



ΕΘΝΙΚΟ ΜΕΤΣΟΒΙΟ ΠΟΛΥΤΕΧΝΕΙΟ
ΣΧΟΛΗ ΧΗΜΙΚΩΝ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ

Τομέας IV: ΤΟΜΕΑΣ ΣΥΝΘΕΣΗΣ ΚΑΙ ΑΝΑΠΤΥΞΗΣ
ΒΙΟΜΗΧΑΝΙΚΩΝ ΔΙΑΔΙΚΑΣΙΩΝ
ΕΡΓΑΣΤΗΡΙΟ ΧΗΜΕΙΑΣ ΚΑΙ ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΑΣ ΤΡΟΦΙΜΩΝ

Ενσωμάτωση αλεύρου ζέας σε φρέσκα και κατεψυγμένα αρτοσκευάσματα



ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ

ΦΡΑΚΟΛΑΚΗ ΓΕΩΡΓΙΑ

ΕΠΙΒΛΕΠΟΥΣΑ ΚΑΘΗΓΗΤΡΙΑ:

ΚΩΝΣΤΑΝΤΙΝΑ ΤΖΙΑ, Καθηγήτρια Ε.Μ.Π.

Αθήνα, Μάρτιος 2015

Ευχαριστίες

Ύστερα από την ολοκλήρωση της διπλωματικής μου εργασίας στο Εργαστήριο Χημείας και Τεχνολογίας Τροφίμων της Σχολής Χημικών Μηχανικών του Εθνικού Μετσόβιου Πολυτεχνείου νιώθω την ανάγκη να απευθύνω τις θερμές μου ευχαριστίες και να εκφράσω την ευγνωμοσύνη μου στην Καθηγήτρια Ε.Μ.Π. Δρ. Κωνσταντίνα Τζιά για την ανάθεση της παρούσας εργασίας, αλλά και για την εμπιστοσύνη και την υπομονή που μου έδειξε, την καθοδήγηση, τις γνώσεις, το ενδιαφέρον και τη στήριξη που μου παρείχε τόσο κατά την εκπόνηση της παρούσας διπλωματικής εργασίας, όσο και καθ' όλη τη διάρκεια των σπουδών μου στη Σχολή.

Στη συνέχεια, αναγνωρίζοντας την πολύτιμη βοήθεια της Διδάκτορος Βιργινίας Γιάννου, θα ήθελα να την ευχαριστήσω θερμά για την αμέριστη υποστήριξη και βοήθειά της καθ' όλη τη διάρκεια εκπόνησης της διπλωματικής μου εργασίας, για την προθυμία της, την ανεξάντλητη υπομονή και την ουσιαστική βοήθεια που μου παρείχε όλο αυτόν τον καιρό, αλλά και το εξαιρετικό κλίμα που δημιούργησε στη μεταξύ μας συνεργασία.

Επίσης, ευχαριστώ του υποψήφιους διδάκτορες Σοφία Χανιώτη, Παναγιώτη Σφακιανάκη, Παρασκευή Σιαμανδούρα και Χαρά Χρανιώτη τόσο για την προθυμία τους να με συμβουλέψουν και να με βοηθήσουν ανά πάσα στιγμή όσο και για τις ευχάριστες στιγμές και την αίσθηση της «οικογένειας» που μου προσέφεραν όλο το διάστημα.

Οφείλω, βέβαια, να ευχαριστήσω όλους τους διδάκτορες και το προσωπικό του εργαστηρίου Χημείας και Τεχνολογίας Τροφίμων για τη φιλική και δημιουργική ατμόσφαιρα που διαμόρφωσαν κατά τη διάρκεια διεξαγωγής των πειραμάτων μου στο εργαστήριο, όπως επίσης και τους καθηγητές μου Δρ. Πέτρο Ταούκη και Δρ. Βασιλική Ωραιοπούλου για τις ουσιαστικές γνώσεις που μου προσέφεραν κατά τη διάρκεια των σπουδών μου.

Θα ήθελα επίσης να ευχαριστήσω πολύ την καθηγήτρια κα. Μυρτώ Τριάντη για την παραχώρηση του εξοπλισμού του εργαστηρίου αλλά και την πολύτιμη βοήθειά της και το φιλικό κλίμα κατά τη διεξαγωγή των αναλύσεων που έγιναν στα Τ.Ε.Ι. Αθήνας.

Ιδιαίτερες ευχαριστίες θα ήθελα να δώσω στην οικογένεια και τους κοντινούς μου ανθρώπους για την υπομονή, την κατανόηση και την στήριξη που μου έδειξαν όλο αυτόν τον καιρό.

Τέλος, θα ήθελα να ευχαριστήσω την εταιρεία «Ηλιος» για τη δωρεάν παραχώρηση των αλεύρων σίτου και ζέας.

Αθήνα, Μάρτιος 2015

Γεωργία Φρακολάκη

Πίνακας περιεχομένων

ΠΕΡΙΛΗΨΗ	7
ΜΕΡΟΣ Ι.....	11
1. Εισαγωγή	11
2. Σιτάρι : Ποικιλίες και ιδιότητες	15
2.1 Βοτανολογία και ταξινόμηση του σίτου	15
2.2 Μορφολογία και σύσταση του καρπού.....	16
2.3 Κατάταξη του σίτου	20
2.4 Διατροφική αξία σίτου.....	21
2.5 Ποιοτικά κριτήρια σίτου	23
2.6 Άλεση σίτου προς παραγωγή αλεύρου	26
3. Αλεύρι - αρτοποιία - άρτος.....	31
3.1 Σύσταση/χαρακτηριστικά αλεύρου σίτου.....	31
3.2 Τύποι αλεύρων	40
3.3 Ποιοτικές δοκιμές αλεύρων	41
3.4 Ποιοτικά χαρακτηριστικά αλεύρου - αρτοποιητικές ιδιότητες.....	50
3.5 Άλλα υλικά αρτοποιίας.....	55
3.6 Συμβατική Αρτοποιία	65
3.7 Κατεψυγμένο ζυμάρι	91
3.8 Νέες πηγές αλεύρων στην παραγωγή ψωμιού – Καινοτόμα αρτοσκευάσματα	102
4. Ζέα	109
4.1 Ιστορικά στοιχεία.....	109
4.2 Γενικά χαρακτηριστικά.....	110
4.3 Ποικιλίες ζέας	112
4.4 Χημική σύσταση της ζέας - σύγκριση με τη σύσταση του σίτου	114
4.5 Αρτοποιητικές εφαρμογές της ζέας	119

ΜΕΡΟΣ II	123
5. Πειραματικό μέρος	123
5.1 Σκοπός.....	123
5.2 Συσκευές, όργανα και υλικά	124
5.3 Πειραματική διαδικασία	125
5.4 Μέθοδοι/μετρήσεις και αναλύσεις.....	128
6. Σχεδιασμός πειραμάτων και στατιστική επεξεργασία.....	157
7. Αποτελέσματα - Συζήτηση	161
7.1 Σειρά 1 ^η : Χημική ανάλυση αλεύρων ζέας και σίτου και μελέτη ρεολογικών ιδιοτήτων των ζυμαριών τους.....	161
7.2 Σειρά 2 ^η : Μελέτη επίδρασης αναλογίας αλεύρου ζέας - αλεύρου σίτου σε φρέσκα δείγματα άρτου	168
7.3 Σειρά 3 ^η : Μελέτη επίδρασης χρόνου κατάψυξης σε επιλεγμένες αναλογίες αλεύρου ζέας – αλεύρου σίτου	195
8. Συμπεράσματα - Προτάσεις.....	239
9. Βιβλιογραφία	243
10. Παράρτημα.....	259
10.1 Σειρά 2 ^η : Μελέτη επίδρασης αναλογίας αλεύρου ζέας-αλεύρου σίτου σε φρέσκα αρτοσκευάσματα.....	259
10.2 Σειρά 3 ^η : Μελέτη επίδρασης χρόνου κατάψυξης σε επιλεγμένες αναλογίες αλεύρου ζέας - αλεύρου σίτου	277

ΠΕΡΙΛΗΨΗ

Η τεχνολογία παρασκευής αρτοσκευασμάτων παρουσιάζει ιδιαίτερο ενδιαφέρον για τη βιομηχανία τροφίμων, αφού αφορά προϊόντα ευρείας κατανάλωσης με υψηλή διατροφική αξία και ευχάριστα οργανοληπτικά χαρακτηριστικά. Τα αρτοσκευάσματα ειδικά, αποτελούν ένα ξεχωριστό προϊόν, καθώς παράγονται από το ζυμάρι, που είναι ένα περίπλοκο και ζωντανό σύστημα. Η διόγκωσή τους επιτυγχάνεται μέσω της συγκράτησης CO₂ στο πλέγμα της γλουτένης και, συνεπώς, όσο πιο δυνατό και ανθεκτικό είναι το πλέγμα αυτό, τόσο μεγαλύτερη διόγκωση επιτυγχάνεται. Για το σκοπό αυτό, ένα μεγάλο μέρος της τεχνολογίας αρτοποιίας είναι αφιερωμένο στη μελέτη του σχηματισμού, της δομής και της συμπεριφοράς του ζυμαριού. Επιπλέον, σημαντικό μέρος της έρευνας έχει στραφεί στη χρήση άλλων πηγών αλεύρου εκτός του σίτου, με σκοπό την ενίσχυση της διατροφικής αξίας των αρτοσκευασμάτων. Μία πηγή αλεύρου που υπάρχει από αρχαιοτάτων χρόνων αλλά δεν αξιοποιείται ευρέως είναι η ζέα. Σύμφωνα με τη βιβλιογραφία, η ζέα έχει υψηλότερη διατροφική αξία από το σίτο και μπορεί να αξιοποιηθεί ως ένα φυσικό και υγιεινό προϊόν.

Σκοπός της παρούσας διπλωματικής εργασίας ήταν η σύγκριση της χημικής σύστασης και των ρεολογικών ιδιοτήτων των αλεύρων σίτου και ζέας, αλλά και η παρασκευή φρέσκων αρτοσκευασμάτων από μίγμα αλεύρων σίτου-ζέας σε διάφορες αναλογίες, με στόχο τη μελέτη της μεταβολής των ιδιοτήτων τους καθώς αυξάνεται το ποσοστό υποκατάστασης του αλεύρου σίτου από το άλευρο ζέας. Τέλος, σκοπός ήταν η παρασκευή κατεψυγμένων αρτοσκευασμάτων από μίγμα αλεύρων σίτου-ζέας σε συγκεκριμένες αναλογίες και μελέτη των μεταβολών των ποιοτικών τους χαρακτηριστικών κατά τη διάρκεια της αποθήκευσής τους υπό κατάψυξη. Η εκπόνηση των πειραμάτων της διπλωματικής έγινε στο Εργαστήριο Χημείας και Τεχνολογίας Τροφίμων, της Σχολής Χημικών Μηχανικών του ΕΜΠ.

Στο θεωρητικό μέρος της παρούσας διπλωματικής εργασίας αρχικά μελετήθηκαν και παρατίθενται στοιχεία αναφορικά με τα βοτανολογικά και μορφολογικά χαρακτηριστικά του σιταριού, τις κατηγορίες στις οποίες διακρίνεται και τη διατροφική του αξία. Στη συνέχεια γίνεται αναφορά στην τεχνολογία άλεσης του σίτου για την παραγωγή αλεύρου και ανάλυση των σταδίων από τα οποία αυτή αποτελείται. Ακολουθεί εκτενής βιβλιογραφική ανασκόπηση της σύστασης του

αλεύρου σίτου, των διαφόρων ποιοτικών δοκιμών που εφαρμόζονται στα άλευρα καθώς και των αρτοποιητικών ιδιοτήτων του αλεύρου.

Έπειτα εξετάζεται ο ρόλος και τα επιμέρους χαρακτηριστικά των λοιπών συστατικών (νερό, μαγιά, σάκχαρα, αλάτι, λιπαρά και άλλα συστατικά) που χρησιμοποιούνται στην παρασκευή του ζυμαριού και την παραγωγή του άρτου. Μελετώνται επίσης, τα στάδια της διαδικασίας αρτοποιήσης, ο ρόλος και η συνεισφορά τους στη διαμόρφωση των ποιοτικών χαρακτηριστικών του τελικού προϊόντος και παρατίθεται ο χρησιμοποιούμενος ανά στάδιο εξοπλισμός. Επιπρόσθετα, μελετάται η συμπεριφορά του ζυμαριού υπό συνθήκες κατάψυξης, η επίδραση της κατάψυξης στα διάφορα συστατικά του άρτου και ο χρησιμοποιούμενος εξοπλισμός κατάψυξης.

Τέλος, γίνεται αναφορά στις εναλλακτικές πηγές αλεύρων για την παραγωγή αρτοσκευασμάτων με ιδιαίτερη έμφαση στη ζέα λόγω των ιδιαίτερων χαρακτηριστικών που αυτή εμφανίζει. Συγκεκριμένα, παρουσιάζονται ιστορικά στοιχεία σχετικά με την καλλιέργεια και χρήση της και αναλύονται τα γενικά χαρακτηριστικά των διαφόρων ποικιλιών που αναφέρονται κατά καιρούς ως «ζέα» καθώς και οι εφαρμογές της στην αρτοποιία. Βάσει των βιβλιογραφικών δεδομένων γίνεται σύγκριση των κυριότερων χαρακτηριστικών του αλεύρου σίτου με εκείνο της ζέας.

Στο πειραματικό μέρος της διπλωματικής εργασίας, πραγματοποιήθηκαν χημικές αναλύσεις των αλεύρων ζέας και σίτου μελέτη των ρεολογικών ιδιοτήτων των ζυμαριών που σχηματίζουν. Συγκεκριμένα, έγινε προσδιορισμός υγρασίας μέσω ξήρανσης και προσδιορισμός τέφρας, απ' όπου προέκυψε ότι το άλευρο του σίτου έχει μεγαλύτερη περιεκτικότητα σε υγρασία (16,21% έναντι 15,07% επί ξηρής βάσης), αλλά μικρότερη περιεκτικότητα σε τέφρα (0,63 έναντι για 1,95%). Στη συνέχεια, προσδιορίστηκε το πρωτεϊνικό περιεχόμενο μέσω της μεθόδου Kjeldahl και βρέθηκε ότι το άλευρο της ζέας έχει υψηλότερο πρωτεϊνικό περιεχόμενο (15,17%) σε σχέση με το άλευρο του σίτου (11,58%). Ο προσδιορισμός γλουτενινών και γλοιαδινών έγινε μέσω της μεθόδου Blish - Sandstedt, απ' όπου βρέθηκε ότι το άλευρο της ζέας έχει περισσότερες γλουτενίνες (46,66 έναντι 31,94 mg / g αλεύρου) και ελαφρώς λιγότερες γλοιαδίνες (59,83 έναντι 60,14 mg / g αλεύρου) από το άλευρο του σίτου. Η παραλαβή της γλουτένης έγινε με μηχανικό τρόπο και βρέθηκε ότι η συγκεκριμένη ποικιλία του σίτου έχει περισσότερη γλουτένη από τη

συγκεκριμένη ποικιλία ζέας (ποσοστό ενυδατωμένης γλουτένης 28,24% έναντι 18,45%). Ο προσδιορισμός ολικών υδατανθράκων και αμύλου έγινε μέσω όξινης υδρόλυσης, από όπου βρέθηκε ότι η περιεκτικότητα του κάθε αλεύρου σε άμυλο και ολικούς υδατάνθρακες είναι παρόμοια. Συγκεκριμένα, το άλευρο του σίτου έχει περιεκτικότητα 66,38 g / g αλεύρου σε άμυλο και 67,78 g / g αλεύρου σε υδατάνθρακες, ενώ το άλευρο της ζέας έχει περιεκτικότητα σε άμυλο 64,21 g / g αλεύρου και σε υδατάνθρακες 70,77 g / g αλεύρου. Επίσης, έγινε ηλεκτροφόρηση πρωτεϊνών μέσω της οποίας επιβεβαιώθηκαν οι διαφορές του αλεύρου σίτου και του αλεύρου ζέας σε γλουτενίνες και γλοιαδίνες και η δοκιμή Zeleny μέσω της οποίας βρέθηκε ότι το άλευρο του σίτου είναι πιο δυνατό από το άλευρο της ζέας. Τέλος, έγινε χρήση φαρινογράφου και εξτενσιογράφου, μέσω των οποίων βρέθηκε ότι το άλευρο του σίτου έχει ανώτερη ποιοτικά γλουτένη, είναι πιο δυνατό από το άλευρο της ζέας και μπορεί να δώσει πιο ελαστικό και δυνατό ζυμάρι, με καλύτερη αρτοποιητική ικανότητα.

Στο δεύτερο κομμάτι του πειραματικού μέρους μελετήθηκε η παραγωγή φρέσκων αρτοσκευασμάτων με σταδιακή υποκατάσταση του αλεύρου σίτου από άλευρο ζέας. Συγκεκριμένα εξετάστηκε η ενσωμάτωση αλεύρου ζέας σε ποσοστό 0%, 10%, 20%, 30%, 40%, 50%, 60%, 70%, 80%, 90% και 100%. Στα δείγματα ζυμαριού εξετάζονταν κάθε φορά η διόγκωση κατά το στάδιο της επώασης και τα χαρακτηριστικά υφής τους. Αντίστοιχα, στα παραγόμενα αρτοσκευάσματα γινόταν ζύγιση, μέτρηση του όγκου, των διαστάσεων, της διόγκωσης, του χρώματος, των χαρακτηριστικών υφής κόρας και ψίχας (0, 2 και 24 h μετά τον κλιβανισμό) και της ενεργότητας (0, 2 και 24 h μετά τον κλιβανισμό) και στη συνέχεια ακολουθούσε η οργανοληπτική τους εξέταση από ομάδα εκπαιδευμένων δοκιμαστών. Από τις μετρήσεις προέκυψε ότι φρέσκα αρτοσκευάσματα με περιεκτικότητα σε ζέα μέχρι και 20% είναι ιδιαίτερα αποδεκτά από τους δοκιμαστές και έχουν ανώτερα ποιοτικά και οργανοληπτικά χαρακτηριστικά, παρεμφερή με αυτά των κοινών αρτοσκευασμάτων, όπως αφράτη υφή (μέγιστη σκληρότητα κόρας 6,3 N) και ικανοποιητική διόγκωση (από 2,1 μέχρι 2,9 cm). Ταυτόχρονα έχουν υψηλή διατροφική αξία λόγω της παρουσίας της ζέας. Δείγματα με περιεκτικότητες από 30% μέχρι και 60% έχουν ενδιάμεσες τιμές ποιοτικών και οργανοληπτικών χαρακτηριστικών, αλλά ακόμη μεγαλύτερη διατροφική αξία. Λόγω του γεγονότος αυτού και από τη στιγμή που είναι αποδεκτά από τους δοκιμαστές, μπορούν να προωθηθούν στην αγορά ως υγιεινά και

φυσικά προϊόντα. Τέλος, τα αρτοσκευάσματα με περιεκτικότητα σε ζέα άνω του 70% έχουν πολύ υποβαθμισμένα χαρακτηριστικά με αποτέλεσμα να μην είναι αποδεκτά από τους δοκιμαστές και έτσι δεν προτείνονται για προώθηση στην αγορά (σκληρότητα ψίχας 9,6 - 13,6 N, διόγκωση ζυμαριού 1,35 - 2,1 cm).

