ^a	1(±0.1) ^b	0.5(±0.1) ^a	4(±0.2) ^{ef}
OF20	4.5(±0.2) ^f	0.5(±0.5)	4(±0.5) ^{fg}	1(±0.2) ^b	0.5(±0.2) ^{ab}	1(±0.1) ^b	0.5(±0.2) ^a	4(±0.1) ^{ef}
OF30	4.5(±0.1) ^f	0.5(±0.5)	4.5(±0.5) ^g	1.5(±0.5) ^{bc}	0.5(±0.2) ^a	1.5(±0.1) ^{bc}	0.5(±0.3) ^a	4(±0.4) ^{ef}
WF10	4(±0.5) ^{df}	0.5(±0.2)	3.5(±0.3) ^{ef}	1(±0.2) ^{ab}	0.5(±0.3) ^a	1(±0.3) ^b	0.5(±0.3) ^a	4(±0.1) ^{ef}
WF20	4.8(±0.2) ^f	1(±0.2)	3(±0.5) ^{de}	0.5(±0.5) ^a	0.5(±0.2) ^a	1(±0.3) ^b	0.5(±0.2) ^a	4.5(±0.5) ^f
WF30	4.5(±0.3) ^{def}	1(±0.2)	3.5(±0.5) ^{ef}	2(±0.5) ^{cd}	0.5(±0.2) ^a	1(±0.3) ^b	0.5(±0.2) ^a	4(±0.2) ^{ef}
WB10	3.5(±0.2) ^{cde}	0.5(±0.1)	2(±0.5) ^{bc}	2.5(±0.1) ^d	1(±0.4) ^b	1.5(±0.1) ^{bc}	1(±0.3) ^{ab}	3(±0.5) ^{cd}
WB20	3(±0.5) ^{bc}	0.5(±0.5)	2(±0.2) ^{bc}	2.5(±0.2) ^d	1.5(±0.5) ^c	2(±0.2) ^{cd}	1(±0.3) ^{ab}	2.5(±0.8) ^{bc}
WB30	3(±0.3) ^{bc}	0.5(±0.5)	1(±0.5) ^a	3.5(±0.5) ^e	2(±0.1) ^d	2(±0.2) ^{cd}	2(±0.3) ^c	2.5(±0.3) ^{bc}
RB10	3(±0.1) ^{bc}	1(±0.2)	2(±0.5) ^{bc}	3(±0.5) ^{de}	1.5(±0.2) ^c	2.5(±0.4) ^{de}	1(±0.5) ^{ab}	2(±0.5) ^b
RB20	2.5(±0.4) ^{ab}	1(±0.5)	1.5(±0.3) ^{ab}	3.5(±0.1) ^e	1.5(±0.2) ^c	3.5(±0.4) ^f	1.5(±0.5) ^{bc}	1(±0.3) ^a
RB30	2(±0.2) ^a	1(±0.5)	1(±0.2) ^a	4.5(±0.5) ^f	4(±0.5) ^e	3.5(±0.4) ^f	4(±0.2) ^d	1(±0.5) ^a
OB10	3.2(±0.5) ^{cd}	1(±0.2)	2(±0.2) ^{bc}	2(±0.3) ^{cd}	1.5(±0.5) ^c	1.5(±0.5) ^{bc}	1.5(±0.4) ^{bc}	2(±0.2) ^b
OB20	2.2(±0.5) ^a	1(±0.2)	2(±0.2) ^{bc}	2.5(±0.2) ^d	1.8(±0.2) ^{cd}	3(±0.5) ^{ef}	1.5(±0.5) ^{bc}	2(±0.5) ^b
OB30	2.3(±0.2) ^a	1(±0.2)	1(±0.5) ^a	3.5(±0.2) ^e	3(±0.2) ^f	3.5(±0.5) ^f	3(±0.3) ^e	2(±0.5) ^b

C: Τυφλό δείγμα, BF: Ίνες κριθαριού, MF: Ίνες καλαμποκιού, OF: Ίνες βρώμης, WF: Ίνες σίτου, WB: Πίτυρα σίτου, RB: Πίτυρα ρυζιού, OB: Πίτυρα Βρώμης
 Ποσοστό υποκατάστασης αλεύρου σίτου 10:10%, 20:20%, 30:30%

Μέσες τιμές ± τυπική απόκλιση με διαφορετικό γράμμα στον εκθέτη στην ίδια στήλη διαφέρουν σημαντικά στατιστικά ($P < 0.05$)

Η ολική αποδοχή των κέικ δεν μειώθηκε σημαντικά με την προσθήκη DF (με εξαίρεση την προσθήκη 30% ίνων καλαμποκιού και κριθαριού), ενώ ήταν σημαντικά χαμηλότερη για τα κέικ με CB. Η αποδοχή των κέικ με CB μειώθηκε περαιτέρω με την κλιμάκωση του ποσοστού προσθήκης τους. Όλα τα κέικ με DF είχαν ελκυστική εμφάνιση (κιτρινωπό χρώμα, μεγάλο όγκο και πορώδες), τρυφερή υφή ψίχας και ευχάριστη γεύση, όπως τα τυφλά δείγματα. Την υψηλότερη βαθμολογία έλαβαν τα κέικ με 20% ίνες βρώμης, ακολουθούμενα από τα κέικ με 20% ίνες σίτου. Τα κέικ με CB, από την άλλη πλευρά, είχαν πικρή μετάγευση, κοκκώδη αίσθηση στο στόμα και φτωχή εμφάνιση (καστανό χρώμα, μικρό όγκο και πορώδες) και επομένως έλαβαν και χαμηλότερη βαθμολογία (Σχήμα 6.2.7).



C: Τυφλό δείγμα, BF: Ίνες κριθαριού, MF: Ίνες καλαμποκιού, OF: Ίνες βρώμης, WF: Ίνες σίτου, WB: Πίτυρα σίτου, RB: Πίτυρα ρυζιού, OB: Πίτυρα Βρώμης
 Ποσοστό υποκατάστασης αλεύρου σίτου 10:10%, 20:20%, 30:30%

Σχήμα 6.2.7 Επίδραση των διαιτητικών ινών και των πιτύρων στην ολική αποδοχή του κέικ.

6.2.4 Μελέτη παλαιώσης

Για τη διεξαγωγή της μελέτης παλαιώσης τα κέικ αποθηκεύτηκαν σε θαλάμους 25 °C και 60% RH για 6 ημέρες. Δείγματα λαμβάνονταν τη 2^η, 4^η και 6^η ημέρα αποθήκευσης, προκειμένου να διερευνηθεί η υποβάθμιση των χαρακτηριστικών τους.

Τα κέικ είναι σύνθετα συστήματα, στα οποία πολλά συστατικά αντιδρούν μεταξύ τους και επηρεάζουν την υφή τους. Για αυτό και τα φαινόμενα που συμβαίνουν κατά την παλαιώση του κέικ έχουν μελετηθεί ελάχιστα. Γενικά, η παλαιώση στο κέικ έχει συσχετιστεί με την εσωτερική διεργασία σκλήρυνσης της ψίχας (που σχετίζεται με την αναδιαμόρφωση του αμύλου), και τη μετανάστευση/απώλεια υγρασίας (που επίσης επηρεάζει τη σκληρότητα της ψίχας), όπως αναφέρθηκε και προηγουμένως (Guy 1983, Piazza & Masi 1995, Lahtinen et al. 1998, Gomez et al. 2008).

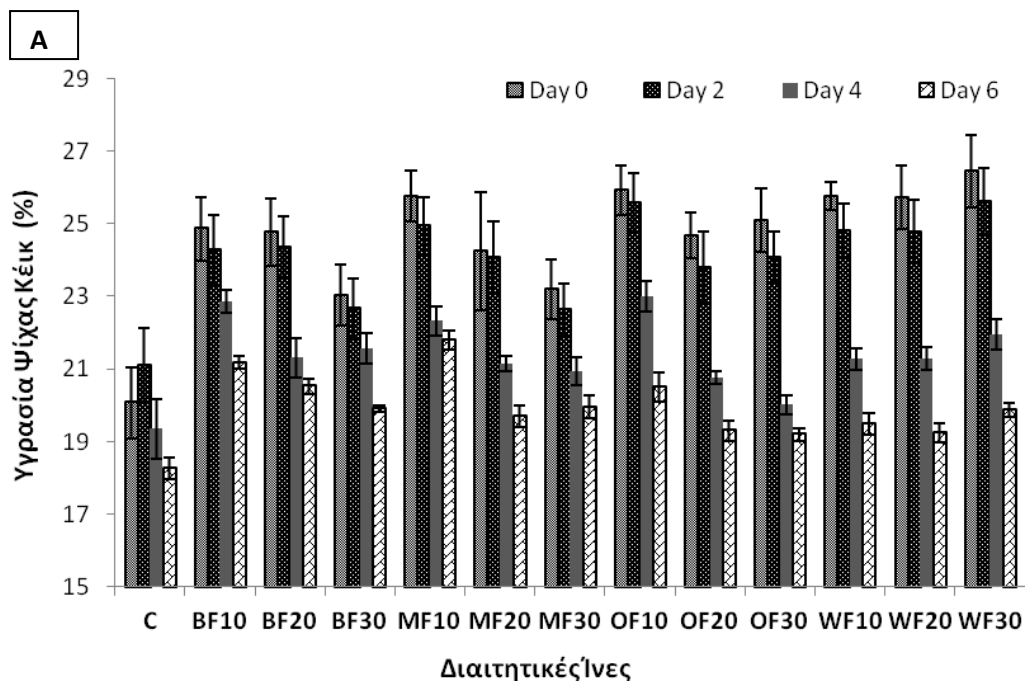
Όπως ήταν αναμενόμενο, η περιεχόμενη υγρασία μειώθηκε κατά τη διάρκεια της αποθήκευσης σε όλα τα δείγματα (**Σχήμα 6.2.8**). Στα δείγματα με DF η απώλεια υγρασίας ήταν σχεδόν παρόμοια ανεξάρτητα από το ποσοστό προσθήκης των DF, ενώ μεγαλύτερη απώλεια υγρασίας παρατηρήθηκε στα κέικ με CB, ανάλογα με τον τύπο του CB και το ποσοστό προσθήκης του. Συγκριτικά στα δείγματα με CB σημειώθηκε ταχύτερη απώλεια υγρασίας από ότι σε εκείνα με DF και στο τυφλό. Πάντως η υγρασία των κέικ με DF δεν μεταβλήθηκε σημαντικά ($P < 0.05$) κατά τις πρώτες 4 ημέρες αποθήκευσης. Αυτό μπορεί να οφείλεται στην ιδιαίτερα υψηλή ικανότητα δέσμευσης νερού (WBC) των DF που επιβραδύνει τη μετακίνηση του νερού από την ψίχα στην κρούστα, διατηρώντας έτσι την ψίχα πιο τρυφερή από του τυφλού και των κέικ με CB. Η ενεργότητα νερού της ψίχας των κέικ δεν μεταβλήθηκε σημαντικά ($P < 0.05$) κατά την αποθήκευση (**Σχήμα 6.2.9**).

Η σκληρότητα της ψίχας όλων των κέικ αυξήθηκε καθώς εξελισσόταν η αποθήκευση (**Σχήμα 6.2.10**). Τα φρέσκα δείγματα ήταν πιο μαλακά, η σκληρότητα όμως αυξήθηκε σημαντικά μετά την 4^η ημέρα αποθήκευσης για τα κέικ με DF και μετά τη 2^η ημέρα αποθήκευσης για τα κέικ με CB. Για την ίδια περίοδο αποθήκευσης, η σκληρότητα της ψίχας επηρεάστηκε από τον τύπο των προστιθέμενων DF και CB και από το επίπεδο προσθήκης των CB.

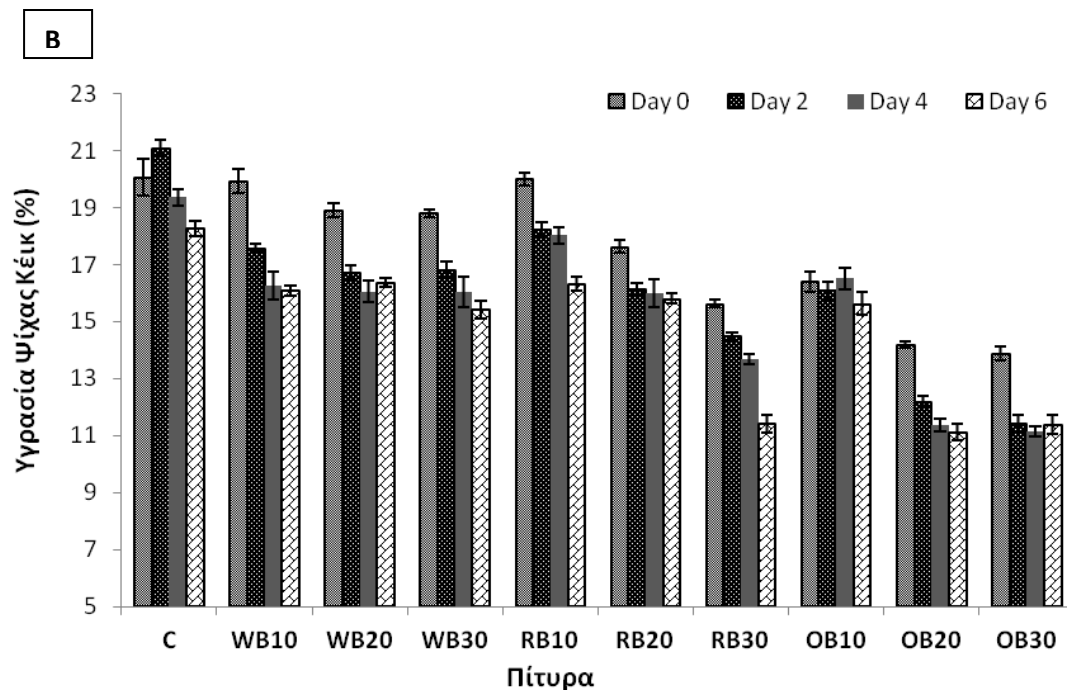
Αρκετές ερευνητικές προσπάθειες έχουν γίνει για τη συσχέτιση της ικανότητα δέσμευσης και διατήρησης νερού των συστατικών με την καθυστέρηση της παλαιώσης των αρτοσκευασμάτων. Σύμφωνα με τους Sych et al. (1987), Baik et al. (2000), Lin & Lee (2005) και Ji et al. (2007), η απώλεια υγρασίας από την ψίχα του κέικ αποτελεί τον πρωτογενή μηχανισμό σκλήρυνσης, ενώ η αναδιαμόρφωση του αμύλου και η ανακατανομή της υγρασίας αποτελούν το δευτερογενή μηχανισμό σκλήρυνσης. Η υψηλή ικανότητα δέσμευσης και διατήρησης νερού των DF μπορεί να προκαλέσει καθυστέρηση στην

αναδιαμόρφωση του αμύλου, που έχει ως αποτέλεσμα την επιμήκυνση της φρεσκότητας του προϊόντος. Χαρακτηριστικά αναφέρεται η μελέτη των Belitz & Grosch (1987) οι οποίοι παρασκεύασαν άρτο με σόγια, ένα συστατικό με υψηλή ικανότητα δέσμευσης νερού, διατηρώντας την τρυφερότητα της ψίχας του για μεγαλύτερο χρονικό διάστημα. Η συγκεκριμένη επιβράδυνση της παλαίωσης που παρατηρήθηκε στο προϊόν αποδόθηκε στην παρεμβολή/επίδραση της σόγιας στην αναδιαμόρφωση του αμύλου. Επιπροσθέτως, οι Zambrano et al. (2004) συσχέτισαν την ικανότητα των υδροκολλοειδών να διατηρούν το νερό και να εμποδίζουν τη μετακίνησή του, με τη διατήρηση της ελαστικότητας και της τρυφερότητας της ψίχας του κέικ.

Η ολική αποδεκτότητα των κέικ (**Σχήμα 6.2.13**) μειώθηκε σημαντικά ($P<0.05$) κατά τη διάρκεια της αποθήκευσής τους, σύμφωνα με τα αποτελέσματα της οργανοληπτικής αξιολόγησης, κυρίως λόγω της μεταβολής των παραμέτρων της υφής (σκληρότητα και ευθρυπτότητα) (**Σχήματα 6.2.11-6.2.12**). Στην παρούσα μελέτη παρατηρήθηκε θετική συσχέτιση μεταξύ της οργανοληπτικής και αντικειμενικής σκληρότητας της ψίχας ($r=0.84$, $P<0.05$), καθώς και μεταξύ της ολικής αποδοχής και της υγρασίας της ψίχας ($r=0.82$, $P<0.05$), γεγονός που επιβεβαιώνει τη σπουδαιότητα της υγρασίας της ψίχας στην ποιότητα του κέικ. Σε όλη τη διάρκεια της αποθήκευσης τα κέικ με CB εμφάνισαν υποβαθμισμένα χαρακτηριστικά και έλαβαν χαμηλότερη βαθμολογία σε σχέση με εκείνα με DF και το τυφλό (**Σχήμα 6.2.13**). Οι υπόλοιπες παράμετροι του οργανοληπτικού ελέγχου δεν άλλαξαν σημαντικά κατά τη διάρκεια της αποθήκευσης των κέικ.

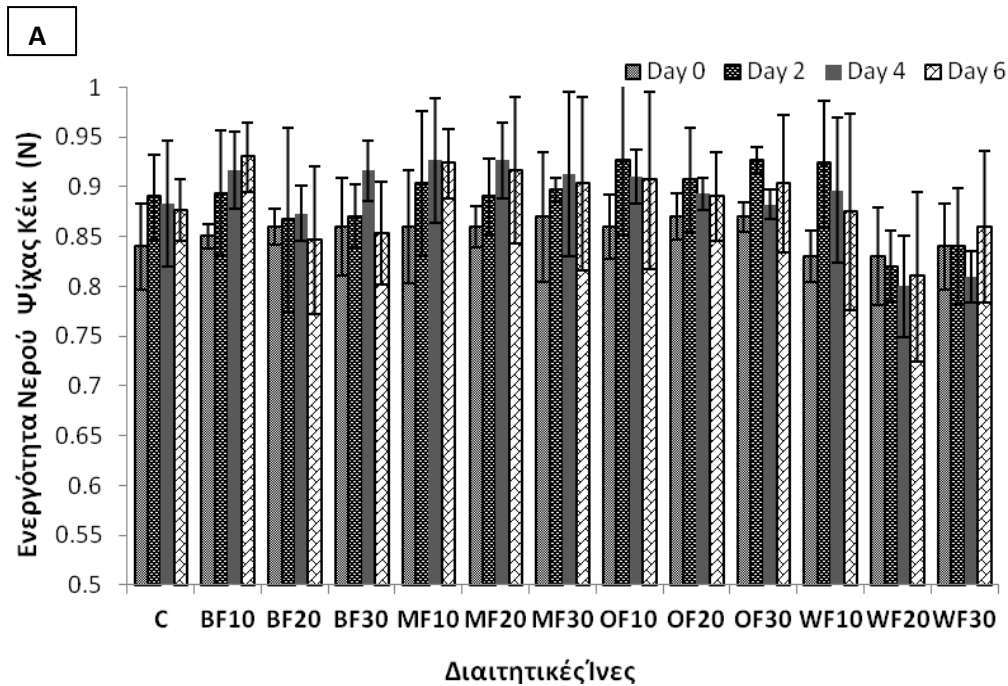


C: Τυφλό δείγμα, BF: Ύνες κριθαριού, MF: Ύνες καλαμποκιού, OF: Ύνες βρώμης, WF: Ύνες σίτου, Ποσοστό υποκατάστασης αλεύρου σίτου 10:10%, 20:20%, 30:30%
Οι μπάρες σφάλματος απεικονίζουν την τυπική απόκλιση.

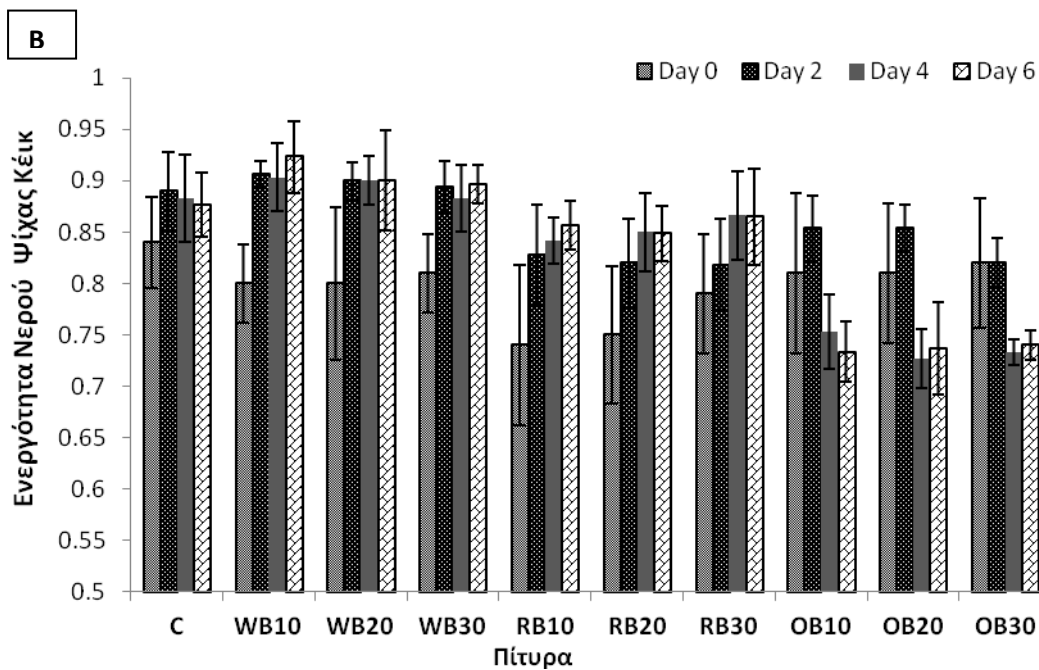


C: Τυφλό δείγμα, WB: Πίτυρα σίτου, RB: Πίτυρα ρυζιού, OB: Πίτυρα Βρώμης
Ποσοστό υποκατάστασης αλεύρου σίτου 10:10%, 20:20%, 30:30%
Οι μπάρες σφάλματος απεικονίζουν την τυπική απόκλιση.

Σχήμα 6.2.8 Επίδραση των διαιτητικών ινών (A) και των πιτύρων (B) στην υγρασία της ψίχας του κέικ κατά την αποθήκευση στους 25°C και 60% RH για 6 ημέρες.

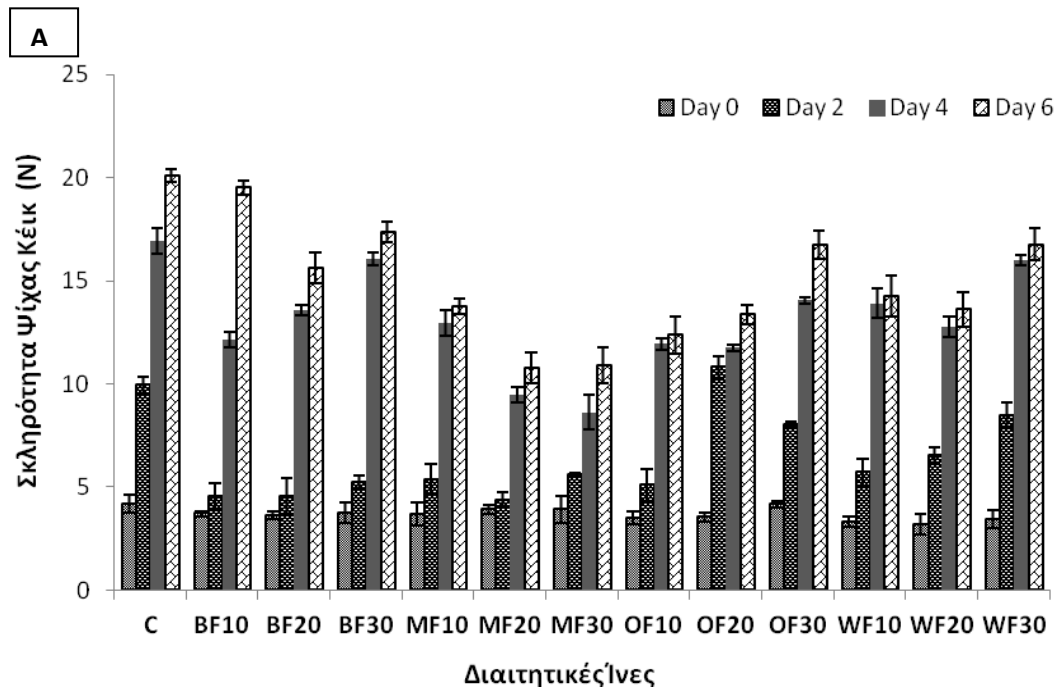


C: Τυφλό δείγμα, BF: Ύνες κριθαριού, MF: Ύνες καλαμποκιού, OF: Ύνες βρώμης, WF: Ύνες σίτου,
 Ποσοστό υποκατάστασης αλεύρου σίτου 10:10%, 20:20%, 30:30%
 Οι μπάρες σφάλματος απεικονίζουν την τυπική απόκλιση

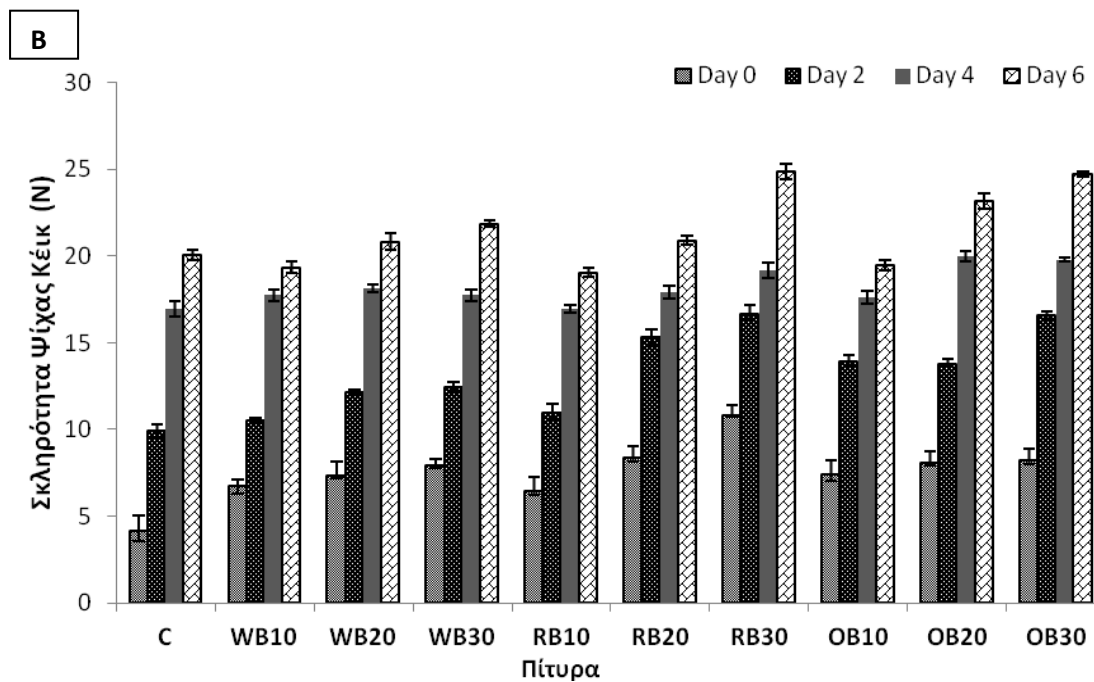


C: Τυφλό δείγμα, WB: Πίτυρα σίτου, RB: Πίτυρα ρυζιού, OB: Πίτυρα Βρώμης
 Ποσοστό υποκατάστασης αλεύρου σίτου 10:10%, 20:20%, 30:30%
 Οι μπάρες σφάλματος απεικονίζουν την τυπική απόκλιση.

Σχήμα 6.2.9 Επίδραση των διαιτητικών ινών (A) και των πιτύρων (B) στην ενεργότητα νερού (T=25 °C) της ψίχας του κέικ κατά την αποθήκευση στους 25°C και 60% RH για 6 ημέρες.

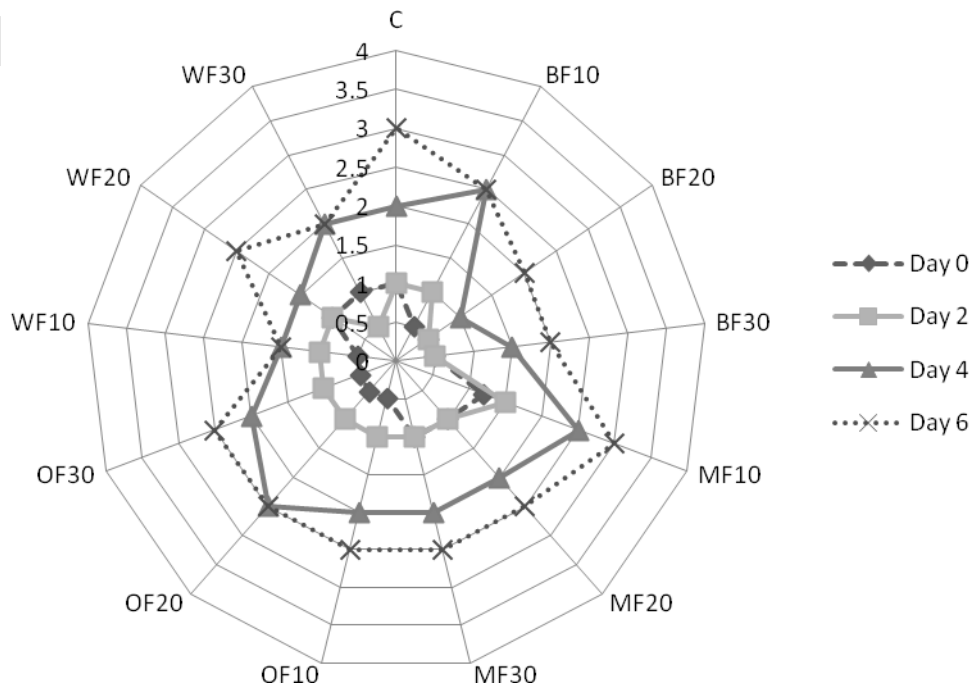


C: Τυφλό δείγμα, BF: Ύνες κριθαριού, MF: Ύνες καλαμποκιού, OF: Ύνες βρώμης, WF: Ύνες σίτου, Ποσοστό υποκατάστασης αλεύρου σίτου 10:10%, 20:20%, 30:30%
Οι μπάρες σφάλματος απεικονίζουν την τυπική απόκλιση

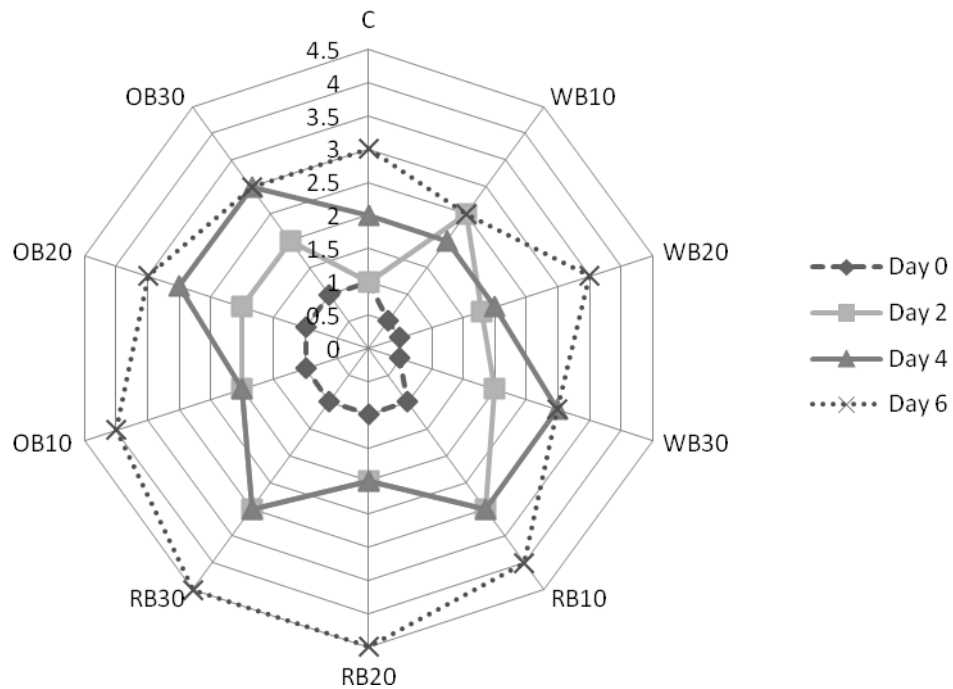


C: Τυφλό δείγμα, WB: Πίτυρα σίτου, RB: Πίτυρα ρυζιού, OB: Πίτυρα Βρώμης
Ποσοστό υποκατάστασης αλεύρου σίτου 10:10%, 20:20%, 30:30%
Οι μπάρες σφάλματος απεικονίζουν την τυπική απόκλιση.

Σχήμα 6.2.10 Επίδραση των διαιτητικών ινών (A) και των πιτύρων (B) στη σκληρότητα της ψίχας του κέικ κατά την αποθήκευση στους 25°C και 60% RH για 6 ημέρες.

A

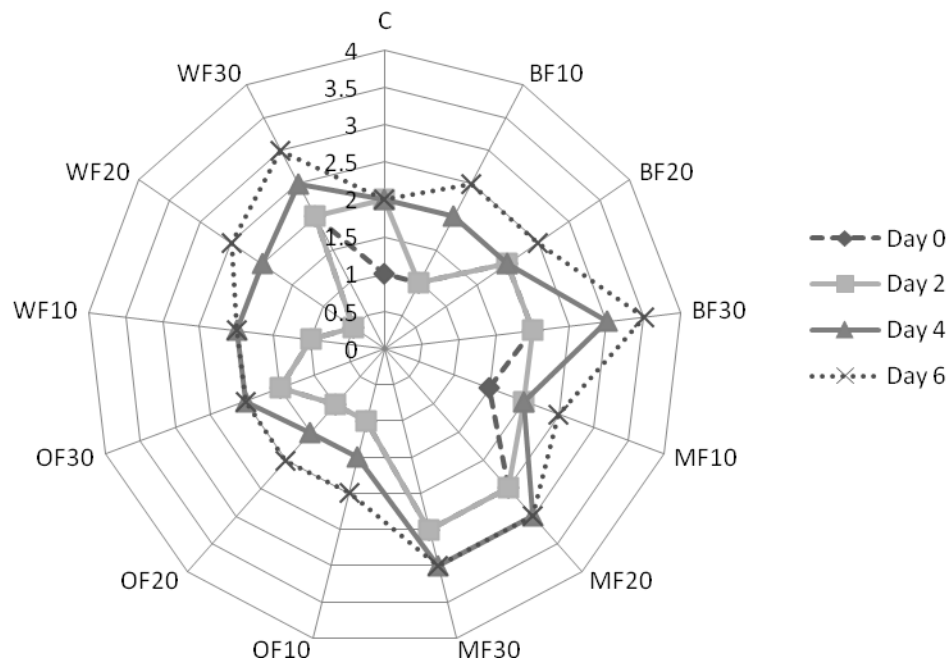
C: Τυφλό δείγμα, BF: Ύνες κριθαριού, MF: Ύνες καλαμποκιού, OF: Ύνες βρώμης, WF: Ύνες σίτου
 Ποσοστό υποκατάστασης αλεύρου σίτου 10:10%, 20:20%, 30:30%

B

C: Τυφλό δείγμα, WB: Πίτυρα σίτου, RB: Πίτυρα ρυζιού, OB: Πίτυρα Βρώμης
 Ποσοστό υποκατάστασης αλεύρου σίτου 10:10%, 20:20%, 30:30%

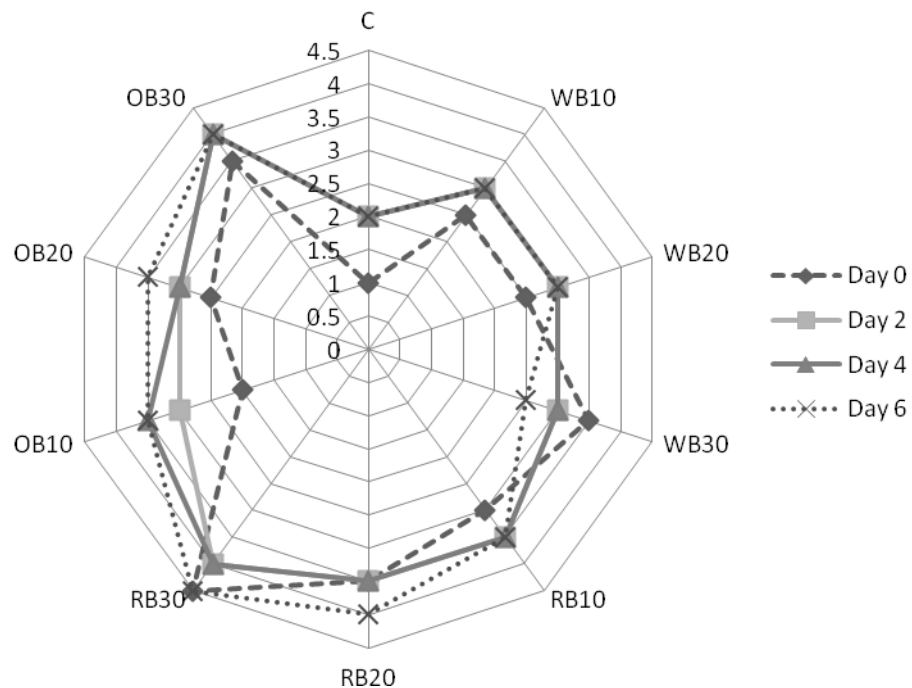
Σχήμα 6.2.11 Επίδραση των διαιτητικών ινών (A) και των πιτύρων (B) στην οργανοληπτική σκληρότητα της ψίχας του κέικ κατά την αποθήκευση στους 25°C και 60% RH για 6 ημέρες.

A



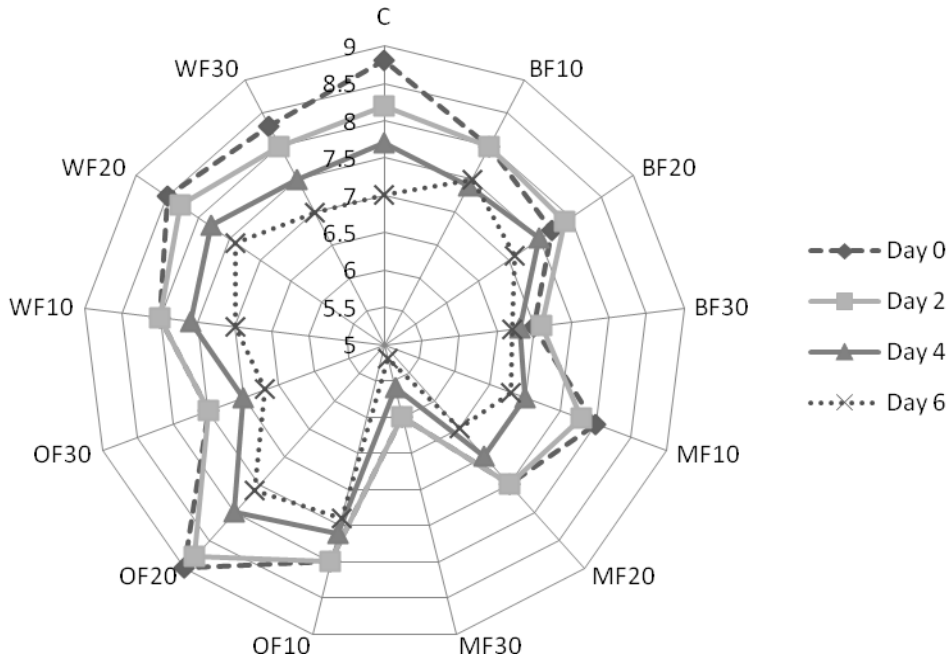
C: Τυφλό δείγμα, BF: Ύνες κριθαριού, MF: Ύνες καλαμποκιού, OF: Ύνες βρώμης, WF: Ύνες σίτου
Ποσοστό υποκατάστασης αλεύρου σίτου 10:10%, 20:20%, 30:30%

B

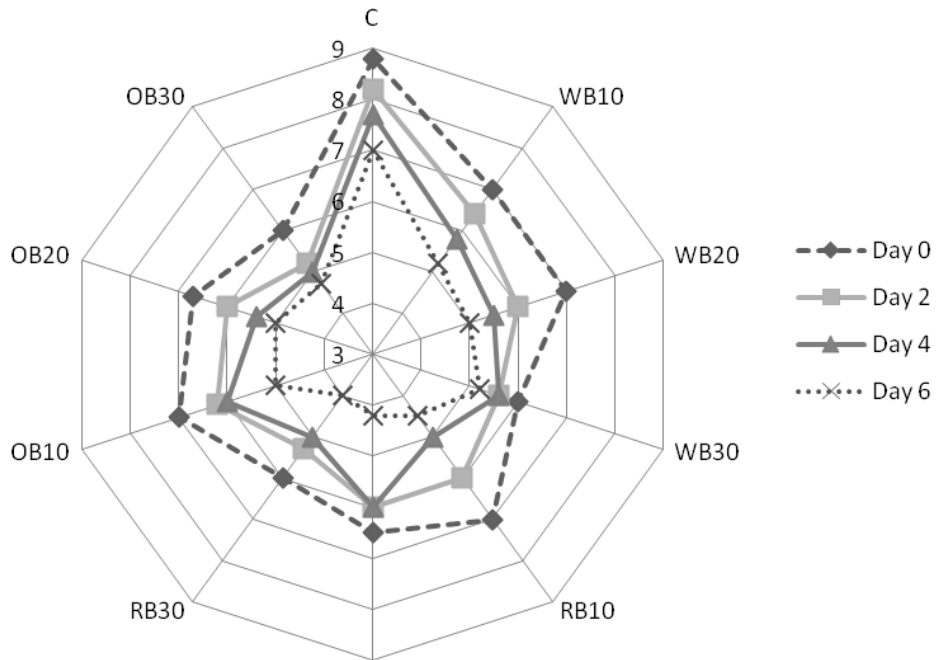


C: Τυφλό δείγμα, WB: Πίτυρα σίτου, RB: Πίτυρα ρυζιού, OB: Πίτυρα Βρώμης
Ποσοστό υποκατάστασης αλεύρου σίτου 10:10%, 20:20%, 30:30%

Σχήμα 6.2.12 Επίδραση των διαιτητικών ινών (A) και των πιτύρων (B) στην οργανοληπτική ευθρυπτότητα της ψίχας του κέικ κατά την αποθήκευση στους 25°C και 60% RH για 6 ημέρες.

A

C: Τυφλό δείγμα, BF: Ίνες κριθαριού, MF: Ίνες καλαμποκιού, OF: Ίνες βρώμης, WF: Ίνες σίτου
 Ποσοστό υποκατάστασης αλεύρου σίτου 10:10%, 20:20%, 30:30%

B

C: Τυφλό δείγμα, WB: Πίτυρα σίτου, RB: Πίτυρα ρυζιού, OB: Πίτυρα βρώμης
 Ποσοστό υποκατάστασης αλεύρου σίτου 10:10%, 20:20%, 30:30%

Σχήμα 6.2.13 Επίδραση των διαιτητικών ινών (A) και των πιτύρων (B) στην ολική αποδοχή του κέικ κατά την αποθήκευση στους 25°C και 60% RH για 6 ημέρες.

6.2.5 Συμπεράσματα 2^{ης} σειράς πειραμάτων

Η υποκατάσταση του αλεύρου με DF βελτίωσε τον όγκο, την υφή και τα οργανοληπτικά χαρακτηριστικά των κέικ, ενώ η υποκατάσταση με CB επηρέασε αρνητικά τα ποιοτικά και ορισμένα οργανοληπτικά χαρακτηριστικά τους. Τα κέικ με 20% και 30% ίνες σίτου και βρώμης είχαν το μεγαλύτερο όγκο, την πιο μαλακή ψίχα, ικανοποιητική συγκράτηση υγρασίας μετά τον κλιβανισμό και υψηλή βαθμολογία ολικής αποδοχής (όμοια με το τυφλό που ελήφθη ως βέλτιστο) κατά την οργανοληπτική τους αξιολόγηση. Αντιθέτως, τα κέικ με CB χαρακτηρίζονταν από συμπαγή δομή, μικρό όγκο και χαμηλή βαθμολογία ολικής αποδοχής. Τέλος, η ενσωμάτωση DF καθυστέρησε την αναμενόμενη υποβάθμιση των ποιοτικών χαρακτηριστικών του κέικ κατά την αποθήκευση, επιμηκύνοντας τη διατηρησιμότητά του. Από τη μελέτη τελικά αποδείχθηκε ότι η χρήση διαιτητικών ινών (DF) και συγκεκριμένα ινών σιταριού και βρώμης σε ποσοστό έως 30% βελτίωσε τα ποιοτικά χαρακτηριστικά των κέικ και επιβράδυνε την παλαιώσή τους.

6.3 3^η Σειρά Πειραμάτων: Μελέτη προσθήκης διαιτητικών ινών σε άρτο ελεύθερο γλουτένης

Οι ασθενείς με κοιλιοκάκη δεν λαμβάνουν τη συνιστώμενη ημερήσια δόση των 25-35 g διαιτητικών ινών, καθώς σε δίαιτες χωρίς γλουτένη χρησιμοποιείται άμυλο αντί για άλευρο το οποίο δεν περιέχει διαιτητικές ίνες. Επομένως ο εμπλουτισμός αρτοσκευασμάτων χωρίς γλουτένη με διαιτητικές ίνες κρίνεται απαραίτητος.

Η 3^η σειρά πειραμάτων αφορά στη μελέτη των ιδιοτήτων αρτοσκευασμάτων ελεύθερων γλουτένης εμπλουτισμένων με απομονωμένες διαιτητικές ίνες σιτηρών (σίτου, καλαμποκιού, βρώμης, κριθαριού). Τα ποσοστά προσθήκης των διαιτητικών ινών ήταν 3, 6 και 9 %. Ειδικότερα, μελετήθηκαν οι ρεολογικές (συντελεστής συνεκτικότητας, δείκτης ρεολογικής συμπεριφοράς) και οι θερμικές ιδιότητες του ζυμαριού (θερμοκρασία έναρξης, κορύφωσης και λήξης της ζελατινοποίησης, μεταβολή της ενθαλπίας ζελατινοποίησης), καθώς και τα ποιοτικά χαρακτηριστικά του τελικού προϊόντος (χρώμα, ειδικός όγκος, υγρασία και σκληρότητα ψίχας, οργανοληπτική αξιολόγηση). Επιπροσθέτως, έγινε βελτιστοποίηση του προϊόντος και μελετήθηκε η μεταβολή των χαρακτηριστικών του βελτιστοποιημένου προϊόντος κατά την αποθήκευσή του (μελέτη παλαιώσης). Στους **Πίνακες 6.3.1** και **6.3.2** που ακολουθούν παρουσιάζεται η βασική συνταγή και η κωδικοποίηση των δειγμάτων αντίστοιχα.

Πίνακας 6.3.1 Βασική συνταγή που χρησιμοποιήθηκε στην παρασκευή του άρτου ελεύθερου γλουτένης (3^η πειραματική σειρά).

Συστατικό	Ποσοστό (%)
Άμυλο καλαμποκιού	75
Άλευρο ρυζιού	25
Νερό	88.75
Ζάχαρη	4
Ηλιέλαιο	4
Αλάτι	2
Μαγιά	2
Υδροξυπροπυλομεθυλοκυτταρίνη (HPMC)	1.5

Πίνακας 6.3.2 Κωδικοποίηση των δειγμάτων της 3^{ης} πειραματικής σειράς (εμπλουτισμός του ελεύθερου γλουτένης αρτοσκευάσματος με διαιτητικές ίνες).

Διαιτητικές Ίνες Σιτηρού	Ποσοστό ινών (g/100g)	Ποσοστό νερού (g/100g)	Κωδικός δείγματος
—	—	88	C
Σίτος	3	96.5	W1
Σίτος	6	106	W2
Σίτος	9	116	W3
Καλαμπόκι	3	90	M1
Καλαμπόκι	6	100	M2
Καλαμπόκι	9	110	M3
Βρώμη	3	90	O1
Βρώμη	6	100	O2
Βρώμη	9	110	O3
Κριθάρι	3	90	B1
Κριθάρι	6	100	B2
Κριθάρι	9	110	B3

Το νερό έχει ιδιαίτερα σημαντικό ρόλο στην αρτοποιία, αφού συμμετέχει στην ζελατινοποίηση του αμύλου, τη μετουσίωση των πρωτεϊνών καθώς και στην ανάπτυξη του αρώματος και του χρώματος του άρτου (Rosell et al. 2006). Όπως φαίνεται στον **Πίνακα 6.3.2**, η προσθήκη διαιτητικών ινών αύξησε την απορρόφηση νερού του αλεύρου, όπως έχει άλλωστε παρατηρηθεί και από άλλους ερευνητές (Pomeranz et al. 1977, Wang et al. 2002). Η έκταση της αύξησης εξαρτάται από τη δομή των ινών και πιθανότατα λόγω του μεγάλου αριθμού ομάδων υδροξυλίου στις δομικές μονάδες των ινών επιτρέπεται μεγαλύτερη αλληλεπίδραση με το νερό μέσω δεσμών υδρογόνου. Παρόμοιες αλληλεπιδράσεις έχουν περιγραφεί και με την προσθήκη υδροκολλοειδών σε ζυμάρια άρτων χωρίς γλουτένη (Lazaridou et al. 2007).

6.3.1 Ρεολογικά χαρακτηριστικά ζυμαριού

Από τις μετρήσεις των ρεολογικών χαρακτηριστικών (**Πίνακας 6.3.3**) προέκυψε ότι τόσο η προθήκη διαιτητικών ινών όσο και το είδος αυτών επηρέασε σημαντικά ($P < 0.01$) το δείκτη ρεολογικής συμπεριφοράς και το συντελεστή συνεκτικότητας του ζυμαριού. Ειδικότερα, ο δείκτης ρεολογικής συμπεριφοράς (n) κυμάνθηκε από 0.591 έως 0.726 < 1 , επιβεβαιώνοντας την ψευδοπλαστική συμπεριφορά του ζυμαριού. Όσον αφορά το συντελεστή συνεκτικότητας (K_{cp}), η μεγαλύτερη τιμή παρατηρήθηκε στο δείγμα που περιείχε ίνες βρώμης, ακολουθούμενο από τα δείγματα με ίνες σίτου και καλαμποκιού, ενώ

η μικρότερη τιμή παρατηρήθηκε στο δείγμα που περιείχε ίνες κριθαριού (Πίνακας 6.3.3). Η προσθήκη ινών κατέστησε το ζυμαρί πιο συνεκτικό, παρόλο που προστέθηκε μεγαλύτερη ποσότητα νερού για το σχηματισμό του..

Πίνακας 6.3.3 Επίδραση των διαιτητικών ινών στις ρεολογικές παραμέτρους του ζυμαριού των άρτων ελεύθερων γλουτένης.

Κωδικός δείγματος	Δείκτης ρεολογικής συμπεριφοράς (η)	Συντελεστής συνεκτικότητας (K_{sp})($Pa*s^n$)
C	0.652(\pm 0.032) ^{bcd}	3.583(\pm 0.18) ^{ab}
W1	0.635(\pm 0.030) ^{abc}	4.387(\pm 0.22) ^{de}
W2	0.611(\pm 0.028) ^{ab}	4.694(\pm 0.25) ^{ef}
W3	0.591(\pm 0.026) ^a	4.47(\pm 0.23) ^{de}
M1	0.635(\pm 0.032) ^{abc}	4.387(\pm 0.18) ^{de}
M2	0.710(\pm 0.027) ^{de}	4.141(\pm 0.15) ^{cd}
M3	0.695(\pm 0.032) ^{cde}	3.894(\pm 0.20) ^{bc}
O1	0.651(\pm 0.050) ^{bcd}	3.894(\pm 0.23) ^f
O2	0.693(\pm 0.027) ^{cde}	4.924(\pm 0.31) ^f
O3	0.676(\pm 0.030) ^{cde}	4.471(\pm 0.27) ^{de}
B1	0.726(\pm 0.036) ^e	3.267(\pm 0.13) ^a
B2	0.717(\pm 0.026) ^e	3.267(\pm 0.12) ^a
B3	0.698(\pm 0.034) ^{de}	3.625(\pm 0.17) ^{ab}

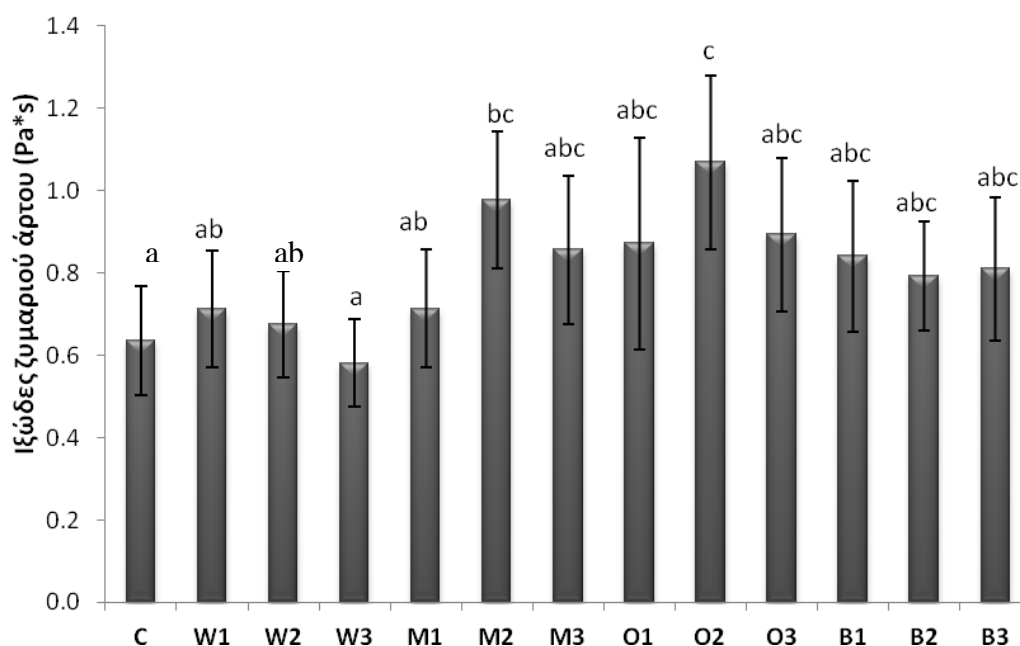
C: τυφλό δείγμα, W: ίνες σίτου, M: ίνες καλαμποκιού, O: ίνες βρώμης, B: ίνες κριθαριού,

1: 3 % προσθήκη ινών, 2: 6 % προσθήκη ινών, 3: 9 % προσθήκη ινών

Μέσες τιμές με διαφορετικό γράμμα στον εκθέτη στην ίδια στήλη διαφέρουν σημαντικά στατιστικά ($P < 0.05$)

Όλα τα δείγματα ζυμαριού που περιείχαν ίνες (εκτός από το δείγμα με 9 % ίνες σίτου) χαρακτηρίστηκαν από μεγαλύτερα ιξώδη σε σύγκριση με το τυφλό δείγμα (χωρίς ίνες) (Σχήμα 6.3.1). Αυτό μπορεί να αποδοθεί στην παρουσία αδιάλυτων μερών και τη δημιουργία δικτύων αποτελούμενων από ενυδατωμένη κυτταρίνη και ημικυτταρίνη. Οι μεγαλύτερες τιμές ιξώδους παρατηρήθηκαν στα δείγματα με ίνες βρώμης, ακολουθούμενα από τα δείγματα με ίνες καλαμποκιού και κριθαριού, ενώ οι μικρότερες τιμές ιξώδους παρατηρήθηκαν στα δείγματα που περιείχαν ίνες σίτου. Αν και οι ίνες σίτου είχαν τη μεγαλύτερη WBC, η αύξηση του ιξώδους δεν ήταν τόσο μεγάλη, πιθανότατα εξαιτίας της παρουσίας των συστατικών του ζυμαριού που μπορεί να τροποποιήσει την αλληλεπίδραση των ινών με το νερό στο σύστημα του ζυμαριού, οδηγώντας σε διαφορετική συμπεριφορά ενυδάτωσης (Rosell et al. 2006). Όπως και στην περίπτωση της ζύμης του κέικ, ο συντελεστής συνεκτικότητας ή/και το ιξώδες του ζυμαριού του άρτου είναι παράμετροι που επηρεάζουν την ποιότητα του τελικού προϊόντος, διότι ουσιαστικά υποδεικνύουν την κατακράτηση φυσαλίδων αέρα στο ζυμαρί κατά τη διάρκεια της ανάμιξης και του

κλιβανισμού. Αν οι τιμές αυτές είναι μεγάλες (όπως στο ζυμάρι με ίνες βρώμης και καλαμποκιού), τότε οι φυσαλίδες παραμένουν στο ζυμάρι κατά τη διάρκεια του κλιβανισμού χωρίς να διαφεύγουν στην ατμόσφαιρα, με αποτέλεσμα να παρατηρείται αύξηση του ειδικού όγκου του άρτου. Αντιθέτως σε χαμηλού ιξώδους ζυμάρια, όπως εκείνα με τις ίνες σίτου, οι φυσαλίδες δεν μπορούν να παραμείνουν μέσα στο ζυμάρι και ο άρτος παρουσιάζει τελικά μικρό ειδικό όγκο.



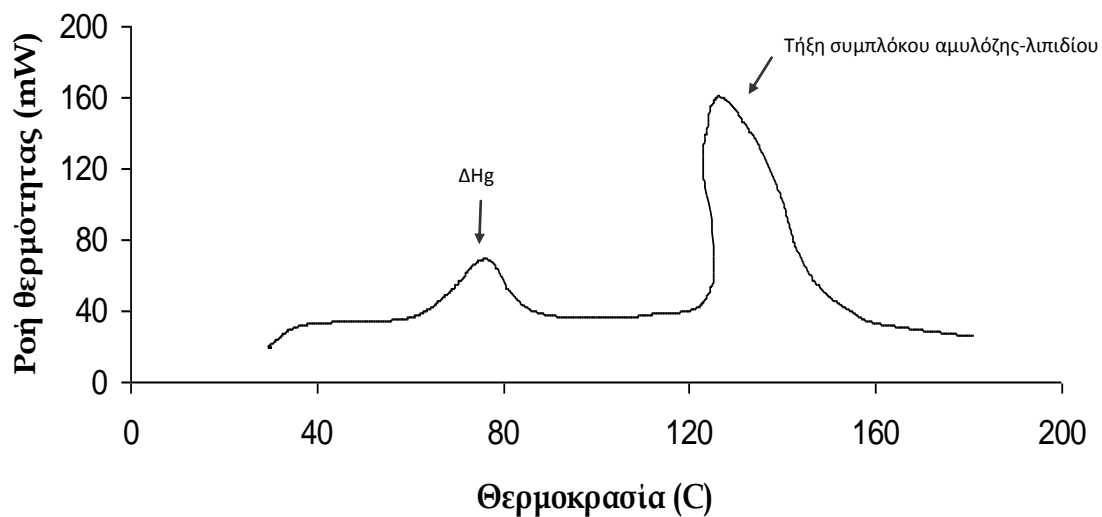
C: τυφλό δείγμα, W: ίνες σίτου, M: ίνες καλαμποκιού, O: ίνες βρώμης, B: ίνες κριθαριού,
 1: 3 % προσθήκη ινών, 2: 6 % προσθήκη ινών, 3: 9 % προσθήκη ινών
 Οι μπάρες σφάλματος απεικονίζουν την τυπική απόκλιση. Οι μπάρες με διαφορετικό γράμμα διαφέρουν σημαντικά στατιστικά ($P < 0.05$).

Σχήμα 6.3.1 Επίδραση των διαιτητικών ινών στο ιξώδες του ζυμαριού του άρτου ελεύθερου γλουτένης.

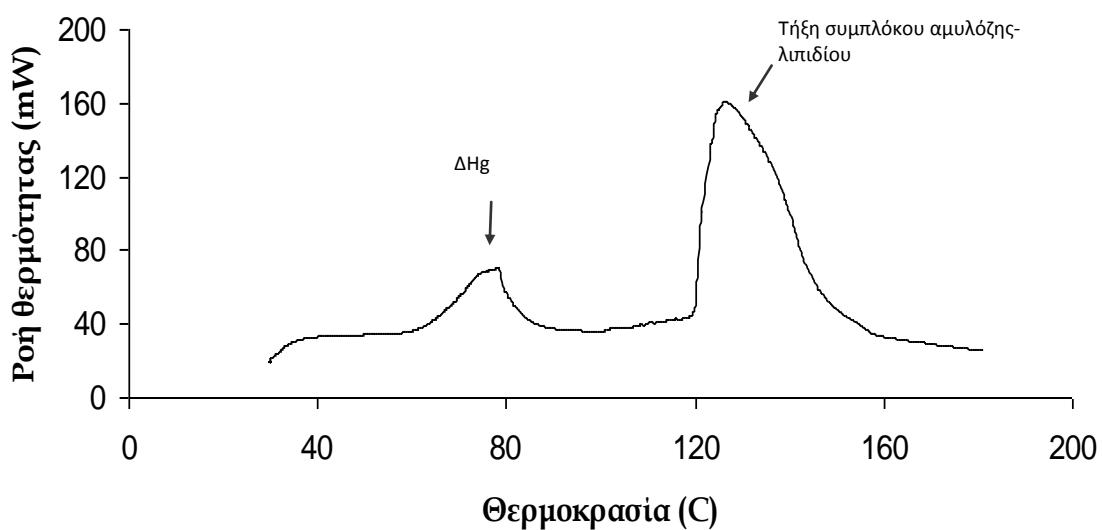
6.3.2 Θερμικά χαρακτηριστικά ζυμαριού

Οι θερμικές ιδιότητες του ζυμαριού, όπως η θερμοκρασία ζελατινοποίησης και η μεταβολή ενθαλπίας, έχουν σημασία για την κατανόηση των φαινομένων που λαμβάνουν χώρα κατά τη διαδικασία της αρτοποιίας. Οι συγκεκριμένες ιδιότητες εξαρτώνται από την προέλευση του αμύλου, την περιεχόμενη υγρασία και το λόγο αμυλόζης /αμυλοπηκτικής (Li et al. 2007). Η διαφορική θερμιδομετρία σάρωσης (DSC) καταγράφει τη ροή της θερμότητας που συνδέεται με τις θερμικές μεταπτώσεις του αμύλου, παρέχοντας μία ποσοτική μέτρηση της ζελατινοποίησης του αμύλου (Fessas & Schiraldi 2000). Οι τιμές των θερμοκρασιών έναρξης (T_0), κορύφωσης (T_p) και λήξης (T_c) της ζελατινοποίησης καθώς και της μεταβολής της ενθαλπίας κατά την ζελατινοποίηση (ΔH_g) των δειγμάτων ζυμαριού παρουσιάζονται στον

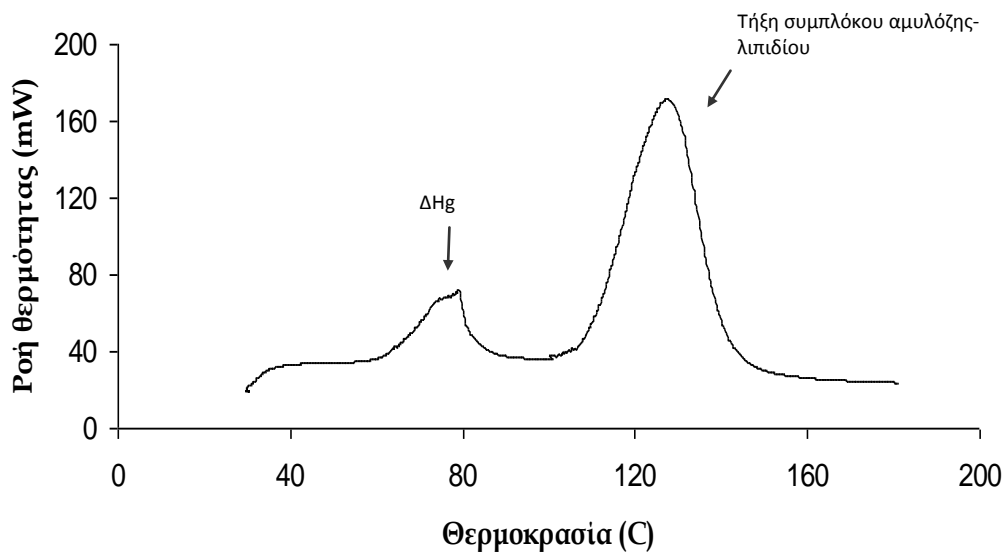
Πίνακα 6.3.4, ενώ στα **Σχήματα 6.3.2-6.3.4** παρουσιάζονται τα θερμογραφήματα δεγμάτων στα οποία οι μεταβολές ενθαλπίας ήταν πιο ευδιάκριτες.



Σχήμα 6.3.2 Θερμική συμπεριφορά του μίγματος αμύλου καλαμποκιού-αλεύρου ρυζιού.



Σχήμα 6.3.3 Θερμική συμπεριφορά του μίγματος αμύλου καλαμποκιού-αλεύρου ρυζιού που περιέχει και ηλιέλαιο, ζάχαρη και αλάτι.



Σχήμα 6.3.4 Θερμική συμπεριφορά ζυμαριού άρτου ελεύθερου γλουτένης που περιέχει 6% ίνες καλαμποκιού.

Στα θερμογραφήματα των δειγμάτων ζυμαριού (**Σχήματα 6.3.2-6.3.4**) φαίνονται δύο ενδόθερμες μεταπτώσεις: Η πρώτη στη χαμηλότερη θερμοκρασία που συνδέεται με την ζελατινοποίηση του αμύλου και η δεύτερη που συνδέεται με την τήξη του συμπλόκου αμυλόζης-λιπιδίων, όπως έχει αναφερθεί σε αρκετές μελέτες (Liu et al. 2006, Yu & Christie 2001). Σύμφωνα με τα αποτελέσματα της διαφορικής θερμιδομετρίας σάρωσης, η θερμοκρασία ζελατινοποίησης του μίγματος αμύλου καλαμποκιού και αλεύρου ρυζιού σε νερό (**Σχήμα 6.3.2**) ήταν χαμηλότερη από εκείνη που μετρήθηκε για το ίδιο μίγμα παρουσία ζάχαρης, αλατιού και ηλιέλαιου (**Σχήμα 6.3.3**), εξαιτίας του ότι το αλάτι και η ζάχαρη αυξάνουν τη θερμοκρασία ζελατινοποίησης (Hoseney 1998). Η προσθήκη διαιτητικών ινών καλαμποκιού σε ποσοστό 6 % αύξησε τη θερμοκρασία ζελατινοποίησης σε σύγκριση με το τυφλό δείγμα (**Σχήμα 6.3.4**). Η θερμοκρασία που αντιστοιχεί στην T_p του αμύλου εμφανίστηκε μεταξύ των 75.83 °C (τυφλό) και των 79.89 °C για το δείγμα που περιείχε 9 % διαιτητικές ίνες καλαμποκιού (**Πίνακας 6.3.4**). Σύμφωνα με τα αποτελέσματα της ανάλυσης διακύμανσης τα δείγματα με ίνες καλαμποκιού παρουσίασαν σημαντικά μεγαλύτερες θερμοκρασίες T_o και T_p σε σύγκριση με εκείνα που περιείχαν τις υπόλοιπες ίνες (σίτου, βρώμης, κριθαριού). Ως γενική τάση παρατηρήθηκε ότι αυξανόμενη της συγκέντρωσης των ινών στη συνταγή αυξάνονται αντίστοιχα και οι τιμές των θερμοκρασιών T_o και T_p . Σύμφωνα με διάφορες μελέτες η ενσωμάτωση στο ζυμάρι ουσιών όπως οι ίνες και τα υδροκολλοειδή μεταβάλλουν τη θερμική συμπεριφορά των μιγμάτων αλεύρου-νερού έτσι ώστε: 1) δρουν ως φυσικό εμπόδιο, αποτρέποντας την ένωση της αλυσίδας της

αμυλοπηκτίνης κατά τη διάρκεια της αποθήκευσης, 2) απαγορεύουν την επαφή μεταξύ ενζύμου-υποστρώματος, 3) συμβάλλουν στην αύξηση του ιξώδους που επηρεάζει την κινητικότητα μέσα στο σύστημα (Khanna & Tester 2006). Οι διαιτητικές ίνες, οι οποίες είναι μακρομόρια με μεγάλη ικανότητα δέσμευσης νερού, ανταγωνίζονται με το άμυλο για τη δέσμευση του νερού, περιορίζοντας την ζελατινοποίηση του αμύλου με αποτέλεσμα τα ζυμαρία να εμφανίζουν μεγαλύτερη τιμή θερμοκρασίας T_p (Collar et al. 2006). Παρόμοια αύξηση στη θερμοκρασία ζελατινοποίησης του αμύλου λόγω προσθήκης αδιάλυτων ινών έχει αναφερθεί και σε παλιότερες μελέτες (Dalgetty & Baik 2006, Santos et al. 2008).

Οι τιμές της μεταβολής της ενθαλπίας ζελατινοποίησης (ΔH_g) για όλα τα δείγματα ζυμαριού ήταν αυξημένες σε σχέση με το ζυμαρί από άλευρο σίτου, εξαιτίας του μεγαλύτερου ποσοστού υγρασίας του ελεύθερου γλουτένης ζυμαριού (**Πίνακας 6.3.4**) (Dalgetty & Baik 2006). Μεταξύ των ινών που χρησιμοποιήθηκαν, οι ίνες βρώμης παρουσίασαν τις μεγαλύτερες τιμές μεταβολής της ενθαλπίας ζελατινοποίησης (ΔH_g), ακολουθούμενες από τις ίνες σίτου. Ως γενική τάση παρατηρήθηκε ότι όσο αυξανόταν η ποσότητα των ινών στο μίγμα του ζυμαριού, τόσο μικρότερη προέκυπτε η τιμή της (ΔH_g). Η μεταβολή της ενθαλπίας ζελατινοποίησης του τυφλού δείγματος βρέθηκε να είναι 93.77 J/g και οι χαμηλότερες τιμές παρατηρήθηκαν στα δείγματα ζυμαριού που περιείχαν 9 % ίνες καλαμποκιού και κριθαριού (55.78 και 55.36 J/g αντίστοιχα) (**Πίνακας 6.3.4**). Η μείωση αυτή αποδίδεται αφενός στην απορρόφηση νερού από τις ίνες και αφετέρου σε μία γενική μείωση της ποσότητας του αμύλου, εξαιτίας της αντικατάστασής του από αδιάλυτες ίνες. Η μείωση της ΔH_g , υποδηλώνει ότι οι ίνες αλληλεπιδρούν συνεργιστικά με το άμυλο και προάγουν τη δημιουργία σταθερότερης δομής. Οι Katina et al. (2006) ανέφεραν επίσης μείωση στη ΔH_g του άρτου από άλευρο σίτου κατά την προσθήκη πιτύρου σίτου.

Πίνακας 6.3.4 Επίδραση των διαιτητικών ινών στις θερμικές ιδιότητες και την περιεχόμενη υγρασία του ζυμαριού των άρτων ελεύθερων γλουτένης.

Κωδικός δείγματος	Υγρασία (g/100g)	T ₀ (°C)	T _p (°C)	T _c (°C)	ΔH _g (J/g)
C	47.5(±0.1) ^a	58.97(±0.6) ^a	75.83(±0.4) ^a	90.81(±1.0) ^{cde}	93.77(±2.5) ^g
W1	50.3(±0.2) ^c	60.14(±1.0) ^{abc}	76.1(±0.5) ^a	86.55(±0.9) ^a	68.83(±2.2) ^f
W2	52.5(±0.1) ^e	61.72(±1.2) ^{cdef}	77.2(±0.2) ^b	87.64(±1.3) ^{ab}	64.72(±3.1) ^{de}
W3	55.0(±0.3) ^g	63.06(±0.7) ^f	79.1(±0.3) ^{cd}	89.18(±0.7) ^{bc}	60.12(±1.5) ^{bc}
M1	48.0(±0.2) ^b	59.76(±0.9) ^{ab}	77.4(±0.7) ^b	87.12(±0.97) ^a	63.12(±1.7) ^{cd}
M2	51.2(±0.2) ^d	60.87(±0.87) ^{bcd}	79.04(±0.8) ^{cd}	91.13(±1.2) ^{de}	60.22(±1.3) ^{bc}
M3	53.3(±0.2) ^f	61.3(±1.12) ^{bcd}	79.89(±0.2) ^d	91.44(±1.2) ^e	55.78(±2.1) ^a
O1	47.8(±0.1) ^b	60.1(±0.32) ^{abc}	76.5(±0.7) ^{ab}	89.5(±0.67) ^{cd}	70.16(±2) ^f
O2	51.2(±0.05) ^d	60.6(±0.76) ^{abc}	77.3(±0.4) ^b	90.0(±0.59) ^{cde}	67.17(±1.1) ^{ef}
O3	53.0(±0.3) ^f	61.4(±1.21) ^{bcd}	78.4(±0.9) ^c	90.81(±0.23) ^{cde}	63.22(±1.0) ^{cd}
B1	48.1(±0.1) ^b	60.8(±0.9) ^{bcd}	76.11(±0.6) ^a	86.58(±0.87) ^a	62.24(±1.3) ^{cd}
B2	51.3(±0.1) ^d	62.4(±0.8) ^{d^{ef}}	77.2(±0.7) ^b	87.12(±1.2) ^a	57.76(±1.2) ^{ab}
B3	53.1(±0.1) ^f	62.55(±0.7) ^{ef}	79.50(±0.5) ^d	89.64(±1.1) ^{cde}	55.36(±1.6) ^a

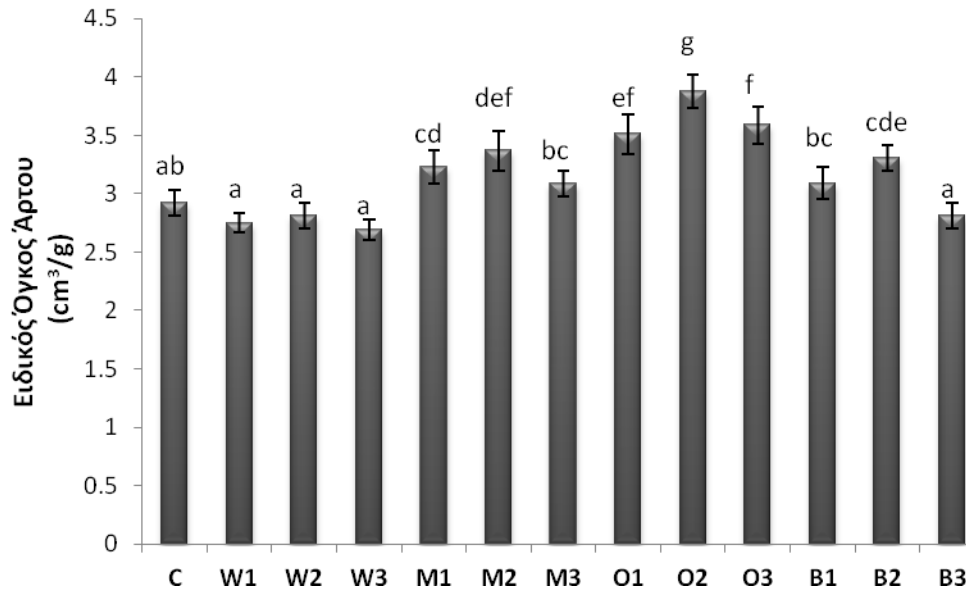
C: τυφλό δείγμα, W: ίνες σίτου, M: ίνες καλαμποκιού, O: ίνες βρώμης, B: ίνες κριθαριού,

1: 3 % προσθήκη ινών, 2: 6 % προσθήκη ινών, 3: 9 % προσθήκη ινών.

Μέσες τιμές με διαφορετικό γράμμα στον εκθέτη στην ίδια στήλη διαφέρουν σημαντικά στατιστικά ($P < 0.05$).

6.3.3 Ποιοτικά χαρακτηριστικά άρτου ελεύθερου γλουτένης

Όπως και στην περίπτωση των κέικ, ο όγκος είναι ένα από τα σημαντικότερα ποιοτικά χαρακτηριστικά του άρτου που καθορίζει σε μεγάλο βαθμό την τελική αποδοχή του. Η προσθήκη ινών βρώμης και καλαμποκιού αύξησε τον ειδικό όγκο των άρτων, αντιθέτως η προσθήκη ινών σίτου οδήγησε σε μικρότερο όγκο αυτών (**Σχήμα 6.3.5**). Όσον αφορά τις ίνες κριθαριού μόνο για 3 % προσθήκη παρουσίασαν αύξηση στον ειδικό όγκο των άρτων. Παρόμοια αποτελέσματα έχουν αναφερθεί και από τους Turabi et al. (2008) σε κέικ από άλευρο ρυζιού και από τις Mandala & Sotirakoglou (2005) σε άρτο που περιείχε υδροκολλοειδή. Η αύξηση του όγκου του άρτου ήταν μεγαλύτερη για τα δείγματα που περιείχαν 6 % ίνες, ακολουθούμενα από εκείνα με 9% ίνες. Η προσθήκη σε ποσοστό 6 % ινών καλαμποκιού και βρώμης αύξησε σημαντικά τον όγκο του άρτου κατά 16 και 33 % αντίστοιχα. Παρόμοια αύξηση στον όγκο του ελεύθερου γλουτένης αρτοσκευάσματος κατά την προσθήκη 4% ινουλίνης έχει αναφερθεί και από τους Gallagher et al. (2002).