Στην τρίτη σειρά πειραμάτων έγινε παραγωγή κατεψυγμένων αρτοσκευασμάτων με χρήση αλεύρου ζέας σε αναλογία 0%, 30%, 50%, 80% και 100% ως προς το άλευρο σίτου με σκοπό τη μελέτη της επίδρασης του χρόνου κατάψυξης και του ποσοστού αλεύρου ζέας στα ποιοτικά και οργανοληπτικά χαρακτηριστικά των αρτοσκευασμάτων. Ανά τακτά χρονικά διαστήματα πραγματοποιείτο απόψυξη δειγμάτων ζυμαριού και κλιβανισμός τους για παραγωγή άρτου. Στα εκάστοτε δείγματα ζυμαριού και στα παραγόμενα αρτοσκευάσματα γίνονταν ακριβώς οι ίδιες μετρήσεις όπως και στην περίπτωση των φρέσκων αρτοσκευασμάτων, με εξαίρεση την ενεργότητα και τη σκληρότητα κόρας και ψίχας οι οποίες μετρήθηκαν μόνο αμέσως μετά τον κλιβανισμό. Βρέθηκε ότι τη μεγαλύτερη επίδραση έχει ο χρόνος κατάψυξης, ενώ το ποσοστό προσθήκης ζέας δε φαίνεται να επιδρά ιδιαίτερα στα χαρακτηριστικά των τελικών προϊόντων. Η αποθήκευση των δειγμάτων υπό κατάψυξη για περισσότερο από 1 ή 2 μήνες προκαλεί σημαντική υποβάθμιση των ποιοτικών και οργανοληπτικών χαρακτηριστικών τους και ιδίως του ειδικού όγκου (από 2,6 mL / g μειώθηκε σε 1,9 mL / g) και της ολικής αρέσκειας. Ειδικά στην περίπτωση αρτοσκευασμάτων με μεγάλη περιεκτικότητα σε ζέα η υποβάθμιση αυτή είναι ακόμη εντονότερη. Αντίθετα, προϊόντα με μικρή περιεκτικότητα σε άλευρο ζέας (μέχρι και 30%) τα οποία έχουν αποθηκευτεί για μικρό χρονικό διάστημα υπό κατάψυξη (μέχρι διάστημα μίας εβδομάδας) εμφανίζουν ικανοποιητικές τιμές διόγκωσης (2,1 cm) και ολικής αρέσκειας. Συνεπώς, δείγματα με χαμηλή περιεκτικότητα σε άλευρο ζέας μπορούν να εισαχθούν στην αγορά και υπό κατεψυγμένη μορφή εφόσον παραμείνουν υπό κατάψυξη για μικρό χρονικό διάστημα, σε αντίθεση με προϊόντα υψηλής περιεκτικότητας σε ζέα.

ΜΕΡΟΣ Ι

1. Εισαγωγή

Τα αρτοσκευάσματα θεωρούνται προϊόντα υψηλής διατροφικής αξίας, καθώς είναι πλούσια σε υδατάνθρακες, μέταλλα, βιταμίνες (βιταμίνη C και βιταμίνες του συμπλέγματος B) και φυτικές ίνες. Ταυτόχρονα, είναι ιδιαίτερα ελκυστικά ως τρόφιμα, λόγω των ανώτερων οργανοληπτικών τους χαρακτηριστικών, ειδικά όταν είναι φρεσκοψημένα. Για το λόγο αυτό, εδώ και αιώνες, αποτελούν βασικό στοιχείο της ανθρώπινης διατροφής.

Η κατανάλωση του άρτου χρονολογείται πίσω στη Νεολιθική Εποχή, όπου η παραγωγή του γινόταν μέσω κλιβανισμού σε φούρνους της εποχής εκείνης. Ο πρώτος άρτος παρήχθη γύρω στο 10.000-12.000 π.Χ., ύστερα από σκόπιμους πειραματισμούς με νερό και αλεύρι σπόρων. Πρωτοπόροι στο συγκεκριμένο τομέα ήταν οι Αιγύπτιοι, οι οποίοι ασχολήθηκαν για πρώτη φορά με την τέχνη του άρτου και τον έκαναν γνωστό ανά τον κόσμο (Scanlon & Zghal, 2001). Από αρχαιοτάτων χρόνων, λοιπόν, ο άρτος ήταν αναπόσπαστο κομμάτι της διατροφής όλων των στρωμάτων της κοινωνίας και οποιαδήποτε έλλειψη αυτού υποδήλωνε δύσκολες εποχές στην οικονομία και την ευμάρεια του πληθυσμού. Πολλές φορές, μάλιστα, οι λαϊκές μάζες χρησιμοποίησαν το προϊόν αυτό ως μέσο άσκησης πολιτικής πίεσης προς τις ηγεσίες.

Παρόλο που ο η παραγωγή του άρτου στηρίζεται ακόμη και σήμερα σε παραδοσιακές μεθόδους και τεχνικές, τα τελευταία 150 χρόνια έχει σημειωθεί ραγδαία ανάπτυξη της αρτοβιομηχανίας. Η βιομηχανική παραγωγή αντικατέστησε σε μεγάλο βαθμό τα μικρά αρτοποιεία, καθώς η παραγωγή του άρτου μπορούσε να γίνει με αποδοτικότερο τρόπο. Αναπτύχθηκαν, επίσης, διάφορες τεχνολογίες αρτοποιήσης, ώστε η βιομηχανία να μπορεί να ανταποκριθεί καλύτερα στις νέες απαιτήσεις της αγοράς (Decock & Cappelle, 2005). Ταυτόχρονα, εισήχθησαν νέα υλικά και συστατικά στη σύνθεση του άρτου, με σκοπό τη βελτίωση της διατηρησιμότητας, των ποιοτικών και οργανοληπτικών χαρακτηριστικών του άρτου, αλλά και την προσφορά νέων προϊόντων με βάση τις ολοένα αυξανόμενες απαιτήσεις της αγοράς.

Τουλάχιστον είκοσι επιστημονικά περιοδικά είναι αφιερωμένα στη μελέτη της επιστήμης και της τεχνολογίας των σιτηρών/δημητριακών, γεγονός που επιβεβαιώνει

το μέγεθος της ερευνητικής προσπάθειας που γίνεται αναφορικά με τους παράγοντες που επηρεάζουν την ποιότητα του άρτου.

Πράγματι, τα αρτοσκευάσματα διαφέρουν από τα περισσότερα προϊόντα τροφίμων, δεδομένου ότι παράγονται από το ζυμάρι το οποίο αποτελεί ένα ιδιαίτερα περίπλοκο και ζωντανό σύστημα. Επίσης, διογκώνονται μέσω του CO₂ που παράγεται από το προζύμι ή τη μαγιά, προκειμένου να μετατραπούν σε προϊόντα χαμηλής πυκνότητας. Η διόγκωση αυτή επιτυγχάνεται, μόνο όταν το αέριο παγιδεύεται μέσα σε κάποιο κατάλληλο και ανθεκτικό σύστημα που θα το συγκρατήσει και θα επεκταθεί μαζί με αυτό, όπως ακριβώς είναι το πλέγμα της γλουτένης του σιταριού. Ως εκ τούτου, ένα μεγάλο μέρος της τεχνολογίας αρτοποιίας στηρίζεται στη μελέτη της μηχανικής δομής του προϊόντος, του σχηματισμού του κατάλληλου ζυμαριού, που θα μπορεί να συγκρατήσει το αέριο διόγκωσης, και της σταθεροποίησης της εν λόγω δομής μέσω της εφαρμογής θερμότητας κατά τον κλιβανισμό (Mondal, 2008).

Παρόλο που ο κλιβανισμός αποτελεί μία πανάρχαια διαδικασία, τα φαινόμενα που εξελίσσονται κατά τη διάρκειά του παραμένουν ακόμη υπό μελέτη και διερεύνηση. Ουσιαστικά πρόκειται για συνδυασμό διαφόρων βασικών ή σύνθετων φυσικών διεργασιών, όπως είναι η εξάτμιση του νερού, η διόγκωση, η ζελατινοποίηση του αμύλου, η μετουσίωση των πρωτεϊνών, ο σχηματισμός της κρούστας, κ.α., η αλληλεπίδραση των οποίων στα ποιοτικά χαρακτηριστικά του άρτου δεν έχει πλήρως αποσαφηνιστεί.

Στη σύγχρονη εποχή, η παραγωγή των αρτοσκευασμάτων γίνεται κυρίως με τρεις μεθόδους. Η πρώτη μέθοδος είναι η άμεση μέθοδος (straight dough method), όπου η ανάμιξη των συστατικών γίνεται σε ένα βήμα. Η δεύτερη μέθοδος είναι η μέθοδος ζυμαριού - σπόγγου (sponge and dough method), όπου η ανάμιξη των συστατικών γίνεται σε δύο βήματα. Το διογκωτικό μέσο (προζύμι) ετοιμάζεται στο πρώτο βήμα, όπου η μαγιά και συγκεκριμένη ποσότητα νερού και αλεύρου αναμιγνύονται και αφήνονται να αναπτυχθούν για μερικές ώρες, προτού αναμιχθούν με τα υπόλοιπα συστατικά στο δεύτερο βήμα. Η τρίτη μέθοδος ονομάζεται μέθοδος Chorleywood. Στη συγκεκριμένη περίπτωση, όλα τα συστατικά αναμιγνύονται σε αναμίκτη υψηλής ταχύτητας και έτσι ο χρόνος ανάμιξης περιορίζεται σε λίγα λεπτά της ώρας.

Καθώς ο φρέσκος άρτος έχει μικρή διάρκεια ζωής και αμέσως μετά τον κλιβανισμό του λαμβάνουν χώρα διάφορες φυσικοχημικές αλλαγές που οδηγούν στο μπαγιάτεμά

του, έχουν αναπτυχθεί τεχνικές όπως η κατάψυξη του ζυμαριού, με σκοπό τη βελτίωση της διατηρησιμότητας των αρτοσκευασμάτων. Η παραγωγή άρτου από κατεψυγμένο ζυμάρι περιλαμβάνει τα ακόλουθα στάδια: προετοιμασία ζυμαριού, κατάψυξη, απόψυξη και κλιβανισμό (Giannou et al., 2003). Οι συνέπειες της κατάψυξης και της απόψυξης στην ποιότητα του άρτου πρέπει να μελετηθούν, και να διερευνηθεί η σχέση μεταξύ θερμοκρασίας, χρόνου παραμονής στην κατάψυξη και διάρκειας ζωής μετά τον κλιβανισμό (Mondal, 2008).

Σημαντικό μέρος της έρευνας έχει επίσης στραφεί στη χρήση άλλων πηγών αλεύρου, εκτός από το σιτάρι, με σκοπό την ενίσχυση της διατροφικής αξίας των αρτοσκευασμάτων ή την αντιμετώπιση παθήσεων όπως η κοιλιοκάκη (δυσανεξία στη γλουτένη). Συγκεκριμένα στην παραγωγή αρτοσκευασμάτων έχουν κατά καιρούς χρησιμοποιηθεί άλευρα από σίκαλη, αραβόσιτο, βρώμη, κριθάρι, ρύζι, τριτικάλε, σόργο, σόγια ή ζέα, μόνα τους ή σε συνδυασμό με το αλεύρι σίτου. Στην παρούσα διπλωματική εργασία γίνεται εκτενής μελέτη παρασκευής αρτοσκευασμάτων από άλευρο ζέας καθώς επίσης εξετάζεται και η χημική σύσταση αυτού του αλεύρου.

Κίνητρο για την επιλογή της ζέας αποτέλεσε το γεγονός ότι τα τελευταία χρόνια στην αγορά υπάρχει αυξημένη ζήτηση σε προϊόντα που ευνοούν την υγεία και την καλοζωία. Καθώς η ζέα φαίνεται να περιέχει υψηλότερο ποσοστό πρωτεϊνών από το σίτο, υψηλότερο περιεχόμενο λιπιδίων και μεγαλύτερη ποσότητα στοιχείων όπως μαγνήσιο, φωσφόρο, σίδηρο, χαλκό και ψευδάργυρο, έχει προκαλέσει το ενδιαφέρον των καταναλωτών ως ένα υγιεινό και φυσικό προϊόν (Escarnot et al., 2010). Το άλευρο της ζέας είναι συνήθως διαθέσιμο σε καταστήματα βιολογικών προϊόντων σε τιμές 50% υψηλότερες του αντίστοιχου αλεύρου σίτου, ενώ τα τελευταία χρόνια έχει αρχίσει να πωλείται και σε καταστήματα με προϊόντα ευρείας κατανάλωσης. Τα προϊόντα του εν λόγω αλεύρου, όπως ο άρτος και τα ζυμαρικά είναι πλέον διαθέσιμα στην αγορά και προωθούνται ως τρόφιμα με υψηλή θρεπτική αξία.

Συνεπώς, η διερεύνηση των διαφορών στις θρεπτικές και λειτουργικές ιδιότητες ανάμεσα στο αλεύρι σίτου και ζέας έχει ιδιαίτερη σημασία, καθώς επίσης και ο προσδιορισμός της αρτοποιητικής συμπεριφοράς του δεύτερου. Είναι ήδη γνωστό ότι τα προϊόντα που παράγονται από το άλευρο αυτό δεν έχουν τις κοινώς αποδεκτές ιδιότητες των αρτοσκευασμάτων από λευκό άλευρο σίτου. Έτσι, πολλές φορές γίνεται ανάμιξη των αλεύρων ζέας και σίτου, προκειμένου να παραχθούν αρτοσκευάσματα

με βελτιωμένες αρτοποιητικές ιδιότητες (Kohajdová & Karovicová, 2008). Η διερεύνηση της αναλογίας των δύο τύπων αλεύρου η οποία προσφέρει τα καλύτερα ποιοτικά και οργανοληπτικά χαρακτηριστικά στο τελικό προϊόν αποτελεί επίσης αντικείμενο της παρούσας διπλωματικής εργασίας.

2. Σιτάρι: Ποικιλίες και ιδιότητες

Η μέση κατανάλωση προϊόντων σιταριού αντιστοιχεί τουλάχιστον στο 20% των θερμίδων που καταναλώνονται από τον πληθυσμό παγκοσμίως. Το σιτάρι καλλιεργείται ευρέως στις 5 από τις 6 ηπείρους, χρησιμοποιείται στην παραγωγή διαφόρων τροφίμων, ενώ μπορεί να αποθηκευτεί με ασφάλεια για μακρά χρονικά διαστήματα, εφόσον τηρούνται οι κατάλληλες συνθήκες, αλλά και να μεταφερθεί σε μεγάλες ποσότητες και για μεγάλες αποστάσεις με σχετικά μεγάλη ευκολία. Για τους λόγους αυτούς οι τιμές του κυμαίνονται σε λογικά πλαίσια.

Η καλλιέργεια του συγκεκριμένου σιτηρού θεωρείται ότι ξεκίνησε μερικές χιλιάδες χρόνια προ Χριστού, ενώ το ψωμί, με προζύμι ή χωρίς, αποτέλεσε βασική τροφή για τον άνθρωπο σε όλη τη διάρκεια της ιστορίας. Η καλλιέργεια του σίτου επέτρεψε, επίσης, την ίδρυση μόνιμων οικισμών, στηρίζοντας την ανάπτυξη των πολιτισμών, ενώ ακόμη και σήμερα είναι αυτό που παράγει την περισσότερη τροφή για τον πληθυσμό σε σχέση με οποιαδήποτε άλλη πηγή.

2.1 Βοτανολογία και ταξινόμηση του σίτου

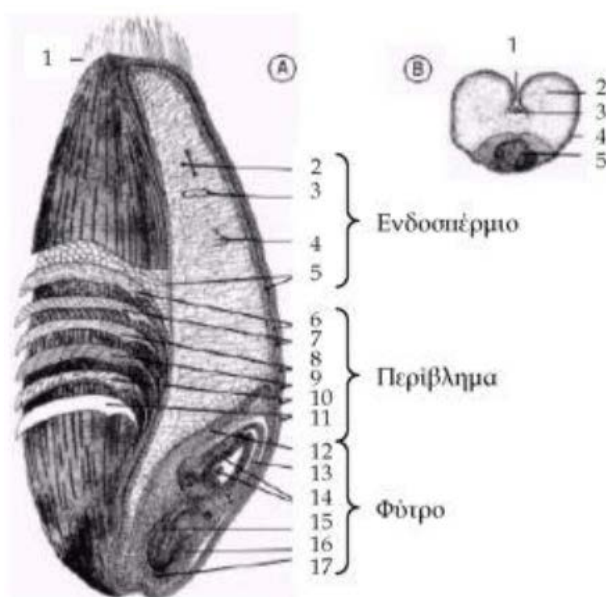
Ο όρος «σιτάρι» δεν αναφέρεται σε ένα μόνο είδος, αλλά στην πραγματικότητα περιλαμβάνει τρεις ομάδες ειδών που ανήκουν στην οικογένεια των Αγρωστωδών (*Grass*). Συγκεκριμένα, το σύνολο των ποικιλιών του σίτου ανήκει στο γένος *Triticum*, το σημαντικότερο των φυλών *Gramineae* και *Hordeae*. Οι ποικιλίες που συνήθως αξιοποιούνται εμπορικά είναι οι εξής τρεις: η *Triticum aestivum* (κοινός σίτος), η *Triticum durum* (σκληρός σίτος) και η *Triticum monococcum*. Η απλούστερη γενετικά ποικιλία είναι η *T. monococcum*, της οποίας το γονιδίωμα (που του έχει δοθεί η ονομασία A) έχει δύο σειρές από επτά χρωμοσώματα και ο καρπός ονομάζεται «διπλοειδής». Η ποικιλία *T. durum* έχει τέσσερις σειρές από επτά χρωμοσώματα, τα οποία κατηγοριοποιούνται σε δύο γονιδιώματα (A και B), και ο καρπός της ονομάζεται τετραπλοειδής. Τέλος, η ποικιλία *T. aestivum* έχει έξι σειρές από επτά χρωμοσώματα, οι οποίες κατηγοριοποιούνται σε τρία γονιδιώματα (A, B και D) και ο καρπός της ονομάζεται εξαπλοειδής.