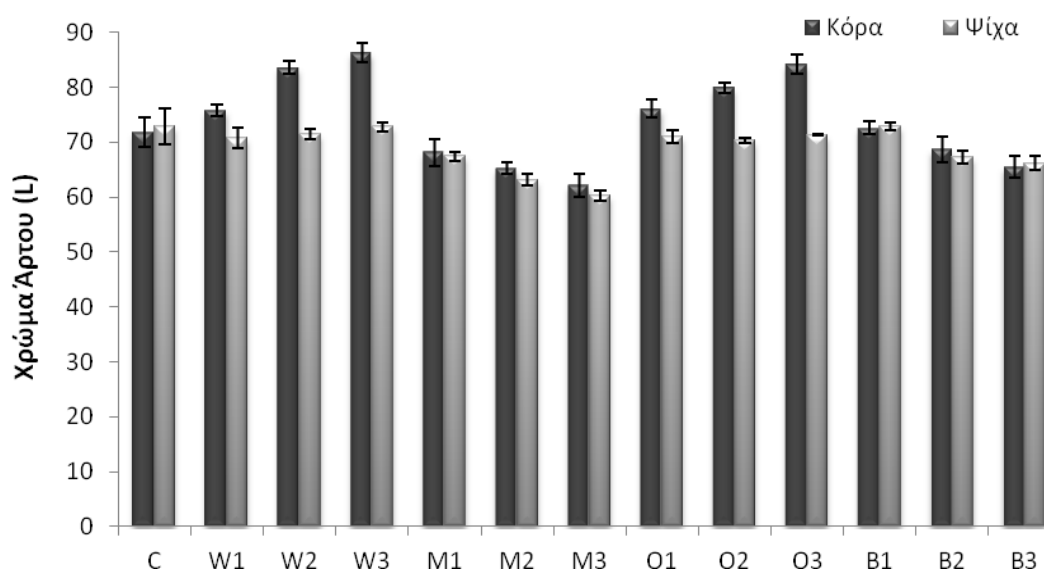
C: τυφλό δείγμα, W: ίνες σίτου, M: ίνες καλαμποκιού, O: ίνες βρώμης, B: ίνες κριθαριού, 1: 3 % προσθήκη ινών, 2: 6 % προσθήκη ινών, 3: 9 % προσθήκη ινών
 Οι μπάρες σφάλματος απεικονίζουν την τυπική απόκλιση. Οι μπάρες με διαφορετικό γράμμα διαφέρουν σημαντικά στατιστικά ($P < 0.05$).

Σχήμα 6.3.5 Επίδραση των διαιτητικών ινών στον ειδικό όγκο του άρτου ελεύθερου γλουτένης.

Όσον αφορά το χρώμα του άρτου (**Σχήμα 6.3.6**) η μελέτη έδειξε ότι τα δείγματα που περιείχαν ίνες καλαμποκιού και κριθαριού επέδειξαν σημαντικά ($P < 0.05$) πιο σκούρο χρώμα στην ψίχα (χαμηλότερες τιμές L). Μια τέτοια μεταβολή χρώματος όμως σε προϊόντα όπως οι ελεύθεροι γλουτένης άρτοι είναι επιθυμητή, διότι το πολύ ανοικτό χρώμα αποτελεί ένα από τα μειονεκτήματα των συγκεκριμένων αρτοσκευασμάτων (Gallagher et al. 2002). Η παράμετρος L της κόρας επίσης μειώθηκε με αύξηση της προσθήκης ινών, όχι όμως σημαντικά. Σύμφωνα με τους Gomez et al. (2003) το χρώμα των διαιτητικών ινών δεν επηρεάζει σημαντικά το χρώμα της κόρας του άρτου, καθώς αυτό συνδέεται κυρίως με τις αντιδράσεις Maillard και καραμελοποίησης, όπως άλλωστε αποδείχτηκε και στην περίπτωση των κέικ (1^η πειραματική σειρά). Αντίθετα το χρώμα της ψίχας είναι συνήθως παρόμοιο με το χρώμα των ινών, διότι η ψίχα δεν φθάνει κατά το ψήσιμο σε τόσο υψηλές θερμοκρασίες όσο η κόρα.

Οι τιμές της παραμέτρου a της κόρας προέκυψαν σημαντικά μεγαλύτερες στους άρτους που περιείχαν 6 και 9 % ίνες καλαμποκιού και κριθαριού, ενώ οι μικρότερες τιμές αυτής σημειώθηκαν στα δείγματα με 9 % ίνες σίτου. Οι τιμές της παραμέτρου a για την ψίχα ήταν όλες αρνητικές, που σημαίνει ότι δεν υπήρχε κόκκινη απόχρωση στην ψίχα. Σημαντικές διαφορές ($P < 0.05$) στην κίτρινη απόχρωση (παραμέτρος b) παρουσιάστηκαν μεταξύ των διαφόρων ελεύθερων γλουτένης αρτοσκευασμάτων. Οι άρτοι που περιέχουν 9 % ίνες

κριθариού παρουσίασαν σημαντικά μεγαλύτερες τιμές της παραμέτρου b, σε σχέση με τα υπόλοιπα δείγματα εξαιτίας της κίτρινης χρωστικής των ινών αυτών.



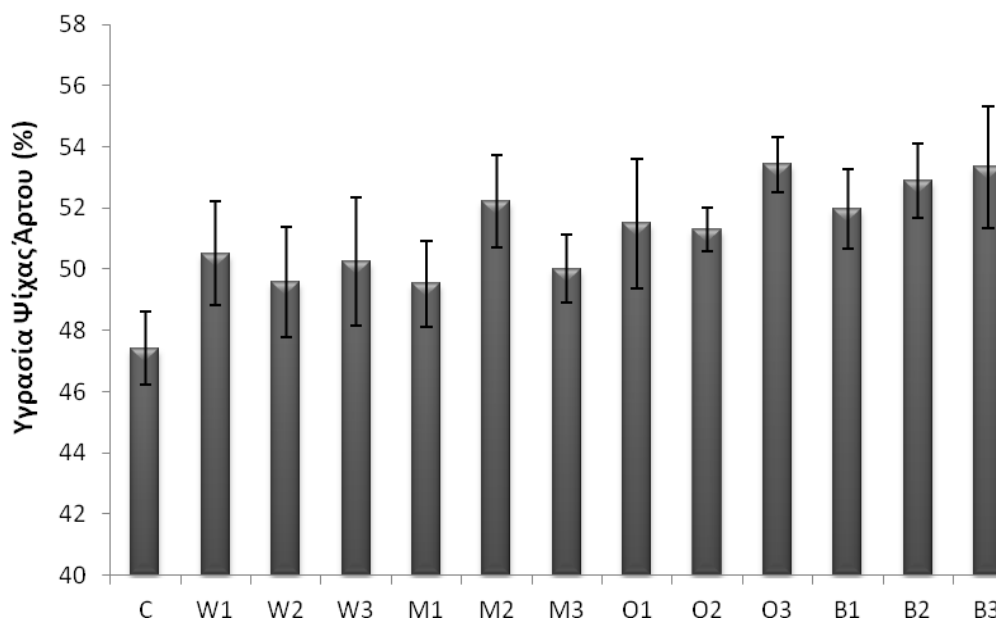
C: τυφλό δείγμα, W: ίνες σίτου, M: ίνες καλαμποκιού, O: ίνες βρώμης, B: ίνες κριθαριού,

1: 3 % προσθήκη ινών, 2: 6 % προσθήκη ινών, 3: 9 % προσθήκη ινών

Οι μπάρες σφάλματος απεικονίζουν την τυπική απόκλιση. Οι μπάρες με διαφορετικό γράμμα διαφέρουν σημαντικά στατιστικά ($P < 0.05$)

Σχήμα 6.3.6 Επίδραση των διαιτητικών ινών στο χρώμα της ψίχας και της κόρας του άρτου ελεύθερου γλουτένης.

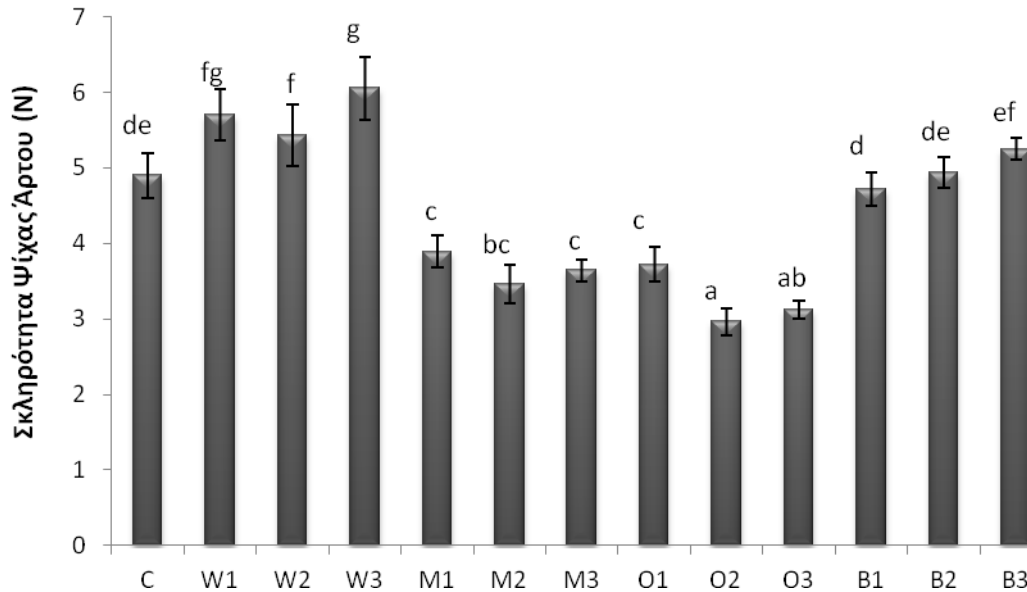
Σχετικά με την υγρασία της ψίχας των αρτοσκευασμάτων τα αποτελέσματα έδειξαν ότι οι άρτοι που περιέχουν διαιτητικές ίνες είχαν υψηλότερες τιμές υγρασίας από τα τυφλά λόγω της υψηλότερης WBC των προστιθέμενων ινών. Η υγρασία της ψίχας επηρεάστηκε σημαντικά ($P < 0.05$) από τον τύπο της ίνας και το ποσοστό προσθήκης των διαιτητικών ινών. Οι υψηλότερες τιμές υγρασίας παρατηρήθηκαν, όταν χρησιμοποιήθηκαν 9% ίνες βρώμης (OF3: 53.42 ± 0.90 %) (**Σχήμα 6.3.7**).



C: τυφλό δείγμα, W: ίνες σίτου, M: ίνες καλαμποκιού, O: ίνες βρώμης, B: ίνες κριθαριού, 1: 3 % προσθήκη ινών, 2: 6 % προσθήκη ινών, 3: 9 % προσθήκη ινών
 Οι μπάρες σφάλματος απεικονίζουν την τυπική απόκλιση. Οι μπάρες με διαφορετικό γράμμα διαφέρουν σημαντικά στατιστικά ($P < 0.05$)

Σχήμα 6.3.7 Επίδραση των διαιτητικών ινών στην υγρασία της ψίχας του άρτου ελεύθερου γλουτένης.

Η αντίσταση της ψίχας του άρτου στην παραμόρφωση (σκληρότητα) είναι μια σημαντική παράμετρος για τα αρτοσκευάσματα, αφού συνδέεται ισχυρά με την αντίληψη των καταναλωτών για τη φρεσκότητά τους (Ahlborn et al. 2005). Η μελέτη των ιδιοτήτων υφής του άρτου έδειξε ότι τόσο το είδος των διαιτητικών ινών όσο και το ποσοστό προσθήκης τους επέδρασαν σημαντικά ($P < 0.05$) στη σκληρότητα της ψίχας του άρτου (Σχήμα 6.3.8). Η προσθήκη ινών (με εξαίρεση τις ίνες σίτου) είχε ως αποτέλεσμα τη δημιουργία μαλακότερης ψίχας σε σχέση με το τυφλό δείγμα. Οι ίνες βρώμης παρείχαν την πιο μαλακή ψίχα, ακολουθούμενες από τις ίνες καλαμποκιού και κριθαριού. Σύμφωνα με την ανάλυση διακύμανσης η μείωση στη σκληρότητα της ψίχας ήταν μεγαλύτερη κατά την προσθήκη ινών σε ποσοστό 9 %, ενώ η προσθήκη κατά 3 και 6 % παρείχε παρόμοιες τιμές σκληρότητας. Οι Gallagher et al. (2002) ανέφεραν επίσης ότι η προσθήκη ινουλίνης σε ποσοστό 10% σε ελεύθερο γλουτένης αρτοσκευάσμα μείωσε τη σκληρότητα της ψίχας σε σχέση με το τυφλό. Το γεγονός ότι οι ίνες σίτου αυξάνουν τη σκληρότητα της ψίχας αποδίδεται εν μέρει στο μικρό όγκο των εν λόγω άρτων. Στη μελέτη παρατηρήθηκε αρνητική συσχέτιση μεταξύ της σκληρότητας της ψίχας και του όγκου του άρτου ($r = -0.89$, $P < 0.05$). Ανάλογες αναφορές έχουν γίνει και από άλλους ερευνητές (He & Hosney 1990, Gallagher et al. 2003). Οι Gomez et al. (2003) ανέφεραν επίσης μία αύξηση στη σκληρότητα της ψίχας κατά την προσθήκη ινών σίτου σε άρτο από άλευρο σίτου.

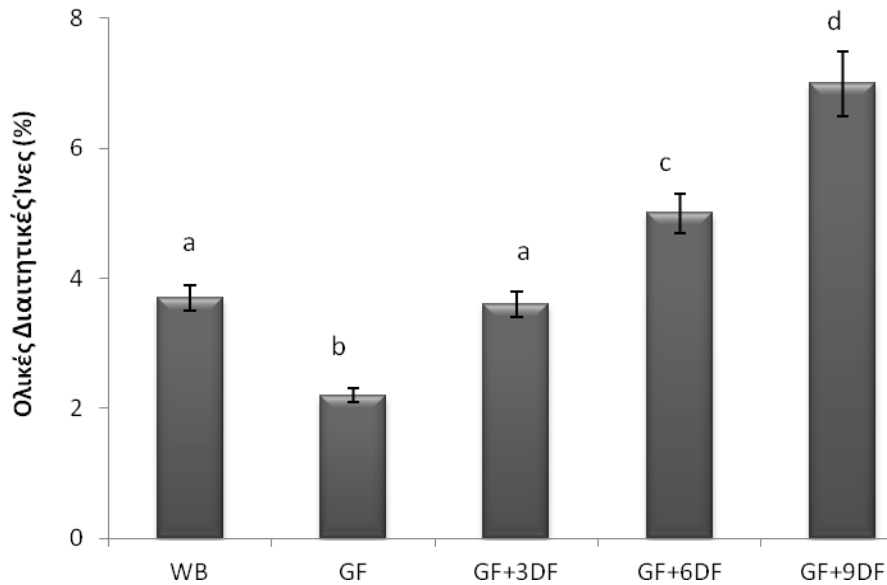


C: τυφλό δείγμα, W: ίνες σίτου, M: ίνες καλαμποκιού, O: ίνες βρώμης, B: ίνες κριθαριού,
1: 3 % προσθήκη ινών, 2: 6 % προσθήκη ινών, 3: 9 % προσθήκη ινών

Οι μπάρες σφάλματος απεικονίζουν την τυπική απόκλιση. Οι μπάρες με διαφορετικό γράμμα διαφέρουν σημαντικά στατιστικά ($P < 0.05$)

Σχήμα 6.3.8 Επίδραση των διαιτητικών ινών στη σκληρότητα της ψίχας του άρτου ελεύθερου γλουτένης.

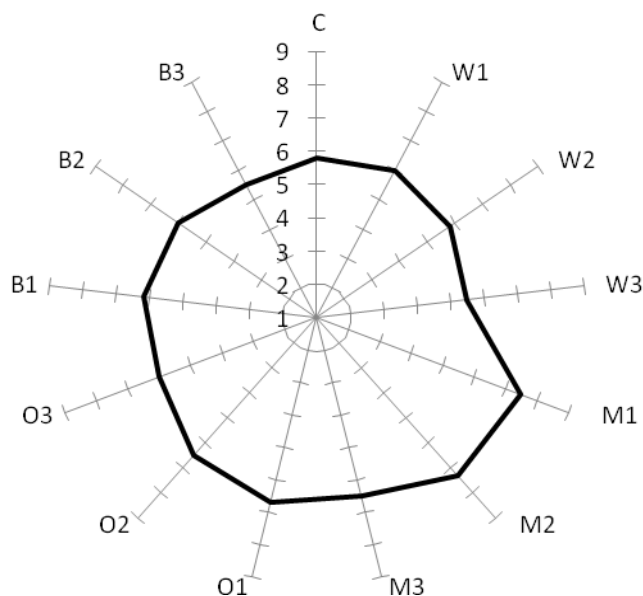
Οι μετρήσεις της ολικής περιεκτικότητας διαιτητικών ινών του τελικού προϊόντος απέδειξαν τη μεγάλη σημασία που έχει ο εμπλουτισμός με διαιτητικές ίνες των ελεύθερων γλουτένης αρτοσκευασμάτων. Μία τυπική δίαιτα περιέχει λιγότερο από 20 g/μέρα διαιτητικές ίνες, τη στιγμή που η συνιστώμενη ημερήσια δόση είναι 25-35 g/ημέρα. Στη δίαιτα ελεύθερη γλουτένης η μέση πρόσληψη διαιτητικών ινών είναι ακόμη χαμηλότερη, με αποτέλεσμα να κρίνεται αναγκαίος ο εμπλουτισμός (Thomson 2005, Kurper 2005). Για ποσοστό προσθήκης ινών 9 % η ολική περιεκτικότητα σε διαιτητικές ίνες ήταν 7 g/100g άρτου, σημαντικά αυξημένη σε σχέση με το τυπικό ελεύθερο γλουτένης αρτοσκεύασμα (το οποίο παρουσίασε περιεκτικότητα 2.2 g ινών/100 g άρτου) (**Σχήμα 6.3.9**). Για λόγους σύγκρισης αναφέρεται ότι για ένα συνηθισμένο άρτο από αλεύρο σίτου η περιεκτικότητα σε ίνες είναι 3.7 g ινών/100 g άρτου. Επομένως, από τις μετρήσεις αποδείχθηκε ότι η προσθήκη ινών αυξάνει το ποσοστό των παρεχόμενων στον ανθρώπινο οργανισμό διαιτητικών ινών, παρέχοντας υψηλότερα ποσοστά από εκείνα που λαμβάνονται μέσω της κατανάλωσης κοινού άρτου (από σιτάλευρο), και επιτρέποντας έτσι στους πάσχοντες από κοιλιοκάκη να λαμβάνουν ανάλογη ή/και περισσότερη ποσότητα διαιτητικών ινών από τους μη πάσχοντες.



WB: Άρτος με σιτάλευρο, GF: Άρτος ελεύθερος γλουτένης
 GF+3DF, GF+6DF, GF+9DF: Εμπλουτισμένοι με 3%,6% και 9% ίνες άρτος ελεύθερος γλουτένης
 Οι μπάρες σφάλματος απεικονίζουν την τυπική απόκλιση. Οι μπάρες με διαφορετικό γράμμα διαφέρουν σημαντικά στατιστικά ($P < 0.05$)

Σχήμα 6.3.9 Περιεκτικότητα σε διαιτητικές ίνες (%) άρτου με σιτάλευρο, άρτου ελεύθερου γλουτένης και εμπλουτισμένου άρτου ελεύθερου γλουτένης.

Κατά την οργανοληπτική αξιολόγηση όλα τα δείγματα κρίθηκαν αποδεκτά, αφού έλαβαν βαθμολογία για την ολική αποδοχή που κυμαινόταν από 5.5 έως 7.5 (**Σχήμα 6.3.10**). Τη μεγαλύτερη βαθμολογία έλαβαν τα δείγματα που περιείχαν ίνες καλαμποκιού, ακολουθούμενα από εκείνα που περιείχαν ίνες βρώμης, ενώ τα δείγματα με ίνες κριθαριού και σίτου έλαβαν παρόμοια βαθμολογία. Ως γενική τάση παρατηρήθηκε ότι τα δείγματα με ποσοστό προσθήκης 3 % έλαβαν την υψηλότερη βαθμολογία, ακολουθούμενα από εκείνα με 6 % ίνες. Η μικρότερη βαθμολογία που έλαβαν τα δείγματα με 9 % ίνες ήταν λόγω της αλευρώδους γεύσης και του έντονου αρώματος (**Πίνακας 6.3.5**). Ειδικά τα δείγματα που περιείχαν 9 % ίνες κριθαριού παρουσίασαν και μαύρα στίγματα στην κόρα του άρτου, για αυτό και έλαβαν τη χαμηλότερη βαθμολογία. Τη μεγαλύτερη βαθμολογία για την ολική αποδοχή έλαβε το δείγμα που περιείχε ίνες καλαμποκιού σε ποσοστό 3 % το οποίο είχε ομοιόμορφη δομή ψίχας, μετρίου μεγέθους πόρους, σκούρο χρώμα και γεύση παρόμοια με τον άρτο από άλευρο σίτου (**Μ στο Σχήμα 6.3.11**).



C: τυφλό δείγμα, W: ίνες σίτου, M: ίνες καλαμποκιού, O: ίνες βρώμης, B: ίνες κριθαριού,
1: 3 % προσθήκη ινών, 2: 6 % προσθήκη ινών, 3: 9 % προσθήκη ινών.

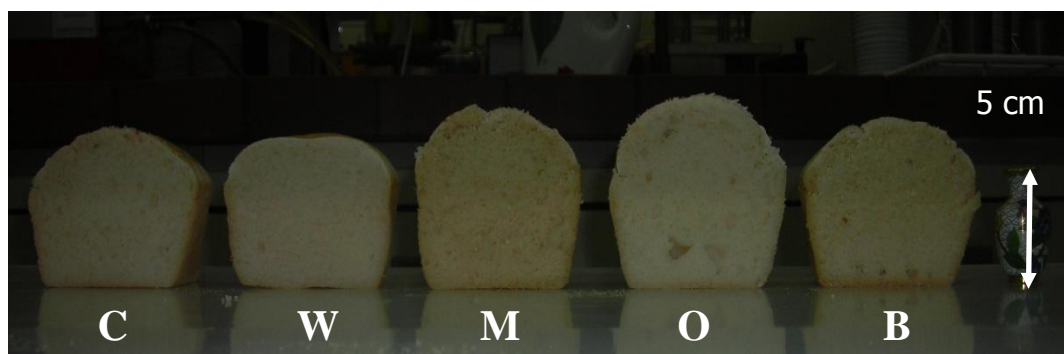
Σχήμα 6.3.10 Επίδραση των διαιτητικών ινών στην ολική αποδοχή του άρτου ελεύθερου γλουτένης.

Πίνακας 6.3.5 Επίδραση των διαιτητικών ινών στα οργανοληπτικά χαρακτηριστικά του άρτου ελεύθερου γλουτένης.

Κωδικός δείγματος	Χρώμα Κόρας	Εμφάνιση	Άρωμα	Υφή ψίχας	Γεύση
C	6.0(±0.3) ^b	6.5(±0.2) ^{bc}	6.0(±0.4) ^{bc}	6.0(±0.3) ^b	6.0(±0.1) ^c
W1	5.5(±0.4) ^{ab}	6.8(±0.3) ^{cd}	5.8(±0.5) ^{ab}	6.2(±0.4) ^{bc}	6.0(±0.1) ^c
W2	5.0(±0.2) ^a	6.0(±0.4) ^{ab}	5.5(±0.3) ^{ab}	5.5(±0.2) ^a	5.5(±0.2) ^{ab}
W3	5.0(±0.3) ^a	5.5(±0.5) ^a	5.2(±0.1) ^a	5.3(±0.2) ^a	5.3(±0.3) ^a
M1	7.5(±0.4) ^{cd}	8.0(±0.5) ^f	7.2(±0.3) ^d	7.5(±0.2) ^e	7.5(±0.2) ^f
M2	8.0(±0.2) ^d	7.5(±0.3) ^{ef}	7.5(±0.2) ^d	7.1(±0.3) ^{de}	7.0(±0.3) ^e
M3	7.5(±0.3) ^{cd}	7.2(±0.4) ^{de}	6.5(±0.4) ^c	7.0(±0.4) ^d	6.5(±0.4) ^d
O1	5.8(±0.3) ^b	6.5(±0.2) ^{bc}	6.0(±0.4) ^{bc}	7.5(±0.1) ^e	6.0(±0.2) ^c
O2	5.5(±0.4) ^{ab}	6.3(±0.4) ^{bc}	6.0(±0.2) ^{bc}	7.5(±0.1) ^e	5.8(±0.1) ^{bc}
O3	5.0(±0.2) ^a	6.0(±0.5) ^{ab}	5.5(±0.5) ^{ab}	6.5(±0.2) ^c	5.4(±0.1) ^{ab}
B1	7.0(±0.3) ^c	6.5(±0.1) ^{bc}	6.5(±0.5) ^c	6.0(±0.1) ^b	6.5(±0.3) ^d
B2	7.5(±0.3) ^{cd}	6.2(±0.5) ^{bc}	6.0(±0.3) ^{bc}	6.5(±0.1) ^c	6.5(±0.3) ^d
B3	7.0(±0.2) ^c	6.0(±0.3) ^{ab}	5.5(±0.1) ^{ab}	6.0(±0.3) ^b	5.5(±0.2) ^{ab}

C: τυφλό δείγμα, W: ίνες σίτου, M: ίνες καλαμποκιού, O: ίνες βρώμης, B: ίνες κριθαριού,
1: 3 % προσθήκη ινών, 2: 6 % προσθήκη ινών, 3: 9 % προσθήκη ινών

Μέσες τιμές με διαφορετικό γράμμα στον εκθέτη στην ίδια στήλη διαφέρουν σημαντικά στατιστικά ($P < 0.05$).



C-τυφλό δείγμα (χωρίς προσθήκη), W-σίτου, M- καλαμποκιού, O- βρώμη και B-κριθαριού.

Σχήμα 6.3.11 Δομή της ψίχας του ελεύθερου γλουτένης άρτου που περιέχει 6 % διαιτητικές ίνες.

6.3.4 Βελτιστοποίηση άρτων εμπλουτισμένων με διαιτητικές ίνες καλαμποκιού και μελέτη αποθήκευσής τους

Λόγω του ότι τα δείγματα με ίνες καλαμποκιού προέκυψαν με τα καλύτερα χαρακτηριστικά, ακολούθησε μελέτη βελτιστοποίησης των συγκεκριμένων άρτων από την οποία προέκυψε η βέλτιστη συνταγή (**OPTIM GF**) (Πίνακας 6.3.6), όπως περιγράφεται αναλυτικά σε μελέτη των Sabanis et al (2009).

Πίνακας 6.3.6 Βέλτιστη συνταγή για παρασκευή ελεύθερου γλουτένης άρτου εμπλουτισμένου με ίνες καλαμποκιού (**OPTIM GF**) (Sabanis et al. 2009).

Συστατικό	Ποσοστό (%)
Άμυλο αραβοσίτου	75
Άλευρο ρυζιού	25
Ζάχαρη	4
Ηλιέλαιο	4
Αλάτι	2
Μαγιά	2
Υδροξυπροπυλομεθυλοκυτταρίνη (HPMC)	1.5
Νερό	102.5
Ίνες καλαμποκιού	6.5

Στα βελτιστοποιημένα δείγματα προσδιορίστηκαν τα βασικά ποιοτικά και διατροφικά τους χαρακτηριστικά (Πίνακας 6.3.7) και έγινε μελέτη αποθήκευσης σε κανονική και τροποποιημένη ατμόσφαιρα 70% N₂/30% CO₂ (MAP) για χρονικό διάστημα 6 ημερών.

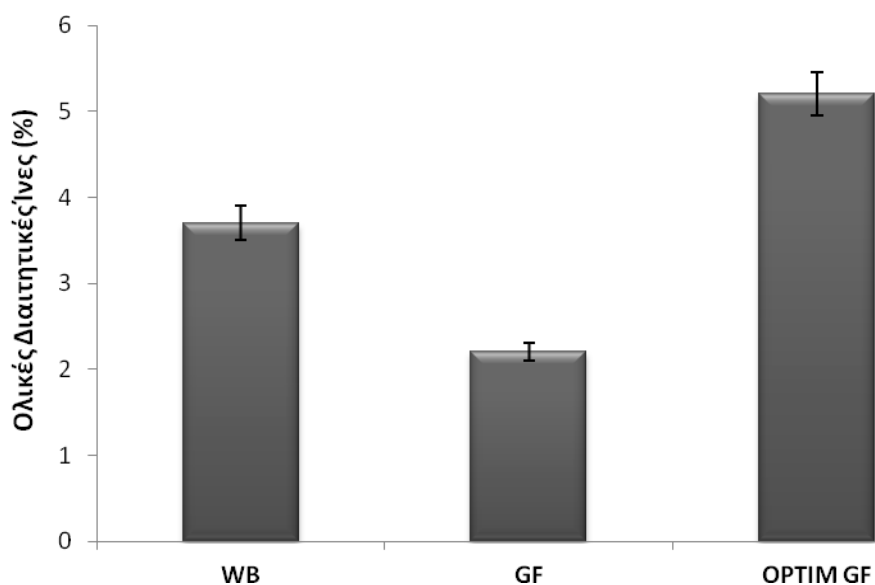
Ο βέλτιστος άρτος εμφάνισε ομοιόμορφη ψίχα, ικανοποιητικό όγκο και ιδιαίτερα ευχάριστα χαρακτηριστικά γεύσης/αρώματος και για αυτό βαθμολογήθηκε με 7.7 κατά την

οργανοληπτική του αξιολόγηση. Η βαθμολογία αυτή ήταν μεγαλύτερη από την αντίστοιχη 6.8 που έλαβε το τυφλό δείγμα (χωρίς ίνες). Επιπροσθέτως, ο ειδικός όγκος ήταν σημαντικά μεγαλύτερος και η σκληρότητα της ψίχας σημαντικά μικρότερη από τα αντίστοιχα χαρακτηριστικά του τυφλού (άρτου χωρίς ίνες) (Πίνακας 6.3.7).

Πίνακας 6.3.7. Χαρακτηριστικά του βέλτιστου εμπλουτισμένου με ίνες καλαμποκιού άρτου ελεύθερου γλουτένης.

Χαρακτηριστικό	OPTIM GF	Τυφλό
Ειδικός όγκος (cm ³ /g)	3.20	2.92
Σκληρότητα ψίχας (N)	3.5	4.9
Χρώμα ψίχας L	57.12	71.82
Οργανοληπτική αποδοχή	7.7	6.8

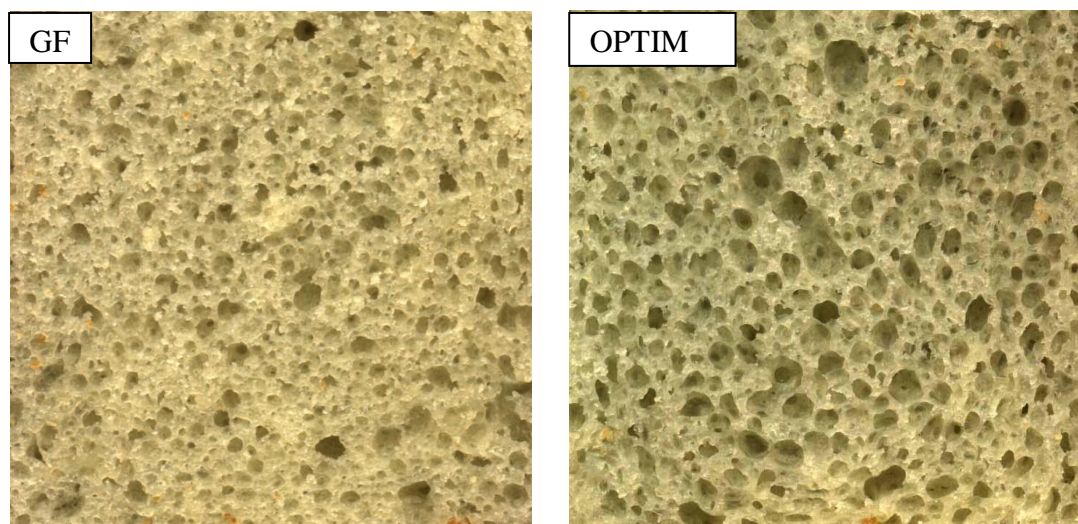
Η ολική περιεκτικότητα ινών του βέλτιστου άρτου (με 6.5 % ίνες καλαμποκιού και 102.5 % νερό) βρέθηκε ότι είναι 5.2 %, σημαντικά μεγαλύτερη από την περιεκτικότητα 2.2 % ενός ελεύθερου γλουτένης αρτοσκευάσματος και 3.7 % ενός άρτου από άλευρο σίτου (Σχήμα 6.3.12). Σύμφωνα με τους Abdul –Hamid & Luan (2000) οι διαλυτές ίνες, όταν προστίθενται σε αρτοσκευάσματα, είναι πιθανόν να υδρολυθούν από τα ένζυμα της μαγιάς και να χαθούν κατά τη διάρκεια της αρτοποιήσης. Αντίθετα οι αδιάλυτες ίνες, που προτείνονται στην παρούσα μελέτη, έχουν μεγαλύτερες προοπτικές στην ανάπτυξη εμπλουτισμένων ελεύθερων γλουτένης αρτοσκευασμάτων που θα αυξήσουν την ημερήσια πρόσληψη διαιτητικών ινών των ασθενών με κοιλιοκάκη.



WB: άρτος από άλευρο σίτου, GF: τυπικός ελεύθερος γλουτένης άρτος, OPTIM GF: εμπλουτισμένος με ίνες αραβοσίτου ελεύθερος γλουτένης άρτος

Σχήμα 6.3.12 Μεταβολή της περιεκτικότητας σε ολικές ίνες του άρτου

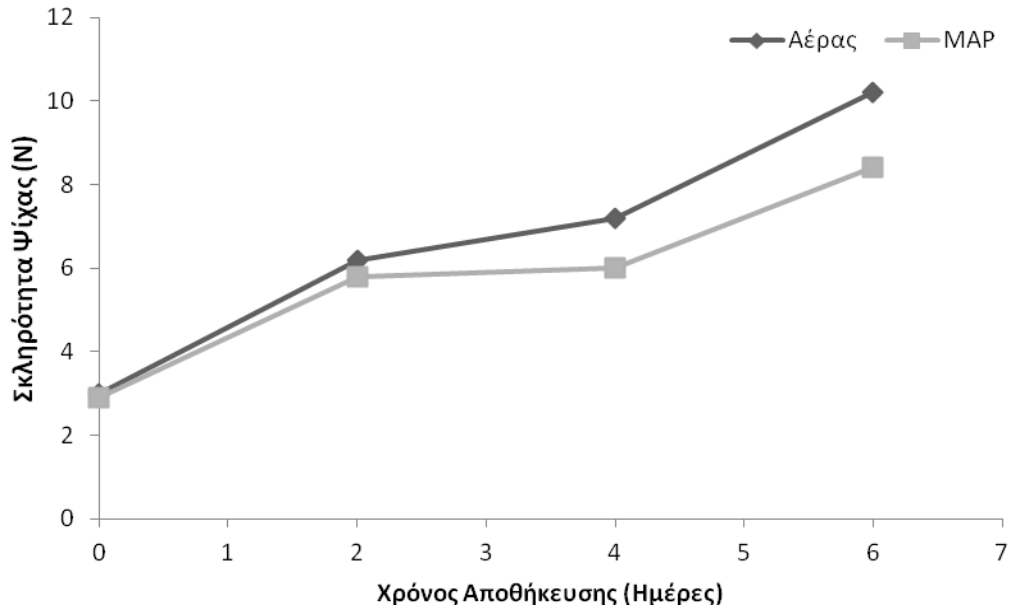
Κατά τη μελέτη της εσωτερικής δομής του άρτου (**Σχήμα 6.3.13**) επιβεβαιώθηκε ότι η προσθήκη ινών καλαμποκιού σε ποσοστό 6.5 % προσέδωσε αερώδη δομή στον άρτο και συνέβαλε στη δημιουργία ενός περισσότερο συνεχούς πλέγματος σε σχέση με το τυφλό δείγμα (χωρίς την προσθήκη ινών).



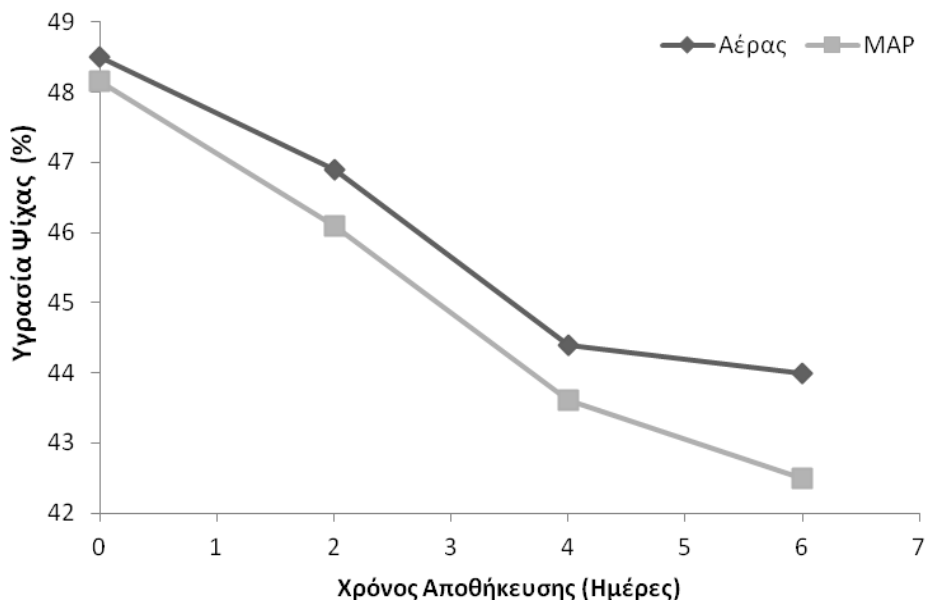
GF: τυπικός ελεύθερος γλουτένης άρτος, OPTIM GF: εμπλουτισμένος με ίνες αραβοσίτου ελεύθερος γλουτένης άρτος

Σχήμα 6.3.13 Επίδραση της προσθήκης ινών καλαμποκιού στην εσωτερική δομή του ελεύθερου γλουτένης άρτου.

Η μελέτη της μεταβολής των χαρακτηριστικών του άρτου κατά την αποθήκευση έδειξε ότι ο άρτος που αποθηκεύεται σε τροποποιημένη ατμόσφαιρα παραμένει φρέσκος για μεγαλύτερο χρονικό διάστημα σε σχέση με εκείνον που αποθηκεύεται σε συμβατικές συνθήκες. Αυτή η παρατήρηση είναι ιδιαίτερα σημαντική για τα ελεύθερα γλουτένης αρτοσκευάσματα τα οποία, εξαιτίας της μεγάλης ποσότητας υγρασίας (που προάγει την αναδιαμόρφωση του αμύλου) παλαιώνουν πιο γρήγορα σε σχέση με τα συμβατικά αρτοσκευάσματα από άλευρο σίτου (Toufeili et al. 1994, Kadan et al. 2001). Οι μεταβολές στη σκληρότητα της ψίχας κατά την αποθήκευση συνδέονται άμεσα και με τη μείωση της υγρασίας της ψίχας του βέλτιστου άρτου κατά την αποθήκευση (**Σχήματα 6.3.14-6.3.15**), που εκφράζει τη μεταφορά υγρασίας από την ψίχα στην κόρα. Η μεταφορά υγρασίας από την ψίχα στην κόρα στα ελεύθερα γλουτένης αρτοσκευάσματα είναι ακόμη πιο έντονη από ότι στα αρτοσκευάσματα από άλευρο σίτου όπου η ύπαρξη γλουτένης την επιβραδύνει σε ορισμένο βαθμό.



Σχήμα 6.3.14 Μεταβολή της σκληρότητας της ψίχας κατά την αποθήκευση υπό συνθήκες συμβατικές και τροποποιημένης ατμόσφαιρας (MAP) του εμπλουτισμένου με ίνες καλαμποκιού ελεύθερου γλυτένης άρτου που παρασκευάστηκε με βάση τη βέλτιστη συνταγή.



Σχήμα 6.3.15 Μεταβολή της υγρασίας της ψίχας κατά την αποθήκευση υπό συνθήκες συμβατικές και τροποποιημένης ατμόσφαιρας (MAP) του εμπλουτισμένου με ίνες καλαμποκιού ελεύθερου γλυτένης άρτου που παρασκευάστηκε με βάση τη βέλτιστη συνταγή.

6.3.5 Συμπεράσματα 3^{ης} σειράς πειραμάτων

Από τα αποτελέσματα της 3^{ης} σειράς πειραμάτων προέκυψε ότι η προσθήκη σε ποσοστό 6 % ινών καλαμποκιού και βρώμης σε ελεύθερο γλουτένης αρτοσκεύασμα αύξησε τον όγκο του κατά 14 και 31 % αντίστοιχα και την ολική περιεκτικότητά του κατά 140 %. Με βελτιστοποίηση της συνταγής βρέθηκε το άριστο ποσοστό ινών καλαμποκιού (6.5%) που έδωσε τα καλύτερα αποτελέσματα στον οργανοληπτικό έλεγχο (κυρίως όσον αφορά την εμφάνιση, το χρώμα και υφή της ψίχας των δειγμάτων), στον ειδικό όγκο, στη σκληρότητα ψίχας και στο χρώμα ψίχας, ενώ παράλληλα παρείχε και ικανοποιητικό ποσοστό διαιτητικών ινών (5.2 %). Η μελέτη αποθήκευσης του βέλτιστου άρτου ελεύθερου γλουτένης εμπλουτισμένου με ίνες έδειξε ότι, όταν ο άρτος αποθηκεύεται σε τροποποιημένη ατμόσφαιρα (συσκευασμένος), επιβραδύνεται ο ρυθμός παλαιώσής του.

6.4 4^η Σειρά Πειραμάτων: Μελέτη ενζυμικής επεξεργασίας πιτύρων

Τα πίτυρα (CB) είναι συστατικά που χρησιμοποιούνται για την αύξηση των διαιτητικών ινών των τροφίμων λόγω του χαμηλού κόστους, της διαθεσιμότητας, της οικείας γεύσης προς τον καταναλωτή, της λειτουργικότητας και των αποδεκτών οργανοληπτικών χαρακτηριστικών τους. Η προσθήκη των πιτύρων, όμως, σε επαρκείς ποσότητες, έτσι ώστε να εκμεταλλευτούν τα φυσιολογικά τους οφέλη, συχνά επιδρά αρνητικά στην ποιότητα των αρτοσκευασμάτων.

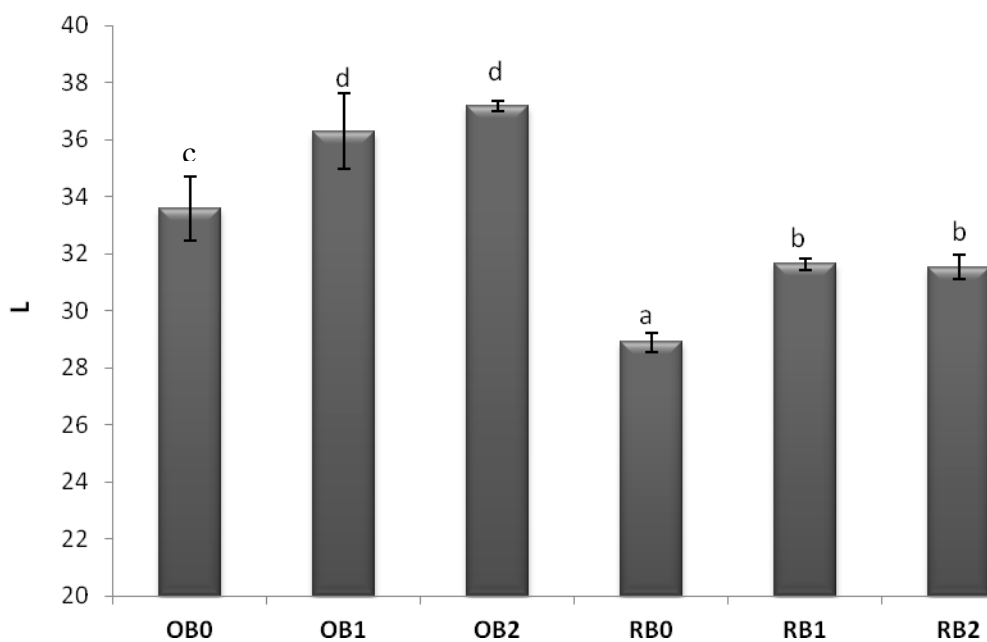
Για την επίλυση αυτών των προβλημάτων και τη βελτίωση της ποιότητας των εμπλουτισμένων με σε διαιτητικές ίνες προϊόντων, προτείνεται η προκατεργασία των πιτύρων με ένζυμα. Η 4^η σειρά πειραμάτων αφορά στη μελέτη της προκατεργασίας πιτύρων βρώμης (OB) και ρυζιού (RB) με ενδοξυλανάση και ειδικότερα της επίδρασης της χρήσης ενζύμου και του ποσοστού αυτού στη σύσταση και τις λειτουργικές ιδιότητες των πιτύρων, που είναι απαραίτητες για την επιτυχή ενσωμάτωσή τους στα κέικ. Τα επίπεδα του ενζύμου που χρησιμοποιήθηκαν ήταν 70 και 700 ppm, ενώ η επεξεργασία έγινε σύμφωνα με την παράγραφο 5.3.3. Στον **Πίνακα 6.4.1** που ακολουθεί παρουσιάζεται η κωδικοποίηση των δειγμάτων. Σε κάθε περίπτωση η σύγκριση γίνεται με τα ακατέργαστα (μη επεξεργασμένα ενζυμικά) πίτυρα βρώμης και ρυζιού (OB0 και RB0 αντίστοιχα), ενώ η επίδραση της ενζυμικής επεξεργασίας σχολιάζεται και σε συνδυασμό με τη μεταβολή των παραμέτρων λόγω της διαφορετικής πηγής πιτύρου.

Πίνακας 6.4.1 Κωδικοποίηση των δειγμάτων της 4^{ης} πειραματικής σειράς (ενζυμική επεξεργασία πιτύρων).

Πίτυρο Σιτηρού	Περιεκτικότητα Ενζύμου (ppm)	Κωδικός δείγματος
Βρώμη	0	OB0
Βρώμη	70	OB1
Βρώμη	700	OB2
Ρύζι	0	RB0
Ρύζι	70	RB1
Ρύζι	700	RB2

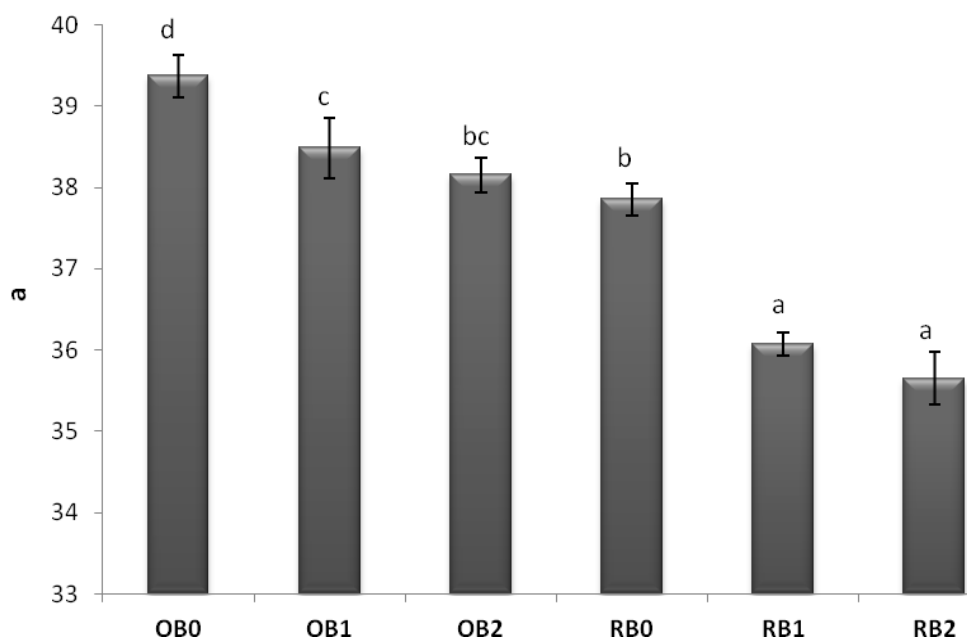
6.4.1 Επίδραση ενζυμικής επεξεργασίας στο χρώμα των πιτύρων

Η διαφοροποίηση των παραμέτρων του χρώματος (L,a,b) λόγω της διαφορετικής πηγής του πιτύρου και της ενζυμικής επεξεργασίας παρουσιάζεται στα **Σχήματα 6.4.1-6.4.3**.



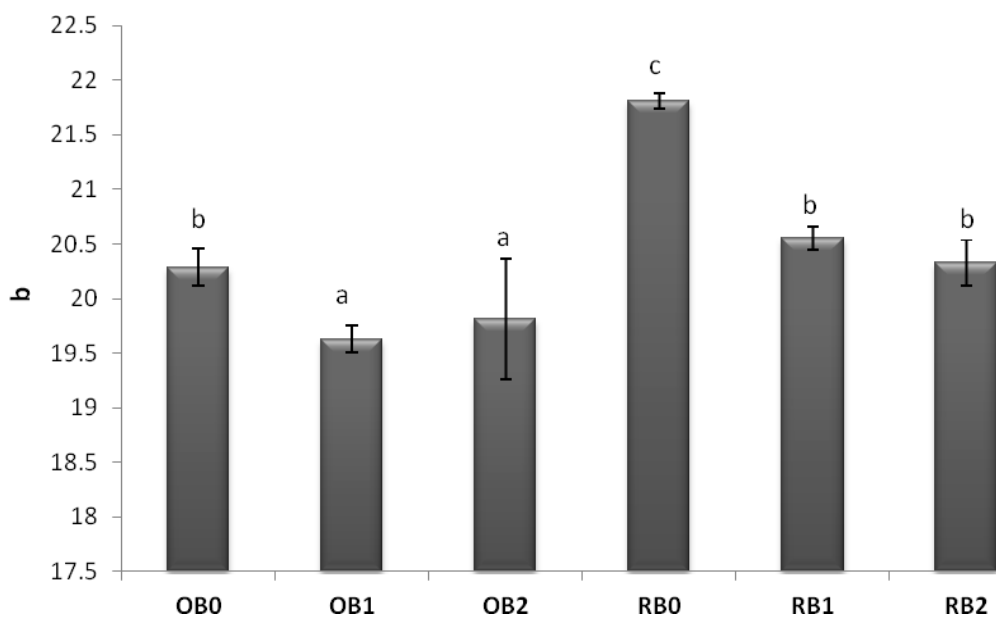
OB: Πίτυρα Βρώμης, RB: Πίτυρα ρυζιού. Ποσοστό ενδοξυλανάσης 0:0 ppm (τυφλό), 1:70 ppm 2:700 ppm. Οι μπάρες σφάλματος απεικονίζουν την τυπική απόκλιση. Οι μπάρες με διαφορετικό γράμμα διαφέρουν σημαντικά στατιστικά ($P < 0.05$)

Σχήμα 6.4.1 Επίδραση ενζυμικής επεξεργασίας στην παράμετρο L του χρώματος των πιτύρων.



OB: Πίτυρα Βρώμης, RB: Πίτυρα ρυζιού. Ποσοστό ενδοξυλανάσης 0:0 ppm (τυφλό), 1:70 ppm 2:700 ppm. Οι μπάρες σφάλματος απεικονίζουν την τυπική απόκλιση. Οι μπάρες με διαφορετικό γράμμα διαφέρουν σημαντικά στατιστικά ($P < 0.05$)

Σχήμα 6.4.2 Επίδραση ενζυμικής επεξεργασίας στην παράμετρο a του χρώματος των πιτύρων.



OB: Πίτυρα Βρώμης, RB: Πίτυρα ρυζιού. Ποσοστό ενδοξυλανάσης 0:0 ppm (τυφλό), 1:70 ppm 2:700 ppm. Οι μπάρες σφάλματος απεικονίζουν την τυπική απόκλιση. Οι μπάρες με διαφορετικό γράμμα διαφέρουν σημαντικά στατιστικά ($P < 0.05$)

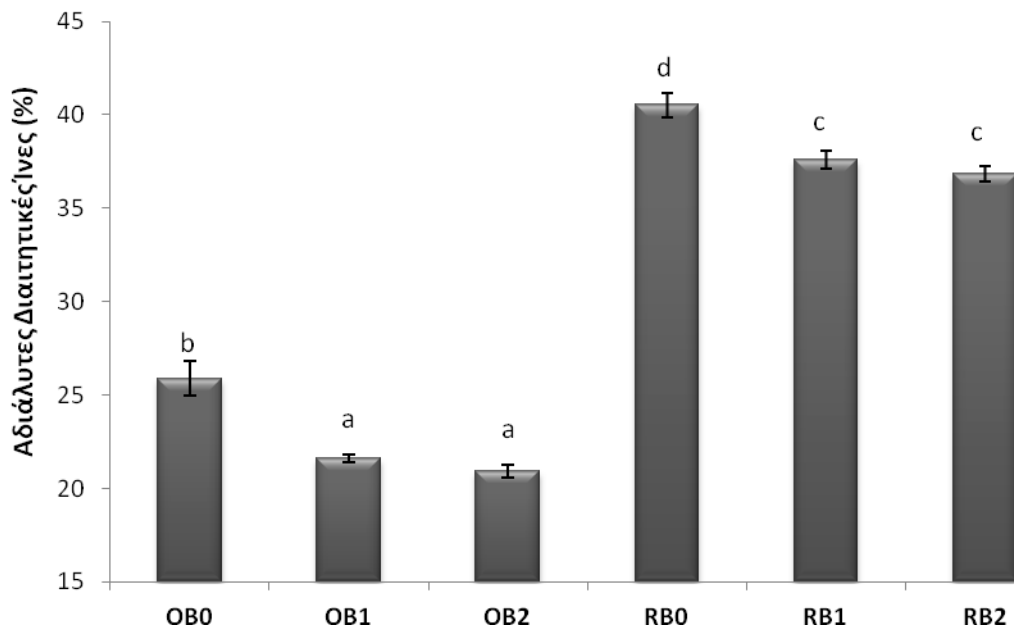
Σχήμα 6.4.3 Επίδραση ενζυμικής επεξεργασίας στην παράμετρο b του χρώματος των πιτύρων.

Σημαντικές διαφορές παρατηρήθηκαν σε όλες τις παραμέτρους του χρώματος λόγω της διαφορετικής πηγής και της ενζυμικής επεξεργασίας των πιτύρων, οι οποίες όμως οφείλονταν κυρίως στη διαφορετική προέλευση του πιτύρου και σε μικρότερο βαθμό στην ενζυμική επεξεργασία του. Η ενζυμική επεξεργασία, ωστόσο, αύξησε τη φωτεινότητα (L) των πιτύρων, ενώ ταυτόχρονα μείωσε τις παραμέτρους a και b, μειώνοντας ουσιαστικά την ένταση του καστανού χρώματος που γενικώς χαρακτηρίζει τα πίτυρα.

6.4.2 Επίδραση ενζυμικής επεξεργασίας στις ολικές, διαλυτές και αδιάλυτες διαιτητικές ίνες των πιτύρων

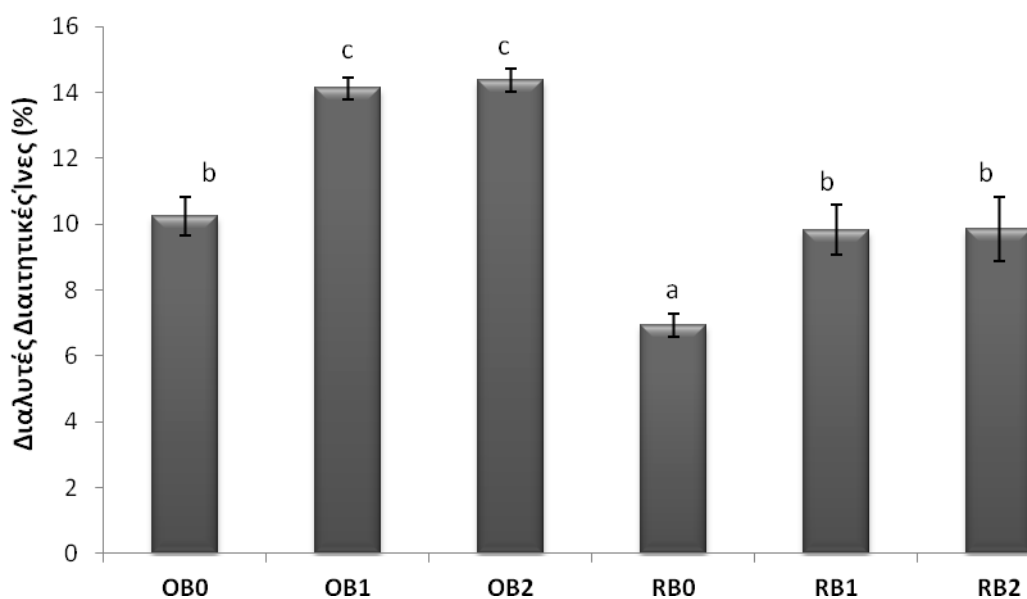
Η ενζυμική επεξεργασία επέδρασε σημαντικά ($P < 0.05$) αυξάνοντας τις διαλυτές διαιτητικές ίνες (SDF) και μειώνοντας τις αδιάλυτες (IDF) και στα δύο πίτυρα, λόγω της διαλυτοποίησης των μη εκχυλίσμων αραβινοξυλανών (WU-AXs) (**Σχήματα 6.4.4-6.4.6**). Αυτή η μείωση του κλάσματος IDF/SDF των πιτύρων είναι ιδιαίτερα σημαντική, αφού επηρεάζει τη λειτουργικότητα των ινών τόσο σχετικά με τα αναμενόμενα οφέλη στην υγεία όσο και τις τεχνολογικές λειτουργικές ιδιότητες που είναι κρίσιμες για την ποιότητα του τελικού προϊόντος. Το επίπεδο της ενδοξυλανάσης δεν επηρέασε σημαντικά το λόγο IDF/SDF. Επιπλέον, παρατηρήθηκε μικρή μείωση στο ποσό των ολικών διαιτητικών ινών. Αυτό πιθανότατα οφείλεται στη διάσπαση των εκχυλίσμων συστατικών των διαιτητικών ινών σε

μικρότερα μόρια, τα οποία δεν είναι καταβυθίσμα με αιθανόλη, και για αυτό δεν προσμετρούνται ως διαιτητικές ίνες με τη χρησιμοποιούμενη μέθοδο (Boskon et al. 2002). Συγκρίνοντας τις δύο πηγές πιτύρων, τα πίτυρα βρώμης εμφάνισαν μεγαλύτερη περιεκτικότητα σε διαλυτές ίνες και τα πίτυρα ρυζιού σε αδιάλυτες και ολικές.



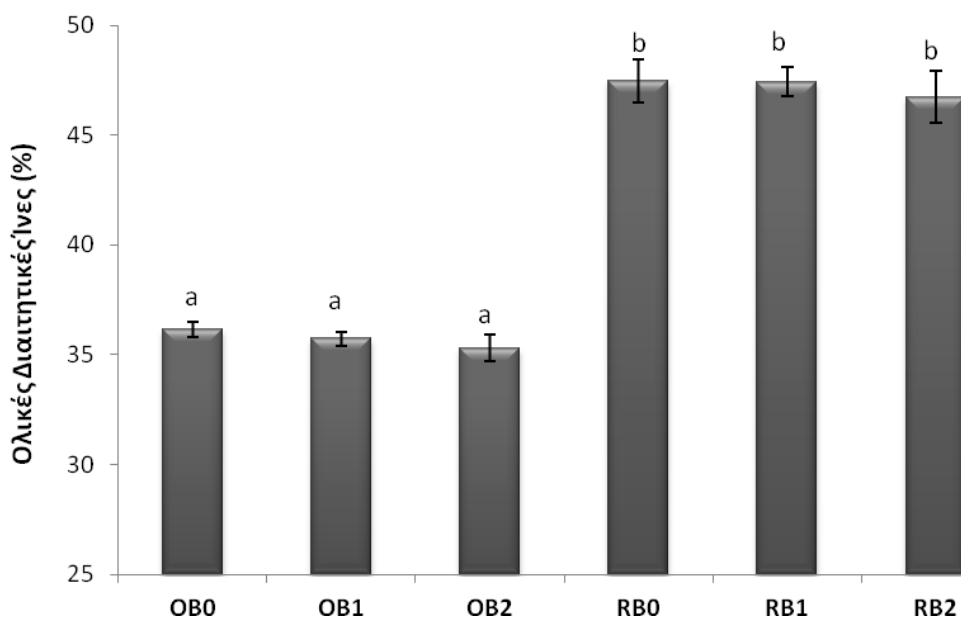
OB: Πίτυρα Βρώμης, RB: Πίτυρα ρυζιού. Ποσοστό ενδοξυλανάσης 0:0 ppm (τυφλό), 1:70 ppm 2:700 ppm. Οι μπάρες σφάλματος απεικονίζουν την τυπική απόκλιση. Οι μπάρες με διαφορετικό γράμμα διαφέρουν σημαντικά στατιστικά ($P < 0.05$)

Σχήμα 6.4.4 Επίδραση ενζυμικής επεξεργασίας στις αδιάλυτες διαιτητικές ίνες των πιτύρων.



OB: Πίτυρα Βρώμης, RB: Πίτυρα ρυζιού. Ποσοστό ενδοξυλανάσης 0:0 ppm (τυφλό), 1:70 ppm 2:700 ppm. Οι μπάρες σφάλματος απεικονίζουν την τυπική απόκλιση. Οι μπάρες με διαφορετικό γράμμα διαφέρουν σημαντικά στατιστικά ($P < 0.05$)

Σχήμα 6.4.5 Επίδραση ενζυμικής επεξεργασίας στις διαλυτές διαιτητικές ίνες των πιτύρων.



OB: Πίτυρα Βρώμης, RB: Πίτυρα ρυζιού. Ποσοστό ενδοξυλανάσης 0:0 ppm (τυφλό), 1:70 ppm 2:700 ppm. Οι μπάρες σφάλματος απεικονίζουν την τυπική απόκλιση. Οι μπάρες με διαφορετικό γράμμα διαφέρουν σημαντικά στατιστικά ($P < 0.05$)

Σχήμα 6.4.6 Επίδραση ενζυμικής επεξεργασίας στις ολικές διαιτητικές ίνες των πιτύρων.

6.4.3 Επίδραση ενζυμικής επεξεργασίας στις λειτουργικές ιδιότητες των πιτύρων

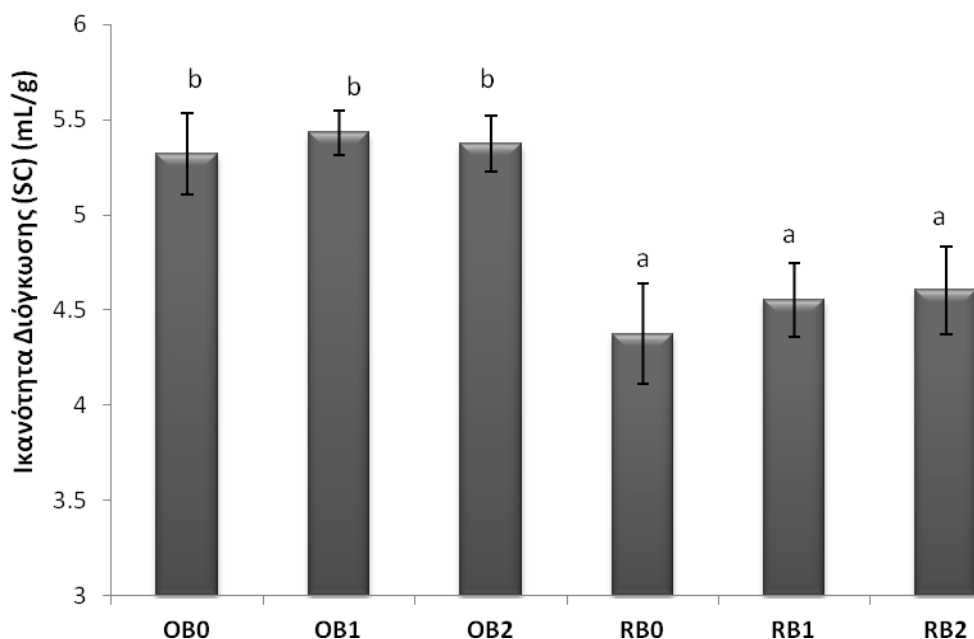
Τα πίτυρα βρώμης και ρυζιού που χρησιμοποιήθηκαν στη συγκεκριμένη σειρά πειραμάτων είχαν υποστεί άλεση σε φυγοκεντρικό μύλο, προκειμένου να αποκτήσουν παρόμοια κοκκομετρία (Πίνακας 6.4.2).

Πίνακας 6.4.2 Κατανομή μεγέθους των σωματιδίων των πιτύρων βρώμης και ρυζιού.

Κατανομή μεγέθους σωματιδίων (%)	Πίτυρο Βρώμης (OB)	Πίτυρο Ρυζιού (RB)
>400 μm	10	8
400-200 μm	35	30
200-100 μm	42	46
<100 μm	13	14

Όπως αναφέρθηκε και στην 1^η σειρά πειραμάτων, η επιτυχής ενσωμάτωση των διαιτητικών ινών απαιτεί την προηγούμενη μελέτη των λειτουργικών τους ιδιοτήτων. Η ικανότητα διόγκωσης (SC), που δείχνει πόσο διογκώνονται οι ίνες καθώς απορροφάται το νερό (περιλαμβάνοντας και το χαλαρά συνδεδεμένο νερό), είναι συνέπεια της μακρομοριακής χαλάρωσης κατά την ενυδάτωση, που οδηγεί σε αύξηση του απασχολούμενου καταλαμβανόμενου όγκου από τις ίνες. Ωστόσο, πρέπει να σημειωθεί ότι η ικανότητα διόγκωσης επηρεάζει κυρίως τη φυσιολογική λειτουργικότητα των ινών και όχι τόσο την ενσωμάτωσή τους στα τρόφιμα.

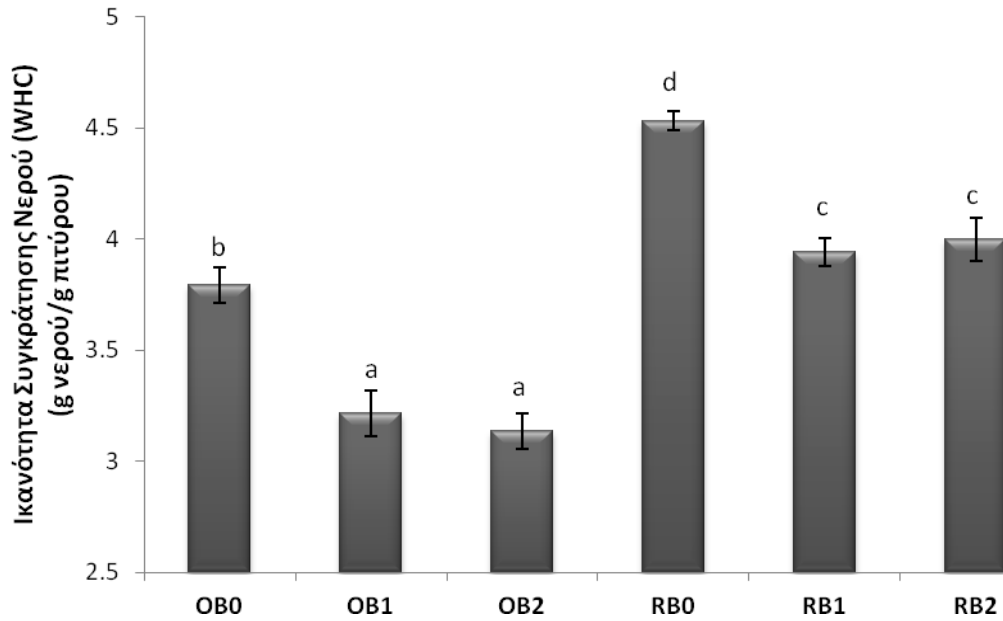
Τα πίτυρα που χρησιμοποιήθηκαν στη εν λόγω μελέτη, είχαν μέτριες τιμές ικανότητας διόγκωσης (SC) (OB: 5.322 mL/g πιτύρου, RB: 4.374 mL/g πιτύρου) οι οποίες αυξήθηκαν λίγο με την ενζυμική επεξεργασία (**Σχήμα 6.4.7**). Αυτό μπορεί να οφείλεται στην περιορισμένη κινητικότητα των πολυμερικών αλυσίδων που περιορίζει τη διόγκωση και ύστερα από την ενζυμική επεξεργασία χαλαρώνει.



OB: Πίτυρα Βρώμης, RB: Πίτυρα ρυζιού. Ποσοστό ενδοξυλανάσης 0:0 ppm (τυφλό), 1:70 ppm 2:700 ppm. Οι μπάρες σφάλματος απεικονίζουν την τυπική απόκλιση. Οι μπάρες με διαφορετικό γράμμα διαφέρουν σημαντικά στατιστικά ($P < 0.05$)

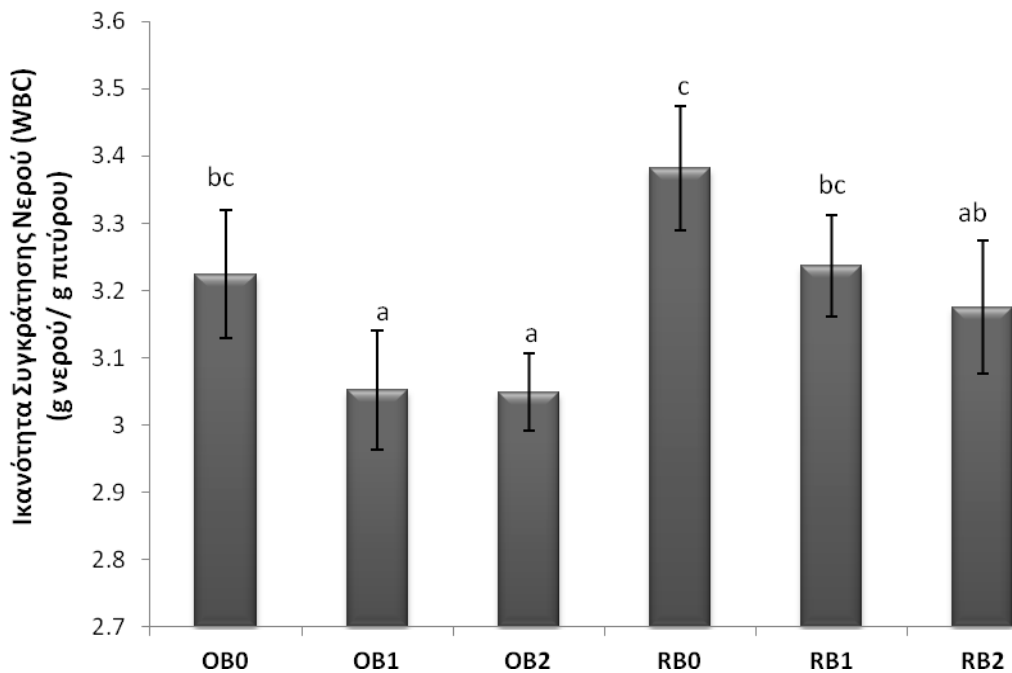
Σχήμα 6.4.7 Επίδραση ενζυμικής επεξεργασίας στην ικανότητα διόγκωσης (SC) των πιτύρων.

Η ικανότητα συγκράτησης νερού (WHC) ορίζεται από την ποσότητα του νερού που δεσμεύεται στις ίνες χωρίς την εφαρμογή εξωτερικής δύναμης (εκτός από τη βαρύτητα και την ατμοσφαιρική πίεση). Η WHC περιλαμβάνει το νερό που είναι χαλαρά συνδεδεμένο στη μήτρα των ινών, ενώ το ισχυρά συνδεδεμένο νερό περιλαμβάνεται μόνο στη WBC. Τα πίτυρα που χρησιμοποιήθηκαν είχαν μέτριες τιμές WHC (OB: 3.792 g νερού/g πιτύρου, RB: 4.531 g νερού/g πιτύρου) οι οποίες μειώθηκαν σημαντικά ($P < 0.05$) με την ενζυμική επεξεργασία (**Σχήμα 6.4.8**). Οι τιμές της WHC μπορεί να σχετίζονται με το ποσοστό αδιάλυτων διαιτητικών ινών (IDF) των πιτύρων που ευθύνεται κυρίως για την WHC των πηγών διαιτητικών ινών.



OB: Πίτυρα Βρώμης, RB: Πίτυρα ρυζιού. Ποσοστό ενδοξυλανάσης 0:0 ppm (τυφλό), 1:70 ppm 2:700 ppm. Οι μπάρες σφάλματος απεικονίζουν την τυπική απόκλιση. Οι μπάρες με διαφορετικό γράμμα διαφέρουν σημαντικά στατιστικά ($P < 0.05$)

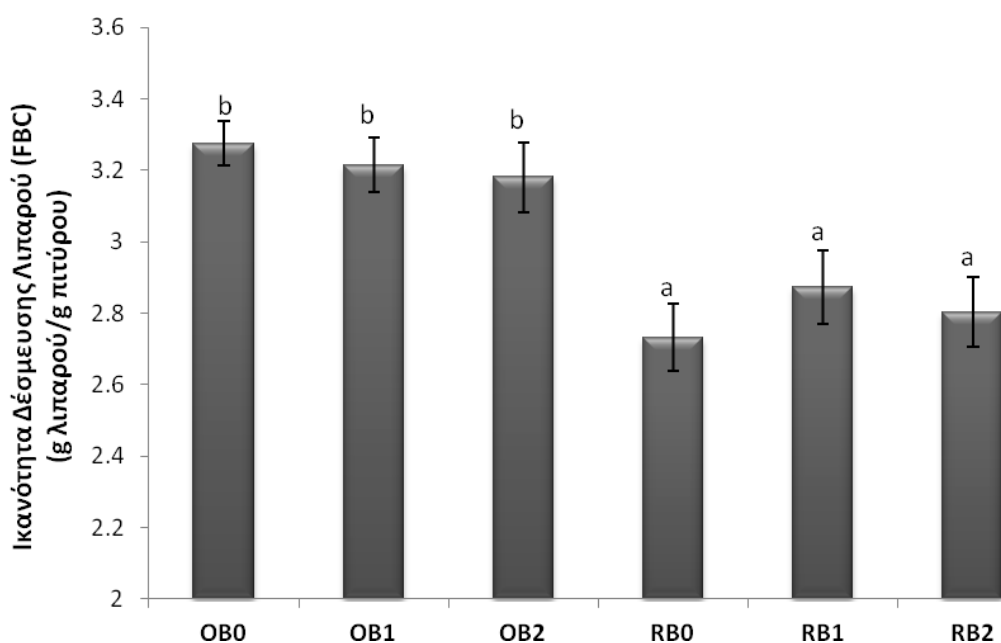
Σχήμα 6.4.8 Επίδραση ενζυμικής επεξεργασίας στην ικανότητα συγκράτησης νερού (WHC) των πιτύρων.



OB: Πίτυρα Βρώμης, RB: Πίτυρα ρυζιού. Ποσοστό ενδοξυλανάσης 0:0 ppm (τυφλό), 1:70 ppm 2:700 ppm. Οι μπάρες σφάλματος απεικονίζουν την τυπική απόκλιση. Οι μπάρες με διαφορετικό γράμμα διαφέρουν σημαντικά στατιστικά ($P < 0.05$)

Σχήμα 6.4.9 Επίδραση ενζυμικής επεξεργασίας στην ικανότητα δέσμευσης νερού (WBC) των πιτύρων.