Καθεμία από αυτές τις τρεις ποικιλίες φέρει ξεχωριστά ποιοτικά χαρακτηριστικά, τα οποία είναι οπτικά εμφανώς αναγνωρίσιμα, και είναι κατάλληλη για διαφορετικές εφαρμογές. Συγκεκριμένα, οι άκρες των σπόρων του *T. aestivum* είναι στρογγυλές (με

μήκος σπόρου 5-8,5 mm), ενώ του *T. durum* είναι αιχμηρές (με μήκος σπόρου 7-12 mm). Γενικώς, οι περισσότερες από τις ποικιλίες του σίτου που καλλιεργούνται σήμερα ταξινομούνται όλες στην ευρεία κατηγορία του σίτου αρτοποιίας (bread wheat), που περιλαμβάνει το 95% περίπου της παγκόσμιας παραγωγής. Σχεδόν όλες οι υπόλοιπες καλλιέργειες (το 5% της παραγωγής) είναι πολύ σκληρά σιτάρια (*durum wheat*) τα οποία χρησιμοποιούνται για την παραγωγή μακαρονιών και κουσκούς (Oleson,1994, Atwell, 2001).

2.2 Μορφολογία και σύσταση του καρπού

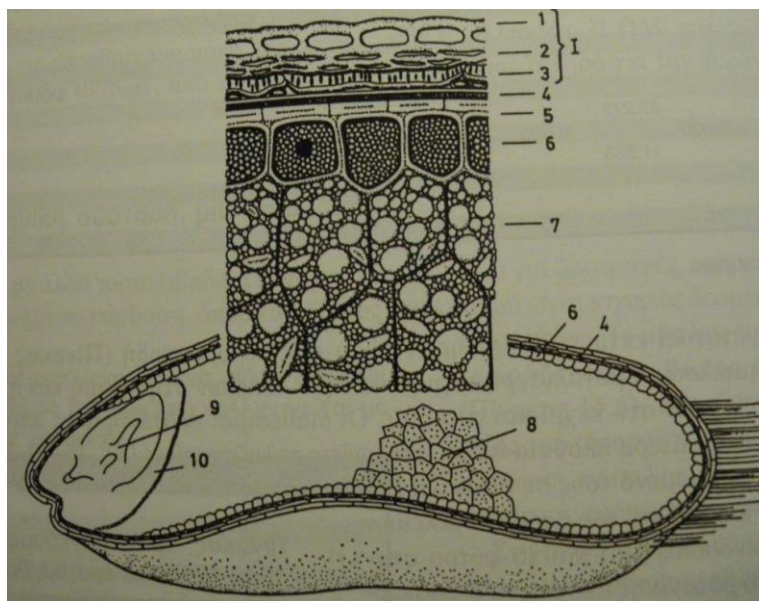
Ο καρπός του σίτου αποτελείται, σε γενικές γραμμές, από τρία διακριτά μέρη (εικόνα 2.2.1): το εξωτερικό περίβλημα που αποτελεί το πίτυρο του αλεύρου, το ενδοσπέρμιο και το φυτό ή έμβρυο. Η ύπαρξη του περιβλήματος έχει σκοπό να προστατεύει τον καρπό, το ενδοσπέρμιο περιέχει όλες τις θρεπτικές ουσίες που είναι απαραίτητες για το μικρό φυτό και το φυτό είναι υπεύθυνο για την ανάπτυξη του νέου φυτού κατά τη βλάστηση.



Εικόνα 2.1: Ανατομία καρπού σίτου (Wang, 2003)

Μία λεπτομερέστερη περιγραφή της δομής του κόκκου δίνεται στην εικόνα 2.2, όπου παρουσιάζεται η επιμήκης τομή του. Το σύνολο I ονομάζεται περικάρπιο του σπόρου και βρίσκεται εξωτερικά του περιβλήματος. Περιλαμβάνει την επιδερμίδα ή επικάρπιο (1), την υποδερμίδα (2) και τα σωληνοειδή κύτταρα (3). Αμέσως μετά ακολουθεί το περίβλημα του σπόρου (4), ο υαλώδης ιστός (5) και η στοιβάδα της

αλευρώνης (6). Τέλος, φαίνονται τα εξωτερικά και εσωτερικά κύτταρα του αμυλώδους ενδοσπερμίου (7 και 8), που αποτελούν το κυρίως μέρος του σπόρου, ενώ στην άκρη βρίσκονται το φύτρο (9) και το περισπέρμιο (10).



Εικόνα 2.2: Επιμήκης τομή καρπού σίτου (Belitz, 2011)

Το περίβλημα του σπόρου αποτελεί τουλάχιστον το 8% του συνόλου και αποτελείται κατά κύριο λόγο από κυτταρίνη. Περιέχει υδατοδιαλυτές ίνες που δρουν ως φράγμα προστασίας για το σπόρο, μεγάλες ποσότητες μετάλλων, βιταμίνες του συμπλέγματος Β και μεταβολικές πρωτεΐνες. Η στοιβάδα της αλευρώνης περιβάλλει το ενδοσπέρμιο και είναι πλούσια σε πρωτεΐνες, φωσφόρο και θειαμίνη.

Το ενδοσπέρμιο αποτελεί τουλάχιστον το 80% του συνολικού βάρους του καρπού, περιέχει κατά κύριο λόγο υδατάνθρακες (άμυλο) και αποτελεί την πηγή για την παραγωγή του λευκού αλεύρου. Επιπλέον περιέχει αποθηκευτικές πρωτεΐνες (αλβουμίνες και γλοβουλίνες/σφαιρίνες), καθώς και πρωτεΐνες που συνθέτουν τη γλουτένη (γλουτενίνες και γλοιαδίνες), η οποία είναι καθοριστική για την αρτοποιητική ικανότητα του αλεύρου. Τέλος, περιέχει μικρές ποσότητες μετάλλων και ινών και ίχνη λιπαρών.

Το φύτρο αποτελεί το 2-3% του βάρους του καρπού και βρίσκεται στο χαμηλότερο άκρο του. Είναι πλούσιο σε πρωτεΐνες (25%), λιπαρά (8-13%), μέταλλα και βιταμίνη Ε και περιέχει το μεγαλύτερο ποσοστό ριβοφλαβίνης του καρπού. Μία μεμβράνη, το

ασπίδιο, το χωρίζει από το ενδοσπέρμιο. Η μεμβράνη αυτή περιέχει μεγάλες ποσότητες πρωτεολυτικών και αμυλολυτικών ενζύμων που διασπούν τις πρωτεΐνες και το άμυλο με σκοπό τη θρέψη του νέου φυτού.

Ανεξάρτητα της ποικιλίας στην οποία ανήκουν, όλοι οι σπόροι έχουν τη δομή αυτή, διαφέροντας απλώς ως προς τα ποιοτικά τους χαρακτηριστικά (Corner, 2003, Parker, 2003, Atwell, 2001, Turnbull & Rahman, 2002, Ρούτουλα, 2013).

Η αναλυτική σύσταση του καρπού του σίτου και των αντίστοιχων ανατομικών μερών του παρουσιάζεται στον πίνακα 2.2.1 (Belitz & Grosch, 1999, Kulp & Ponte, 1990, Lasztity, 1996, Seibel, et al., 2006).

Πίνακας 2.1: Ανάλυση περιεκτικότητας θρεπτικών συστατικών ανατομικών μερών καρπού σίτου

	Μακροθρεπτικά Συστατικά (%)							Μικροθρεπτικά Συστατικά (µg/g ξ.β.)					
	Τέφρα	Πρωτεΐνη	Λιπαρά	Ίνες	Κοχταρίνη	Πεντοζάνες	Άμυλο	Μέταλλα	Θειαμίνη	Ριβοφλαβίνη	Νιασίνη	B ₆	Παντοθενικό οξύ
Περιβλήμα	11.9	14.6	1.5	48.4	55.0	89.0		7	1	5	4	12	9
Κάλυμμα σπόρου & φώτρου	3.4	6.9	0.8	23.9	27.0	46.6							
Αλευρόνη	10.9	31.7	9.1	6.6	5.3	28.3		61	32	37	82	61	41
Ενδοσπέρμιο	0.6	12.6	1.6	0.3	0.3	3.3	80.4	20	3	32	12	6	43
Φώτρο	5.8	34.0	27.6	2.4				12	64	26	2	21	7

Αμινοξέα (g/100 g πρωτεΐνης)	Σίτος	Περιβλήμα	Φώτρο	Αλευρόνη	Βιταμίνη (µg/g ξ.β.)	Σίτος	Υδατάνθρακες (%)	Σίτος	Μέταλλα (mg/100 g ξ.β.)	Σίτος
Αλανίνη	3.40	4.9	7.00	6.5	B ₆	4.7	Άμυλο	63-72	Ασβέστιο	60
Αργινίνη	4.61	6.4	8.96	12.3	Βιοτίνη	0.056	Αμυλόζη	23.4-27.6	Κάλιο	580
Ασπαρτικό οξύ	4.71	7.3	10.21	9.3	Θειαμίνη	9.9	Β-γλυκάνη	1.4	Μαγγάνιο	5.5
Βαλίνη	4.22	5.1	5.65	5.5	Νιασίνη	48.3	Πεντοζάνες	6.6	Μαγνήσιο	180
Γλουταμικό οξύ	31.52	20.8	15.45	18.3	Παντοθενικό οξύ	9.1	Συνολικές ίνες	14.6	Νάτριο	4.6
Γλυκίνη	3.89	5.5	6.54	7.0	Ριβοφλαβίνη	3.1			Σίδηρος	6
Θρεονίνη	2.87	3.5	4.82	3.8	Φολασίνη	0.56	Μονο/ολιγοσακχαρίτες (%)		Φωσφόρος	410
Ισολευκίνη	3.59	3.8	3.91	3.2			Γλυκόζη	0.02-0.03	Χαλκός	0.8
Ιστιδίνη	2.20	2.8	2.63	4.3		Περιβλήμα	Ραφινόζη	0.54-0.70	Ψευδάργυρος	4.4
Κοστεΐνη	2.24	-	0.66	-	B ₆	13.0	Σακχαρόζη	0.57-0.80		
Λευκίνη	6.79	6.7	6.79	6.7	Βιοτίνη	0.162	Φρουκτόζη	0.02-0.04		
Λυσίνη	2.52	4.5	7.76	5.9	Θειαμίνη	13.2				
Μεθειονίνη	2.11	1.4	1.88	0.4	Νιασίνη	171.4				
Προλίνη	10.44	6.9	4.37	4.6	Παντοθενικό οξύ	31.7				
Σερίνη	4.53	4.6	4.62	5.0	Ριβοφλαβίνη	5.5				
Τροποφάνη	1.32		-	-	Φολασίνη	1.59				
Τυροσίνη	3.20	2.1	3.12	2.8						
Φαινυλαλανίνη	4.75	4.0	4.07	4.2						

2.3 Κατάταξη του σίτου

Το σιτάρι διαχωρίζεται σε διάφορες κατηγορίες, ανάλογα με τα βοτανολογικά χαρακτηριστικά του και τη χρήση για την οποία προορίζεται. Αυτές οι κατηγορίες στηρίζονται στην ποιότητα, το χρώμα και τη βλάστηση του σιτηρού.

Στις ΗΠΑ και σε ορισμένες άλλες περιοχές, το κοινό σιτάρι διακρίνεται σε δύο κατηγορίες, το σκληρό και το μαλακό. Η κατάταξη γίνεται με βάση την υφή του καρπού και την απαιτούμενη δύναμη για τη σύνθλιψή του, η οποία επηρεάζεται τόσο από γενετικούς, όσο και από περιβαλλοντικούς παράγοντες και ταυτόχρονα ορίζει την καταλληλότητά του για την παραγωγή ψωμιού. Το σκληρό σιτάρι έχει σκληρό πυρήνα που δίνει αλεύρι με υψηλή περιεκτικότητα σε γλουτένη, και συνεπώς υψηλό πρωτεϊνικό περιεχόμενο (>11%), ενώ είναι κατάλληλο για την παραγωγή αρτοποιημάτων που διογκώνονται μέσω μαγιάς, όπως ο άρτος δυτικού τύπου και για παραγωγή ορισμένων τύπων ζυμαρικών. Το μαλακό σιτάρι χαρακτηρίζεται από μικρότερο πρωτεϊνικό περιεχόμενο (8-10%) και πιο αδύναμες πρωτεΐνες, συνεπώς είναι περισσότερο κατάλληλο για την παραγωγή κέικ και μπισκότων, που δεν απαιτούν δυνατό αλεύρι. Υπάρχουν, επίσης, ημίσκληρα σιτάρια που έχουν συνδυασμό των προαναφερθέντων χαρακτηριστικών και χρησιμοποιούνται στην παραγωγή ψωμιών χωρίς προζύμι, όπως το ινδικό chapattis, και συγκεκριμένων ζυμαρικών.

Άλλος τρόπος κατάταξης του σιταριού είναι με βάση το χρώμα του πίτυρου, σύμφωνα με το οποίο διακρίνεται σε ερυθρό ή λευκό. Ο χαρακτηρισμός αυτός αναφέρεται στο χρώμα της αλευρώνης ή του εξωτερικού στρώματος του πυρήνα του σίτου. Ανάλογα με το τελικό προϊόν και το βαθμό άλεσης, ποικίλλει και το επιθυμητό χρώμα του σίτου στις διάφορες αγορές.

Τέλος, ανάλογα με την εποχή σποράς και βλάστησής του, το σιτάρι ταξινομείται σε χειμερινό ή εαρινό σιτάρι. Στην περίπτωση του χειμερινού σίτου, η σπορά γίνεται τέλη καλοκαιριού/αρχές φθινοπώρου και ο θερισμός τέλη του επόμενου καλοκαιριού, ενώ στον εαρινό η σπορά γίνεται άνοιξη και ο θερισμός τέλη καλοκαιριού (Conforti, 2006; Tanhehco & Ng, 2008).

Οι παραπάνω τύποι ευδοκιμούν σε διαφορετικές περιοχές των ΗΠΑ. Στην Ευρώπη ο κοινός σίτος (*Triticum aestivum*) χαρακτηρίζεται μαλακός, ενώ σκληρός καλείται ο *Triticum durum* (Τσιάρας, 1984).

2.4 Διατροφική αξία σίτου

2.4.1 Πρωτεϊνικό περιεχόμενο

Η περιεκτικότητα του σίτου σε πρωτεΐνες ποικίλλει από είδος σε είδος και κυμαίνεται από 7% μέχρι 17%. Τυπικά, ο σκληρός ερυθρός ανοιξιάτικος σίτος και το σιμιγδάλι έχουν περίπου 13-17% πρωτεϊνικό περιεχόμενο. Ο σκληρός ερυθρός χειμωνιάτικος σίτος έχει 11-15%, ενώ ο μαλακός χειμωνιάτικος σίτος εμφανίζει 7-11% πρωτεϊνικό περιεχόμενο (Matz, 1991).

Ωστόσο, το σιτάρι από μόνο του δεν περιέχει όλα τα απαραίτητα αμινοξέα στις ποσότητες που απαιτούνται για την ανάπτυξη και τη διατήρηση της καλής κατάστασης υγείας του ανθρώπινου οργανισμού. Το πιο ελλειπές αμινοξύ στο σιτάρι και στα υπόλοιπα σιτηρά είναι η λυσίνη. Ωστόσο, όταν το σιτάρι καταναλώνεται ταυτόχρονα με μία μικρή ποσότητα οσπρίων ή ζωικής πρωτεΐνης, ή όταν το αλεύρι εμπλουτίζεται με αυτές τις πρωτεΐνες, το πρωτεϊνικό προφίλ βελτιώνεται σημαντικά.

2.4.2 Περιεκτικότητα σε λιπαρά

Το σιτάρι εμφανίζει χαμηλή περιεκτικότητα σε λιπαρά η οποία κυμαίνεται γύρω στο 1,5-2%. Παρόλα αυτά, τα περιεχόμενα στο σιτάρι λιπαρά έχουν υψηλή περιεκτικότητα σε ακόρεστα λιπαρά οξέα, τα οποία μειώνουν τα επίπεδα της χοληστερόλης στο αίμα και συνεπώς τον κίνδυνο καρδιακής προσβολής. Το ψωμί, τα ζυμαρικά και πολλά δημητριακά πρωινού είναι χαμηλά σε λιπαρά, σε αντίθεση με άλλα προϊόντα αρτοποιίας που περιέχουν και ζωικά λιπαρά (Ranhotra, 1994).

2.4.3 Φυτικές ίνες

Το αλεύρι ολικής άλεσης και το πίτυρο αυτού αποτελούν μία καλή πηγή φυτικών ινών και ιδιαίτερα αδιάλυτων φυτικών ινών. Αντίθετα, το λευκό αλεύρι, παρόλο που είναι φτωχό σε ολικές φυτικές ίνες, έχει σχετικά υψηλή περιεκτικότητα σε διαλυτές ίνες. Ενώ οι διαλυτές ίνες βοηθούν στην εξομάλυνση των υψηλών επιπέδων χοληστερόλης και σακχάρου στο αίμα, το κλάσμα των αδιάλυτων ινών είναι εξίσου

σημαντικό, καθώς προστατεύει από ποικίλες διαταραχές του εντερικού σωλήνα (Ranhotra, 1994).

2.4.4 Βιταμίνες και μέταλλα

Το αλεύρι ολικής άλεσης περιέχει συνολικά περισσότερα μικροθρεπτικά συστατικά από το λευκό αλεύρι, με τη μεταξύ τους διαφορά να αυξάνεται καθώς μειώνεται ο βαθμός άλεσης του αλεύρου. Παρόλα αυτά, το αλεύρι ολικής άλεσης είναι πλούσιο σε ορισμένους αναστολείς απορρόφησης των μικροθρεπτικών αυτών συστατικών, όπως οι φυτικές ίνες και τα άλατα φυτικού οξέος. Συγκεκριμένα, ενώ τα επίπεδα των φυτικών ινών αλλάζουν ελάχιστα κατά την επεξεργασία, τα επίπεδα των αλάτων φυτικού οξέος μειώνονται σε μεγάλο βαθμό, με αποτέλεσμα να αναιρείται η αρνητική τους επίδραση. Επιπλέον, τα άλευρα ολικής άλεσης εμφανίζουν σημαντικά υψηλότερη περιεκτικότητα σε μέταλλα και βιταμίνες, με αποτέλεσμα η καθαρή απορρόφηση αυτών να είναι τελικά μεγαλύτερη συγκριτικά με την αντίστοιχη από το λευκό αλεύρι (Ranhotra, 1994).