Η ικανότητα δέσμευσης νερού (WBC) εκφράζει το ποσοστό νερού που διατηρεί το σύστημα μετά από την εφαρμογή κάποιας δύναμης (συνήθως φυγοκέντρησης), και μπορεί να σχετίζεται με το ποσό του νερού που διατηρείται από τις ίνες, για παράδειγμα, κατά την ανάμιξη της ζύμης. Συγκριτικά, τα πύτυρα ρυζιού εμφάνισαν υψηλότερες τιμές WBC (3.382 g νερού/g πιτύρου) σε σχέση με τα πύτυρα βρώμης (3.224 g νερού/g πιτύρου), που σημαίνει ότι τα πύτυρα ρυζιού είναι ικανά να δεσμεύσουν/παγιδεύσουν περισσότερο νερό απ' ό,τι τα πύτυρα βρώμης (**Σχήμα 6.4.9**). Η WBC των πιτύρων επηρεάζεται ιδιαίτερα από τις περιεχόμενες μη εκχυλίσιμες αραβινοζυλάνες (WU-AXs), οι οποίες μπορούν να συγκρατήσουν έως 10 φορές το βάρος τους σε νερό. Επομένως, η μειωμένη WBC των ενζυμικά επεξεργασμένων πιτύρων μπορεί να αποδοθεί στη μείωση του ποσοστού των WU-AXs (όπως θα περιγραφεί αναλυτικά στη συνέχεια) που σημειώθηκε στα αντίστοιχα υλικά.



OB: Πύτυρα βρώμης, RB: Πύτυρα ρυζιού. Ποσοστό ενδοζυλάνης 0:0 ppm (τυφλό), 1:70 ppm 2:700 ppm. Οι μπάρες σφάλματος απεικονίζουν την τυπική απόκλιση. Οι μπάρες με διαφορετικό γράμμα διαφέρουν σημαντικά στατιστικά ($P < 0.05$)

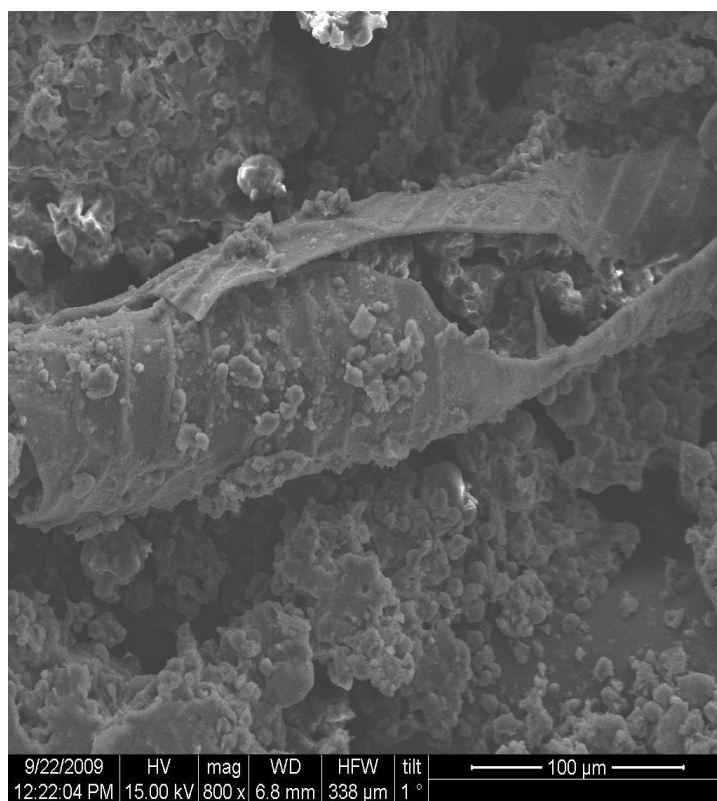
Σχήμα 6.4.10 Επίδραση ενζυμικής επεξεργασίας στην ικανότητα δέσμευσης λιπαρού (FBC) των πιτύρων.

Η ικανότητα των ινών να δεσμεύουν λιπαρό (FBC) είναι περισσότερο συνάρτηση του πορώδους της δομής τους παρά της χημικής τους σύστασης (Nelson 2001). Επιπροσθέτως, οι Carpez et al. (1986) ανέφεραν ότι η FBC των διαιτητικών ινών μπορεί να σχετίζεται με την ολική πυκνότητα φορτίου (charge density) και την υδροφοβικότητα των ινών. Έτσι, στην παρούσα μελέτη παρατηρήθηκε σημαντική διαφορά στην ικανότητα δέσμευσης λιπαρού (FBC) των δύο πηγών πιτύρων, η οποία όμως δεν μεταβλήθηκε σημαντικά ($P < 0.05$) μετά την

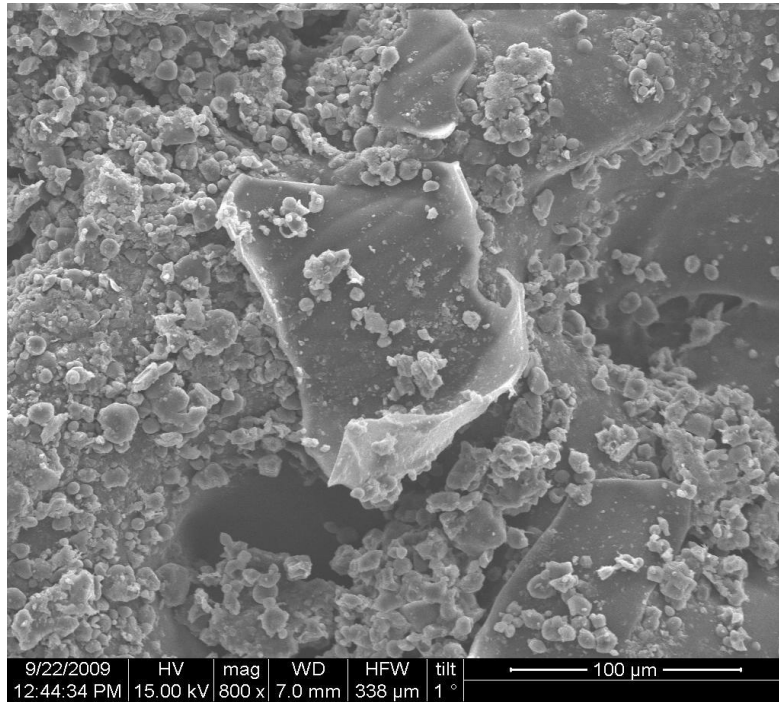
ενζυμική επεξεργασία τους (**Σχήμα 6.4.10**). Το πίτυρο βρώμης (3.274 g λιπαρού/g πιτύρου) εμφάνισε σημαντικά υψηλότερη ($P<0.05$) ικανότητα δέσμευσης λιπαρού (FBC) σε σχέση με το πίτυρο ρυζιού (2.731 g λιπαρού/g πιτύρου). Η υψηλότερη FBC των πιτύρων βρώμης μπορεί να οφείλεται στο υψηλότερο πρωτεϊνικό περιεχόμενό τους.

6.4.4 Επίδραση ενζυμικής επεξεργασίας στη μικροδομή των πιτύρων

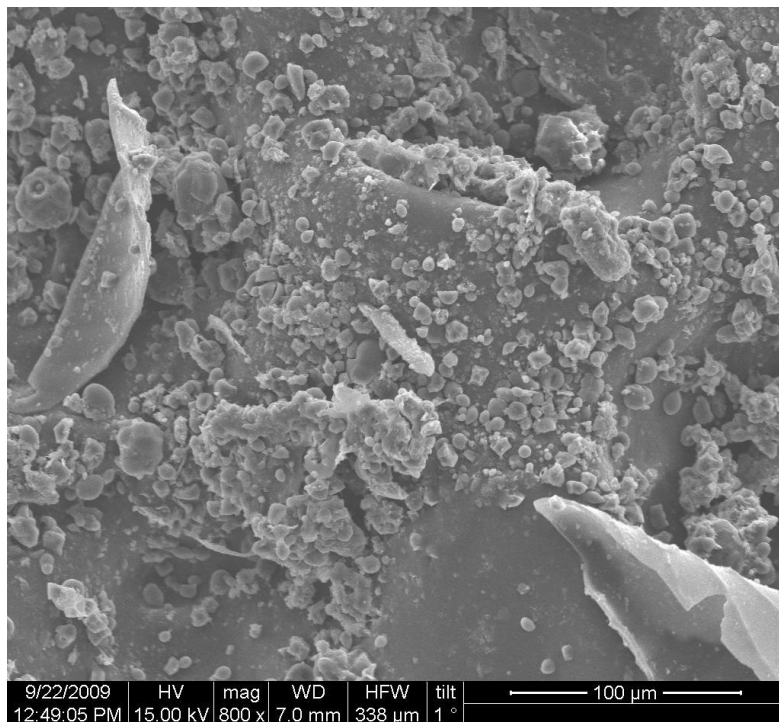
Η μικροδομή των πιτύρων και η επίδραση της ενζυμικής επεξεργασίας διερευνήθηκε με τη χρήση ηλεκτρονικού μικροσκοπίου SEM (**Σχήματα 6.4.11-6.4.16**). Από τις αντίστοιχες φωτογραφίες είναι φανερό ότι τα ενζυμικά επεξεργασμένα πίτυρα είχαν μικρότερα θραύσματα από τα μη επεξεργασμένα. Το επίπεδο ενζύμου που χρησιμοποιήθηκε δεν διαφοροποίησε τη δομή των πιτύρων σε μεγάλο ποσοστό. Τα πίτυρα ρυζιού είχαν πιο πορώδη δομή από τα πίτυρα βρώμης, που εξηγεί επίσης και τη χαμηλότερη WHC των πιτύρων βρώμης συγκριτικά με τα πίτυρα ρυζιού.



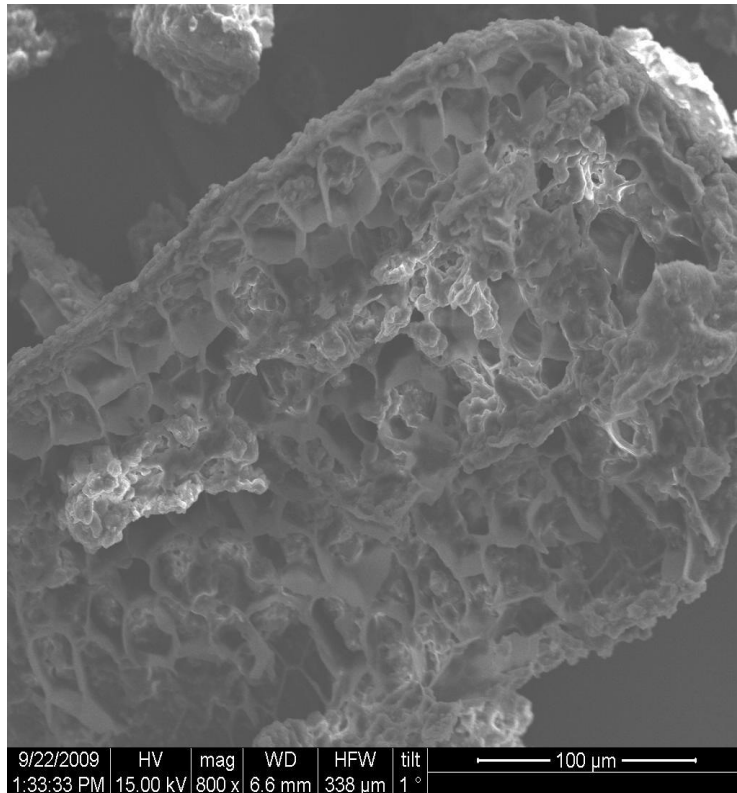
Σχήμα 6.4.11 Μικροδομή πιτύρου βρώμης (OBO)



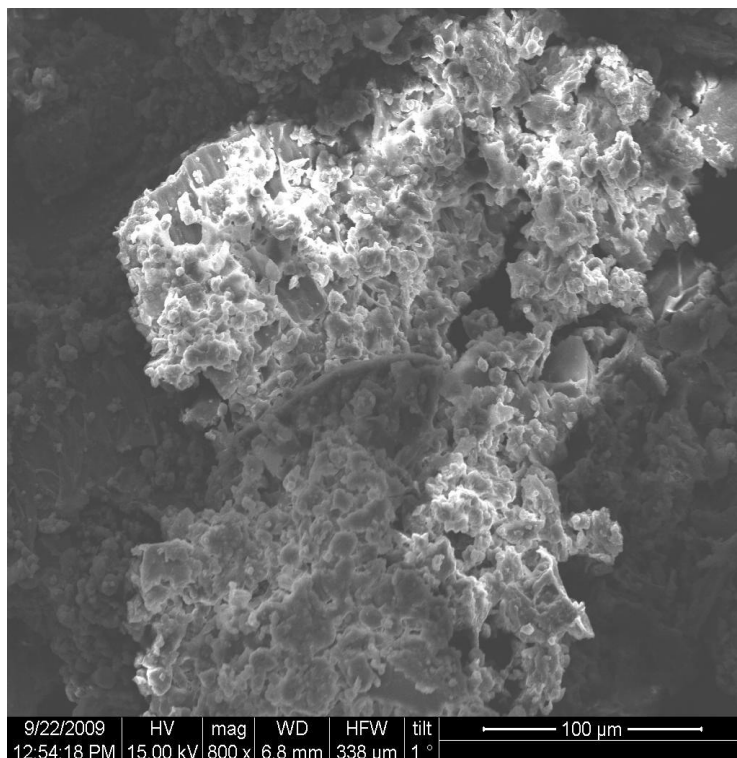
Σχήμα 6.4.12 Μικροδομή πιτύρου βρώμης επεξεργασμένου με 70 ppm ενδοξυλανάσης (OB1)



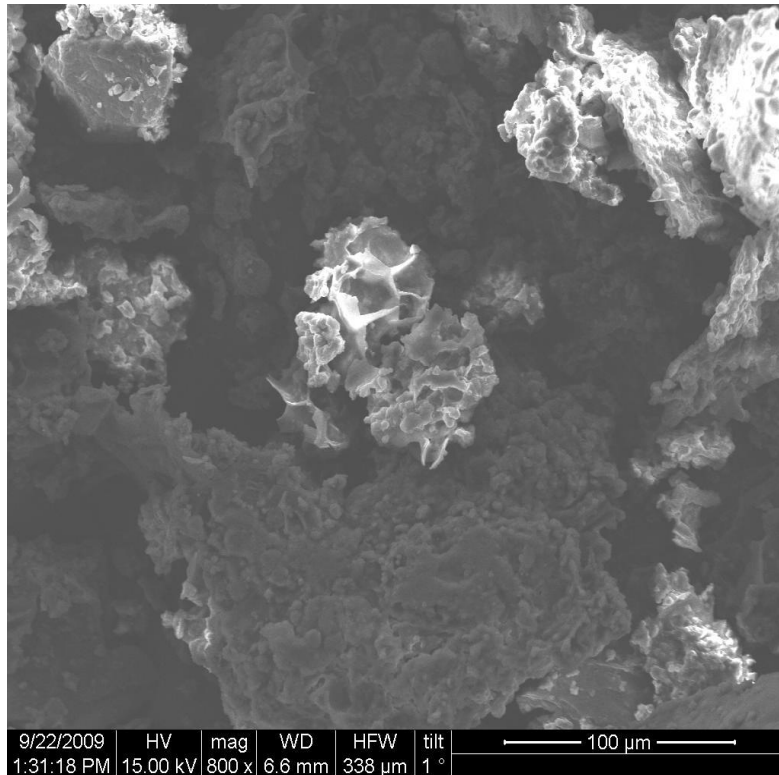
Σχήμα 6.4.13 Μικροδομή πιτύρου βρώμης επεξεργασμένου με 700 ppm ενδοξυλανάσης (OB2)



Σχήμα 6.4.14 Μικροδομή πιτύρου ρυζιού (RBO)



Σχήμα 6.4.15 Μικροδομή πιτύρου ρυζιού επεξεργασμένου με 70 ppm ενδοξυλανάσης (RB1)



Σχήμα 6.4.16 Μικροδομή πιτύρου ρυζιού επεξεργασμένου με 700 ppm ενδοξυλανάσης (RB2)

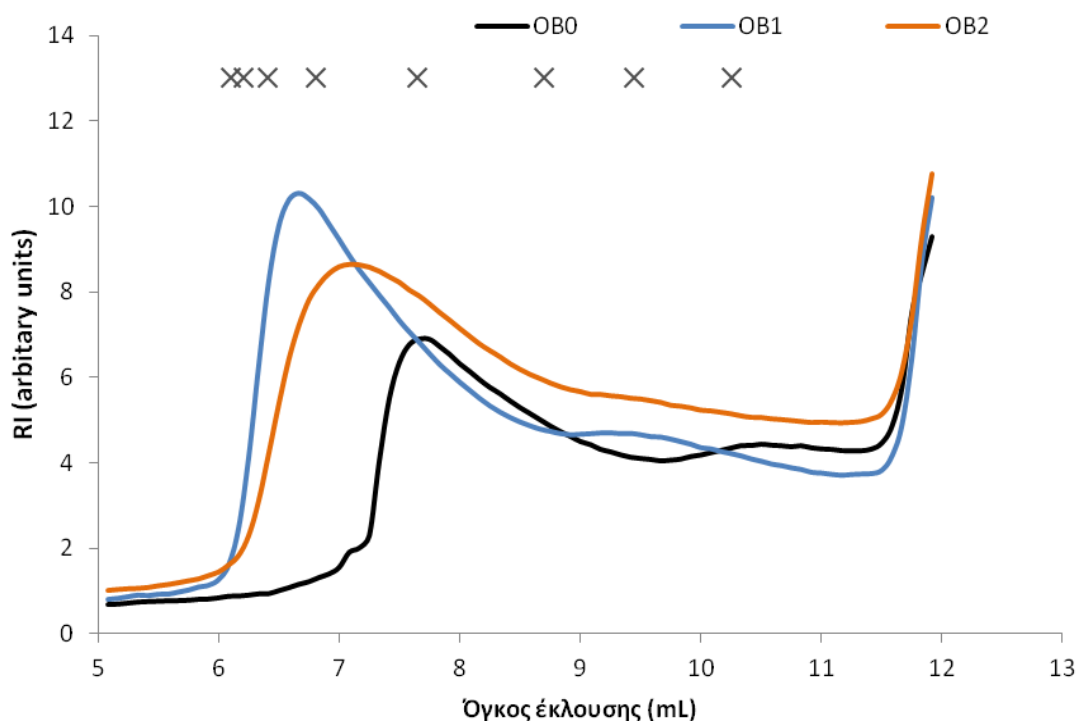
6.4.5 Επίδραση ενζυμικής επεξεργασίας στην κατανομή μοριακού βάρους των υδατικά εκχυλίσμων αραβινοξυλανών (WE-AXs)

Η κατανομή των μοριακών βαρών (προφίλ HPSEC) των υδατικών εκχυλισμάτων των πιτύρων βρώμης και ρυζιού (επεξεργασμένων και μη με ενδοξυλανάση) απεικονίζεται στα **Σχήματα 6.4.17** και **6.4.18** αντίστοιχα.

Η επεξεργασία με το χαμηλό επίπεδο ενζύμου (OB1 και RB1 προφίλ) είχε ως αποτέλεσμα την παραγωγή θραυσμάτων αραβινοξυλάνης υψηλού μοριακού βάρους (~100.000-200.000) στα πίτυρα βρώμης (OB1) και μέσου μοριακού βάρους (~40.000) με πιο πλατιές καμπύλες στα πίτυρα ρυζιού (RB1) (**Σχήματα 6.4.17-6.4.18**). Αυτό οφείλεται στη διαλυτοποίηση των WU-AXs που επικρατεί στις χαμηλές συγκεντρώσεις ενζύμου (70 ppm), ενώ οι WE-AXs δεν επηρεάστηκαν σημαντικά, όπως είχε επίσης παρατηρηθεί από τους Courtin et al. (2001). Οι WU-AXs των πιτύρων ρυζιού είναι πιθανώς λιγότερο προσβάσιμες από τα ένζυμα και έτσι παρατηρήθηκε μικρότερου βαθμού διαλυτοποίηση σε αυτές σε σχέση με τις WU-AXs των πιτύρων βρώμης.

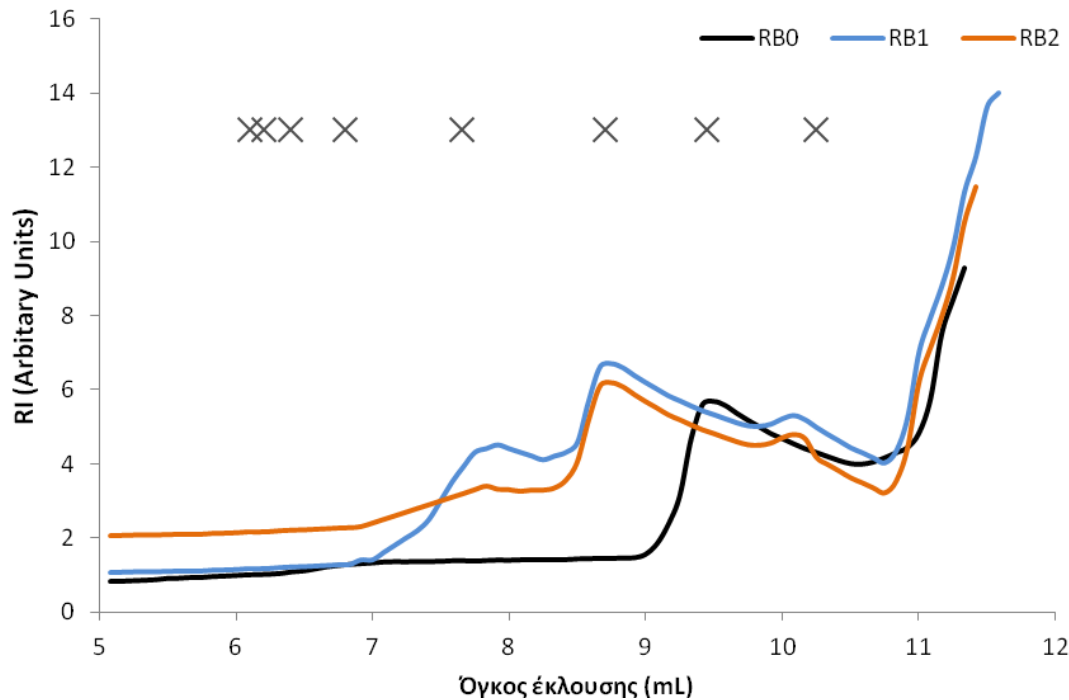
Παρόμοια αποτελέσματα διαλυτοποίησης παρατηρήθηκαν και στην περίπτωση ενζυμικής επεξεργασίας με το υψηλότερο ποσοστό ενζύμου (700 ppm) (προφίλ OB2 και RB2).

Ειδικότερα, το υψηλότερο επίπεδο ενδοξυλανάσης δεν είχε ως αποτέλεσμα την εκτενή διαλυτοποίηση των διαλυτών αραβινοξυλανών και την αποδόμησή τους (degradation) σε θραύσματα χαμηλότερου μοριακού βάρους, πιθανώς λόγω του σύντομου χρόνου κατεργασίας. Ωστόσο, στα επεξεργασμένα με 700 ppm πίτυρα βρώμης (OB2), παρατηρήθηκε και κάποια αποδόμηση των WE-AXs. Συγκεκριμένα, μειώθηκε ο πληθυσμός των αραβινοξυλανών υψηλού μοριακού βάρους, καθώς σημειώθηκε μικρή μείωση στην απόκριση του δείκτη διάθλασης που μετρήθηκε στην περιοχή υψηλού μοριακού βάρους, δίνοντας επίσης θραύσματα με χαμηλό μοριακό βάρος. Η μεταβολή αυτή όμως δεν ήταν σημαντική, οπότε μπορεί να ειπωθεί ότι το επίπεδο της ενδοξυλανάσης δεν διαφοροποίησε την κατανομή των μοριακών βαρών των αραβινοξυλανών τόσο στο πίτυρο βρώμης όσο και στο πίτυρο ρυζιού (Σχήματα 6.4.17-6.4.18). Αυτός πιθανότατα είναι και ο λόγος που το επίπεδο της ενδοξυλανάσης δεν επηρέασε σημαντικά κάποια από τις ιδιότητες των πιτύρων. Συνολικά, η ενζυμική επεξεργασία των πιτύρων αύξησε τα επίπεδα των διαλυτών αραβινοξυλανών και επομένως και το ποσοστό των διαλυτών διαιτητικών ινών στα πίτυρα ρυζιού και βρώμης.



OB: Πίτυρα Βρώμης, Ποσοστό ενδοξυλανάσης 0:0 ppm (τυφλό), 1:70 ppm 2:700 ppm.

Σχήμα 6.4.17 Επίδραση ενζυμικής επεξεργασίας στο μοριακό βάρος των εκχυλίσμων αραβινοξυλανών των πιτύρων βρώμης. Οι όγκοι έκλουσης των πρότυπων πουλλουάνης μοριακών βαρών 78.8×10^4 , 40.4×10^4 , 21.2×10^4 , 11.2×10^4 , 4.73×10^4 , 2.28×10^4 , 1.18×10^4 , και 0.59×10^4 σημειώνονται από αριστερά προς δεξιά.



RB: Πίτυρα Ρυζιού, Ποσοστό ενδοξυλανάσης 0:0 ppm (τυφλό), 1:70 ppm 2:700 ppm.

Σχήμα 6.4.18 Επίδραση ενζυμικής επεξεργασίας στο μοριακό βάρος των εκχυλίσμων αραβινοξυλανών των πιτύρων ρυζιού. Οι όγκοι έκλυσης των πρότυπων πουλλουλάνης μοριακών βαρών 78.8×10^4 , 40.4×10^4 , 21.2×10^4 , 11.2×10^4 , 4.73×10^4 , 2.28×10^4 , 1.18×10^4 , και 0.59×10^4 σημειώνονται από αριστερά προς δεξιά.

6.4.6 Συμπεράσματα 4^{ης} σειράς πειραμάτων

Η ενζυμική επεξεργασία των πιτύρων βρώμης και ρυζιού με ενδοξυλανάση αύξησε το ποσοστό των διαλυτών διαιτητικών ινών και μείωσε το ποσοστό των αδιάλυτων διαιτητικών ινών, λόγω της διαλυτοποίησης των μη εκχυλίσμων αραβινοξυλανών των πιτύρων. Στα ενζυμικά επεξεργασμένα πίτυρα παρατηρήθηκε μείωση στις ικανότητες συγκράτησης και δέσμευσης νερού τους, ενώ οι ικανότητες διόγκωσης και συγκράτησης λιπαρού επηρεάστηκαν μόνο από τη διαφορετική πηγή των πιτύρων. Το ποσοστό της ενδοξυλανάσης που χρησιμοποιήθηκε στην ενζυμική επεξεργασία δεν προκάλεσε σημαντικές διαφορές στις ιδιότητες των πιτύρων.

6.5 5^η Σειρά Πειραμάτων: Μελέτη υποκατάστασης αλεύρου σίτου με ενζυμικά επεξεργασμένα πίτυρα σε κέικ

Η επεξεργασία των πιτύρων με ένζυμα που αποδομούν τις αραβινοξυλάνες όπως οι ξυλανάσες, τροποποιεί τις ιδιότητες των πιτύρων (4^η πειραματική σειρά), επηρεάζοντας επίσης και τις ιδιότητες των προϊόντων στα οποία προστίθενται. Η 5^η σειρά πειραμάτων αφορά στη μελέτη των ιδιοτήτων των κέικ με επεξεργασμένα και μη πίτυρα ρυζιού και βρώμης. Ο σκοπός αυτής της σειράς ήταν η υποκατάσταση του αλεύρου του κέικ με πίτυρα βρώμης και ρυζιού σε ποσοστό 30%, ενζυμικά επεξεργασμένα και μη ενζυμικά επεξεργασμένα, και η μελέτη της επίδρασης της ενζυμικής επεξεργασίας καθώς και της πηγής του πιτύρου στα χαρακτηριστικά της ζύμης και του κέικ. Ειδικότερα, μελετήθηκαν οι ρεολογικές παράμετροι (συντελεστής συνεκτικότητας, δείκτης ρεολογικής συμπεριφοράς), οι θερμικές ιδιότητες (θερμοκρασία έναρξης, κορύφωσης και λήξης της ζελατινοποίησης, μεταβολή της ενθαλπίας ζελατινοποίησης) και το ειδικό βάρος της ζύμης, καθώς και τα ποιοτικά χαρακτηριστικά του τελικού προϊόντος (ειδικός όγκος κέικ, χρώμα, πορώδες, ενεργότητα νερού, υγρασία και σκληρότητα ψίχας, οργανοληπτική αξιολόγηση). Επιπροσθέτως διερευνήθηκε η συσχέτιση των οργανοληπτικών παραμέτρων και των αντικειμενικών μετρήσεων των φυσικοχημικών και θερμικών ιδιοτήτων της ζύμης και του εμπλουτισμένου με πίτυρα κέικ. Στους πίνακες 6.5.1 και 6.5.2 που ακολουθούν παρουσιάζεται η συνταγή και η κωδικοποίηση των δειγμάτων αντίστοιχα. Σε κάθε περίπτωση η σύγκριση γίνεται με τα κέικ που περιέχουν 30% ακατέργαστα πίτυρα βρώμης και ρυζιού (OB0 και RB0 αντίστοιχα).

Πίνακας 6.5.1 Συνταγή που χρησιμοποιήθηκε στην παρασκευή του κέικ (5^η πειραματική σειρά).

Συστατικό	Ποσοστό (%) επί του βάρους του αλεύρου
Πίτυρα	30
Ζάχαρη	90
Λιπαρό	50
Γάλα	65
Αυγά	65
Βανιλίνη	0.2
Όξινο ανθρακικό νάτριο	1.11
Δυσόξινο φωσφορικό ασβέστιο	0.2
Όξινο πυροφωσφορικό νάτριο	1.35

Πίνακας 6.5.2 Κωδικοποίηση των δειγμάτων της 5^{ης} πειραματικής σειράς (κέικ με ενζυμικά επεξεργασμένα πίτυρα).

Πίτυρο - Πηγή	Ποσοστό Ενζύμου (ppm)	Κωδικός δείγματος
Βρώμη	0	OB0
Βρώμη	70	OB1
Βρώμη	700	OB2
Ρύζι	0	RB0
Ρύζι	70	RB1
Ρύζι	700	RB2

6.5.1 Ρεολογικά χαρακτηριστικά και ειδικό βάρος ζύμης

Η ρεολογική συμπεριφορά της ζύμης είναι ιδιαίτερα σημαντική για την παραγωγική διαδικασία καθώς καθορίζει το χειρισμό της ζύμης και σχετίζεται με τον τελικό όγκο του κέικ. Τόσο ο τύπος του πιτύρου όσο και η ενζυμική του επεξεργασία επηρέασαν σημαντικά ($P<0.05$) τις ρεολογικές παραμέτρους της ζύμης (**Πίνακας 6.5.3**), ενώ το ειδικό βάρος της ζύμης επηρεάστηκε σημαντικά ($P<0.05$) μόνο από τον τύπο του πιτύρου (**Σχήμα 6.5.1**).

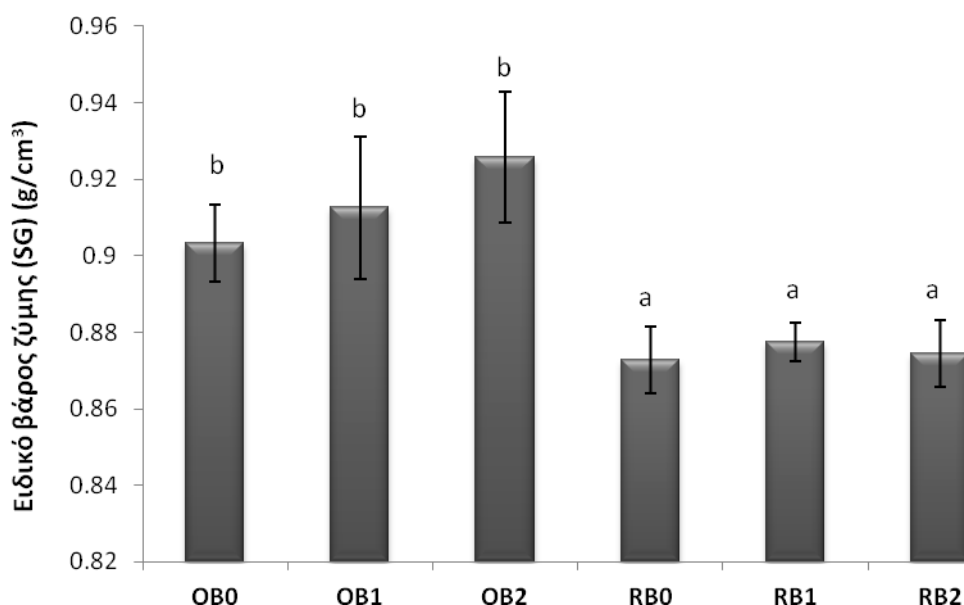
Η ζύμη με ενζυμικά επεξεργασμένα πίτυρα παρουσίασε σημαντικά ($P<0.05$) αυξημένες τιμές συντελεστή συνεκτικότητας (k_{cp}) σε σχέση με την ζύμη με ακατέργαστα πίτυρα, πιθανότατα λόγω του υψηλότερου ποσοστού διαλυτών διαιτητικών ινών (που συμπεριφέρονται ως κόμμεα) στα ενζυμικά επεξεργασμένα πίτυρα. Όσον αφορά τις δύο πηγές πιτύρων, η ζύμη με πίτυρα βρώμης εμφάνισε υψηλότερο συντελεστή συνεκτικότητας, λόγω της χημικής της σύστασης και ειδικότερα του υψηλότερου ποσοστού διαλυτών διαιτητικών ινών. Όπως αναφέρθηκε και προηγουμένως οι υψηλές τιμές του συντελεστή συνεκτικότητας είναι ιδιαίτερα σημαντικές, καθώς συμβάλλουν στη διατήρηση του ενσωματωμένου κατά την ανάμιξη αέρα μέχρι το τέλος του κλιβανισμού (Gomez et al. 2007). Επομένως, η χαμηλή τιμή συντελεστή συνεκτικότητας της ζύμης με ακατέργαστα πίτυρα δηλώνει μικρότερη ικανότητα διατήρησης του παγιδευμένου αέρα στην ζύμη αυτή. Όσον αφορά την επίδραση της προσθήκης ενζυμικά επεξεργασμένων πιτύρων στο δείκτη ρεολογικής συμπεριφοράς (n) της ζύμης, παρατηρήθηκε αύξησή του σε σχέση με τον αντίστοιχο της ζύμης με ακατέργαστα πίτυρα, που υποδηλώνει την ύπαρξη μιας λιγότερο περίπλοκης δομής. Από τις πηγές πιτύρου που χρησιμοποιήθηκαν, η ζύμη με πίτυρα ρυζιού είχε υψηλότερη τιμή n από την αντίστοιχη με πίτυρα βρώμης (**Πίνακας 6.5.3**).

Πίνακας 6.5.3 Επίδραση της προσθήκης ενζυμικά επεξεργασμένου πιτύρου στις ρεολογικές παραμέτρους της ζύμης του κέικ.

Κωδικοί Δειγμάτων	k_{cp} (Pa*s ⁿ)	<i>n</i>
OB0	3.301 (±0.038) ^b	0.462 (±0.011) ^c
OB1	9.903 (±0.388) ^d	0.266 (±0.006) ^a
OB2	9.593 (±1.122) ^d	0.281 (±0.030) ^a
RB0	1.168 (±0.239) ^a	0.580 (±0.050) ^d
RB1	4.553 (±0.508) ^c	0.366 (±0.006) ^b
RB2	4.027 (±0.228) ^{bc}	0.406 (±0.016) ^b

OB: Πίτυρα Βρώμης, RB: Πίτυρα ρυζιού. Ποσοστό ενδοξυλάνανσης 0:0 ppm (τυφλό), 1:70 ppm 2:700 ppm. Μέσες τιμές με διαφορετικό γράμμα στον εκθέτη στην ίδια στήλη διαφέρουν σημαντικά στατιστικά).

Από τις μετρήσεις αποδείχθηκε επίσης ότι η ζύμη με πίτυρα βρώμης εμφάνισε υψηλότερες τιμές ειδικού βάρους σε σχέση με εκείνη με πίτυρα ρυζιού, ενώ η ενζυμική επεξεργασία των πιτύρων δεν μετέβαλε σημαντικά το ειδικό βάρος της ζύμης (**Σχήμα 6.5.1**). Συγκεκριμένα, η ζύμη με επεξεργασμένα πίτυρα βρώμης εμφάνισε λίγο υψηλότερες τιμές ειδικού βάρους (όχι στατιστικά διαφορετικές) σε σχέση με την ζύμη με ακατέργαστα πίτυρα βρώμης, ενώ στην ζύμη με πίτυρα ρυζιού δεν παρατηρήθηκε καμία αλλαγή. Η αύξηση του ειδικού βάρους μπορεί να σχετίζεται με το μειωμένο όγκο του αέρα που έχει ενσωματωθεί στην ζύμη, καθώς λόγω του αυξημένου ιξώδους δυσκολεύεται η ενσωμάτωσή του κατά την ανάμιξη, όπως έχει προταθεί από τους Gomez et al. (2007). Επομένως, οι παρόμοιες τιμές ειδικού βάρους στις ζύμες με επεξεργασμένα και μη πίτυρα ρυζιού μπορεί να οφείλεται στις χαμηλές τιμές του ιξώδους τους, που ακόμα και με την ενζυμική επεξεργασία δεν έγιναν αρκετά υψηλές, ώστε να εμποδίσουν την ενσωμάτωση του αέρα. Πρέπει, ακόμα, να ληφθεί υπόψη ότι οι αλλαγές στο ειδικό βάρος μπορεί να επηρεάσουν τη ρεολογία της ζύμης (Campbell & Mougeot 1999). Ως εκ τούτου, οι μειωμένοι συντελεστές συνεκτικότητας που παρατηρήθηκαν στην ζύμη με ακατέργαστα πίτυρα μπορεί επίσης να σχετίζεται με την αυξημένη ποσότητα εγκλωβισμένου αέρα (Gomez et al. 2010).



OB: Πίτυρα Βρώμης, RB: Πίτυρα ρυζιού. Ποσοστό ενδοξυλανάσης 0:0 ppm (τυφλό), 1:70 ppm 2:700 ppm. Οι μπάρες σφάλματος απεικονίζουν την τυπική απόκλιση. Οι μπάρες με διαφορετικό γράμμα διαφέρουν σημαντικά στατιστικά ($P < 0.05$)

Σχήμα 6.5.1 Επίδραση της προσθήκης ενζυμικά επεξεργασμένου πιτύρου στο ειδικό βάρος της ζύμης του κέικ.

6.5.2 Θερμικά χαρακτηριστικά ζύμης

Οι θερμικές ιδιότητες της ζύμης, όπως η θερμοκρασία ζελατινοποίησης και η μεταβολή της ενθαλπίας, είναι σημαντικές για την κατανόηση των φαινομένων κατά τη διάρκεια του κλιβανισμού.

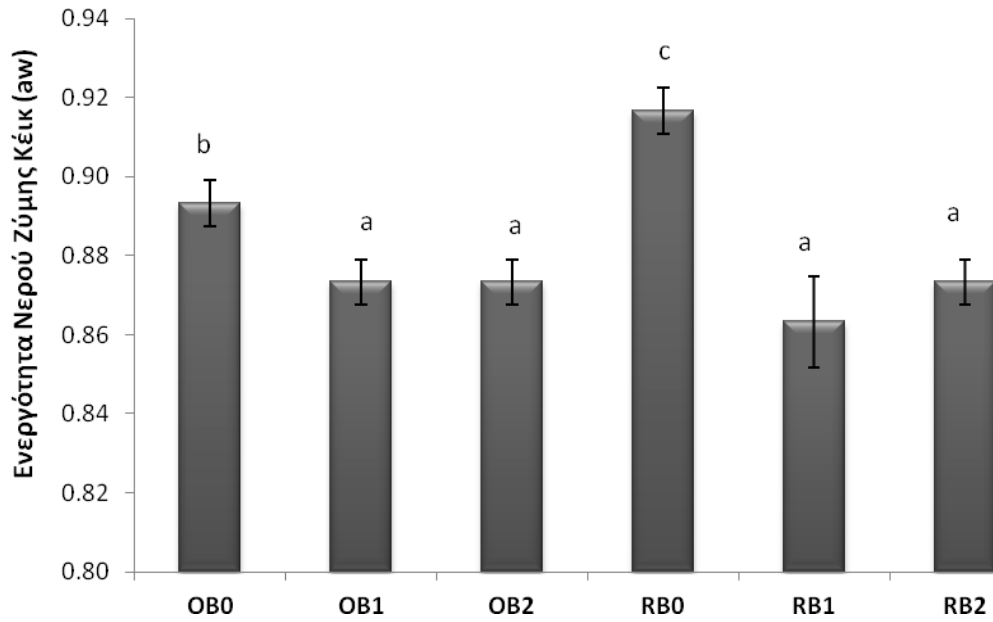
Πίνακας 6.5.4 Επίδραση της προσθήκης ενζυμικά επεξεργασμένου πιτύρου στα θερμικά χαρακτηριστικά της ζύμης του κέικ.

Κωδικοί Δειγμάτων	T ₀ (°C)	T _p (°C)	T _c (°C)	ΔH _g (J/g)
OB0	87.329 (±0.974) ^b	90.871 (±0.195) ^b	99.370 (±1.056) ^b	12.003 (±0.668) ^b
OB1	88.813 (±0.181) ^d	92.289 (±0.873) ^c	99.560 (±0.117) ^b	9.773 (±0.282) ^a
OB2	89.071 (±0.144) ^d	91.899 (±0.202) ^c	99.612 (±0.829) ^b	9.579 (±0.714) ^a
RB0	85.851 (±0.187) ^a	89.721 (±0.177) ^a	97.666 (±1.048) ^a	14.173 (±0.411) ^c
RB1	87.911 (±0.214) ^{bc}	91.764 (±0.299) ^c	97.300 (±0.640) ^a	11.758 (±0.796) ^b
RB2	88.567 (±0.547) ^{cd}	91.622 (±0.276) ^c	97.563 (±0.517) ^a	11.305 (±0.496) ^b

OB: Πίτυρα Βρώμης, RB: Πίτυρα ρυζιού. Ποσοστό ενδοξυλανάσης 0:0 ppm (τυφλό), 1:70 ppm 2:700 ppm. Μέσες τιμές με διαφορετικό γράμμα στον εκθέτη στην ίδια στήλη διαφέρουν σημαντικά στατιστικά.

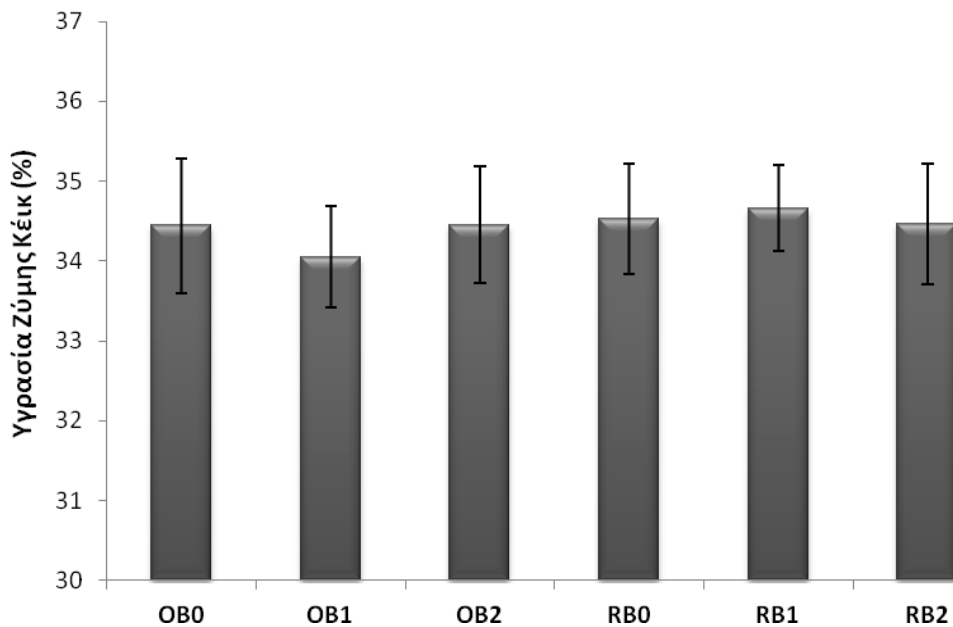
Η ζύμη του κέικ δεν παρουσίασε σημαντικά ($P < 0.05$) διαφορετική υγρασία (**Σχήμα 6.5.3**), όμως η ενεργότητα νερού της ζύμης ήταν σημαντικά ($P < 0.05$) χαμηλότερη για τα δείγματα που περιείχαν ενζυμικά επεξεργασμένα πίτυρα (**Σχήμα 6.5.2**). Ο τύπος του πιτύρου επηρέασε τις θερμοκρασίες έναρξης (T_0), κορύφωσης (T_p) και λήξης (T_c), καθώς και τη μεταβολή ενθαλπίας της ζελατινοποίησης (ΔH_g) καθώς και την ενεργότητα νερού της ζύμης (**Πίνακας 6.5.4**). Η ζύμη των κέικ με πίτυρα βρώμης παρουσίασε σημαντικά ($P < 0.05$) υψηλότερη T_0 , T_p και T_c και χαμηλότερη ενεργότητα νερού και ΔH_g από ότι η ζύμη των κέικ με πίτυρα ρυζιού. Αυτό μπορεί να οφείλεται στη διαφορετική πηγή αμύλου, στο λόγο αμυλόζης/αμυλοπηκτίνης και στη διαφορά του λόγου των κλασμάτων αδιάλυτων/διαλυτών διαιτητικών ινών μεταξύ των πιτύρων βρώμης και ρυζιού.

Από τις μετρήσεις αποδείχθηκε επίσης ότι η ενζυμική επεξεργασία αύξησε σημαντικά ($P < 0.05$) τις τιμές T_0 και T_p και μείωσε σημαντικά ($P < 0.05$) τις τιμές ΔH_g των αντίστοιχων δειγμάτων. Η μείωση της ΔH_g είναι επιθυμητή καθώς δείχνει το σχηματισμό μιας πιο σταθερής δομής. Το επίπεδο της ενδοξυλανάσης που χρησιμοποιήθηκε κατά την ενζυμική επεξεργασία δεν διαφοροποίησε τις προαναφερθείσες παραμέτρους σημαντικά (**Πίνακας 6.5.4**). Η θερμοκρασία ζελατινοποίησης είναι ιδιαίτερα σημαντική καθώς καθορίζει τη λήξη της διόγκωσης του κέικ και επομένως και τον όγκο του κέικ, όπως θα περιγραφεί αναλυτικά στη συνέχεια. Σε μελέτες των Gudmundsson et al. (1991) παρατηρήθηκε παρόμοια αύξηση στη θερμοκρασία ζελατινοποίησης και μείωση στη ΔH_g κατά την προσθήκη διαλυτών αραβινοξυλανών σε πρότυπα συστήματα αμύλου καλαμποκιού και πατάτας. Η αύξηση στη θερμοκρασία ζελατινοποίησης που παρατηρήθηκε στα δείγματα με επεξεργασμένα πίτυρα μπορεί να οφείλεται στην αλληλεπίδραση ανάμεσα στο άμυλο και τις ομάδες υδροξυλίου των διαλυτών αραβινοξυλανών, η οποία όμως εξαρτάται και από τη δομή των αραβινοξυλανών (Christianson et al. 1981). Επιπροσθέτως, η χαμηλότερη ενεργότητα νερού της ζύμης με ενζυμικά επεξεργασμένα πίτυρα δείχνει τη μικρότερη διαθεσιμότητα του νερού για την ζελατινοποίηση του αμύλου, μετατοπίζοντας τις θερμοκρασίες T_0 και T_p των αντίστοιχων δειγμάτων σε υψηλότερες περιοχές (Collar et al. 2006). Η υψηλότερη θερμοκρασία ζελατινοποίησης παρατηρήθηκε στην ζύμη με OB1 ($T_p = 92.289^\circ\text{C}$) και η χαμηλότερη στην ζύμη με RB0 ($T_p = 89.721^\circ\text{C}$), ενώ η υψηλότερη τιμή ΔH_g παρατηρήθηκε στην ζύμη με RB0 (14.173 J/g) και η χαμηλότερη στην ζύμη με OB2 (9.579 J/g).



OB: Πίτυρα Βρώμης, RB: Πίτυρα ρυζιού. Ποσοστό ενδοξυλανάσης 0:0 ppm (τυφλό), 1:70 ppm 2:700 ppm. Οι μπάρες σφάλματος απεικονίζουν την τυπική απόκλιση. Οι μπάρες με διαφορετικό γράμμα διαφέρουν σημαντικά στατιστικά ($P < 0.05$)

Σχήμα 6.5.2 Επίδραση της προσθήκης ενζυμικά επεξεργασμένου πιτύρου στην ενεργότητα νερού της ζύμης του κέικ.

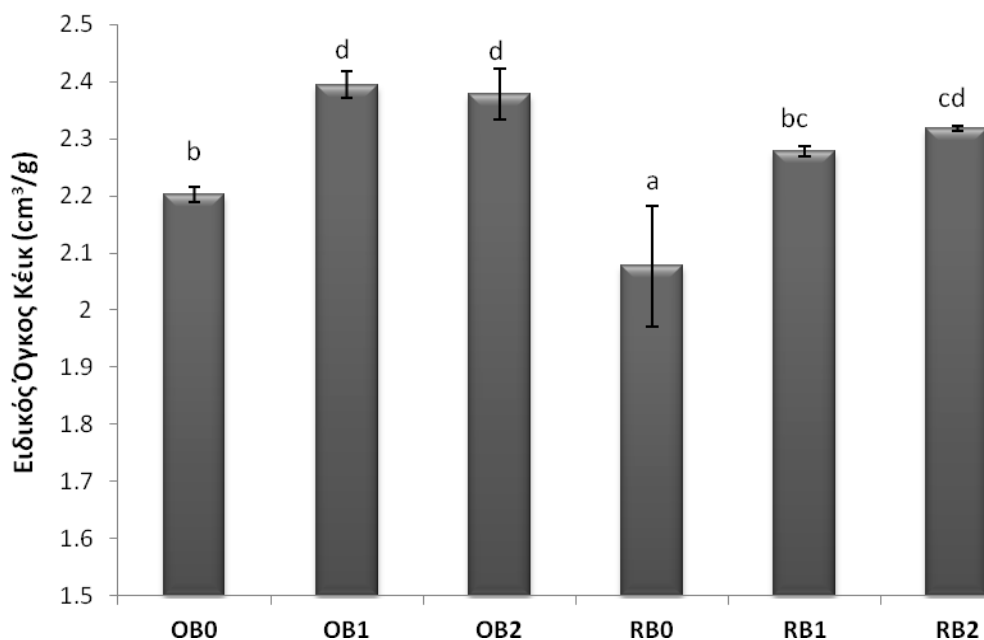


OB: Πίτυρα Βρώμης, RB: Πίτυρα ρυζιού. Ποσοστό ενδοξυλανάσης 0:0 ppm (τυφλό), 1:70 ppm 2:700 ppm. Οι μπάρες σφάλματος απεικονίζουν την τυπική απόκλιση. Οι μπάρες με διαφορετικό γράμμα διαφέρουν σημαντικά στατιστικά ($P < 0.05$)

Σχήμα 6.5.3 Επίδραση της προσθήκης ενζυμικά επεξεργασμένου πιτύρου στην υγρασία της ζύμης του κέικ.

6.5.3 Ποιοτικά χαρακτηριστικά κέικ

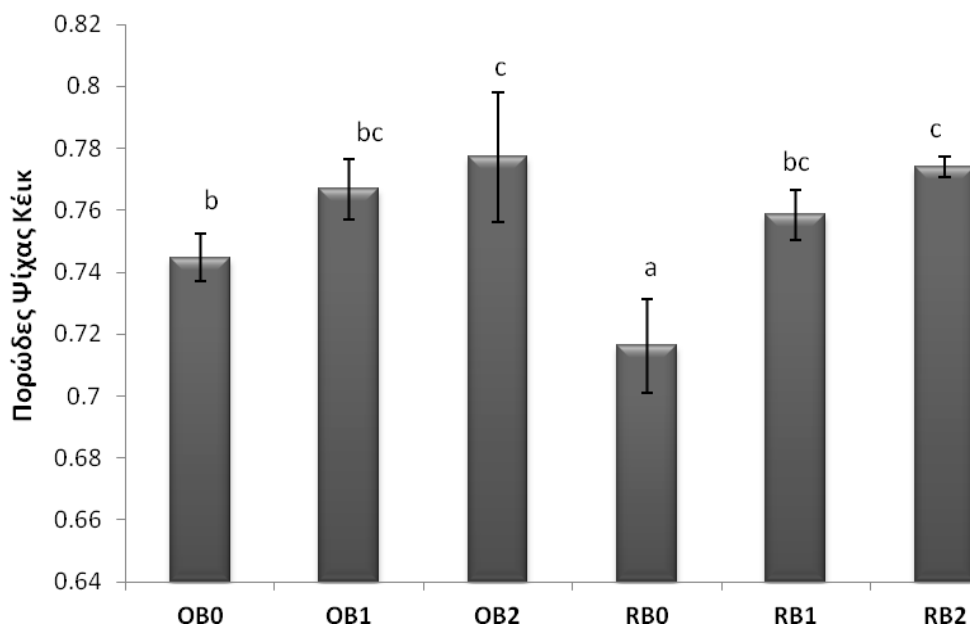
Τα φυσικά χαρακτηριστικά του κέικ είναι ιδιαίτερα σημαντικά καθώς είναι άμεσα συνδεδεμένα με την αποδοχή του από τον καταναλωτή. Η επίδραση της ενζυμικής επεξεργασίας καθώς και του είδους του πτύρου στον ειδικό όγκο, όπως και στη σκληρότητα και το πορώδες της ψίχας ήταν σημαντική ($P<0.05$). Τα κέικ με πτύρα βρώμης επέδειξαν υψηλότερο ειδικό όγκο σε σχέση με εκείνα με πτύρο ρυζιού, και τα κέικ με ενζυμικά επεξεργασμένα πτύρα σημαντικά ($P<0.05$) μεγαλύτερο όγκο σε σχέση με εκείνα με μη επεξεργασμένα πτύρα (**Σχήμα 6.5.4**). Ειδικότερα, τα κέικ με OB1 είχαν το μεγαλύτερο ειδικό όγκο ($2.394 \text{ cm}^3/\text{g}$), ενώ τα κέικ με RB0 είχαν το μικρότερο ($2.077 \text{ cm}^3/\text{g}$). Ο ειδικός όγκος των κέικ με επεξεργασμένα πτύρα δεν διαφοροποιήθηκε σημαντικά ως προς το επίπεδο ενζύμου. Παρόμοια αποτελέσματα προέκυψαν για το πορώδες της ψίχας, με τα πιο ογκώδη κέικ να έχουν το μεγαλύτερο πορώδες (**Σχήμα 6.5.5**).



OB: Πτύρα Βρώμης, RB: Πτύρα ρυζιού. Ποσοστό ενδοξυλανάσης 0:0 ppm (τυφλό), 1:70 ppm 2:700 ppm.

Οι μπάρες σφάλματος απεικονίζουν την τυπική απόκλιση. Οι μπάρες με διαφορετικό γράμμα διαφέρουν σημαντικά στατιστικά ($P<0.05$)

Σχήμα 6.5.4 Επίδραση της προσθήκης ενζυμικά επεξεργασμένου πτύρου στον ειδικό όγκο του κέικ.

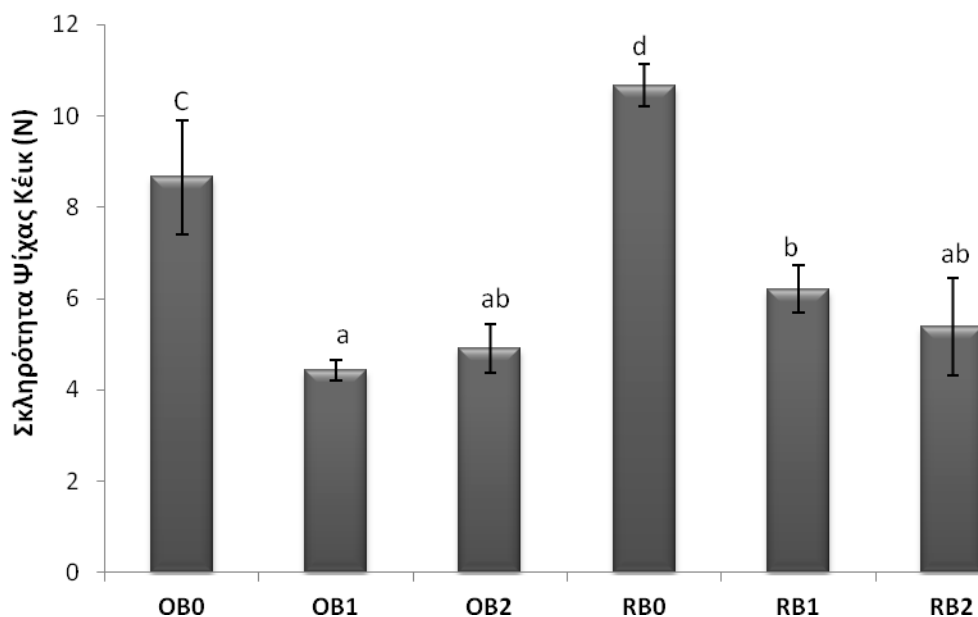


OB: Πίτυρα Βρώμης, RB: Πίτυρα ρυζιού. Ποσοστό ενδοξυλανάσης 0:0 ppm (τυφλό), 1:70 ppm 2:700 ppm. Οι μπάρες σφάλματος απεικονίζουν την τυπική απόκλιση. Οι μπάρες με διαφορετικό γράμμα διαφέρουν σημαντικά στατιστικά ($P < 0.05$)

Σχήμα 6.5.5 Επίδραση της προσθήκης ενζυμικά επεξεργασμένου πιτύρου στο πορώδες της ψίχας του κέικ.

Ο όγκος των κέικ εξαρτάται από την ικανότητα της ζύμης να συγκρατεί κατά τον κλιβανισμό τον ήδη ενσωματωμένο κατά την ανάμιξη αέρα, και από τη θερμοκρασία ζελατινοποίησης (Gomez et al. 2007). Η αύξηση του όγκου των κέικ με ενζυμικά επεξεργασμένα πίτυρα μπορεί να εξηγηθεί λόγω του αυξημένου ιξώδους της αντίστοιχης ζύμης, που καθυστερεί το ρυθμό διάχυσης των φυσαλίδων αέρα επιτρέποντας στο κέικ να συγκρατήσει τις διογκωμένες φυσαλίδες αέρα κατά τον κλιβανισμό, αφήνοντας να απελευθερωθούν στα πρώτα στάδια του κλιβανισμού (Capriles et al. 2008). Η αύξηση της θερμοκρασίας ζελατινοποίησης του αμύλου καθυστερεί τη μετατροπή της ζύμης από ένα ρευστό αερώδες γαλάκτωμα σε μια στερεή και πορώδη δομή, επιτρέποντας στις φυσαλίδες αέρα να διογκωθούν/επεκταθούν επαρκώς/ικανοποιητικά από το απελευθερωνόμενο από τους παράγοντες διόγκωσης CO_2 και τον ατμό πριν το κέικ στερεοποιηθεί/σταθεροποιηθεί, και επομένως στο κέικ να αυξήσει τον όγκο του για περισσότερο χρόνο (Gomez et al. 2007). Όπως και στην περίπτωση του άρτου (Courtin & Delcour 2002), αυτό ενισχύεται από τη σταθεροποίηση των φυσαλίδων αέρα από τις WE-AXs που βελτιώνει την ομοιογένεια της ψίχας, και την απουσία των ενυδατωμένων WU-AXs που αναμένεται να υπάρχουν ως διακριτά σωματίδια στην ζύμη που σπάζουν τις φυσαλίδες αέρα ενισχύοντας τη συνένωσή τους και μειώνοντας τη διατήρηση των αερίων.

Αξίζει να αναφερθεί ότι ο ενσωματωμένος κατά την ανάμιξη αέρας (ειδικό βάρος ζύμης) δεν σχετίστηκε ικανοποιητικά με τον όγκο του κέικ. Παρόμοια αποτελέσματα βρήκαν και άλλοι ερευνητές (Gomez et al. 2008) σε ίδιου τύπου κέικ, ενώ συσχέτιση έχει αναφερθεί σε κέικ σπόγγου. Αυτό μπορεί να οφείλεται στην παρουσία χημικών παραγόντων διόγκωσης (που απουσιάζουν στα κέικ σπόγγου), που παράγουν μεγάλη ποσότητα καρβονικού ανυδρίτη κατά τον κλιβανισμό, επηρεάζοντας τον όγκο του κέικ, όπως αναφέρθηκε από τους Gomez et al. (2010).



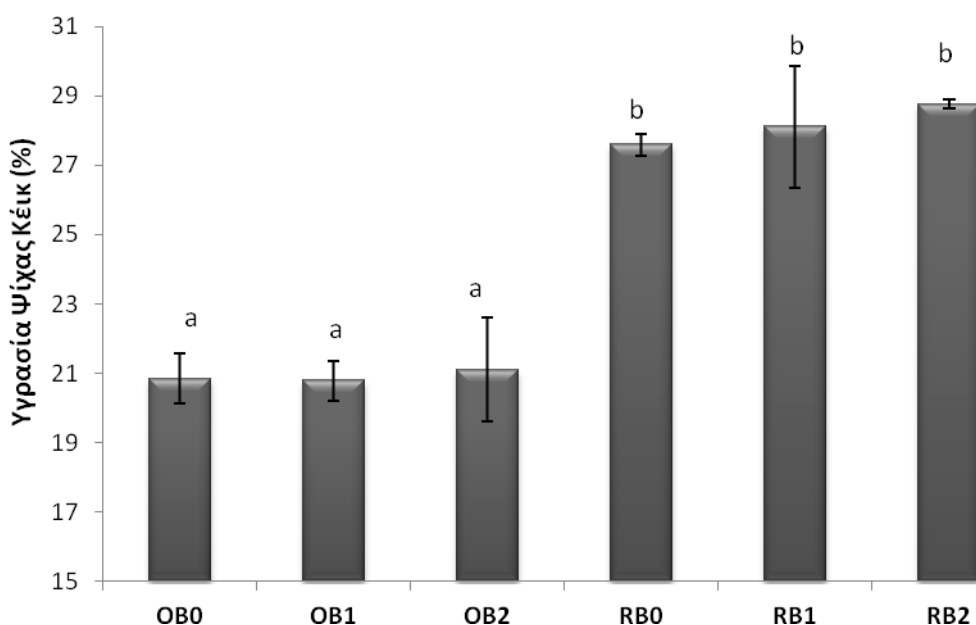
OB: Πίτυρα Βρώμης, RB: Πίτυρα ρυζιού. Ποσοστό ενδοξυλανάσης 0:0 ppm (τυφλό), 1:70 ppm 2:700 ppm. Οι μπάρες σφάλματος απεικονίζουν την τυπική απόκλιση. Οι μπάρες με διαφορετικό γράμμα διαφέρουν σημαντικά στατιστικά ($P < 0.05$)

Σχήμα 6.5.6 Επίδραση της προσθήκης ενζυμικά επεξεργασμένου πιτύρου στη σκληρότητα της ψίχας του κέικ.

Η ψίχα των κέικ με τα επεξεργασμένα πίτυρα εμφάνισε σημαντικά ($P < 0.05$) μικρότερη σκληρότητα από την αντίστοιχη των κέικ με μη επεξεργασμένα πίτυρα (**Σχήμα 6.5.6**). Ειδικότερα, τα κέικ με OB1 είχαν την πιο τρυφερή ψίχα (4.310 N), ενώ εκείνα με RB0 την πιο σκληρή ψίχα (10.671 N) αντίστοιχα. Παρατηρήθηκε αρνητική συσχέτιση μεταξύ της σκληρότητας της ψίχας και του όγκου του κέικ ($r = -0.99$, $P < 0.05$) καθώς και μεταξύ της σκληρότητας της ψίχας και του πορώδους της ψίχας ($r = -0.96$, $P < 0.05$), με τα πιο διογκωμένα κέικ να παρουσιάζουν λιγότερο συμπαγή δομή και μικρότερη σκληρότητα ψίχας. Στην περίπτωση προσθήκης μη επεξεργασμένων πιτύρων (OB0 και RB0), τα κέικ που προέκυψαν χαρακτηρίζονταν από μικρό όγκο, τραχιά και σκληρότερη υφή. Τέλος, η πηγή

του πιτύρου επηρέασε σημαντικά ($P<0.05$) τη σκληρότητα της ψίχας, με τα κέικ που περιείχαν πίτυρα ρυζιού να έχουν πιο σκληρή ψίχα.

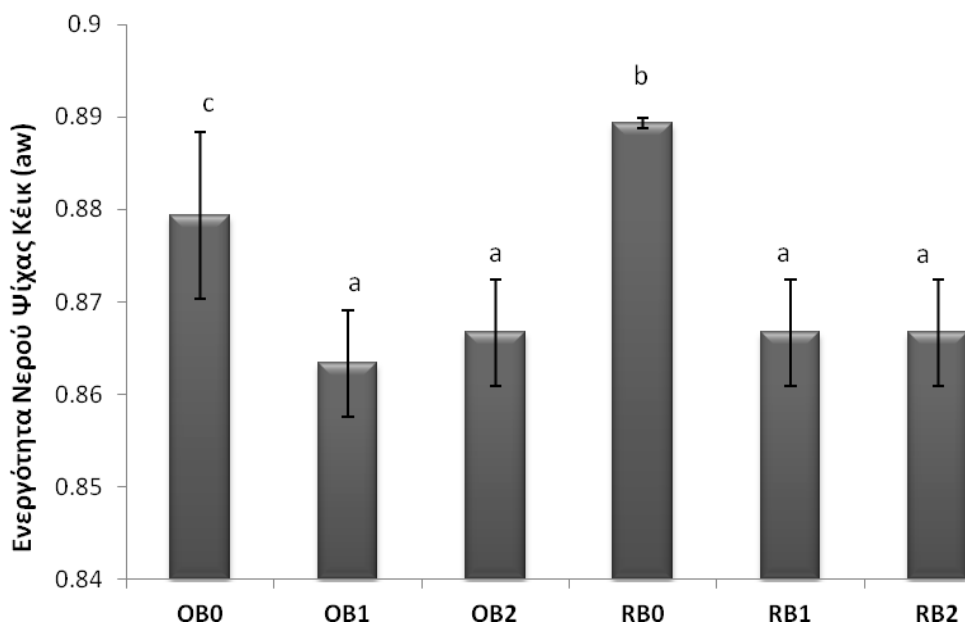
Η ενεργότητα νερού της ψίχας των κέικ διέφερε ανάλογα με τη χρησιμοποιηθείσα πηγή πιτύρου και την ενζυμική του επεξεργασία, ενώ η περιεχόμενη υγρασία τους επηρεάστηκε σημαντικά ($P<0.05$) μόνο από την πηγή του πιτύρου (**Σχήματα 6.5.7-6.5.8**). Τα κέικ με πίτυρα ρυζιού εμφάνισαν υψηλότερο ποσοστό υγρασίας και υψηλότερη ενεργότητα νερού σε σχέση με εκείνα με πίτυρα βρώμης. Ωστόσο, μετά την ενζυμική επεξεργασία των πιτύρων, η ενεργότητα νερού των κέικ με τα αντίστοιχα πίτυρα ήταν παρόμοια ανεξάρτητα από την πηγή των πιτύρων. Και για τις δύο πηγές πιτύρων που χρησιμοποιήθηκαν η υγρασία της ψίχας ακολουθούσε τη φθίνουσα σειρά: $CB1=CB2>CB0$, παρόλο που οι διαφορές αυτές δεν ήταν σημαντικές. Όσον αφορά την επίδραση της ενζυμικής επεξεργασίας, η ενεργότητα νερού των κέικ μειώθηκε σημαντικά ($P<0.05$) με την προσθήκη ενζυμικά επεξεργασμένων πιτύρων, πιθανότατα λόγω της απορροφημένης κατάστασης του νερού στα αντίστοιχα δείγματα. Η μείωση στην ενεργότητα νερού είναι επιθυμητή καθώς καθιστά τα κέικ πιο ανθεκτικά στην αλλοίωση.



OB: Πίτυρα Βρώμης, RB: Πίτυρα ρυζιού. Ποσοστό ενδοξυλανάσης 0:0 ppm (τυφλό), 1:70 ppm 2:700 ppm.

Οι μπάρες σφάλματος απεικονίζουν την τυπική απόκλιση. Οι μπάρες με διαφορετικό γράμμα διαφέρουν σημαντικά στατιστικά ($P<0.05$)

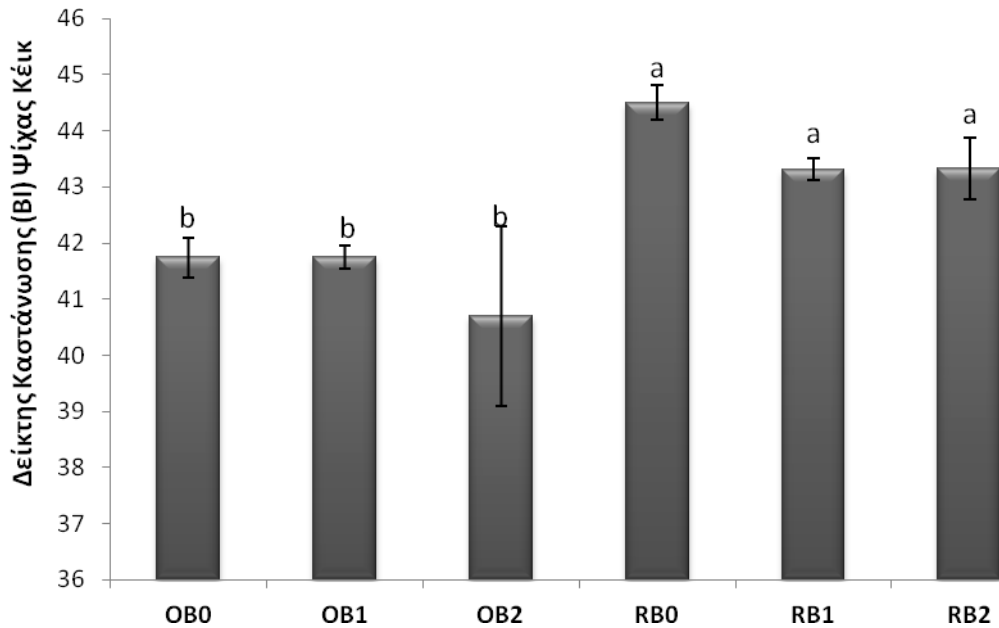
Σχήμα 6.5.7 Επίδραση της προσθήκης ενζυμικά επεξεργασμένου πιτύρου στην υγρασία της ψίχας του κέικ.



OB: Πίτυρα Βρώμης, RB: Πίτυρα ρυζιού. Ποσοστό ενδοξυλανάσης 0:0 ppm (τυφλό), 1:70 ppm 2:700 ppm. Οι μπάρες σφάλματος απεικονίζουν την τυπική απόκλιση. Οι μπάρες με διαφορετικό γράμμα διαφέρουν σημαντικά στατιστικά ($P < 0.05$)

Σχήμα 6.5.8 Επίδραση της προσθήκης ενζυμικά επεξεργασμένου πιτύρου στην ενεργότητα νερού της ψίχας του κέικ.

Ο δείκτης κασάνωσης (BI) υπολογίστηκε με βάση τις μετρούμενες τιμές των παραμέτρων του χρώματος L, a και b της ψίχας του κέικ. Είναι ο πιο κατάλληλος δείκτης εξέτασης των μεταβολών του χρώματος στα κέικ που περιέχουν πίτυρα, λόγω του ανεπιθύμητου έντονα καστανού χρώματος που αποκτά κυρίως η ψίχα τους από την προσθήκη των πιτύρων. Οι αλλαγές στο χρώμα λόγω της διαφορετικής πηγής πιτύρου και της ενζυμικής επεξεργασίας των πιτύρων που προστέθηκαν ήταν γενικώς πιο έντονες στην περιοχή της ψίχας από ότι στην κρούστα, λόγω του ότι το χρώμα της κρούστας επηρεάζεται κυρίως από τις αντιδράσεις Maillard και καραμελοποίησης, ενώ το χρώμα της ψίχας εξαρτάται σε μεγάλο ποσοστό από τα περιεχόμενα συστατικά. Η πηγή του πιτύρου επηρέασε σημαντικά ($P < 0.05$) το δείκτη κασάνωσης της ψίχας των αντίστοιχων κέικ, λόγω της διαφοροποίησης του χρώματος των πιτύρων, ενώ η ενζυμική επεξεργασία δεν επηρέασε το δείκτη κασάνωσής τους (**Σχήμα 6.5.9**). Το πιο έντονα καστανό χρώμα σημειώθηκε στα κέικ με πίτυρα ρυζιού.



OB: Πίτυρα Βρώμης, RB: Πίτυρα ρυζιού. Ποσοστό ενδοξυλανάσης 0:0 ppm (τυφλό), 1:70 ppm 2:700 ppm. Οι μπάρες σφάλματος απεικονίζουν την τυπική απόκλιση. Οι μπάρες με διαφορετικό γράμμα διαφέρουν σημαντικά στατιστικά ($P < 0.05$)

Σχήμα 6.5.9 Επίδραση της προσθήκης ενζυμικά επεξεργασμένου πιτύρου στο δείκτη καστανότητας της ψίχας του κέικ.

6.5.4 Οργανοληπτικά χαρακτηριστικά κέικ

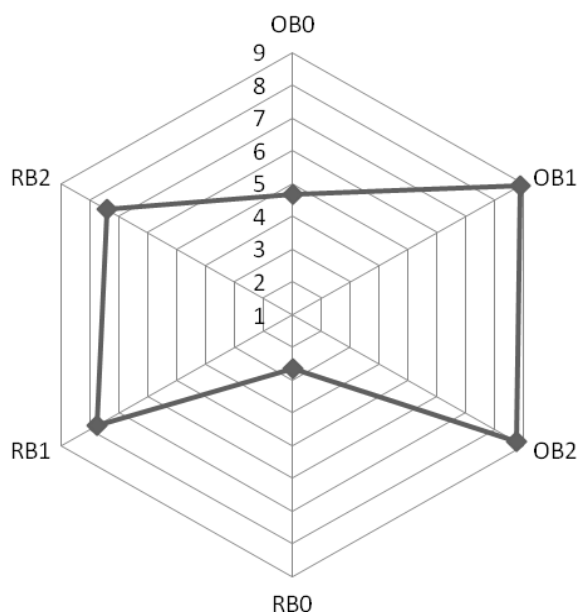
Αναφορικά με τις παραμέτρους της περιγραφικής ανάλυσης των κέικ, η μετάγευση και το δυσάρεστο άρωμα (off flavor) διέφεραν σημαντικά ($P < 0.05$) ανάλογα με τον τύπο του πιτύρου, οι παράμετροι της υφής ανάλογα με την ενζυμική επεξεργασία, ενώ ο όγκος και το πορώδες και με τα δύο. Το ποσοστό της ενδοξυλανάσης που χρησιμοποιήθηκε κατά την ενζυμική επεξεργασία δεν μετέβαλε σημαντικά τα οργανοληπτικά χαρακτηριστικά των κέικ. Επίσης, δεν παρατηρήθηκαν σημαντικές διαφορές στη βαθμολογία των δοκιμαστών για τη σκληρότητα της ψίχας των κέικ (**Σχήμα 6.5.12**).

Τα κέικ με πίτυρα ρυζιού είχαν πιο έντονα δυσάρεστο άρωμα (**Σχήμα 6.5.14**) και άσχημη μετάγευση (**Σχήμα 6.5.16**) σε σχέση με εκείνα με πίτυρα βρώμης, ενώ οι χαμηλότερες βαθμολογίες τους για τον όγκο και το πορώδες συσχετίζονται ισχυρά με τις αντικειμενικές μετρήσεις ($r = 0.98$, $P < 0.05$ και $r = 0.96$, $P < 0.05$). Το εντονότερο δυσάρεστο άρωμα και η μετάγευση των κέικ με πίτυρα ρυζιού αποδόθηκε στην ελαφρώς ξυλώδη και νωπή γεύση των πιτύρων ρυζιού.

Η ενζυμική επεξεργασία και των δύο πηγών πιτύρων παρείχε σημαντικά ($P < 0.05$) βελτιωμένες βαθμολογίες για τον όγκο (**Σχήμα 6.5.10**) και το πορώδες (**Σχήμα 6.5.11**), ενώ

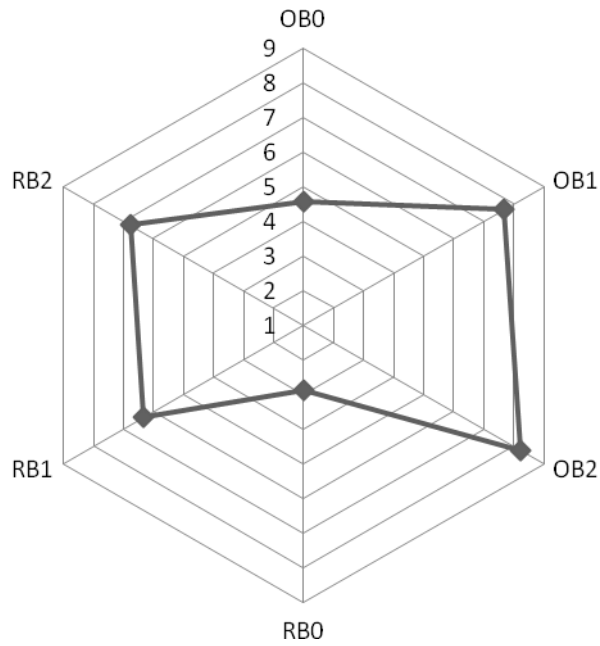
σημαντικά ($P<0.05$) μειωμένες βαθμολογίες για την οργανοληπτική ευθρυπτότητα (**Σχήμα 6.5.13**) και την αίσθηση αποδόμησης (**Σχήμα 6.5.15**) στο στόμα των αντίστοιχων κέικ. Ειδικότερα, για τα κέικ με OB2 και RB2 σημειώθηκε η χαμηλότερη τιμή ευθρυπτότητας και αίσθησης αποδόμησης στο στόμα, ενώ για εκείνα με OB2 σημειώθηκε επίσης η χαμηλότερη τιμή δυσάρεστου αρώματος και άσχημης μετάγευσης και ταυτόχρονα η υψηλότερη τιμή όγκου και πορώδους. Τα κέικ με μη επεξεργασμένα πίτυρα ρυζιού έλαβαν ακριβώς αντίθετη βαθμολογία, με ιδιαίτερα υψηλές τιμές ευθρυπτότητας και αίσθησης αποδόμησης στο στόμα, που υποδεικνύει απώλεια συνοχής στη δομή τους που απορρέει από το υψηλό ποσοστό WU-AXs.