2.4.5 Ένζυμα

Υπάρχουν σίγουρα εκατοντάδες και ίσως χιλιάδες διαφορετικά είδη ενζύμων στο σιτάρι, με πιο σημαντικά τις αμυλάσες, που επηρεάζουν σε μεγάλο βαθμό την αρτοποιία αλλά και την ζυθοποιία. Ανάμεσα στις καρβοϋδρολάσες στα σιτηρά, πιο σημαντικές είναι καταρχάς οι α-αμυλάσες, αλλά και οι β-αμυλάσες, οι κυτταρινάσες, οι β-γλυκανάσες και πολλές γλυκοζιδάσες. Επίσης, το σιτάρι περιέχει και μεγάλο αριθμό πρωτεολυτικών ενζύμων (Matz, 1991).

2.5 Ποιοτικά κριτήρια σίτου

Ο σίτος αποτελεί ένα μοναδικό σιτηρό, καθώς το άλευρο που παράγεται από αυτόν είναι ικανό να παρασκευάσει ψωμί ανάλαφρο, εύγευστο και ομοιόμορφα διογκωμένο. Αυτές οι λειτουργικές ιδιότητες οφείλονται στις περιεχόμενες αδιάλυτες πρωτεΐνες αποθήκευσης που ονομάζονται, συνολικά, γλουτένη. Η γλουτένη είναι χημικά πολύπλοκη, καθώς αποτελείται από εκατοντάδες πρωτεϊνικές υπομονάδες που ενώνονται και συνεργάζονται για να σχηματίσουν σημαντικά μεγαλύτερα μόρια κατά το σχηματισμό του ζυμαριού. Η απουσία ή η παρουσία συγκεκριμένων πρωτεϊνών καθορίζει αν μία ποικιλία έχει καλή ή φτωχή αρτοποιητική ικανότητα, ή εάν το αλεύρι είναι δυνατό ή αδύναμο. Η γλουτένη δίνει την ικανότητα στο ζυμάρι να σχηματίζει λεπτά ελαστικά φύλλα που συγκρατούν τα παραγόμενα από τη μαγιά αέρια. Ακόμη και ένα αλεύρι σίτου με φτωχή αρτοποιητική ικανότητα μπορεί να δώσει καλύτερο ψωμί σε σχέση με άλλους σπόρους σιτηρών.

Η ποιότητα του σιταριού καθορίζεται από τρεις βασικούς παράγοντες: τη σκληρότητα, τη δύναμη της γλουτένης και το πρωτεϊνικό περιεχόμενο. Σε γενικές γραμμές, τα μαλακά σιτάρια με αδύναμη γλουτένη και χαμηλό πρωτεϊνικό περιεχόμενο δεν είναι κατάλληλα για την παραγωγή ψωμιού. Αντιθέτως, τα σκληρά σιτάρια με ισχυρή γλουτένη και υψηλό πρωτεϊνικό περιεχόμενο είναι αυτά που προτιμώνται.

2.5.1 Σκληρότητα

Επειδή τα σκληρά σιτάρια απαιτούν περισσότερη ενέργεια κατά την άλεση για τη θραύση του ενδοσπερμίου και την παραγωγή αλεύρου, ένα σημαντικό πλήθος κόκκων αμύλου καταστρέφεται κατά την άλεση. Αντίθετα, τα μαλακά σιτάρια παράγουν άλευρα με χαμηλά επίπεδα κατεστραμμένου αμύλου. Επειδή οι κόκκοι του κατεστραμμένου αμύλου απορροφούν περισσότερο νερό από τους ακέραιους, η απορρόφηση νερού είναι μεγαλύτερη για τα σκληρά σιτάρια σε σχέση με τα μαλακά σε ισοδύναμη πρωτεϊνική βάση.

Η απορρόφηση του νερού είναι ένας σημαντικός παράγοντας ποιότητας καθώς συνδέεται άμεσα με την ποσότητα του ψωμιού που παράγεται από μία δεδομένη ποσότητα αλεύρου. Επίσης, έχει έντονη επιρροή στην υφή της ψίχας και στην ικανότητα του ψωμιού να διατηρεί τα ποιοτικά του χαρακτηριστικά.

2.5.2 Δύναμη γλουτένης

Τα ζυμάρια που παρασκευάζονται από δυνατά άλευρα τείνουν να είναι λιγότερο ιξώδη και πιο ελαστικά από τα αντίστοιχα των αδύναμων αλεύρων. Επιπλέον, απαιτούν περισσότερο χρόνο ανάμιξης και ενέργεια, προκειμένου να φτάσουν στη βέλτιστη ρεολογική κατάσταση. Τα ζυμάρια που έχουν αναπτυχθεί κατάλληλα έχουν την ικανότητα να εκτείνονται και να σχηματίζουν λεπτά φύλλα που συγκρατούν αέριο και οδηγούν στην παραγωγή ανάλαφρων και ομοιόμορφα διογκωμένων αρτοσκευασμάτων.

Αντίστοιχα, τα αδύναμα άλευρα δίνουν γενικώς κολλώδη και μαλακά ζυμάρια, ενώ τα πολύ σκληρά σχηματίζουν υπερβολικά σκληρά ζυμάρια.

2.5.3 Ποιότητα πρωτεϊνών

Το πρωτεϊνικό περιεχόμενο είναι επίσης σημαντικό στην αρτοποιία, καθώς τα άλευρα με μεγαλύτερη περιεκτικότητα πρωτεϊνών και ισοδύναμα τα υπόλοιπα χαρακτηριστικά, δίνουν αρτοσκευάσματα με μεγαλύτερο όγκο, εμφανίζουν μεγαλύτερη απορρόφηση νερού και τα προϊόντα τους έχουν ικανοποιητική διατηρησιμότητα. Το εύρος της περιεκτικότητας των πρωτεϊνών στα διάφορα άλευρα είναι αρκετά μεγάλο, ωστόσο συγκεντρώσεις κάτω του 11% σε πρωτεΐνες καθιστούν το αλεύρι ακατάλληλο για αρτοποιία. Αυτός ο παράγοντας ελέγχεται γενετικά, αν και μπορεί να διαφέρει ακόμη και μέσα στην ίδια ποικιλία, ανάλογα με την τοποθεσία, τη γονιμότητα του εδάφους, τις βροχοπτώσεις, κ.α.

Κυρίως λόγω της γενετικής επιλογής που έχει γίνει, τα άλευρα με υψηλό πρωτεϊνικό περιεχόμενο τείνουν να είναι σκληρά, να έχουν δυνατή γλουτένη και να παράγουν καλό ψωμί, σε σχέση με τα σιτάρια χαμηλής περιεκτικότητας που είναι συνήθως μαλακά, έχουν αδύναμη γλουτένη και παράγουν προϊόντα με μικρή διόγκωση και κατώτερη ποιότητα ψίχας.

2.5.4 Ακεραιότητα (Soundness)

Εκτός από τους τρεις βασικούς παράγοντες που προαναφέρθηκαν, ένας ακόμη σημαντικός παράγοντας που επηρεάζει την ποιότητα αρτοποιίας είναι η ακεραιότητα του σιτηρού. Οι ακέριοι κόκκοι σιταριού περιέχουν πολύ μικρότερα ποσοστά του ενζύμου α-αμυλάση, το οποίο διασπά το άμυλο. Η εκβλάστηση του

σπόρου συνδέεται με ραγδαία αύξηση της δραστηριότητας του ενζύμου, η οποία μπορεί να είναι ακόμη και μερικές χιλιάδες φορές μεγαλύτερη σε σχέση με την αντίστοιχη σε έναν άρτιο κόκκο σιταριού. Η υψηλή ενζυμική δράση μπορεί να προκαλέσει σοβαρά προβλήματα στην αρτοποιία, όπως μικρότερη απορρόφηση νερού, κολλώδες ζυμάρι και, σε ακραίες περιπτώσεις, κολλώδη ψίχα (Ranhotra, 1994).

2.5.5 Χρώμα

Όπως αναφέρθηκε προηγουμένως, οι σπόροι του σιταριού ταξινομούνται σε λευκούς ή ερυθρούς με το χρώμα να αποτελεί χαρακτηριστικό γνώρισμα κάθε ποικιλίας. Τυχόν διακυμάνσεις μέσα στην ίδια ποικιλία οφείλονται στις περιβαλλοντικές συνθήκες που επικρατούν κατά την ανάπτυξη, τη συγκομιδή και την αποθήκευση των σπόρων. Σε γενικές γραμμές, στην αρτοποιία προτιμάται ο σκληρός κόκκινος σίτος και θεωρείται, μάλιστα, ότι όσο πιο έντονο είναι το κόκκινο χρώμα του κόκκου, τόσο πιο σκληρός και πιο πλούσιος θα είναι σε πρωτεΐνη.

2.5.6 Υγρασία

Η υγρασία είναι ένας σημαντικός παράγοντας που επηρεάζει την ποιότητα του σίτου, όχι μόνο από τεχνικο-οικονομική, αλλά και από μικροβιολογική άποψη. Αφενός, επηρεάζει την ποιότητά του κατά την αγορά, τη μεταφορά, την αποθήκευση και την επεξεργασία του, και αφετέρου αυξάνει τον κίνδυνο μικροβιολογικών/εντομολογικών αλλοιώσεων. Τα επίπεδα της υγρασίας πρέπει να διατηρούνται μεταξύ 12 και 14%, ώστε ο σπόρος να διατηρείται υγιής και το ποιοτικό του επίπεδο υψηλό. Σε υψηλότερα ποσοστά (>15%) προκαλούνται μικροβιακές αλλοιώσεις και αρνητικές επιπτώσεις στα ποιοτικά χαρακτηριστικά του σίτου και του αλεύρου. Αντίθετα, χαμηλότερα επίπεδα υγρασίας (8-10%) ευνοούν τη θραύση του σπόρου (Τσιάρας, 1984).

2.6 Άλεση σίτου προς παραγωγή αλεύρου

Η άλεση του σίτου είναι η διαδικασία μέσω της οποίας οι σπόροι του μετατρέπονται σε άλευρο. Η παραγωγή αλεύρου από το σιτάρι στηρίζεται σε μία διαδικασία που εκπηγάζει από την αρχαιότητα κατά την οποία οι σπόροι διαχωρίζονται αρχικά από τον εξωτερικό φλοιό με τη βοήθεια του ανέμου και στη συνέχεια αλέθονται μεταξύ δύο πέτρινων επιφανειών. Από εκείνη την εποχή μέχρι σήμερα, η διεργασία της άλεσης έχει εξελιχθεί σημαντικά, ώστε να ανταποκρίνεται στις ανάγκες των σύγχρονων μεγάλων βιομηχανιών, πολλές εκ των οποίων παράγουν εξειδικευμένα άλευρα. Οι ανάγκες αυτές καλύπτονται από εξελιγμένες διαδικασίες άλεσης στις οποίες διάφοροι τύποι αλεύρων και παραπροϊόντων προκύπτουν με τη χρήση διαφορετικών ειδών κυλίνδρων, κοσκίνων και συστημάτων αεροταξινόμησης. Ο διαχωρισμός των συστατικών του σίτου κατά τη διάρκεια της άλεσης στηρίζεται στη γνώση αφενός της κατανομής των διαφόρων συστατικών μέσα στο σπόρο του σίτου και αφετέρου των φυσικών τους ιδιοτήτων, όπως το σχήμα και το μέγεθος. Η αξιοποίηση των παραπάνω στοιχείων είναι σημαντική για την παραγωγή αλεύρων που ανταποκρίνονται στις ιδιαίτερες απαιτήσεις κάθε εφαρμογής. Κατά συνέπεια, η επιλογή της καταλληλότερης ποικιλίας σιτηρού σε συνδυασμό με την ενδεδειγμένη μέθοδο άλεσης μπορεί να προσφέρει ολοένα και μεγαλύτερη βελτίωση του τελικού προϊόντος (Hui, 2006).

Σκοπός της άλεσης είναι ο, όσο το δυνατόν καλύτερος, διαχωρισμός του ενδοσπερμίου από το εξωτερικό περίβλημα (πίτυρο) και το φύτρο, η παραλαβή του μεγαλύτερου δυνατού ποσού ενδοσπερμίου και η σταδιακή κονιοποίησή του προς άλευρο ορισμένης κοκκομετρίας και σύστασης. Τα πέντε βασικά στάδια της άλεσης είναι η θραύση των σπόρων του σίτου, η απομόνωση και ο καθαρισμός του ενδοσπερμίου, η ελάττωση του μεγέθους του ενδοσπερμίου/αλεύρου, η κοσκίνιση και η ταξινόμηση του αλεύρου.

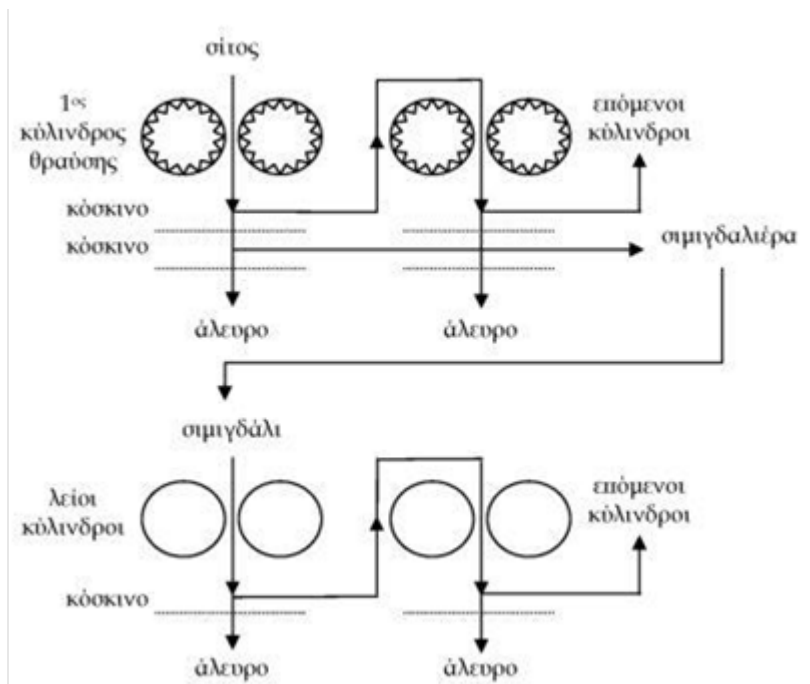
Πριν το πρώτο στάδιο της άλεσης, ο σίτος καθαρίζεται από τις ξένες ύλες και, αν απαιτείται, πραγματοποιείται κοντισιονάρισμα του σπόρου. Ως κοντισιονάρισμα εννοείται η προσθήκη νερού στο σιτάρι, ώστε να σκληρύνουν τα εξωτερικά στρώματα και να είναι ευκολότερος ο διαχωρισμός του περιβλήματος από το ενδοσπέρμιο.

Στο πρώτο στάδιο, ο σίτος τροφοδοτείται με συνεχή και σταθερή ροή, μέσω της χοάνης άλεσης, σε σύστημα κυλίνδρων θραύσης, προκειμένου να θραυστεί ο σπόρος και να διαχωριστεί το ενδοσπέρμιο από τα υπόλοιπα μέρη. Το σύστημα κυλίνδρων αποτελείται από 5-7 ή 10 κυλινδρόμυλους σε σειρά, συνδεδεμένους με δονούμενα κόσκινα. Κάθε κυλινδρόμυλος αποτελείται από ζεύγος οριζόντιων κυλίνδρων που φέρουν αυλακώσεις, απέχουν ορισμένη απόσταση μεταξύ τους και περιστρέφονται με αντίθετη φορά και διαφορετική ταχύτητα. Ανάλογα με τον τύπο και την κατάσταση του σίτου, ρυθμίζεται η απόσταση μεταξύ των κυλίνδρων και οι ταχύτητες περιστροφής τους. Καθώς η άλεση προχωρά από το πρώτο προς το τελευταίο ζεύγος κυλίνδρων, η απόσταση μεταξύ τους μειώνεται και οι αυλακώσεις γίνονται λιγότερο έντονες, προκειμένου να αποφευχθεί η καταστροφή των κόκκων του αμύλου.

Στο δεύτερο στάδιο παράγεται το άλευρο θραύσης, το οποίο έχει πολύ μικρό μέγεθος σωματιδίων και συχνά περιέχει και ποσότητα πίτυρου προσκολλημένη στο ενδοσπέρμιο, που απομακρύνεται πνευματικά.

Κατά το τρίτο στάδιο, το χωρίς πίτυρο θρυμματισμένο ενδοσπέρμιο που εξέρχεται από τους κυλίνδρους θραύσης απαιτεί περαιτέρω άλεση και οδηγείται στους κυλινδρόμυλους λειοτρίβησης, που έχουν λείες επιφάνειες. Εκεί γίνεται σταδιακή ελάττωση του μεγέθους των σωματιδίων του ενδοσπερμίου προς παραγωγή αλεύρου ορισμένης κοκκομετρίας και σύστασης (Finney, 1994; Fessas & Schiraldi, 2000; Conforti, 2006).

Στο προτελευταίο στάδιο, γίνεται η πνευματική μεταφορά των κλασμάτων της άλεσης από τους κυλίνδρους στα αντίστοιχα δονούμενα κόσκινα. Εκεί διαχωρίζονται σε χονδρο-αλεσμένα κλάσματα, τα οποία αποτελούνται κυρίως από το περίβλημα και τα σκληρότερα τμήματα του ενδοσπερμίου (κυρίως πρωτεϊνούχα και όχι τόσο αμυλούχα), και σε λεπτο-αλεσμένα, που αποτελούνται κυρίως από αμυλούχα (μαλακότερα) κλάσματα του ενδοσπερμίου. Τα κλάσματα μετά το διαχωρισμό τους κατά μέγεθος, είτε αποτελούν τελικό προϊόν, είτε επιστρέφουν λόγω βαρύτητας στον επόμενο κύλινδρο για συνέχιση της άλεσης.



Εικόνα 2.3: Άλεση σίτου (σύστημα κυλίνδρων/κυλινδρόμυλων)

Στο τελευταίο στάδιο, γίνεται η ταξινόμηση. Τα κλάσματα αλεύρου συλλέγονται σε ειδικά σιλό, όπου θα προστεθούν αργότερα και από τους άλλους κυλίνδρους τα αντίστοιχα κλάσματα και θα αποτελέσουν το τελικό προϊόν. Η διαδικασία επαναλαμβάνεται και τα κλάσματα που δεν διέρχονται από τα κόσκινα οδηγούνται προς περαιτέρω άλεση σε επόμενο ζεύγος κυλίνδρων. Αυτό έχει ως αποτέλεσμα τα σωματίδια του ενδοσπερμίου να αποκτούν ολοένα και μικρότερο μέγεθος και να συλλέγεται συνεχώς μεγαλύτερη ποσότητα λεπτο-αλεσμένου αλεύρου. Η διαδικασία συνεχίζεται έως ότου διαχωριστεί το μέγιστο ποσοστό αλεύρου (τουλάχιστον το 72% του σίτου) (Posner & Hibbs, 1997; Belderok, 2000; Λεμπέση, 2012).