Η προσθήκη ενζυμικά επεξεργασμένων πιτύρων βελτίωσε την ολική αποδοχή των αντίστοιχων κέικ (**Σχήμα 6.5.17**). Αυτό οφείλεται κυρίως στη μεταβολή των παραμέτρων της υφής και της εμφάνισης των συγκεκριμένων κέικ, καθώς η γεύση και το άρωμά τους δεν μεταβλήθηκαν σημαντικά όταν χρησιμοποιήθηκαν ενζυμικά επεξεργασμένα πίτυρα. Η πορώδης δομή που διέκρινε τα κέικ με ενζυμικά επεξεργασμένα πίτυρα συνδέεται με την ύπαρξη πιο τρυφερής ψίχας και επομένως με υψηλότερη οργανοληπτική ποιότητα. Η πηγή των πιτύρων επηρέασε επίσης σημαντικά ($P<0.05$) την ολική αποδοχή των κέικ, με τα κέικ που περιείχαν πίτυρα βρώμης να έχουν υψηλότερη βαθμολογία από εκείνα με πίτυρα ρυζιού.



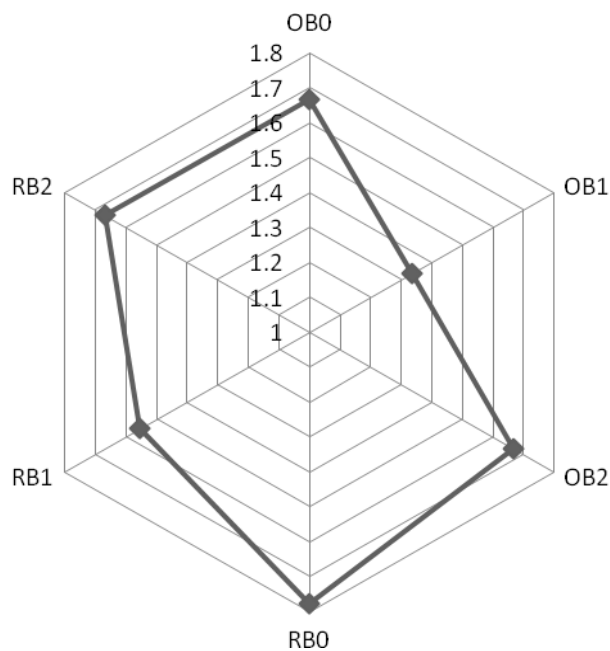
OB: Πίτυρα βρώμης, RB: Πίτυρα ρυζιού. Ποσοστό ενδοξυλανάσης 0:0 ppm (τυφλό), 1:70 ppm 2:700 ppm.

Σχήμα 6.5.10 Επίδραση της προσθήκης ενζυμικά επεξεργασμένου πιτύρου στον οργανοληπτικό όγκο του κέικ.



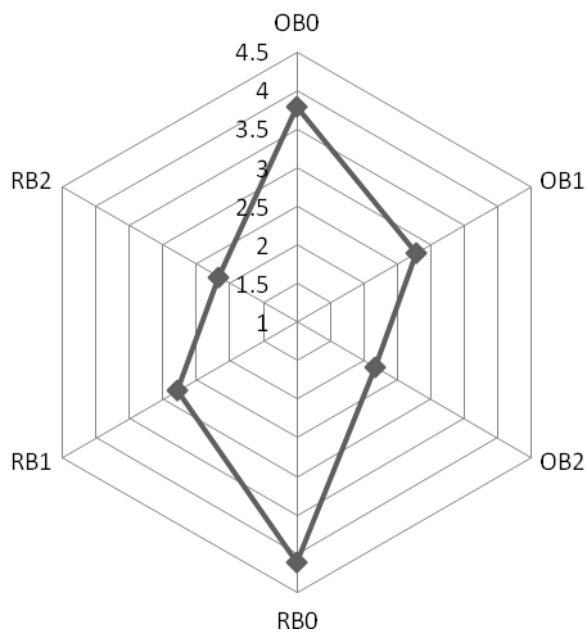
OB: Πίτυρα Βρώμης, RB: Πίτυρα ρυζιού. Ποσοστό ενδοξυλανάσης 0:0 ppm (τυφλό), 1:70 ppm 2:700 ppm.

Σχήμα 6.5.11 Επίδραση της προσθήκης ενζυμικά επεξεργασμένου πιτύρου στο οργανοληπτικό πορώδες του κέικ.



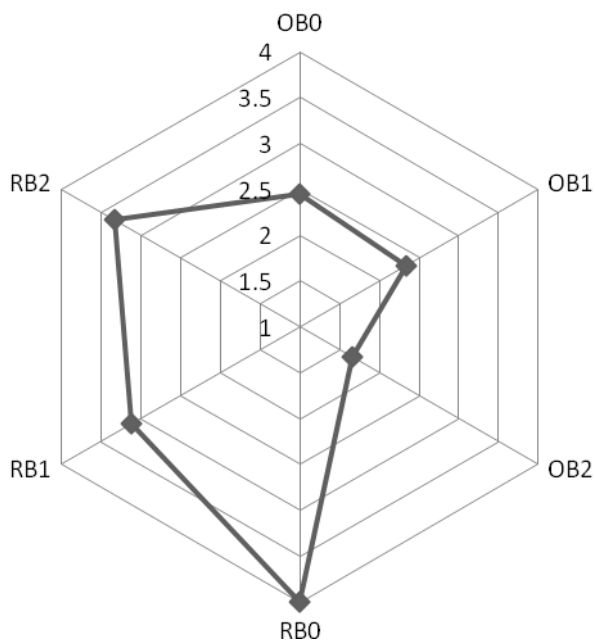
OB: Πίτυρα Βρώμης, RB: Πίτυρα ρυζιού. Ποσοστό ενδοξυλανάσης 0:0 ppm (τυφλό), 1:70 ppm 2:700 ppm.

Σχήμα 6.5.12 Επίδραση της προσθήκης ενζυμικά επεξεργασμένου πιτύρου στην οργανοληπτική σκληρότητα της ψίχας του κέικ.



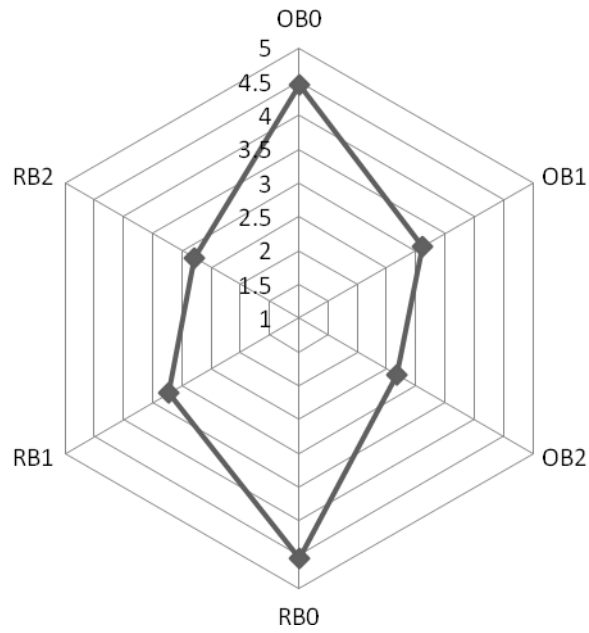
OB: Πίτυρα Βρώμης, RB: Πίτυρα ρυζιού. Ποσοστό ενδοξυλανάσης 0:0 ppm (τυφλό), 1:70 ppm 2:700 ppm.

Σχήμα 6.5.13 Επίδραση της προσθήκης ενζυμικά επεξεργασμένου πιτύρου στην οργανοληπτική ευθρυπτότητα της ψίχας του κέικ.



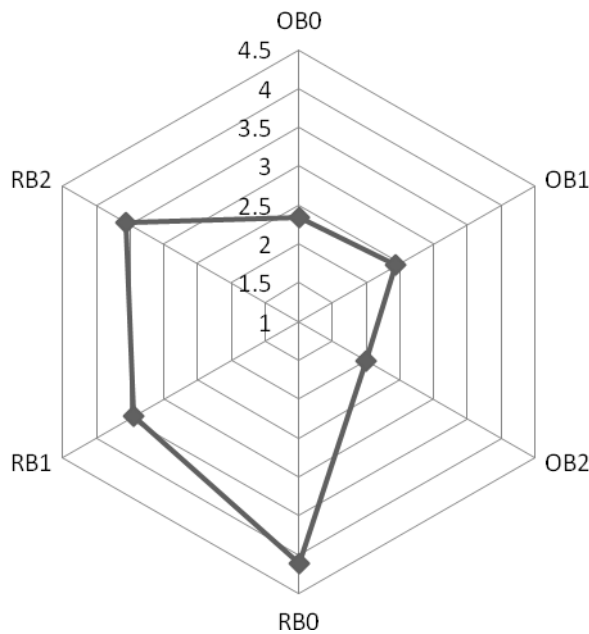
OB: Πίτυρα Βρώμης, RB: Πίτυρα ρυζιού. Ποσοστό ενδοξυλανάσης 0:0 ppm (τυφλό), 1:70 ppm 2:700 ppm.

Σχήμα 6.5.14 Επίδραση της προσθήκης ενζυμικά επεξεργασμένου πιτύρου στο δυσάρεστο άρωμα (off- flavor) του κέικ.



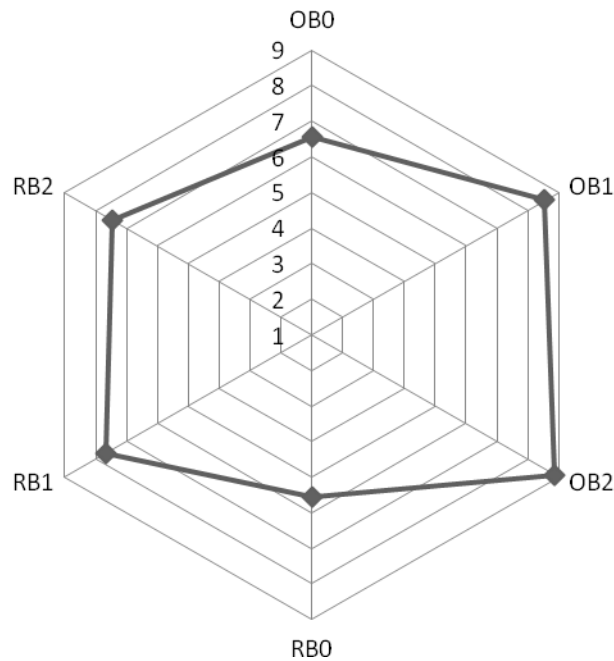
OB: Πίτυρα Βρώμης, RB: Πίτυρα ρυζιού. Ποσοστό ενδοξυλανάσης 0:0 ppm (τυφλό), 1:70 ppm 2:700 ppm.

Σχήμα 6.5.15 Επίδραση της προσθήκης ενζυμικά επεξεργασμένου πιτύρου στην οργανοληπτική αίσθηση αποδόμησης του κέικ.



OB: Πίτυρα Βρώμης, RB: Πίτυρα ρυζιού. Ποσοστό ενδοξυλανάσης 0:0 ppm (τυφλό), 1:70 ppm 2:700 ppm.

Σχήμα 6.5.16 Επίδραση της προσθήκης ενζυμικά επεξεργασμένου πιτύρου στην οργανοληπτική μετάγευση του κέικ.



OB: Πίτυρα Βρώμης, RB: Πίτυρα ρυζιού. Ποσοστό ενδοξυλανάσης 0:0 ppm (τυφλό), 1:70 ppm 2:700 ppm.

Σχήμα 6.5.17 Επίδραση της προσθήκης ενζυμικά επεξεργασμένου πιτύρου στην ολική αποδοχή του κέικ.

6.5.5 Πρόβλεψη των οργανοληπτικών χαρακτηριστικών

Η σχέση μεταξύ των αντικειμενικά μετρούμενων παραμέτρων (φυσικοχημικών και θερμικών) και των οργανοληπτικά εκτιμούμενων παραμέτρων του προϊόντος μπορεί να αποδείξει, αν είναι δυνατή η πρόρρηση της οργανοληπτικής αξιολόγησης και αποδοχής του προϊόντος μέσω ορισμένων αντικειμενικών μετρήσεων των χαρακτηριστικών του. Τέτοια πρόρρηση είναι ιδιαίτερα σημαντική για τον ποιοτικό έλεγχο στις βιομηχανίες τροφίμων.

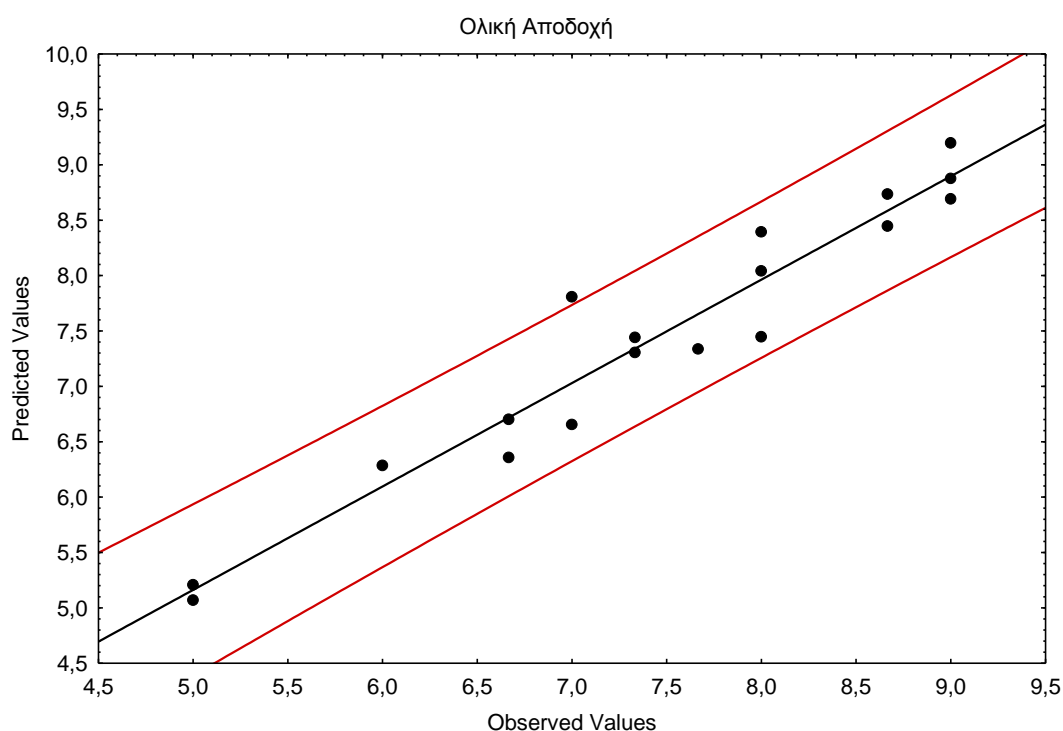
Η σχέση μεταξύ των οργανοληπτικών και αντικειμενικά μετρήσιμων χαρακτηριστικών των κέικ με πίτυρα βρώμης και ρυζιού (επεξεργασμένων και μη) προσεγγίστηκε με χρήση ανάλυσης πολλαπλής παλινδρόμησης. Οι εξισώσεις που προέκυψαν (**Πίνακας 6.5.5**) περιγράφουν επαρκώς τις παραπάνω σχέσεις. Η εμφάνιση του κέικ (βασισμένη κυρίως στην οργανοληπτική εκτίμηση της διόγκωσης και του χρώματος του κέικ) μπορεί να προβλεφθεί επαρκώς, όταν είναι γνωστά η θερμοκρασία ζελατινοποίησης και ο συντελεστής συνεκτικότητας της ζύμης, καθώς και η περιεχόμενη υγρασία και ο ειδικός όγκος του κέικ. Η ολική αποδοχή εξαρτάται περισσότερο από τον όγκο του κέικ, τη σκληρότητα της ψίχας καθώς και τη θερμοκρασία ζελατινοποίησης και το συντελεστή συνεκτικότητας της ζύμης, ενώ η αίσθηση αποδόμησης στο στόμα, μια πολύ σημαντική παράμετρος της υφής των κέικ με πίτυρα, μπορεί να προβλεφθεί όταν είναι γνωστά η θερμοκρασία ζελατινοποίησης και ο συντελεστής συνεκτικότητας της ζύμης, καθώς και η υγρασία της ψίχας του κέικ.

Πίνακας 6.5.5 Πρόβλεψη οργανοληπτικών χαρακτηριστικών κέικ από τα μετρούμενα αντικειμενικά χαρακτηριστικά τους.

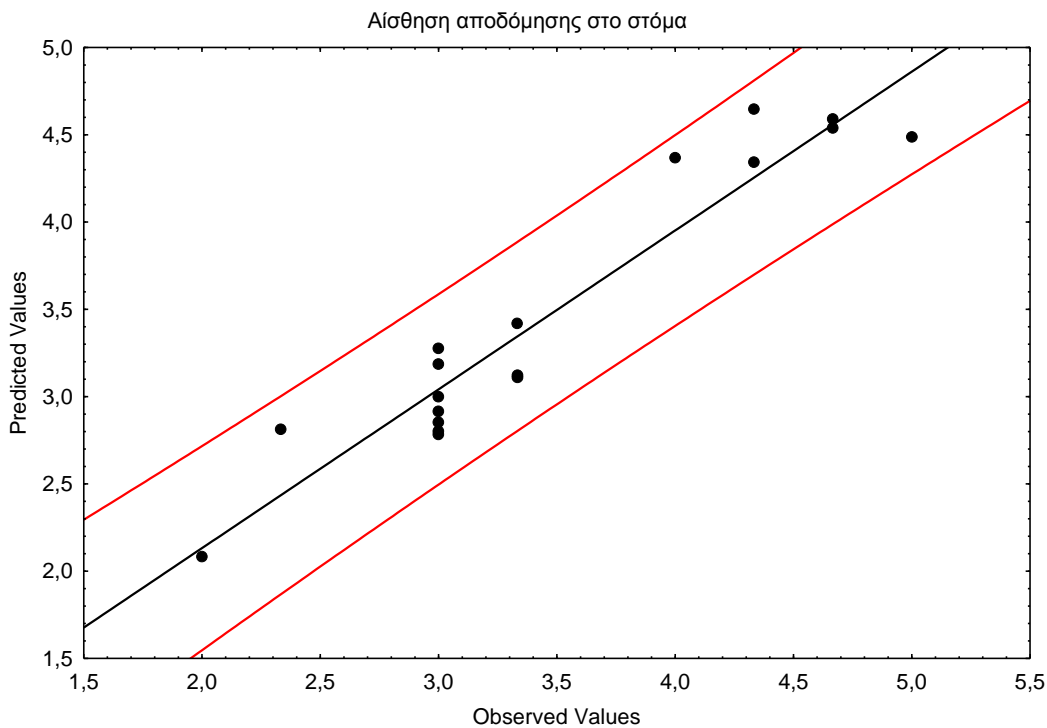
Οργανοληπτική Παράμετρος (Y)	Μοντέλα Παλινδρόμησης	R ²
Εμφάνιση	$0.436 \cdot T_p + 0.433 \cdot k_{cp} + 0.255 \cdot V - 0.242 \cdot M$	0.930
Υφή (Αποδόμηση στο στόμα)	$0.749 \cdot M + 1.132 \cdot k_{cp} \cdot T_p - 1.216 \cdot M \cdot k_{cp} \cdot T_p$	0.910
Ολική Αποδοχή	$0.539 \cdot V - 0.419 \cdot F + 0.264 \cdot k_{cp} - 0.236 \cdot T_p$	0.934

F: Σκληρότητα Ψίχας (N), T_p: Θερμοκρασία κορύφωσης ζελατινοποίησης (°C), M: Υγρασία Ψίχας (% w.b.), V: Ειδικός Όγκος (cm³/g), k_{cp}: Συντελεστής συνεκτικότητας ζύμης (Pa*sⁿ)

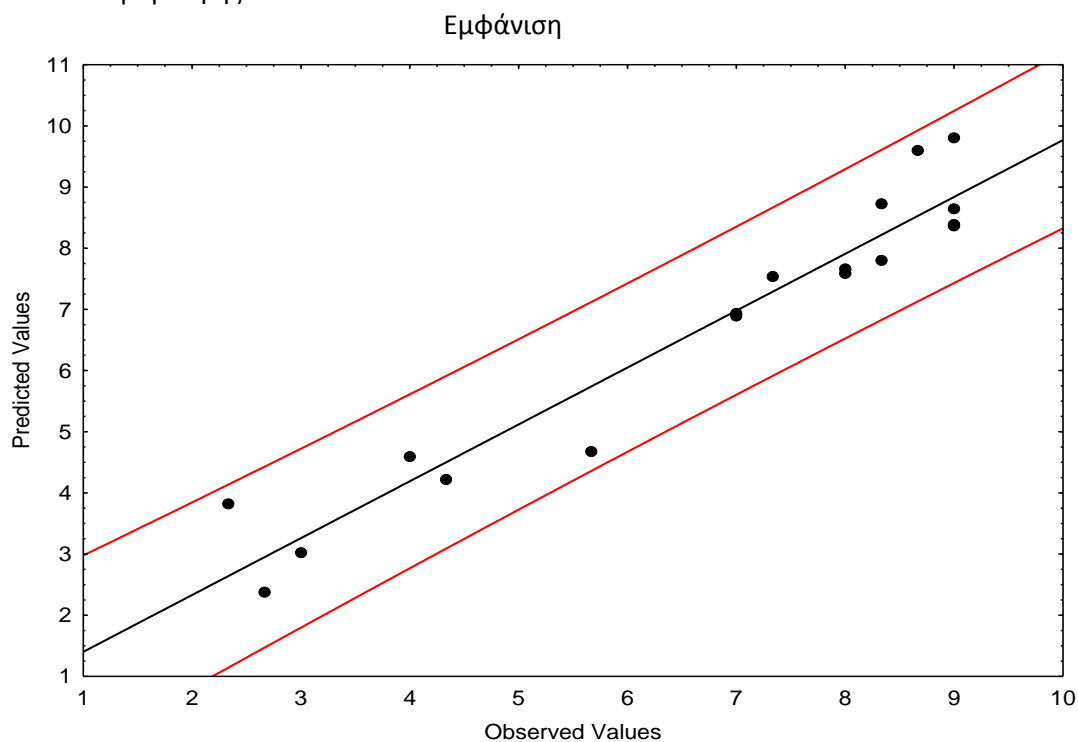
Οι παρατηρούμενες τιμές (observed values) των οργανοληπτικών παραμέτρων που μελετήθηκαν μπορεί να προβλεφθούν επαρκώς (επίπεδο εμπιστοσύνης 0.95) από τα μοντέλα παλινδρόμησης που αναπτύχθηκαν, όταν είναι γνωστά η σκληρότητα και η υγρασία της ψίχας του κέικ, ο ειδικός όγκος του κέικ, η θερμοκρασία ζελατινοποίησης και ο συντελεστής συνεκτικότητας της ζύμης του κέικ (**Σχήματα 6.5.18-6.5.20**). Αυτό είναι ιδιαίτερα χρήσιμο για τις βιομηχανίες τροφίμων, αφού με τον τρόπο αυτό μπορεί να προβλεφθεί η συμπεριφορά των καταναλωτών προς το προϊόν τους πριν αυτό οδηγηθεί στην αγορά, μετρώντας τα φυσικοχημικά και θερμικά χαρακτηριστικά του.



Σχήμα 6.5.18 Παρατηρούμενες (observed) και προβλεπόμενες (predicted) τιμές ολικής αποδοχής. Ζώνη παλινδρόμησης (κόκκινες γραμμές) ορισμένες στο 0.95 επίπεδο πρόβλεψης.



Σχήμα 6.5.19 Παρατηρούμενες (observed) και προβλεπόμενες (predicted) τιμές αίσθησης αποδόμησης στο στόμα. Ζώνη παλινδρόμησης (κόκκινες γραμμές) ορισμένες στο 0.95 επίπεδο πρόβλεψης.



Σχήμα 6.5.20 Παρατηρούμενες (observed) και προβλεπόμενες (predicted) τιμές οργανοληπτικής εμφάνισης. Ζώνη παλινδρόμησης (κόκκινες γραμμές) ορισμένες στο 0.95 επίπεδο πρόβλεψης.

6.5.6 Συμπεράσματα 5^{ης} σειράς πειραμάτων

Το ιξώδες και η θερμοκρασία ζελατινοποίησης της ζύμης που περιείχε ενζυμικά επεξεργασμένα πίτυρα αυξήθηκαν σε σχέση με τα αντίστοιχα χαρακτηριστικά της ζύμης με μη επεξεργασμένα πίτυρα, ενώ η ενεργότητα νερού μειώθηκε. Σημειώθηκε βελτίωση του όγκου, του πορώδους, της υφής και των οργανοληπτικών χαρακτηριστικών των κέικ με επεξεργασμένα πίτυρα, ενώ το επίπεδο της ενζυμικής επεξεργασίας του πιτύρου δεν προκάλεσε σημαντικές διαφορές σε καμία από τις παραπάνω παραμέτρους. Συγκρίνοντας τις πηγές των πιτύρων, τα πίτυρα βρώμης προστιθέμενα σε κέικ απέδωσαν προϊόντα με καλύτερα χαρακτηριστικά. Συμπερασματικά, τα αποτελέσματα απέδειξαν ότι ανεκμετάλλευτες πηγές πιτύρων μετά από ενζυμική επεξεργασία μπορούν να ενσωματωθούν επιτυχώς στα κέικ, βελτιώνοντας τη διατροφική τους αξία και τα χαρακτηριστικά τους.

6.6 6^η Σειρά Πειραμάτων: Μελέτη διατηρησιμότητας των εμπλουτισμένων με ενζυμικά επεξεργασμένα πίτυρα κέικ

Η ενζυμική επεξεργασία των πιτύρων τροποποιεί τις ιδιότητες των πιτύρων (4^η πειραματική σειρά), επηρεάζοντας τα χαρακτηριστικά (5^η πειραματική σειρά) και τη διατηρησιμότητα των προϊόντων στα οποία προστίθενται. Στην προηγούμενη σειρά μελετήθηκε η επίδραση της ενζυμικής επεξεργασίας καθώς και της πηγής του πιτύρου στα ποιοτικά χαρακτηριστικά των φρέσκων κέικ. Λόγω του ότι τα κέικ έχουν περιορισμένη διατηρησιμότητα, και η επιμήκυνσή της είναι ιδιαίτερα σημαντική για τη βιομηχανία τροφίμων, η μελέτη της παλαίωσής τους είναι επίσης απαραίτητη. Η 6^η σειρά πειραμάτων αφορά στη μελέτη υποβάθμισης των χαρακτηριστικών των κέικ κατά την αποθήκευσή τους. Ο σκοπός αυτής της σειράς ήταν η υποκατάσταση του αλεύρου του κέικ με 30% πίτυρα βρώμης και ρυζιού, ενζυμικά επεξεργασμένα και μη επεξεργασμένα, και η μελέτη της επίδρασης της ενζυμικής επεξεργασίας καθώς και της πηγής του πιτύρου στη διατηρησιμότητα του κέικ. Η παλαίωση των κέικ εκτιμήθηκε μέσω των μεταβολών στα φυσικοχημικά (υγρασία, ενεργότητα νερού, σκληρότητα ψίχας), θερμικά (αναδιαμόρφωση του αμύλου) και οργανοληπτικά χαρακτηριστικά των κέικ κατά την αποθήκευσή τους για 7 ημέρες στους 25 ±1°C και 60% RH. Στους Πίνακες 6.6.1 και 6.6.2 που ακολουθούν παρουσιάζεται η συνταγή και η κωδικοποίηση των δειγμάτων αντίστοιχα. Σε κάθε περίπτωση η σύγκριση γίνεται με τα κέικ που περιέχουν 30% ακατέργαστα πίτυρα βρώμης και ρυζιού (OB0 και RB0 αντίστοιχα).

Πίνακας 6.6.1 Συνταγή που χρησιμοποιήθηκε στην παρασκευή του κέικ (6^η πειραματική σειρά).

Συστατικό	Ποσοστό (%) επί του βάρους του αλεύρου
Πίτυρα	30
Ζάχαρη	90
Λιπαρό	50
Γάλα	65
Αυγά	65
Βανιλίνη	0.2
Όξινο ανθρακικό νάτριο	1.11
Δυσόξινο φωσφορικό ασβέστιο	0.2
Όξινο πυροφωσφορικό νάτριο	1.35

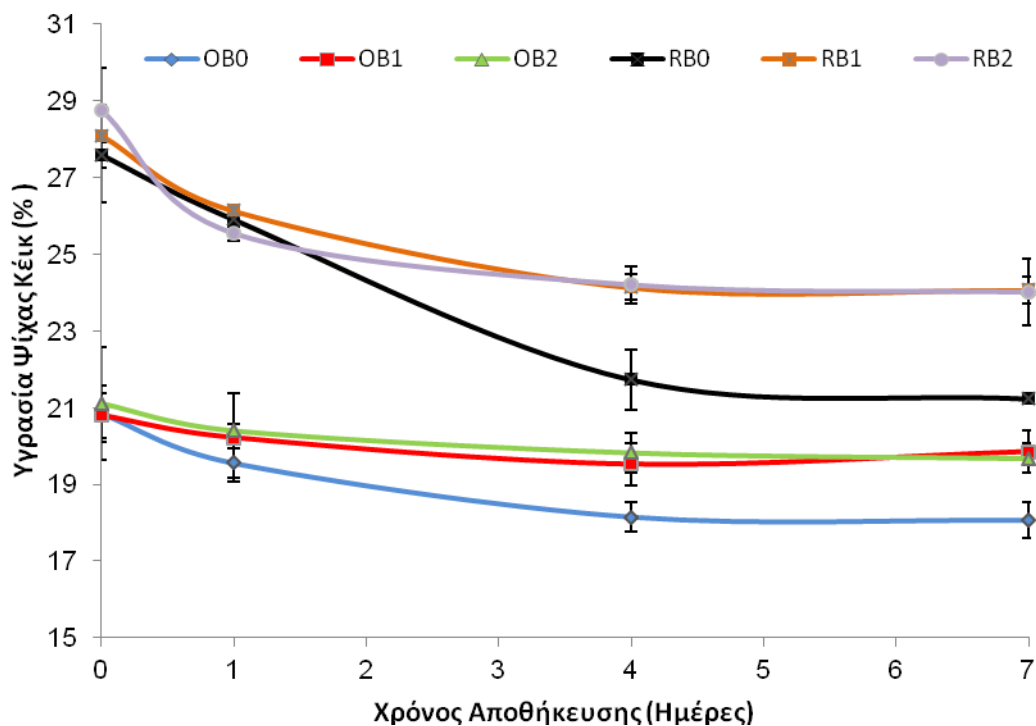
Πίνακας 6.6.2 Κωδικοποίηση των δειγμάτων της 6^{ης} πειραματικής σειράς (διατηρησιμότητα κέικ με ενζυμικά επεξεργασμένα πίτυρα).

Πίτυρο – Πηγή	Ποσοστό Ενζύμου (ppm)	Κωδικός δείγματος
Βρώμη	0	OB0
Βρώμη	70	OB1
Βρώμη	700	OB2
Ρύζι	0	RB0
Ρύζι	70	RB1
Ρύζι	700	RB2

6.6.1 Φυσικοχημικά χαρακτηριστικά

Η περιεχόμενη υγρασία είναι από τα φυσικοχημικά χαρακτηριστικά των κέικ που καθορίζουν τη φρεσκότητά τους. Κατά τη διάρκεια της αποθήκευσης, παρατηρήθηκε μείωση της περιεχόμενης υγρασίας, όπως ήταν αναμενόμενο, σε όλα τα δείγματα (**Σχήμα 6.6.1**). Η αρχική υγρασία των κέικ με πίτυρα ρυζιού και βρώμης ήταν 27.59% και 20.85%, αντίστοιχα, ενώ ο ρυθμός απώλειας της υγρασίας κατά την αποθήκευση ήταν ανεξάρτητος από την αρχική υγρασία (φρέσκο προϊόν), όπως παρατηρήθηκε επίσης και από τους Piazza & Masi (1995). Ειδικότερα, έως την 4^η ημέρα αποθήκευσης η υγρασία των κέικ με μη επεξεργασμένα πίτυρα βρώμης και ρυζιού μειώθηκε κατά 13% και 21% αντίστοιχα, ενώ κατά τις επόμενες 3 ημέρες δεν μεταβλήθηκε σημαντικά ($P<0.05$). Στα κέικ με πίτυρα ρυζιού σημειώθηκε ταχύτερη απώλεια υγρασίας σε σχέση με εκείνα με πίτυρα βρώμης, ενώ παράλληλα τα πρώτα παρουσίασαν και υψηλότερη αρχική υγρασία.

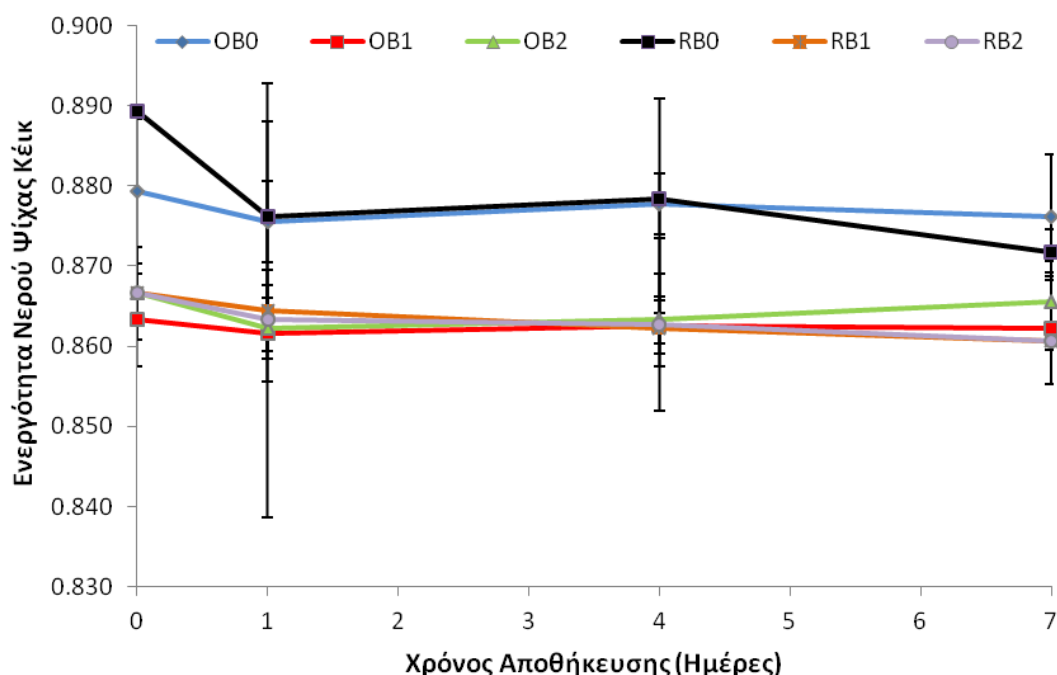
Αν και η ενζυμική επεξεργασία των πιτύρων δεν μετέβαλε την αρχική υγρασία των αντίστοιχων κέικ, προκάλεσε σημαντική μείωση στο ρυθμό απώλειας υγρασίας (**Σχήμα 6.6.1**). Άλλωστε, σύμφωνα και με παρατηρήσεις άλλων ερευνητών (Willhoft 1973, Sych et al. 1987 και Piazza & Masi 1995), ο ρυθμός παλαίωσης των κέικ επηρεάζεται μόνο από τη μείωση της υγρασίας της ψίχας και όχι από την αρχικά περιεχόμενη υγρασία (μελέτες σε κέικ αποθηκευμένα στους 20°C για 42 ημέρες). Κατά την εξέλιξη της αποθήκευσης, η μείωση της υγρασίας της ψίχας ήταν σημαντικά χαμηλότερη ($P<0.05$) στα κέικ με επεξεργασμένα πίτυρα. Ειδικότερα, μετά από 4 ημέρες αποθήκευσης τα κέικ με επεξεργασμένα πίτυρα βρώμης παρουσίασαν 53% μικρότερη απώλεια υγρασίας από ότι τα αντίστοιχα κέικ με μη επεξεργασμένα πίτυρα βρώμης, και τα κέικ με επεξεργασμένα πίτυρα ρυζιού 33% μικρότερη από ότι τα αντίστοιχα τυφλά τους. Το επίπεδο της ενδοξυλανάσης που χρησιμοποιήθηκε στην ενζυμική επεξεργασία των πιτύρων δεν μετέβαλε σημαντικά ($P<0.05$) την υγρασία των κέικ (φρέσκων ή αποθηκευμένων).



OB: Πίτυρα Βρώμης, RB: Πίτυρα ρυζιού. Ποσοστό ενδοξυλανάσης 0:0 ppm (τυφλό), 1:70 ppm 2:700 ppm. Οι μπάρες σφάλματος απεικονίζουν την τυπική απόκλιση ($P < 0.05$)

Σχήμα 6.6.1 Επίδραση της προσθήκης ενζυμικά επεξεργασμένου πιτύρου στην υγρασία της ψίχας των κέικ κατά την αποθήκευσή τους στους $25 \pm 1^\circ\text{C}$ και 60% RH για 7 ημέρες.

Η ενεργότητα νερού της ψίχας του κέικ δεν μεταβλήθηκε σημαντικά ($P < 0.05$) κατά την περίοδο αποθήκευσης που μελετήθηκε (**Σχήμα 6.6.2**). Παρόμοια αποτελέσματα έχουν καταγραφεί και από τους Sych et al. (1987). Μεγαλύτερες τιμές παρατηρήθηκαν για τα κέικ με μη επεξεργασμένα πίτυρα ρυζιού (RB0: 0.889) και χαμηλότερες για εκείνα με μη επεξεργασμένα πίτυρα βρώμης (OB0: 0.879) σε όλη τη διάρκεια της αποθήκευσης. Τα κέικ με επεξεργασμένα πίτυρα είχαν σημαντικά ($P < 0.05$) χαμηλότερη ενεργότητα νερού, υποδεικνύοντας την ύπαρξη λιγότερου ελεύθερου και διαθέσιμου (για την αναδιαμόρφωση του αμύλου και επομένως και την εξέλιξη της παλαίωσης) νερού. Το επίπεδο της ενδοξυλανάσης που χρησιμοποιήθηκε στην ενζυμική επεξεργασία των πιτύρων δεν μετέβαλε σημαντικά ($P < 0.05$) την ενεργότητα νερού των κέικ κατά την αποθήκευσή τους.

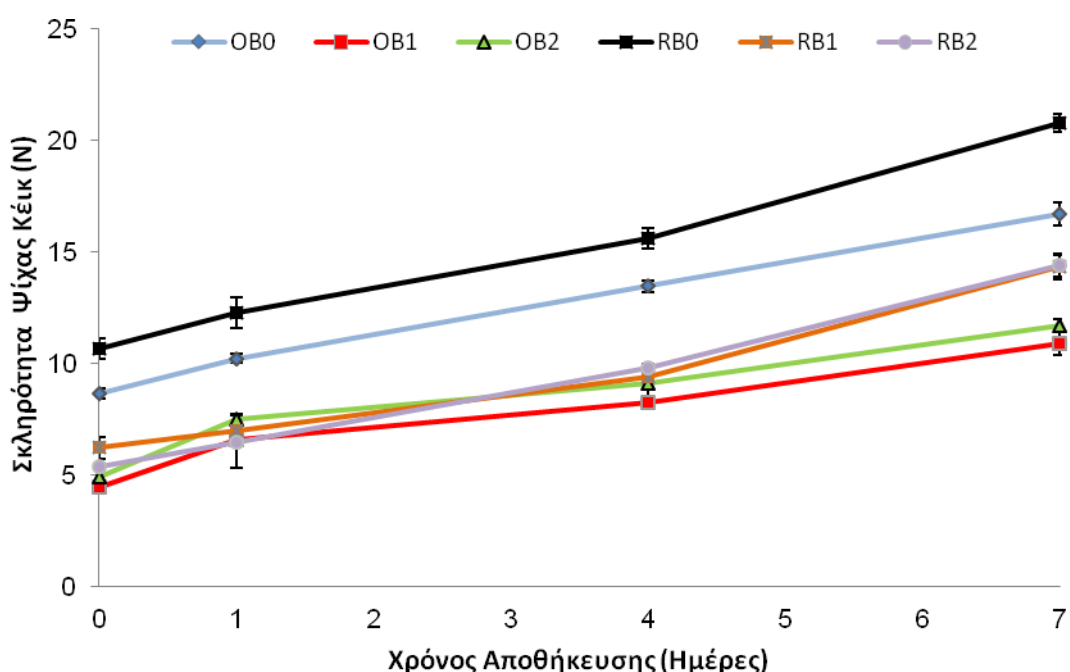


OB: Πίτυρα Βρώμης, RB: Πίτυρα ρυζιού. Ποσοστό ενδοξυλανάσης 0:0 ppm (τυφλό), 1:70 ppm 2:700 ppm. Οι μπάρες σφάλματος απεικονίζουν την τυπική απόκλιση

Σχήμα 6.6.2 Επίδραση της προσθήκης ενζυμικά επεξεργασμένου πιτύρου στην ενεργότητα νερού της ψίχας των κέικ κατά την αποθήκευσή τους στους $25 \pm 1^\circ\text{C}$ και 60% RH για 7 ημέρες.

Η σκλήρυνση της ψίχας του κέικ είναι από τις κυριότερες και πιο έκδηλες μεταβολές που παρατηρούνται κατά την αποθήκευσή του. Όπως ήταν αναμενόμενο, η σκληρότητα της ψίχας του κέικ αυξήθηκε κατά την αποθήκευση σε όλα τα δείγματα. Παρόλα αυτά, τα κέικ με ενζυμικά επεξεργασμένα πίτυρα παρουσίασαν σε όλες τις περιπτώσεις μικρότερη σκληρότητα από ότι τα αντίστοιχα τυφλά (OB0 και RB0) (Σχήμα 6.6.3). Πρέπει να σημειωθεί ότι η ενζυμική επεξεργασία επηρέασε τόσο την αρχική σκληρότητα της ψίχας όσο και το ρυθμό αύξησής της. Ειδικότερα, η σκληρότητα της ψίχας των κέικ με OB1 ήταν 35% μικρότερη συγκρινόμενη με τη σκληρότητα της ψίχας των αντίστοιχων τυφλών δειγμάτων (OB0) κατά την αποθήκευση. Στην περίπτωση των πιτύρων ρυζιού, η σκληρότητα της ψίχας των κέικ με ενζυμικά επεξεργασμένα πίτυρα ρυζιού ήταν 43% μικρότερη μετά από 1 ημέρα και 31% μετά από 7 ημέρες αποθήκευσης, συγκρινόμενη με τη σκληρότητα της ψίχας των αντίστοιχων τυφλών δειγμάτων (RB0). Στην παρούσα μελέτη, τα βέλτιστα κέικ (με κριτήριο τη μικρότερη σκληρότητα) ήταν εκείνα που περιείχαν OB1, και στα οποία παρατηρήθηκε σημαντική καθυστέρηση στην παλαιώση ($P < 0.05$).

Παρόμοια αποτελέσματα σημειώθηκαν σε μελέτες των Laurikainen et al. (1998) και Jimenez & Martinez-Anaya (2001) που χρησιμοποίησαν συνδυασμούς πεντοζανάσης /ημικυτταρινάσης σε άρτο. Ειδικότερα, οι Jimenez & Martinez-Anaya υποστήριξαν ότι οι αδιάλυτες αραβινοξυλάνες συσχετίζονται θετικά με τη σκληρότητα της ψίχας κατά την αποθήκευση. Επιπροσθέτως, οι Rouau et al. (1994) ανέφεραν για την περίπτωση του άρτου ότι η θετική επίδραση της ενδοξυλανάσης οφείλεται στη διάσπαση της κύριας αλυσίδας αραβινοξυλανών και την ακόλουθη απελευθέρωση νερού, παράλληλα με τη μείωση των αδιάλυτων αραβινοξυλανών. Οι Gudmundsson et al. (1991), από την άλλη πλευρά, υποστήριξαν ότι η προσθήκη ημικυτταρινασών ουσιαστικά δεν μεταβάλλει το ρυθμό σκλήρυνσης, αλλά μειώνει μόνο την αρχική σκληρότητα της ψίχας (του φρέσκου προϊόντος), πιθανότατα λόγω αύξησης του όγκου του κέικ. Ο καθοριστικός για την εξέλιξη της παλαίωσης ρόλος της αρχικής σκληρότητας της ψίχας έχει διαπιστωθεί και από τους Armero & Collar (1998), οι οποίοι αποφάνθηκαν ότι η σκλήρυνση της ψίχας κατά την αποθήκευση εξαρτάται κυρίως από την αρχική σκληρότητα της ψίχας.



OB: Πίτυρα Βρώμης, RB: Πίτυρα ρυζιού. Ποσοστό ενδοξυλανάσης 0:0 ppm (τυφλό), 1:70 ppm 2:700 ppm. Οι μπάρες σφάλματος απεικονίζουν την τυπική απόκλιση ($P < 0.05$)

Σχήμα 6.6.3 Επίδραση της προσθήκης ενζυμικά επεξεργασμένου πιτύρου στη σκληρότητα της ψίχας των κέικ κατά την αποθήκευσή τους στους $25 \pm 1^\circ\text{C}$ και 60% RH για 7 ημέρες.

Τέλος, αναφορικά με τις δύο πηγές πιτύρων, τα κέικ με πίτυρα βρώμης εμφάνισαν σημαντικά μικρότερη σκληρότητα ψίχας σε σχέση με εκείνα με πίτυρα ρυζιού, τόσο ως φρέσκα όσο και κατά την αποθήκευσή τους. Συγκεκριμένα, η σκληρότητα του κέικ αναφοράς με πίτυρα βρώμης (OB0) αυξήθηκε από 8.654 N στα φρέσκα κέικ σε 10.209 N στα αποθηκευμένα για 1 ημέρα κέικ και έφτασε σε 16.709 N μετά από 7 ημέρες αποθήκευσης (**Σχήμα 6.6.3**).

Στα πειράματά μας, η σκληρότητα παρουσίασε αυξητική τάση σε όλα τα δείγματα και για όλη τη διάρκεια αποθήκευσης, ενώ η περιεχόμενη υγρασία δεν μεταβλήθηκε σημαντικά μετά την 4^η ημέρα αποθήκευσης. Αυτό υποδηλώνει ότι μαζί με την απώλεια υγρασίας λαμβάνει χώρα και κάποια άλλη διεργασία σκλήρυνσης στην ψίχα του κέικ, στην οποία οφείλεται η αύξηση της σκληρότητας της ψίχας μετά την 4^η ημέρα αποθήκευσης. Είναι λοιπόν πιθανό η απώλεια υγρασίας από την ψίχα του κέικ να προκάλεσε σκλήρυνση της δομής της ψίχας ως πρωτεύων μηχανισμός (όπως προτάθηκε και από τους Sych et al. 1987 και Ji et al. 2007), ενώ ένας δευτερεύων μηχανισμός σκλήρυνσης να περιλαμβάνει την αναδιαμόρφωση του αμύλου ή την αναδιανομή της υγρασίας στα συστατικά της ψίχας (Guy 1983).

Η δράση των ενδοξυλανάσων σχετικά με την επιβράδυνση της παλαίωσης των αρτοσκευασμάτων δεν είναι αποσαφηνισμένη καθώς έχουν δημοσιευθεί αντικρουόμενες μελέτες σχετικά με το μηχανισμό της βελτιωτικής δράσης των ανωτέρω ενζύμων. Η επικρατέστερη εξήγηση είναι ότι οι ενδοξυλανάσες υδρολύουν τους πολυσακχαρίτες του κυτταρικού τοιχώματος, και οι μονοσακχαρίτες και ολιγοσακχαρίτες που προκύπτουν από τη δράση αυτή επηρεάζουν την ισορροπία του νερού και παρεμβαίνουν στην αλληλεπίδραση πρωτεΐνης-αμύλου, όπως κατά την αποθήκευση του άρτου (Haros et al. 2002, Katina et al. 2006). Επιπροσθέτως, ιδιαίτερο ρόλο παίζει και το υψηλότερο ποσοστό διαλυτών διαιτητικών ινών των ενζυμικά επεξεργασμένων πιτύρων, που δρουν ως κόμμεα και είναι πιο απορροφητικά από τις αδιάλυτες ίνες, σύμφωνα με τον Stauffer (1990). Άλλοι ερευνητές (Gómez et al. 2007, Capriles et al. 2008) έχουν επίσης αναφέρει ότι η χρήση υδρόφιλων κολλοειδών επιμηκύνει το χρόνο ζωής των κέικ.

6.6.2 Αναδιαμόρφωση αμύλου

Είναι γενικά αποδεκτό ότι η παλαίωση οφείλεται κυρίως, αλλά όχι αποκλειστικά, σε μεταβολές στο ζελατινοποιημένο τμήμα του αμύλου, και περιλαμβάνει σε μοριακό επίπεδο τη σταδιακή συσσωμάτωση των σχετικά κινητών (mobile) τμημάτων των αλυσίδων αμύλου (κυρίως αμυλοπηκτίνης) σε μια πιο οργανωμένη κρυσταλλική δομή. Καθώς η σκληρότητα

της ψίχας του κέικ προκύπτει κυρίως από την αλληλεπίδραση των μορίων αμύλου και του δικτύου των πρωτεϊνών του αυγού (Guy 1983), η αυθόρμητη κρυστάλλωση του αμύλου (γνωστή ως αναδιαμόρφωση) θεωρητικά ευθύνεται για την αυξημένη σκληρότητα του παλαιωμένου προϊόντος (Seyhun 2003). Η αναδιαμόρφωση του αμύλου που συμβαίνει κατά την ψύξη και κατά την αποθήκευση αμυλούχων τροφίμων, περιλαμβάνει δύο διακριτές διεργασίες: την ζελοποίηση της διαλυτοποιημένης κατά τη διάρκεια της ζελατινοποίησης αμυλόζης (που κυριαρχεί στα αρχικά στάδια της αναδιαμόρφωσης) και την ανακρυστάλλωση της αμυλοπηκτίνης εντός των ζελατινοποιημένων μορίων. Το τελευταίο θεωρείται υπεύθυνο για τις μακροχρόνιες μεταβολές στη σκληρότητα και την κρυσταλλικότητα των gel αμύλου (Billiaderis 1990). Αρκετοί ερευνητές (Guy 1983, Sych et al. 1987) έχουν αναγνωρίσει την αναδιαμόρφωση του αμύλου ως το δευτερεύοντα μηχανισμό σκλήρυνσης της ψίχας των κέικ, ενώ και μελέτες σε διαλύματα αμύλου/ζάχαρης/νερού έχουν δείξει ότι αυτά τα συστήματα υπόκεινται σε διεργασίες σκλήρυνσης παρόμοιες με εκείνες που έχουν παρατηρηθεί στον άρτο, αν και με βραδύτερο ρυθμό (Willhoft 1973).

Κατά τη διαφορική θερμιδομετρική σάρωση των αποθηκευμένων δειγμάτων ψίχας κέικ παρατηρήθηκαν 2 ενδόθερμες που σχετίζονται με τις μεταπτώσεις που συμβαίνουν στο άμυλο του κέικ. Η πρώτη ενδόθερμη κορυφή που παρατηρήθηκε περίπου στους 70°C αντιστοιχεί στην τήξη της αναδιαμορφωμένης αμυλοπηκτίνης, ενώ η δεύτερη ενδόθερμη που παρατηρήθηκε πάνω από τους 100 °C είναι χαρακτηριστική της τήξης του συμπλόκου αμυλόζης-λιπιδίου (Eliasson 1980, Ji et al. 2007).

Η αναδιαμόρφωση της αμυλοπηκτίνης σχετίζεται με τη βραδεία κρυστάλλωση των εξωτερικών διακλαδώσεων της που διαρκεί αρκετές ημέρες ή εβδομάδες. Όπως ήταν αναμενόμενο, η αντίστοιχη μεταβολή της ενθαλπίας ($\Delta H_{\text{amylopectin}}$) αυξήθηκε κατά τη διάρκεια της αποθήκευσης, ως αποτέλεσμα της αύξησης του βαθμού κρυστάλλωσης του αναδιαμορφωμένου αμύλου στα κέικ (**Πίνακας 6.6.3**). Στα κέικ με ενζυμικά επεξεργασμένα πίτυρα, που περιείχαν περισσότερες διαλυτές αραβινοξυλάνες, οι θερμοκρασίες έναρξης και κορύφωσης της μετάπτωσης ήταν λίγο χαμηλότερες κατά τις 4 πρώτες ημέρες της αποθήκευσης, συγκριτικά με τις θερμοκρασίες των αντίστοιχων κέικ αναφοράς που είχαν περισσότερες αδιάλυτες αραβινοξυλάνες. Οι χαμηλότερες αυτές θερμοκρασίες είναι ενδεικτικές της ύπαρξης λιγότερο οργανωμένων (λιγότερο τέλειων) κρυστάλλων. Ειδικότερα, οι θερμοκρασίες κορύφωσης αυτών των ενδόθερμων ήταν $\approx 64\text{--}65\text{ }^{\circ}\text{C}$ και $\approx 68\text{ }^{\circ}\text{C}$ για τα κέικ με ενζυμικά επεξεργασμένα πίτυρα βρώμης και ρυζιού αντίστοιχα, ενώ για τα κέικ αναφοράς με πίτυρα βρώμης ήταν $68\text{ }^{\circ}\text{C}$ και με πίτυρα ρυζιού $69\text{ }^{\circ}\text{C}$. Παρόλο που οι παραπάνω θερμοκρασίες μεταβλήθηκαν σε μικρό επίπεδο στα κέικ με ενζυμικά

επεξεργασμένα πίτυρα (συγκριτικά με τα αντίστοιχα αναφοράς), η αύξηση της $\Delta H_{\text{amylopectin}}$ των αντίστοιχων δειγμάτων κατά την αποθήκευση ήταν σημαντικά ($P < 0.05$) μικρότερη σε σχέση με την αύξηση που παρατηρήθηκε στα κέικ αναφοράς (**Πίνακας 6.6.3**). Η αύξηση της $\Delta H_{\text{amylopectin}}$ ήταν ταχύτερη μέχρι την 4^η ημέρα αποθήκευσης και βραδύτερη στη συνέχεια. Αναφορικά με την $\Delta H_{\text{amylopectin}}$ των φρέσκων δειγμάτων (ημέρα 0), δεν ανιχνεύθηκε ενδόθερμη σε καμία περίπτωση ($\Delta H_{0\text{amylopectin}} = 0 \text{ J/g}$).

Όπως αναφέρθηκε και προηγουμένως, η ενζυμική επεξεργασία των πιτύρων είχε ως αποτέλεσμα την αύξηση των υδατοδιαλυτών αραβινοξυλανών και τη μείωση των αδιάλυτων. Η θετική επίδραση των υδατοδιαλυτών αραβινοξυλανών στον περιορισμό της αναδιαμόρφωσης του αμύλου έχει αναγνωριστεί από αρκετούς ερευνητές. Ειδικότερα, οι Kim & D'Arrolonia (1977) διαπίστωσαν ότι οι αδιάλυτες αραβινοξυλάνες επηρεάζουν περισσότερο το τμήμα της αμυλόζης, ενώ οι υδατοδιαλυτές αραβινοξυλάνες το τμήμα της αμυλοπηκτίνης, και υπέθεσαν ότι οι αραβινοξυλάνες μπορούν να μειώσουν την έκταση της αναδιαμόρφωσης του αμύλου με σχηματισμό δεσμών υδρογόνου με την αμυλοπηκτίνη, που ακολούθως εμποδίζει το σχηματισμό δεσμών υδρογόνου μεταξύ της αμυλόζης και της αμυλοπηκτίνης, και εν μέρει την αναδιαμόρφωση της αμυλοπηκτίνης. Για τον ίδιο λόγο, σύμφωνα με τους Gudmundsson et al. (1991), αν η κύρια επίδραση των αραβινοξυλανών είναι η καθυστέρηση της κρυστάλλωσης της αμυλοπηκτίνης, κατά την προσθήκη υδατοδιαλυτών αραβινοξυλανών θα ήταν αναμενόμενη μείωση του ποσοστού του αναδιαμορφωμένου αμύλου. Επιπλέον, το αυξημένο ποσοστό διαλυτών διαιτητικών ινών των ενζυμικά επεξεργασμένων πιτύρων θα εμποδίσει τη μετακίνηση υγρασίας, προστατεύοντας την αναδιανομή υγρασίας μεταξύ των συστατικών του κέικ, που είναι απαραίτητη προκειμένου να συμβεί η παλαιώση, όπως επίσης παρατηρήθηκε από τον Stauffer (1990) για τα υδροκολλοειδή.

Όπως είναι γνωστό, η κρυστάλλωση της αμυλοπηκτίνης ελέγχεται από το ποσοστό του διαθέσιμου νερού κατά την αποθήκευση. Ωστόσο, οι Michniewicz et al. (1992) απέδειξαν ότι όταν το νερό κυμαίνεται μεταξύ 20 και 40%, ο ρυθμός αναδιαμόρφωσης των gel αμύλου σίτου και του αμύλου του άρτου επιταχύνεται με αυξανόμενη υγρασία. Στη δική μας μελέτη, λόγω πιθανώς της ισχυρής αλληλεπίδρασης με τις διαλυτές διαιτητικές ίνες, το διαθέσιμο νερό για την αναδιαμόρφωση της αμυλοπηκτίνης είναι λιγότερο. Επομένως, το $\Delta H_{\text{amylopectin}}$ είναι χαμηλότερο στα κέικ με ενζυμικά επεξεργασμένα πίτυρα, παρόλο που η υγρασία τους ήταν υψηλότερη.

Πίνακας 6.6.3 Θερμικές μεταπτώσεις της αναδιαμόρφωσης της αμυλοπηκτίνης της ψίχας κέικ με πίτυρα βρώμης και ρυζιού αποθηκευμένων στους $25 \pm 1^\circ\text{C}$ και 60% RH για 7 ημέρες. (Το: θερμοκρασία έναρξης, Τρ: θερμοκρασία κορύφωσης, $\Delta H_{\text{amylopectin}}$: μεταβολή ενθαλπίας αναδιαμόρφωσης αμυλοπηκτίνης)

OB: Πίτυρα Βρώμης, RB: Πίτυρα ρυζιού. Ποσοστό ενδοξυλανάσης 0:0 ppm (τυφλό), 1:70 ppm 2:700 ppm.

	$\Delta H_{\text{amylopectin}}$ (J/g)	$T_{\text{o amylopectin}}$ ($^\circ\text{C}$)	$T_{\text{p amylopectin}}$ ($^\circ\text{C}$)
OB0			
Ημέρα 1	0.718 ± 0.018^c	62.4947 ± 0.207^c	68.132 ± 0.206^{bc}
Ημέρα 4	1.461 ± 0.032^e	63.5183 ± 0.298^d	68.937 ± 0.097^e
Ημέρα 7	1.824 ± 0.060^{fg}	64.637 ± 0.345^{fg}	70.351 ± 0.380^{fg}
OB1			
Ημέρα 1	0.244 ± 0.031^a	62.0443 ± 0.072^a	64.933 ± 0.106^a
Ημέρα 4	0.775 ± 0.019^c	62.954 ± 0.109^b	65.735 ± 0.358^d
Ημέρα 7	1.081 ± 0.021^d	64.368 ± 0.333^e	69.695 ± 0.377^f
OB2			
Ημέρα 1	0.274 ± 0.018^a	62.317 ± 0.369^a	64.928 ± 0.164^{ab}
Ημέρα 4	0.777 ± 0.022^c	63.045 ± 0.072^b	65.954 ± 0.091^d
Ημέρα 7	1.079 ± 0.031^d	64.8783 ± 0.150^f	70.160 ± 0.477^g
RB0			
Ημέρα 1	0.845 ± 0.008^{cd}	63.6277 ± 0.347^d	68.541 ± 0.415^e
Ημέρα 4	1.642 ± 0.029^f	65.0693 ± 0.079^e	69.424 ± 0.303^g
Ημέρα 7	2.051 ± 0.021^g	66.680 ± 0.369^g	70.661 ± 0.386^h
RB1			
Ημέρα 1	0.405 ± 0.010^b	62.980 ± 0.101^c	67.939 ± 0.125^d
Ημέρα 4	0.976 ± 0.009^d	64.746 ± 0.326^d	68.959 ± 0.064^{fg}
Ημέρα 7	1.367 ± 0.012^e	66.378 ± 0.491^{fg}	70.518 ± 0.306^h
RB2			
Ημέρα 1	0.407 ± 0.020^b	62.8473 ± 0.246^c	68.006 ± 0.201^{cd}
Ημέρα 4	0.982 ± 0.013^d	64.7813 ± 0.207^d	68.860 ± 0.367^{fg}
Ημέρα 7	1.35 ± 0.035^e	66.465 ± 0.333^g	70.452 ± 0.116^h

Μέσες τιμές \pm τυπική απόκλιση με διαφορετικό γράμμα στον εκθέτη στην ίδια στήλη διαφέρουν σημαντικά στατιστικά ($P < 0.05$)

Η ενδόθερμη τήξης του συμπλόκου αμυλόζης-λιπιδίου παρατηρήθηκε σε όλη τη διάρκεια της αποθήκευσης, αφού το σύμπλοκο αυτό σχηματίζεται κατά τη διάρκεια ή αμέσως μετά το πέρας του κλιβανισμού του προϊόντος. Σε αντίθεση με το $\Delta H_{\text{amylopectin}}$, δεν παρατηρήθηκε σημαντική μεταβολή στην ενθαλπία τήξης του συμπλόκου αμυλόζης-λιπιδίου ($\Delta H_{\text{amylose}}$) κατά τη διάρκεια της αποθήκευσης (**Πίνακας 6.6.4**), ενώ παρατηρήθηκε σημαντική ($P < 0.05$) μετατόπιση της ενδόθερμης προς υψηλότερες θερμοκρασίες. Το σχηματισμένο σύμπλοκο δεν μεταβλήθηκε κατά τη διάρκεια της αποθήκευσης, λόγω του ότι η θερμοκρασία αποθήκευσης δεν ήταν τόσο υψηλή ώστε να το διαλύσει. Η αύξηση της θερμοκρασίας μετάπτωσης μπορεί να οφείλεται στην απώλεια υγρασίας από την ψίχα του κέικ, αφού σύμφωνα με μελέτη του Eliasson (1980) η θερμοκρασία μετάπτωσης του συμπλόκου αμυλόζης-λιπιδίου του αμύλου σίτου αυξήθηκε με μείωση του διαθέσιμου νερού. Τα αποτελέσματά μας συμφωνούν με τις μελέτες των Czuchajowska & Pomeranz (1989), σύμφωνα με τις οποίες δεν υπήρξε καμία αλλαγή στην $\Delta H_{\text{amylose}}$ κατά την αποθήκευση του άρτου για 7 ημέρες.

Η ενζυμική επεξεργασία των πιτύρων δεν επηρέασε σημαντικά ($P < 0.05$) τις θερμοκρασίες της μετάπτωσης των αντίστοιχων συμπλόκων, ενώ αύξησε το αρχικό ΔH του συμπλόκου (**Πίνακας 6.6.4**). Η αιτία που οι θερμοκρασίες μετάπτωσης, παρά τη μεγαλύτερη υγρασία, δεν μεταβλήθηκαν ήταν πιθανότατα το μειωμένο διαθέσιμο νερό. Το αυξημένο αρχικό ΔH των συμπλόκων αμυλόζης-λιπιδίων στα κέικ με ενζυμικά επεξεργασμένα πίτυρα, μπορεί να οφείλεται στη μείωση των αδιάλυτων αραβινοξυλανών που είχε ως αποτέλεσμα την ύπαρξη περισσότερης διαθέσιμης αμυλόζης, όπως περιγράφηκε προηγουμένως. Το ποσοστό του σχηματιζόμενου συμπλόκου είναι σημαντικό για την παλαίωση, γιατί δεσμεύει την αμυλόζη και παρεμποδίζει το σχηματισμό γεφυρών μεταξύ της αμυλόζης και της αμυλοπηκτίνης (Gómez et al. 2007), αλλά διαφοροποιήσεις στις θερμοκρασίες έναρξης ή/και κορύφωσης δεν αναμένεται να επηρεάσουν αυτή τη διαδικασία.

Πίνακας 6.6.4 Θερμικές μεταπτώσεις της τήξης του συμπλόκου αμυλόζης-λιπιδίων της ψίχας κέικ με πίτυρα βρώμης και ρυζιού αποθηκευμένων στους $25 \pm 1^\circ\text{C}$ και 60% RH για 7 ημέρες. (Το: θερμοκρασία έναρξης, Τρ: θερμοκρασία κορύφωσης, $\Delta H_{\text{amyl-lipid}}$: μεταβολή ενθαλπίας τήξης συμπλόκου αμυλόζης-λιπιδίου)

OB: Πίτυρα Βρώμης, RB: Πίτυρα ρυζιού. Ποσοστό ενδοξυλανάσης 0:0 ppm (τυφλό), 1:70 ppm 2:700 ppm.

	$\Delta H_{\text{amyl-lipid}}$ (J/g)	$T_o_{\text{amyl-lipid}}$ ($^\circ\text{C}$)	$T_p_{\text{amyl-lipid}}$ ($^\circ\text{C}$)
OB0			
Ημέρα 0	0.519 ± 0.203^a	114.653 ± 0.739^a	118.433 ± 0.414^b
Ημέρα 1	0.552 ± 0.160^{ab}	118.803 ± 1.165^{bc}	125.313 ± 0.647^d
Ημέρα 4	0.432 ± 0.147^a	122.371 ± 0.103^{df}	125.740 ± 0.474^d
Ημέρα 7	0.463 ± 0.081^a	124.344 ± 0.712^{gh}	128.196 ± 1.325^{fg}
OB1			
Ημέρα 0	1.237 ± 0.126^d	114.721 ± 0.183^a	117.805 ± 0.648^{ab}
Ημέρα 1	1.316 ± 0.176^d	118.808 ± 1.270^{bc}	125.328 ± 0.757^d
Ημέρα 4	1.266 ± 0.127^d	121.696 ± 1.475^{de}	125.995 ± 0.637^d
Ημέρα 7	1.361 ± 0.109^d	123.945 ± 1.501^{gh}	128.324 ± 0.834^{fg}
OB2			
Ημέρα 0	1.179 ± 0.057^d	114.178 ± 0.586^a	118.285 ± 0.555^b
Ημέρα 1	1.381 ± 0.106^d	117.469 ± 1.467^b	125.328 ± 0.771^d
Ημέρα 4	1.274 ± 0.106^d	121.685 ± 0.574^d	126.083 ± 0.275^{de}
Ημέρα 7	1.230 ± 0.099^d	124.947 ± 0.979^h	128.907 ± 1.009^b
RB0			
Ημέρα 0	0.751 ± 0.092^{bc}	115.155 ± 0.343^a	116.852 ± 0.773^a
Ημέρα 1	0.827 ± 0.101^c	120.260 ± 0.058^{ce}	123.367 ± 0.895^c
Ημέρα 4	0.727 ± 0.106^{bc}	123.493 ± 0.311^{fgh}	125.153 ± 0.684^d
Ημέρα 7	0.772 ± 0.104^c	126.484 ± 1.715^i	127.280 ± 1.707^{ef}
RB1			
Ημέρα 0	1.661 ± 0.090^e	114.799 ± 0.283^a	117.313 ± 0.463^{ab}
Ημέρα 1	1.599 ± 0.086^e	119.898 ± 0.197^c	122.264 ± 0.412^c
Ημέρα 4	1.695 ± 0.146^e	122.902 ± 0.779^{dfg}	125.442 ± 0.512^d
Ημέρα 7	1.778 ± 0.084^e	126.860 ± 0.77^{gi}	128.847 ± 0.271^b
RB2			
Ημέρα 0	1.684 ± 0.108^e	114.888 ± 0.189^a	117.103 ± 0.145^{ab}
Ημέρα 1	1.690 ± 0.183^e	120.090 ± 0.456^c	122.948 ± 0.111^c
Ημέρα 4	1.662 ± 0.065^e	123.088 ± 0.115^{dfg}	125.589 ± 0.646^d
Ημέρα 7	1.745 ± 0.057^e	126.681 ± 0.542^i	129.454 ± 0.520^b

Μέσες τιμές \pm τυπική απόκλιση με διαφορετικό γράμμα στον εκθέτη στην ίδια στήλη διαφέρουν σημαντικά στατιστικά ($P < 0.05$)

6.6.3 Μοντέλα κινητικής παλαίωσης

Προκειμένου να περιγραφούν επαρκώς η αναδιαμόρφωση του αμύλου και η σκλήρυνση της ψίχας του κέικ, φαινόμενα που συνδέονται κατεξοχήν με την παλαίωση των αρτοποιημάτων, δοκιμάστηκαν διαφορετικά μοντέλα. Εφόσον η αναδιαμόρφωση του αμύλου μπορεί να θεωρηθεί ως μια μετατροπή άμορφων υλικών σε μία δομημένη κρυσταλλική κατάσταση, η εξίσωση Avrami αποτελεί κατάλληλο εργαλείο για να περιγράψει την κινητική της παραπάνω διεργασίας. Πράγματι, η εξίσωση Avrami, αν και αναπτύχθηκε προκειμένου να περιγράψει την κατάσταση ισορροπίας της κρυστάλλωσης τηγμάτων πολυμερών, έχει χρησιμοποιηθεί στο παρελθόν και σε μελέτες παλαίωσης άρτου, υπό την υπόθεση ότι συμβαίνει κρυστάλλωση του αμύλου προκειμένου να περιγράψει την κινητική της κρυστάλλωσης αυτής (Sych et al. 1987). Σε μια σύνθετη μήτρα όπως ο άρτος ή το κέικ, παρόλο που η εξίσωση Avrami χάνει τμήμα της φυσικής της σημασίας, εξακολουθεί να αποτελεί κατάλληλο μαθηματικό μοντέλο που παρέχει κινητική που ταιριάζει με τα μετρούμενα δεδομένα. Έτσι, η εξίσωση Avrami έχει εφαρμοσθεί επιτυχώς από αρκετούς ερευνητές (Gudmundsson 1994, Davidou et al. 1996, Haros et al. 2002, Santos et al. 2008), προκειμένου να μοντελοποιήσει την κινητική της ανακρυστάλλωσης της αμυλοπηκτίνης και επομένως και της αναδιαμόρφωσης του αμύλου.

Οι τιμές για τις σταθερές της εξίσωσης Avrami εκτιμήθηκαν μέσω της εφαρμογής των πειραματικών δεδομένων της $\Delta H_{\text{amylopectin}}$ της ψίχας των κέικ, που μετρήθηκε κατά τις ημέρες αποθήκευσης 0, 1, 4 και 7, στη μη γραμμική εξίσωση παλινδρόμησης:

$$\theta = (\Delta H_{\infty} - \Delta H_t) / (\Delta H_{\infty} - \Delta H_0) = \exp(-kt^n)$$

(Davidou et al. 1996, Armero & Collar 1998, Haros et al. 2002) όπου θ είναι το κλάσμα της αναδιαμόρφωσης που αναμένεται να συμβεί έως ότου το σύστημα βρεθεί σε κατάσταση ισορροπίας, ΔH_0 , ΔH_{∞} , και ΔH_t είναι οι πειραματικά μετρημένες τιμές της $\Delta H_{\text{amylopectin}}$ σε χρόνο 0, άπειρο (∞), και t , αντίστοιχα, k είναι μια σταθερά ρυθμού και n είναι ο εκθέτης Avrami που περιγράφει τον τύπο της ανάπτυξης των κρυστάλλων.

Προκειμένου να εκτιμηθεί η κινητική της αναδιαμόρφωσης του αμύλου, η εξίσωση Avrami χρησιμοποιήθηκε με μια σταθερή τιμή εκθέτη Avrami ($n=1$), όπως είχε προταθεί από τον Sych (1987) και τους Michniewicz et al. (1992). Ο εκθέτης Avrami n συνήθως λαμβάνεται ως 1 επειδή σχετίζεται με την πυρηνογένεση των κρυστάλλων και την ακόλουθη ανάπτυξή τους, και όπως είναι γνωστό, ο βασικός μηχανισμός της κρυστάλλωσης του αμύλου είναι η άμεση πυρηνογένεση και η ακόλουθη γραμμική ανάπτυξη των κρυστάλλων.

Ο εκτιμώμενος συντελεστής Avrami k των κέικ με OB1 και OB2 μειώθηκε έως 59% και 53% αντίστοιχα σε σχέση με τον συντελεστή των κέικ με μη επεξεργασμένα πίτυρα βρώμης, ενώ στην περίπτωση των κέικ με πίτυρα ρυζιού οι αντίστοιχες μειώσεις ήταν 49% (RB1) και 45% (RB2) (Πίνακας 6.6.5). Αυτή η μείωση στο συντελεστή/σταθερά ρυθμού k υποδηλώνει βραδύτερο ρυθμό παλαίωσης στα κέικ με ενζυμικά επεξεργασμένα πίτυρα. Αντιθέτως, μια σημαντικά ($P<0.05$) μεγαλύτερη σταθερά k παρατηρήθηκε στα κέικ με πίτυρα ρυζιού, που υποδηλώνει την ύπαρξη ταχύτερης κινητικής αναδιαμόρφωσης. Σχετικά με τις οριακές τιμές του ΔH (ΔH_{∞}), η υψηλότερη τιμή παρατηρήθηκε στα κέικ με μη επεξεργασμένα πίτυρα ρυζιού, ενώ η χαμηλότερη για τα κέικ με επεξεργασμένα με 700 ppm ενδοξυλανάσης πίτυρα βρώμης (OB2).

Πίνακας 6.6.5 Τιμές παραμέτρων κινητικής παλαίωσης με χρήση του μοντέλου Avrami για τις τιμές ΔH της αναδιαμόρφωσης της αμυλοπηκτίνης.

$\Delta H_{\text{amylopectin}}$ (J/g) – Μοντέλο Avrami			
	ΔH_{∞}	K	R^2
OB0	1.871±0.067 ^d	0.432±0.013 ^d	0.99
OB1	1.524±0.022 ^b	0.177±0.006 ^b	0.99
OB2	1.416±0.203 ^a	0.203±0.005 ^a	0.99
RB0	2.070±0.029 ^e	0.464±0.013 ^e	0.99
RB1	1.665±0.010 ^c	0.237±0.006 ^c	0.99
RB2	1.604±0.056 ^c	0.254±0.013 ^c	0.99

Μοντέλο Avrami: $(\Delta H_{\infty} - \Delta H_t) / (\Delta H_{\infty} - \Delta H_0) = \exp(-kt^n)$

OB: Πίτυρα Βρώμης, RB: Πίτυρα ρυζιού. Ποσοστό ενδοξυλανάσης 0:0 ppm (τυφλό), 1:70 ppm 2:700 ppm.

Μέσες τιμές ± τυπική απόκλιση με διαφορετικό γράμμα στον εκθέτη στην ίδια στήλη διαφέρουν σημαντικά στατιστικά ($P<0.05$)

Η αύξηση της σκληρότητας της ψίχας στα αρτοσκευάσματα είναι σύνθετη και συνδέεται με την αναδιαμόρφωση του αμύλου, χωρίς όμως η τελευταία να αποτελεί τη μοναδική αιτία. Κατά την παλαίωση συμβαίνουν και άλλες διεργασίες όπως μεταφορά νερού, διαλυτοποίηση κολλοειδών και αποδόμηση άλλων συστατικών όπως λιπαρών και πρωτεϊνών. Για αυτό, η εφαρμογή της εξίσωσης Avrami, προκειμένου να μοντελοποιήσει την κινητική σκλήρυνσης της ψίχας, μπορεί να έχει σημαντικές παρεκκλίσεις. Αντιθέτως, τα γραμμικά μοντέλα ($y = a + b \cdot x$) είναι συνήθως κατάλληλα για την περιγραφή των μεταβολών της υψής κατά την παλαίωση του κέικ, όπως σημειώθηκε και από τους Gomez et al. (2010). Πρέπει να αναφερθεί, ωστόσο, ότι αρκετοί ερευνητές (Seow & Teo 1996, Armero & Collar 1998, Haros et al. 2002, Collar et al. 2010) μοντελοποίησαν την κινητική σκλήρυνσης της ψίχας χρησιμοποιώντας την εξίσωση Avrami, είτε για άρτο (που παλαιώνει ταχύτερα από το κέικ) ή για κέικ που όμως είχε αποθηκευτεί για μεγαλύτερο χρονικό διάστημα. Και στις δύο περιπτώσεις, ο ρυθμός σκλήρυνσης ακολουθούσε γραμμικό μοντέλο κατά τις πρώτες

ημέρες αποθήκευσης, ενώ μετά παρέκκλινε καθώς μειωνόταν. Επομένως, στα κέικ που έχουν μεγαλύτερο χρόνο ζωής και βραδύτερο ρυθμό σκλήρυνσης από τον άρτο, είναι πιθανό (για το χρόνο αποθήκευσης που μελετήθηκε) η σκληρότητα να προσαρμόζεται σε γραμμικό μοντέλο, όπου η παράμετρος *a* σχετίζεται με την αρχική τιμή της σκληρότητας και η *b* με την εξέλιξή της. Στην περίπτωση μας, χρησιμοποιήθηκε το γραμμικό μοντέλο λόγω της βέλτιστης προσαρμογής του (υψηλό R²) με τα πειραματικά δεδομένα (Πίνακας 6.6.6). Η σταθερά ρυθμού σκλήρυνσης (*b*) και οι αρχικές τιμές σκληρότητας (*a*) της ψίχας του κέικ ήταν σημαντικά ($P<0.05$) μικρότερες στα κέικ με ενζυμικά επεξεργασμένα πίτυρα. Τα αποτελέσματα αυτά επιβεβαιώνουν ότι η ενζυμική επεξεργασία των πιτύρων βελτίωσε την υφή του φρέσκου προϊόντος (παράμετρος *a*) και μείωσε το ρυθμό σκλήρυνσης (παράμετρος *b*) των κέικ στα οποία είχαν προστεθεί. Επιπροσθέτως, τα κέικ με πίτυρα βρώμης εμφάνισαν σημαντικά ($P<0.05$) χαμηλότερες τιμές αρχικής σκληρότητας και ρυθμού σκλήρυνσης σε σχέση με εκείνα με πίτυρα ρυζιού.

Πίνακας 6.6.6 Τιμές παραμέτρων κινητικής παλαίωσης με χρήση του γραμμικού μοντέλου για τη σκληρότητα της ψίχας.

Σκληρότητα Ψίχας (N) – Γραμμικό μοντέλο			
	A	B	R ²
OB0	8.865±0.915 ^b	1.13±0.109 ^b	0.98
OB1	5.004 ± 0.183 ^a	0.847±0.048 ^a	0.96
OB2	5.673 ±0.478 ^a	0.877±0.006 ^a	0.93
RB0	10.613 ± 0.571 ^c	1.407±0.046 ^c	0.99
RB1	5.8253± 0.607 ^a	1.137±0.077 ^b	0.96
RB2	5.194 ±1.185 ^a	1.273±0.242 ^{bc}	0.99

Γραμμικό μοντέλο: $y=a+bx$

OB: Πίτυρα Βρώμης, RB: Πίτυρα ρυζιού. Ποσοστό ενδοξυλανάσης 0:0 ppm (τυφλό), 1:70 ppm 2:700 ppm.

Μέσες τιμές ± τυπική απόκλιση με διαφορετικό γράμμα στον εκθέτη στην ίδια στήλη διαφέρουν σημαντικά στατιστικά ($P<0.05$)

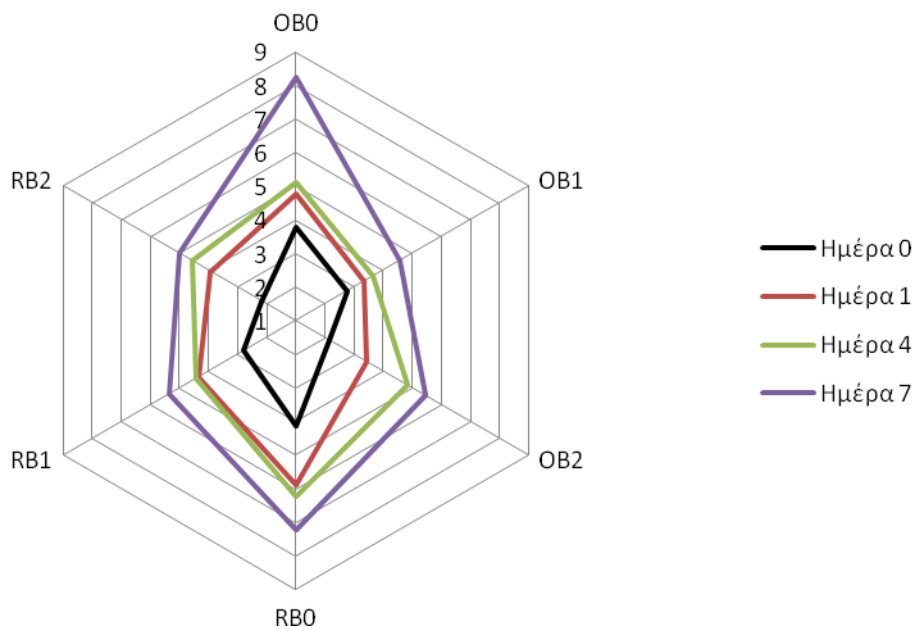
Συμπερασματικά, η ενζυμική επεξεργασία και των δύο πιτύρων επηρέασε σημαντικά την κινητική της αναδιαμόρφωσης της αμυλοπηκτίνης και της εξέλιξης της σκληρότητας της ψίχας των κέικ. Στα κέικ με ενζυμικά επεξεργασμένο με 70 ppm ενδοξυλανάσης πίτυρο βρώμης (OB1) παρατηρήθηκε ο βραδύτερος ρυθμός παλαίωσης, με 59% μειωμένη τιμή συντελεστή Avrami *k*, που υποδεικνύει βραδύτερη κινητική αναδιαμόρφωσης της αμυλοπηκτίνης, και 25% μειωμένη σταθερά ρυθμού σκλήρυνσης *b*.

6.6.4 Οργανοληπτικά Χαρακτηριστικά

Όλα τα οργανοληπτικά χαρακτηριστικά των κέικ υποβαθμίστηκαν κατά τη διάρκεια της αποθήκευσής τους, όπως ήταν αναμενόμενο. Ειδικότερα, σημαντικά ($P < 0.05$) χαμηλότερη βαθμολογία έλαβαν η ολική αποδοχή (**Σχήμα 6.6.9**) και ορισμένες παράμετροι της γεύσης/αρώματος (δυσάρεστο άρωμα - **Σχήμα 6.6.7**, μετάγευση - **Σχήμα 6.6.8**) και της υφής (σκληρότητα - **Σχήμα 6.6.6**, αίσθηση αποδόμησης - **Σχήμα 6.6.5** και ευθρυπτότητα - **Σχήμα 6.6.4**). Θετική συσχέτιση παρατηρήθηκε ανάμεσα στην οργανοληπτική και αντικειμενική σκληρότητα της ψίχας ($r = 0.89$, $P < 0.05$). Κατά τη διάρκεια της αποθήκευσης, η σκληρότητα και η νωπότητα της ψίχας αποδείχθηκαν ως βαρύνοντες παράγοντες που επηρεάζουν κυρίως την οργανοληπτική εκτίμηση των κέικ. Άλλωστε, οι δυο παράμετροι αλληλοσυνδέονται, αφού η απώλεια υγρασίας από την ψίχα του κέικ θεωρείται ότι συμβάλλει στη σκλήρυνση της δομής της ψίχας, και όπως είναι γνωστό οι καταναλωτές αντιλαμβάνονται/θεωρούν το νωπό κέικ ως φρέσκο κέικ (Guy 1983).

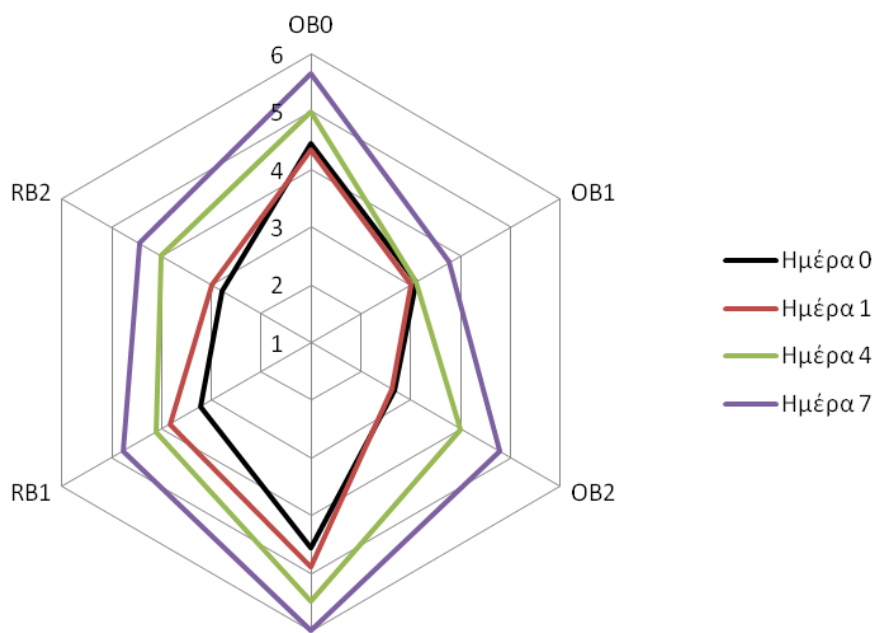
Στην παρούσα μελέτη, παρόλο που η υγρασία της ψίχας παρέμεινε σταθερή μετά την 4^η ημέρα αποθήκευσης, η ολική αποδοχή των κέικ σταδιακά μειώθηκε. Έτσι, η φαινομενική (apparent) ξηρότητα που παρατηρήθηκε και προκάλεσε τη μείωση της αποδοχής των κέικ μπορεί να συσχετιστεί με την αναδιανομή της υγρασίας ανάμεσα στα συστατικά του κέικ παρά στην απώλεια υγρασίας (Willhoft 1973). Το δυσάρεστο άρωμα και η μετάγευση δεν μεταβλήθηκαν σημαντικά κατά τις 2 πρώτες ημέρες αποθήκευσης, ενώ σημαντική ($P < 0.05$) αύξησή τους παρατηρήθηκε μεταξύ της 2^{ης} και της 4^{ης} ημέρας αποθήκευσης. Μετά την 4^η ημέρα αποθήκευσης οι προαναφερθείσες παράμετροι δεν μεταβλήθηκαν σημαντικά.

Τέλος, η ενζυμική επεξεργασία των πιτύρων βρώμης και ρυζιού αύξησε την αποδεκτότητα των κέικ, τόσο ως φρέσκα προϊόντα όσο και κατά τη διάρκεια της αποθήκευσής τους. Κατά τη διάρκεια της αποθήκευσης την υψηλότερη βαθμολογία έλαβαν τα κέικ με OB2 (**Σχήμα 6.6.9**). Αξίζει να σημειωθεί ότι η προσθήκη ενζυμικά επεξεργασμένων πιτύρων έδωσε κέικ με ανώτερα ποιοτικά χαρακτηριστικά τόσο ως φρέσκα προϊόντα (ημέρα 0), όσο και κατά τη διάρκεια της αποθήκευσης. Το επίπεδο ενδοξυλανάσης που χρησιμοποιήθηκε κατά την ενζυμική επεξεργασία των πιτύρων δεν διαφοροποίησε σημαντικά τα οργανοληπτικά χαρακτηριστικά, ενώ η πηγή πιτύρου διαφοροποίησε σημαντικά ($P < 0.05$) όλες τις οργανοληπτικές παραμέτρους, με τα κέικ με πίτυρα βρώμης να εμφανίζουν τα καλύτερα χαρακτηριστικά.



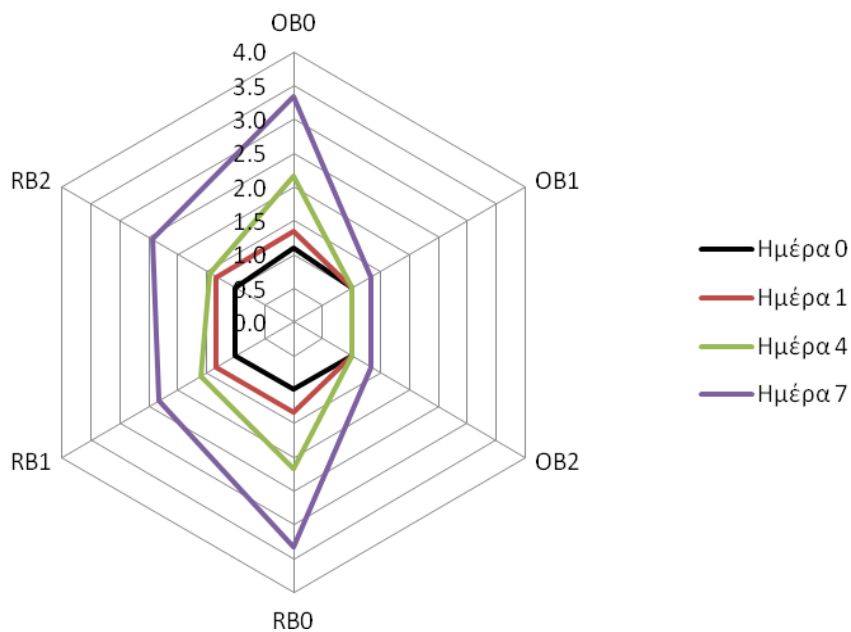
OB: Πίτυρα Βρώμης, RB: Πίτυρα ρυζιού. Ποσοστό ενδοξυλανάσης 0:0 ppm (τυφλό), 1:70 ppm 2:700 ppm.

Σχήμα 6.6.4 Επίδραση της προσθήκης ενζυμικά επεξεργασμένου πιτύρου στην ευθρυπτότητα των κέικ κατά την αποθήκευσή τους στους $25 \pm 1^\circ\text{C}$ και 60% RH για 7 ημέρες.



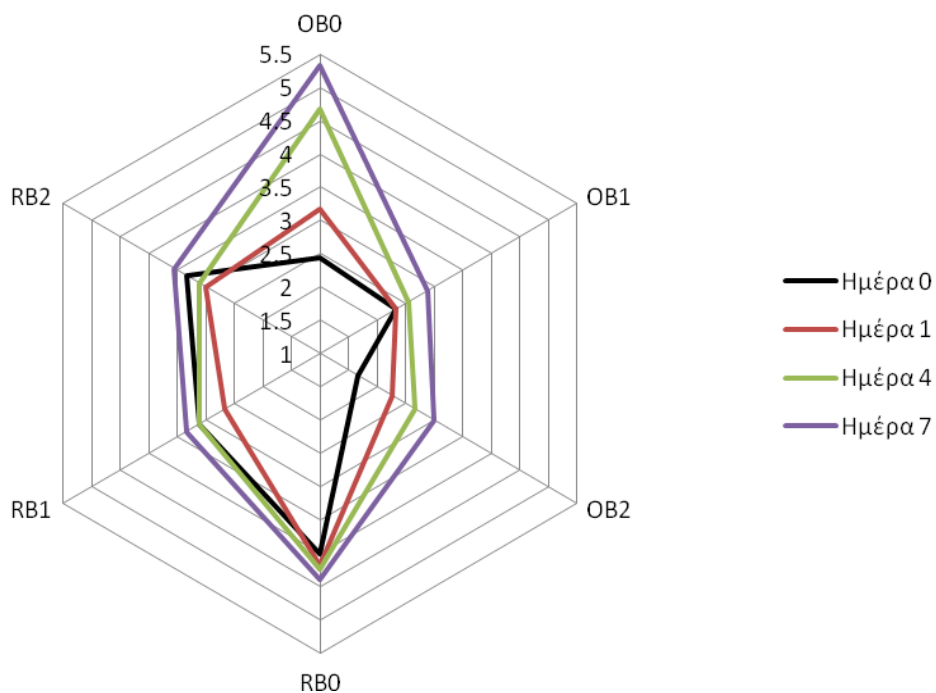
OB: Πίτυρα Βρώμης, RB: Πίτυρα ρυζιού. Ποσοστό ενδοξυλανάσης 0:0 ppm (τυφλό), 1:70 ppm 2:700 ppm.

Σχήμα 6.6.5 Επίδραση της προσθήκης ενζυμικά επεξεργασμένου πιτύρου στην αίσθηση αποδόμησης των κέικ κατά την αποθήκευσή τους στους $25 \pm 1^\circ\text{C}$ και 60% RH για 7 ημέρες.



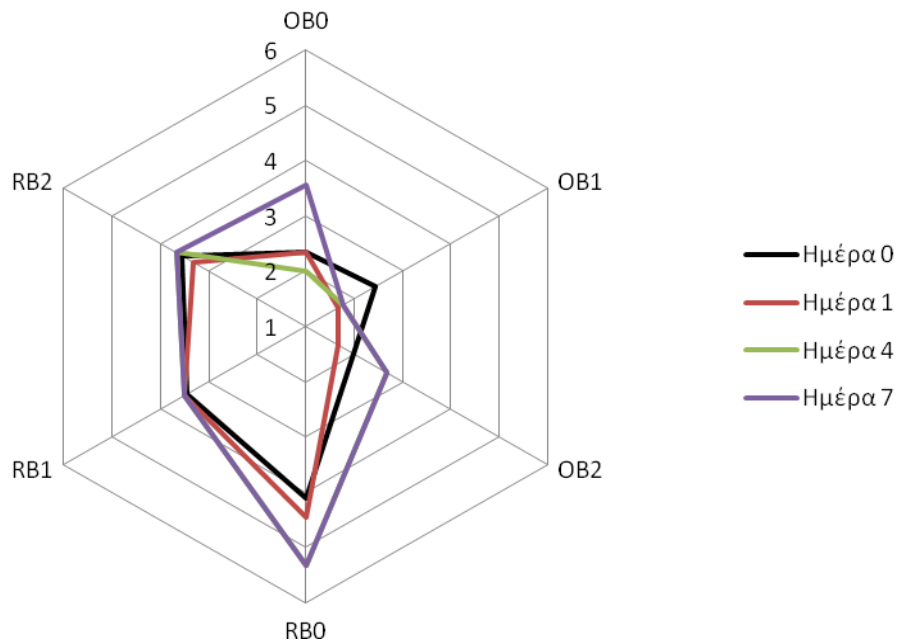
OB: Πίτυρα Βρώμης, RB: Πίτυρα ρυζιού. Ποσοστό ενδοξυλανάσης 0:0 ppm (τυφλό), 1:70 ppm 2:700 ppm.

Σχήμα 6.6.6 Επίδραση της προσθήκης ενζυμικά επεξεργασμένου πιτύρου στη σκληρότητα της ψίχας των κέικ κατά την αποθήκευσή τους στους $25 \pm 1^\circ\text{C}$ και 60% RH για 7 ημέρες.



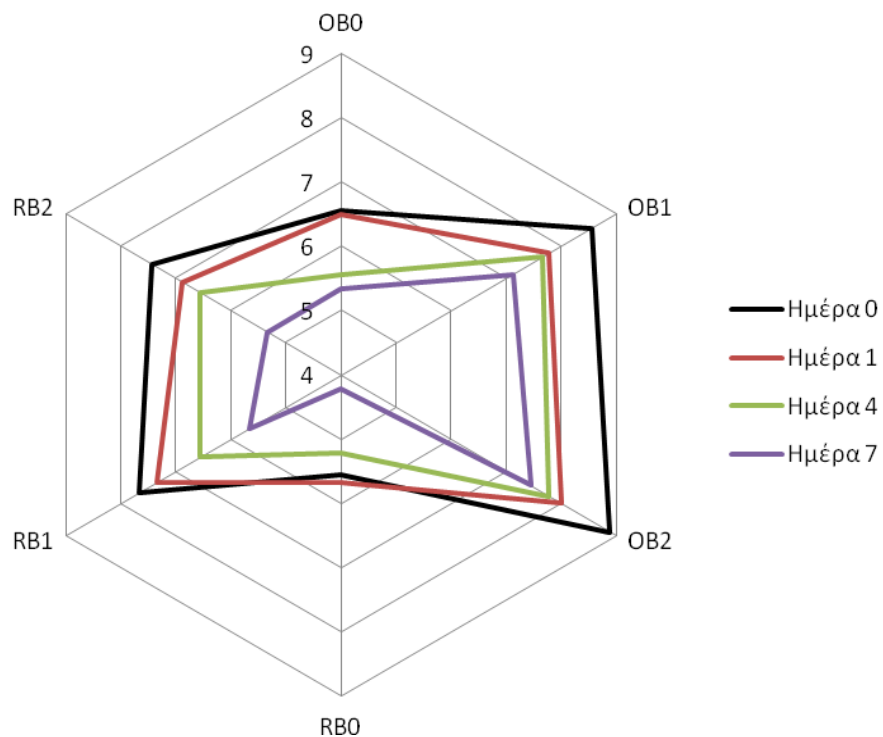
OB: Πίτυρα Βρώμης, RB: Πίτυρα ρυζιού. Ποσοστό ενδοξυλανάσης 0:0 ppm (τυφλό), 1:70 ppm 2:700 ppm.

Σχήμα 6.6.7 Επίδραση της προσθήκης ενζυμικά επεξεργασμένου πιτύρου στο δυσάρεστο άρωμα (off flavor) των κέικ κατά την αποθήκευσή τους στους $25 \pm 1^\circ\text{C}$ και 60% RH για 7 ημέρες.



OB: Πίτυρα Βρώμης, RB: Πίτυρα ρυζιού. Ποσοστό ενδοξυλανάσης 0:0 ppm (τυφλό), 1:70 ppm 2:700 ppm.

Σχήμα 6.6.8 Επίδραση της προσθήκης ενζυμικά επεξεργασμένου πιτύρου στη μετάγευση των κέικ κατά την αποθήκευσή τους στους $25 \pm 1^\circ\text{C}$ και 60% RH για 7 ημέρες.



OB: Πίτυρα Βρώμης, RB: Πίτυρα ρυζιού. Ποσοστό ενδοξυλανάσης 0:0 ppm (τυφλό), 1:70 ppm 2:700 ppm.

Σχήμα 6.6.9 Επίδραση της προσθήκης ενζυμικά επεξεργασμένου πιτύρων στην ολική αποδοχή των κέικ κατά την αποθήκευσή τους στους $25 \pm 1^\circ\text{C}$ και 60% RH για 7 ημέρες.

Τέλος, εφαρμόστηκε ανάλυση πολλαπλής παλινδρόμησης, προκειμένου να συσχετιστούν τα δεδομένα της οργανοληπτικά αξιολογούμενης ολικής αποδοχής (Y) των κέικ με τα οργανοληπτικά αξιολογούμενα και αντικειμενικά μετρούμενα χαρακτηριστικά τους κατά την αποθήκευση. Η ανάλυση πολλαπλής παλινδρόμησης εφαρμόστηκε για κάθε ημέρα αποθήκευσης χωριστά στα δείγματα κέικ με επεξεργασμένα και μη επεξεργασμένα πίτυρα βρώμης και ρυζιού και οι εξισώσεις που προέκυψαν και περιγράφουν κατάλληλα τις παραπάνω σχέσεις αναφέρονται στον **Πίνακα 6.6.7**. Η στατιστική ανάλυση έδειξε ότι σε όλες τις περιπτώσεις πάνω από το 90 % της μεταβολής μπορεί να αποδοθεί στις μεταβλητές που εξετάστηκαν.

Πίνακας 6.6.7 Πολλαπλή παλινδρόμηση για την ολική αποδοχή των κέικ με πίτυρα βρώμης και ρυζιού κατά την αποθήκευσή τους στους 25 ± 1 °C και 60 % RH για 7 ημέρες.

Εξίσωση Πολλαπλής Παλινδρόμησης		R ²
Ημέρα 0	$Y = -1.04 * F - 0.24 * T_{0\text{amylose}} - 0.15 * S_{\text{off}} + 0.36 * S_{\text{Br}}$	0.92
Ημέρα 1	$Y = 0.49 * F + 0.75 * \Delta H_{\text{amylose}} - 0.42 * M - 0.48 * S_{\text{off}} - 0.3 * S_{\text{Br}}$	0.93
Ημέρα 4	$Y = 0.79 * F - 1.05 * \Delta H_{\text{amylopectin}} - 0.19 * T_{0\text{amylose}} + 0.27 * T_{\text{pamylose}} - 0.48 * S_{\text{off}}$	0.93
Ημέρα 7	$Y = -0.44 * \Delta H_{\text{amylopectin}} - 0.31 * M - 0.28 * S_{\text{off}} - 0.34 * S_{\text{aftertaste}}$	0.92

F: Σκληρότητα (N), $T_{0\text{amylose}}$, T_{pamylose} : Θερμοκρασίες έναρξης και κορύφωσης της τήξης του συμπλόκου αμυλόζης-λιπιδίου, $\Delta H_{\text{amylose}}$: ενθαλπία τήξης συμπλόκου αμυλόζης-λιπιδίου, $\Delta H_{\text{amylopectin}}$: ενθαλπία αναδιαμόρφωσης αμυλοπηκτίνης, M: υγρασία (%), S_{off} , S_{Br} , $S_{\text{aftertaste}}$: δυσάρεστο άρωμα, ευθρυπτότητα και μετάγευση (οργανοληπτικά αξιολογούμενα)

Η ολική αποδοχή των φρέσκων κέικ (ημέρα 0) ήταν ιδιαίτερα υψηλή και επηρεαζόταν κυρίως από την οργανοληπτικά αξιολογούμενη σκληρότητα και ευθρυπτότητα της ψίχας. Την 1^η ημέρα αποθήκευσης παρατηρήθηκε σχετικά μικρή υποβάθμιση στην ποιότητα του κέικ, η οποία οφειλόταν κυρίως στην ανάπτυξη δυσάρεστου αρώματος (S_{off}) που συνδέεται με την ταγή αίσθηση του παλαιωμένου προϊόντος και επομένως καθορίζει σε μεγάλο βαθμό τη φρεσκότητα του κέικ. Η σκληρότητα της ψίχας εξακολουθεί να είναι βαρύνων παράγοντας, αφού επηρέασε σημαντικά ($P < 0.05$) την ολική αποδοχή του κέικ και την 1^η ημέρα αποθήκευσης. Ύστερα από την 4^η ημέρα αποθήκευσης, η αύξηση της έντασης του δυσάρεστου αρώματος φαίνεται ότι προκαλεί περαιτέρω μείωση στην ολική αποδοχή, έως την 7^η ημέρα αποθήκευσης, όπου πια η ολική αποδοχή καθορίστηκε κυρίως από τις μεταβολές στην υγρασία και τη μετάγευση. Τέλος, σχετικά με τις θερμικές ιδιότητες που εμμέσως επηρεάζουν την οργανοληπτικά αξιολογούμενη παλαίωση, η $\Delta H_{\text{amylose}}$ αποτέλεσε σημαντικό παράγοντα την 1^η ημέρα αποθήκευσης, ενώ η $\Delta H_{\text{amylopectin}}$ την 4^η ημέρα.

Γενικά, η ολική αποδοχή επηρεάστηκε κυρίως από την ανάπτυξη δυσάρεστου αρώματος μετά την 1^η ημέρα αποθήκευσης και από τη σκληρότητα της ψίχας (ημέρα 0, 1, 4), ενώ η $\Delta H_{\text{amylopectin}}$ επηρέασε αρνητικά μετά την 4^η ημέρα αποθήκευσης.

6.6.5 Συμπεράσματα 6^{ης} σειράς πειραμάτων

Κατά την παλαίωση των κέικ παρατηρήθηκε αύξηση της σκληρότητας της ψίχας και της ενθαλπίας αναδιαμόρφωσης της αμυλοπηκτικής, μείωση της υγρασίας της ψίχας και υποβάθμιση των οργανοληπτικών χαρακτηριστικών και της αποδοχής των κέικ. Η ενζυμική επεξεργασία των πιτύρων βρώμης και ρυζιού καθυστέρησε την παλαίωση των κέικ, ενώ το επίπεδο ενδοξυλανάσης που χρησιμοποιήθηκε κατά την ενζυμική επεξεργασία των πιτύρων δεν διαφοροποίησε την εξέλιξη των ιδιοτήτων των κέικ κατά την αποθήκευσή τους. Η καθυστέρηση της παλαίωσης επιτεύχθηκε, επιβραδύνοντας το ρυθμό απώλειας υγρασίας και αναδιαμόρφωσης του αμύλου, που είχε ως αποτέλεσμα την επιβράδυνση της σκλήρυνσης της ψίχας και της υποβάθμισης των οργανοληπτικών χαρακτηριστικών του κέικ. Τα κέικ με πίτυρα βρώμης εμφάνισαν ανώτερα ποιοτικά χαρακτηριστικά και βραδύτερο ρυθμό παλαίωσης από ότι εκείνα με πίτυρο ρυζιού.

6.7 7^η Σειρά Πειραμάτων: Μελέτη βελτιστοποίησης των ποιοτικών χαρακτηριστικών κέικ εμπλουτισμένων με διάφορες πηγές διαιτητικών ινών με χρήση της μεθοδολογίας επιφανειών απόκρισης

Με βάση τα αποτελέσματα των προηγούμενων πειραματικών σειρών επιλέχθηκαν οι διαιτητικές ίνες βρώμης (από τις συμβατικές πηγές διαιτητικών ινών) και τα ενζυμικά επεξεργασμένα πίτυρα βρώμης (από τις πηγές χαμηλού κόστους), προκειμένου να συνδυαστούν για την παραγωγή του βέλτιστου προϊόντος. Το συνολικό ποσοστό υποκατάστασης του αλεύρου από τις δύο πηγές ήταν 30% και η βελτιστοποίηση του προϊόντος έγινε με χρήση μεθοδολογίας επιφανειών απόκρισης (RSM). Έτσι, παρασκευάστηκαν δείγματα κέικ με διαφορετικές αναλογίες διαιτητικών ινών (OF) και ενζυμικά επεξεργασμένων πιτύρων βρώμης (EX OB) τα οποία αποτέλεσαν τις ανεξάρτητες μεταβλητές. Επιπροσθέτως, τα επίπεδα νερού (ουσιαστικά τα επίπεδα γάλακτος) προσαρμόστηκαν ανάλογα με την απορρόφηση νερού του μίγματος αλεύρου/διαιτητικών ινών ή αλεύρου πιτύρων, έτσι ώστε να προκύψει το καλύτερο δυνατό αποτέλεσμα.

Στόχος του πειράματος ήταν η εύρεση μαθηματικών μοντέλων που θα επιτρέπουν την πρόβλεψη των ιδιοτήτων του τελικού προϊόντος (ειδικός όγκος, σκληρότητα της ψίχας και ολική αποδοχή κατά την οργανοληπτική αξιολόγηση) συναρτήσεων των επιπέδων των ανεξάρτητων μεταβλητών (της ποσότητας ινών και επεξεργασμένων πιτύρων βρώμης), και ο υπολογισμός των βέλτιστων επιπέδων των ανεξάρτητων μεταβλητών στην τελική συνταγή προκειμένου να προκύψει ένα προϊόν με βέλτιστα ποιοτικά και διατροφικά χαρακτηριστικά. Στον **Πίνακα 6.7.1** που ακολουθεί παρουσιάζεται η βασική συνταγή που χρησιμοποιήθηκε κατά την παρασκευή των κέικ.

Πίνακας 6.7.1 Βασική συνταγή που χρησιμοποιήθηκε στην παρασκευή κέικ κατά τη μελέτη βελτιστοποίησης του κέικ (7^η πειραματική σειρά).

Συστατικό	Ποσοστό (%) επί του βάρους του αλεύρου
Πίτυρα Βρώμης Ενζυμικά Επεξεργασμένα	Μεταβλητό
Διαιτητικές Ίνες βρώμης	Μεταβλητό
Ζάχαρη	90
Λιπαρό	50
Γάλα	Μεταβλητό
Αυγά	65
Βανιλίνη	0.2
Όξινο ανθρακικό νάτριο	1.11
Δυσόξινο φωσφορικό ασβέστιο	0.2

6.7.1 Μελέτη βελτιστοποίησης

Στον κεντρικό σχεδιασμό που ακολουθήθηκε (Πίνακας 6.7.2), οι δύο ανεξάρτητες μεταβλητές (παράγοντες) ήταν τα επίπεδα των ινών βρώμης (OF) και των ενζυμικά επεξεργασμένων με 70 ppm ενδοξυλανάσης πιτύρων βρώμης (EX OB) που κυμαίνονταν από 8-22 %. Πέντε επίπεδα για κάθε παράγοντα επιλέχθηκαν και πραγματοποιήθηκαν 12 δοκιμές, προκειμένου να βρεθεί η βέλτιστη συνταγή. Τρεις εξαρτημένες μεταβλητές επιλέχθηκαν, ως αντιπροσωπευτικές για να περιγράψουν την ποιότητα του κέικ: Ο ειδικός όγκος (Y1), η σκληρότητα της ψίχας (Y2) και ο οργανοληπτικός βαθμός ολικής αρέσκειας-DOL του κέικ (Y3). Η βελτιστοποίηση βασίστηκε στη συνάρτηση επιθυμίας/αρέσκειας του κέικ προς κατανάλωση

Πίνακας 6.7.2 Κεντρικός σχεδιασμός της 7^{ης} πειραματικής σειράς (βελτιστοποίηση των ποιοτικών χαρακτηριστικών κέικ εμπλουτισμένων με διάφορες πηγές διαιτητικών ινών με χρήση της μεθοδολογίας επιφανειών απόκρισης) όπου παρουσιάζονται οι κωδικοποιημένες και οι πραγματικές τιμές των μεταβλητών.

Δοκιμή	Ανεξάρτητες μεταβλητές				Εξαρτημένες μεταβλητές		
	Κωδικοποιημένες τιμές		Πραγματικές ^a τιμές		Ειδικός όγκος (cm ³ /g) Y1	Σκληρότητα ψίχας (N) Y2	DOL Y3
	OF X1	EX OB X2	OF X1	EX OB X2			
1	-1	-1	10%	10 %	2.67	4.87	8.8
2	-1	+1	10 %	20 %	2.89	4.41	8.5
3	+1	-1	20 %	10 %	2.73	4.84	8
4	+1	+1	20 %	20%	2.98	4.60	9
5	-1.414	0	8 %	15 %	2.93	4.75	8.5
6	+1.414	0	22%	15%	2.79	4.63	8
7	0	-1.414	15 %	8 %	2.71	4.88	8
8	0	+1.414	15 %	22 %	2.90	4.49	8.5
9	0	0	15 %	15 %	3.26	3.47	9.6
10	0	0	15 %	15 %	3.23	3.43	9.6
11	0	0	15 %	15 %	3.29	3.48	9.5
12	0	0	15 %	15 %	3.26	3.53	9.5

^a ποσοστά υποκατάστασης αλεύρου

OF: Ίνες βρώμης, EX OB: Πίτυρα βρώμης,

DOL: Βαθμός ολικής αρέσκειας (οργανοληπτικά)

Οι συντελεστές παλινδρόμησης για τις εξαρτημένες μεταβλητές υπολογίστηκαν με ανάλυση πολλαπλής παλινδρόμησης και τα μαθηματικά μοντέλα που προέκυψαν είναι τα εξής:

$$\text{Ειδικός όγκος κέικ (Y1)} = 3.26 - 0.4086X_1^2 + 0.1864X_2 - 0.4682X_2^2 \quad (6.7.1)$$

$$\text{Σκληρότητα ψίχας (Y2)} = 3.4829 + 1.2223X_1^2 - 0.3117X_2 + 1.2158X_2^2 \quad (6.7.2)$$

$$\text{DOL (Y3)} = 8.5465 - 1.1437X_1^2 - 1.1436X_2^2 + 0.65X_1X_2 \quad (6.7.3)$$

Από την ανάλυση διακύμανσης που εφαρμόστηκε στα μαθηματικά μοντέλα προέκυψε σημαντική διαφορά μεταξύ των δειγμάτων που περιείχαν διαφορετικό ποσοστό προσθήκης από καθεμία από τις δύο πηγές διαιτητικών ινών που εξετάστηκαν. Σε όλες τις περιπτώσεις οι τιμές του πολλαπλού συντελεστή συσχέτισης R^2 ήταν υψηλές και κυμαίνονταν από 0.939 έως 0.994, επιβεβαιώνοντας ότι τα μαθηματικά μοντέλα που παρουσιάστηκαν είναι επαρκή για την πρόβλεψη κάθε αντίστοιχης απόκρισης.

Από τη στατιστική επεξεργασία των αποτελεσμάτων προέκυψε ότι η μεταβολή των παραγόντων είχε σημαντική επίδραση και στις τρεις εξετασθείσες παραμέτρους (εξαρτημένες μεταβλητές) (ειδικός όγκος, σκληρότητα ψίχας, DOL). Αναλυτικά τα αποτελέσματα της στατιστικής επεξεργασίας των μετρήσεων των ποιοτικών χαρακτηριστικών του κέικ παρουσιάζονται στον πίνακα που ακολουθεί (Πίνακας 6.7.3).

Πίνακας 6.7.3 Πίνακας αποτελεσμάτων στατιστικής επεξεργασίας μετρήσεων ποιοτικών χαρακτηριστικών των κέικ εμπλουτισμένων με διάφορες πηγές διαιτητικών ινών με χρήση της μεθοδολογίας επιφανειών απόκρισης.

Μετρούμενη παράμετρος	Ειδικός όγκος	Σκληρότητα ψίχας	DOL
(1) Προσθήκη ινών βρώμης (γραμμική)	-	-	-
Προσθήκη ινών βρώμης (τετραγωνική)	+	+	+
(2) Προσθήκη ενζυμικά επεξεργασμένων πιτύρων βρώμης (γραμμική)	+	+	-
Προσθήκη ενζυμικά επεξεργασμένων πιτύρων βρώμης (τετραγωνική)	+	+	+
(1) X (2)	-	-	+
R^2	0.964	0.994	0.939

- : απουσία σημαντικής διαφοράς μεταξύ των δειγμάτων ($p > 0.05$)

+ : ύπαρξη σημαντικής διαφοράς μεταξύ των δειγμάτων ($p < 0.05$)

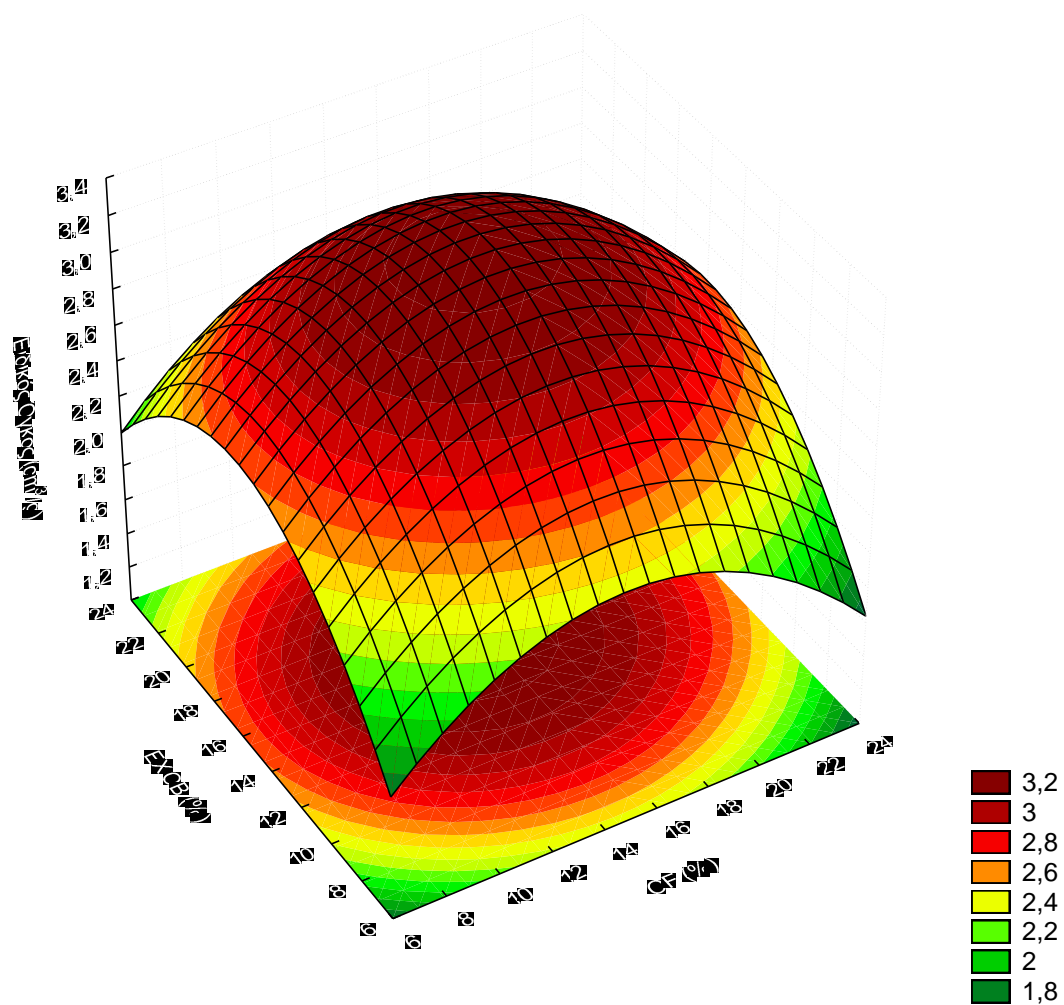
Ένα χρήσιμο εργαλείο για να γίνει κατανοητή καλύτερα τη συσχέτιση μεταξύ κάθε παράγοντα και απόκρισης προσφέρεται με την αποτύπωση των επιφανειών απόκρισης,

κατά την οποία η επίδραση 2 παραγόντων σε μία συγκεκριμένη απόκριση αποτυπώνεται σε τρεις διαστάσεις. Οι επιφάνειες που προκύπτουν από την ανάλυση των δεδομένων παρουσιάζονται στα διαγράμματα που ακολουθούν (**Σχήματα 6.7.1 – 6.7.3**).

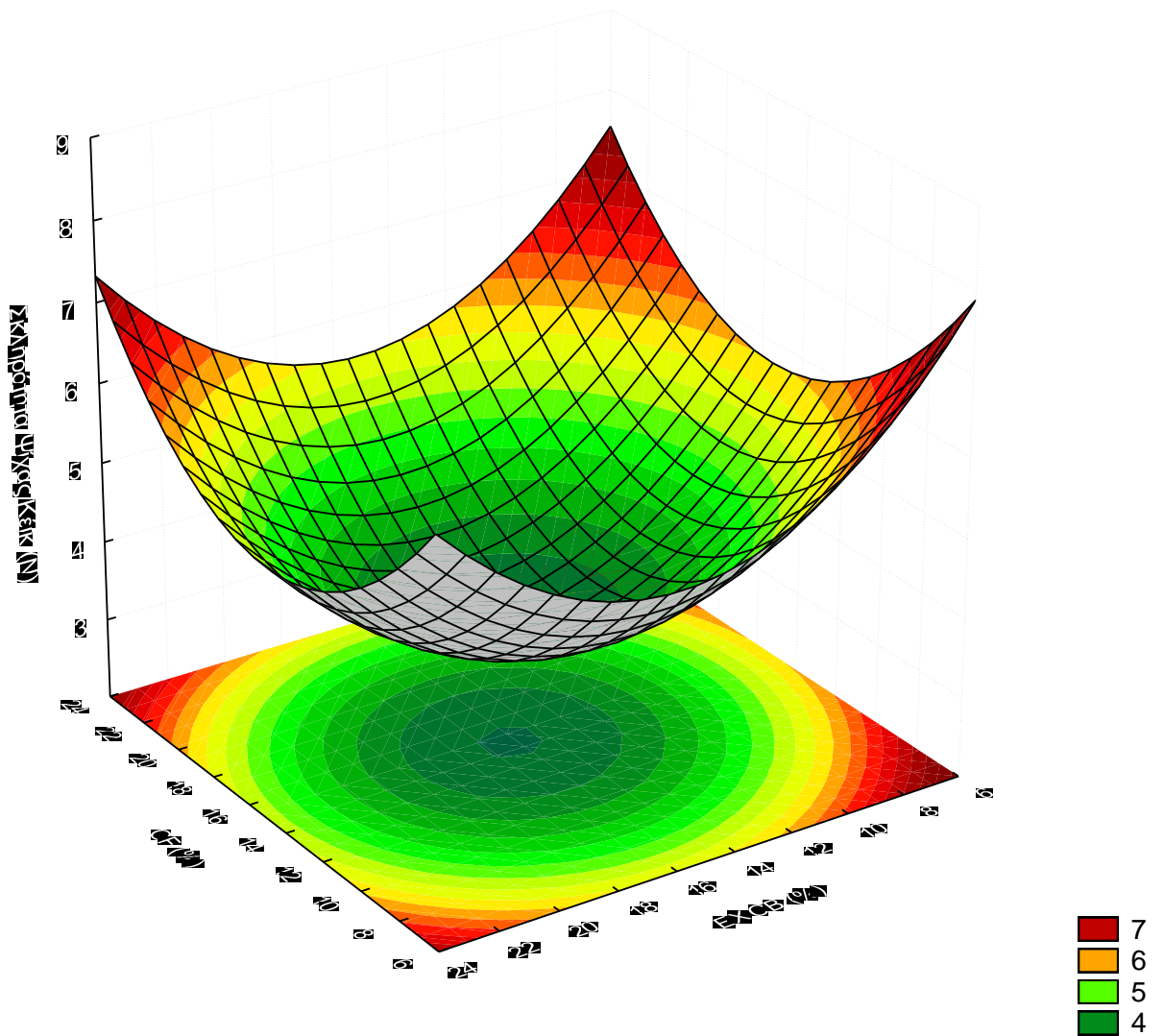
Από το διάγραμμα επιφανειών απόκρισης του ειδικού όγκου του κέικ (**Σχήμα 6.7.1**) φαίνεται ότι μέχρι ενός ορίου ο ειδικός όγκος αυξάνεται, όσο η ποσότητα των δύο μεταβλητών (ίνες βρώμης-OF και ενζυμικά επεξεργασμένα πίτυρα βρώμης- EX OB) αυξάνεται. Ο συνδυασμός ενδιάμεσων ποσοτήτων από κάθε μεταβλητή οδηγεί σε μεγαλύτερο ειδικό όγκο. Αντίθετα ακραία επίπεδα προσθήκης OF (22 %) και EX OB (8 %) ή OF (8 %) και EX OB (22 %) μειώνουν τον ειδικό όγκο. Αυτό συμβαίνει, γιατί και οι δύο μεταβλητές επηρεάζουν τις ρεολογικές και θερμικές ιδιότητες της ζύμης, που καθορίζουν τον όγκο του κέικ, όπως έχει περιγραφεί αναλυτικά σε προηγούμενο υποκεφάλαιο.

Όσον αφορά την επίδραση της ποσότητας των πηγών ινών στη σκληρότητα της ψίχας του κέικ (**Σχήμα 6.7.2**), στην παρούσα μελέτη η σκληρότητα της ψίχας κυμαίνεται από 3.48 έως 4.88 N. Η προσθήκη υψηλού ποσοστού OF οδήγησε σε τελικό προϊόν με συμπαγή δομή και υψηλότερη σκληρότητα ψίχας, λόγω του ότι οι OF έχουν μεγάλη ικανότητα δέσμευσης νερού, με αποτέλεσμα η ψίχα να προκύπτει πολύ σφιχτή. Από την εξίσωση 6.7.2 φαίνεται ότι το ποσοστό των OF παρουσιάζει θετική τετραγωνική σημαντική επίδραση, ενώ το ποσοστό των EX OB αρνητική γραμμική και θετική τετραγωνική σημαντική επίδραση αντίστοιχα.

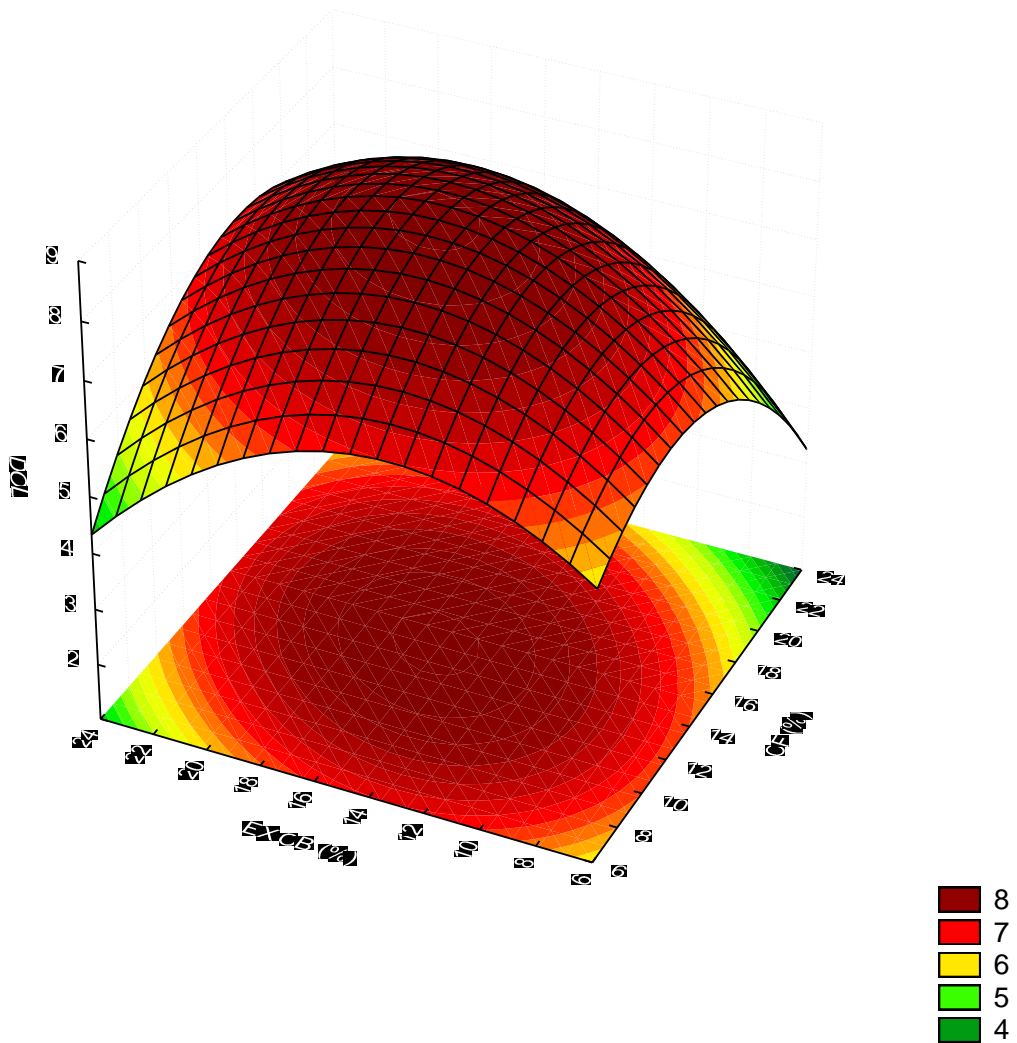
Οι συνταγές που περιείχαν χαμηλά ποσοστά EX OB και υψηλά ποσοστά OF έλαβαν τη χαμηλότερη βαθμολογία ολικής αποδοχής από τους δοκιμαστές, η οποία όμως και πάλι κυμαινόταν στα όρια του αποδεκτού (πάνω από 5). Αυτά τα δείγματα παρουσίασαν χαμηλό ειδικό όγκο και υψηλές τιμές σκληρότητας ψίχας. Από το διάγραμμα επιφανειών απόκρισης (**Σχήμα 6.7.3**) φαίνεται ότι μέχρι ένα ορισμένο σημείο η ολική αποδοχή αυξάνεται όσο οι ποσότητες OF και EX OB αυξάνονται. Η συνταγή που περιείχε ενδιάμεσα ποσοστά από κάθε παράγοντα έδωσε και την καλύτερη βαθμολογία. Από την ανάλυση διακύμανσης φαίνεται ότι η ποσότητα και των δύο πηγών ινών καθώς και η αλληλεπίδραση μεταξύ τους ασκούν σημαντική επίδραση στην ολική αποδοχή του κέικ.



Σχήμα 6.7.1 Επίδραση της μεταβολής της συγκέντρωσης των ινών βρώμης και των ενζυμικά επεξεργασμένων πιτύρων βρώμης στον ειδικό όγκο του κέικ, όπως αποτυπώνεται με χρήση μεθοδολογίας επιφανειών απόκρισης (RSM)



Σχήμα 6.7.2 Επίδραση της μεταβολής της συγκέντρωσης των ινών βρώμης και των ενζυμικά επεξεργασμένων πιτύρων βρώμης στη σκληρότητα της ψίχας του κέικ, όπως αποτυπώνεται με χρήση μεθοδολογίας επιφανειών απόκρισης (RSM)



Σχήμα 6.7.3 Επίδραση της μεταβολής της συγκέντρωσης των ινών βρώμης και των ενζυμικά επεξεργασμένων πιτύρων βρώμης στην οργανοληπτική βαθμολόγηση ολικής αρέσκειας-DOL του κέικ, όπως αποτυπώνεται με χρήση μεθοδολογίας επιφανειών απόκρισης (RSM)

6.7.2 Χαρακτηριστικά και μελέτη αποθήκευσης βέλτιστου προϊόντος

Με βάση τα ανωτέρω αποτελέσματα προκύπτει το συμπέρασμα ότι η ποιότητα του εμπλουτισμένου με πηγές διαιτητικών ινών κέικ δεν εξαρτάται αποκλειστικά από ένα παράγοντα αλλά και οι δύο ανεξάρτητες μεταβλητές επέδρασαν σημαντικά στην ποιότητα του τελικού προϊόντος. Τα κριτήρια της επιλογής των παραγόντων, που θα δώσουν το βέλτιστο αποτέλεσμα, καθορίστηκαν με βάση την παραδοχή ότι για το κέικ ευρέως αποδεκτά κριτήρια ποιότητας είναι ο μεγάλος ειδικός όγκος, η μαλακή ψίχα και η υψηλή οργανοληπτική αποδοχή. Επομένως, επιδιώχθηκε η μεγιστοποίηση των αποκρίσεων για τον ειδικό όγκο και την ολική αποδοχή, και η ελαχιστοποίηση της σκληρότητας της ψίχας. Με βάση αυτά, προέκυψε η βέλτιστη συνταγή, η οποία τελικά περιελάμβανε 15 % OF και 15 % EX OB, και παρουσιάζεται αναλυτικά στον **Πίνακα 6.7.4**. Η συνταγή αυτή παρουσίασε επιθυμία/αρέσκεια 0.94/1. Το βέλτιστο προϊόν εξετάστηκε ως προς τα ποιοτικά χαρακτηριστικά του, προκειμένου να συγκριθούν οι προβλεπόμενες αποκρίσεις (με βάση τις μαθηματικές εξισώσεις) με τις πραγματικές τιμές των παραμέτρων, όπου αποδείχθηκε ότι οι μετρούμενες τιμές παρουσιάζουν πολύ μικρή απόκλιση σε σχέση με τις προβλεπόμενες (**Πίνακας 6.7.5**).

Πίνακας 6.7.4 Βέλτιστη συνταγή για την παρασκευή κέικ με ίνες βρώμης και ενζυμικά επεξεργασμένα πίτυρα βρώμης.

Συστατικό	Ποσοστό (%) επί του βάρους του αλεύρου
Πίτυρα Βρώμης Ενζυμικά Επεξεργασμένα	15
Διαιτητικές Ίνες βρώμης	15
Ζάχαρη	90
Λιπαρό	50
Γάλα	80
Αυγά	65
Βανιλίνη	0.2
Όξινο ανθρακικό νάτριο	1.11
Δυσόξινο φωσφορικό ασβέστιο	0.2
Όξινο πυροφωσφορικό νάτριο	1.35

Πίνακας 6.7.5 Προβλεπόμενες και μετρούμενες τιμές των ανεξάρτητων μεταβλητών (αποκρίσεων) για την βέλτιστη συνταγή παρασκευής κέικ με ίνες βρώμης και ενζυμικά επεξεργασμένα πίτυρα βρώμης.

Ανεξάρτητες μεταβλητές (αποκρίσεις)	Βέλτιστες συνθήκες	
	Μετρούμενη τιμή	Προβλεπόμενη τιμή
Ειδικός όγκος (cm ³ /g)	3.26±0.03	3.27
Σκληρότητα (N)	3.48±0.16	3.49
DOL	8.55±0.5	8.51

Τέλος, στον **Πίνακα 6.7.6** αναγράφονται τα χαρακτηριστικά της ζύμης και του τελικού προϊόντος που παρασκευάστηκε σύμφωνα με τη βέλτιστη συνταγή, και στα **Σχήματα 6.7.4-6.7.9** παρουσιάζονται τα χαρακτηριστικά του βέλτιστου κέικ κατά τη διάρκεια της αποθήκευσής του στους 25 ±1°C και 60% RH για 7 ημέρες.

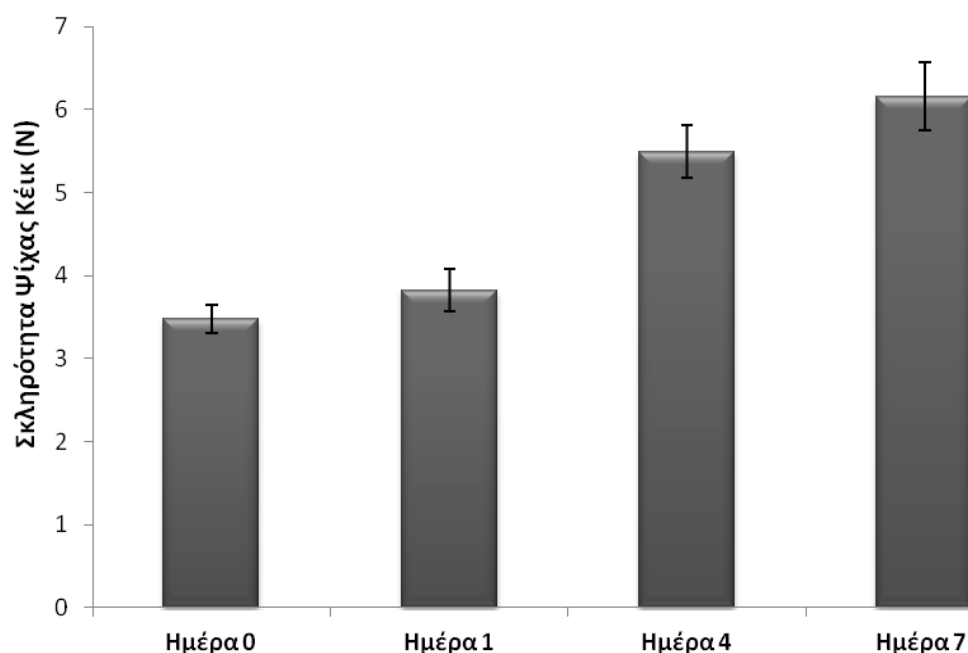
Η εξέταση των χαρακτηριστικών του βέλτιστου κέικ έδειξε ότι εκτός από τις παραμέτρους στις οποίες βασίστηκε η αριστοποίηση, και τα υπόλοιπα χαρακτηριστικά του προέκυψαν ανώτερα ποιοτικά. Αξίζει να γίνει αναφορά και στο δείκτη καστώνωσης της ψίχας, που ήταν σημαντικά χαμηλότερος από τους αντίστοιχους των κέικ με πίτυρα, και στο πορώδες της ψίχας που ήταν σημαντικά μεγαλύτερο από όλες τις άλλες περιπτώσεις που μελετήθηκαν στις προηγούμενες σειρές (**Πίνακας 6.7.6**). Η οργανοληπτική αξιολόγηση απέδειξε ότι το βέλτιστο κέικ είχε ομοιόμορφη και ικανοποιητική εμφάνιση, μειωμένη σκληρότητα, ευθρυπτότητα και αίσθηση αποδόμησης στο στόμα, καθώς και δεν είχε σχεδόν καθόλου δυσάρεστο άρωμα και μετάγευση, και για αυτό βαθμολογήθηκε με 8.5 (**Πίνακας 6.7.6**). Η βαθμολογία αυτή ήταν στατιστικά όμοια με εκείνη που έλαβε το τυφλό δείγμα (χωρίς ίνες) σε προηγούμενη σειρά (Σειρά 1).

Η μελέτη της αποθήκευσης του βέλτιστου κέικ σε συσκευασία για 7 ημέρες στους 25 ±1°C και 60% RH έδειξε ότι το βέλτιστο κέικ διατηρούσε τα χαρακτηριστικά του σχεδόν αναλλοίωτα για 4 ημέρες, ενώ την 7^η ημέρα παρατηρήθηκε μια υποβάθμιση στα περισσότερα χαρακτηριστικά, η οποία ήταν όμως μικρότερη από εκείνη που παρατηρήθηκε στα τυφλά κέικ (χωρίς ίνες) καθώς και στα κέικ με πίτυρα ή ίνες που περιγράφηκαν στις προηγούμενες σειρές. Ειδικότερα, η σκληρότητα και η υγρασία της ψίχας (**Σχήματα 6.7.4-6.7.5**) παρουσίασαν σημαντική μεταβολή την 4^η ημέρα αποθήκευσης, ενώ η ενεργότητα νερού δεν μεταβλήθηκε σημαντικά καθόλη τη διάρκεια αποθήκευσης (**Σχήμα 6.7.6**). Όσον αφορά στην υποβάθμιση των οργανοληπτικών χαρακτηριστικών του βέλτιστου κέικ, οι παράμετροι της υφής (ευθρυπτότητα και αίσθηση αποδόμησης στο στόμα) (**Σχήμα 6.7.7**) και η ολική αποδοχή (**Σχήμα 6.7.9**) παρουσίασαν σημαντική υποβάθμιση την 7^η ημέρα αποθήκευσης, ενώ η σκληρότητα (**Σχήμα 6.7.7**) δεν παρουσίασε σημαντική διαφορά κατά

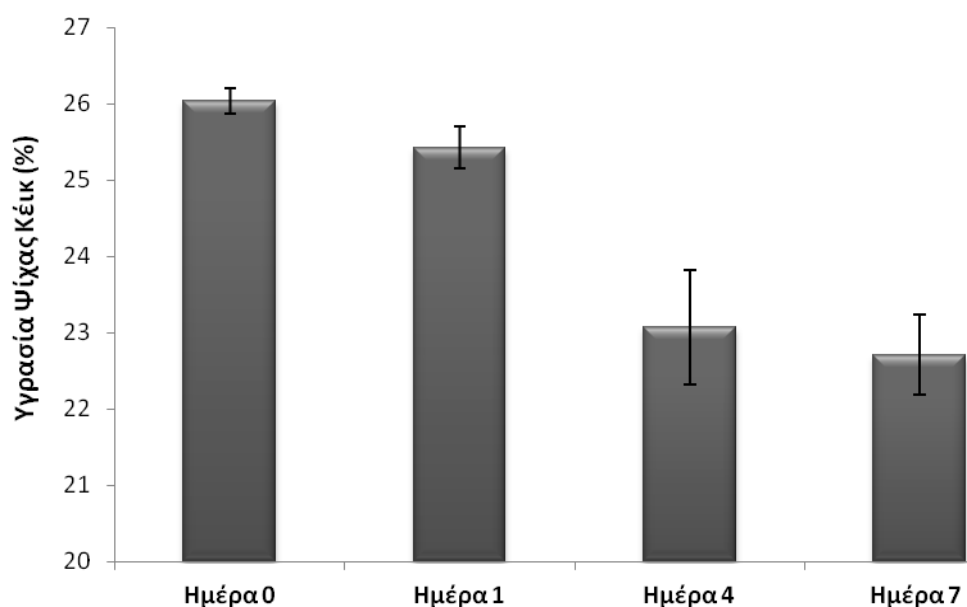
τη διάρκεια των 7 ημερών αποθήκευσης. Οι παράμετροι της γεύσης/αρώματος μεταβλήθηκαν μετά την 4^η ημέρα αποθήκευσης, όπου άρχισε να γίνεται αντιληπτό ένα δυσάρεστο άρωμα και να αναπτύσσεται μία άσχημη μετάγευση, χαρακτηριστικά που παρέμειναν σταθερά μέχρι το πέρας της αποθήκευσης (**Σχήμα 6.7.8**). Πρέπει να σημειωθεί ότι σε όλες τις περιπτώσεις τα βέλτιστα κέικ έλαβαν υψηλότερες βαθμολογίες από τα αντίστοιχα τυφλά ή τα κέικ με πηγές ινών/πιτύρων, τόσο ως φρέσκα όσο και κατά τη διάρκεια της αποθήκευσης. Λόγω της βραδύτερης υποβάθμισης των ποιοτικών και οργανοληπτικών χαρακτηριστικών του βέλτιστου κέικ, διαπιστώνεται μεγαλύτερη διατηρησιμότητα του συγκεκριμένου προϊόντος, στοιχείο ιδιαίτερα πλεονεκτικό και επιθυμητό στην ανάπτυξη νέων αρτοσκευασμάτων.

Πίνακας 6.7.6 Χαρακτηριστικά της ζύμης και του εμπλουτισμένου με ίνες βρώμης και ενζυμικά επεξεργασμένα πίτυρα βρώμης κέικ, που παρασκευάστηκε με βάση τη βέλτιστη συνταγή.

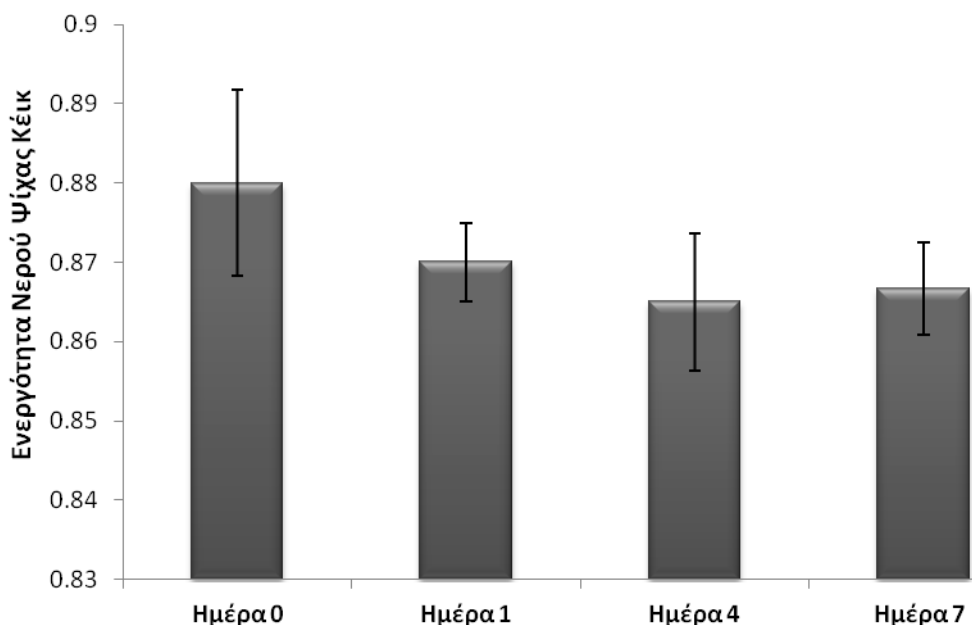
Χαρακτηριστικά	Τιμές
Ζύμης	
Ειδικό βάρος (g/cm ³)	0.89±0.01
Συντελεστής Συνεκτικότητας (Pa*s ⁿ)	9.56±0.25
Δείκτης ρεολογικής συμπεριφοράς	0.32±0.01
Ενεργότητα Νερού	0.89±0.01
Υγρασία (%)	34.88±0.79
Θερμοκρασία έναρξης ζελατινοποίησης αμύλου (° C)	89.93±0.43
Θερμοκρασία κορύφωσης ζελατινοποίησης αμύλου(° C)	92.28±0.62
ΔΗg ζελατινοποίησης αμύλου (J/g)	9.69±0.17
Ποιοτικά Χαρακτηριστικά Κέικ	
Ειδικός όγκος (cm ³ /g)	3.26±0.03
Σκληρότητα Ψίχας (N)	3.48±0.16
Υγρασία Ψίχας (%)	26.03±0.27
Ενεργότητα νερού ψίχας	0.88±0.01
Πορώδες ψίχας	0.85±0.01
Δείκτης κασάνωσης ψίχας	30.59±0.71
Οργανοληπτικά χαρακτηριστικά κέικ	
Ολική Αποδοχή (DOL)	8.55±0.50
Εμφάνιση	8.00±0.50
Σκληρότητα ψίχας	1.00±0.00
Ευθρυπτότητα ψίχας	1.80±0.20
Αίσθηση αποδόμησης στο στόμα	1.50±0.50
Δυσάρεστο άρωμα (off flavor)	1.50±0.50



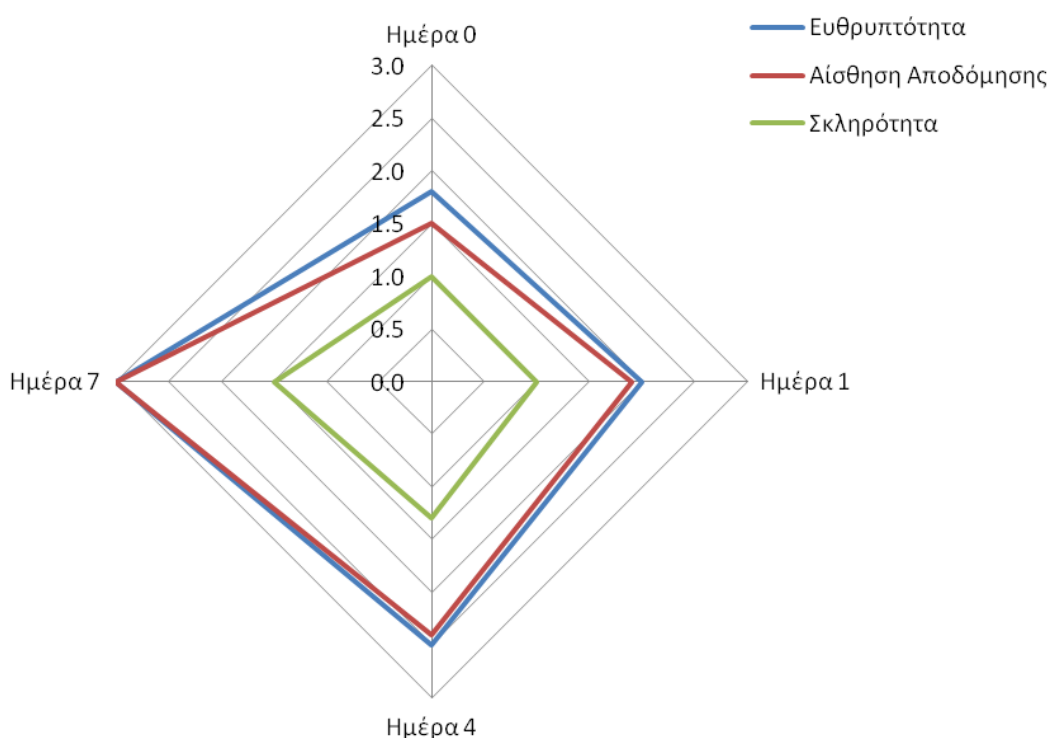
Σχήμα 6.7.4: Μεταβολή της σκληρότητας της ψίχας κέικ εμπλουτισμένου με ίνες βρώμης και ενζυμικά επεξεργασμένα πίτυρα βρώμης, με βάση τη βέλτιστη συνταγή κατά την αποθήκευσή τους στους $25 \pm 1^\circ\text{C}$ και 60% RH για 7 ημέρες.



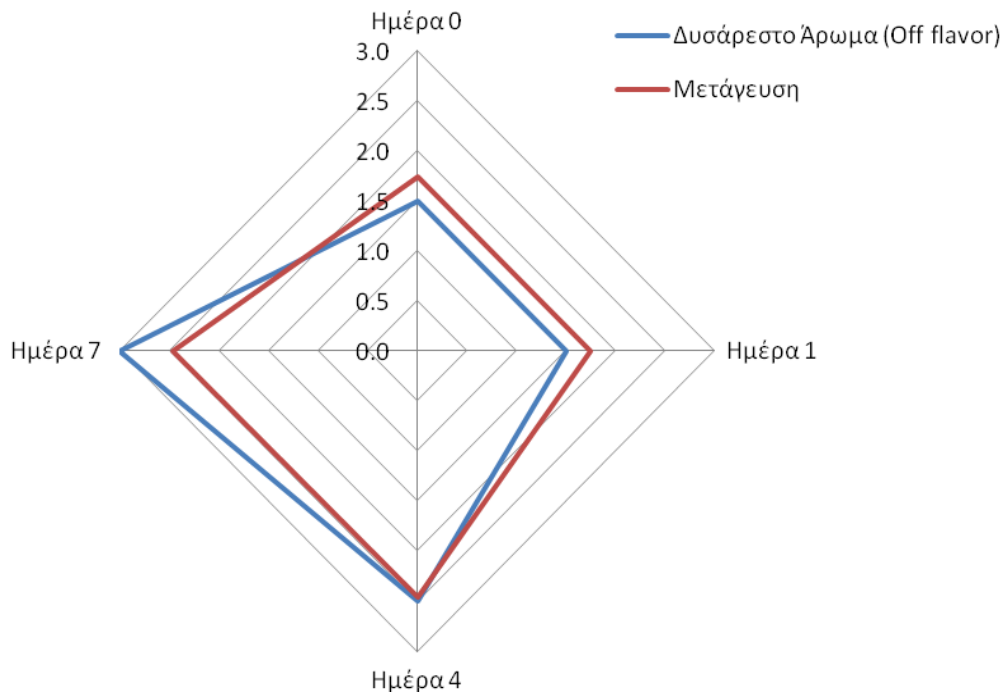
Σχήμα 6.7.5: Μεταβολή της υγρασίας της ψίχας κέικ εμπλουτισμένου με ίνες βρώμης και ενζυμικά επεξεργασμένα πίτυρα βρώμης, με βάση τη βέλτιστη συνταγή κατά την αποθήκευσή τους στους $25 \pm 1^\circ\text{C}$ και 60% RH για 7 ημέρες.



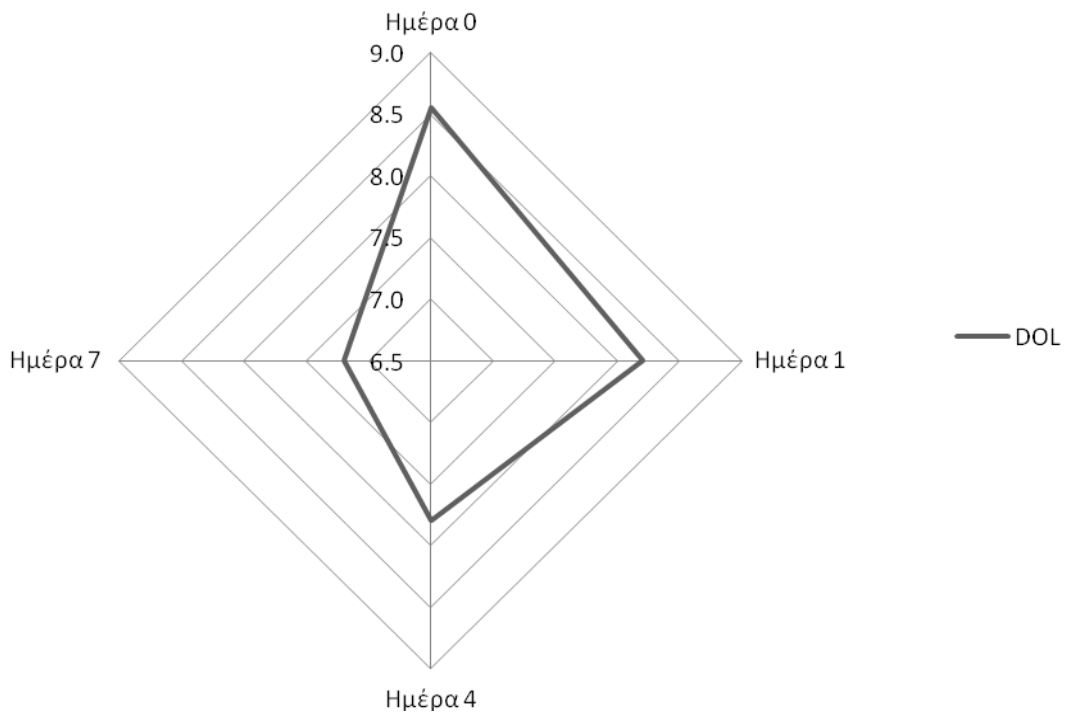
Σχήμα 6.7.6: Μεταβολή της ενεργότητας νερού της ψίχας κέικ εμπλουτισμένου με ίνες βρώμης και ενζυμικά επεξεργασμένα πίτυρα βρώμης, με βάση τη βέλτιστη συνταγή κατά την αποθήκευσή τους στους $25 \pm 1^\circ\text{C}$ και 60% RH για 7 ημέρες.