Η σύσταση του αλεύρου επηρεάζεται από το βαθμό άλεσης. Συγκεκριμένα, παρατηρείται σοβαρή μείωση των ανόργανων συστατικών, καθώς μόνο το 30% του ψευδαργύρου, χαλκού, σιδήρου και φωσφόρου παραμένει σε άλεσης 66%, ενώ η συγκέντρωση του ασβεστίου μειώνεται κατά 50%. Τέλος, σε μεγάλο βαθμό μειώνονται και βιταμίνες όπως η νιασίνη και η θειαμίνη (Λεμπέση, 2012).

Το φρεσκο-αλεσμένο αλεύρι δεν είναι κατάλληλο για αρτοποιήση, επειδή η γλουτενίνη που περιέχει είναι σχετικά αδύναμη και με μικρή ελαστικότητα, ενώ το χρώμα του μπορεί να είναι κίτρινο. Μετά την άλεση, το αλεύρι, συνήθως, υπόκειται σε επιπρόσθετες διεργασίες, όπως λεύκανση και ωρίμανση. Το χρώμα του αλεύρου

γίνεται πιο ανοιχτόχρωμο και πιο λευκό με το πέρασμα του χρόνου, λόγω της οξείδωσης που λαμβάνει χώρα. Για τον ίδιο λόγο το αλεύρι ωριμάζει με τον καιρό, και έτσι αλλάζουν η εμφάνιση και οι ιδιότητές του. Παρόλα αυτά, οι διαδικασίες αυτές είναι χρονοβόρες, και προκειμένου να επιταχυνθούν, γίνεται λεύκανση με διάφορες χημικές ουσίες. Ωστόσο, υπάρχουν περιορισμοί από τη νομοθεσία αναφορικά με την περιεκτικότητα των ουσιών αυτών στα άλευρα (Hui, 2006).

3. Αλεύρι - αρτοποιία - άρτος

3.1 Σύσταση/χαρακτηριστικά αλεύρου σίτου

Τα χαρακτηριστικά και η σύσταση των αλεύρων επηρεάζονται σε μεγάλο βαθμό από τα χαρακτηριστικά του σίτου από τον οποίο προέρχονται. Παρόλα αυτά, η σύσταση του σίτου εμφανίζει σημαντικές διακυμάνσεις ανάλογα με την ποικιλία, την περιοχή και τις συνθήκες καλλιέργειας, ενώ εμφανίζει διαφορές ακόμη και από έτος σε έτος. Οι παραπάνω παράγοντες κατά συνέπεια πρέπει να λαμβάνονται υπόψη, προκειμένου το παραγόμενο αλεύρι να διατηρεί τα ιδιαίτερα για κάθε εφαρμογή χαρακτηριστικά του (Tanhehco & Ng, 2008).

3.1.1 Πρωτεΐνες (γλουτένη)

Κατά την άλεση του σίτου, ένα μόνο μέρος των πρωτεϊνών που απαντώνται στον καρπό (κυρίως στο ενδοσπέρμιο) μεταφέρονται στο άλευρο. Το άλευρο ολικής άλεσης παρουσιάζει μεγαλύτερη περιεκτικότητα σε πρωτεΐνες σε σχέση με το λευκό άλευρο κατά 10% περίπου (Γιάννου, 2009). Οι πρωτεΐνες αυτές ταξινομούνται ανάλογα με 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).

Όπως αναφέρθηκε ήδη, παρά το συμπληρωματικό ρόλο των υπόλοιπων πρωτεϊνών, η μοναδικότητα του αλεύρου σιταριού ανάμεσα σε όλα τα άλλα άλευρα στηρίζεται κυρίως στην περιεχόμενη σε αυτό γλουτένη. Οι μοναδικές της ιδιότητες επιτρέπουν το μετασχηματισμό του αλεύρου σε ζυμάρι με κατάλληλα χαρακτηριστικά για την παραγωγή άρτου. Οι πρωτεΐνες του αλεύρου είναι σύνθετες και δεν υπάρχει κάποια απλή εξήγηση σχετικά με τη σύστασή τους ή τη βιολογική τους λειτουργία. Οι μεγάλες διακυμάνσεις στις ρεολογικές ιδιότητες και στα χαρακτηριστικά που εμφανίζουν κατά το ψήσιμο δεν μπορούν να αποδοθούν μόνο στις ποσοτικές διαφορές των διαφόρων ειδών πρωτεϊνών ή στις διαφορές στις αναλογίες και το είδος των περιεχόμενων αμινοξέων (Aminlari & Majzoobi, 2002; Matz, 1991).

Ωστόσο, τόσο η ποσότητα των πρωτεϊνών όσο και η δύναμη (δύναμη του αλεύρου) των αλεύρων είναι σημαντικοί δείκτες της καταλληλότητάς τους για διάφορες αρτοποιητικές εφαρμογές.

Ως δύναμη του αλεύρου ορίζεται η ικανότητά του να δίνει σκληρό και ταυτόχρονα ελαστικό ζυμάρι, αλλά και άρτο χαμηλής πυκνότητας με ομοιόμορφη δομή ψίχας και ελκυστική εμφάνιση. Στην πλειοψηφία των εφαρμογών, η μεγάλη δύναμη αποτελεί αδιαμφισβήτητα ένα προσόν, ωστόσο σε ορισμένες περιπτώσεις, όπως σε ζυμάρια για πίτες, δεν είναι επιθυμητή. Εξαρτάται κυρίως (αλλά όχι εντελώς) από την ποσότητα και τον τύπο των πρωτεϊνών που υπάρχουν στο αλεύρι. Γλουτένες από διαφορετικές ποικιλίες σιταριών έχουν και διαφορετικό βαθμό δύναμης (Matz, 1989). Το είδος των πρωτεϊνών αυτών αποτελούν τις αποθηκευτικές πρωτεΐνες στους σπόρους του σίτου και θεωρούνται σύμπλεγμα αζωτούχων ενώσεων που προσφέρουν συνεκτικότητα και ελαστικότητα στο ζυμάρι του αλεύρου. Η γλουτένη μπορεί να διαχωριστεί από το αλεύρι, δημιουργώντας ένα σκληρό ζυμάρι από μίγμα νερού και αλεύρου, το οποίο ξεπλένεται με περίσσεια νερού, μέχρις ότου οι κόκκοι του αμύλου και όλα τα διαλυτά υλικά να απομακρυνθούν (Matz, 1991).

Τα πρωτεϊνικά μακρομόρια της γλουτένης είναι τοποθετημένα σε πυκνές θέσεις και συγκρατούνται μεταξύ τους κυρίως λόγω 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 μακρομορίων εξασθενούν, ενώ παράλληλα πραγματοποιούνται αντιδράσεις ανταλλαγής δισουλφιδίων (-S-S) και σουλφυδρυλίων (-SH). Όταν μία δισουλφιδική ένωση (R_1SSR_2) υφίσταται μηχανική πίεση, όπως για παράδειγμα κατά την ανάμιξη του ζυμαριού και έρχεται σε επαφή με ένα σουλφυδρυλικό παράγωγο (R_3SH) που βρίσκεται στο ίδιο ή σε γειτονικό μόριο, ο δισουλφιδικός δεσμός της διασπάται. Ένα τμήμα του μορίου σχηματίζει μια νέα δισουλφιδική ένωση (R_1SSR_3) με το αρχικό σουλφυδρύλιο, κατά τέτοιο τρόπο, ώστε να αρθεί η αρχική πίεση (Aminlari & Majzoobi, 2002). Το αποτέλεσμα των αντιδράσεων αυτών είναι το ξεδίπλωμα των αρχικών πρωτεϊνικών μορίων και η συνένωσή τους προς όλες τις κατευθύνσεις με διάφορα είδη δεσμών, σχηματίζοντας τελικά μία τρισδιάστατη πρωτεϊνική μάζα με κολλώδεις και ελαστικές ιδιότητες. Αυτό το φαινόμενο αποτελεί την ανάπτυξη της γλουτένης.

Η γλουτένη είναι μίγμα δύο σημαντικών συστατικών, της γλουτενίνης και της γλοιαδίνης, οι οποίες περιβάλλουν τα μόρια του αμύλου και δεν εμφανίζουν ενζυμική δραστηριότητα. Αν και η αναλογία των δύο κλασμάτων δεν είναι πάντα σταθερή, η

γλουτενίνη αποτελεί το 48% περίπου της γλουτένης, και η γλοιαδίνη το υπόλοιπο 52% αυτής, ενώ και οι δύο είναι περίπλοκα μίγματα μεμονωμένων πρωτεϊνών. Συγκεκριμένα, η γλοιαδίνη διακρίνεται σε α-, β-, γ- και ω-γλοιαδίνη και είναι μονομερής σφαιρική πρωτεΐνη με ενδομοριακούς δισουλφιδικούς δεσμούς και μοριακό βάρος 30.000-100.000. Αντίθετα, η γλουτενίνη είναι πολυμερής πρωτεΐνη που αποτελείται από υπομονάδες συνδεδεμένες μεταξύ τους με διαμοριακούς δισουλφιδικούς δεσμούς και μοριακό βάρος $40.000-3 \cdot 10^6$. Οι ω-γλοιαδίνες δεν μπορούν να σχηματίσουν δισουλφιδικούς δεσμούς, ενώ οι α-,β-,γ-γλοιαδίνες αναπτύσσουν μόνο ενδομοριακούς δεσμούς. Οι γλουτενίνες, αφετέρου, είναι ικανές να σχηματίσουν τόσο ενδο- όσο και δια-μοριακούς δισουλφιδικούς δεσμούς, που οδηγούν στο σχηματισμό ενός μακροπολυμερούς συσσωματώματος και είναι ιδιαίτερα σημαντικοί για την ανάπτυξη και διατήρηση της δομής της γλουτένης (Belderok, 2000; Goesaert, et al., 2005; Klostermeyer, et al., 2005; Micard & Guilbert, 2000; Selomulyo & Zhou, 2007; Wieser, 2000). Το κλάσμα της γλοιαδίνης είναι διαλυτό σε ουδέτερο υδατικό διάλυμα αιθανόλης 70%. Αντίθετα, οι γλουτενίνες είναι ουσιαστικά αδιάλυτες σε 70% αιθανόλη, ενώ διαλύονται σε αραιά οξέα ή αλκάλια. (Matz, 1991; Matz, 1989). Τόσο οι γλουτενίνες, όσο και οι γλοιαδίνες περιέχουν μεγάλες ποσότητες του βασικού αμινοξέος γλουταμίνη, που διαδραματίζει σημαντικό ρόλο για τη διατήρηση της εγγενούς δομής των πρωτεϊνών κατά το σχηματισμό δεσμών υδρογόνου μεταξύ (και στο εσωτερικό) των μορίων.

Οι αλβουμίνες και οι γλοβουλίνες οι οποίες περιέχονται, επίσης, στο άλευρο σίτου, απαντώνται στο φύτρο, την αλευρώνη και το ενδοσπέρμιο του σπόρου και εμφανίζουν ενζυμική δράση.

Σημαντικοί παράγοντες, επίσης, για την αρτοποιητική ικανότητα, θεωρούνται η αναλογία γλοιαδίνης/γλουτενίνης και τα ποιοτικά χαρακτηριστικά του κλάσματος της γλουτενίνης. Στο πρωτεϊνικό δίκτυο της γλουτένης του ζυμαριού, οι γλοιαδίνες και οι γλουτενίνες φέρουν διαφορετικό ρόλο. Οι πρώτες θεωρείται ότι δρουν ως πλαστικοποιητές του πολυμερούς συστήματος της γλουτενίνης, επηρεάζοντας την πλαστικότητα/ιξώδες του ζυμαριού, ενώ οι δεύτερες, λόγω του μεγάλου μεγέθους τους, διαμορφώνουν ένα συνεχές δίκτυο που παρέχει δύναμη και ελαστικότητα στο ζυμάρι. Συνεπώς, η αναλογία αυτών των δύο πρέπει να βρίσκεται σε τέτοια επίπεδα, ώστε να διατηρείται η κατάλληλη ισορροπία ανάμεσα στο ιξώδες και στην ελαστικότητα/δύναμη του ζυμαριού. Επίσης, θεωρείται ότι οι ιδιότητες της

γλουτενίνης (σύσταση, δομή και κατανομή μεγέθους στο πολυμερές κλάσμα) είναι αρκετά σημαντικότερες κατά την αρτοποιήση από αυτές της γλοιαδίνης.

3.1.2 Υδατάνθρακες

Ο υδατάνθρακας που εμφανίζεται σε μεγαλύτερη περιεκτικότητα στο αλεύρι είναι το άμυλο, το οποίο υπερβαίνει σε ποσότητα τα υπόλοιπα συστατικά, και υπολογίζεται κατά μέσο όρο σε ποσοστό 70% επί ξηρού βάρους αλεύρου. Σχηματίζεται από διοξείδιο του άνθρακα και νερό, κατά τη διαδικασία της φωτοσύνθεσης, και αποθηκεύεται στα φυτικά κύτταρα ως μικροσκοπικά σωματίδια διαφόρων μεγεθών και σχημάτων. Στον καθορισμό του σχήματος, της κρυσταλλικής δομής και των χημικών ιδιοτήτων των κόκκων του αμύλου συμβάλλουν πολλά γονίδια. Οι κόκκοι δημιουργούνται στο αναπτυσσόμενο ενδοσπέρμιο ως μεμονωμένες οντότητες μέσα στους αμυλοπλάστες. Το καλούπι αμύλου-πρωτεΐνης και το μέγεθος των κόκκων του αμύλου κατέχουν σημαντικό ρόλο κατά την άλεση του αλεύρου και τις διεργασίες ψησίματος (Matz, 1991). Το άμυλο εμφανίζεται σε δύο διακριτά είδη κόκκων: μικρούς σφαιρικούς κόκκους των 5 με 15 μm σε διάμετρο, και φακοειδή σωματίδια των 20 με 39 μm σε διάμετρο. Το περιεχόμενο της αμυλόζης στο άμυλο του σιταριού είναι 19-26%, με το υπόλοιπο ποσοστό να αποτελείται από αμυλοπηκτίνη (Matz, 1989).

Το άμυλο γενικά δεν θεωρείται σημαντικός παράγοντας όσον αφορά την αρτοποιητική ικανότητα ενός αλεύρου, αλλά υπάρχουν ενδείξεις ότι η φυσική κατάσταση των κόκκων μπορεί να επηρεάσει το χρόνο ανάμιξης, το χειρισμό του ζυμαριού και την ανταπόκριση στα αμυλολυτικά ένζυμα. Το σιτάρι περιέχει επίσης μικρές ποσότητες σακχάρων, μερικά από τα οποία μεταφέρονται και στο αλεύρι. Συνήθως, η περιεκτικότητα γλυκόζης, φρουκτόζης και σακχαρόζης σε υδατικά εκχυλίσματα αλεύρων είναι μικρότερη ή το πολύ ίση με 0,1% (Matz, 1989).

Παρόλο που το περικάρπιο του σίτου περιέχει 2-2.5% κυτταρίνη και παρόμοια συστατικά, αυτοί οι υδατάνθρακες δεν απαντώνται στο ενδοσπέρμιο και, συνεπώς, υπάρχουν μόνο σε ίχνη στο αλεύρι.

Άλλοι πολυσακχαρίτες, εκτός του αμύλου, βρίσκονται στα κυτταρικά τοιχώματα των παρεγχυματικών και ξυλωδών ιστών του φυτού. Στα πρώτα βρίσκονται κυρίως αραβινοξυλάνες και οι διαλυτές β -D-γλυκάνες. Επίσης, μπορεί να υπάρχουν μικρές

ποσότητες κυτταρίνης και γλυκομαννάνης. Το ενδοσπέρμιο είναι συγκριτικά πλούσιο σε αραβινοξυλάνη και πολύ φτωχό σε β-D-γλυκάνες. Τα κυτταρικά τοιχώματα των ξυλωδών στρωμάτων των σπόρων περιέχουν αξιοσημείωτες ποσότητες κυτταρίνης. Βρίσκονται και αραβινοξυλάνες, αλλά είναι όξινες αντί για ουδέτερες όπως στο ενδοσπέρμιο. Μονο- και δισακχαρίτες επίσης υπάρχουν στο σίτο, αλλά σε πολύ μικρές ποσότητες (Matz, 1991).

Υπάρχουν σημαντικές ποσότητες μη αμυλούχων και μη κυτταρινούχων πολυσακχαριτών στο σίτο και στο αλεύρι. Συχνά αναφέρονται ως ημικυτταρίνες και πεντοζάνες, αλλά αυτοί οι όροι περιλαμβάνουν πολλά διαφορετικά είδη ουσιών που είναι δύσκολο να ταυτοποιηθούν και να χαρακτηριστούν. Η επιρροή τους στην αρτοποιητική ικανότητα του αλεύρου είναι αμφιλεγόμενες (Matz, 1989).

3.1.3 Λιπαρά

Τα λιπίδια στο άλευρο ανέρχονται περίπου στο 1.5% του βάρους του και αποτελούν μίγμα χημικών ενώσεων, κυρίως λινελαϊκού και σε χαμηλότερα ποσοστά παλμιτικού και ελαϊκού οξέος. Με βάση τη διαλυτότητά τους σε ορισμένους διαλύτες, διακρίνονται σε λιπίδια αμύλου και σε ελεύθερα ή δεσμευμένα μη αμυλούχα λιπίδια. Τα μη αμυλούχα λιπίδια καταλαμβάνουν τα 2/3-3/4 των συνολικών λιπιδίων του αλεύρου και αποτελούνται κυρίως από τριγλυκερίδια, καθώς επίσης και από άλλα μη πολικά λιπίδια και διγαλακτοζιδικά διγλυκερίδια. Τα λυσοφωσfolιπίδια αποτελούν τα σπουδαιότερα συστατικά των λιπιδίων του αμύλου και σημαντικά δευτερεύοντα συστατικά του αμύλου. Η περιεκτικότητά τους κυμαίνεται μεταξύ 0.8-1.2%. Επιδρούν σε μεγάλο βαθμό στις ιδιότητες του αμύλου, ειδικά κατά την ζελατινοποίηση και την αναδιάταξή του. Τέλος, το ασαπωνοποίητο κλάσμα των λιπών του αλεύρου περιέχει φυτοστερόλες (κυρίως σιτοστερόλη), καροτένια, ξανθοφύλλες και τοκοφερόλες (κυρίως βιταμίνη E) (Goesaert et al., 2005; Τσιάρας, 1984).

3.1.4 Μέταλλα

Οι ανόργανες ουσίες του σίτου είναι συγκεντρωμένες στο πίτυρο και τα κύτταρα της αλευρώνης. Τα βασικά μέταλλα που περιέχονται είναι τα φωσφορικά και τα θειικά άλατα του καλίου, του μαγνησίου και του ασβεστίου. Υπάρχουν σημαντικές ποσότητες σιδήρου (18-31 mg/kg), ψευδαργύρου (21-63 mg/kg), χαλκού (1,8-6,2

mg/kg), μαγγανίου (24-37 mg/kg) και σεληνίου (0,04-0,71 mg/kg). Το σκληρό σιτάρι περιέχει μεγαλύτερες ποσότητες αυτών σε σχέση με το μαλακό σιτάρι, όπως αναφέρθηκε και παραπάνω.

Σε κάθε διατροφική εκτίμηση του σίτου, πρέπει να λαμβάνεται υπόψη η βιοδιαθεσιμότητα των μετάλλων. Το φυτικό οξύ (phytate), το οποίο βρίσκεται κυρίως στο στρώμα της αλευρώνης, σχηματίζει αδιάλυτα σύμπλοκα με μερικά μέταλλα, τα οποία σύμπλοκα δεν απορροφώνται ιδιαίτερα από το πεπτικό σύστημα. Με αυτόν τον τρόπο, ο ψευδάργυρος μπορεί να μην είναι πλέον καθόλου διαθέσιμος και τα άλλα βοηθητικά μέταλλα να επηρεάζονται δυσμενώς. Το ασβέστιο θεωρείται ότι αυξάνει τη σύνδεση της φυτίνης (phytin) με τον ψευδάργυρο (Matz, 1991).

3.1.5 Φυτικές ίνες

Το ενδοσπέρμιο του σίτου, και κατά συνέπεια το λευκό αλεύρι, περιέχει μόνο ελάχιστες ποσότητες ουσιών που θα μπορούσαν να θεωρηθούν ως φυτικές ίνες. Το αλεύρι σίτου ολικής άλεσης (που περιέχει όλα τα κλάσματα στο ίδιο ποσοστό που τα περιέχει και ο σπόρος) περιέχει μεν μεγαλύτερες ποσότητες φυτικών ινών, αλλά δεν μπορεί να θεωρηθεί σημαντική πηγή φυτικών ινών. Συγκεκριμένα, το λευκό αλεύρι, το αλεύρι ολικής άλεσης και το πίτυρο περιέχουν κατά μέσο όρο 2,78%, 12,57% και 42,65% φυτικές ίνες (σε ποσοστό ξηρής βάσης), αντίστοιχα (Matz, 1991).

3.1.6 Βιταμίνες

Το σιτάρι περιέχει αξιόλογες ποσότητες βιταμινών της ομάδας Β. Βιταμίνες όπως θειαμίνη, ριβοφλαβίνη, νιασίνη, παντοθενικό οξύ και πυριδοξίνη υπάρχουν σε σημαντικές ποσότητες. Η βιταμίνη C δεν υπάρχει στο σίτο, εκτός και αν ο σπόρος έχει βλαστήσει. Υπάρχει παντελής έλλειψη καροτινοειδών, τα οποία λειτουργούν ως πρόδρομα συστατικά της βιταμίνης A, και της βιταμίνης D. Τα έλαια του φύτρου είναι πλούσια σε βιταμίνη E.

Σχεδόν όλες οι βιταμίνες είναι συγκεντρωμένες στο πίτυρο και στο φύτρο και όχι στο ενδοσπέρμιο. Έτσι, το αλεύρο, που προέρχεται στο μεγαλύτερο ποσοστό του από το ενδοσπέρμιο, θα έχει ελάχιστες βιταμίνες. Έχει υπολογιστεί ότι το ενδοσπέρμιο περιέχει το 24% της συνολικής θειαμίνης, το φύτρο 15% και τα εξωτερικά στρώματα

61%. Η ριβοφλαβίνη έχει παρόμοια κατανομή στα τρία στρώματα, εμφανίζοντας όμως υψηλότερο ποσοστό στο ενδοσπέρμιο.

Λόγω της συγκέντρωσής τους στα εξωτερικά στρώματα, το μεγαλύτερο μέρος της θειαμίνης, της ριβοφλαβίνης και της νιασίνης απομακρύνονται κατά την άλεση. Παρόλο που και το φύτρο είναι σχετικά πλούσιο στις βιταμίνες αυτές, αποτελεί μόνο το 1-2% του ολικού βάρους του σπόρου, με αποτέλεσμα η συνεισφορά του στο συνολικό ποσοστό να είναι μικρή (Matz, 1989).

3.1.7 Τέφρα

Τα άλευρα με υψηλά ποσοστά τέφρας πιθανόν να περιέχουν σχετικά μεγάλες ποσότητες σωματιδίων από τα μέρη αυτά. Για το λόγο αυτό, άλλωστε, το περιεχόμενο σε τέφρα θεωρείται δείκτης της άλεσης. Η πιο απότομη επεξεργασία του πίτυρου που συνοδεύει την άλεση θα παράγει πιο μικρά σωματίδια. Αυτά δεν θα μπορούν να διαχωριστούν από το ρεύμα του αλεύρου υπό κανονικές διεργασίες διαχωρισμού και έτσι θα μεταφέρονται στο αλεσμένο αλεύρι.

Οι ποικιλίες του σιταριού διαφέρουν ως προς το περιεχόμενό τους σε τέφρα, και έτσι, άλευρα ίδιας άλεσης μπορεί να εμφανίζουν διαφορετικά ποσοστά ανόργανων ουσιών. Τα μαλακά σιτάρια αποδίδουν άλευρα χαμηλής περιεκτικότητας σε τέφρα σε σχέση με τα σκληρά σιτάρια, υπό τις ίδιες συνθήκες άλεσης. Τα ποσοστά τέφρας κυμαίνονται μεταξύ 0,3 και 1%.

Η περιεκτικότητα σε τέφρα, παρότι δεν έχει ιδιαίτερα άμεση επίδραση στις αρτοποιητικές ιδιότητες του αλεύρου, αποτελεί δείκτη του βαθμού άλεσης και έτσι συνδέεται έμμεσα με το χρώμα, τα σωματίδια του πίτυρου και άλλα χαρακτηριστικά που είναι πιο δύσκολο να προσδιοριστούν από ότι η περιεκτικότητα σε τέφρα. Για το λόγο αυτό, ο προσδιορισμός της αποτελεί σημαντικό στοιχείο στη διασφάλιση της ποιότητας των αλεύρων (Matz, 1989).

3.1.8 Χρωστικές ουσίες

Οι ώριμοι σπόροι του σίτου ποικίλλουν χρωματικά από ελαφρύ κιτρινωπό ή κίτρινο χρώμα μέχρι κόκκινο/καφέ, ανάλογα με την ποσότητα της κόκκινης χρωστικής στο περίβλημα του σπόρου.

Το ενδοσπέρμιο έχει ένα γλωμό κιτρινωπό χρώμα, το οποίο είναι ελαφρά πιο έντονο στο σκληρό σίτο και ακόμη πιο έντονο στο σιμιγδάλι. Τα εξωτερικά στρώματα του σίτου έχουν ένα ελαφρύ κόκκινο προς σκούρο καφέ χρώμα, ανάλογα με την καλλιέργεια. Αυτές οι χρωστικές δεν είναι επιθυμητές στο λευκό ψωμί. Ωστόσο, το κίτρινο χρώμα είναι λιγότερο ανεπιθύμητο από το γκριζωπό χρώμα που προκύπτει από τα σωματίδια του πίτυρου. Το κίτρινο χρώμα είναι επιθυμητό στα ζυμαρικά και έτσι είναι κριτήριο ποιότητας στο σκληρό σιμιγδάλι. Το πίτυρο είναι τόσο ανεπιθύμητο στα ζυμαρικά όσο και στο ψωμί.

Οι κίτρινες χρωστικές είναι κατά βάση καροτινοειδή, υδροξυλιωμένες ξανθοφύλλες, μονο- και δι-εστέρες της λουτεΐνης και φλαβόνες. Οι λευκαντικοί παράγοντες που χρησιμοποιούνται σε μερικούς τύπους αλεύρου οξειδώνουν το καροτένιο. Θρεπτικά, αυτό δεν είναι σημαντικό, καθώς υπάρχει αρκετή προβιταμίνη Α στο αλεύρι, ώστε να παραμένει σημαντική πηγή για τους ανθρώπους. Οι ξανθοφύλλες οξειδώνονται, επίσης, εύκολα σε άχρωμα συστατικά. Μία προπαρασκευή του ενζύμου που ονομάζεται λιποξυγενάση είναι εμπορικά διαθέσιμη για χρήση ως λευκαντικός παράγοντας σε ζυμάρια άρτου. Σε μία σύνθετη σειρά αντιδράσεων, το καροτένιο οξειδώνεται από αυτό το ενζυμικό παρασκεύασμα, και έτσι προκύπτει πιο ανοιχτόχρωμη ψίχα (Matz, 1991).

3.1.9 Ένζυμα

Τα ένζυμα που περιέχονται μέσα στο άλευρο είτε προέρχονται από το σίτο είτε παράγονται από τους μικροοργανισμούς που απαντώνται στο άλευρο. Τα βασικότερα από αυτά είναι οι αμυλάσες, οι πρωτεάσες, οι λιπάσες, οι λιποξυγενάσες και οι φυτάσες.

Αμυλάσες

Οι αμυλάσες διακρίνονται σε α- και β-αμυλάσες και η περιεκτικότητά τους εξαρτάται, πιθανόν, από το μέγεθος των κόκκων του σίτου. Οι α-αμυλάσες είναι ενδο-ένζυμα που διασπούν τυχαία τους α-1,4 γλυκοζιδικούς δεσμούς, συμβάλλοντας στην αποικοδόμηση των μεγάλων μορίων του αμύλου σε κλάσματα με μικρότερο μοριακό βάρος. Οι β-αμυλάσες αποτελούν εξω-ένζυμα που διασπούν το άμυλο στο μη αναγωγικό άκρο του μορίου του, παράγοντας μαλτόζη. Η ταυτόχρονη δράση των α- και β-αμυλασών καθιστά δυνατή τη διάσπαση του 85% περίπου του αμύλου σε

απλά σάκχαρα, δεδομένου ότι κανένα από τα παραπάνω ένζυμα δεν μπορεί να διασπάσει τους α-1-6 γλυκοζιδικούς δεσμούς που συναντώνται στις διακλαδώσεις των μορίων της αμυλοπηκτίνης (Evers et al., 1995).

Πρωτεάσες

Αναφέρονται και ως πρωτεΐνάσες ή πεπτιδάσες και απαντώνται στους αέριους καρπούς των δημητριακών. Εμφανίζουν χαμηλή δραστικότητα.

Λιπάσες

Απαντώνται σε όλους τους καρπούς των δημητριακών, αλλά στο σίτο η δραστικότητά τους είναι περιορισμένη. Η δράση τους συνδέεται με τα ελεύθερα λιπαρά οξέα, τα οποία σε μεγάλες ποσότητες προσδίδουν σαπωνώδη γεύση στα προϊόντα και είναι ιδιαίτερα ευάλωτα στον οξειδωτικό ταγγισμό.

Λιποξυγενάσες

Καταλύουν την οξείδωση των πολυακόρεστων λιπαρών οξέων από το οξυγόνο, εμφανίζουν εκλεκτική δράση σε *cis* λιπαρά οξέα και λίπη, τα οποία περιέχουν ομάδες *cis*-πεντα-1,4-διενίου ($-\text{CH}=\text{CH}-\text{CH}_2-\text{CH}=\text{CH}-$). Το ενδιαφέρον σχετικά με τις λιποξυγενάσες στηρίζεται στο γεγονός ότι προάγουν την οξειδωτική υποβάθμιση των προϊόντων στα οποία περιέχονται.

Φυτάσες

Αποτελούν εστεράσες που είναι υπεύθυνες για την υδρόλυση του φυτικού οξέος προς ινοσιτόλη και ελεύθερο φωσφορικό οξύ. Η δράση τους είναι σημαντική, γιατί το φυτικό οξύ θεωρείται ότι δεσμεύει το ασβέστιο, το μαγνήσιο, το σίδηρο και τον ψευδάργυρο, εμποδίζοντας την απορρόφησή τους από τα τρόφιμα (Haros et al., 2001; Kulp & Ponte, 1990; Porres et al, 2001; Sahlstrom & Brathen, 1997).

3.2 Τύποι αλεύρων

Ανάλογα με το βαθμό άλεσης, παράγονται διαφορετικοί τύποι αλεύρων. Ο βαθμός αυτός εκφράζει την απόδοση σε αλεσμένο προϊόν και ποικίλλει από 70% για το λευκό άλευρο, 85-90% για το σκούρο (wheat-meal flour) και σε 100% για το άλευρο ολικής άλεσης (whole-meal flour). Το λευκό άλευρο (γνωστό ως T.70% στην ελληνική αγορά) από μαλακό σίτο (με βάση την υφή του καρπού) ή ανάμικτο διακρίνεται σε τέσσερις τύπους: αρτοποιίας, ζαχαροπλαστικής, για όλες τις χρήσεις και αυτοδιογκούμενο. Το άλευρο για όλες τις χρήσεις προκύπτει ύστερα από συνδυασμό αλεύρου μαλακού και σκληρού σίτου και συνήθως είναι ελάχιστα πιο αδύναμο από το αλεύρι αρτοποιίας, ώστε να είναι δυνατή και η χρήση του για γλυκίσματα. Το αυτοδιογκούμενο άλευρο είναι λευκό (ζαχαροπλαστικής ή όλων των χρήσεων) στο οποίο έχουν προστεθεί διογκωτικά συστατικά (μαγειρική σόδα και κάποιες φορές αλάτι) (Conforti, 2006). Άλλος τύπος λευκού αλεύρου είναι το 55% ή πολυτελείας, που χρησιμοποιείται σε ειδικές εφαρμογές στην αρτοποιία και στην ζαχαροπλαστική (π.χ. άρτος πολυτελείας). Τέλος, υπάρχει άλλη μία κατηγορία αλεύρων από σκληρό σίτο (κίτρινα άλευρα) κατηγορίας M, για χρήση στην αρτοποιία για την παρασκευή προϊόντων όπως ο χωριάτικος άρτος.

Συνοψίζοντας στην ελληνική αγορά, τα άλευρα κατηγοριοποιούνται ως εξής:

A) Άλευρα από μαλακό σίτο ή ανάμικτο, με τις ονομασίες:

- Άλευρα κατηγορίας Π
- Άλευρα T.70%
- Άλευρα T.90% με προσθήκη ξηρής γλουτένης σε αναλογία 3%
- Άλευρα T.100% (ολικής άλεσης)

B) Άλευρα από σκληρό σίτο

- Άλευρα κατηγορίας M
- Άλευρα ολικής άλεσης για μακαρονοποιία.

Ο τύπος του αλεύρου δεν προσδιορίζει την αρτοποιητική του ικανότητα ή την αντοχή του σε μηχανική καταπόνηση, ζύμωση, κτλ. Για το λόγο αυτό, το αλεύρι τύπου T.70%, το ευρύτερα χρησιμοποιούμενο στην αρτοποιία διακρίνεται σε τρεις υποκατηγορίες: δυνατό, μεσαίο ή ενδιάμεσο και μαλακό. Οι ονομασίες αυτές

υποδηλώνουν την αντοχή του αλεύρου αποκλειστικά στη μηχανική καταπόνηση και όχι την ικανότητα διόγκωσης (Λεμπέση, 2012, Γιάννου, 2009).

3.3 Ποιοτικές δοκιμές αλεύρων

Το αλεύρι αποτελεί ένα προϊόν που, όπως και η πρώτη ύλη από την οποία παράγεται, εμφανίζει σημαντικές διακυμάνσεις στη σύσταση και τις ιδιότητές του. Ωστόσο, σκοπός της βιομηχανίας αλεύρου να διασφαλίζει την παραγωγή προϊόντων με σταθερά ποιοτικά χαρακτηριστικά (Matz, 1989).

Η ποιότητα του αλεύρου εξαρτάται από την ποιότητα του σίτου, τη μέθοδο και το βαθμό άλεσης, και την ενδεχόμενη χημική επεξεργασία (Ρούτουλα, 2013).

3.3.1 Αρτοποιητική δοκιμή

Η καλύτερη προσέγγιση για την εκτίμηση της καταλληλότητας ή μη ενός αλεύρου για μία συγκεκριμένη εφαρμογή είναι η χρήση του κάτω από τις ίδιες συνθήκες που επικρατούν σε μία τυπική γραμμή παραγωγής και ο προσδιορισμός της «συμμόρφωσης» του τελικού προϊόντος με ένα προκαθορισμένο σύνολο προδιαγραφών. Για τον προσδιορισμό της αρτοποιητικής ικανότητας έχουν αναπτυχθεί διάφορες δοκιμές οι οποίες αποσκοπούν στην προσομοίωση της βιομηχανικής διαδικασίας αρτοποίησης και στον έλεγχο της αρτοποιητικής ικανότητας των αλεύρων.

Για την εκτίμηση των αρτοποιητικών ιδιοτήτων του αλεύρου έχουν αναπτυχθεί περίτεχνες μηχανικές και ηλεκτρομηχανικές συσκευές. Μερικές από αυτές έχουν πετύχει αξιόλογη εμπορική επιτυχία. Τα πιο ευρέως χρησιμοποιούμενα όργανα είναι ο Φαρινογράφος και ο Εξτενσιογράφος, ειδικά για τον προσδιορισμό της ποιότητας των σκληρών αλεύρων σίτου. Παρόλα αυτά, τα δεδομένα που λαμβάνονται από τα συγκεκριμένα μηχανήματα αφορούν κυρίως την ποιότητα και την ποσότητα των πρωτεϊνών, κατά συνέπεια δεν επαρκούν για να δώσουν πλήρη εικόνα της ποιότητας του αλεύρου. Αυτό οφείλεται κυρίως στο γεγονός ότι η αρτοποιητική ικανότητα κάθε αλεύρου δεν εξαρτάται αποκλειστικά και μόνο από τις περιεχόμενες σε αυτό πρωτεΐνες (Matz, 1989). Ο δημοφιλέστερος εξοπλισμός που χρησιμοποιείται σήμερα στη βιομηχανία τροφίμων για τον προσδιορισμό της αρτοποιητικής ικανότητας των αλεύρων περιγράφεται στις παραγράφους που ακολουθούν.