Σχήμα 6.7.7: Μεταβολή των οργανοληπτικών παραμέτρων υψής της ψίχας κέικ εμπλουτισμένου με ίνες βρώμης και ενζυμικά επεξεργασμένα πίτυρα βρώμης, με βάση τη βέλτιστη συνταγή κατά την αποθήκευσή τους στους $25 \pm 1^\circ\text{C}$ και 60% RH για 7 ημέρες.



Σχήμα 6.7.8: Μεταβολή των οργανοληπτικών παραμέτρων γεύσης κέικ του εμπλουτισμένου με ίνες βρώμης και ενζυμικά επεξεργασμένα πίτυρα βρώμης, με βάση τη βέλτιστη συνταγή κατά την αποθήκευσή τους στους $25 \pm 1^\circ\text{C}$ και 60% RH για 7 ημέρες.



Σχήμα 6.7.9: Μεταβολή της οργανοληπτικής αποδοχής-DOL κέικ εμπλουτισμένου με ίνες βρώμης και ενζυμικά επεξεργασμένα πίτυρα βρώμης, με βάση τη βέλτιστη συνταγή κατά την αποθήκευσή τους στους $25 \pm 1^\circ\text{C}$ και 60% RH για 7 ημέρες.

6.7.3 Συμπεράσματα 7^{ης} σειράς πειραμάτων

Από τα αποτελέσματα της 7^{ης} σειράς πειραμάτων προέκυψε η βέλτιστη συνταγή για παρασκευή κέικ εμπλουτισμένου με ίνες βρώμης και ενζυμικά επεξεργασμένα πίτυρα βρώμης, η οποία περιείχε 15% ίνες βρώμης και 15% ενζυμικά επεξεργασμένα πίτυρα βρώμης. Και οι δύο μεταβλητές επηρέασαν σημαντικά τα ποιοτικά χαρακτηριστικά του προϊόντος. Ειδικότερα προέκυψε ότι με την προσθήκη ινών βρώμης και ενζυμικά επεξεργασμένων πιτύρων βρώμης μέχρι ενός ορίου ο ειδικός όγκος και η ολική αποδοχή του κέικ αυξάνονται, ενώ η σκληρότητα της ψίχας μειώνεται. Για υψηλά ποσοστά προσθήκης (22%) ο ειδικός όγκος και η ολική αποδοχή μειώνεται και η σκληρότητα αυξάνεται. Οι μετρήσιμες τιμές των ανωτέρω ιδιοτήτων του κέικ για τη βέλτιστη συνταγή ήταν 3.263 cm³/g για τον ειδικό όγκο, 3.483 N για τη σκληρότητα της ψίχας και 8.55/9 για την ολική αποδοχή (DOL) και βρέθηκαν πλησίον των προβλεπόμενων τιμών με βάση την RSM.

6.8 8^η Σειρά Πειραμάτων: Μελέτη της αφομοιωσιμότητας του αμύλου και του αναμενόμενου γλυκαιμικού δείκτη (eGI) των εμπλουτισμένων με διαιτητικές ίνες και (επεξεργασμένα και μη) πίτυρα κέικ

Μια από τις σημαντικότερες φυσιολογικές λειτουργίες των διαιτητικών ινών είναι η ικανότητα μείωσης της γλυκαιμικής απόκρισης, που συνδέεται τόσο με το αφομοιώσιμο άμυλο του τροφίμου, όσο και με τον τύπο των διαιτητικών ινών που περιέχονται στο τρόφιμο. Η 8^η σειρά πειραμάτων αφορά στην εξέταση της επίδρασης της προσθήκης συμβατικών (απομονωμένες διαιτητικές ίνες σίτου, βρώμης και κριθαριού) και χαμηλού κόστους (πίτυρα σίτου, ενζυμικά επεξεργασμένα με 70 ppm ενδοξυλανάση και μη επεξεργασμένα πίτυρα βρώμης και ενζυμικά επεξεργασμένα με 70 ppm ενδοξυλανάση και μη επεξεργασμένα πίτυρα ρυζιού) πηγών διαιτητικών ινών, οι οποίες διέφεραν ως προς τη σύσταση και τις περιεχόμενες διαλυτές και αδιάλυτες διαιτητικές ίνες (βλ. πειραματικό μέρος), στο αφομοιώσιμο άμυλο και τον αναμενόμενο γλυκαιμικό δείκτη (expected glycaemic index- eGI) του κέικ.

Προκειμένου να μελετηθούν τα παραπάνω, παρασκευάστηκαν κέικ υποκαθιστώντας το άλευρο με 30% της αντίστοιχης πηγής διαιτητικών ινών καθώς και με το βέλτιστο μίγμα ινών, όπως αυτό εκτιμήθηκε στην προηγούμενη πειραματική σειρά. Στους **Πίνακες 6.8.1** και **6.8.2** που ακολουθούν παρουσιάζεται η συνταγή παρασκευής των κέικ και η κωδικοποίηση των δειγμάτων αντίστοιχα.

Πίνακας 6.8.1 Βασική συνταγή που χρησιμοποιήθηκε στην παρασκευή του κέικ εμπλουτισμένου με διάφορες πηγές διαιτητικών ινών (8^η πειραματική σειρά).

Συστατικό	Ποσοστό (%) επί του βάρους του αλεύρου
Πηγή διαιτητικών ινών	30
Ζάχαρη	90
Λιπαρό	50
Γάλα	65
Αυγά	65
Βανιλίνη	0.2
Όξινο ανθρακικό νάτριο	1.11
Δυσόξινο φωσφορικό ασβέστιο	0.2
Όξινο πυροφωσφορικό νάτριο	1.35

Πίνακας 6.8.2 Κωδικοποίηση των δειγμάτων της 8^{ης} πειραματικής σειράς (μελέτη αφομοιωσιμότητας αμύλου και αναμενόμενου γλυκαιμικού δείκτη κέικ εμπλουτισμένων με διάφορες πηγές διαιτητικών ινών).

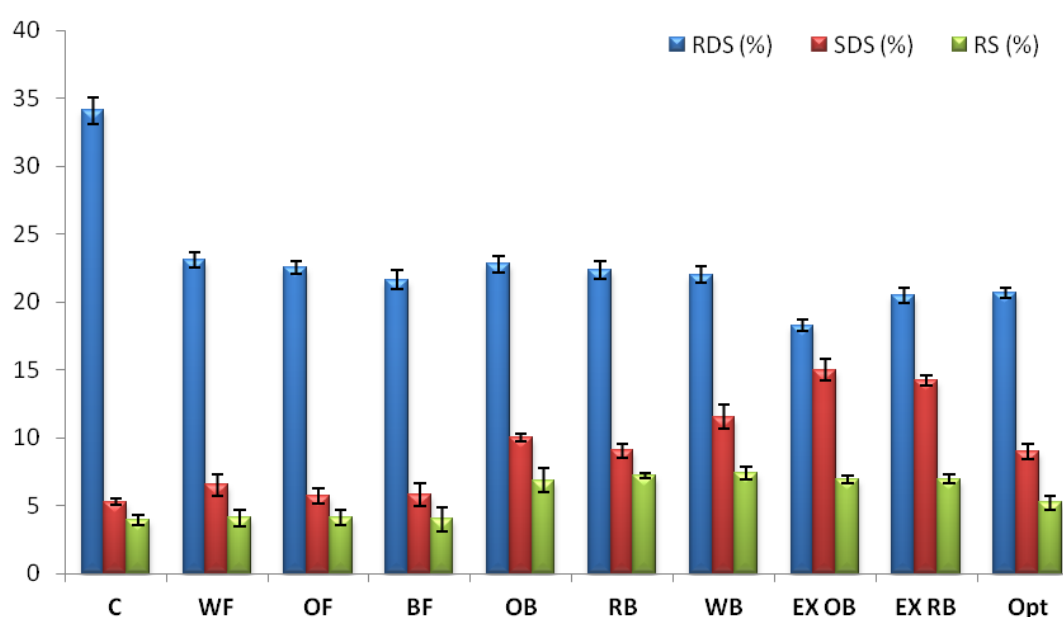
Πηγή Διαιτητικών Ινών	Κωδικός δειγματος
—	C
Διαιτητικές Ίνες Σίτου	WF
Διαιτητικές Ίνες Βρώμης	OF
Διαιτητικές Ίνες Κριθαριού	BF
Πίτυρο Σίτου	WB
Πίτυρο Βρώμης	OB
Ενζυμικά επεξεργασμένο Πίτυρο βρώμης	EX OB
Πίτυρο Ρυζιού	RB
Ενζυμικά επεξεργασμένο Πίτυρο ρυζιού	EX RB
Διαιτητικές ίνες βρώμης/ Ενζυμικά επεξεργασμένο Πίτυρο βρώμης (1/1)	OPT

Η αφομοιωσιμότητα του αμύλου (16 h) (**Σχήμα 6.8.1**) και ο αναμενόμενος γλυκαιμικός δείκτης (**Σχήμα 6.8.2**) εκτιμήθηκαν στο κέικ αναφοράς (χωρίς ίνες) καθώς και στα εμπλουτισμένα με 30% διαιτητικές ίνες κέικ.

6.8.1 Αφομοιωσιμότητα αμύλου

Ποσοτικοποίηση των διατροφικών κλασμάτων του αμύλου, μέσω της *in vitro* αφομοίωσης του αμύλου, αφορούσε το ταχέως αφομοιώσιμο άμυλο (RDS) (20 min), το βραδέως αφομοιώσιμο άμυλο (SDS) (120 min) και το ανθεκτικό άμυλο (RS) (άμυλο που παρέμεινε μετά από την επώαση για 960 min). Το περιεχόμενο RDS, SDS και RS (g/100 g κέικ) κυμάνθηκε από 18.25 μέχρι 34.08, από 15.02 μέχρι 5.27, και από 3.92 μέχρι 7.4, αντιστοίχως (**Σχήμα 6.8.1**). Όπως ήταν αναμενόμενο, τα κέικ που περιείχαν κάποια πηγή διαιτητικών ινών είχαν χαμηλότερο ποσοστό προσβάσιμου αμύλου (και επομένως και χαμηλότερο ποσοστό αφομοιώσιμου αμύλου), λόγω της υποκατάστασης του αλεύρου από την αντίστοιχη πηγή διαιτητικών ινών. Τα κέικ που περιείχαν τις συμβατικές πηγές διαιτητικών ινών έδειξαν μία μικρή σχετικά έκταση υδρόλυσης, ενώ τα κέικ με χαμηλού κόστους πηγές διαιτητικών ινών περιείχαν λιγότερο αφομοιώσιμο άμυλο (RDS+SDS) από ότι το κέικ αναφοράς, αλλά περισσότερο από τα κέικ με συμβατικές πηγές ινών. Επιπροσθέτως, η ενζυμική επεξεργασία των πιτύρων βρώμης και ρυζιού προκάλεσε αύξηση του βραδέως αφομοιώσιμου αμύλου και μείωση του ταχέως αφομοιώσιμου αμύλου, διατηρώντας το ανθεκτικό άμυλο αμετάβλητο. Τη χαμηλότερη τιμή RDS, το υψηλότερο ποσοστό SDS και το μεγαλύτερο ποσοστό RS, που θεωρείται ο βέλτιστος και πιο επιθυμητός από διατροφικής

άποψης συνδυασμός σύμφωνα με τους Englyst et al. (2003), είχε το κέικ με ενζυμικά επεξεργασμένο πίτυρο βρώμης, ενώ όλα τα κέικ με κάποια πηγή διαιτητικών ινών πλησίαζαν περισσότερο σε αυτό, απ' ό,τι στο κέικ αναφοράς. Γενικά, η αφομοιωσιμότητα των πλούσιων σε διαιτητικές ίνες αρτοσκευασμάτων εξαρτάται από την κατανομή μεγέθους σωματιδίων των ινών, την ικανότητα διατήρησης του διαλύτη και τα ρεολογικά χαρακτηριστικά των διαιτητικών ινών, όπως διατυπώθηκε από τους Angioloni & Collar (2011) για την περίπτωση εμπλουτισμένου με διαιτητικές ίνες άρτου.



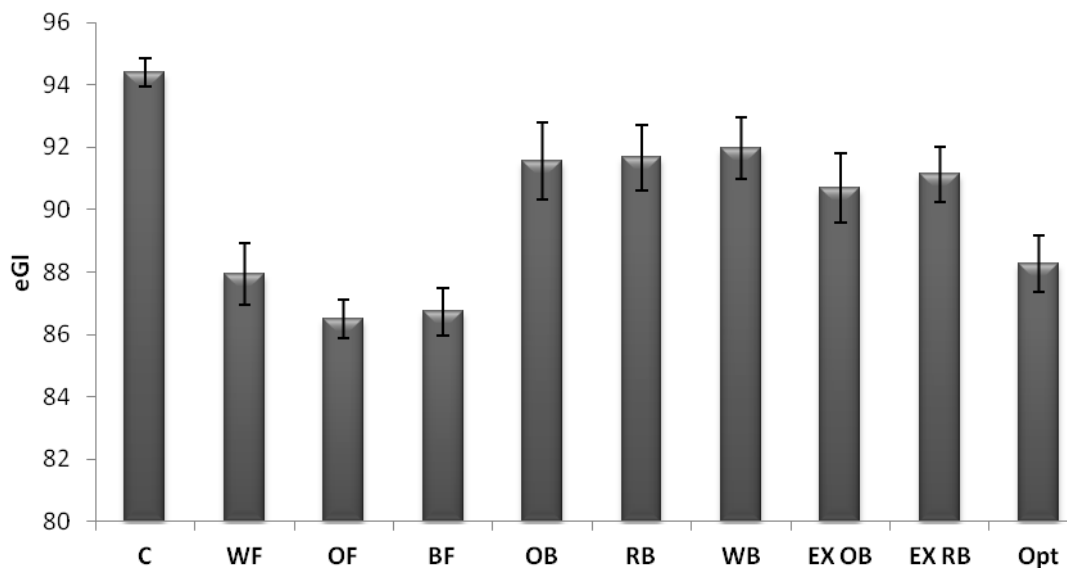
C: Τυφλό δείγμα, BF: Ίνες κριθαριού, OF: Ίνες βρώμης, WF: Ίνες σίτου, WB: Πίτυρα σίτου, RB: Πίτυρα ρυζιού, OB: Πίτυρα Βρώμης, EX OB: Ενζυμικά επεξεργασμένα με 70 rpm ενδοξυλανάσης πίτυρα βρώμης, EX RB: Ενζυμικά επεξεργασμένα με 70 rpm ενδοξυλανάσης πίτυρα ρυζιού, Opt: Βέλτιστο μίγμα (1:1) ινών βρώμης και ενζυμικά επεξεργασμένων με 70 rpm ενδοξυλανάσης πτύρων βρώμης

Οι μπάρες σφάλματος απεικονίζουν την τυπική απόκλιση.

Σχήμα 6.8.1. Επίδραση της προσθήκης διάφορων πηγών διαιτητικών ινών στο ταχέως αφομοιώσιμο (RDS), βραδέως αφομοιώσιμο (SDS) και ανθεκτικό άμυλο (RS) των κέικ.

6.8.2 Αναμενόμενος γλυκαιμικός δείκτης

Η προσέγγιση του γλυκαιμικού δείκτη των κέικ μέσω της *in vitro* υδρόλυσής του, είναι μια τεχνική που χρησιμοποιείται ολοένα και περισσότερο, λόγω της ευκολίας της και των ικανοποιητικών αποτελεσμάτων της. Το μειωμένο αφομοιώσιμο άμυλο που μετρήθηκε στα κέικ με διαιτητικές ίνες προκάλεσε μια αναμενόμενη σημαντική ($P < 0.05$) μείωση στις τιμές του eGI των κέικ. Η ενζυμική επεξεργασία προκάλεσε μια περαιτέρω μικρή μείωση στον eGI των κέικ, η οποία όμως δεν ήταν σημαντική ($P < 0.05$) (Σχήμα 6.8.2).



C: Τυφλό δείγμα, BF: Ύνες κριθαριού, OF: Ύνες βρώμης, WF: Ύνες σίτου, WB: Πίτυρα σίτου, RB: Πίτυρα ρυζιού, OB: Πίτυρα βρώμης, EX OB: Ενζυμικά επεξεργασμένα με 70 ppm ενδοξυλανάσης πίτυρα βρώμης, EX RB: Ενζυμικά επεξεργασμένα με 70 ppm ενδοξυλανάσης πίτυρα ρυζιού, Opt: Βέλτιστο μίγμα (1:1) ινών βρώμης και ενζυμικά επεξεργασμένων με 70 ppm ενδοξυλανάσης πιτύρων βρώμης

Οι μπάρες σφάλματος απεικονίζουν την τυπική απόκλιση

Σχήμα 6.8.2. Επίδραση της προσθήκης διάφορων πηγών διαιτητικών ινών στον αναμενόμενο γλυκαιμικό δείκτη (eGI) των κέικ.

6.8.3 Συμπεράσματα 8^{ης} σειράς πειραμάτων

Η υποκατάσταση αλεύρου του κέικ με συμβατικές και χαμηλού κόστους πηγές διαιτητικών ινών προκάλεσε ελάττωση του αφομοιώσιμου αμύλου και αύξηση του ανθεκτικού αμύλου, επιφέροντας και μείωση του αναμενόμενου γλυκαιμικού δείκτη. Τα κέικ με διαιτητικές ίνες βρώμης και κριθαριού παρουσίασαν το χαμηλότερο eGI.

7. Συμπεράσματα- Προτάσεις

Η παρούσα διατριβή εστίασε στη μελέτη της επίδρασης της προσθήκης διάφορων πηγών διαιτητικών ινών στα ποιοτικά και διατροφικά χαρακτηριστικά και στη διατηρησιμότητα συγκεκριμένων αρτοσκευασμάτων, και ακολούθως στη βελτιστοποίηση των αντίστοιχων εμπλουτισμένων προϊόντων. Ιδιαίτερη βαρύτητα δόθηκε στην παραγωγή κέικ υψηλής ποιότητας με χρήση φτηνών πηγών διαιτητικών ινών, και ενσωμάτωσή τους μετά από ενζυμική επεξεργασία. Η διαδικασία που αναπτύχθηκε και τα αποτελέσματα που ελήφθησαν μπορούν να χρησιμοποιηθούν από την αρτοποιητική βιομηχανία για την παρασκευή χαμηλού κόστους και υψηλής διατροφικής αξίας αρτοσκευασμάτων, με βελτιωμένα οργανοληπτικά χαρακτηριστικά.

Συνοψίζοντας, τα συμπεράσματα που προέκυψαν από τη μελέτη ενσωμάτωσης κάθε κατηγορίας πηγών διαιτητικών ινών στα αντίστοιχα αρτοσκευάσματα είναι τα ακόλουθα:

✓ Απομονωμένες διαιτητικές ίνες (σίτου, βρώμης, κριθαριού και καλαμποκιού)

Ιδιαίτερη προσοχή δόθηκε στις λειτουργικές ιδιότητες των προς ενσωμάτωση ινών που καθορίζουν την ποιότητα του τελικού προϊόντος. Οι χρησιμοποιηθείσες πηγές ινών είχαν παρόμοια ικανότητα διόγκωσης, ικανότητα συγκράτησης νερού και κατανομή μεγέθους σωματιδίων. Η ικανότητα δέσμευσης νερού διέφερε με τις ίνες σίτου να έχουν τη μεγαλύτερη.

Η υποκατάσταση του αλεύρου με απομονωμένες διαιτητικές ίνες γενικά βελτίωσε τα ποιοτικά και οργανοληπτικά χαρακτηριστικά των κέικ και των άρτων ελεύθερων γλουτένης, ενώ παράλληλα αύξησε και το περιεχόμενό τους σε διαιτητικές ίνες. Ειδικότερα τα κέικ με 20% και 30% ίνες σίτου και βρώμης είχαν το μεγαλύτερο όγκο, τη μικρότερη σκληρότητα ψίχας, ικανοποιητική συγκράτηση υγρασίας μετά τον κλιβανισμό, υψηλή βαθμολογία ολικής αποδοχής (όμοια με το τυφλό που ελήφθη ως βέλτιστο) κατά την οργανοληπτική τους αξιολόγηση και επιβραδυσμένη υποβάθμιση των ποιοτικών χαρακτηριστικών κατά την αποθήκευση, ενώ τα αντίστοιχα βέλτιστα αποτελέσματα επιτεύχθηκαν με την προσθήκη ινών καλαμποκιού και βρώμης σε ποσοστό 6 % στο ελεύθερο γλουτένης αρτοσκευάσμα. Αντιθέτως το χαμηλότερο eGI (αναμενόμενο γλυκαιμικό δείκτη) παρουσίασαν τα κέικ με διαιτητικές ίνες βρώμης και κριθαριού. Τέλος, βελτιστοποίηση της συνταγής εμπλουτισμένου άρτου ελεύθερου γλουτένης με ίνες καλαμποκιού έδωσε τα καλύτερα αποτελέσματα στον οργανοληπτικό έλεγχο (κυρίως όσον αφορά την εμφάνιση, το χρώμα και υφή της ψίχας των δειγμάτων), στον ειδικό όγκο, στη σκληρότητα ψίχας και στο χρώμα ψίχας για τα δείγματα που περιείχαν 6.5% ίνες καλαμποκιού.

✓ Πίτυρα σιτηρών (σίτου, βρώμης, ρυζιού)

Η χρήση χαμηλού κόστους πηγών διαιτητικών ινών, όπως στη συγκεκριμένη περίπτωση πίτυρα που αποτελούν παραπροϊόντα αγροτικών βιομηχανιών, είναι ιδανική, αλλά είχε ως αποτέλεσμα την παραγωγή υποβαθμισμένου ποιοτικά κέικ. Ειδικότερα, η υποκατάσταση του αλεύρου του κέικ έως 30% με πίτυρα βρώμης σίτου και ρυζιού επηρέασε αρνητικά τα ποιοτικά και ορισμένα οργανοληπτικά χαρακτηριστικά τους, με τα αντίστοιχα κέικ να χαρακτηρίζονται από συμπαγή δομή, χαμηλό όγκο και χαμηλή βαθμολογία ολικής αποδοχής. Τη μεγαλύτερη αρνητική επίδραση στα παραπάνω χαρακτηριστικά είχε η ενσωμάτωση πιτύρων ρυζιού, λιγότερο της βρώμης και ακόμα λιγότερο του σίτου.

✓ Ενζυμικά επεξεργασμένα πίτυρα ρυζιού και βρώμης

Η ενζυμική επεξεργασία των πιτύρων βρώμης και ρυζιού με ενδοξυλανάση βελτίωσε τις λειτουργικές τους ιδιότητες και τα κατέστησε κατάλληλα για ενσωμάτωση σε αρτοσκευάσματα, βελτιώνοντας τη διατροφική τους αξία, τα ποιοτικά χαρακτηριστικά τους και τη διατηρησιμότητά τους. Ειδικότερα, αυξήθηκε το ποσοστό των διαλυτών διαιτητικών ινών και παρατηρήθηκε μείωση στις ικανότητες συγκράτησης και δέσμευσης νερού τους. Το ιξώδες και η θερμοκρασία ζελατινοποίησης της ζύμης που περιείχε ενζυμικά επεξεργασμένα πίτυρα αυξήθηκε (σε σχέση με τα αντίστοιχα χαρακτηριστικά της ζύμης με μη επεξεργασμένα πίτυρα), ενώ σημειώθηκε βελτίωση του όγκου, του πορώδους, της υφής και των οργανοληπτικών χαρακτηριστικών των αντίστοιχων κέικ. Ακόμα, η ενζυμική επεξεργασία των πιτύρων βρώμης και ρυζιού καθυστέρησε την παλαίωση των κέικ, μέσω επιβράδυνσης του ρυθμού απώλειας υγρασίας και αναδιαμόρφωσης του αμύλου, που είχε ως αποτέλεσμα την επιβράδυνση της σκλήρυνσης της ψίχας του κέικ και της υποβάθμισης των οργανοληπτικών χαρακτηριστικών του κέικ. Με βάση αυτά, αποδείχθηκε ότι ανεκμετάλλευτες πηγές πιτύρων μπορούν να ενσωματωθούν επιτυχώς στα κέικ μετά από ενζυμική επεξεργασία, βελτιώνοντας τη διατροφική τους αξία και τα χαρακτηριστικά τους. Το ποσοστό της ενδοξυλανάσης που χρησιμοποιήθηκε στην ενζυμική επεξεργασία δεν προκάλεσε σημαντικές διαφορές στις ιδιότητες των πιτύρων, στις ιδιότητες των κέικ ή την εξέλιξη των ιδιοτήτων του κέικ κατά την αποθήκευση.

✓ Συνδυασμός απομονωμένων διαιτητικών ινών (βρώμης) και πιτύρων (βρώμης-ενζυμικά επεξεργασμένα)

Η σύνθεση του κέικ με τα βέλτιστα οργανοληπτικά (ολική αποδοχή του κέικ) και ποιοτικά χαρακτηριστικά (ειδικός όγκος, σκληρότητα ψίχας) επιτεύχθηκε με τη χρήση συνδυασμού πηγών χαμηλού κόστους και συμβατικών (15 % ίνες βρώμης και 15 % ενζυμικά επεξεργασμένα πίτυρα βρώμης, κατά βάρος αλεύρου).

Μελέτες που θα μπορούσαν να γίνουν μελλοντικά αφορούν:

- ✓ Μελέτη της επιφανειακής τάσης των φυσαλίδων αέρα στη ζύμη και την πιθανή μεταβολή τους από την προσθήκη ενζυμικά επεξεργασμένων πιτύρων
- ✓ Κλινικές μελέτες *in vivo* προκειμένου να προσδιοριστούν οι διαφορετικές επιπτώσεις των εμπλουτισμένων με ενζυμικά επεξεργασμένα πίτυρα στη φυσιολογία του οργανισμού
- ✓ Δημιουργία κατάλληλων ποιοτικών δεικτών που να επιτρέπουν την αξιολόγηση των δειγμάτων βάσει απλών πειραματικών μετρήσεων (αναλυτικών ή οργανοληπτικών).

Η έρευνα, επίσης, θα μπορούσε να συνεχιστεί με συνδυασμό μεταβολής των ακόλουθων παραγόντων:

- ✓ Είδος αρτοσκευάσματος: μπισκότα, ζυμαρικά, κρουασάν κλπ. που απευθύνονται στο γενικό πληθυσμό ή σε ειδικές ομάδες πληθυσμού (ελεύθερα γλουτένης, ειδικής σύνθεσης για διαβητικούς)
- ✓ Πηγή διαιτητικών ινών: άλευρα άλλων σιτηρών, ψευδοσιτηρών ή οσπρίων, παραπροϊόντα άλλων αγροτικών βιομηχανιών και συνδυασμού τους με υπερσυμπυκνώματα και άλλα εξευγενισμένα προϊόντα (με σκοπό την εξέταση πιθανής συνέργειας)
- ✓ Είδος ενζύμου: ενδοξυλανάσες από άλλη πηγή και συνδυασμό τους

8. Βιβλιογραφία

Κεφάλαιο 2

- Acker**, L. & Becker, G. (1971). Recent studies on the lipids of cereal starches. Part 2. Lipids of various types of starch and their binding to amylose. *Starch*, 23, 419–424.
- Amendola**, J. & Rees, N. (2003). *Understanding Baking-The Art and Science of Baking* (3rd ed.). John Wiley & Sons, USA.
- Bamford**, E.B. (1973b). Eggs and Egg Products. In: *The Technology of Cake Making*. Leonard Hill Books, UK, pp. 28-40.
- Belderok**, B. (2000). Milling of wheat. *Plant Foods for Human Nutrition*, 55 (1), 21-29.
- Bennion**, E.B. & Bamford, G.S.T. (1973). *The Technology of Cake Making* (5th ed.). Chapman & Hall, UK.
- Bennion**, E.B. (2000). *Approved Methods of the American Association of Cereal Chemists* (10th ed.). AACC press, USA.
- Biliaderis**, C.G. (1990). Thermal Analysis of Food Carbohydrates. In: *Thermal Analysis of Foods*, Harwalkar, V.R. & Ma, C. (eds.). Elsevier Applied Science Publishers, UK, pp. 168–220.
- Bornet**, F. (1993). Technological treatments of cereals. Repercussions on the physiological properties of starch. *Carbohydrate Polymers*, 21, 195-203.
- Brooker**, B.E. (1993a). The stabilization of air in cake batters—The role of fat. *Food Structure*, 12, 285–296.
- Brooker**, B.E. (1993b). The stabilization of air in foods containing fat—A review. *Food Structure*, 12, 115–122.
- Cauvain**, S. & Young, L. (2000). *Bakery Food Manufacture and Quality- Water Control and Effects*. Blackwell, UK.
- Cauvain**, S. & Young, L. (2001). *Baking Problems Solved*. Woodhead Publishing Limited, UK.
- Cauvain**, S. & Young, L. (2006). *Baked Products: Science, Technology and Practice*. Blackwell, UK.
- Conde-Petit**, B. (2003). The Structure and Texture of Starch-Based Foods. In: *Texture in Food* (Vol. 1): Semi-Solid Foods, McKenna, B.M. (ed.). Woodhead Publishing Limited, UK, pp. 86-108.
- Conforti**, F.D. & Johnson, J.M. (1992). Use of the farinograph in predicting baking quality of unchlorinated and chlorinated fburs. *Journal of Food Quality*, 15, 333-347.
- Conforti**, F.D. (2006). Cake Manufacture. In: *Bakery Products: Science and Technology*, Hui Y.H. (ed.), Corke, H., De Leyn, I., Nip, W.K. & Cross, N. (associate eds.). Blackwell Publishing, USA, pp. 393-411.

- Dasappa, I. & Rao, G.V. (2008).** Functions of Ingredients in the Baking of Sweet Goods. In: Food Engineering Aspects of Baking Sweet Goods, Sumnu, S.G. & Sahin, S. (eds). CRC Press-Taylor & Francis Group, USA, pp. 31-48.
- Daubert, C.R. & Foegeding, E.A. (2003).** Rheological Principles for Food Analysis. In: Food Analysis (3rd ed.), Nielsen, S.S. (ed.). Springer, Germany.
- Doerry, W. (1995).** Baking Technology-Controlled Baking (Vol.2). American Institute of Baking, USA.
- Edwards, P.W. (2007).** The Science of Bakery Products. Royal Society of Chemistry Publishing, UK.
- Eliasson, A.C. & Gudmundsson, M. (2006).** Starch: Physicochemical and Functional Aspects. In: Carbohydrates in Food (2nd ed.), Eliasson, A.C. (ed.). CRC Press-Taylor & Francis Group, USA, pp. 391-469.
- Fellows, P. (2000).** Food Processing Technology. Principles and Practice (2nd ed.). Woodhead Publishing Limited, UK.
- Fessas, D. & Schiraldi, A. (1998).** Texture and staling of wheat bread crumb: effects of water extractable proteins and pentosans. *Thermochimica Acta*, 323, 17-26.
- Fessas, D. & Schiraldi, A. (2000).** Starch gelatinization kinetics in bread dough. DSC investigations on "simulated" baking processes. *Journal of Thermal Analysis and Calorimetry*, 61, 411-423.
- Figoni, P. (2011).** How Baking Works: Exploring the Fundamentals of Baking Science (3rd ed.). John Wiley & Sons, USA.
- Finney, P.L. (1994).** Grain quality: Milling and Baking Requirements for Soft Wheat Products. In: *Cookie Chemistry and Technology*, Kulp, K. (ed.). The American Institute of Baking, USA, pp. 51-87.
- Freeland-Graves, J.H. & Peckham, G.C. (1995).** Foundations of Food Preparation. Prentice Hall, USA.
- Frye, A.M. & Setser, C.S. (1991).** Optimizing texture of reduced-calorie yellow layer cakes. *Cereal Chemistry*, 61, 363-371.
- Fuerst, E.P., Anderson, J.V. & Morris, C.F. (2006).** Delineating the role of polyphenol oxidase in the darkening of alkaline wheat noodles. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 54, 2378-2384.
- Gan, Z., Ellis, P.R. & Schofield, J.D. (1995).** Gas cell stabilisation and gas retention in wheat bread dough. *Journal of Cereal Science*, 21, 215-230.
- Gelinas, P., Roy, G. & Guillet, M. (1999).** Relative effects of ingredients on cake staling based on an accelerated shelf-life test. *Journal of Food Science*, 64, 937-940.

- Goesaert, H., Brijs, K., Veraverbeke, W.S., Courtin, C.M., Gebruers, K. & Delcour, J.A. (2005).** Wheat flour constituents: how they impact bread quality, and how to impact their functionality. *Trends in Food Science & Technology*, 16, 12-30.
- Gómez, M. (2008).** Low-Sugar and Low-Fat Sweet Goods. In: *Food Engineering Aspects of Baking Sweet Goods*, Sumnu, S.G. & Sahin, S. (eds). CRC Press-Taylor & Francis Group, USA, pp. 245-285.
- Gordon, J. & Davis, E. (1998).** Biochemical Processes: Carbohydrate Instability. In: *Food Storage Stability*, Taub, I.A. & Singh, R.P. (eds.). CRC Press-Taylor & Francis Group, USA, pp. 105-125.
- Guy, R.C.E. (1983).** Factors affecting the staling of madeira slab cake. *Journal of the Science of Food and Agriculture*, 34, 477–491.
- Guy, R.C.E., Hodge, D.G. & Robb, J. (1983).** An examination of the phenomena associated with cake staling. FMBRA Report No. 107. CCFRA, UK.
- Hallberg, L.M. & Chinachoti, P. (2002).** A fresh perspective on staling: The significance of starch recrystallization on the firming of bread. *Journal of Food Science*, 67 (3), 1092-1096.
- Hoseney, R.C. (1986).** *Principles of Cereal Science and Technology*. AACC press, USA.
- Hoseney, R.C. & Rogers, D.E. (1990).** The formation and properties of wheat flour doughs. *Critical Reviews in Food Science and Nutrition*, 29 (2), 73-93.
- Hoseney, R.C. (1994).** *Principles of Cereal Science and Technology* (2nd ed.). AACC press, USA.
- Hoseney, R.C. (2000).** A brief survey of gluten proteins and wheat starches. *Plant Foods for Human Nutrition*, 55 (1), 30-39.
- Howard, N.B., Hughes, D.H. & Strobel, R.G.K. (1968).** Function of the starch granule in the formation of layer cake structure. *Cereal Chemistry*, 45, 329–338.
- Hsi-Mei, L. & Tze-Ching, L. (2006).** Bakery Products. In: *Handbook of Food Science, Technology and Engineering* (Vol. 4), Hui, Y.H. (ed.). CRC Press- Taylor & Francis Group, USA.
- Huang, G., Finn, J.W. & Varriano-Marston, E. (1982).** Flour chlorination. II. Effects on water binding. *Cereal Chemistry*, 59 (6), 500-506.
- Karim, A.A., Norziah, M.H. & Seow, C.C. (2000).** Methods for the study of starch retrogradation. *Food Chemistry*, 71, 9-36.
- Kato, A. (1995).** Interactions of Egg White Proteins. In: *Ingredient Interactions: Effects on Food Quality*, Gaonkar, A.G. (ed.). Marcel Dekker, USA, pp. 357-375.
- Köksel, H. & Gökmen, V. (2008).** Chemical Reactions in the Processing of Soft Wheat Products. In: *Food Engineering Aspects of Baking Sweet Goods*, Sumnu, S.G. & Sahin, S. (eds). CRC Press-Taylor & Francis Group, USA, pp. 49-81.
- Kulp, K. & Ponte, J.G. (1990).** *Handbook of Cereal Science and Technology*. Marcel Dekker Inc., New York, USA, pp. 25, 363-378, 385-409, 492-495.
- Matz, S.A. (1989).** *Technology of the Materials of Baking*. Chapman & Hall, UK.

- Matz, S. A.** (1992). *Bakery Technology and Engineering* (3rd ed.). Van Nostrand Reinhold, USA.
- Mohamed, A.A. & Rayas-Duarte, P.** (2003). The effect of mixing and wheat protein/gluten on the gelatinization of wheat starches. *Food Chemistry*, 81, 533-545.
- Moraru, C.I. & Kokini, J.L.** (2003). Nucleation and expansion during extrusion and microwave heating of cereal foods. *Comprehensive Reviews in Food Science and Food Safety*, 2, 120-138.
- Morrison, W.R.** (1978a). Wheat lipid composition. *Cereal Chemistry*, 55, 548–558.
- Morrison, W.R.** (1978b). Stability of wheat starch lipids in untreated and chlorine-treated cake flours. *Journal of the Science of Food and Agriculture*, 29, 365–371.
- Ngo, W.H. & Taranto, M.V.** (1986). Effect of sucrose level on the rheological properties of cake batters. *Cereal Food World*, 31, 317–322.
- Parker, R.** (2003). *Introduction to Food Science*. Delmar - Tomson Leading Inc., USA, pp. 322-324, 330-333.
- Pedersen, B. & Eggum, B.O.** (1983). The influence of milling on the nutritive value of flour from cereal grains. *Plant Foods for Human Nutrition*, 33, 51-61.
- Penfield, M.J. & Campbell, A.M.** (1990). *Experimental Food Science* (3rd ed.). Academic Press Inc., USA.
- Pomeranz, Y.** (1988). Composition and Functionality of Wheat Flour Components. In: *Wheat: Chemistry and Technology* (Vol. II) (3rd ed.), Pomeranz, Y. (ed.). AACC press, USA.
- Pomeranz, Y.** (1988). Soft Wheat Products. In: *Wheat: Chemistry and Technology* (Vol. II) (3rd ed.), Pomeranz, Y. (ed.). AACC press, USA, pp. 219–370.
- Posner, E.S. & Hibbs, A.N.** (1997). *Wheat Flour Milling*. AACC press, USA.
- Pyle, E.J.** (1988). *Baking Science and Technology* (Vol. II). Sosland Publishing Company, USA.
- Qiang, L.** (2005). Understanding Starches and Their Role in Foods. In: *Food Carbohydrates Chemistry, Physical Properties, and Applications*, Cui, S.W. (ed.). CRC Press-Taylor & Francis Group, USA.
- Rao, A.M.** (2003). Phase Transitions, Food Texture and Structure. In: *Texture in Food* (Vol. 1): *Semi-Solid Foods*, McKenna, B.M. (ed.). Woodhead Publishing Limited, UK, pp. 36-62.
- Richardson, G., Langton, M., Bark, A. & Hermansson, A.M.** (2003). Wheat starch gelatinization - the effects of sucrose, emulsifier and the physical state of the emulsifier. *Starch/Stärke*, 55, 150-161.
- Sahi, S.S. & Alava, J.M.** (2003). Functionality of emulsifiers in sponge cake production. *Journal of the Science of Food and Agriculture*, 83, 1419–1429.
- Sahi, S.S.** (2008). Cake Emulsions. In: *Food Engineering Aspects of Baking Sweet Goods*, Sumnu, S.G. & Sahin, S. (eds). CRC Press,-Taylor & Francis Group, USA, pp. 81-98.

- Serpil, S.** (2008). Cake Batter Rheology. In: Food Engineering Aspects of Baking Sweet Goods, Sumnu, S.G. & Sahin, S. (eds). CRC Press-Taylor & Francis Group, USA, pp. 99-121.
- Sinha, N.K., Yamamoto, H. & Ng, P.K.W.** (1997). Effects of flour chlorination on soft wheat gliadins analyzed by reversed-phase high-performance liquid chromatography, differential scanning calorimetry and fluorescence spectroscopy. *Food Chemistry*, 59, 387–393.
- Sontag-Strohm, T., Payne, P.I. & Salovara, H.** (1996). Effect of allelic variation of glutenin subunits and gliadins on baking quality in the progeny of two biotypes of bread wheat. *Cereal Foods World*, 24, 115- 124.
- Spies, R.D. & Kirleis, A.W.** (1978). Effect of free flour lipids on cake baking potential. *Cereal Chemistry*, 55, 699–704.
- Spies, D. & Hoseney, R.C.** (1982). Effect of sugars on starch gelatinization. *Cereal Chemistry*, 59, 128–131.
- Stauffer, C.E.** (1990). *Functional Additives for Bakery Foods*. Springer, USA.
- Stauffer, C.E.** (1996). Fat and Calorie Reduction in Foods. In: *Fats and Oils*. AACC press, USA, pp. 119-127.
- Stauffer, C.E.** (1998). Fats and oils in bakery products. *Cereal Foods World*, 43(3), 120-126.
- Takeda, K.** (1994). Effects of various lipid fractions of wheat flour on expansion of sponge cake. *Cereal Chemistry*, 71, 6–9.
- Tanhehco, J.E., Perry, K.W. & Ngo, W.H.** (2008). Soft Wheat Quality. In: *Food Engineering Aspects of Baking Sweet Goods*, Sumnu, S.G. & Sahin, S. (eds). CRC Press-Taylor & Francis Group, USA, pp. 1-30.
- Tireki, S.** (2008). Technology of Cake Production. In: *Food Engineering Aspects of Baking Sweet Goods*, Sumnu, S.G. & Sahin, S. (eds). CRC Press-Taylor & Francis Group, USA, pp. 149-158.
- Τσιάρας, Ν.** (1984). Ποιοτικός έλεγχος τροφίμων Φ/Π Ι. Οργανισμός Εκδόσεως Διδακτικών Βιβλίων, Ελλάδα, σελ. 18-20, 27-28, 56, 67-71, 102, 171
- Vali, N.S.S.A. & Choudhary, P.N.** (1990). Quality characteristics of cakes prepared from different fats and oil. *Journal of Food Science and Technology*, 27, 400–401.
- Van der Maarel, M.J.E.C., Van der Veen, B., Uitdehaag, J.C.M., Leemhuis, H. & Dijkhuizen, L.** (2002). Properties and applications of starch-converting enzymes of the α -amylase family. *Journal of Biotechnology*, 94, 137-155.
- Wainwright, B.** (1999). Oils and fats for the baking industry. *Cereal Foods World*, 44(3), SR 16-19
- Wang, P.J.** (2000). Properties of Fats and Oils. In: *Introduction to Fats and Oils Technology* (2nd ed.), O'Brien, R.D., Farr, W.E. & Wan, P.J. (eds.). AOCS Press, UK, pp. 20–48.

Weibiao, Z. & Therdthai, N. (2008). Heat and Mass Transfer during Baking of Sweet Goods. In: Food Engineering Aspects of Baking Sweet Goods, Sumnu, S.G. & Sahin, S. (eds). CRC Press-Taylor & Francis Group, USA, pp. 173-190.

Whistler, R.L. & BeMiller, J.N. (1997). Carbohydrate Reactions. In: Carbohydrate Chemistry for Food Scientists. Eagan Press, USA, pp. 37-40.

Willhoft, E.M.A. (1973). Mechanism and theory of staling of bread and baked goods, and associated changes in textural properties. *Journal of Texture Studies*, 4, 292–322.

Zobel, H.F. (1984). Gelatinization of Starch and Mechanical Properties of Starch Pastes. In *Starch: Chemistry and Technology* (2nd ed.), Whistler, R.L., Bemiller, J.N. & Paschall, E.F. (eds.). Academic Press Inc., UK, pp. 285-309.

Zobel, H.F. & Kulp, K. (1996). The Staling Mechanism. In: *Baked Goods Freshness*, Hebeda, E. & Zobel, H.F. (eds). Marcel Dekker, USA, pp. 1–64.

Κεφάλαιο 3

AACC (2001). The definition of dietary fiber. *Cereal Foods World*, 46 (3), 112-126.

Akalin, A.S. & Erisir, D. (2002). Effects of inulin and oligofructose on the rheological characteristics and probiotic culture survival in low-fat probiotic ice cream. *Journal of Food Science*, 73, 184-188.

Akin, M. B., Akin, M. S. & Kirmaci, Z. (2007). Effects of inulin and sugar levels on the viability of yogurt and probiotic bacteria and the physical and sensory characteristics in probiotic ice-cream. *Food Chemistry*, 104, 93-99.

Åman, P., Rimsten, L. & Andersson, R. (2004). Molecular weight distribution of β -glucan in oat-based foods. *Cereal Chemistry*, 81, 356-360.

Andersson, R. & Aman, P. (2001). Cereal Arabinoxylan: Occurrence, Structure, and Properties. In: *Advanced Dietary Fibre Technology*, McCleary, B.V. & Prosky, L. (eds.). Blackwell Science, UK, pp. 301–314.

Anderson, J.W., Akanji, A.O. & Randles, K.M. (2001). Treatment of Diabetes with High-Fiber Diets. In: *CRC Handbook of Dietary Fiber in Human Nutrition* (3rd ed.), Spiller, G.A. (ed.). CRC Press, USA, pp. 373-400.

Andersson, L., Andersson, R., Andersson, R.E., Rydberg, U., Larsson, H. & Aman, P. (2002). Characterisation of the in vitro products of potato starch branching enzymes I and II. *Carbohydrate Polymers*, 50 (3), 249-257.

Andersson, R., Eliasson, C., Selenare, M., Kamal-Eldin, A. & Aman, P. (2003). Effect of endoxylanase containing enzyme preparations and laccase on the solubility of rye bran arabinoxylan. *Journal of the Science of Food and Agriculture*, 83, 617–623.

- Andersson, R., Westerlund, E. & Åman, P. (2006).** Cell-Wall Polysaccharides: Structural, Chemical, and Analytical Aspects. In: *Carbohydrates in Food* (2nd ed.), Eliasson, A.C. (ed.). CRC Press-Taylor & Francis Group, USA, pp. 129-167.
- Annison, G. & Topping, D.L. (1994).** Nutritional role of resistant starch: chemical structure vs. physiological function. *Annual Reviews in Nutrition*, 14, 297–320.
- Arnoldi, A. (2004).** Grain Legumes and the Prevention of Cardiovascular Disease. In: *Functional Foods, Cardiovascular Disease and Diabetes*, Arnoldi, A. (ed.). Woodhead Publishing Limited -CRC Press LLC, UK, pp. 422-448.
- Arrigoni, E. (2001).** Enzymatic Modification of Dietary Fiber Sources. In: *Handbook of Dietary Fiber*, Dreher, M.L. & Cho, S.S. (eds.). Marcel Dekker, USA, pp.269-280.
- Asp, N.G. (1990).** Raw Materials Naturally Rich in Fibre Versus Fibre Concentrates/Isolates in Food Production. In: *Dietary Fibre: Chemical and Biological Aspects*, Southgate, D.A.T., Waldron, K., Johnson, I.T. & Fenwick, G.R. (eds.). The Royal Society of Chemistry, AFRC Institute of food research, UK, pp. 327-336.
- Asp, N.G. (1992).** Resistant starch. Proceedings from the second plenary meeting of EURESTA: European FLAIR Concerted Action No. 11 on physiological implications of the consumption of resistant starch in man. *European Journal of Clinical Nutrition*, 46 (Suppl 2): S1.
- Asp, N.G., Schweizer, T.F., Southgate, D.A.T. & Theander, O. (1992).** Dietary Fibre Analysis. In: *Dietary Fibre: A Component of Food*, Schweizer, T.F. & Edwards, C.A. (eds). ILSI Human Nutrition Reviews, Springer-Verlag, London, pp. 57–101.
- Aufret, A., Ralet, M.C., Guillon, F., Barry, J.L. & Thibault, J.F. (1994).** Effect of grinding and experimental conditions on the measurement of hydration properties of dietary fibres. *LWT - Food Science and Technology*, 27, 166-172.
- Awika, J.M. & Rooney, L.W. (2004).** Sorghum phytochemicals and their potential impact on human health. *Phytochemistry*, 65, 1199–1221.
- Bacic, A., Harris, P.J. & Stone, B. (1988).** Structure and Function of Plant Cell Walls. In: *The Biochemistry of Plants. A Comprehensive Treatise* (Vol. 14), Carbohydrates, Preiss, J., (ed.). Academic Press, UK, p. 297-372.
- Baghurst, P.A. & Baghurst, K.I. (2001).** Dietary Fiber and Breast Cancer Epidemiology. In: *Handbook of Dietary Fiber*, Dreher, M.L. & Cho, S.S. (eds.). Marcel Dekker, USA, pp. 89-99.
- Baik, B.K. & Ullrich, S.E. (2008).** Barley for food: Characteristics, improvement, and renewed interest. *Journal of Cereal Science*, 48, 233–242.
- Bao, B. & Chang, K.C. (1994).** Carrot pulp chemical composition, color, and water-holding capacity as affected by blanching. *Journal of Food Science*, 59 (6), 1159–1161.
- Baray, S. (2009).** Acacia Gum. In: *Fiber Ingredients Food Applications and Health Benefits*, Cho, S. S. & Samuel, P. (eds.). CRC Press-Taylor & Francis Group, USA, pp. 121-134.

- Barsby, T.L., Donald, A.M. & Frazier, P.J. (2001).** Starch: Advances in Structure and Function. Royal Society of Chemistry, UK.
- Bauer, B.A., Wiehle, T. & Knorr, D. (2005).** Impact of high hydrostatic pressure treatment on the resistant starch content of wheat starch. *Starch*, 57, 124.
- Bednar, G.E., Patil, A.R., Murray, S.M., Grieshop, C.M., Merchen, N.R. & Fahey, G.C.Jr. (2001).** Starch and fiber fractions in selected food and feed ingredients affect their small intestinal digestibility and fermentability and their large bowel fermentability *in vitro* in a canine model. *Journal of Nutrition*, 131 (2), 276–286.
- BeMiller, J.N. (1973).** Industrial Gums: Polysaccharides and their Derivatives. In: Quince Seed, Psyllium Seed, Flax Seed, and Okra Gums, Whistler, R.L. & BeMiller, J.N. (eds). Academic Press, USA, pp. 339–367.
- Berry, C. (1985).** Putting a figure on dietary fibre. *Nutrition and Food Science*, 85 (2), 8-10.
- Berti, C., Riso, P., Brusamolino, A. & Porrini, M. (2005).** Effect on appetite control of minor and pseudocereal products. *British Journal of Nutrition*, 94, 850-858.
- Bertin, C., Rouau, X. & Thibault, J.F. (1988).** Structure and properties of sugar beet fibres. *Journal of the Science of Food and Agriculture*, 44, 15–29.
- Best, R.B., Jackson, G.E. & Naidoo, K.J. (2002).** Modeling the α -(1-6) branch point of amylopectin in solution. *Journal of Physical Chemistry B*, 106 (19), 5091-5098.
- Bhatty, R.S. (1994).** Non Malting Uses of Barley. In: Barley: Chemistry and Technology, MacGregor, A.G. & Bhatty, R.S. (eds.). AACC Press, USA, pp. 355-418.
- Bhatty, R.S. (1995).** Hull-less barley bran: A potential new product from an old grain. *Cereal Foods World*, 40, 819–824.
- Bhatty, R.S. (1996).** Methods for extracting cereal β -glucans. U.S. Patent 5,518,710.
- Bhatty, R.S. & Rossnagel, B.D. (1998).** Comparison of pearled and unpearled Canadian and Japanese barleys. *Cereal Chemistry*, 75, 15–21.
- Biely, P., Vrsanska, M., Tenkanen, M. & Kluepfel, D. (1997).** Endo- β -1,4-xylanase families: differences in catalytic properties. *Journal of Biotechnology*, 57, 151–166.
- Biely, P. (2003).** Xylanolytic Enzymes. In: Handbook of Food Enzymology, Whitaker, J.R., Voragen, A.G.J. & Wong, D.W.S. (eds.). CRC Press-Taylor & Francis Group, USA, pp. 879-916.
- Biliaderis, C.G., Saulnier, L., Marot, C., Chanliaud, E. & Thibault, J.-F. (1995b).** Cell wall polysaccharide interactions in maize bran. *Carbohydrate Polymers*, 26, 279-287.
- Birkett, A.M. & Brown, I.L. (2008).** Resistant Starch and Health. In: Technology of Functional Cereal Products, Hamaker, B.R. (ed.). Woodhead Publishing Limited, UK, pp. 63-85.
- Bjorck, I., Nyman, M., Pedersen, B., Siljestrom, M., Asp, N.G. & Eggum, B. O. (1986).** On the digestibility of starch in wheat bread - Studies *in vitro* and *in vivo*. *Journal of Cereal Science*, 4 (1), 1-11.

- Bjorck, I., Eliasson, A.C., Drews, A., Gudmundsson, M. & Karlsson, R. (1990).** Some nutritional properties of starch and dietary fiber in barley genotypes containing different levels of amylose. *Cereal Chemistry*, 67, 327–333.
- Black, R.M. (1996).** Wheat Bran, Colon Cancer, and Breast cancer. In: *Dietary Phytochemistry in Cancer Prevention and Treatment*. Plenum Press, USA, pp. 221–229.
- Blakeney, B. (1996).** Rice. In: *Cereal Grain Quality*, Henry, R.J. & Kettlewell, P.S. (eds.). Chapman & Hall, UK, pp. 55-76.
- Bodner, J. & Cho, S.S. (2009).** Oat Fiber from Oat Hull. In: *Fiber Ingredients Food Applications and Health Benefits*, Cho, S. S. & Samuel, P. (eds.). CRC Press-Taylor & Francis Group, USA, pp. 249-263.
- Bollinger, H. (1996).** Wheat fiber- A special type of dietary fiber. *International Food Marketing and Technology*, 10(2), 16-17.
- Bonafaccia, G., Marocchini, M. & Kreft, I. (2003).** Composition and technological properties of the flour and bran from common and tartary buckwheat. *Food Chemistry*, 80, 9-15.
- Boyer, C.D. & Shannon, J.C. (1991).** Carbohydrates of the Kernel. In: *Corn: Chemistry and Technology*, Watson, S.A. & Rmestad, P.E. (eds.). AACC Press, USA, pp. 289-312.
- Braddock, R.J. & Graumlich, T.R. (1980).** Composition of fibre from citrus peel, membranes, juice vesicles and seeds. *LWT - Food Science and Technology*, 14, 229-231.
- Brennan, C.S. (2005).** Dietary fiber, glycemic index and diabetes. *Molecular Nutrition and Food Research*, 49, 560–570.
- Brett, C.T. & Waldren, K. (1996).** *Physiology and Biochemistry of Plant Cell Walls*. Chapman and Hall, UK.
- Broekaert, W.F., Courtin, C.M., Verbeke, K., Van de Wiele, T., Verstraete, W. & Delcour, J.A. (2011).** Prebiotic and other health-related effects of cereal-derived arabinoxylans, arabinoxylan-oligosaccharides and xylooligosaccharides. *Critical Reviews in Food Science and Nutrition*, 51, 178–194.
- Brouns, F., Adam-Perrot, A., Atwell, B. & Von Reding, W. (2010).** Nutritional and Technological Aspects of Wheat Aleurone Fibre: Implications for Use in Food. In: *Dietary fibre: New Frontiers for Food and Health*, Van der Kamp, J.W, Jones, J., McCleary, B. & Topping, D. (eds.). Wageningen Academic Publishers, the Netherlands, pp. 395-413.
- Brown, I.L. McNaught, K.J. & Moloney, E. (1995).** Hi-maize: new directions in starch technology and nutrition. *Food Australia*, 46, 272–275.
- Brown, I.L., Rosner, B., Willett, W.W. & Sacks, F.M. (1999).** Cholesterol-lowering effects of dietary fiber: a meta-analysis. *American Journal of Clinical Nutrition*, 69, 30-42.
- Brown, I.L. (2004).** Applications and uses of resistant starch. *J.O.A.C International*, 87, 727-732.

- Buckley**, J.D., Coates, A.M., Randal, P. & Howe C. (2009). Alpha-cyclodextrin. In: *Fiber Ingredients Food Applications and Health Benefits*, Cho, S. S. & Samuel, P. (eds.). CRC Press-Taylor & Francis Group, USA, pp. 9-19.
- Buleon**, A., Colonna, P., Planchot, V. & Ball, S. (1998). Starch granules: structure and biosynthesis. *International Journal of Biological Macromolecules*, 23 (2), 85-112.
- Burkitt**, D.P. (1971). The epidemiology of cancer of the colon and rectum. *Cancer*, 28, 3-13.
- Burkitt**, D.P. (1971). The aetiology of appendicitis. *British Journal of Surgery*, 58, 695-699.
- Burkitt**, D.P. & Trowell, H.C. (1975). *Refined Carbohydrates Foods and Disease: Implication of Dietary Fiber*. Academic Press, UK.
- Burkitt**, D.P. (1983). The Development of the Fibre Hypothesis. In: *Dietary Fibre*, Birch, G.G. & Parker, K.J. (eds.). Applied Science Publishers, UK, pp. 21–27.
- Butt**, M.S., Tahir-Nadeem, M., Ahmad, Z. & Sultan, M.T. (2008). Xylanases and their applications in baking industry. *Food Technology and Biotechnology*, 46 (1), 22–31.
- Caldwell**, E.F., Dahl, M., Fast, R.B. & Seibert, S.E. (1990). Hot cereals. In: *Breakfast Cereals and How They Are Made*, Fast, R.B., Caldwell, E.F. (eds.). AACC press, USA, pp. 243–272.
- Cameron-Smith**, D. & Collier, G.R. (2001). Dietary Fiber and Glucose Metabolism and Diabetes. In: *Handbook of Dietary Fiber*, Dreher, M.L. & Cho, S.S. (eds.). Marcel Dekker, USA.
- Camire**, M.E. & Flint, S.I. (1991). Thermal processing effects on dietary fiber composition and hydration capacity in corn meal, oat meal and potato peels. *Cereal Chemistry*, 68, 645-647.
- Camire**, M.E., Violette, D., Dougherty, M.P. & McLaughlin, M.A. (1997). Potato peel dietary fiber composition: Effects of peeling and extrusion cooking processes. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 45 (4), 1404–1408.
- Camire**, M.E. (1999). Chemical and Physical Modification of Dietary Fibre. In: *Complex Carbohydrates in Foods*, Cho, S.S., Prosky, L. & Dreher, M. (eds.). Marcel Dekker, USA, pp. 373-384.
- Caprez**, A., Arrigoni, E., Amado, R. & Zeukom, H. (1986). Influence of different types of thermal treatment on the chemical composition and physical properties of wheat bran. *Journal of Cereal Science*, 4, 233–239.
- Caprez**, A., Arrigoni, E., Neukom, H. & Amado, R. (1987). Improvement of the sensory properties of two different dietary fiber sources through enzymatic modification. *LWT - Food Science and Technology*, 20, 245–250.
- Carpita**, N.C. & Gibecut, D.M. (1993). Structural models of primary cell walls in flowering plants: consistency of molecular structure with the physical properties of the wall during growth. *Plant Journal*, 3 (1), 1-30.
- Carson**, G.R. & Edwards, N.M. (2009). Criteria of Wheat and Flour Quality. In: *Wheat: Chemistry and Technology* (4th ed.), Khan, K. & Shewry, P.R. (eds.). AACC press, USA, pp. 97-118.

- Cavallero**, A., Empilli, S., Brighenti, F. & Stanca, A.M. (2002). High (1→3, 1→4)-β-glucan barley fractions in bread making and their effects on human glycemc response. *Journal of Cereal Science*, 36, 59-66.
- Champ**, M., Martin, L., Noah, L. & Gratas, M. (1999). Analytical Methods for Resistant Starch. In: *Complex Carbohydrates in Foods*, Cho, S.S., Prosky, L. & Dreher, M. (eds). Marcel Dekker, USA, pp. 373-384.
- Champ**, M. (2004). Resistant starch. In: *Starch in Food*, Eliasson, A.C. (ed.). Woodhead Publishing Ltd, U.K., pp. 560-574.
- Chau**, C.F., Wang, Y.T. & Wen, Y. L. (2007). Different micronization methods significantly improve the functionality of carrot insoluble fibre. *Food Chemistry*, 100, 1402–1408.
- Chen**, H.L., Haack, V.S., Janecky, C.W., Vollendorf, N.W. & Marlett, J.A. (1998). Mechanism by which wheat bran and oat bran increase stool weight in humans. *American Journal of Clinical Nutrition*, 68, 711–719.
- Cheruvanky**, R. (2003). Phytochemical Products: Rice bran. In: *Phytochemical Functional Foods*, Johnson, I. T. & Williamson, G. (eds). Woodhead Publishing Limited- CRC Press, USA, pp. 347-376.
- Chieko**, H. & Okuma, K. (2009). Fibersol®-2 Resistant Maltodextrin: Functional Dietary Fiber Ingredient. . In: *Fiber Ingredients Food Applications and Health Benefits*, Cho, S. S. & Samuel, P. (eds.). CRC Press-Taylor & Francis Group, USA, pp. 61-79.
- Chiu**, C.W., Henley, M. & Altieri, P. (1994). Process for making amylose resistant starch from high amylose starch. US patent 5, 281, 276 .
- Cho**, K.C. & White, P.J. (1993). Enzymatic analysis of β-glucan content in different oat genotypes. *Cereal Chemistry*, 70, 539-542.
- Cho**, S.S. & Prosky, L. (1999). Complex Carbohydrates: Definition and Analysis. In: *Complex Carbohydrates*, Cho, S.S., Prosky, L. & Dreher, M. (eds). Marcel Dekker, USA, pp. 131-144.
- Cho**, S.S., Clark, C. & Rickard, S.E. (2001). Dietary Fiber and Breast Cancer Risk In: *Handbook of Dietary Fiber*, Dreher, M.L. & Cho, S.S. (eds.).Marcel Dekker, USA, pp. 47-88.
- Cho**, S.S. & Clark, C. (2001). Psyllium: Food Applications, Efficacy, and Safety. In: *Handbook of Dietary Fiber*, Dreher, M.L. & Cho, S.S. (eds.).Marcel Dekker, USA, pp. 473-495.
- Cho**, S.S. & Clark, C. (2001). Wheat Bran: Physiological Effects. In: *Handbook of Dietary Fiber*, Dreher, M.L. & Cho, S.S. (eds.).Marcel Dekker, USA, pp. 453-471
- Cho**, S.S. (2009). Functional and Dietary Fibers: An Introduction. In: *Fiber Ingredients Food Applications and Health Benefits*, Cho, S. S. & Samuel, P. (eds.). CRC Press-Taylor & Francis Group, USA, pp. 1-8.
- Christensen**, E.H. (1989). Characteristics of sugarbeet fiber allow many food uses. *Cereal Foods World*, 34, 541-544.

CFR (1998). Code of Federal Regulations 21 (Parts 100 to 169). Government Printing Office, Washington, U.S.A.

Cleave, T.L. (1956). The neglect of natural principles in current medical practice. *Journal of the Royal Navy Medical Service*, 42, 55-83.

Cleave, T.L. & Campbell, G.D. (1966). *Diabetes, Coronary Thrombosis and the Saccharine Disease*. John Wright & Sons, UK.

Collar, C. & Angioloni, A. (2010). An Approach to Structure-Function Relationships of Polymeric Dietary Fibres in Foods: Significance in Breadmaking Applications. In: *Dietary fibre: New Frontiers for Food and Health*, Van der Kamp, J.W., Jones, J., McCleary, B. & Topping, D. (eds.). Wageningen Academic Publishers, the Netherlands, pp. 91-114.

Colonna, P., Leloup, V. & Buleon, A. (1992). Limiting factors of starch hydrolysis. *European Journal of Clinical Nutrition*, 46 (Suppl. 2), S17-S32.

Coughlan, M.P. & Hazlewood, G.P. (1993). β -1,4-D-xylan-degrading enzyme systems: biochemistry, molecular biology and applications. *Biotechnology and Applied Biochemistry*, 17, 259-289.

Courtin, C.M., Roelants, A. & Delcour, J.A. (1999). Fractionation-reconstitution experiments provide insight into the role of endoxylanases in bread-making. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 47, 1870–1877.

Courtin, C.M. & Delcour, J.A. (2001). Relative activity of endoxylanases towards water extractable and water-unextractable arabinoxylan. *Journal of Cereal Science*, 33, 301–312.

Courtin, C.M. & Delcour, J.A. (2002). Arabinoxylans and endoxylanases in wheat flour bread-making. *Journal of Cereal Science*, 35 (3), 225–243.

Coussement, P. (1997). Powerful products. *The World of Ingredients*, pp. 12–17.

Coussement, P. & Franck, A. (2001). Inulin and Oligofructose. In: *Handbook of Dietary Fiber*, Dreher, M.L. & Cho, S.S. (eds.). Marcel Dekker, pp. 721-735.

Craig, S.A.S., Anderson, J.M., Holden, J.F. & Murray, P.R. (1994). Bulking Agents: Polydextrose. *Third International Workshop on Carbohydrates as Organic Raw Materials*, Wageningen, The Netherlands.

Craig, S.A.S., Holden, J.F., Troup, J.P., Auerbach, M.H. & Frier, H.I. (1998.) Polydextrose as soluble fiber: Physiological and analytical aspects. *Cereal Foods World*, 43(5), 370–376.

Craig, S.A.S., Holden, J.F. & Khaled, M.Y. (2001). Determination of polydextrose in foods by ion chromatography: Collaborative study. *Journal of Association of Official Analytical Chemists International*, 84, 472-478.

Cummings, J.H. (1986). The Effect of Dietary Fiber on Fecal Weight and Composition. In: *Handbook of Dietary Fiber in Human Nutrition*, Spiller, G. (ed.). CRC Press, USA, pp. 211–281.

- Darvill, J.E., McNeil, M., Darvill, A.G. & Albersheim, P. (1980).** Structure of plant cell walls. XI. Glucuronoarabinoxylan, a second hemicellulose in the primary cell walls of suspension-cultured sycamore cells. *Plant Physiology*, 66, 1135- 1139.
- Davidson, M. H. & McDonald, A. (1998).** Fiber: Forms and function. *Nutrition Research*, 18, 617–624.
- Dekker, R.F. & Richards, G.N. (1976).** Hemicellulases: their occurrence, purification, properties, and mode of action. *Advances in Carbohydrate Chemistry and Biochemistry*, 32, 277–352.
- Delattre, C., Fenoradoso, T.A. & Michaud, P. (2011).** Galactans: an overview of their most important sourcing and applications as natural polysaccharides. *Brazilian Archives of Biology and Technology*, 54 (6), 1075-1092.
- De Leenheer, L. & Hoebregs, H. (1994).** Progress in the elucidation of the composition of chicory inulin. *Starch*, 46(5), 193–196.
- De Leyn, I. (2006).** Functional Additives. In: *Bakery Products: Science and Technology*, Hui, Y.H. (ed.), Corke, H., De Leyn, I., Nip, W.K. & Cross, N.A. (associate eds.). Blackwell Publishing Ltd, UK, pp. 233-242.
- Delmer, P. (1999).** Cellulose biosynthesis: exciting times for a difficult field of study. *Annual Revision in Plant Physiology and Plant Molecular Biology*, 50, 245-276.
- Dervilly, G., Saulnier, L., Roger, P. & Thibault, J.F. (2000).** Isolation of homogeneous fractions from wheat water-soluble arabinoxylans. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 48, 270-278.
- DeVries, J.W. (2010).** Validating Official Methodology Commensurate with Dietary Fibre Research and Definitions. In: *Dietary Fibre: New Frontiers for Food and Health*, Van der Kamp, J.W., Jones, J., McCleary, B. & Topping, D. (eds.). Wageningen Academic Publishers, The Netherlands, pp. 29-49.
- Dikeman, C.L. & Fahey, Jr. C.F. (2006).** Vcosity as related to dietary fibre: a review. *Critical Reviews in Food Science and Nutrition*, 46, 649-663.
- Diplock, A.T., Agget, P.J., Ashwell, M., Bornet, F., Fern, E.B. & Roberfroid, R. (1999).** Functional food science in Europe, *British Journal of Nutrition*, 81, S1–S27.
- Dohl, G.K., DeMeritt, G.J. & Stempien, K.D. (2006).** Pregelatinized chemically modified resistant starch products and uses thereof, US patent application US 2006/0188631.
- Dorn, V. (1989).** New machinery in oat milling. *Association of Operative Millers Bulletin*, pp. 5493–5502.
- Dornez, E., Joye, I.J., Gebruers, K., Delcour, J.A. & Courtin, C.M. (2006).** Wheat-kernel-associated endoxylanases consist of a majority of microbial and a minority of wheat endogenous endoxylanases. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 54, 4028–4034.
- Dougherty, M., Sombke, R., Irvine, J. & Rao, C.S. (1988).** Oat fibers in low calorie breads, soft type cookies, and pasta. *Cereal Foods World*, 33, 424–427.

- Dreher, M. L.** (1987). *Handbook of Dietary Fiber: An Applied Approach*. Marcel Dekker, USA.
- Dreher, M.** (1999). Food Sources and Uses of Dietary Fiber. In: *Complex Carbohydrates in Foods*, Prosky, L., Cho, S.S. & Dreher, M. (eds.). Marcel Dekker, USA, pp. 327-371.
- Dronnet, V.M., Renard, C.M.G.C., Axelos, M.A.V. & Thibault, J.F.** (1997). Binding of divalent metal cations by sugar-beet pulp. *Carbohydrate Polymers*, 34, 73-82.
- Eckhoff, S.R. & Paulsen, M.R.** (1996). Maize. In: *Cereal Grain Quality*, Henry, R.J. & Kettlewell, P.S. (eds.). Chapman & Hall, UK, pp. 77-112.
- Edney, M.J.** (1996). Barley. In: *Cereal Grain Quality*, Henry, R.J. & Kettlewell, P.S. (eds.). Chapman & Hall, UK, pp. 113-151.
- Edvar, O.** (2001). Alginate: Production, Composition, Physicochemical Properties, Physiological Effects, Safety, and Food Applications. In: *Handbook of Dietary Fiber*, Dreher, M.L. & Cho, S.S. (eds.). Marcel Dekker, USA, pp. 659-674.
- Elleuch, M., Bedigian, D., Roiseux, O., Besbes, S., Blecker, C. & Attia H.** (2011). Dietary fibre and fibre-rich by-products of food processing: Characterisation, technological functionality and commercial applications: A review. *Food Chemistry*, 124, 411–421.
- Ellis, P.R., Wang, Q., Rayment, P., Ren, Y. & Ross-Murphy, S.B.** (2001). Guar Gum: Agricultural and Botanical Aspects, Physicochemical and Nutritional Properties, and Its Use in the Development of Functional Foods. In: *Handbook of Dietary Fiber*, Dreher, M.L. & Cho, S.S. (eds.). Marcel Dekker, USA, pp. 613-657.
- Endress, H.U. & Mattes, F.** (2009). Pectin. In: *Fiber Ingredients Food Applications and Health Benefits*, Cho, S. S. & Samuel, P. (eds.). CRC Press-Taylor & Francis Group, USA, pp. 135-172.
- Englyst H.N., Anderson, V. & Cummings, J.H.** (1983). Starch and non-starch polysaccharides in some cereal foods. *Journal of the Science of Food and Agriculture*, 34, 1434-1440.
- Englyst, H.N. & Cummings, J.H.** (1986). Digestion of the carbohydrates of banana (*Musa paradisiacal sapientum*) in the human small intestine. *American Journal of Clinical Nutrition*, 44, 42-50.
- Englyst, H.N. & Hudson, G.** (1987). Colorimetric method for routine measurement of dietary fibre as non-starch polysaccharides: a comparison with gas–liquid chromatography. *Food Chemistry*, 24, 63-76.
- Englyst, H.N., Trowell, H., Southgate, D.A.T. & Cummings, J.H.** (1987). Dietary fiber and resistant starch. *American Journal of Clinical Nutrition*, 46, 873–874.
- Englyst, H.N. & Kingman, S.M.** (1990). Dietary Fiber and Resistant Starch. A Nutritional Classification of Plant Polysaccharides. In: *Dietary Fiber*, Kritchevsky, D. Bonefield, C. & Anderson, J.A. (eds.). Plenum Publishing Corporation, USA, pp. 49-65.
- Englyst, H.N. & Hudson, G.J.** (1992). Dietary Fber and Starch: Classification and Measurement. In: *Dietary Fiber and Human Nutrition* (2nd ed.), Spiller, G. (ed.). CRC Press, USA, p. 53-71

- Fan, L.T., Lee, Y.H. & Beardmore, D.H. (1980).** Mechanism of enzymatic hydrolysis of cellulose: effects of major structural features of cellulose on enzymatic hydrolysis. *Biotechnology and Bioengineering*, 22, 177-189.
- Fastnaught, C.E. (2001).** Barley Fiber. In: *Handbook of Dietary Fiber*, Dreher, M.L. & Cho, S.S. (eds.). Marcel Dekker, USA, pp. 519-536.
- FDA (2009).** Guide to Nutrition Labeling and Education Act (NLEA) Requirements: Attachment 8- Daily Values for Nutritional Labeling.
- FDA (2011).** Health Claims Meeting Significant Scientific Agreement (SSA), <http://www.fda.gov/food/labelingnutrition/labelclaims/healthclaimsmeetingsignificantscientificagreementssa/default.htm>
- Fenech, M., Clifton, P., Noakes, M. & Topping, D. (2009).** Aleurone Flour: A Novel Wheat Ingredient Rich in Fermentable Fiber, Micronutrients, and Bioavailable Folate. In: *Fiber Ingredients Food Applications and Health Benefits*, Cho, S. S. & Samuel, P. (eds.). CRC Press-Taylor & Francis Group, USA, pp. 439-455.
- Fernandez, M.L. (1998).** Pectin: Composition, Physico-Chemical Properties, Food Applications and Physiological Effects. In: *Handbook of Dietary Fiber*, Dreher, M.L. & Cho, S.S. (eds.). Marcel Dekker, USA, pp. 583-601.
- Fernandez, M.L. (2001).** Soluble fiber and nondigestible carbohydrate effects on plasma lipids and cardiovascular risk. *Current Opinion in Lipidology*, 12 (1), 35-40.
- Fincher, G.B. & Stone, B.A. (1986).** Cell walls and their components in cereal grain technology. *Advances in Cereal Science and Technology*, 8, 207-295.
- Fincher, G.B. (1992).** Cell wall metabolism in barley. In: *Barley: Genetics, Biochemistry, Molecular Biology and Biotechnology*, Shewry, P.R. (ed.). CAB International, UK, pp. 413–437.
- Finocchiaro, E., Birkett, T.E. & Okoniewska, M. Resistant Starch. (2009).** In: *Fiber Ingredients Food Applications and Health Benefits*, Cho, S. S. & Samuel, P. (eds.). CRC Press-Taylor & Francis Group, USA, pp. 205-249.
- Fischer, J. (2009).** Fruit Fibers. In: *Fiber Ingredients Food Applications and Health Benefits*, Cho, S. S. & Samuel, P. (eds.). CRC Press-Taylor & Francis Group, USA, pp. 427-438.
- Fleury, N. & Lahaye, M. (1991).** Chemical and physico-chemical characterisation of fibres from *Lamiaria digitata* (Kombu Breton): A physiological approach. *Journal of the Science of Food and Agriculture*, 55, 389–400.
- Fleury, M.D., Edney, M.J., Campbell, L.D. & Crow, G.H. (1997).** Total, water-soluble and acid-soluble arabinoxylans in western Canadian barleys. *Canadian Journal of Plant Science*, 77, 191–196.
- Foehse, K.B. (1991).** Method of dry milling and preparing high soluble fiber barley fraction. U.S. Pat.5,063,078.

- Fouache**, C., Duflot, P., Looten, P. (inventors), Freres, R. (assignee) (2003). Branched maltodextrins and methods of preparing them, US patent 6,630,586.
- Fox**, G.J. (1997). Food ingredients derived from the viscous barley grain and the process of making. U.S. Pat. 5,614,242.
- Franck**, A. & Bosscher, D. (2009). Inulin. In: *Fiber Ingredients Food Applications and Health Benefits*, Cho, S. S. & Samuel, P. (eds.). CRC Press-Taylor & Francis Group, USA, pp. 41-61.
- Fulcher**, R.G. & Miller, S.S. (1993). Structure of Oat Bran and Distribution of Dietary Fiber Components. In: *Oat Bran*, Wood, P.J. (ed). AACC press, USA, pp. 1–24.
- Fumio**, Y. (2001). Curdlan. In: *Handbook of Dietary Fiber*, Dreher, M.L. & Cho, S.S. (eds.). Marcel Dekker, USA, pp. 737-757.
- Galdeano**, M.C. & Grossmann, M.V.E. (2005). Effect of treatment with alkaline hydrogen peroxide associated with extrusion on color and hydration properties of oat hulls. *Brazilian Archives of Biology and Technology*, 48, 63-72.
- Gee**, J.M., Johnson, I.T. & Lund, E.K. (1992). Physiological properties of resistant starch. *European Journal of Clinical Nutrition*, 46 (Suppl. 2), S125-S131.
- Gelski**, J. (2006). More revelations on resistant starch. *Food Business News*, 7, 50–52.
- Gerard**, C., Colonna, P., Buleon, A. & Planchot, V. (2002). Order in maize mutant starches revealed by mild acid hydrolysis. *Carbohydrate Polymers*, 48, 131-141.
- Gharpuray**, M.M., Lee, Y.H. & Fan, L.T. (1983). Structural modification of lignocellulosics by pretreatments to enhance enzymatic hydrolysis. *Biotechnology and Bioengineering*, 25, 157-172.
- Goesaert**, H., Gebruers, K., Courtin, C.M., Brijs, K. & Delcour, J.A. (2006). Enzymes in Breadmaking. In: *Bakery Products: Science and Technology*, Hui, Y.H. (ed.), Corke, H., De Leyn, I., Nip, W.K. & Cross, N.A. (associate eds.). Blackwell Publishing Ltd, UK, pp. 337-364.
- Gordon**, D.T. (1989). Functional properties vs physiological action of dietary fiber. *Cereal Foods World*, 34 (7), 517-525.
- Gordon**, D.T. & Pellet, L. (1992). Physical and chemical properties of nutrients affecting their absorption and utilization. In: *Physical Chemistry of Foods*, Schwartzberg, H.G. & Hartel, R.W. (eds.). Marcel Dekker Inc., USA, pp. 459-516.
- Gordon**, D.T. & Okuma, K. (2002). Determination of total dietary fiber in selected foods containing resistant maltodextrin by enzymatic- gravimetric method and liquid Chromatography: Collaborative Study. *Journal of Association of Official Analytical Chemists International*, 85, 435-444.
- Gould**, J.M., Jasberg, B.K., Dexter, L.B., Hsu, J.T., Lewis, S.M. & Fahey, G.C. Jr. (1989). High-fiber, noncaloric flour substitute for baked foods. Properties of alkaline peroxide treated lignocelluloses. *Cereal Chemistry*, 66, 201–205.