Φαρινογράφος Brabender

Ο Φαρινογράφος τύπου «Brabender» αποτελεί όργανο με παγκοσμίως αναγνωρισμένη χρησιμότητα στην εξέταση των ρεολογικών χαρακτηριστικών των αλεύρων. Ειδικότερα, δίνει πληροφορίες σχετικά με την ικανότητα απορρόφησης νερού του αλεύρου, την αντοχή του ζυμαριού στη μηχανική καταπόνηση κατά την κατεργασία του αλεύρου. Η αρχή λειτουργίας του στηρίζεται στη δύναμη που χρειάζονται οι δύο σιγμοειδείς βραχίονες του ζυμωτηρίου για να περιστραφούν με σταθερή ταχύτητα μέσα στη μάζα του ζυμαριού που έχει καθορισμένη αρχική σύσταση. Όσο προχωρά η εξέταση, η δύναμη που απαιτείται μεταβάλλεται, ανάλογα με τη φύση του εξεταζόμενου αλεύρου. Η απαιτούμενη δύναμη μετράται με δυναμόμετρο το οποίο είναι συνδεδεμένο με ζυγό και ηλεκτρονικό υπολογιστή που περιέχει κατάλληλο λογισμικό. Το διάγραμμα που δημιουργείται ονομάζεται Φαρινογράφημα.

Ο Φαρινογράφος απαρτίζεται από δύο κύρια μέρη. Τη Φαρινογραφική μονάδα και το θερμοστάτη. Ο θερμοστάτης θερμαίνει με τη βοήθεια ηλεκτρικών στοιχείων απεσταγμένο νερό και το διατηρεί σε θερμοκρασία 30°C με ένα θερμοστατικό μηχανισμό ακριβείας.

Η Φαρινογραφική μονάδα διαθέτει βάση βαρέως τύπου από χυτοσίδηρο με τέσσερις κοχλίες οριζοντίωσης και περιλαμβάνει ένα ζυμωτήριο μέσα στο οποίο γίνεται η μηχανική ανάμιξη του εξεταζόμενου αλεύρου. Συγκεκριμένα, η ανάμιξη γίνεται με τη βοήθεια δύο σιγμοειδών βραχιόνων, διαφορετικού μήκους, οι οποίοι είναι παράλληλα τοποθετημένοι στη βάση του ζυμωτηρίου και που κινούνται με διαφορετικές ταχύτητες σε αναλογία 3:2 (ο ανώτερος κινείται πιο γρήγορα). Υπάρχουν δύο τύποι ζυμωτηρίων, ο μεγάλος για 300 g αλεύρου και ο μικρός για 50 g αλεύρου. Επιπλέον, η συσκευή είναι εφοδιασμένη με ένα καταγραφικό μηχανισμό ο οποίος ενεργοποιείται μέσω ενός συστήματος μοχλών, από τη ροπή αντίδρασης του μοτέρ, που κινεί τους σιγμοειδείς βραχίονες και φέρεται ως δυναμόμετρο. Ταυτόχρονα, δίνει ένδειξη σε συνδεδεμένο ζυγό. Η κλίμακα του ζυγού διαιρείται σε βαθμούς από 0 μέχρι 1000. Κάθε βαθμός αναφέρεται στην ελαστικότητα ή μη του ζυμαριού. Διαθέτει, επίσης, σύστημα απόσβεσης ταλαντώσεων καθώς και προχοΐδα, για την προσθήκη απεσταγμένου νερού, σταθερής θερμοκρασίας 30°C, στο ζυμωτήριο. Με τον τρόπο αυτό δίνει το επί τοις εκατό ποσοστό του νερού που απορροφά το ζυμάρι.

Το όργανο συνδέεται με ηλεκτρονικό υπολογιστή που είναι εφοδιασμένος με κατάλληλο λογισμικό μέσω του οποίου γίνεται η καταγραφή, αποτύπωση και επεξεργασία του φαρινογραφήματος ανάμεσα σε δύο άξονες. Χαρακτηριστικό του φαρινογραφήματος είναι ότι στην κάθετη κατεύθυνση έχει καμπύλες γραμμές, παράλληλες μεταξύ τους, που αντιστοιχούν σε χρονικά διαστήματα πρώτων λεπτών. Οι γραμμές αυτές τέμνονται από πενήντα οριζόντιες γραμμές που αντιπροσωπεύουν τις φαρινογραφικές μονάδες, οι οποίες αποτελούν εξ ορισμού το μέτρο συνεκτικότητας του ζυμαριού. Δύο γειτονικές γραμμές αντιστοιχούν σε 20 φαρινογραφικές μονάδες. Η συνεκτικότητα βαθμολογείται από 0 μέχρι 1000. Το πλάτος των ταλαντώσεων που απεικονίζονται είναι ανάλογο της ελαστικότητας του ζυμαριού. Η καμπύλη που σχηματίζεται ανέρχεται προς μία κορυφή καθώς το ζυμάρι τείνει να αποκτήσει τη μέγιστη συνεκτικότητα και στη συνέχεια αυτή κατέρχεται αργά ή γρήγορα, ανάλογα με τη μείωση της συνεκτικότητας του ζυμαριού, από τη δράση των βραχιόνων του ζυμωτηρίου.

Τα φαρινογραφήματα χαρακτηρίζουν τη συμπεριφορά των διαφόρων τύπων αλεύρων, κατά τη διάρκεια της ανάμιξής τους και βοηθούν στον καθορισμό της ποιότητας του αλεύρου, όσον αφορά την ικανότητα απορρόφησης νερού, τη σταθερότητα, την αντοχή και το βαθμό εξασθένισης του ζυμαριού. Ως σταθερότητα του ζυμαριού ορίζεται ο χρόνος εντός του οποίου διατηρείται σε ικανοποιητικά επίπεδα η δομή του. Ως αντοχή ορίζεται ο χρόνος που χρειάζεται για να μεταβληθεί η σύστασή του, ενώ βαθμός εξασθένισης είναι πόσες φαρινογραφικές μονάδες (Φ.Μ.) αδυνατίζει το ζυμάρι, όταν η ανάμιξή του συνεχιστεί πέρα από το κανονικό. Τέλος, το φαρινογράφημα δίνει πληροφορίες για την ενζυματική δράση στο αλεύρι.

Εξτενσιογράφος Brabender

Ο Εξτενσιογράφος τύπου «Brabender» επινοήθηκε το 1936 και συμπληρώνει τις πληροφορίες που λαμβάνονται από το Φαρινογράφο. Με το όργανο αυτό ελέγχονται οι ρεολογικές ιδιότητες του ζυμαριού και η επίδραση που έχουν σε αυτό οι οξειδωτικές και βελτιωτικές ουσίες. Οι ρεολογικές ιδιότητες του ζυμαριού καθορίζονται από την ποσότητα και κυρίως την ποιότητα της γλουτένης μέσω της εκτατότητας και της αντοχής της (την αντίσταση που προβάλλει κατά την επιμήκυνσή της). Ο έλεγχος αυτός πραγματοποιείται στον Εξτενσιογράφο και μάλιστα χωρίς να απαιτείται διαχωρισμός της γλουτένης από το ζυμάρι. Ειδικότερα, με τον

Εξτενσιογράφο μετράται η δύναμη που χρειάζεται να εφαρμοστεί για να ξεπεραστεί η αντίσταση που εμφανίζει ένα κομμάτι ζυμαριού κατά την επιμήκυνσή του μέχρι να κοπεί σε δύο κομμάτια, σε σχέση με το χρόνο.

Τα βασικά μέρη του οργάνου είναι το σκαφίδιο, το άγκιστρο, το σύστημα μοχλών, ο μηχανισμός καταγραφής και το σύστημα απόσβεσης. Στο σκαφίδιο τοποθετείται το ζυμάρι μετά τη μορφοποίησή του σε σχήμα κυλίνδρου. Το σκαφίδιο συνδέεται με το άκρο του βραχίονα του ζυγού. Με το άγκιστρο πραγματοποιείται η επιμήκυνση του ζυμαριού. Αυτό κινείται προς τα κάτω, έχοντας σταθερή ταχύτητα, με τη βοήθεια ενός κινητήρα. Στο σύστημα μοχλών μεταβιβάζεται η αντίσταση την οποία προβάλλει το ζυμάρι στην προσπάθεια να διατηρήσει τις αρχικές του διαστάσεις, κατά την έλξη του από το άγκιστρο. Ο μηχανισμός καταγραφής διαθέτει πένα η οποία συνδέεται με το σύστημα μοχλών και ταλαντεύεται κατακόρυφα πάνω στο βραδέως και συνεχώς εκτυλισσόμενο χαρτί που βρίσκεται πάνω σε έναν κύλινδρο. Το σύστημα απόσβεσης αποτελείται από έναν κύλινδρο γεμάτο με ειδικό έλαιο μέσα στον οποίο κινείται ένα έμβολο που συνδέεται με το σύστημα των μοχλών (υδραυλικός αποσβέστης). Όταν κινούνται οι μοχλοί, το έμβολο συμπιέζει το έλαιο, ελαχιστοποιεί τις ταλαντώσεις τους και ρυθμίζει το πλάτος της καμπύλης του Εξτενσιογράφου. Ακόμα, στον Εξτενσιογράφο περιλαμβάνονται τα εξής: σύστημα σχηματοποίησης για τη μορφοποίηση του ζυμαριού σε σφαίρα, μία διάταξη για την κυλινδροποίηση του σφαιρικού ζυμαριού, τρεις θάλαμοι ωρίμανσης (υπό σταθερή θερμοκρασία 30°C και κατάλληλη υγρασία) όπου αφήνονται τα σκαφίδια με τα κυλινδρικά ζυμάρια, προ της επιμήκυνσης, και τέλος, τρεις χρονοδιακόπτες (Τσιάρας, 1984).

Αλβεογράφος Chopin

Ο Αλβεογράφος τύπου «Chopin» είναι ένα μηχανήμα που μετρά της εκτατότητα του ζυμαριού και την αντίστασή του στην έκταση. Ένα λεπτό φύλλο ζυμαριού στερεώνεται μεταξύ δύο μεταλλικών πλακών. Η πάνω πλάκα φέρει μία κυκλική οπή, μέσω της οποίας το ζυμάρι μπορεί να επεκταθεί. Η κάτω πλάκα συνδέεται με μία βαλβίδα αέρα που οδηγεί σε ένα μικρό θάλαμο αέρα. Η πίεση στο θάλαμο αυξάνεται με σταθερό ρυθμό μέσω παροχής αέρα και καταγράφεται μέσω μανομέτρου, που συνδέεται με το θάλαμο, συναρτήσει του χρόνου. Η θερμοκρασία διατηρείται στους 25°C. Το καταγραφικό του μανομέτρου συνήθως δείχνει μία ραγδαία αρχική αύξηση


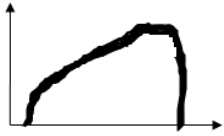

καθώς το φύλλο του ζυμαριού αντιστέκεται στην έκταση και εν συνεχεία μία εξασθένηση καθώς το λεπτό φύλλο χάνει τη δύναμή του και τεντώνεται, δημιουργώντας ένα «μπαλόκι» το οποίο καταγράφεται ως απώλεια πίεσης. Τελικά, το σχηματιζόμενο «μπαλόκι» σκάει με τον όγκο της φυσαλίδας αέρα να αποτελεί αντιπροσωπευτικό δείκτη της αρτοποιητικής ικανότητας του αλεύρου (Matz, 1989).

Αμυλογράφος

Ο Αμυλογράφος χρησιμοποιείται για τη μέτρηση της μεταβολής του ιξώδους αιωρημάτων αμύλου τα οποία θερμαίνονται με ελεγχόμενο ρυθμό. Τα δεδομένα αυτά συσχετίζονται με τη συμπεριφορά των μαλακών αλεύρων σίτου σε συγκεκριμένες εφαρμογές στις οποίες η ζελατινοποίηση του αμύλου θεωρείται καθοριστικός παράγοντας. Τέτοια όργανα χρησιμοποιούνται, επίσης, για τη μέτρηση της δράσης των ενζύμων που καταλύουν τη διάσπαση του αμύλου.

Στον πίνακα 3.1 παρουσιάζονται συγκριτικά τα κυριότερα χαρακτηριστικά του Φαρινογράφου, Αμυλογράφου και Εξτενσιογράφου (Matz, 1989).

Πίνακας 3.1: Προτεινόμενες εφαρμογές για το Φαρινογράφο, τον Εξτενσιογράφο και τον Αμυλογράφο.

	1 ^η φάση: Ανάμιξη ζυμαριού	2 ^η φάση: Ζύμωση και σχηματοποίηση	3 ^η φάση: Κλιβανισμός
Φύση μεθόδου	Δυναμική	Στατική	Δυναμική
Τύπος οργάνου που χρησιμοποιείται	Φαρινογράφος	Εξτενσιογράφος	Αμυλογράφος
Μορφή διαγράμματος			
Προκύπτουσες πληροφορίες	Απορρόφηση νερού Χρόνος ανάμιξης Βαθμός εξασθένησης	Αντοχή/Εκτατότητα= βαθμός ωρίμανσης	Μορφή ψίχας Χαρακτηριστικά (Ιδιότητες ζελατινοποίησης)
Πιθανές διορθώσεις			
Κατά την άλεση	Αλλαγές στο μίγμα σιταριών	Προσαρμογή χημικών παραγόντων ωρίμανσης	Ρύθμιση τροφοδοσίας κατά την άλεση (mill stream switching) Και/ή προσθήκη βύνης
Κατά τον κλιβανισμό	Μεταβολή της ποσότητας του νερού στο μίγμα και προσαρμογή των συνθηκών ανάμιξης	Μεταβολή της ποσότητας της μαγιάς	Προσθήκη βύνης

3.3.2 Φυσικοχημικές δοκιμές

Οι πιο συχνές αναλύσεις που εφαρμόζονται στα άλευρα αφορούν τον προσδιορισμό του pH, της υγρασίας, της τέφρας, των πρωτεϊνών και των λιπαρών. Ο προσδιορισμός της υγρασίας είναι σημαντικός αφού αποτελεί μέτρο της σταθερότητας του αλεύρου κατά την αποθήκευση. Άλλωστε, τα άλευρα που εμφανίζουν υψηλά ποσοστά υγρασίας, όπως είναι αναμενόμενο, υπόκεινται ευκολότερα σε μικροβιολογικές αλλοιώσεις.

Γενικότερα, για τη μέτρηση των πρωτεϊνών, της υγρασίας, των λιπαρών, κτλ. έχουν αναπτυχθεί μέθοδοι, οι οποίες στηρίζονται στη φασματοφωτομετρία υπέρυθρης ανάκλασης, και δίνουν ικανοποιητικά/επαρκή αποτελέσματα για ελέγχους ρουτίνας, με δεδομένο ότι συγκρίνονται δείγματα παρόμοιων φυσικοχημικών χαρακτηριστικών. Οι ευρύτερα χρησιμοποιούμενες μέθοδοι περιγράφονται στις παραγράφους που ακολουθούν.

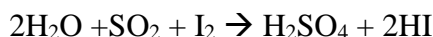
3.3.3 Προσδιορισμός υγρασίας

Η μέτρηση της υγρασίας ενός αλεύρου γίνεται συνήθως με ξήρανση κατάλληλης ποσότητας δείγματος σε φούρνους με ατμοσφαιρική πίεση ή υπό κενό. Παρόλα αυτά, οι θερμοσταθμικές αυτές δοκιμές θεωρούνται χρονοβόρες και έχουν απλοποιηθεί και αυτοματοποιηθεί με τη χρήση συσκευών όπως ο φούρνος υγρασίας «Brabender», ο οποίος χρησιμοποιείται ευρέως σε εργαστήρια ανάλυσης σιτηρών και αλεύρων. Μερικές συσκευές, όπως ο ζυγός υγρασίας «Cenco», απαιτούν την τοποθέτηση ενός δείγματος σε ζυγό και τη θέρμανσή του με υπέρυθρη ακτινοβολία. Με τον τρόπο αυτό επιτυγχάνεται ο γρήγορος προσδιορισμός της υγρασίας, πρέπει όμως να δίνεται προσοχή, ώστε το δείγμα να είναι απλωμένο σε λεπτό στρώμα και η θέρμανση να σταματήσει εγκαίρως, προτού η επιφάνεια του δείγματος αρχίσει να καίγεται.

Για τη μέτρηση της υγρασίας μπορούν να χρησιμοποιηθούν, επίσης, χημικές μέθοδοι. Οι μέθοδοι «Karl Fisher» θεωρούνται πιο ακριβείς από τις περισσότερες θερμοσταθμικές μεθόδους, καθώς δεν περιλαμβάνουν υποβολή σε θέρμανση που μπορεί να προκαλέσει εσφαλμένη ανάγνωση των ενδείξεων (Matz, 1989).

Η βασική αρχή της μεθόδου Karl Fisher στηρίζεται στην τιτλοδότηση του δείγματος με μεθανολικό διάλυμα ιωδίου, διοξειδίου του θείου και πυριδίνης (αντιδραστήριο

Fisher). Η παρουσία νερού προκαλεί την αναγωγή του ιωδίου από το διοξείδιο του θείου, σύμφωνα με την αντίδραση:



Όσο υπάρχει νερό στο δείγμα το ιώδιο καταναλώνεται. Το τέλος της αντίδρασης σηματοδοτείται από την εμφάνιση του χαρακτηριστικού καφέ χρώματος του ελεύθερου ιωδίου (Καζάζης, 1981).

Παρόλο που οι αρχικές μέθοδοι «Karl Fisher» χρησιμοποιούσαν ασταθή, δύσοσμα και τοξικά αντιδραστήρια, σήμερα έχει αναπτυχθεί σύγχρονος εξοπλισμός ο οποίος επιταχύνει τη διαδικασία, είναι πλήρως αυτοματοποιημένος και απαιτεί ελάχιστα περισσότερη προετοιμασία των δειγμάτων σε σχέση με τις περισσότερες τεχνικές ξήρανσης. Ωστόσο, το κόστος του απαραίτητου εξοπλισμού και των απαιτούμενων αντιδραστηρίων είναι υψηλότερο.

3.3.4 Προσδιορισμός τέφρας

Η τέφρα είναι το υλικό που απομένει αφότου ένα δείγμα αλεύρου έχει θερμανθεί σε κάμινο στους 565,56°C για συγκεκριμένο χρονικό διάστημα. Το περιεχόμενο της τέφρας χρησιμοποιείται ως δείκτης της ποιότητας ενός αλεύρου, χωρίς όμως να αποτελεί απόλυτη ένδειξη αυτού. Επίσης, αποτελεί μέτρο του βαθμού άλεσης του αλεύρου, δεδομένου ότι τα εξωτερικά στρώματα του σίτου έχουν μεγαλύτερη περιεκτικότητα σε μεταλλικά στοιχεία σε σχέση με το ενδοσπέρμιο. Παρόλα αυτά, η περιεκτικότητα του ενδοσπερμίου σε μέταλλα ποικίλλει από σοδειά σε σοδειά, με αποτέλεσμα το ποσοστό της τέφρας να είναι διαφορετικό ακόμη και για ίδια ποσοστά άλεσης. Παρά τις αβεβαιότητες αυτές, η συγκεκριμένη δοκιμή μπορεί να δώσει αξιολογικές πληροφορίες σχετικά με την ποιότητα του αλεύρου και την αποδοτικότητα της άλεσης με δεδομένο ότι είναι γνωστές και άλλες παράμετροι. Η θαμπάδα και η ύπαρξη κηλίδων στο αλεύρι επίσης τείνει να ποικίλλει ανάλογα με την περιεκτικότητά του σε τέφρα.