- Granfeldt**, Y., Liljeberg, H., Anders, D., Newman, R. & Bjorck, I. (1994). Glucose and insulin responses to barley products: influence of food structure and amylose-amylopectin ratio. *American Journal of Clinical Nutrition*, 59, 1075–1082.
- Grigelmo-Miguel**, N. & Martina-Belloso, O. (1999a). Characterization of dietary fibre from orange juice extraction. *Food Research International*, 131, 355–361.
- Gruppen**, H., Kormelink, F.J.M. & Voragen, A.G.J. (1993). Enzymic degradation of water-unextractable cell wall material and arabinoxylans from wheat flour. *Journal of Cereal Science*, 18, 129–143.
- Guillon**, F., Barry, J.L. & Thibault, J.F. (1992). Effect of autoclaving sugar-beet fibre on its physico-chemical properties and its *in vitro* degradation by human faecal bacteria. *Journal of the Science of Food and Agriculture*, 60, 69-79.
- Guillon**, F., Auffret, A. & Robertson, J.A (1998). Relationships between physical characteristics of sugar beet fibre and its fermentability by human fecal flora. *Carbohydrate Polymers*, 37, 185-197.
- Guillon**, F. & Champ, M. (2000). Structural and physical properties of dietary fiber, and consequence of processing on human physiology. *Food Research International*, 33, 233–245.
- Guillon**, F., Champ, M. & Thibault, J.F. (2000). Dietary Fibre Functional Products. In: *Functional foods: Concept to Product*, Gibson, G.R. & Williams, C.M. (eds.). Woodhead Publishing Limited and CRC Press LLC, UK, pp. 315-365.
- Guillon** F., Saulnier, L., Robert, P., Thibault, J.F. & Champ, M. (2007). Chemical Structure and Function of Cell Walls Through Cereal Grains and Vegetable Samples. In: *Dietary Fibre: Components and Functions*, Salovaara, H., Gates, F. & Tenkanen, M. (eds.). Wageningen Academic Publishers, The Netherlands, pp. 31-65.
- Haard**, N.F. & Chism, G.W. (1996). Characteristics of edible plant tissue. In: *Food Chemistry*, Fennema, O. (ed). Marcel Dekker, USA, pp. 943-1013.
- Habibi**, Y., Mahrouz, M. & Vignon, M.R. (2003). Isolation and structure characterization of a (4-Omethyl- D-glucurono)-D-xylan from the skin of *Opuntia ficus-indica* prickly pear fruits. *Journal of Carbohydrate Chemistry*, 22, 331-337.
- Hadimani**, N.A., Muralikrisna, G., Tharanathan, R.N. & Malleshi, N.G. (2001). Nature of carbohydrates and proteins in three pearl millet varieties varying in processing characteristics and kernel texture. *Journal of Cereal Science*, 33, 17–25.
- Hansen**, H.B., Rasmussen, C.V., Bach Knudsen, K.E. & Hansen, Å. (2003). Effect of genotype and harvest year on content and composition of dietary fibre in rye (*Secale cereale* L.) grain. *Journal of the Science of Food and Agriculture*, 83, 76-85.
- Haralampu**, S.G. (2000). Resistant starch — a review of the physical properties and biological impact of RS3. *Carbohydrate Polymers*, 41, 285–292.
- Harland**, B.F. & Narula, G. (2001). Dietary Fiber and Mineral Interaction. . In: *Handbook of Dietary Fiber*, Dreher, M.L. & Cho, S.S. (eds.). Marcel Dekker, USA, pp. 219-225.

- Haros, M., Rosell, C.M. & Benedito, C. (2002).** Effect of different carbohydrases on fresh bread texture and bread staling. *European Food Research and Technology*, 215, 425-430.
- Harris, P.J., Chavan, R.R. & Ferguson, L.R. (2005).** Production and characterization of two wheat- bran fractions: an aleurone-rich and a pericarp-rich fraction. *Molecular Nutrition and Food Research*, 49(1), 536-545.
- Hayashi, T. (1989).** Xyloglucans in the primary cell wall. *Annual Reviews in Plant Physiology and Plant Molecular Biology*, 40, 139-168.
- Heller, S.N., Rivers, J.M. & Hackler, L.R. (1977).** Dietary fibre: the effect of particle size and pH on its measurement. *Journal of Food Science*, 42, 436-439.
- Henley, M. & Chiu, C.W. (1995).** Amylase resistant starch product from debranched high amylose starch. US patent 5, 409, 542.
- Henningson, A.M., Bjorck, I.M.E. & Nyman, E.M.G.L. (2002).** Combinations of indigestible carbohydrates affect short-chain fatty acid formation in the hindgut of rats. *Journal of Nutrition*, 132, 3098–3104.
- Henrissat, B. (1991).** A classification of glycosyl hydrolases based on amino acid sequence similarities. *Biochemical Journal*, 280, 309–316.
- Henry, R.J. (1985).** A comparison of the non-starch carbohydrates in cereal grains. *Journal of the Science of Food and Agriculture*, 36, 1243–1253.
- Henry, R.J. (1986).** Genetic and environmental variation in the pentosan and β -glucan contents of barley, and their relation to malting quality. *Journal of Cereal Science*, 4, 269–277.
- Henry, R.J. (1987).** Pentosan and (1–3), (1–4)- β -glucan concentrations in endosperm and whole grain of wheat, barley, oats and rye. *Journal of Cereal Science*, 6, 253-258.
- Hille, J.D.R. & Schooneveld-Bergmans, M.E.F. (2004).** Hemicellulases and their synergism in breadmaking. *Cereal Foods World*, 49 (5), 283-286.
- Hoebler, C., Barry, J.L., David, A. & Kozlowski, F. (1991).** Enzymatic preparation and analysis of dietary fibre residues, suitable for in vitro fermentation studies. *Food Hydrocolloids*, 5, 35–40.
- Hoebregs, H. (1997).** Fructans in foods and food products, ion-exchange chromatographic method: collaborative study. *Journal of Association of Official Analytical Chemists International*, 80, 1029-1036.
- Holguin-Acuna, A.L., Ramos-Chavira, N., Carvajal-Millan, E., Santana-Rodriguez, V., Rascon-Chui, A. & Nino-Medina, G. (2011).** Non-Starch Polysaccharides in Maize and Oat: Ferulated Arabinoxylans and β -glucans. In: *Flour and Breads and Their Fortification in Health and Disease Prevention*, Preedy, V.R., Watson, R.R. & Patel V. (eds.). AACC Press, USA, pp. 153-159.
- Huffman, F.G. & Shah, Z.C. (1995).** Carrageenans uses in foods and other industries. *Nutrition Today*, 30(6), 246–253.

Inglett, G.E. (1992). Method of making soluble dietary fiber compositions from cereals. U.S. Patent, 5, 082, 673.

Inglett, G.E. (1995). Dietary fiber gels for preparing calorie reduced foods. U.S. Patent application serial number 08/563,834.

Institute of Medicine. (2002). Dietary Reference Intakes for Energy, Carbohydrates, Fiber, Fat, Fatty Acids, Cholesterol, Protein, and Amino Acids. National Academy Press, USA.

Iyengar, R., Zaks, A. & Gross, A. (1991). Starch-derived, food-grade insoluble bulking agent, US patent 5,051,271.

Izydorczyk, M.S., Lagasse, S.L., Hatcher, D.W., Dexter, J.E. & Rossnagel, B.G. (2005). The enrichment of Asian noodles with fiber rich fractions derived from roller milling of hull-less barley. *Journal of the Science of Food and Agriculture*, 85, 2094-2104.

Izydorczyk, M.S. & Biliaderis, C.G. (2007). Arabinoxylans: Technologically and Nutritionally Functional Plant Polysaccharides. In: *Functional Food Carbohydrates*, Biliaderis, C.G. & Izydorczyk, M.S. (eds.). CRC Press Taylor & Francis Group, USA, pp. 249-290.

Jadhav, S.J., Lutz, S.E., Ghorpade, V.M. & Salunkhe, D.K. (1998). Barley: chemistry and value-added processing. *Critical Reviews in Food Science*, 38, 123–171.

Jarvis, M.C., Forsyth, W. & Duncan, H.J. (1988). A survey of the pectin content of non-lignified monocot cell walls. *Plant Physiology*, 88, 309-314.

Jenkins, A.L., Vuksan, V. & Jenkins, D.J.A. (2001). Fiber in the Treatment of Hyperlipidemia. In: *CRC Handbook of Dietary Fiber in Human Nutrition*, Spiller, G.A., (ed.). Marcel Dekker, USA, pp. 401-421.

Jiménez-Escrig, A. & Sánchez-Muniz, F. J. (2000). Dietary fibre from edible seaweeds: Chemical structure, physicochemical properties and effects on cholesterol metabolism. *Nutrition Research*, 20, 585–598.

Johnson, I. T. & Southgate, D.A.T. (1994). Dietary fibre and related substances, Jones & Bartlett Learning, USA.

Jones, J.M. (2008). Fiber, Whole Grains, and Disease Prevention. In: *Technology of Functional Cereal Products*, Hamaker, B. R. (ed.). Woodhead Publishing Limited, UK, pp. 46-62.

Juliano, B.O. & Bechtel, D.B. (1985). The Rice Grain and Its Gross Composition. In: *Rice Chemistry and Technology*, Juliano, B.O. (ed.). AACC press, USA, pp. 17-57.

Juliano, B.O. (1992). Structure, chemistry, and functions of the rice grain and its fractions. *Cereal Foods World*, 37 (10), 772-779.

Kahlon, T.S. & Faye, I. (2001). Rice Bran: Production, Composition, Availability, Healthful Properties, Safety, and Food Applications. In: *Handbook of Dietary Fiber*, Dreher, M.L. & Cho, S.S. (eds.). Marcel Dekker, USA, pp. 543-551.

- Kahlon T.S.** (2009). Rice Bran: Production, Composition, Functionality and Food Applications, Physiological Benefits. In: Fiber Ingredients Food Applications and Health Benefits, Cho, S. S. & Samuel, P. (eds.). CRC Press-Taylor & Francis Group, USA, pp. 305-322.
- Kamal-Eldin, A., Åman, P., Zhang, J.X., Bach Knudsen, K.E. & Poutanen, K.** (2008). Rye bread and other Rye Products. In: Technology of Functional Cereal Products, Hamaker, B.R. (ed.). Woodhead Publishing Limited, UK, pp. 233-260.
- Kapoor, M.P. & Juneja, L.R.** (2009). Partially Hydrolyzed Guar Gum Dietary Fiber. In: Fiber Ingredients Food Applications and Health Benefits, Cho, S. S. & Samuel, P. (eds.). CRC Press-Taylor & Francis Group, USA, pp. 79-120.
- Karppinen, S., Myllymäki, O., Forssell, P. & Poutanen, K.** (2003). Fructan content of rye and rye products, *Cereal Chemistry*, 80, 168–171.
- Katapodis, P., Kavarnou, A., Kintzios, S., Pistola, E., Kekos, D., Macris, B.J. & Christakopoulos, P.** (2002). Production of acidic xylo-oligosaccharides by a family 10 endoxylanase from *Thermoascus aurantiacus* and use as plant growth regulators. *Biotechnology letters*, 24, 1413-1416.
- Kaukovirta-Norja, A. & Lehtinen, P.** (2008). Traditional and Modern Oat-Based Foods. In: Technology of Functional Cereal Products, Hamaker, B.R. (ed). Woodhead Publishing Ltd., UK, pp. 215-232.
- Kaur, L., Singh, J. & Singh, H.** (2009). Characterization of gum Ghatti (*Anogeissus latifolia*): A structural and rheological approach. *Journal of Food Science*, 74, (6), E328–E332.
- Kevin, K.** (1995). A marriage of fiber and flavor. *Food Processing*, 56(9), 83–84.
- Khanna, S., Parrett, A. & Edwards, C.A.** (2006). Nondigestible Carbohydrates: Nutritional Aspects. In: Carbohydrates in Foods, Eliasson, A.C. (ed.). CRC Press-Taylor & Francis Group, USA, pp. 273-303.
- Kindel, P.K., Liao, S.Y., Liske, R. & Olien, CR.** (1989). Arabinoxylans from rye and wheat seed that interact with ice. *Carbohydrate Research*, 187,173-185.
- Klamczynski, A., Baik, B.-K. & Czuchajowska, Z.** (1998). Composition, microstructure, water imbibition, and thermal properties of abraded barley. *Cereal Chemistry*, 75, 677-685.
- Knuckles, B.E. & Chiu, M.** (1995). β -glucan enrichment of barley fractions by air classification and sieving. *Journal of Food Science*, 60, 1070–1074.
- Kormelink, F.J.M., Searle-Van Leeuwen, M.J.F., Wood, T.M. & Voragen, A.G.J.** (1993). Purification and characterization of three endo-beta-xylanases and one beta-xylosidase from *Aspergillus awamori*. *Journal of Biotechnology*, 27, 249–265.
- Kormelink, F.J.M. & Voragen, A.G.J.** (1993). Degradation of different xylans by a combination of purified xylan-degrading enzymes. *Applied Microbiology and Biotechnology*, 38, 688-695.
- Kormelink, F.J.M., Gruppen, H., Vietor, R.J. & Voragen, A.G.J.** (1993). Mode of action of the xylan-degrading enzymes from *Aspergillus awamori* on alkali-extractable cereal arabinoxylans. *Carbohydrate Research*, 249, 355–367.

- Krkošková, B. & Mrázová, Z. (2005).** Prophylactic components of buckwheat. *Food Research International*, 38, 561–568.
- Kunzek, H., Krabbert, R. & Gloyna, D. (1999).** Aspects of material science in food processing: changes in plant cell walls of fruits and vegetables, *European Food Research and Technology*, 208, 233-250.
- Kunzek, H., Muller, S., Vetter, S. & Godeck, R. (2002).** The significance of physicochemical properties of plant cell wall materials for the development of innovative food products. *European Food Research and Technology*, 214, 361-376.
- Larrauri, J.A. (1990).** New approaches in the preparation of high dietary fibre powders from fruit by-products. *Trends in Food Science and Technology*, 10 (1), 3-8.
- Larrea, M.A., Grossmann, M.V.E. & Beleia, A.P. (1997).** Changes in water absorption and swollen volume in extruded alkaline peroxide pretreated rice hulls. *Cereal Chemistry*, 74, 98-101.
- Laurikainen, T., Harkonen, H., Autio, K. & Poutanen, K. (1998).** Effects of enzymes in fiber-enriched baking. *Journal of the Science of Food and Agriculture*, 76, 239–249.
- Law, M.R., Wald, N.J. & Thompson, S.G. (1994).** By how much and how quickly does reduction in serum cholesterol concentration lower risk of ischaemic heart disease. *British Medical Journal*, 308, 367-372.
- Lazaridou, A., Biliaderis, C.G. & Izydorczyk, M.S. (2007).** Cereal β -Glucans: Structures, Physical Properties, and Physiological Functions. In: *Functional Food Carbohydrates*, Biliaderis, C.G. & Izydorczyk, M.S. (eds.). CRC Press Taylor & Francis Group, USA, pp. 1-72.
- Lazaridou, A. & Biliaderis, C. (2007).** Molecular aspects of cereal β -glucan functionality: physical properties, technological applications and physiological effects. *Journal of Cereal Science*, 46, 101–118.
- Lee, S.C., Prosky, L. & DeVries, J.W. (1992).** Determination of total, soluble and insoluble dietary fiber in food enzymatic, gravimetric method, MES-TRIS buffer: collaborative study. *Journal of Association of Official Analytical Chemists International*, 75, 395-416.
- Lee, Y.T. & Chang, H.G. (2004).** The effect of heat treatments on in vitro starch digestibility and resistant starch of selected cereals. *Food Science and Technology*, 13 (6), 810-813.
- Leeman, A.M., Barstroem, L.M. & Bjoerck, I.M.E. (2005).** In vitro availability of starch in heat-treated potatoes as related to genotype, weight and storage time. *Journal of the Science of Food and Agriculture*, 85, 751-756.
- Lehtomaki, I. (1993).** Beta-glucan enriched alimentary fiber. U.S. Patent, 5, 183, 677.
- Lefranc-Millot, C., Wils, D., Roturier, J.M., Le Bihan, C. & Saniez-Degrave, M.H. (2009).** Nutriose® Soluble Fiber. In: *Fiber Ingredients Food Applications and Health Benefits*, Cho, S. S. & Samuel, P. (eds.). CRC Press-Taylor & Francis Group, USA, pp. 19-41.

- Levigne, S., Ralet, M.C. & Thibault, J.F. (2002).**Characterization of pectins extracted from fresh sugar beet under different conditions using an experimental design. *Carbohydrate Polymers*, 49, 145-153.
- Lewandowicz, G. & Soral-Smietana, M. (2004).** Starch modified by iterated syneresis. *Carbohydrate Polymers*, 56, 403-413.
- Li, B.W. & Cardozo, M.S. (1994).** Determination of total dietary fiber in foods and products with little or no starch, nonenzymatic gravimetric method: collaborative study. *Journal of Association of Official Analytical Chemists International*, 77, 687-689.
- Licandro, G. & Odio, C.E. (2002).** Citrus by-Products. In: *Citrus: The Genus Citrus*, Dugo, G. & DiGiacomo, A. (eds.). Taylor & Francis, UK, pp. 159-178.
- Liljeberg-Elmstahl, H. (2002).**Resistant starch content in a selection of starchy foods on the Swedish market. *European Journal of Clinical Nutrition*, 56(6), 500-505.
- Lineback, D.R. & Rasper, V.F. (1988).** Wheat Carbohydrates. In: *Wheat: Chemistry and Technology* (3rd ed.) (Vol. 1), Pomeranz, Y. (ed.). AACC Press, USA, pp. 277-372.
- Livesey, G. & Tagami, H. (2010).** The Significant Impact of a Low Viscous Fibre on Glycaemic Response. In: *Dietary fibre: New Frontiers for Food and Health*, Van der Kamp, J.W., Jones, J., McCleary, B. & Topping, D. (eds.). Wageningen Academic Publishers, the Netherlands, pp. 475-491.
- Louka, N. & Allaf, K. (1998).** Improvement of the Quality of Dried Vegetable Product by Controlled Instantaneous Decompression. In: *Functional Properties of Non-digestible Carbohydrates*, Guillon, F., Amado, R., Amara-Collaco, M.T., Andersson, H., Asp, N.G., Bach Knudsen, K.E., Champ, M., Mathers, J., Robertson, J.A., Rowland, I. & Van Loo, J., (eds.). INRA, Nantes, pp. 81-82.
- Lupton, J.R. (2010).** Codex Definition of Dietary Fibre and Issues Requiring Resolution. In: *Dietary fibre: New Frontiers for Food and Health*, Van der Kamp, J.W., Jones, J., McCleary, B. & Topping, D. (eds.). Wageningen Academic Publishers, the Netherlands, pp.15-25-79.
- Maat, J., Roza, M., Verbakel, J., Stam, H., Santos da Silva, M., Bosse, M., Egmond, M., Hagemans, M., van Gorcom, R., Hessing, J., vanden Hondel, C. & Van Rotterdam, C. (1992).** Xylanases and Their Application in Bakery. In: *Xylans and Xylanases*, Beldman, V.J., Kusters, G., Van Someren, M. & Voragen, A. (eds.). Elsevier, The Netherlands, pp. 349–360.
- MacGrecor, A.W. & Fincher, G.B. (1994).** Carbohydrates of the Barley Grain. In: *Barley: Chemistry and Technology*, MacGrecor, A.G. & Bhatta, R.S. (eds.). AACC Press, USA, pp. 73-130.
- MacDougall, A.J. & Selvendran, R.R. (2001).** Chemistry, Architecture, and Composition of Dietary Fiber from Plant Cell Walls. In: *Handbook of Dietary Fiber*, Dreher, M.L. & Cho, S.S. (eds.).Marcel Dekker, USA, pp. 281-319.
- Mahadevamma, S., Prashanth, K.V.H. & Tharanathan, R.N. (2003).** Resistant starch derived from processed legumes-purification and structural characterization. *Carbohydrate Polymers*, 54, 215-219.

- Malkki, Y.** (2001). Oat Fiber: Production, Composition, Physicochemical Properties, Physiological Effects, Safety, and Food Applications. In: Handbook of Dietary Fiber, Dreher, M.L. & Cho, S.S. (eds.). Marcel Dekker, USA, pp. 497-517.
- Marconi, E., Graziano, M. & Cubadda, R.** (2000). Composition and utilization of barley pearling by-products for making functional pastas rich in dietary fiber and beta-glucans. *Cereal Chemistry*, 77, 133-139.
- Mares, D.J. & Stone, B.A.** (1973). Studies on wheat endosperm I. Chemical composition and ultrastructure of the cell walls. *Australian Journal of Biological Sciences*, 26, 793-812.
- Marlett, J.A.** (1993). Comparisons of Dietary Fiber and Selected Nutrient Composition of Oat and other Grain Fractions. In: Oat Bran, Wood, P. J. (ed.). AACC press, USA, pp. 49–82.
- Marlett, J.A., Hosig, K.B., Vollendorf, N.W., Shinnick, F.L., Haack, V.S. & Story, J.A.** (1994). Mechanism of serum cholesterol reduction by oat bran. *Hepatology*, 20, 1450-1457.
- Marlett, J.A.** (2001). Dietary Fiber and Cardiovascular Disease In: Handbook of Dietary Fiber, Dreher, M.L. & Cho, S.S. (eds.). Marcel Dekker, USA, pp. 17-25.
- Martínez-Villaluenga, C., Frias, J. & Vidal-Valverde, C.** (2008). Alpha-Galactosides: Antinutritional factors or functional ingredients. *Critical Reviews in Food Science and Nutrition*, 48 (4), 301-316.
- Mathewson, P.R.** (1998). Common enzyme reactions. *Cereal Foods World*, 43 (11), 798-803.
- Matz, S.A.** (1991). *The Chemistry and Technology of Cereals as Food and Feed* (2nd ed.), Von Nostrand Reinhold, USA.
- Mayer, F.** (1998). Potato pulp: properties, physical modification and applications. *Polymer Degradation and Stability - Biodegradable Polymers and Macromolecules*, 59 (3), 231–235.
- McBurney, M.I.** (2010). Dietary Fibre: Insights and Opportunities. In: *Dietary fibre: New Frontiers for Food and Health*, Van der Kamp, J.W., Jones, J., McCleary, B. & Topping, D. (eds.). Wageningen Academic Publishers, the Netherlands, pp. 153-166.
- McCleary, B.V., Murphy, A. & Mugford, D.C.** (2000). Measurement of total fructan in foods by enzymatic/spectrophotometric method: collaborative study. *Journal of Association of Official Analytical Chemists International*, 83, 356-364.
- McCleary, B.V., McNally, M. & Rossiter, P.** (2002). Measurement of Resistant Starch by enzymatic digestion in starch and selected plant materials: collaborative study. *Journal of Association of Official Analytical Chemists International*, 85, 1103-1111.
- McCleary, B.V.** (2007). An integrated procedure for the measurement of total dietary fibre (including resistant starch), non-digestible oligosaccharides and available carbohydrates. *Analysis in Bioanalytical Chemistry*, 389, 291-308.
- McCleary, B.V., DeVries, J.W., Rader, J.I., Cohen, G., Prosky, L., Mugford, D.C., Champ, M. & Okuma, K.** (2010). Determination of total dietary fiber (CODEX definition) by enzymatic-gravimetric method and liquid chromatography: collaborative study. *Journal of the Association of Official Analytical Chemists*, 93, 221-233.

- McGinley**, E.J. (1991). Functionality of colloidal cellulose in low fat processed foods. Cholesterol Reduced Foods Technologies and Ingredients Conference. International Business Communications, Second Annual Industry Forum, USA.
- McGregor**, A.W. & Fincher, G.B. (1993). Carbohydrates of Barley Grain. In: Barley: Chemistry and Technology, MacGregor, A.W. & Bhatti, R.S. (eds.). AACC press, USA, pp. 73-130.
- Mercier**, C., Charbonniere, R., Gallant, D. & Guilbot, A. (1979). Structural Modification of Various Starches by Extrusion Cooking with a Twin-Screw French Extruder. In: Polysaccharides in Food, Blanshard, J.M.V. & Mitchell, J.R. (eds.). Butterworths, UK, pp. 153–170.
- Meuser**, F. & Suckow, P. (1992). Chemistry and Physics of Baking. In: Chemical Structure of Xylans and their Interaction in the Plant Cell Walls-Xylans and Xylanases, Visser, J., Beldman, G., Kuster-van Someren, M.A. & Voragen, A.G.J. (eds.). Elsevier Science Publishers, The Netherlands, pp. 1-15.
- Miller**, S.S., Wood, P.J., Pietrzak, L.N. & Fulcher, R.G. (1993). Mixed-linkage β -glucan, protein content, and kernel weight in Avena species. Cereal Chemistry, 70, 231–235.
- Mohnen**, D. (2008). Pectin structure and biosynthesis. Current Opinion in Plant Biology, 11, 266-277.
- Mongeau**, R. & Brassard, R. (1982). Insoluble dietary fiber from breakfast cereals and brans: bile salt binding and water-holding capacity in relation to particle size. Cereal Chemistry, 59(5), 413–417.
- Mongeau**, R. & Brassard, R. (1990). Determination of insoluble, soluble and total dietary fiber: collaborative study of a rapid gravimetric method. Cereal Foods World, 35, 319-324.
- Mongeau**, R. & Brassard, R. (1993). Total dietary fiber by an enzymatic –gravimetric method as sum of insoluble and soluble fractions. Journal of Association of Official Analytical Chemists International, 76, 923-925.
- Morgan**, K.R. & Ofman, D.J. (1998). Glucagel, a gelling β -glucan from barley. Cereal Chemistry, 75, 879–881.
- Morris**, V.J. (1990). Starch gelation and retrogradation. Trends in Food Science and Technology, 1, 2-6.
- Morris**, C.F. & Rose, S.P. (1996). Wheat. In: Cereal Grain Quality, Henry, R.J. & Kettlewell, P.S., (eds.). Chapman & Hall, UK, pp. 3-54.
- Musatto**, S.I., Dragone, G. & Roberto, I.C. (2006). Brewers'spent grain: generation, characteristics and potential applications. Journal of Cereal Science, 43 (1), 1-14.
- Myers**, A.M., Morell, M.K., James, M.G. & Ball, S.G. (2000). Recent progress toward understanding biosynthesis of the amylopectin crystal. Plant Physiology, 122 (4), 989-998.
- Nawirska**, A. & Kwasniewska, M. (2005). Dietary fiber fractions from fruit and vegetable processing waste. Food Chemistry, 91, 221–225

- Nelson, A. L.** (2001). *High Fiber Ingredients*. Eagan Press, USA.
- Nelson, A.L.** (2001b). Properties of high-fiber ingredients. *Cereal Foods World*, 46(3), 93-97.
- Newman, R.K., Newman, C.W. & Graham, H.** (1989). The hypocholesterolemic function of barley beta-glucans. *Cereal Foods World*, 34, 883-886.
- Newman, R.K., McGuire, C.F. & Newman, C.W.** (1990). Composition and muffin-baking characteristics of flours from barley cultivars. *Cereal Food World*, 35 (6), 563–566.
- Newman, C.W., Newman, R.K. & Fastnaught, C.E.** (2002). Comparative composition of whole and pearl barley. AACC Annual Meeting, Montreal, Canada, 325.
- Noda, T., Kimura, T., Otani, M., Ideta, O., Shimada, T., Saito, A. and Suda, I.** (2002). Physicochemical properties of amylose-free starch from transgenic sweet potato. *Carbohydrate Polymers*, 49 (3), 253-260.
- Noots, I., Delcour, J.A. & Michiels, C.W.** (1999). From field barley to malt: Detection and specification of microbial activity for quality aspects. *Critical Reviews in Microbiology*, 25, 121–153.
- Northcote, N.H., Davey, R. & Ley, J.** (1989). Use of antisera to localise callose, xylan and arabinogalactan in the cell plate, primary and secondary walls of plant cells. *Planta*, 178,353-366.
- Oh, Y.N. & Grundleger, M.L.** (1990). Improvement in soluble fiber content of wheat fiber through enzymatic modification. *Journal of Agriculture and Food Chemistry*, 38, 1142–1145.
- Okuma, K., Matsuda, I., Katta, Y. & Tsuji, K.** (2000). New method for determining total dietary fiber by liquid chromatography. *Journal of Association of Official Analytical Chemists International*, 83, 1013-1019.
- O'Neill, M.A., Eberhard, S., Albersheim, P. & Darvill, A.G.** (2001). Requirement of borate cross-linking of cell wall rhamnogalacturonan II for arabidopsis growth. *Science*, 294 (5543), 846-849.
- Önning, G.** (2007). Carbohydrates and the Risk of Cardiovascular Disease. In: *Functional Food Carbohydrates*, Biliaderis, C.G. & Izydorczyk, M.S. (eds.). CRC Press Taylor & Francis Group, USA, pp. 291-319.
- Oscarsson, M., Andersson, R., Salomonsson, A.C. & Aman, P.** (1996). Chemical composition of barley samples focusing on dietary fibre components. *Journal of Cereal Science*, 24 (2), 161-170.
- Ouwehand, A.C., Tiihonen, K., Mäkeläinen, H., Rautonen, N., Hasselwander, O. & Sworn, G.** (2009). Non Starch Polysaccharides in the Gastrointestinal Tract. In: *Designing Functional Foods: Measuring and Controlling Food Structure Breakdown and Nutrient Absorption*, McClements, D.J. (eds.). Woodhead Publishing Limited, UK, pp. 126-147.
- Paterson, J.L., Hardacre, A., Li, P. & Rao, M.A.** (2001). Rheology and granule size distributions of corn starch dispersions from two genotypes and grown in four regions. *Food Hydrocolloids*, 15, 453-459.

Patil, S. K. (2008). Improving the Use of Dietary Fiber and other Functional Ingredients to Lower the Glycemic Index of Cereal Products. In: *Technology of Functional Cereal Products*, Hamaker, B.R. (ed.). Woodhead Publishing Limited, UK, pp. 495-517.

Paton, D. & Lenz, M.K. (1993). Current Practices and Novel Processes. In: *Oat Bran*, Wood, P.J. (ed.). AACC press, USA, pp. 25-47.

Penichter, K. A. & McGinley, E.J. (1991). Cellulose gel for fat-free food applications. *Food Technology*, 45(6), 105-106.

Pereira, M.A., Pins J.J., Jacobs, D.R. Jr., Marquart, L. & Keenan, J.M. (2001). Whole Grains, Cereal Fiber, and Chronic Diseases: Epidemiologic Evidence. In: *CRC Handbook of Dietary Fiber in Human Nutrition*, Spiller, G.A. (ed.). CRC Press-Taylor & Francis Group, USA, pp. 461-479.

Pereira, M.A. (2008). Whole Grain Consumption and Insulin Sensitivity. In: *Technology of Functional Cereal Products*, Hamaker, B.R. (ed.). Woodhead Publishing Limited, UK, pp. 112-125.

Pins J.J., Pereira, M.A., Jacobs, D.R. Jr., Marquart, L. & Keenan, J.M. (2001). Whole Grains, Cereal Fiber, and Chronic Diseases: Experimental Evidence and Possible Biologic Mechanisms. In: *CRC Handbook of Dietary Fiber in Human Nutrition*, Spiller, G.A. (ed.). Marcel Dekker, USA, pp. 481-497.

Pomeranz, Y. (1991). *Functional Properties of Food Components* (2nd ed.). Academic Press Inc, USA.

Poutanen, K. (1997). Enzymes: An important tool in the improvement of the quality of cereal foods. *Trends in Food Science and Technology*, 81, 300-306.

Poutanen, K., Suortti, T., Aura, A.M, Liukkonen, K. & Autio, K. (1998). Influence of Processing on Cereal Dietary Fibre Complex: What Do We Know Now? In: *Functional Properties of Non-digestible Carbohydrates*, Guillon, F., Amado, R., Amara-Collaco, M.T., Andersson, H., Asp, N.G., Bach Knudsen, K.E., Champ, M., Mathers, J., Robertson, J.A., Rowland, I. & Van Loo, J., (eds.). INRA, Nantes, pp. 66-70.

Poutanen, K., Laaksonen, D., Autio, K., Mykkänen, H. & Niskanen L. (2007). The Role of Carbohydrates in the Prevention and Management of Type 2 Diabetes. In: *Functional Food Carbohydrates*, Biliaderis, C.G. & Izydorczyk, M.S. (eds.). CRC Press Taylor & Francis Group, USA, pp. 387-411.

Prawta, C., Devahastin, S. & Chiewchan, N. (2008). Production of antioxidant high dietary fiber powder from carrot peels. *LWT - Food Science and Technology*, 41, 1987-1994.

Priestley, R.J. (1976). Studies on parboiled rice. Comparison of the characteristics of raw and parboiled rice. *Food Chemistry*, 1, 5-14.

Prosky, L., Asp, N.G., Furda, I., DeVries, J.W., Schweizer, T.F. & Harland, B.F. (1984). Determination of total dietary fiber in foods and food products and total diets: interlaboratory study. *Journal of the Association of Official Analytical Chemists*, 67, 1044-1053.

- Prosky, L., Asp, N-G., Furda, I., DeVries, J.W., Schweizer, T.F. & Harland, B.F. (1985).** Determination of total dietary fiber in foods and food products: collaborative study. *Journal of the Association of Official Analytical Chemists*, 68, 677-679.
- Prosky, L. Asp, N.G., Furda, I., DeVries, J.W., Schweizer, T.E. & Harland, B.F. (1985).** Vitamin and other nutrients-determination of total dietary fiber in foods, food products and total diets: Collaborative study. *Journal of Association of Official Analytical Chemists International*, 68, 677-679.
- Prosky, L. Asp, N.G., Schweizer, T.F., DeVries, J.W. & Furda, I. (1992).** Determination of insoluble and soluble dietary fiber in foods and food products: Collaborative study. *Journal of Association of Official Analytical Chemists International*, 75, 360-367.
- Prosky, L. & DeVries, J.W. (1992).** Controlling dietary fiber in food products. Van Nostrand Reinhold, USA.
- Prosky, L. & Lee, S.C. (1992).** Dietary fiber analysis for nutrition labeling. *Cereal Foods World*, 37, 765-771.
- Prosky, L. Asp, N., Schweizer, T.F., DeVries, J., Furda, I. & Lee, S. (1994).** Determination of soluble dietary fiber in foods and food products: collaborative study. *Journal of Association of Official Analytical Chemists International*, 77, 690-694.
- Prosky, L. & Lee, S.C. (1995).** International survey on dietary fiber: definition, analysis, and reference materials. *Journal of the Association of Official Analytical Chemists International*, 78, 22-36.
- Qi, W. & Cui, S.W. (2005).** Understanding the Physical Properties of Food Polysaccharides. In: *Food Carbohydrates- Chemistry, Physical Properties and Applications*, Cui, S.W. (ed.). CRC Press Taylor & Francis Group, USA, pp. 161-262
- Rabe, E. (1999).** Effect of Processing on Dietary Fiber in Foods. In: *Complex Carbohydrates in Foods*. Marcel Dekker, USA, pp. 395-409.
- Rahman, A.R., Henning, W.L. & Westcoot, D.E. (1971).** Histological and physical changes in carrots as affected by blanching, cooking, freezing, freeze-drying and compression. *Journal of Food Science*, 36, 500-502.
- Ralet, M.C., Thibault, J.F. & Della Valle, G. (1991).** Solubilization of sugar-beet pulp cell wall polysaccharides by extrusion-cooking. *LWT - Food Science and Technology*, 24, 107-112.
- Ralet, M.C., Guillon, F., Renard, C. & Thibault, J.F. (2009).** Sugar Beet Fiber: Production, Characteristics, Food Applications, and Physiological Benefits. In: *Fiber Ingredients Food Applications and Health Benefits*, Cho, S. S. & Samuel, P. (eds.). CRC Press-Taylor & Francis Group, USA, pp. 359-392.
- Reddad, Z., Gerente, C., Andres, Y., Ralet, M.C., Thibault, J.F. & Cloirec, P.L. (2002).** Ni(II) and Cu(II) binding properties of native and modified sugar beet pulp. *Carbohydrate Polymers*, 49, 23-31.

- Rehman**, Z.U., Islam, M. & Shah, W. H. (2003). Effect of microwave and conventional cooking on insoluble dietary fibre components of vegetables. *Food Chemistry*, 80(2), 237–240.
- Reilly**, P.J. (1981). Xylanases: Structure and Function. In: *Trends in the Biology of Fermentation for Fuels and Chemicals*, Hollaender, A. (ed.). Basic Life Sciences, Plenum Press, USA, pp. 111–129.
- Riaz**, M.N. (2001) Uses and benefits of soy fiber. *AACC press*, 46(3), 98-100.
- Ridley**, B.L., O'Neill, M.A. & Mohnen, D. (2001). Review. Pectins: structure, biosynthesis, and oligogalacturonide-related signaling. *Phytochemistry*, 57, 929-967.
- Rimsten**, L., Stenberg, T., Andersson, R., Andersson, A. & Eman, P. (2003). Determination of β -glucan molecular weight using SEC with Calcofluor detection in cereal extracts. *Cereal Chemistry*, 80, 485-490.
- Ripsin**, C., Keenan, J.M., Jacobs, D.R., Elmer, P.J., Welch, R.R. & Van Horn, L. (1992). Oat products and lipid lowering a metaanalysis. *JAMA* 267, 3317-3325.
- Risch**, B., Herrmann, K., Wray, V. & Grotjahn, L. (1987). 2'(E)-O-p-coumaroylgalactaric acid and 2'(E)-O-feruloylgalactaric acid in citrus. *Phytochemistry*, 26, 509-510.
- Robertson**, J.A., de Monredon, F.D., Dyssele, P., Guillon, F., Amado, R. & Thibault, J.F. (2000). Hydration properties of dietary fibre and resistant starch: a European collaborative study. *LWT - Food Science and Technology*, 33, 72-79.
- Rory**, E.P., Wang, Q., Rayment, P., Ren, Y., Ross-Murphy, S.B., Niina, T. & Sarkkinen, E. (2009). Oat β -Glucan. In: *Fiber Ingredients Food Applications and Health Benefits*, Cho, S. S. & Samuel, P. (eds.). CRC Press-Taylor & Francis Group, USA, pp. 283-305.
- Rosell**, C.M., Santos, E. & Collar, C. (2009). Physicochemical properties of commercial fibres from different sources: A comparative approach. *Food Research International* 42 (1), 176–184.
- Rouau**, X., El-Hayek, M-L. & Moreau, D. (1994). Effect of an enzyme preparation containing pentosanases on the bread making quality of flours in relation to changes in pentosan properties. *Journal of Cereal Science*, 19, 259–272.
- Ruales**, J., Grijalva, Y.D., Lopez-Jaramillo, P. & Nair, B.M. (2002). The nutritional quality of an infant food from quinoa and its effect on the plasma level of insulin-like growth factor-1 (IGF-1) in undernourished children. *International Journal of Food Science Nutrition*, 53, 143–154.
- Ryden**, P. & Selvendran, R.R. (1990). Structural features of cell-wall polysaccharides of potato (*Solanum tuberosum*). *Carbohydrate Research*, 195, 257-272.
- Ryden**, P. & Selvendran, R.R. (1990). Cell-wall polysaccharides and glycoproteins of parenchymatous tissues of runner bean (*Phaseolus coccineus*). *Journal of Biochemistry* 269, 393-402.

- Ryden, P.** & Robertson, J.A. (1995). The effect of fibre source and fermentation on the apparent hydrophobic binding properties of wheat bran in preparations for the mutagen 2-amino-3, 8-dimethylimidazol 4, 5-F quinoxaline (MEIQX). *Carcinogenesis*, 16, 209-216.
- Saastamoinen, M.,** Plaami, S., Kumpulainen, J. (1992). β -Glucan and phytic acid content of oats cultivated in Finland. *Acta Agriculturae Scandinavica Section B-Soil & Plant Science*, 42, 6–11.
- Saastamoinen, M.** (1995). Effects of environmental factors on the β -glucan content of two oat varieties. *Acta Agriculturae Scandinavica Section B-Soil & Plant Science*, 45, 181-187.
- Sajilata, M.G.,** Singhal, R.S. & Kulkarni, P.R. (2006). Resistant starch — a review. *Comprehensive Review in Food Science and Food Safety*, 5, 1–17.
- Salminen, S.,** Ouwehand, A. & Isolauri, E. (1998). Clinical Applications of Probiotic Bacteria. *International Dairy Journal*, 8, 563-572.
- Saltzman, E.,** Moriguti, J.C. & Das, S.K. (2001). Effects of a cereal rich in soluble fiber on body composition and dietary compliance during consumption of a hypocaloric diet. *Journal of American College Nutrition*, 20, 50–57.
- Sanderson, G. R.** (1981). Polysaccharides in foods. *Food Technology*, 35(1), 50–57.
- Sanjoaquin, M.A.,** Appleby, P.N., Spencer, E.A. & Key, T. (2004). Nutrition and lifestyle in relation to bowel movement frequency: a cross-sectional study of 20630 men and women in EPIC-Oxford. *Public Health and Nutrition*, 7(1), 77–83.
- Sandrou, D.K.** & Arvanitoyannis, I.S. (2000). Low-fat/calorie foods: Current state and perspective. *Critical Reviews in Food Science and Nutrition*, 40, 427-447.
- Saunders, R. M.** (1990). The properties of rice bran as a foodstuff. *Cereal Foods World*, 35 (7), 632–636.
- Schaller-Povolny, L.A. & Smith, D.E.** (1999). Sensory attributes and storage life of reduced fat ice cream as related to inulin content. *Journal of Food Science*, 64(3), 555-559.
- Schmitz, K.,** Marquart, L. & Van der Kamp, J.W. (2008). Labelling and Regulatory Issues Related to Functional Cereal Products. In: *Technology of functional cereal products*, Hamaker, B.R. (ed.). Woodhead Publishing Limited, UK, pp. 23-45.
- Schneeman, B.O.** (2007). Carbohydrates and Gastrointestinal Tract Function. In: *Functional Food Carbohydrates*, Biliaderis, C.G. & Izydorczyk, M.S. (eds.). CRC Press Taylor & Francis Group, USA, pp. 471-477.
- Schols, H.A.,** Bakx, E.J., Schipper, D. & Voragen, A.G.J. (1995). A xylogalacturonan subunit present in the modified hairy regions of apple pectin. *Carbohydrate Research*, 279, 265–279.
- Schwab, E.D. & Pienta, K.J.** (2001). Dietary Fiber and Prostate Cancer. In: *Handbook of Dietary Fiber*, Dreher, M.L. & Cho, S.S. (eds.). Marcel Dekker, USA, pp. 101-106.

- Seetharaman**, Y., Ji, K., Wong, K., Pollak, L.M., Duvick, S., Jane, J. & White, P.S. (2002). Thermal and structural properties of unusual starches from developmental corn lines. *Carbohydrate Polymers*, 51, 439-450.
- Selvendran**, R.R. & O'Neill, M.A. (1987). Isolation and Analysis of Plant Cell Walls from Plant Material. In: *Methods of Biochemical Analysis* (Vol. 32), Glick, D. (ed.). John Wiley & Sons, USA, pp. 25-154.
- Sharma**, K.D., Karki, S., Thakur, N.S. & Attri, S. (2012). Chemical composition, functional properties and processing of carrot—a review. *Journal of Food Science and Technology*, 49(1), 22–32.
- Shewry**, P.R. & Bechtel, D.B. (2001). Morphology and Chemistry of Rye Grain. In: *Rye: Production, Chemistry and Technology*, Bushuk, W. (ed.). AACC press, USA, pp. 69–127.
- Shewry**, P.R., Saulnier, L., Guillon, F., Gebruers, K., Courtin, C., Delcour, J., Toole, G., Boros, D., Salse, J., Ravel, C., Mills, E.N.C., Ward, J.L. & Charmet, G. (2010). Improving the Benefits of Wheat as a Source of Dietary Fibre. In: *Dietary Fibre: New Frontiers for Food and Health*, Van der Kamp, J.W., Jones, J., McCleary, B. & Topping, D. (eds.). Wageningen Academic Publishers, the Netherlands, pp. 65-79.
- Shi**, Y.C. & Trzasko, P.T. (1997). Process for producing amylase resistant granular starch. US patent 5,593,503.
- Shi**, Y.C. (2003). Highly resistant granular starch. US patent 6,664,389.
- Shin**, S., Byun, J., Park, K.H. & Moon, T.W. (2004). Effect of partial acid hydrolysis and heat-moisture treatment on formation of resistant tuber starch. *Cereal Chemistry*, 81, 194-198.
- Siddhuraju**, P. & Becker, K. (2001). Effect of various domestic processing methods on antinutrients and *in vitro* protein and starch digestibility of two indigenous varieties of Indian tribal pulse, *Mucuna pruriens* Var. *utilis*. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 49 (6), 3058-3067.
- Sinitsyn**, A.P., Gusakov, A.V. & Vlasenko, A.E.Y. (1991). Effect of structural and physicochemical features of cellulosic substrates on the efficiency of enzymatic hydrolysis. *Applied Biochemistry and Biotechnology*, 30, 43-59.
- Skrabanja**, V., Liljeberg-Elmstahl, H.G.M., Kreft, I. & Björk, I.M.E. (2001). Nutritional properties of starch in buckwheat products: studies *in vitro* and *in vivo*. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 49, 490–496.
- Slavin**, J.L. (2001). Dietary Fiber and Colon Cancer. In: *Handbook of Dietary Fiber*, Dreher, M.L. & Cho, S.S. (eds.). Marcel Dekker, USA, pp. 31-45.
- Slavin**, J. (2007). Dietary Carbohydrates and Risk of Cancer. In: *Functional Food Carbohydrates*, Biliaderis, C.G. & Izydorczyk, M.S. (eds.). CRC Press Taylor & Francis Group, USA, pp. 371-385.

- Slegte, D.J.** (2002). Determination of trans-galactooligosaccharides in selected food products by ion-exchange chromatography: Collaborative Study. *Journal of Association of Official Analytical Chemists International*, 85, 417-423.
- Smith, M.M. & Hartley, R.D.** (1983). Occurrence and nature of ferulic acid substitution of cell-wall polysaccharides in graminaceous plants. *Carbohydrate Research*, 118, 65-80.
- Snow, P. & O’Dea, K.** (1981). Factors affecting the rate of hydrolysis of starch in food. *American Journal of Clinical Nutrition*, 34 (12), 2721-2727.
- Soukoulis, C., Lebesi, D. & Tzia, C.** (2009). Enrichment of ice cream with dietary fiber: Effects on rheological properties, ice crystallization and glass transition phenomena. *Food Chemistry*, 115 (15), 665-671.
- Southgate, D.A.T.** (1969). Determination of carbohydrates in foods. II. Unavailable carbohydrates. *Journal of the Science of Food and Agriculture*, 20, 331-335.
- Southgate, D.A.T., Hudson, G.J. & Englyst, H.** (1978). The analysis of dietary fibre: the choices for the analyst. *Journal of the Science of Food and Agriculture*, 29, 979-988.
- Stauffer, C.E.** (1993). Dietary Fiber: Analysis, Physiology and Calorie Reduction. In: *Advances in Baking Technology*, Kamel, B.S. & Stauffer, C.E. (eds.). Blackie Academic & Professional, UK, pp. 371-396.
- Steadman, K.J., Burgoon, M.S., Lewis, B.A., Edwardson, S.E. & Obendorf, R.L.** (2001a). Buckwheat seed milling fractions: Description, macronutrient composition and dietary fibre. *Journal of Cereal Science*, 33, 271-278.
- Stephen, A.M.** (2004). *Contemporary Carbohydrate Chemistry*, University of Cape Town, South Africa, Chemistry Department
- Stojceska, V., Ainsworth, P., Plunkett, A. & Ibanoglu, S.** (2010). The advantage of using extrusion processing for increasing dietary fibre level in gluten-free products. *Food Chemistry*, 121, 156–164.
- Stone, B.A.** (1985). Aleurone Cell Walls: Structure and Nutritional Significance. In: *New Approaches to Research on Cereal Carbohydrates*, Hill, R.D. & Munck, L., (eds.). Elsevier, The Netherlands, pp. 349-354.
- Stone, B.A.** (1996). Cereal Grain Carbohydrates. In: *Cereal Grain Quality*, Henry, R.J. & Kettlewell, P.S. (eds.). Chapman & Hall, UK, pp. 250-288.
- Stone, B. & Morell, M.K.** (2009). Carbohydrates. In: *Wheat: Chemistry and Technology* (4th ed.), Khan, K. & Shewry, P.R. (eds.). AACC press, USA, pp.299-362.
- Stowell, J.D.** (2009). Polydextrose. In: *Fiber Ingredients Food Applications and Health Benefits*, Cho, S. S. & Samuel, P. (eds.). CRC Press-Taylor & Francis Group, USA, pp. 173-204.
- Strange, E.D. & Onwulata, C.I.** (2002). Effect of particle size on the water sorption properties of cereal fibres. *Journal of Food Quality*, 25, 63-73.

- Sun**, R.C. & Tomkinson, J. (2002). Characterization of hemicelluloses obtained by classically and ultrasonically assisted extractions from wheat straw. *Carbohydrate Polymers*, 50, 263-271.
- Sunna**, A. & Antranikian, G. (1997). Xylanolytic enzymes from fungi and bacteria. *Critical Reviews in Biotechnology*, 17, 39-67.
- Szcsodrak**, J. & Pomeranz, Y. (1991). Starch and enzyme-resistant starch from high-amylose barley. *Cereal Chemistry*, 68, 589-596.
- Takahashi**, T. (2009). Cellulose. In: *Fiber Ingredients Food Applications and Health Benefits*, Cho, S. S. & Samuel, P. (eds.). CRC Press-Taylor & Francis Group, USA, pp. 263-282.
- Taylor**, J.R.N. & Emmambux, M.N. (2008). Products Containing Other Speciality Grains: Sorghum, the Millets and Pseudocereals. In: *Technology of Functional Cereal Products*. Hamaker, B.R. (ed). CRC, USA.
- Teleman**, A., Tenkanen, M., Jacobs, A. & Dahlman, O. (2002). Characterization of O-acetyl-(4-O-methylglucurono) xylan isolated from birch and beech. *Carbohydrate Research*, 337, 373-377.
- Tharanathan**, RN. (2005). Starch-value addition by modification. *Critical Reviews in Food Science Nutrition*, 45 (5), pp. 371–384.
- Theander**, O., Aman, P., Westerlund, E., Andersson, R. & Pettersson, D. (1995). Total Dietary Fiber determined as neutral sugar residues, uronic acid residues, and Klason lignin (The Uppsala method): Collaborative study. *Journal of Association of Official Analytical Chemists International*, 78, 1030-1044.
- Thebaudin**, J.Y., Lefebvre, A.C., Harrington, M. & Bourgeois, C.M. (1997). Dietary fibres: Nutritional and technological interest. *Trends in Food Science & Technology*, 8, 41-48.
- Thibault**, J.F., Lahaye, M. & Guillon, F. (1992). Physicochemical Properties of Food Plant Cell Walls. In: *Dietary Fibre- A Component of Food. Nutritional Function in Health and Disease*, Schweizer, T.F. & Edwards, C. (eds). Springer-Verlag, ILSI Europe, Germany, pp. 21-39.
- Thibault**, J.F., Renard, M.G.C. & Guillon, F. (1994). Physical and Chemical Analysis of Dietary Fibres in Sugar-beet and Vegetable. In: *Modern Methods of Plant Analysis-Vegetable and Vegetable Products*, Jackson, J.F. & Linskens, H.F. (eds). Springer-Verlag, Heidelberg, pp. 23-55.
- Thibault**, J.F., Renard, C.M.G.C. & Guillon, F. (2001). Sugar Beet Fiber: Production, Composition, Physicochemical Properties, Physiological Effects, Safety, and Food Applications. In: *Handbook of Dietary Fiber*, Dreher, M.L. & Cho, S.S. (eds.). Marcel Dekker, USA, pp. 553-582.
- Tjebbes**, J. (1988). Utilization of Fiber and Other Non-Sugar Products from Sugarbeet. In: *Chemistry and Processing of Sugarbeet and Sugarcane*, Clarke, M.A. & Godshall, M.A. (eds.). Elsevier Science Publishers B.V., The Netherlands, pp. 139-145.

- Tohamy**, A.A., El-Ghor, A.A., El-Nahas, S.M. & Noshay, M.M. (2003). β -glucan inhibits the genotoxicity of cyclophosphamide, adriamycin and cisplatin. *Mutation Research*, 541, 45-53.
- Tosh**, S. M. & Yada, S. (2010). Dietary fibres in pulse seeds and fractions: characterization, functional attributes and applications. *Food Research International*, 43, 450–460.
- Tovar**, J., (1996). Bioavailability of carbohydrates in legumes: digestible and indigestible fractions. *Archivos Latino-americanos De Nutricion*, 44 (4 Suppl 1), 36S–40S.
- Trowell**, H. (1972). Ischemic heart disease and dietary fiber. *American Journal of Clinical Nutrition*, 25, 926-932.
- Tye**, R. J. (1991). Konjac flour: properties and applications. *Food Technology*, 45(3), 82, 84, 86, 88, 90, 92.
- U.S. Department of Agriculture** (1989). *Composition of Foods: Cereal Grains and Pasta*. Agricultural Handbook, No. 8–20.
- Valli**, R.C. & Miskiel, F.J. (2001). Gellan Gum. In: *Handbook of Dietary Fiber*, Dreher, M.L. & Cho, S.S. (eds.). Marcel Dekker, USA, pp. 695-720.
- Vasanthan**, T., Gaosong, J., Yeung, J. & Jihong, L. (2002). Dietary fiber profile of barley as affected by extrusion cooking. *Food Chemistry*, 77, 35–40.
- Verbruggen**, M.A., Beldman, G., Voragen, A.G.J. & Hollemans, M. (1993). Water-unextractable cell wall material from sorghum: isolation and characterization. *Journal of Cereal Science*, 17, 71–82.
- Vetter**, J.L. (1993). *Food Labeling—Requirements for FDA Regulated Product*. American Institute of Baking, USA.
- Vincken**, J.P., Schols, H.A., Oomen, R.J.F.J., McCann, M.C., Ulvskov, P., Voragen, A.G.J. & Visser, R.G.F. (2003). If homogalacturonan were a side chain of rhamnogalacturonan I. Implications for cell wall architecture. *Scientific Correspondence in Plant Physiology*, 132, 1781–1789.
- Viuda-Martos** M., Lopez-Marcos, M.C., Fernandez-Lopez, J., Sendra, E., Lopez-Vargas, J.H. & Perez-Alvarez J.A. (2010). Role of fiber in cardiovascular diseases: A Review. *Comprehensive reviews in food science and food safety*, 9, 240-258.
- Visser**, J. & Voragen, A.G.J. (1996). *Progress in Biotechnology 14: Pectins and Pectinases*. Elsevier, The Netherlands.
- Waldron**, K.W., Parker, M.L. & Smith, A.C. (2003). Plant cell walls and food quality. *Comprehensive reviews in food science and food safety*, 2 (4), 128-146.
- Walker**, A.R.P. (1974). Dietary fibre and the pattern disease. *Annals of Internal Medicine*, 80, 663–664.
- Walter**, R.H., Rao, M.A. & Sherman, R.M. (1985). Edible fibre from apple pomace. *Journal of Food Science*, 50, 747-749.
- Wang**, L. (1996). Production of β -glucan and β -glucan product. *U.S. Patent*, 5, 512, 287.

- Wang, M.** (2003). Effect of pentosans on gluten formation and properties. PhD Thesis, Food chemistry and food physics Group, Agrotechnology and Food Sciences Department, Wageningen University, The Netherlands.
- Watson, S.A.** (1991). Structure and Composition. In: Corn: Chemistry and Technology, Watson, S.A. & Ramstad, P.E. (eds.). AACC, USA, pp. 53-82.
- Weber, F.E. & Chaudhary, V.K.** (1987). Recovery and nutritional evaluation on dietary fiber ingredients from a barley by-product. *Cereal Foods World*, 32, 548–550.
- Webster, F.H.** (1996). Oats. In: Cereal Grain Quality, Henry, R.J. & Kettlewell, P.S., (eds.). Chapman & Hall, UK, pp. 153-177.
- Weipert, D.** (1996). Rye and Triticale. In: Cereal Grain Quality, Henry, R.J. & Kettlewell, P.S., (eds.). Chapman & Hall, UK, pp. 205-224.
- Welch, R.W. & Lloyd J.D.** (1989). Kernel (1 → 3),(1 → 4)-β-d-glucan content of oat genotypes. *Journal of Cereal Science*, 9, 35-40.
- Whistler, R.L.** (1993). Hemicelluloses. In: Industrial gums, polysaccharides and their derivatives, Whistler, R. L. & BeMiller, J. N. (eds.). Academic Press, USA, pp. 295–308.
- Whitaker J.R.** (2001). What Enzymes Do and Why They Are Highly Specific and Efficient Catalysts. In: Handbook of food enzymology, Whitaker, J.R., Voragen, A.G.J. & Wong, D.W.S. (eds.). Marcel Dekker, USA, pp. 21-31.
- Wijngaard, H.H. & Arendt, E.K.** (2006). Buckwheat. *Cereal Chemistry*, 83(4), 391–401.
- Williams, C.L., Bollella, M. & Wynder, E.L.** (1995). A new recommendation for dietary fiber in childhood. *Pediatrics*, 96, 985–988.
- Williams, P.A. & Phillips, G.O.** (2001). Gum Arabic Production, Safety and Physiological Effects, Physicochemical Characterization, Functional Properties, and Food Applications. In: Handbook of Dietary Fiber, Dreher, M.L. & Cho, S.S. (eds.). Marcel Dekker, USA, pp. 269-275.
- Woo, K., Bassi, S.D., Maningat, C.C., Zhao, L., Trompeter, E.E., Kelly, G.A., Ranjan, S., Gaul, J., Ohkuma, C.T., Hanno, Y., Inada, K., Matsuda, I. & Katta, Y.** (1994). Indigestible dextrin. US patent 5,364,652.
- Wood, P.J.** (1986). Oat β-glucan: Structure, Location and Properties. In: Oats: Chemistry and Technology, Webster, F.H., (ed), AACC, USA, pp. 121-152.
- Wood, P.J., Weisz, J. & Blackwell, B.A.** (1991). Molecular characterization of cereal β-glucans. Structural analysis of oat β-d-glucan and rapid structural evaluation of β-d-glucans from different sources by high- performance liquid chromatography of oligosaccharides released by lichenase. *Cereal Chemistry*, 68, 31-39.
- Wood, P.J., Weisz, J. & Blackwell, B.A.** (1994). Structural studies of (1→ 3),(1→ 4)-β-d-glucans by ¹³C-nuclear magnetic resonance spectroscopy and by rapid analysis of cellulose-like regions using high-performance anion-exchange chromatography of oligosaccharides released by lichenase. *Cereal Chemistry*, 71, 301–307.

Wursch, P. (1999). Production of resistant starch. *Food Science and Technology*, 93, 385-393.

Xue, Q., Wang, L., Newman, R.K., Newman, C.W. & Graham, H. (1997). Influence of the hullless, waxy starch and short-awn genes on the composition of barleys. *Journal of Cereal Science*, 26, 251–257.

You, S.G. & Izydorczyk, M.S. (2002). Molecular characteristics of barley starches with variable amylose content. *Carbohydrate Polymers*, 49, 33-42.

Zhang, J., Lundin, E., Hallmans, G., Bergman, F., Westerlund, E. & Petterson, P. (1992). Dietary effects of barley fibre, wheat bran and rye bran on bile composition and gallstone formation in hamsters. *APMIS*, 100, 553–557.

Zheng, G.H., Rossnagel, B.G., Tyler, R.T. & Bhatti, R.S. (2000). Distribution of β -glucan in the grain of hull-less barley. *Cereal Chemistry*, 77 (2), 140-144.

Ziai, S.A. (2009). Psyllium. In: *Fiber Ingredients Food Applications and Health Benefits*, Cho, S. S. & Samuel, P. (eds.). CRC Press-Taylor & Francis Group, USA, pp. 393-426.

Zobel, H.F. (1992). Starch granule structure. In: *Developments in Carbohydrate Chemistry*, Alexander, R.J. & Zobel, H.F. (eds.). AACC press, USA, pp. 1–36.

Κεφάλαιο 4

Aamodt, A., Magnus, E.M. & Færgestad, E.M. (2004). Effect of protein quality, protein content, bran addition, DATEM, proving time, and their interaction on hearth bread. *Cereal Chemistry*, 81, 6, 722–734.

Abdul-Hamid, A. & Luan, Y.S. (2000). Functional properties of dietary fiber prepared from defatted rice bran. *Food Chemistry*, 68, 15–19.

Aderiye, B.I., Igbdiogh, S.O. & Caurie, S.A. (1992). Potentials of biodegraded cashew pomace for cake baking. *Plant Foods for Human Nutrition*, 42, 153-163.

Ajmal, M., Butt, M.S., Sharif, K., Nasir, M. & Nadeem, M.T. (2006). Preparation of fiber and mineral enriched pan bread by using defatted rice bran. *International Journal of Food Properties*, 9, 623–636.

Alaunyte, I., Stojceska, V., Plunkett, A., Ainsworth, P. & Derbyshire, E. (2012). Improving the quality of nutrient-rich Teff (*Eragrostis tef*) breads by combination of enzymes in straight dough and sourdough breadmaking. *Journal of Cereal Science*, 55, 22-30.

Almeida, E.L., Chang, Y.K. & Steel, C.J. (2010). Effect of adding different dietary fiber sources on farinographic parameters of wheat flour. *Cereal chemistry*, 87 (6), 566-573.

Almeida, E.L. & Chang, Y.K. (2012). Effect of the addition of enzymes on the quality of frozen pre-baked French bread substituted with whole wheat flour. *LWT - Food Science and Technology*, doi: 10.1016/j.lwt.2012.04.019.

- Amirkaveei**, S.H., Shahedi, M., Kabir, G.H. & Kadivar, M. (2009). Effects of treated and untreated bran in dough dynamic rheology. *International Journal of Food Science and Nutrition*, 60 (S1), 190-198.
- Andersson**, A.A.M., Armo, E., Grangeon, E., Fredriksson, H., Andersson, R. & Aman, P. (2004). Molecular weight and structure units of (1-3,1-4)-beta-glucans in dough and bread made from hull-less barley milling fractions. *Journal of Cereal Science*, 40(3), 195–204.
- Andersson** R., Eliasson, C., Selenare, M., Kamal-Eldin, A. & Aman, P. (2003). Effect of endo-xylanase-containing enzyme preparations and laccase on the solubility of rye bran arabinoxylan. *Journal of the Science of Food and Agriculture*, 83, 617–623.
- Ang**, J.F. & Miller, W.B. (1991). Multiple functions of powdered cellulose as a food ingredient. *Cereal Foods World*, 36(7), 558-564.
- Angioloni**, A. & Collar, C. (2008). Functional response of diluted dough matrixes in high-fibre systems: A viscometric and rheological approach. *Food Research International*, 41(8), 803–812.
- Angioloni**, A. & Collar, C. (2009a). Gel, dough and fibre enriched fresh breads: Relationships between quality features and staling kinetics. *Journal of Food Engineering*, 91 (4), 526–532.
- Angioloni**, A. & Collar, C. (2008b). Significance of structuring/prebiotic blends on bread dough thermo-mechanical profile. *European Food Research and Technology*, 229 (4), 603-610.
- Angioloni**, A. & Collar, C. (2011). Physicochemical and nutritional properties of reduced-caloric density high-fibre breads. *LWT - Food Science and Technology*, 44, 747-758.
- Anil**, M. (2007). Using of hazelnut testa as a source of dietary fibre in breadmaking. *Journal of Food Engineering*, 80, 61–67.
- Anjum**, F.M., Rauf, M., Khan, M.I. & Hussain, S. (2006). Preparation of low calorific fiber rich cakes by wheat bran supplementation. *Nutrition & Food Science*, 36 (6), 438-444.
- Anson**, N.M, Havenaar, R., Vaes, W., Coulier, L., Venema, K., Selinheimo, E., Bast, A. & Haenen, G. R.M.M. (2011). Effect of bioprocessing of wheat bran in wholemeal wheat breads on the colonic SCFA production in vitro and postprandial plasma concentrations in men. *Food Chemistry*, 128, 404–409.
- Arora**, A. & Camire, M.E. (1994). Performance of potato peels in muffins and cookies. *Food Research International*, 27, 15–22.
- Asna**, U.V., Puttaraj, S., Leelavathi, K. & Rao, P.H. (1998). Effect of barley incorporation in bread on its quality and glycemic responses in diabetics. *International Journal of Food Sciences and Nutrition*, 49, 265–270.
- Autio**, K., Harkonen, H., Parkkonen, T., Frigard, T., Poutanen, K., Siikaaho, M. & Aman, P. (1996). Effects of purified endo- β -xylanase and endo- β -glucanase on the structural and baking characteristics of rye doughs. *LWT-Food Science and Technology*, 29, 18–27.

- Baez-Vasquez**, M. A. & Schofield, J.D. (1993). Bread improving effect of an endoxylanase from *Trichoderma longibrachiatum* in the Chorleywood bread making process (CBP). *Cereal Foods World*, 38, 635.
- Baixauli**, R., Salvador, A. & Fiszman, S.M. (2008a). Textural and colour changes during storage and sensory shelf life of muffins containing resistant starch. *European Food Research and Technology*, 226, 523–530.
- Baixauli**, R., Sanz, T., Salvador, A., & Fiszman, S.M. (2008b). Muffins with resistant starch: baking performance in relation to the rheological properties of the batter. *Journal of Cereal Science*, 47, 502–509.
- Baixauli**, R., Salvador, A., Hough, G. & Fiszman, S.M. (2008c). How information about fibre (traditional and resistant starch) influence consumer acceptance of muffins. *Food Quality and Preference*, 19, 628–635.
- Barrett**, A.H., Marando, G., Leung, H. & Kaletunç, G. (2005). Effect of different enzymes on the textural stability of shelf-stable bread. *Cereal Chemistry*, 82(2), 152–157.
- Basman**, A. & Köksel, H. (1999). Properties and composition of Turkish flat bread (bazlama) supplemented with barley flour and wheat bran. *Cereal Chemistry*, 76(4), 506-511.
- Beaugrand**, J., Chambat, G., Wong V.W. K., Goubet, F., Remond, C., Paes, G., Benamrouche, S., Debeire, P., ODonohue, M. & Chabbert, B. (2004). Impact and efficiency of GH10 and GH11 thermostable endoxylanases on wheat bran and alkali-extractable arabinoxylans. *Carbohydrate Research*, 339, 2529–2540.
- Benamrouche**, S., Cronier, D., Debeire, P. & Chabbert, B. (2002). A chemical and histological study on the effect of (1-4)-beta-endo-xylanase treatment on wheat bran. *Journal of Cereal Science*, 36(2), 253–260.
- Berglund**, P.T., Fastnaught, C.E. & Holm, E.T. (1992). Food uses of waxy hull-less barley. *Cereal Foods World*, 37, 707-714.
- Biliaderis**, C.G., Izydorczyk, M.S. & Rattan, O. (1995). Effect of arabinoxylans on bread-making quality of wheat flours. *Food Chemistry*, 5, 165–171.
- Bollaín**, C., Angioloni, A. & Collar, C. (2005). Bread staling assessment of enzyme-supplemented pan breads by dynamic and static deformation measurements. *European Food Research and Technology*, 220, 83–89.
- Bollain**, C., Angioloni, A. & Collar, C. (2006). Relationships between dough and bread viscoelastic properties in enzyme supplemented wheat samples. *Journal of Food Engineering* 77, 665–671.
- Borchani**, C., Masmoudi, M., Besbes, S., Attia, H., Deroanne, C. & Blecker, C. (2011). Effect of date flesh fiber concentrate addition on dough performance and bread quality. *Journal of Texture Studies*, 42 (4), 300–308.
- Boskov Hansen**, H., Andreasen, M.F., Nielsen, M.M., Larsen, L.M., Bach Knudsen, K.E., Meyer, A.S., Christensen, L.P. & Hansen, Å. (2002). Changes in dietary fibre, phenolic acids

and activity of endogenous enzymes during rye bread-making. *European Food Research and Technology*, 214, 33–42.

Brasil, J.A., Da Silveira, K. C., Salgado, S. M., Souza Livera, A. V., De Faro, Z.P. & Guerra, N.B. (2011). Effect of the addition of inulin on the nutritional, physical and sensory parameters of bread. *Brazilian Journal of Pharmaceutical Sciences*, 47(1), 185–191.

Brennan, C.S. & Cleary, L.J. (2007). Utilisation Glucagel in the b-glucan enrichment of breads: A physicochemical and nutritional evaluation. *Food Research International*, 40, 291–296.

Brewer M.S., Potter, S.M., Sprouls, G. & Reinhard, M. (1992). Effect of soy protein isolate and soy fiber on color, physical and sensory characteristics of baked products. *Journal of Food Quality*, 15 (4), 245–262.

Brockmole, C.L. & Zabik, M. (1976). Wheat bran and middlings in white layer cakes. *Journal of Food Science*, 41, 357–360.

Caballero, P.A., Gomez, M. & Rosell, C.M. (2007). Improvement of dough rheology, bread quality and bread shelf-life by enzymes combination. *Journal of Food Engineering*, 81, 42–53.

Camacho, N.A. & Aguilar, G.O. (2003). Production, purification and characterization of low molecular mass xylanase from *Aspergillus* sp. and its application in baking. *Applied Biochemistry and Biotechnology*, 104, 159–172.

Capriles, V.D., Almeida, E.L., Ferreira, R.E., Areas, J.A.G., Steel, C.J. & Chang, Y.K. (2008). Physical and sensory properties of regular and reduced-fat pound cakes with added amaranth flour. *Cereal Chemistry*, 85, 614–618.

Carroll, L.E. (1990). Functional properties and applications of stabilized rice bran in bakery products. *Food Technology*, 44, 74–76.

Cavallero, A., Empilli, S., Brighenti, F. & Stanca, A. M. (2002). High (1-3, 1-4) b-glucan barley fractions in bread making and their effects on human glycaemic response. *Journal of Cereal Science*, 36, 59–66.

Chaudhary, V.K. & Weber, F.E. (1990). Barley bran flour evaluated as dietary fiber ingredient in wheat bread. *Cereal foods world*, 35 (6), 560–562.

Chen, H., Rubenthaler, G.L., Leung, H. & Baranowski, J.D. (1988). Chemical, physical and baking properties of apple fiber compared with wheat and oat bran. *Cereal Chemistry*, 65, 244–247.

Chlopicka J., Pasko, P., Gorinstein, S., Jedryas, A. & Zagrodzki, P. (2012). Total phenolic and total flavonoid content, antioxidant activity and sensory evaluation of pseudocereal breads. *LWT - Food Science and Technology*, 46, 548–555.

Christophersen, C., Andersen, E., Jakobsen, T.S. & Wagner, P. (1997). Xylanases in wheat separation. *Starch*, 49, 5–12.

- Cleemput, G., Bleukx, W., Van Oort, M., Hessing, M. & Delcour, J.A. (1995).** Evidence for the presence of arabinoxylan hydrolysing enzymes in European wheat flours. *Journal of Cereal Science*, 22 (2), 139–145.
- Cleemput, G., Booij, C., Hessing, M., Gruppen, H. & Delcour, J.A. (1997).** Solubilisation and changes in molecular weight distribution of arabinoxylans and protein in wheat flours during bread-making, and the effects of endogenous arabinoxylan hydrolysing enzymes. *Journal of Cereal Science*, 26, 55–66.
- Collar, C., Martinez, J.C., Andreu, P. & Armero, E. (2000).** Effects of enzyme associations on bread dough performance. A response surface analysis. *Food Science and Technology International*, 6(3), 217-226.
- Collar, C., Santos, E. & Rosell, C.M. (2006).** Significance of dietary fiber on the viscometric pattern of pasted and gelled flour–fiber blends. *Cereal Chemistry*, 83(4), 370–376.
- Collar, C., Santos, E., & Rosell, C.M. (2007).** Assessment of the rheological profile of fibre-enriched bread doughs by response surface methodology. *Journal of Food Engineering*, 78(3), 820–826.
- Collar C., Rosell, C.M., Muguera, B. & Moulay, L. (2009).** Breadmaking performance and keeping behavior of cocoa-soluble fiber-enriched wheat breads. *Food Science and Technology International*, 15(1), 79–87.
- Collins, J.L., Kalantari, S.M. & Post, A.R. (1982).** Peanut hull flour as a dietary fiber in wheat bread. *Journal of Food Science*, 47, 1899–1902.
- Collins, T., Hoyoux, A., Dutron, A., Georis, J., Genot, B., Dauvrin, T., Arnaut, F., Gerday, C. & Feller, G. (2006).** Use of glycoside hydrolase family 8 xylanases in baking. *Journal of Cereal Science*, 43, 79–84.
- Conforti, F.D. & Canterella, R.L. (1998).** Effect of commercial enzymes on the baking keeping quality of a fat reduced muffin. *Journal of Food Quality*, 21, 85-94.
- Conforti, F.D. & Smith, P.M. (1998).** Effects of selected emulsifiers, enzymes and a carbohydrate-based fat substitute on physical and sensory characteristics in a low-fat muffin. *Journal of Consumer Studies & Home Economics*, 22(21), 91-96.
- Courtin, C.M., Roelants, A. & Delcour, J.A. (1999).** Fractionation–reconstitution experiments provide insight into the role of endoxylanases in bread-making. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 47, 1870–1877.
- Courtin, C.M. & Delcour, J.A. (2001).** Relative activity of endoxylanases towards water-extractable and water-unextractable arabinoxylan. *Journal of Cereal Science*, 33, 301–312.
- Courtin, C.M., Gelders, G.G. & Delcour, J. A. (2001).** Use of two endoxylanases with different substrate selectivity for understanding arabinoxylan functionality in wheat flour breadmaking. *Cereal Chemistry*, 78(5), 564–571.
- Courtin, C.M. & Delcour, J.A. (2002).** Arabinoxylans and endoxylanases in wheat flour bread-making. *Journal of Cereal Science*, 35,225-243.

- Courtin, C. M., Gys, W., Gebruers, K. & Delcour, J. A. (2005).** Evidence for the involvement of arabinoxylan and xylanases in refrigerated dough syruing. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 53, 7623-7629.
- Courtin, C.M, Gys, W. & Delcour, J.A. (2006).** Arabinoxylans and endoxylanases in refrigerated dough syruing. *Journal of the Science of Food and Agriculture*, 86, 1587–1595.
- Craig, S.A.S. et al. (1992).** Production of crackers with reduced or no added fat. United States Patent, US 5 108 764.
- Czuchajowska, Z., Paszczynska, B. & Pomeranz, Y. (1992).** Functional properties of psyllium in wheat-based products. *Cereal Chemistry*, 69, 516–520.
- Dalgetty, D.D. & Baik, B.K. (2006).** Fortification of bread with hulls and cotyledon fibers isolated from peas, lentils, and chickpeas. *Cereal Chemistry*, 83(3), 269–274.
- Damen, B., Pollet, A., Dornez, E., Broekaert, W.F., Van Haesendonck, I., Escarnot, E., Aguedo, M. & Paquot, M. (2012a).** Enzymatic hydrolysis of arabinoxylans from spelt bran and hull. *Journal of Cereal Science*, 55, 243-253.
- Damen, B., Pollet, A., Dornez, E., Broekaert, W.F., Van Haesendonck, I., Trogh, I., Arnaut, F., Delcour, J.A. & Courtin, C.M. (2012b)** Xylanase-mediated in situ production of arabinoxylan oligosaccharides with prebiotic potential in whole meal breads and breads enriched with arabinoxylan rich materials. *Food Chemistry*, 131, 111–118.
- D’Appolonia, B.L. & Youngs, V.L. (1978).** Effect of bran and high protein concentrate from oats on dough properties and bread quality. *Cereal Chemistry*, 55, 736-743.
- Daubenmire, S. W., Zabik, M. E. & Setser, C. S. (1993).** Development of lowfat, cholesterol-free, high-fiber muffins. Part 1. Fiber source and particle size effects on quality characteristics. *School Food Service Research Review*, 17(1), 15–20.
- Davidou, S., Le Meste, M., Debever, E. & Bekaert, D. (1996).** A contribution to the study of staling of white bread: effect of water and hydrocolloid. *Food Hydrocolloids*, 10, 375–86.
- DeFouw, C., Zabik, M.E., Uebersax, M.A., Aguilera, J.M. & Lusas, E. (1982a).** Use of unheated and heat-treated navy bean hulls as a source of dietary fiber in spice flavored layer cakes. *Cereal Chemistry*, 59(3), 229–230.
- De Kock, S., Taylor, J. & Taylor, J.R.N. (1999).** Effect of heat treatment and particle size of different brans on loaf volume of brown bread. *LWT-Food Science and Technology*, 32, 349–356.
- De Schryver, P., Sesen, S., Decaigny, B., Van de Wiele, T., Verstraete, W. & Boon, N. (2008).** Xylanases from microbial origin induce syrup formation in dough. *Journal of Cereal Science*, 47, 18–28.
- Dornez, E., Gebruers, K., Cuyvers, S., Delcour, J. A. & Courtin, C. M. (2007).** Impact of wheat flour-associated endoxylanases on arabinoxylan in dough after mixing and resting. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 55, 7149-7155.

- Dougherty, M., Sombke, R., Irvine, J. & Rao, C.S. (1998).** Oat fibers in low calorie breads, soft-type cookies and pasta. *Cereal foods world*, 33 (5), 424-427.
- Dreese, P.C. & Hosney, R.C. (1982).** Baking properties of the bran fraction from brewer's spent grains. *Cereal Chemistry*, 59, 89-91.
- Dreher, M.L. & Padmanaban, G. (1983).** Sunflower hull flour as a potential dietary fiber supplement. *Journal of food science*, 48, 1463-1478.
- Dubois, D.K. (1978).** The practical application of fiber materials in bread production. *Bakers Digest*, 5 (2), 30-33.
- Ereifej, K.I., Al-Mahasneh, M.A. & Rababah, T.M. (2006).** Effect of barley flour on quality of balady bread. *International Journal of Food Properties*, 9, 39-49.
- Esteller, M.S. & Lannes, S.C.S. (2008).** Production and characterization of sponge-dough bread using scalded rye. *Journal of Texture Studies*, 39, 56-67.
- Fessas, D. & Schiraldi, A. (1998).** Texture and staling of wheat bread crumb: effects of water extractable proteins and 'pentosans'. *Thermochimica Acta*, 323, 17-26.
- Filipovic, N., Djuric, M. & Gyura, J. (2007).** The effect of the type and quantity of sugar-beet fibers on bread characteristics. *Journal of Food Engineering*, 78, 1047-1053.
- Filipovic, J., Filipovic, N. & Filipovic, V. (2010).** The effects of commercial fibres on frozen bread dough. *Journal of the Serbian Chemical Society*, 75(2), 195-207.
- Flander, L., Salmenkallio-Marttila, M., Suortti, T. & Autio K. (2007).** Optimization of ingredients and baking process for improved wholemeal oat bread quality. *LWT-Food Science and Technology*, 40, 860-870.
- Fondroy, E.B., White, P.J. & Prusa, K. J. (1989).** Physical and sensory evaluation of lean white cakes containing substituted fluffy cellulose. *Cereal Chemistry*, 66, 402-404.
- Frutos, M. J., Guilabert-Anton, L., Tomas-Bellido, A. & Hernandez-Herrero, J. A. (2008).** Effect of artichoke (*Cynara scolymus* L.) fiber on textural and sensory qualities of wheat bread. *Food Science and Technology International*, 14(5), 49-55.
- Galliard, T. & Gallagher, D.M. (1988).** The effects of wheat bran particle size and storage period on bran flavour and baking quality of bran/flour blends. *Journal of Cereal Science*, 8 (2), 147-154.
- Gambaro, A., Gimenez, A., Ares, G. & Gilardi, V. (2006).** Influence of enzymes on the texture of brown pan bread. *Journal of Texture Studies*, 37, 300-314.
- Gan, Z., Galliard, T., Ellis, P.R., Angold, R.E. & Vaughan, J.G. (1992).** Effect of the outer bran layers on the loaf volume of wheat bread. *Journal of Cereal Science*, 15, 151-163.
- Gaur, G.H.S. & Rosell, C.M. (2003).** Effect of barley flour, wet gluten and ascorbic acid on bread crumb texture. *Food Science and Technology International*, 9, 17-25.
- Glover, J.M., Walker, C.E. & Mattern, P.J. (1986).** Functionality of sorghum flour components in a high ratio cake. *Journal of Food Science* 51, 1280-1283.

- Gómez, M., Ronda, F., Blanco, C.A., Caballero, P.A. & Apesteguía, A. (2003).** Effect of dietary fibre on dough rheology and bread quality. *European Food Research and Technology*, 216(1), 51–56.
- Gómez, M., Ronda, F., Caballero, P. A., Blanco, C. A. & Rosell, C. M. (2007).** Functionality of different hydrocolloids on the quality and shelf-life of yellow layer cakes. *Food Hydrocolloids*, 21, 167-173.
- Gómez, M., Oliete, B., Rosell, C.M., Pando, V. & Fernandez, E. (2008).** Studies on cake quality made of wheat-chickpea flour blends. *LWT-Food Science and Technology*, 41, 1701- 1709.
- Gómez, M., Manchón, L., Oliete, B., Ruiz, E. & Caballero, P.A. (2010a).** Adequacy of wholegrain non-wheat flours for layer cake elaboration, *LWT - Food Science and Technology*, 43 (3), 507–513.
- Gómez, M., Moraleja, A., Oliete, B., Ruiz, E. & Caballero, P.A. (2010b).** Effect of fiber size on the quality of fibre-enriched layer cake. *LWT—Food Science and Technology*, 43, 33–38.
- Graber, S. (1999).** Influence of enzyme treatment on the rheology of rye doughs. *Nahrung*, 43 (4), 249-252.
- Grigelmo-Miguel, N., Carreras-Boladeras, E. & Martin-Belloso, O. (1999).** Development of high-fruit-dietary fibre muffins. *European Food Research and Technology*, 210, 123–128.
- Grigelmo-Miguel, N., Carreras-Boladeras, E. & Martín-Belloso, O. (2001).** Influence of the addition of peach dietary fiber in composition, physical properties and acceptability of reduced-fat muffins. *Food Science and Technology International*, 7(5), 425–431.
- Gruppen, H., Kormelink, F.J.M. & Voragen, A.C.J. (1993).** Enzymic degradation of water-unextractable cell wall material and arabinoxylans from wheat flour. *Journal of Cereal Science*, 18, 129-143.
- Guarda, A., Rosell, C.M., Benedito, C. & Galotto, J. (2004).** Different hydrocolloids as bread improvers and antistaling agents. *Food Hydrocolloids*, 18(2), 241–247.
- Gularte, M.A., De la Hera, E., Gómez, M. & Rosell, C.M. (2012).** Effect of different fibers on batter and gluten-free layer cake properties. *LWT - Food Science and Technology*, 48, 209-214.
- Gul, H., Özer, M.S. & Dizlek, H. (2009).** Improvement of the wheat and corn bran bread quality by using glucose oxidase and hexose oxidase. *Journal of Food Quality*, 32, 209–223.
- Gupta, M., Bawa, A.S. & Semwal, A.D. (2009).** Effect of barley flour incorporation on the instrumental texture of sponge cake. *International Journal of Food Properties*, 12 (1), 243–251.
- Gys, W., Courtin, C.M. & Delcour, J. A. (2003).** Refrigerated dough syruing in relation to the arabinoxylan population. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 51, 4119-4125.
- Hager, A.S, Ryan, L.A.M., Schwab, C., Ganzle, M.G. & Doherty, O. (2011).** Influence of the soluble fibres inulin and oat glucan on quality of dough and bread. *European Food Research and Technology*, 232, 405–413.

- Hammond, J.** (1994) Breadmaking with hemicellulase: overcoming the legal hurdles. *Food Technology International Europe*, 19–23.
- Harada, O., Lysenko, E. D. & Preston, K.R.** (2000). Effects of commercial hydrolytic enzyme additives on Canadian short process bread properties and processing characteristics. *Cereal Chemistry*, 77, 70-76.
- Harada, O., Lysenko, E.D., Edwards, N.M. & Preston, K.R.** (2005). Effects of commercial hydrolytic enzyme additives on Japanese-Style sponge and dough bread properties and processing characteristics. *Cereal Chemistry*, 82(3), 314–320.
- Härkönen, H., Lehtinen, P., Suortti, T., Parkkonen, T., Siika-aho, M. & Poutanen, K.** (1995). The effects of a xylanase and α β -glucanase from *Trichoderma reesei* on the non-starchpolysaccharides of wholemealrye slurry. *Journal of Cereal Science*, 21 (2), 173–183.
- Haros, M., Rosell, C.M. & Benedito, C.** (2002). Effect of different carbohydrases on fresh bread texture and bread staling. *European Food Research and Technology*, 215, 425–430.
- Haseborg, E. & Himmelstein, A.** (1988). Quality problems with high-fiber breads solved by use of hemicellulase enzymes. *Cereal Foods World*, 38(5), 419- 422.
- Hera, E.d.l., Ruiz-París, E., Oliete, B. & Gómez, M.** (2012). Studies of the quality of cakes made with wheat-lentil composite flours, *LWT - Food Science and Technology*, doi: 10.1016/j.lwt.2012.05.009.
- Hille, J.D.R. & Schooneveld-Bergmans, M.E.F.** (2004). Hemicellulases and their synergism in breadmaking. *Cereal Foods World*, 49 (5), 283-286.
- Hillhorst, R., Dunnewind, B., Orsel, R., Stegeman, P., van Vliet, T., Gruppen, H. & Schols, H.A.** (1999). Baking performance, rheology, and chemical composition of wheat dough and gluten affected by xylanase and oxidative enzymes. *Journal of Food Science*, 64, 808– 813.
- Hilhorst, R., Gruppen, H., Orsel, R., Laane, C., Schols, H.A. & Voragen, A.G.J.** (2002). Effects of xylanase and peroxidase on soluble and insoluble arabinoxylans in wheat bread dough. *Journal of food science*, 67 (2),497-506.
- Holtekjølen, A.K., Olsen, H.H.R., Færgestad, E.M., Uhlen, A.K. & Knutsen, S.H.** (2008). Variations in water absorption capacity and baking performance of barley varieties with different polysaccharide content and composition. *LWT - Food Science and Technology*, 41, 2085-2091.
- Hu, G., Huang, S., Cao, S. & Ma, Z.** (2009). Effect of enrichment with hemicelluloses from rice bran on chemical and functional properties of bread. *Food Chemistry*, 115, 839–842.
- Hudson, C.A., Chiu, M.M. & Knuckles, B.E.** (1992). Development and characteristics of high-fiber muffins with oat bran, rice bran or barley fiber fractions. *Cereal Foods World*, 37, 278.
- Indrani, D.P., Prabhasankar, Rajiv, J. & Rao, G.V.** (2003). Scanning electron microscopy, rheological characteristics and bread-baking performance of wheat-flour dough as affected by enzymes. *Journal of food science*, 68 (9), 2804-2809.

- Ingelbrecht**, J.A., Moers, K., Abécassis, J., Rouau, X. & Delcour, J.A. (2001). Influence of arabinoxylans and endoxylanases on pasta processing and quality. Production of high-quality pasta with increased levels of soluble fiber. *Cereal Chemistry*, 78(6), 721–729.
- Inglett**, G.E., Carriere, C.J. & Maneepun, S. (2003). Health related fat replacers prepared from grains for improving functional and nutritive values of Asian foods. *Asian Functional Foods*, Marcel Dekker, USA.
- Izydorczyk**, M.S. & Dexter, J.E. (2008). Barley b-glucans and arabinoxylans: Molecular structure, physicochemical properties, and uses in food products. *Food Research International*, 41(9), 850–868.
- Izydorczyk**, M.S., Hussain, A. & MacGregor, A.W. (2001). Effect of barley and barley components on rheological properties of wheat dough. *Journal of Cereal Science*, 34, 251–260.
- Jacobs**, S.M., Izydorczyk, S.M., Preston, R.K. & Dexter, E.J. (2008). Evaluation of baking procedures for incorporation of barley roller milling fractions containing high levels of dietary fibre into bread. *Journal of the Science of Food and Agriculture*, 88, 4 558-568.
- Jasberg**, B. K., Gould, J. M. & Warner, K. (1989). High-fibre, non calorie flour substitute for baked foods. Effect of alkaline peroxide-treated lignocellulose on dough properties. *Cereal Chemistry*, 66(3), 209–213.
- Jiang**, Z., Li, X., Yang, S., Li, L. & Tan, S. (2005a). Improvement of the breadmaking quality of wheat flour by the hyperthermophilic xylanase B from *Thermotoga maritima*. *Food Research International*, 38, 37–43.
- Jiang**, Z.Q., Yang, S.Q., Tan, S.S., Li, L.T. & Li, X.T. (2005b). Characterization of a xylanase from the newly isolated thermophilic *Thermomyces lanuginosus* CAU44 and its application in bread-making. *Letters of Applied Microbiology*, 41, 69–76.
- Jiang**, Z., Le Bail, A. & Wu, A. (2008) Effect of the thermostable xylanase B (XynB) from *Thermotoga maritima* on the quality of frozen partially baked bread. *Journal of Cereal Science*, 47, 172–179.
- Jimenez**, T. & Martinez-Anaya, M. A. (2001). Amylases and hemicellulases in breadmaking. Degradation by-products and potential relationship with functionality. *Food Science and Technology International*, 7(1), 5–14.
- Kaack**, K., Pedersen, L., Nygaard, L.H. & Meyer, A. (2006). New potato fibre for improvement of texture and colour of wheat bread. *European Food Research and Technology*, 224, 199–207.
- Kaack**, K. & Pedersen, L. (2005). Low energy chocolate cake with potato pulp and yellow pea hulls. *European Food Research and Technology*, 221, 367–375.

- Karaoğlu, M.** (2006). Effect of baking procedure and storage on the pasting properties and staling of part-baked and rebaked wheat bran bread. *International Journal of Food Science & Technology*, 41 (s2), 77–82.
- Karolini-Skaradzinska, Z., Bihuniak, P., Piotrowska, E. & Wdowik, L.** (2007). Properties of dough and qualitative characteristics of wheat bread with addition of inulin. *Polish Journal of Food and Nutrition Sciences*, 57(4(B)), 267–270.
- Katina, K., Salmenkallio-Marttila, M., Partanen, R., Forssell, P. & Autio, K.** (2006). Effects of sourdough and enzymes on staling of high-fibre wheat bread. *LWT- Food Science and Technology*, 39, 479–491.
- Keskin, S.O., Sumnu, G. & Sahin, S.** (2004). Usage of enzymes in a novel baking process. *Nahrung/Food*, 48 (2), 156– 160.
- Kim, Y.A.** (1998). The effects of hot air dried carrot juice residue as a dietary fiber source on the quality and staling of cake. *Food Science and Biotechnology*, 7 (4), 295-299.
- Kim, H.Y.L. & Yeom, H.W.** (2001). Replacement of shortening in yellow layer cakes by corn dextrins. *Cereal Chemistry*, 78, 267–271.
- Kim, J.H., Lee, H.J., Lee, H.-S., Lim, E.-J., Imm, J.-Y. & Suh, H.J.** (2012). Physical and sensory characteristics of fibre-enriched sponge cakes made with *Opuntia humifusa*. *LWT - Food Science and Technology*, 47, 478-484.
- Kissell, L.T. & Lorenz, K.** (1976). Performance of triticale flours in test for soft wheat quality. *Cereal Chemistry*, 53, 233-241.
- Knuckles, B. E., Hudson, C. A., Chiu, M. M. & Sayre, R. N.** (1997). Effect of beta-glucan barley fractions in high-fiber bread and pasta. *Cereal Foods World*, 42, 94-98.
- Kocer, D., Hicsasmaz, Z., Bayindirli, A. & Katnas, S.** (2007). Bubble and pore formation of the high-ratio cake formulation with polydextrose as a sugar-and fat-replacer. *Journal of Food Engineering*, 78, 953-964.
- Kopec, A., Pysz, M., Borczak, B., Sikora, E., Rosell, C.M., Collar, C. & Sikora, M.** (2011). Effects of sourdough and dietary fibers on the nutritional quality of breads produced by bake-off technology. *Journal of Cereal Science*, 54, 499-505.
- Korus, J., Grzelak, K., Achremowicz, K. & Sabat, R.** (2006). Influence of prebiotic additions on the quality of gluten-free bread and on the content of inulin and fructooligosaccharides. *Food Science and Technology International*, 12(6), 489–495.
- Korus, J., Witczak, M., Ziobro, R. & Juszczak, L.** (2009). The impact of resistant starch on characteristics of gluten-free dough and bread. *Food Hydrocolloids*, 23, 988–995.
- Koyuncu, Ö., Bilgicli, N., Elgun, A. & Kara, M.** (2008). Effect of pentosanase on dough and bread properties produced by different types of flours. *Journal of Food Quality*, 31, 156–172.
- Krishnan, P.G., Chang, K.C. & Brown, G.** (1987). Effect of commercial oat bran on the characteristics and composition of bread. *Cereal Chemistry*, 64, 55-58.

- Krishnarau**, L. & Hosenev, R.C. (1994). Enzymes increase loaf volume of bread supplemented with starch tailings and insoluble pentosans. *Journal of Food Science*, 59, 1251-1254.
- Lai**, C. S., Hosenev, R. C. & Davis, A. B. (1989a). Effects of wheat bran in breadmaking. *Cereal Chemistry*, 66, 217–219.
- Lai**, C.S., Hosenev, R.C. & Davis, A.B. (1989b). Functional effects of shorts in breadmaking. *Cereal Chemistry*, 66 (3), 220-223.
- Laurikainen**, T., Harkonen, H., Autio, K. & Poutanen, K. (1998). Effects of enzymes in fibre-enriched baking. *Journal of the science of Food and Agriculture*, 76 (2), 239-249.
- Lazaridou**, A., Duta, D., Papageorgiou, M., Belc, N. & Biliaderis, C.G. (2007). Effects of hydrocolloids on dough rheology and bread quality parameters in gluten-free formulations. *Journal of Food Engineering*, 79, 1033-1047.
- Lee**, S., Carriere, C.J. & Inglett, G.E. (2004). Effect of nutrim oat bran and flaxseed on rheological properties of cakes. *Cereal Chemistry*, 81, 637–642.
- Lee**, S., Kim, S. & Inglett, G.E. (2005a). Effect of shortening replacement with oatrim on the physical and rheological properties of cakes. *Cereal Chemistry*, 82, 120–124.
- Lee**, S., Kinney, M.P. & Inglett, G.E. (2005b). Rheological characterization of a new oat hydrocolloid and its application in cake baking. *Cereal Chemistry*, 82(6), 717–720.
- Lee**, C.C. & Lin, S.D. (2008). Effect of GABA tea on quality characteristics of chiffon cake. *Cereal Chemistry*, 85(1), 31–38.
- Li**, B.W., Blackwell, E.L., Behall, K.M & Liljeberg-Elmståh, H.G.M. (2001). Resistant starch and total dietary fiber content of oatrim muffins with different levels of amylose, amylopectin, and β -Glucan. *Cereal Chemistry*, 78 (4), 387-390.
- Lima**, I., Guraya, H. & Champagne, E. (2002). The functional effectiveness of reprocessed rice bran as an ingredient in bakery products. *Nahrung*, 46, 112–117.
- Lin**, P.-Y., Czuchajowska, Z. & Pomeranz, Y. (1994). Enzyme-resistant starch in yellow layer cake. *Cereal Chemistry*, 71, 69-75.
- Maat**, J., Verbakel, J.R.M., Stam, H., Santos da Silva, M.J., Bosse, M., Egmond, M.R., Hagemans, M.L.D., Van Gorcom, R.F.M., Hessing, J.G.M. & Van den Hondel, C.A.M.J.J. (1992). Xylanases and Their Application in Bakery. In: *Xylans and Xylanases*. Beldman V.J.G., Kusters-van Someren, M.A. & Voragen, A.G.J. (eds). Elsevier Science Publishers, Amsterdam, the Netherlands, pp. 349-360.
- MacLaurin**, T., Setser, C.S. & Zabik, M.E. (1993). Development of lowfat, cholesterol-free, highfiber muffins. Part 2. Sensory characteristics with selected fiber sources. *School Food Service Research Reviews*, 17, 21–29.
- Maheshwari**, R., Bahadradwaj, G. & Bhat, M.K. (2000). Thermophilic fungi: Their physiology and enzymes. *Microbiology and Molecular Biology Reviews*, 64, 461–488.

- Maes, C., Vangeneugden, B. & Delcour, J.A. (2004).** Relative activity of two endoxylanases towards water-unextractable arabinoxylans in wheat bran. *Journal of Cereal Science*, 39, 181–186.
- Mallasy, L.O., El Tinay, A.H. & Ahmed, A.R. (2002).** Biochemical and sensory evaluation of wheat bran supplemented sorghum bread. *Plant Foods for Human Nutrition*, 57, 63–71.
- Mandala, I.G. & Sotirakoglou, K. (2005).** Effect of frozen storage and microwave reheating on some physical attributes of fresh bread containing hydrocolloids. *Food Hydrocolloids*, 19, 709–719.
- Manisha, G., Soumya, C. & Indrani, D. (2012).** Studies on interaction between stevioside, liquid sorbitol, hydrocolloids and emulsifiers for replacement of sugar in cakes. *Food Hydrocolloids*, 29, 363-373.
- Martinez-Anaya, M.A. & Jimenez, T. (1997).** Rheological properties of enzyme supplemented doughs. *Journal of Texture Studies*, 28(5), 69-583.
- Martinez-Anaya, M.A. & Jimenez, T. (1997).** Functionality of enzymes that hydrolyse starch and non-starch polysaccharide in breadmaking. *LWT-Food Science and Technology*, 205, 209–214.
- Martinez-Anaya, M.A. & Jimenez, T. (1998).** Physical properties of enzyme-supplemented doughs and relationship with bread quality parameters. *LWT-Food Science and Technology*, 206, 134- 142.
- Masoodi, F.A. & Chauhan, G.S. (1998).** Use of apple pomace as a source of dietary fiber in wheat bread. *Journal of Food Processing and Preservation*, 22, 255-263.
- Masoodi, F.A., Sharma, B. & Chauhan, G.S. (2002).** Use of apple pomace as a source of dietary fiber in cakes. *Plant Foods for Human Nutrition*, 57, 121–128.
- Matsuda, N. (1997).** Green chile peels and seeds as compared to oat bran and rice bran as a dietary fiber source for human food. MS Thesis, Department of Home Economics, New Mexico State University, Las Cruces, NM.
- McCleary, B.V., Gibson, T.S., Allen, H. & Gams, T.C. (1986).** Enzymic hydrolysis and industrial importance of barley β -glucans and wheat flour pentosans. *Starch*, 38, 433-437.
- Michniewicz, C. G., Biliaderis, A. & Bushuk, W. (1991).** Effect of added pentosans on some physical and technological characteristics of dough and gluten. *Cereal Chemistry*, 68, 252–258.
- Michniewicz, C.G., Biliaderis, A. & Bushuk, W. (1992).** Effect of added pentosans on some properties of bread. *Food Chemistry*, 43, 251–257.
- Mis, A., Grundas, S., Dziki, D. & Laskowski, J. (2012).** Use of farinograph measurements for predicting extensograph traits of bread dough enriched with carob fibre and oat wholemeal. *Journal of Food Engineering*, 108, 1–12.

- Moers, K., Celus, I., Brijs, K., Courtin, C.M. & Delcour, J.A. (2005).** Endoxylanase substrate selectivity determines degradation of wheat water-extractable and water-unextractable arabinoxylan. *Carbohydrate Research*, 340, 1319–1327.
- Mosharraf, L., Kadivar, M. & Shahedi, M. (2009).** Effect of hydrothermally treated bran on physicochemical, rheological and microstructural characteristics of Sangak bread. *Journal of Cereal Science*, 49, 398–404.
- Mutsaers, J.H.G.M. (1997).** The Application of Enzymes in Baking. In: *First European Symposium on Enzymes and Grain Processing*. Angelino, S.A.G.F., Hamer, R.J., Van Hartingsveldt, W., Heidekamp, F., Van der Lugt, J.P. (eds). TNO Nutrition and Food Research Institute, Zeist, The Netherlands, pp. 160-163.
- Nam Oh, Y. & Grundleger, M.L. (1990).** Improvement in soluble fiber content of wheat fiber through enzymatic modification. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 38, 1142-1 145.
- Navickis, L.L. & Nelsen, T.C. (1992).** Mixing and extensional properties of wheat flour doughs with added corn flour, fibers and gluten. *Cereal Foods World*, 37 (1), 30-35.
- Nelles, E.M., Randall, P.G. & Taylor, J.R.N. (1998).** Improvement of brown bread quality by prehydration treatment and cultivar selection of bran. *Cereal Chemistry*, 75, 536-540.
- Newman, R.K., McGurie, C.F. & Newman, C.W. (1990).** Composition and muffin- baking characteristics of flours from four barley cultivars. *Cereal Foods World* 35, 563–566.
- Polizzoto, L.M., Tinsley, A.M., Weber, C.W. & Berry, J.W. (1983).** Dietary fibers in muffins. *Journal of Food Science*, 48, 111– 118.
- Ragaee, S. & Abdel-Aal, E. M. (2006).** Pasting properties of starch and protein in selected cereals and quality of their food products. *Food Chemistry*, 95, 9-18.
- Rupasinghe, H.P.V., Wang, L.X., Huber, G. M. & Pitts, N. L. (2008).** Effect of baking on dietary fibre and phenolics of muffins incorporated with apple skin powder. *Food Chemistry*, 107, 1217–1224.
- Sanz, T., Salvador, A. & Fiszman, S.M. (2008).** Evaluation of four types of resistant starch in muffin baking performance and relationship with batter rheology. *European Food Research and Technology* 227, 813-819.
- Sanz, T., Salvador, A., Baixauli, R. & Fiszman, S.M. (2009).** Evaluation of four types of resistant starch in muffins. II. Effects in texture, colour and consumer response. *European Food Research and Technology*, 229 (2), 197-204.
- Sekhon, K.S., Dhillon, S.S., Sing, N. & Sing, B. (1997).** Functional stability of commercially milled rice bran in India for use in different products. *Plant Foods for Human Nutrition*, 50, 127–140.
- Shafer, M.A.M. & Zabik, M.E. (1978).** Fiber components quantitation and relationship to cake quality. *Journal of Food Science*, 44, 1732–1735.
- Shafer, M. A. M. & Zabik, M. E. (1978).** Dietary fiber sources for baked products: comparison of wheat brans and other cereal brans in layer cakes. *Journal of Food Science*, 43, 375–379.

- Shearer**, A.E.H. & Davies, C.G.A. (2005). Physicochemical properties of freshly baked and stored whole wheat muffins with and without flaxseed meal. *Journal of Food Quality*, 28, 137–153.
- Sievert**, D., Pomeranz, Y. & Abdelrahman, A. (1990). Functional properties of soy polysaccharides and wheat bran in soft wheat products. *Cereal Chemistry*, 67(1), 10-13.
- Singh**, B., Sekhon, K.S. & Singh, N. (1995). Suitability of full fat and defatted rice bran obtained from Indian rice for use in food products. *Plant Foods for Human Nutrition*, 47, 191-200.
- Singh** M., Liu, S.X. & Vaughn, S.F. (2012). Effect of corn bran as dietary fiber addition on baking and sensory quality. *Biocatalysis and Agricultural Biotechnology*, 1 (4), 348-352.
- Sosulski**, F.W. & Wu, K.K. (1988). Dietary fiber sources for baked products: comparison of wheat brans and other cereal brans in layer cakes. *Cereal Chemistry*, 65, 186–191.
- Springsteen**, E., Zabik, M.E. & Shafer, M. (1977). Note on layer cakes containing 30 to 70% wheat bran. *Cereal Chemistry*, 54, 193-198.
- Sreenath**, H.K., Sudarshanakrishna, K.R., Prasad, N.N. & Santhanam, K. (1996). Characteristics of some fiber incorporated cake preparations and their dietary fiber content. *Starch/Stärke*, 48, 72-76.
- Sudha**, M.L., Basakaran, V. & Leelavati, K. (2007). Apple pomace as a source of dietary fiber and polyphenols and its effect on the rheological characteristics and cake making. *Food Chemistry*, 104, 686–692.
- Tosh**, S.M., Brummer Y., Wolever T.M.S. & Wood, P.J. (2008). Glycemic response to oat bran muffins treated to vary molecular weight of β -Glucan. *Cereal Chemistry*, 85(2), 211–217.
- Trinidad**, T.P., Mallillin, A.C., Valdez, D.H., Loyola, A.S., Askali-Mercado, F.C., Castillo, J.C., Encabo, R.R., Masa, D.B., Maglaya, A.S. & Chua, M.T. (2006). Dietary fiber from coconut flour: a functional food. *Innovative Food Science and Emerging Technology*, 7(4), 302–317.
- Turabi**, E., Sumnu, G. & Sahin, S. (2008). Rheological properties and quality of rice cakes formulated with different gums and an emulsifier blend. *Food Hydrocolloids*, 22, 305–312.
- Turabi** E., Sumnu, G. & Sahin, S. (2010). Quantitative analysis of macro and micro-structure of gluten-free rice cakes containing different types of gums baked in different ovens. *Food Hydrocolloids*, 24, 755-762.
- Onwulata**, C.I. (2008). Baking properties of milk protein-coated wheat bran. *Journal of Food Processing and Preservation*, 32, 24–38.
- Orr**, P.H., Toma, R.B., Munson, S.T. & D’Appolonia, B. (1982). Sensory evaluation of breads containing various levels of potato peel. *American Journal of Potato Research*, 59 (12), 605-611.
- Oyidi**, O. (1976). The vegetative characters and food uses of a mutant sorghum with twin-seeded spikelets, in Northern Nigeria. *Samaru Agricultural Newsletter*, 18, 44–49.

- Ozboy, O.** & Koksel, H. (1997). Unexpected strengthening effects of a coarse wheat bran on dough rheological properties and baking quality. *Journal of Cereal Science*, 25 (1), 77-82.
- Ozturk, S.,** Koksel, H. & Perry, K.W.N. (2009). Characterization of resistant starch samples prepared from two high-amylose maize starches through debranching and heat treatments. *Cereal Chemistry*, 86 (5), 503-510.
- Park, H.,** Seib, P.A. & Chung, O. K. (1997). Fortifying bread with a mixture of wheat fibre and Psyllium husk fibre plus three antioxidants. *Cereal Chemistry*, 74(3), 207–211.
- Peressini, D.** & Sensidoni, A. (2009). Effect of soluble dietary fibre addition on rheological and breadmaking properties of wheat doughs. *Journal of Cereal Science*, 49, 190–201.
- Petit-Benvegnen, M.-D.,** Saulnier, L. & Rouau, X. (1998). Solubilization of arabinoxylans from isolated water-unextractable pentosans and wheat flour doughs by cell-wall degrading enzymes. *Cereal Chemistry*, 75(4), 551–556.
- Poinot, P.,** Arvisenet, G., Grua-Priol, J., Fillonneau, C., Le-Bail, A. & Prost, C. (2010). Influence of inulin on bread: Kinetics and physico-chemical indicators of the formation of volatile compounds during baking. *Food Chemistry*, 119(4), 1474–1484.
- Polaki, A.,** Xasapis, P., Fasseas, C., Yanniotis, S. & Mandala, I. (2010). Fiber and hydrocolloid content affect the microstructural and sensory characteristics of fresh and frozen stored bread. *Journal of Food Engineering*, 97(1), 1–7.
- Pomeranz, Y.,** Shogren, M.D., Finney, K.F. & Bechtel, D.B. (1977). Fiber in bread making: Effects on functional properties. *Cereal Chemistry*, 54, 25–41.
- Prabhasankar, P.,** Indrani, D., Jyotsna, R. & Rao, G.V. (2004). Influence of enzymes on rheological, microstructure and quality characteristics of parotta – An unleavened Indian flat bread. *Journal of the Science of Food and Agriculture*, 84, 1989–2144.
- Praznik, W.,** Cieslik, E. & Florkiewicz, A.F. (2002). Soluble dietary fibres in Jerusalem artichoke powders: Composition and application in bread. *Nahrung/Food*, 46, 151–157.
- Prentice, N.** & D'Appolonia, B.L. (1977). High-fiber bread containing brewer's spent grain. *Cereal Chemistry*, 54, 1084-1095.
- Primo-Martín, C.,** Wang, M., Lichtendonk, W.J., Plijter, J.J. & Hamer, R.J. (2005). An explanation for the combined effect of xylanase-glucose oxidase in dough systems. *Journal of the Science of Food and Agriculture*, 85, 1186–1196.
- Purhagen, J.K.,** Sjöö, M.E. & Eliasson, A.C. (2008). Staling effects when adding low amounts of normal and heat-treated barley flour to a wheat bread. *Cereal Chemistry*, 85(2), 109–114.
- Qi Si, J.** (1997). Synergistic effect of enzymes for bread baking, *Cereal Food World*, 42, 802–807.
- Ragaee, S.,** Guzar, I., Dhull, N. & Seetharaman, K. (2011). Effects of fiber addition on antioxidant capacity and nutritional quality of wheat bread. *LWT - Food Science and Technology*, 44, 2147-2153.

- Rao, P.H. & Rao, H.M. (1991).** Effect of incorporating wheat bran on the rheological characteristics and bread making quality of flour. *Journal of Food Science and Technology*, 28, 92-97.
- Rao, R.S.P., Sai Manohar, R. & Muralikrishna, G. (2007).** Functional properties of water-soluble non-starch polysaccharides from rice and ragi: Effect on dough characteristics and baking quality. *LWT - Food Science and Technology*, 40 (10), 1678–1686.
- Rasco, B.A. & Dong, F.M. (1992).** Baking and storage stability properties of high fiber breads containing comparable levels of different fiber ingredients. *Journal of Food Process and Preservation*, 15, 433–442.
- Redgwell, R. J., de Michieli, J.-H., Fischer, M., Reymond, S., Nicolas, P. & Sievert, D. (2001).** Xylanase induced changes to water- and alkali-extractable arabinoxylans in wheat flour: Their role in lowering batter viscosity. *Journal of Cereal Science*, 33, 83–96.
- Rieder, A., Holtekjølen, A. K., Sahlstrøm, S. & Moldestad, A. (2012).** Effect of barley and oat flour types and sourdoughs on dough rheology and bread quality of composite wheat bread. *Journal of Cereal Science*, 55, 44-52.
- Roberts, K.T., Cui, S.W., Chang, Y.H., Ng, P.K.W. & Graham, T. (2012).** The influence of fenugreek gum and extrusion modified fenugreek gum on bread. *Food Hydrocolloids*, 26, 350-358.
- Rodionova, N.A., Kilimnik, A.Y., Kaprel yants, L.V., Serednitskii, P.V., Martinovich, L.I., Zagustina, N.A. & Bezborodov, A.M. (1995).** Enzyme preparations from mycelial fungi that cleave cereal grain polymers. *Applied Biochemistry and Microbiology*, 31, 433-439.
- Romanowska, I., Polak, J., Janowska, K. & Bielecki, S. (2003).** The application of fungal endoxylanase in breadmaking. *Communications in Agricultural and Applied Biological Sciences*, 68, 317–320.
- Rosell, C.M., Rosaj, J.A. & Benedito De Barber, C. (2001).** Influence of hydrocolloids on dough rheology and bread quality. *Food Hydrocolloids*, 15, 75–81.
- Rosell, C.M., Santos, E. & Collar, C. (2006).** Mixing properties of fibre enriched wheat bread doughs: a response surface methodology study. *European Food Research and Technology*, 233, 333-340.
- Rosell, C.M., Santos, E. & Collar, C. (2009).** Physico-chemical properties of commercial fibres from different sources: a comparative approach. *Food Research International*, 42, 176-184.
- Rosell, C.M. & Santos, E. (2010).** Impact of fibers on physical characteristics of fresh and staled bake off bread. *Journal of Food Engineering*, 98, 273-281.
- Rosell, C.M., Santos, E. & Collar, C. (2010).** Physical characterization of fiber-enriched bread doughs by dual mixing and temperature constraint using the Mixolab(A (R)). *European Food Research and Technology*, 231(4),535–544.
- Rouau, X. (1993).** Investigations into the effects of an enzyme preparation for baking on wheat flour dough pentosans. *Journal of Cereal Science*, 18, 145–157.

- Rouau, X., El-Hayek, M. L. & Moreau, D. (1994).** Effect of an enzyme preparation containing pentosanase on the bread-making quality of flours in relation to changes in pentosan properties. *Journal of Cereal Science*, 19, 259-272.
- Sahlstrom, S. & Brathen, E. (1997).** Effects of enzyme preparations for baking, mixing time and resting time on bread quality and bread staling. *Food Chemistry*, 58 (1-2), 75-80.
- Sairam, S., Gopala Krishna, A.G. & Urooj, A. (2011).** Physico-chemical characteristics of defatted rice bran and its utilization in a bakery product. *Journal of Food Science and Technology*, 48 (4), 478-483.
- Salmenkallio-Marttila, M., Katina, K. & Autio, K. (2001).** Effects of bran fermentation on quality and microstructure of high-fibre wheat bread. *Cereal Chemistry*, 78, 429-435.
- Salmenkallio-Marttila, M. & Hovinen, S. (2005).** Enzyme activities, dietary fibre components and rheological properties of wholemeal flours from rye cultivars grown in Finland. *Journal of the Science of Food and Agriculture*, 85, 1350-1356.
- Sangnark, A. & Noomhorm, A. (2003).** Effect of particle sizes on functional properties of dietary fibre prepared from sugarcane bagasse. *Food Chemistry*, 80, 221-229.
- Sangnark, A. & Noomhorm, A. (2004).** Chemical, physical and baking properties of dietary fiber prepared from rice straw. *Food Research International*, 37, 66-74.
- Santos, E., Collar, C. & Rosell, M.C. (2008).** Gelatinisation and retrogradation kinetics of high fibre-wheat flour blends: A calorimetric approach. *Cereal Chemistry*, 85(4), 455-463.
- Sanz Penella, J.M., Collar, C. & Haros, M. (2008).** Effect of wheat bran and enzyme addition on dough functional performance and phytic acid levels in bread. *Journal of Cereal Science*, 48, 715-721.
- Saulnier, L., Ducasse, M., Chiron, H., Della Valle, G., Martin, C., Issanchou, S., Rouau, X. & Rizkalla, S.W. (2010).** Impact of Texture Modification and Dietary Fibre Content on the Glycemic Index and the Acceptability of French Bread. In: *Dietary fibre: New Frontiers for Food and Health*, Van der Kamp, J.W., Jones, J., McCleary, B. & Topping, D. (eds.). Wageningen Academic Publishers, the Netherlands, pp. 91-114.
- Seguchi, M., Tabara, A., Fukawa, I., Ono, H., Kumashiro, C., Yoshino, Y., Kusunose, C. & Yamane C. (2007).** Effects of size of cellulose granules on dough rheology, microscopy, and breadmaking properties. *Journal of Food Science*, 72 (2), E79-E84.
- Selinheimo, E., Kruus, K., Buchert, J., Hopia, A. & Autio K. (2006).** Effects of laccase, xylanase and their combination on the rheological properties of wheat doughs. *Journal of Cereal Science*, 43, 152-159.
- Seyer, M.E. & Gelinas, P. (2009).** Bran characteristics and wheat performance in whole wheat bread. *International Journal of Food Science and Technology*, 44, 688-693.
- Shah, A.R., Shah, R.K. & Madamwar, D. (2006).** Improvement of the quality of whole wheat bread by supplementation of xylanase from *Aspergillus foetidus*. *Bioresource Technology*, 97 (16), 2047-2053.

- Sharp, C.Q. & Kitchens, K.J. (1990).** Using rice bran in yeast bread in a home baker. *Cereal Foods World*, 35 (10), 1021-1024.
- Shenou, A.H. & Prakash, J. (2002).** Wheat bran (Tritzcum Aestwum): Composition, Functionality and incorporation in unleavened bread. *Journal of Food Quality*, 25, 197-211.
- Shetlar, M.R. & Lyman, J.F. (1944).** Effect of bran on bread baking. *Cereal Chemistry*, 21, 295-304.
- Shogren, M.D., Pomeranz, Y. & Finney, K.F. (1981).** Counteracting the deleterious effects of fiber in breadmaking. *Cereal chemistry*, 58, 142-144.
- Sidhu, J.S., Al-Hooti, S.N. & Al-Saqer, J.M. (1999).** Effect of adding wheat bran and germ fractions on the chemical composition of high-fiber toast bread. *Food Chemistry*, 67, 365-371.
- Sidhu, J. P.S. & Bawa, A.S. (2002).** Dough characteristics and baking studies of wheat flour fortified with xanthan gum. *International Journal of Food Properties*, 5, 1-11.
- Sivam, A.S., Sun-Waterhouse, D., Waterhouse, G.I.N., Quek, S.Y. & Perera, C.O. (2011).** Physicochemical properties of bread dough and finished bread with added pectin fiber and phenolic antioxidants. *Journal of Food Science*, 76 (3), 97-107.
- Skendi, A., Biliaderis, C.G., Papageorgiou, M. & Izydorczyk, M.S. (2010).** Effects of two barley beta-glucan isolates on wheat flour dough and bread properties. *Cereal Chemistry*, 119(3), 1159–1167.
- Slade, L., Levine, H., Craig, S. & Arciszewski, H. (1994).** Enzyme-treated low moisture content comestible products. U.S. patent 5200215.
- Sosulski, F.W. & Wu, K.K. (1988).** High-fiber breads containing field pea hulls, wheat, corn and wild oat brans. *Cereal Chemistry*, 65, 186-191.
- Sprossler, B.G. (1997).** Xylanases in Baking. In: *First European Symposium on Enzymes and Grain Processing*. Angelino, S.A.G.F., Hamer, R.J., Van Hartingsveldt, W., Heidekamp, F. & Van der Lugt, J.P. (eds). TNO Nutrition and Food Research Institute, Zeist, The Netherlands, pp. 177-187.
- Steinmacher, N.C., Honna, F.A., Gasparetto, A.V., Anibal, D. & Grossmann, M.V.E. (2012).** Bioconversion of brewer's spent grains by reactive extrusion and their application in bread-making. *LWT - Food Science and Technology*, 46, 542-547.
- Stojceska, V. & Ainsworth, P. (2008).** The effect of different enzymes on the quality of high-fibre enriched brewer's spent grain breads. *Food Chemistry*, 110, 865–872.
- Sudha, M.L, Vetrmani, R. & Leelavathi, K. (2007).** Influence of fibre from different cereals on the rheological characteristics of wheat flour dough and on biscuit quality. *Food Chemistry*, 100, 1365–1370.
- Swennen, K., Courtin, C.M., Lindemans, G. & Delcour, J.A. (2006).** Large-scale production and characterisation of wheat bran arabinoxyloligosaccharides. *Journal of the Science of Food and Agriculture*, 86, 1722–1731.

- Toma, R.B., Orr, P.H., D'Appolonia, B., Dintzis, F.R. & Tabekhia, M. (1979).** Physical and chemical properties of potato peel as a source of dietary fiber in bread. *Journal of Food Science*, 44 (5), 1403–1407.
- Trogh, I., Courtin, C.M., Andersson, A.A.M., Aman, P., Sørensen, J.F. & Delcour, J.A. (2004).** The combined use of hull-less barley flour and xylanase as a strategy for wheat/hull-less barley flour breads with increased arabinoxylan and (1/3,1/4)-b-D-glucan levels. *Journal of Cereal Science*, 40, 257–267.
- Trogh, I., Courtin, C.M., Goesart, H., Delcour, J.A., Andersson, A.A.M., Aman, P., Fredriksson, H., Pyle, D.L. & Sorensen, J. F. (2006).** From hull-less barley and wheat to soluble dietary fiber-enriched bread. *Cereal Foods World*, 50 (5), 253–258, 260.
- Van Craeyveld, V., Delcour, J.A. & Courtin, C.M. (2009).** Extractability and chemical and enzymic degradation of psyllium (*Plantago ovata* Forsk) seed husk arabinoxylans. *Food Chemistry*, 112, 812–819.
- Van Hung, P., Maeda, T., Fujita, M. & Morita, N. (2007).** Dough properties and breadmaking qualities of whole waxy wheat flour and effects of additional enzymes. *Journal of the Science of Food and Agriculture*, 87, 2538–2543.
- Vanhamel, S., Cleemput, G., Delcour, J.A., Nys, M. & Darius, P.L. (1993).** Physicochemical and functional properties of rye non starch polysaccharides. IV The effect of high molecular weight water soluble pentosans on wheat bread quality in a straight dough procedure. *Cereal Chemistry*, 70 (3), 306-311.
- Vergara-Valencia, N., Granados-Perez, E., Agama-Acevedo, E., Tovar, J., Ruales, J. & Bello-Perez, L.A. (2007).** Fibre concentrate from mango fruit: Characterization, associated antioxidant capacity and application as a bakery product ingredient. *LWT-Food Science and Technology*, 40, 722–729.
- Volpini-Rapina, L.F., Sokei, F.R. & Conti-Silva, A.C. (2012).** Sensory profile and preference mapping of orange cakes with addition of prebiotics inulin and oligofructose. *LWT - Food Science and Technology*, 48, 37-42.
- Wang, H.J. & Thomas, R.L. (1989).** Direct use of apple pomace in bakery products. *Journal of Food Science*, 54, 618–620, 639.
- Wang, J., Rosell, C. M., & Benedito de Barber, C. (2002).** Effect of the addition of different fibres on wheat dough performance and bread quality. *Food Chemistry*, 79, 221–226.
- Wang, L., Miller, R.A. & Hosney, R.C. (1998).** Effects of (1→3)(1→4)-β-D-glucans of wheat flour on breadmaking. *Cereal Chemistry*, 75 (5), 629-633.
- Wang, M., Van Vliet, T. & Hamer, R.J. (2004).** Evidence that pentosans/xylanase affects the re-agglomeration of the gluten network. *Journal of Cereal Science*, 39, 341–349.
- Wang, M., Van Vliet, T. & Hamer, R.J. (2005).** Interaction of water unextractable solids and xylanase with gluten protein: effect of wheat cultivars. *Journal of Cereal Science*, 41 (3), 251-258.

Weegels, P.L. & Hamer, R.J. (1992). Improving the breadmaking quality of gluten. *Cereal Foods World*, 37, 379-385.

Wootton, M. & Sham-Ud-Din, M. (1986). The effects of aqueous extraction on the performance of wheat bran in bread. *Journal of the Science of Food and Agriculture*, 37, 387-390.

Yadav, D.N., Rajan, A., Sharma, G.K. & Bawa, A.S. (2010). Effect of fiber incorporation on rheological and *chapati* making quality of wheat flour. *Journal of Food Science and Technology*, 47 (2), 166-173.

Yousif, A., Nhepera, D. & Johnson, S. (2012). Influence of sorghum flour addition on flat bread in vitro starch digestibility, antioxidant capacity and consumer acceptability. *Food Chemistry*, 134, 880–887.

Yu, L., Perret, J., Parker, T. & Allen, K.G.D. (2003). Enzymatic modification to improve the water-absorbing and gelling properties of psyllium. *Food Chemistry* 82, 243–248.

Yue, P. & Waring, S. (1998). Resistant starch in food applications. *Cereal Food World*, 43(9), 690-695.

Zabik, M.E., Shafer, M.A.M. & Kukorowski, B.W. (1977). Dietary fiber sources for baked products. Comparison of cellulose types and coated-cellulose products in layer cakes. *Journal of Food Science*, 42(6), 1428–1431.

Zahn, S., Pepke, F. & Rohm, H. (2010). Effect of inulin as a fat replacer on texture and sensory properties of muffins. *International Journal of Food Science and Technology*, 45 (12), 2531–2537.

Zambrano, F., Despinoy, P., Ormenese, R.C.S.C. & Faria, E.V. (2004). The use of guar and xanthan gums in production of 'light' low fat cakes. *International Journal of Food Science and Technology*, 39, 959–966.

Zhang, D. & Moore, W.R. (1997). Effect of wheat bran particle size on dough rheological properties. *Journal of the Science of Food and Agriculture*, 74, 490-496.

Zhang, D. & Moore, W.R. (1999). Wheat bran particle size effects on bread baking performance and quality. *Journal of the Science of Food and Agriculture*, 79 (6), 805–809.

Κεφάλαια 5-6

Abdul-Hamid, A. & Siew Luan, Y. (2000). Functional properties of dietary fibre prepared from defatted rice bran. *Food Chemistry*, 68, 15–19.

Ahlborn, G.J., Pike, O.A., Hendrix, S.B., Hess, W.M. & Huber, C.S. (2005). Sensory, mechanical, and microscopic evaluation of staling in low-protein and gluten free breads. *Cereal Chemistry*, 82, 328–335.

Angioloni, A. & Collar, C. (2009). Small and large deformation viscoelastic behaviour of selected fibre blends with gelling properties. *Food Hydrocolloids*, 23, 742–748.

- Angioloni, A. & Collar, C. (2011).** Physicochemical and nutritional properties of reduced-caloric density high-fibre breads. *LWT - Food Science and Technology*, 44, 747-758.
- Armero, E. & Collar, C. (1998).** Crumb firming kinetics of wheat breads with anti-staling additives. *Journal of Cereal Science*, 28, 165–174.
- Baik, O.D., Marcotte, M. & Castaigne, F. (2000).** Cake baking in tunnel type multi-zone industrial ovens. II. Evaluation of quality parameters. *Food Research International*, 33, 599-607.
- Baixauli, R., Salvador, A. & Fiszman, S.M. (2008).** Textural and colour changes during storage and sensory shelf life of muffins containing resistant starch. *European Food Research and Technology*, 226, 523–530.
- Baixauli, R., Sanz, T., Salvador, A. & Fiszman, S.M. (2008).** Muffins with resistant starch: Baking performance in relation to the rheological properties of the batter. *Journal of Cereal Science*, 47(3), 502-509.
- Biliaderis, C.G. (1990).** Thermal Analysis of Food Carbohydrates. In: *Thermal Analysis of Foods*, Harwalkar, V.R. & Ma, C. (eds.). Elsevier Applied Science Publishers, UK, pp. 168–220.
- Boskov Hansen, H., Andreasen, M.F., Nielsen, M.M., Larsen, L.M., Bach Knudsen, K.E., Meyer, A.S., Christensen, L.P. & Hansen, Å. (2002).** Changes in dietary fibre, phenolic acids and activity of endogenous enzymes during rye bread-making. *European Food Research Technology*, 214, 33–42.
- Brett, C.T. & Waldron, K.W. (1996).** *The physiology and biochemistry of plant cell walls* (2nd ed.), Chapman & Hall, UK.
- Brockmole, C.L. & Zabik, M.E. (1976).** Wheat bran and middlings in white layer cakes. *Journal of Food Science*, 41, 357-360.
- Caballero, P.A., Gomez, M. & Rosell, C.M. (2007).** Improvement of dough rheology, bread quality and bread shelf-life by enzymes combination. *Journal of Food Engineering*, 81, 42–53.
- Campbell, G.M. & Mougeot, E. (1999).** Creation and characterisation of aerated food products. *Trends in Food Science and Technology*, 10, 283-296.
- Caprez, A., Arrigoni, E., Amado, R. & Neukom, H. (1986).** Influence of different types of thermal treatment on chemical composition and physical properties of wheat bran. *Journal of Cereal Science*, 4, 233–239.
- Capriles, V.D., Almeida, E.L., Ferreira, R.E, Arêas, J.A.G, Steel, C.J. & Chang, Y.K. (2008).** Physical and Sensory Properties of Regular and Reduced-Fat Pound Cakes with Added Amaranth Flour. *Cereal Chemistry*, 85, 614–618.
- Chau, C.F., Wen, Y.L. & Wang, Y.T. (2006).** Improvement of the functionality of a potential fruit insoluble fibre by micron technology. *International Journal of Food Science and Technology*, 41, 1054–1060.
- Chen, H., Rubenthaler, G.L., Leung, H.K. & Baranowski, J.D. (1988).** Chemical, physical, and baking properties of apple fibre compared with wheat and oat bran. *Cereal Chemistry*, 65 (3), 244-247.

- Christianson**, D.D., Hodge, J.E., Osborne, D. & Detry, R.W. (1981). Gelatinization of wheat starch as modified by xanthan gum, guar gum, and cellulose gum. *Cereal Chemistry*, 58, 513–517.
- Collar**, C., Santos, E. & Rosell, C. M. (2006). Significance of dietary fiber on the viscometric pattern of pasted and gelled flour-fiber blends. *Cereal Chemistry*, 83, 370–376.
- Collar**, C., Santos, E. & Rosell, C.M. (2007). Assessment of the rheological profile of fibre-enriched bread doughs by response surface methodology. *Journal of Food Engineering*, 78, 820–826.
- Collar**, C., Rosell, C.M., Mugerza, B. & Moulay, L. (2009). Breadmaking performance and keeping behavior of cocoa-soluble fiber-enriched wheat breads. *Food Science and Technology International*, 15, 79-87.
- Collins**, O.D. & Sunderline, G.L. (1940). Cake batter viscosity as related to cake structure. *Journal of Home Economics*, 32, 556.
- Courtin**, C.M. & Delcour, J.A. (2002). Arabinoxylans and endoxylanases in wheat flour breadmaking. *Journal of Cereal Science*, 35, 225-243.
- Courtin**, C.M., Gelders, G.G. & Delcour, J.A. (2001). Use of two endoxylanases with different substrate selectivity for understanding arabinoxylan functionality in wheat flour breadmaking. *Cereal Chemistry*, 78, 564–571.
- Czuchajowska**, Z. & Pomeranz, Y. (1989). Differential scanning calorimetry, water activity, and moisture contents in crumb centre and near-crust zones of bread during storage. *Cereal Chemistry*, 66, 305-309.
- Da Silva**, J.A.L. & Rao, M.A. (1992). Viscoelastic Properties of Food Hydrocolloid Dispersions. In: *Viscoelastic Properties of Foods*, Rao, M.A. & Steffe, J.F. (eds.). Elsevier, UK, pp. 285-315.
- Dalgetty**, D. & Baik, B. (2006). Fortification of bread with hulls and cotyledon fibers isolated from peas, lentils and chickpeas. *Cereal Chemistry*, 83(3), 269–274.
- Davidou**, S., Le Meste, M., Debever, E. & Bekaert, D. (1996). A contribution to the study of staling of white bread: Effect of water and hydrocolloid. *Food Hydrocolloids*, 10, 375-386.
- Diplock**, A.T., Aggett, P.J., Ashwell, M., Bornet, F., Fern, E.B. & Roberfroid, M.B. (1999). Scientific concepts of functional foods in Europe: consensus document. *British Journal of Nutrition*, 81, S1–S27.
- Eliasson**, A.C. (1980). Effect of water content on the gelatinization of wheat starch. *Starch*, 32, 270-272.
- Englyst**, K. N., Vinory, S., Englyst, H. N. & Lang, V. (2003). Glycaemic index of cereal products explained by their content of rapidly and slowly available glucose. *British Journal of Nutrition*, 89, 329-339.
- Fessas**, D. & Schiraldi, A. (2000). Starch gelatinization kinetics in bread dough. DSC investigations on ‘simulated’ baking processes. *Journal of Thermal Analysis and Calorimetry*, 61, 411–423.

- Gallagher**, E., Polenghi, O. & Gormley, T.R. (2002). Improving the quality of gluten-free breads. *Farm and Food*, 12, 8–13.
- Gallagher**, E., Gormley, T.R. & Arendt, E.K. (2003). Crust and crumb characteristics of gluten-free breads. *Journal of Food Engineering*, 56, 153–161.
- Gallagher**, E., Gormley, T.R. & Arendt, E.K. (2004). Recent advances in the formulation of gluten-free cereal-based products. *Trends in Food Science & Technology*, 15, 143–152.
- Gelinas**, P., Roy, G. & Guillet, M. (1999). Relative effects of ingredients on cake staling based on an accelerated shelf-life test. *Journal of Food Science*, 64, 937-940.
- Gómez**, M., Ronda, F., Blanco, C. A., Caballero, P. A. & Apestegua, A. (2003). Effects of dietary fibre on dough rheology and bread quality. *European Food Research Technology*, 216, 51–56.
- Gómez**, M., Ronda, F., Caballero, P., Blanco, C. & Rosell, C.M. (2007). Functionality of different hydrocolloids on the quality and shelf-life of yellow layer cakes. *Food Hydrocolloids*, 21, 167-173.
- Gómez**, M., Oliete, B., Rosell, C.M., Pando, V. & Fernandez, E. (2008). Studies on cake quality made of wheat –chickpea flour blends. *LWT- Food Science and Technology*, 41 (9), 1701-1709.
- Gómez**, M., Manchón, L., Oliete, B., Ruiz, E. & Caballero, P.A. (2010). Adequacy of wholegrain non-wheat flours for layer cake elaboration. *LWT - Food Science and Technology*, 43, 507-513.
- Gómez**, M., Ruiz-Paris, E., Oliete, B. & Pando, V. (2010). Modeling of texture evolution of cakes during storage. *Journal Texture Studies*, 41,17–33.
- Granfeldt**, Y., Björck, I., Drews, A. & Tovar, J. (1992). An in vitro procedure based on chewing to predict metabolic responses to starch in cereal and legume products. *European Journal of Clinical Nutrition*, 46, 649-660.
- Griguelmo-Miguel**, N., Gorinstein, S. & Martin-Belloso, O. (1999). Characterisation of peach dietary fibre concentrate as food ingredient. *Food Chemistry*, 65, 175–181.
- Gudmundsson**, M., Eliasson, A.-C., Bengtsson, S. & Aman, P. (1991). The Effects of water soluble arabinoxylan on gelatinization and retrogradation of starch. *Starch*, 43, 5-10.
- Gudmundsson**, M. (1994). Retrogradation of starch and the role of its components. *Thermochimica Acta*, 246, 329-341.
- Guy**, R.C.E. (1983). Factors affecting the staling of Madeira slab cake. *Journal of Science of Food and Agriculture*, 34, 477-491.
- Haros**, M., Rosell, C.M. & Benedito, C. (2002). Effect of different carbohydrases on fresh bread texture and bread staling. *European Food Research and Technology*, 215, 425–430.
- He**, H. & Hosney, R.C. (1990). Changes in bread firmness and moisture during long-term storage. *Cereal Chemistry*, 67, 603–608.

- Hoseney**, R.C. (1998). Gelatinization Phenomena of Starch. In: Phase/State Transitions in Foods, Rao, M.A. & Hartel, R.W. (eds.). Marcel Dekker, Inc., USA, pp. 95–110.
- Ji**, Y., Zhu, K., Qian, H. & Zhou, H. (2007). Staling of cake prepared from rice flour and sticky rice flour. *Food Chemistry*, 104 (1), 53-58.
- Jimenez**, T. & Martinez-Anaya, M.A. (2001). Amylases and hemicellulases in breadmaking. Degradation by-products and potential relationship with functionality. *Food Science and Technology International*, 7(1), 5–14.
- Kadan**, R.S., Robinson, M.G., Thibodeaux, D.P. & Pepperman, Jr., A.B. (2001). Texture and other physicochemical properties of whole rice bread. *Journal of Food Science*, 66 (7), 940-944.
- Katina**, K., Salmenkallio-Marttila, M., Partanen, R., Forsell, P. & Autio, K. (2006). Effects of sourdough and enzymes on staling of high fibre wheat bread. *LWT- Food Science and Technology*, 39, 479–491.
- Khanna**, S. & Tester, R.F. (2006). Influence of purified konjac glucomannan on the gelatinisation and retrogradation properties of maize and potato starches. *Food Hydrocolloids*, 20, 567–576.
- Kim**, J.K. & D'Appolonia, B.L. (1977). Effect of pentosans on the retrogradation of wheat starch gels. *Cereal Chemistry*, 54, 150–160.
- Kim**, C.S. & Walker, C.E. (1992). Interactions between starches, sugars, and emulsifiers in high-ratio cake model systems. *Cereal Chemistry*, 69, 206-212.
- Kupper**, C. (2005). Dietary guidelines and implementation for celiac disease. *Gastroenterology*, 128(4), 121–127.
- Lahtinen**, S., Levola, M., Jouppila, K. & Salovaara, H. (1998). Factors affecting cake firmness and cake moisture content as evaluated by response surface methodology. *Cereal Chemistry*, 75 (4), 547 – 550.
- Larrea**, M.A., Grossmann, M.V.E., Beleia, A.P. & Tavares, D.Q. (1997). Changes in water absorption and swollen volume in extruded alkaline peroxide treatment rice hull. *Cereal Chemistry*, 74, 98–101.
- Laurikainen**, T., Harkonen, H., Autio, K. & Poutanen, K. (1998). Effects of enzymes in fibre-enriched-baking. *Journal of the Science of Food and Agriculture*, 76, 239–249.
- Lazaridou**, A., Duta, D., Papageorgiou, M., Belc, N. & Biliaderis, C.G. (2007). Effects of hydrocolloids on dough rheology and bread quality parameters in gluten-free formulations. *Journal of Food Engineering*, 79, 1033–1047.
- Lee**, S., Inglett, G.E. & Carriere, C.J. (2004). Effect of nutrium oat bran and flaxseed on rheological properties of cakes. *Cereal Chemistry*, 81 (5), 637 – 642.
- Lee**, C.C. & Lin, S.D. (2008). Effect of GABA tea on quality characteristics of chiffon cake. *Cereal Chemistry*, 85 (1), 31-38.

- Li, J.Y., Yeh, A.I. & Fan, K.L. (2007).** Gelation characteristics and morphology of corn starch/soy protein concentrate composites during heating. *Journal of Food Engineering*, 78(4), 1240–1247.
- Lin, S.D. & Lee, C.C. (2005).** Qualities of chiffon cake prepared with indigestible dextrin and sucralose as replacement for sucrose. *Cereal Chemistry*, 82, 405-413.
- Liu, H., Yu, L., Xie, F. & Chen, L. (2006).** Gelatinization of cornstarch with different amylose/amylopectin content. *Carbohydrate Polymers*, 65(3), 357–363.
- Mandala, I. G., & Sotirakoglou, K. (2005).** Effect of frozen storage and microwave reheating on some physical attributes of fresh bread containing hydrocolloids. *Food Hydrocolloids*, 19, 709–719.
- Masoodi, F.A., Sharma, B. & Chauhan, G.S. (2002).** Use of apple pomace as a source of dietary fiber in cakes. *Plant Foods for Human Nutrition*, 57 (2), 121-128.
- Michniewicz, J., Biliaderis, C.G. & Bushuk, W. (1992).** Effect of added pentosans on some properties of wheat bread. *Food Chemistry*, 43, 251-257.
- Nelson, A.L. (2001).** Properties of high-fibre ingredients. *Cereal Foods World*, 46, 93–97.
- Ngo, W.H. & Taranto, M.V. (1986).** Effect of sucrose level on the rheological properties of cake batters. *Cereal Foods World*, 31, 317 – 322.
- Park, H., Seib, P.A. & Chung, O.K. (1997).** Fortifying bread with a mixture of wheat fiber and psyllium husk fiber plus three antioxidants. *Cereal Chemistry*, 74(3), 207–211.
- Paton, D., Laroque, G.M. & Holme, J. (1981).** Development of cake structure: Influence of ingredients on the measurement of cohesive force during baking. *Cereal Chemistry*, 58, 527-529.
- Piazza, L. & Masi, P. (1995).** Moisture redistribution throughout the bread loaf during staling and its effect on mechanical properties. *Cereal Chemistry*, 72 (3), 320–325.
- Pomeranz, Y., Shogren, M.D., Finney, K.F. & Bechtel, D.B. (1977).** Fibre in breadmaking—effects on functional properties. *Cereal Chemistry*, 54, 25–31.
- Raghavendra, S.N., Rastogi, N.K., Raghavarao, K.S.M.S. & Tharanathan, R.N. (2004).** Dietary fiber from coconut residue: Effects of different treatments and particle size on the hydration properties. *European Food Research Technology*, 218, 563–567.
- Rosell, C.M., Santos, E. & Collar, C. (2006).** Mixing properties of fibre-enriched wheat bread doughs: A response surface methodology study. *European Food Research and Technology*, 233 (3), 333-340.
- Rouau, X., El Hayek, M.L. & Moreau, D. (1994).** Effect of an enzyme preparation containing pentosanases on the bread-making quality of flours in relation to changes in pentosan properties. *Journal of Cereal Science*, 19 (3), 259–272.
- Sabanis, D., Lebesi, D. & Tzia, C. (2009).** Development of dietary fibre enriched gluten free bread: a response surface methodology study. *International Journal of Food Science and Nutrition*, 60 (S4), 174-190.

- Sangnark**, A. & Noomhorm, A. (2003). Effect of particle sizes on functional properties of dietary fibre prepared from sugarcane bagasse. *Food Chemistry*, 80, 221–229.
- Santos**, E., Rosell, C.M. & Collar, C. (2008). Gelatinization and retrogradation kinetics of high fiber wheat flour blends: a calorimetric approach. *Cereal Chemistry*, 85(4), 455–463.
- Seow**, C.C. & Teo, C.H. (1996). Staling of starch-based products: A comparative study by firmness and pulsed NMR measurements. *Starch*, 3(S), 90-93.
- Seyhun**, N., Sumnu, G. & Sahin, S. (2003). Effects of different emulsifier types, fat contents, and gum types on retardation of staling of microwave-baked cakes. *Nahrung/Food*, 47(4), 248 – 251.
- Seyhun**, N., Sumnu, G. & Sahin, S. (2005). Effects of different starch types on retardation of staling of microwave-baked cakes. *Food and Bioprocess Technology*, 83(C1), 1–5.
- Shafer**, M.A.M. & Zabik, M.E. (1978). Dietary fibre sources for baked products: comparison of wheat brans and other cereal brans in layer cakes. *Journal of Food Science*, 43, 375-379.
- Song**, K.W., Kim, Y.S. & Chang, G.S. (2006). Rheology of concentrated xanthan gum solutions: Steady shear flow behaviour. *Fibers and Polymers*, 7(2), 129–138.
- Sreenath**, H.K., Sudarshanakrishna, K.R., Prasad, N.N. & Santhanam, K. (1996). Characteristics of some fibre incorporated cake preparations and their dietary fibre content. *Starch*, 43 (2), 72-76.
- Stauffer**, C.E. (1990). *Functional additives for bakery foods*. Van Nostrand Reinhold, USA.
- Strange**, E.D. & Onwulata, C.I. (2002). Effect of particle size on the water sorption properties of cereal fibres. *Journal of Food Quality*, 25, 63–73.
- Sudha**, M.L., Baskaran, V. & Leelavathi, K. (2007). Apple pomace as a source of dietary fiber and polyphenols and its effect on the rheological characteristics and cake making. *Food Chemistry*, 104 (2), 686 – 692.
- Sych**, J., Castaigne, F. & Lacroix, C. (1987). Effects of initial moisture content and storage relative humidity on textural changes of layer cakes during storage. *Journal of Food Science*, 52(5), 1604-1610.
- Thebaudin**, J.Y., Lefebvre, A.C., Harrington, M. & Bourgeois, C.M. (1997). Dietary fibres: Nutritional and technological interest. *Trends in Food Science & Technology*, 8, 41-48.
- Thompson**, T. (2001). Wheat starch, gliadin and the gluten free diet. *Journal of the American Dietetic Association*, 101, 1456–1459.
- Toufeili**, I., Dagher, S., Sadarevian, S., Noureddine, A., Sarakbi, M. & Farran, M.T. (1994). Formulation of gluten-free pocket-type flat breads: Optimization of methylcellulose, gum arabic and egg albumen levels by response surface methodology. *Cereal Chemistry*, 71 (6), 594-601.

- Tudorica**, C.M., Kuri, V. & Brennan, C.S. (2002). Nutritional and physicochemical characteristics of dietary fiber enriched pasta. *Journal of Agriculture and Food Chemistry*, 50 (2), 347-356.
- Turabi**, E., Sumnu, G. & Sahin, S. (2008). Rheological properties and quality of rice cakes formulated with different gums and an emulsifier blend. *Food Hydrocolloids*, 22, 305–312.
- Wang**, J., Rosell, C.M. & Benedito de Barber, C. (2002). Effect of the addition of different fibres on wheat dough performance and bread quality. *Food Chemistry*, 79, 221–226.
- Willhoft**, E.M.A. (1973). Mechanism and theory of staling of bread and baked goods, and associated changes in textural properties. *Journal of Texture Studies*, 4, 292-322.
- Yamazaki**, W.T. & Kissell, L.T. (1978). Cake flour and baking research: A review. *Cereal Foods World*, 23, 114-116, 118-119.
- Yu**, L. & Christie, G. (2001). Measurement of starch thermal transitions using differential scanning calorimetry. *Carbohydrate Polymers*, 46(2), 179–184.
- Zambrano**, F., Despinoy, P., Ormenese, R.C.S.C. & Faria, E.V. (2004). The use of guar and xanthan gums in the production of light low fat cakes. *International Journal of Food Science and Technology*, 39 (9), 959 – 966.
- Zhang**, D. & Moore, W.R. (1997). Effect of wheat bran particle size on dough rheological properties. *Journal of the Science of Food and Agriculture*, 74, 490–496.
- Zhang**, D. & Moore, W.R. (1999). Wheat bran particle size effects on bread baking performance and quality. *Journal of the Science of Food and Agriculture*, 79, 805–809.
- Zobel**, H.F. & Kulp, K. (1996). The Staling Mechanism. In: *Baked Goods Freshness*, Hebeda, E. & Zobel, H.F. (eds). Marcel Dekker Inc., USA, pp. 1–64.

9. Παράρτημα

Έντυπο οργανοληπτικού ελέγχου κέικ (Φρέσκο κέικ-Ημέρα 0)

Ημερομηνία _____ Κωδικός Δείγματος _____

Εμφάνιση	Όγκος	Ικανοποιητικός	1 0 2 0 3 0 4 0 5 0 6 0 7 0 8 0 9 0
	Επιφάνεια	Επίπεδη - Κυρτή	1 0 2 0 3 0 4 0 5 0 6 0 7 0 8 0 9 0
		Ρωγμές	1 0 2 0 3 0 4 0 5 0 6 0 7 0 8 0 9 0
		Σκισίματα	1 0 2 0 3 0 4 0 5 0 6 0 7 0 8 0 9 0
		Στίγματα	1 0 2 0 3 0 4 0 5 0 6 0 7 0 8 0 9 0
		Καμένο στις άκρες	1 0 2 0 3 0 4 0 5 0 6 0 7 0 8 0 9 0
	Απλωμένο σε τοιχ.	1 0 2 0 3 0 4 0 5 0 6 0 7 0 8 0 9 0	
Φέτα	Κυψελλωτό (πόροι)	1 0 2 0 3 0 4 0 5 0 6 0 7 0 8 0 9 0	
Χρώμα	Εξωτ.	Ικανοποιητικό	1 0 2 0 3 0 4 0 5 0 6 0 7 0 8 0 9 0
		Καμμένο	1 0 2 0 3 0 4 0 5 0 6 0 7 0 8 0 9 0
		Άψητο	1 0 2 0 3 0 4 0 5 0 6 0 7 0 8 0 9 0
	Εσωτ.	Ικανοποιητικό (Κιτριν.)	1 0 2 0 3 0 4 0 5 0 6 0 7 0 8 0 9 0
Υφή με το χέρι	Εξωτ.	Τραγανό	1 0 2 0 3 0 4 0 5 0 6 0 7 0 8 0 9 0
	Εσωτ.	Ελαστικό	1 0 2 0 3 0 4 0 5 0 6 0 7 0 8 0 9 0
		Κυψελλωτό	1 0 2 0 3 0 4 0 5 0 6 0 7 0 8 0 9 0
Υφή στο μαχαίρι		Τραγανή επιφάνεια	1 0 2 0 3 0 4 0 5 0 6 0 7 0 8 0 9 0
		Εύθρυπτο	1 0 2 0 3 0 4 0 5 0 6 0 7 0 8 0 9 0
		Κολλώδες	1 0 2 0 3 0 4 0 5 0 6 0 7 0 8 0 9 0
Υφή στο στόμα		Τραγανή επιφάνεια	1 0 2 0 3 0 4 0 5 0 6 0 7 0 8 0 9 0
		Αποδόμηση	1 0 2 0 3 0 4 0 5 0 6 0 7 0 8 0 9 0
		Τραχύ	1 0 2 0 3 0 4 0 5 0 6 0 7 0 8 0 9 0
		Κολλώδες	1 0 2 0 3 0 4 0 5 0 6 0 7 0 8 0 9 0
		Κομμιώδες	1 0 2 0 3 0 4 0 5 0 6 0 7 0 8 0 9 0
		Απορροφά σάλιο	1 0 2 0 3 0 4 0 5 0 6 0 7 0 8 0 9 0
		Σβώλιασμα	1 0 2 0 3 0 4 0 5 0 6 0 7 0 8 0 9 0
		Λιπαρό	1 0 2 0 3 0 4 0 5 0 6 0 7 0 8 0 9 0
Γεύση- Άρωμα		Ικανοποιητική	1 0 2 0 3 0 4 0 5 0 6 0 7 0 8 0 9 0
		Πικρή	1 0 2 0 3 0 4 0 5 0 6 0 7 0 8 0 9 0
		Γλυκιά	1 0 2 0 3 0 4 0 5 0 6 0 7 0 8 0 9 0
		Γεύση πρόσθετου	1 0 2 0 3 0 4 0 5 0 6 0 7 0 8 0 9 0
		Άρωμα βανιλίνης	1 0 2 0 3 0 4 0 5 0 6 0 7 0 8 0 9 0
		Μετάγευση	1 0 2 0 3 0 4 0 5 0 6 0 7 0 8 0 9 0
Ολική Βαθμολόγηση			1 0 2 0 3 0 4 0 5 0 6 0 7 0 8 0 9 0

Έντυπο οργανοληπτικού ελέγχου κέικ (κατά την αποθήκευση)

Ημερομηνία _____ Κωδικός Δείγματος _____ Ημέρα Αποθήκευσης _____

Εμφάνιση	Όγκος	Συρρίκνωση	1 0 2 0 3 0 4 0 5 0 6 0 7 0 8 0 9 0
	Επιφάνεια	Διάνοιξη Ρωγμών	1 0 2 0 3 0 4 0 5 0 6 0 7 0 8 0 9 0
		Διάνοιξη Σκισμάτων	1 0 2 0 3 0 4 0 5 0 6 0 7 0 8 0 9 0
	φέτα	Κυψελλωτό	1 0 2 0 3 0 4 0 5 0 6 0 7 0 8 0 9 0
Χρώ- μα	Εξωτ.	Ικανοποιητικό	1 0 2 0 3 0 4 0 5 0 6 0 7 0 8 0 9 0
	Εσωτ.	Ικανοποιητικό	1 0 2 0 3 0 4 0 5 0 6 0 7 0 8 0 9 0
Υφή με το χέρι	Εξωτ.	Τραγανό	1 0 2 0 3 0 4 0 5 0 6 0 7 0 8 0 9 0
		Νωπό	1 0 2 0 3 0 4 0 5 0 6 0 7 0 8 0 9 0
	Εσωτ.	Ελαστικό	1 0 2 0 3 0 4 0 5 0 6 0 7 0 8 0 9 0
		Κυψελλωτό	1 0 2 0 3 0 4 0 5 0 6 0 7 0 8 0 9 0
Υφή στο μαχαίρι	Τραγανή επιφάνεια		1 0 2 0 3 0 4 0 5 0 6 0 7 0 8 0 9 0
	Εύθρυπτο		1 0 2 0 3 0 4 0 5 0 6 0 7 0 8 0 9 0
	Κολλώδες		1 0 2 0 3 0 4 0 5 0 6 0 7 0 8 0 9 0
	Σκληρό		1 0 2 0 3 0 4 0 5 0 6 0 7 0 8 0 9 0
Υφή στο στόμα	Τραγανή επιφάνεια		1 0 2 0 3 0 4 0 5 0 6 0 7 0 8 0 9 0
	Αποδόμηση		1 0 2 0 3 0 4 0 5 0 6 0 7 0 8 0 9 0
	Τραχύ		1 0 2 0 3 0 4 0 5 0 6 0 7 0 8 0 9 0
	Κολλώδες		1 0 2 0 3 0 4 0 5 0 6 0 7 0 8 0 9 0
	Κομμιώδες		1 0 2 0 3 0 4 0 5 0 6 0 7 0 8 0 9 0
	Απορροφά σάλιο		1 0 2 0 3 0 4 0 5 0 6 0 7 0 8 0 9 0
	Σβώλιασμα		1 0 2 0 3 0 4 0 5 0 6 0 7 0 8 0 9 0
	Σκληρό		1 0 2 0 3 0 4 0 5 0 6 0 7 0 8 0 9 0
Γεύση- Άρωμα	Ικανοποιητική		1 0 2 0 3 0 4 0 5 0 6 0 7 0 8 0 9 0
	Ταγγή		1 0 2 0 3 0 4 0 5 0 6 0 7 0 8 0 9 0
	Γεύση/Άρωμα πρόσθετου		1 0 2 0 3 0 4 0 5 0 6 0 7 0 8 0 9 0
	Μετάγευση		1 0 2 0 3 0 4 0 5 0 6 0 7 0 8 0 9 0
Ολική Βαθμολόγηση			1 0 2 0 3 0 4 0 5 0 6 0 7 0 8 0 9 0