3.3.5 Προσδιορισμός πρωτεϊνικού περιεχομένου

Το πρωτεϊνικό περιεχόμενο ενός αλεύρου συχνά υπολογίζεται μέσω της μεθόδου Kjeldahl. Η συγκεκριμένη μέθοδος στηρίζεται στη χώνευση του αλεύρου με τη χρήση οξέος, καταλυτών και άλλων ουσιών, και εν συνεχεία τιτλοδότηση της αμμωνίας που

απελευθερώνεται σε έντονο αλκαλικό περιβάλλον. Στην ουσία, η μέθοδος μετρά το ολικό οργανικό άζωτο (περιλαμβάνοντας ωστόσο και μη πρωτεϊνικές ουσίες). Η ποσότητα αυτή πολλαπλασιάζεται επί το συντελεστή 5,7, ώστε να δώσει την τιμή που θα αντιπροσωπεύει το πρωτεϊνικό περιεχόμενο του αλεύρου. Εάν η μέθοδος Kjeldahl εφαρμοστεί σε άλλα υλικά, εκτός του αλεύρου, πιθανόν να χρησιμοποιηθούν άλλοι συντελεστές.

Καθώς η παραπάνω μέθοδος έχει αρκετά μειονεκτήματα, όπως η αναγκαιότητα χειρισμού σημαντικών ποσοτήτων διαβρωτικών ουσιών, οι πυκνές καυστικές αναθυμιάσεις που εκλύονται κατά τη χώνευση και ο χρόνος που απαιτείται για την ολοκλήρωσή της, έχουν γίνει έρευνες για την ανάπτυξη μεθόδων που θα την αντικαταστήσουν. Μία από αυτές που χρησιμοποιούνται σε σιτηρά είναι η αντίδραση διουρίας, η οποία προσδιορίζει τους πεπτιδικούς δεσμούς που υπάρχουν σε ένα δείγμα. Επίσης, έχουν γίνει προσπάθειες για τη βελτίωση της μεθόδου Kjeldahl και έχουν αναπτυχθεί συσκευές που κάνουν τους απαραίτητους χειρισμούς αυτόματα και γρήγορα σε μικρά δείγματα και σε κλειστό περιβάλλον (Matz, 1989).

3.4 Ποιοτικά χαρακτηριστικά αλεύρου - αρτοποιητικές ιδιότητες

Η παραγωγή αρτοσκευασμάτων με ομοιόμορφα χαρακτηριστικά απαιτεί την εφαρμογή κατάλληλων ελέγχων και μετρήσεων των ιδιοτήτων των συστατικών που χρησιμοποιούνται στην αρτοποιία. Για το σκοπό αυτό, διενεργούνται διάφορες τεχνικές στα εργαστήρια ποιοτικού ελέγχου της αρτοποιίας. Ο έλεγχος ξεκινά από την ανάλυση του αλεύρου και τον προσδιορισμό των φυσικοχημικών του χαρακτηριστικών μέσω μεθόδων που έχουν αναπτυχθεί από διεθνώς αναγνωρισμένους οργανισμούς, με κυριότερους τους AACC (American Association of Cereal Chemists) και AOAC (Association of Official Analytical Chemists).

Τα βασικά ποιοτικά χαρακτηριστικά που μελετώνται είναι η λεπτότητα της άλεσης, το χρώμα του αλεύρου, η τέφρα, η ολική τιτλοδοτούμενη οξύτητα, το pH, η υγρασία, οι πρωτεΐνες, τα σάκχαρα, τα λιπαρά, οι ακατέργαστες ίνες, οι φυτικές ίνες, η δύναμη του αλεύρου και η μικροβιακή κατάσταση του αλεύρου.

Λεπτότητα άλεσης

Κατά την άλεση του σίτου παράγεται άλευρο το οποίο αποτελείται από σωματίδια μεγέθους μέχρι και 200 μm τα οποία διαφέρουν ως προς τη σύστασή τους. Από τη λεπτότητα της άλεσης επηρεάζεται το χρώμα του αλεύρου, η ικανότητα απορρόφησης νερού και, κατά συνέπεια, η αρτοποιητική του ικανότητα.

Τα άλευρα από μαλακό σίτο έχουν μικρότερο μέγεθος σωματιδίων από τα άλευρα σκληρού σίτου. Αντίστοιχα, τα λεπτοαλεσμένα άλευρα έχουν συνήθως μικρότερη περιεκτικότητα σε γλουτένη, αλλά μεγαλύτερη ικανότητα παραγωγής αερίων και μεγαλύτερο ποσοστό σπασμένων κόκκων αμύλου (Seibel et al., 2006; Τσιάρας, 1984).

Χρώμα αλεύρου

Το χρώμα του αλεύρου καθορίζει το χρώμα της κόρας του άρτου που παράγει και εξαρτάται από τον τύπο του, την κοκκομετρία του και την ενδεχόμενη λεύκανση που έχει υποστεί. Επηρεάζεται από ποικίλους παράγοντες, όπως για παράδειγμα η περιεκτικότητα του αλεύρου σε καροτενοειδή ή τυχόν μικροβιακές επιμολύνσεις (αλλοίωση χρώματος).

Η δοκιμή «Pekar» είναι η απλούστερη μέθοδος που χρησιμοποιείται για τη μέτρηση του χρώματος του αλεύρου. Στη συγκεκριμένη τεχνική πραγματοποιείται σύγκριση του δείγματος με κάποιο πρότυπο. Μία ποσότητα αλεύρου τοποθετείται πάνω σε υάλινη, μεταλλική ή ξύλινη πλάκα και συγκρίνεται με μία αντίστοιχη ποσότητα πρότυπου δείγματος. Η χρωματική διαφορά μπορεί να τονιστεί με προσεκτική εμβάπτιση των δειγμάτων σε νερό και μελέτη τους, ενόσω είναι ακόμη υγρά ή/και όταν στεγνώσουν.

Τέλος, προτείνεται μία μέθοδος, προκειμένου να γίνεται διάκριση του κιτρινωπού χρώματος του αλεύρου, το οποίο είναι ενδεικτικό του βαθμού λεύκανσης, από το ωχρό χρώμα που προκύπτει λόγω της παρουσίας σωματιδίων φλοιού στο άλευρο, γεγονός που εξαρτάται από το βαθμό άλεσής του. Ο προσδιορισμός του βαθμού λεύκανσης γίνεται με εκχύλιση αλεύρου σε κορεσμένο υδατικό διάλυμα n-βουτανόλης, διήθηση του εκχυλίσματος και μέτρηση της απορρόφησής του στα 435,8 nm. Το χρώμα του αλεύρου μετράται μέσω σύγκρισης της ανάκλασης του φωτός από το άλευρο με την αντίστοιχη του λευκού οξειδίου του μαγνησίου (Καζάζης, 1981).

Τέφρα

Όπως προαναφέρθηκε (υποπαράγραφοι 3.1.7 και 3.3.4) η τέφρα αποτελεί δείκτη άλεσης του αλεύρου. Αποτελεί το υπόλειμμα ανόργανων ουσιών που προκύπτει από την καύση, σε κατάλληλο κλίβανο και υπό καθορισμένες συνθήκες. Η θερμοκρασία κυμαίνεται μεταξύ 550-590°C και η θερμότητα επιβάλλεται μέχρι το δείγμα να μετατραπεί σε λευκή/γκρίζα τέφρα, η οποία ζυγίζεται και εκφράζεται σε ποσοστιαία βάση. Το ανώτερο επιτρεπόμενο όριο για τέφρα στα άλευρα τύπου 70% είναι 0,50%, ενώ για του τύπου 85% είναι 0,90%. Τα κύρια συστατικά της τέφρας του αλεύρου σίτου είναι τα όξινα φωσφορικά άλατα του καλίου και του μαγνησίου (KH_2PO_4 , K_2HPO_4 , MgHPO_4) καθώς και μικρά ποσοστά φωσφορικών και χλωριούχων αλάτων του νατρίου και του ασβεστίου.

Για τον προσδιορισμό της τέφρας χρησιμοποιούνται, επίσημα, δύο μέθοδοι: Στην πρώτη (βασική μέθοδος) πραγματοποιείται παρατεταμένη θέρμανση στους 590°C, ενώ στη δεύτερη (μέθοδος οξικού μαγνησίου) στους 800°C για 1 h (Herrman, et al., 1995).

Ολική τιτλοδοτούμενη οξύτητα

Με τον τρόπο αυτό προσδιορίζονται τα ολικά οξέα που περιέχονται στο δείγμα (άλευρο, ζυμάρι, προζύμι, ψίχα άρτου). Γίνεται διάλυση ή ομοιόμορφη διασπορά του δείγματος σε νερό, προσθήκη δείκτη φαινολοφθαλεΐνης και τιτλοδότηση με διάλυμα καυστικού νατρίου μέχρι την εμφάνιση ροδαλής απόχρωσης.

Όλα τα άλευρα διαθέτουν μικρή οξύτητα, λόγω των φωσφορικών αλάτων και των λιπαρών οξέων που περιέχουν. Ο βαθμός οξύτητας είναι ανάλογος με το βαθμό άλεσης και αποτελεί κριτήριο ποιότητας του σίτου και του αλεύρου. Τα φρεσκοαλεσμένα άλευρα που προέρχονται από υγιείς σίτους έχουν μικρή οξύτητα, η οποία αυξάνεται με την παλαίωση. Αντίθετα, τα άλευρα από σίτους κατώτερης ποιότητας έχουν μεγάλη οξύτητα και πικρή γεύση (Pyle, 1988a; Τσιάρας, 1984).

pH

Ο προσδιορισμός του pH μπορεί να επιτευχθεί είτε με χρωματογραφικές μεθόδους, είτε ποτενσιομετρικά. Στην πρώτη περίπτωση, χρησιμοποιούνται επιλεγμένοι δείκτες που υφίστανται χρωματικές αντιδράσεις σε συγκεκριμένες περιοχές pH. Στη δεύτερη περίπτωση, γίνεται βύθιση δύο ηλεκτροδίων στο μετρούμενο διάλυμα και μετράται η ηλεκτρεγερτική δύναμη που αναπτύσσεται (Καζάζης, 1981).

Υγρασία

Για τον προσδιορισμό της υγρασίας στην αρτοποιηχανία χρησιμοποιούνται διάφορες μέθοδοι, που διακρίνονται σε δύο κατηγορίες: τις άμεσες ή χημικές και τις έμμεσες ή φυσικές μεθόδους.

Οι χημικές μέθοδοι αφορούν στην απομάκρυνση της υγρασίας μέσω ξήρανσης, αφυδάτωσης, απόσταξης ή εκχύλισης και την άμεση μέτρηση της ποσότητας αυτής με ξήρανση. Η ευρύτερα χρησιμοποιούμενη μέθοδος είναι η ξήρανση με κλίβανο με σύστημα συμβατική θέρμανσης, υπέρυθρη ακτινοβολία ή μικροκύματα (Mathlouthi, 2001). Ευρέως χρησιμοποιούμενη και πιο ακριβής μέθοδος από τις παραπάνω είναι η χημική μέθοδος Karl Fisher, στην οποία έχει γίνει αναφορά στην υποπαράγραφο 3.3.3.

Στις έμμεσες μεθόδους η υγρασία δεν απομακρύνεται, αλλά προσδιορίζεται με τη βοήθεια διαφόρων οργάνων που μετρούν συγκεκριμένες παραμέτρους του δείγματος,

οι οποίες εξαρτώνται από την περιεχόμενη ποσότητα νερού ή τους δεσμούς υδρογόνου. Η ένδειξη που προκύπτει είναι αυθαίρετη και για την ποσοτικοποίησή της απαιτείται βαθμονόμηση με κάποια άμεση μέθοδο. Στηρίζονται σε αρχές όπως, ηλεκτρική αγωγιμότητα, διηλεκτρική χωρητικότητα, απορρόφηση μικροκυμάτων, απορρόφηση υπέρυθρης ακτινοβολίας, πυρηνικός μαγνητικός συντονισμός, κ.α. Το βασικό πλεονέκτημα των μεθόδων αυτών είναι η ταχύτητα προσδιορισμού και η δυνατότητα συνεχούς μέτρησης και αυτόματου ελέγχου της υγρασίας στη βιομηχανία (Καζάζης, 1981).

Πρωτεΐνες

Η πλειοψηφία των μεθόδων προσδιορισμού των πρωτεϊνών στηρίζεται στην ποσοτικοποίηση ενός στοιχείου ή μίας λειτουργικής ομάδας τους, όπως άζωτο, συγκεκριμένα αμινοξέα ή πεπτιδικό δεσμοί, από τα οποία υπολογίζεται το πρωτεϊνικό περιεχόμενο μέσω συγκεκριμένου συντελεστή μετατροπής. Οι πιο διαδεδομένες και αξιόπιστες είναι η μέθοδος Kjeldahl και η μέθοδος Biuret. Επίσης, υπάρχει δυνατότητα ποσοτικού προσδιορισμού της γλουτένης μέσω χειρωνακτικής πλύσης αυτής. Η πλήρης διαδικασία περιγράφεται στην παράγραφο 7.4 (Herrman et al.1995).

Σάκχαρα

Το άλευρο που παράγεται από υγιή σίτο εμφανίζει περιεκτικότητα σε σάκχαρα σε ποσοστό 1.1-2.0%, εκ των οποίων το 0.1-0.2 είναι αναγωγικά σάκχαρα, ενώ τα υπόλοιπα είναι μη αναγωγικά. Τα αναγωγικά σάκχαρα έχουν την ικανότητα αναγωγής οξειδωτικών μέσων, όπως το Φελίγγειο υγρό και το σιδηροκυανιούχο άλας. Η αντίδραση αυτή αποτελεί και τη βάση της μεθόδου προσδιορισμού τους. Όσον αφορά στον προσδιορισμό των μη αναγωγικών σακχάρων, αρχικά γίνεται όξινη κατεργασία, μέσω της οποίας μετατρέπονται σε απλά σάκχαρα και μετρώνται στη συνέχεια ως αναγωγικά (Καζάζης, 1981).

Λιπαρά

Η περιεκτικότητα σε λιπαρά προσδιορίζεται συνήθως με εκχύλιση του δείγματος σε αιθέρα και παραλαβή του λιπαρού υπό μορφή ωχρού κίτρινου ελαίου. Το εκχύλισμα αυτό αντιπροσωπεύει τα ελεύθερα λιπίδια, που αποτελούν το 50% των συνολικών λιπαρών. Για την παραλαβή των δεσμευμένων λιπιδίων απαιτείται χρήση πολικών

διαλυτών όπως βουτανόλη κορεσμένη με νερό ή μίγμα χλωροφορμίου-μεθανόλης (Pohjanheimo et al., 2006).

Ακατέργαστες ίνες (crude fibre)

Το κλάσμα των ακατέργαστων ινών περιλαμβάνει κυρίως την κυτταρίνη και τη λιγνίνη του φλοιού του σίτου. Για τον προσδιορισμό τους γίνεται αρχικά εκχύλιση με αιθέρα, προκειμένου να απομακρυνθούν τα λιπαρά, στη συνέχεια ακολουθεί βρασμός για 30 min σε διάλυμα θειικού οξέος (συγκέντρωσης 1.25%) και βρασμός για το ίδιο διάστημα σε διάλυμα καυστικού νατρίου ίδιας συγκέντρωσης. Η κατεργασία με οξύ μετατρέπει το άμυλο και τους υπόλοιπους υδατάνθρακες σε διαλυτή μορφή, ενώ η βάση υδρολύει τις αζωτούχες ενώσεις και όσες δεν διαλυτοποιούνται από το οξύ. Το χημικά αδρανές υπόλειμμα αντιπροσωπεύει τις ακατέργαστες ίνες (Καζάζης, 1981).

Διαιτητικές ίνες (dietary fibres)

Οι διαιτητικές ίνες περιλαμβάνουν τους πολυσακχαρίτες και τις λιγνίνες που δεν υδρολύονται ενζυμικά στο άνω γαστρεντερικό σύστημα του ανθρώπου, καθώς και δύσπεπτους υδατάνθρακες, όπως ημικυτταρίνες, πηκτινικές ουσίες και κόμμεα. Ο προσδιορισμός τους γίνεται με εκχύλιση του αλεύρου με αιθέρα, βρασμό για 60 min σε διάλυμα επιφανειοενεργών ουσιών, διήθηση του αδιάλυτου υπολείμματος και κατεργασία του με α-αμυλάση για πλήρη χώνευση του αμύλου. Το ξηρό υπόλειμμα αποτελεί τις διαιτητικές ίνες. Τα τελευταία χρόνια η μέθοδος έχει τροποποιηθεί με ταυτόχρονη χρήση αμυλολυτικών και πρωτεολυτικών ενζύμων και καθίζηση με αιθανόλη για παραλαβή των ινών (Wang et al., 2002).

Δύναμη αλεύρου

Η δύναμη του αλεύρου καθορίζεται από τις φυσικοχημικές του ιδιότητες και από την ικανότητα να σχηματίζει ζυμάρι ανθεκτικό και ελαστικό και στη συνέχεια άρτο χαμηλής πυκνότητας με λεπτή ομοιόμορφη δομή. Η δύναμή του εξαρτάται κυρίως από την ποιότητα και τον τύπο των πρωτεϊνών της γλουτένης του αλεύρου. Ένα άλευρο έχει καλή αρτοποιητική ιδιότητα και θεωρείται δυνατό, όταν παράγει άρτο υψηλής περιεκτικότητας σε υγρασία, με ικανοποιητική διόγκωση, εμφάνιση και δομή. Αντίθετα, αν ο άρτος έχει μικρή απόδοση, περιορισμένη διόγκωση και κακή δομή και εμφάνιση, το άλευρο θεωρείται αδύνατο και ακατάλληλο για αρτοποίηση (Chokrizghal, 1999; Liu & Scanlon, 2003; Τσιάρας, 1984).

Μικροβιακή/βακτηριολογική κατάσταση

Τα άλευρα με χαμηλά επίπεδα υγρασίας (κάτω του 12%) δεν εμφανίζουν μικροβιακή ανάπτυξη. Σε περίπτωση, ωστόσο, αύξησης της υγρασίας ενέχεται ο κίνδυνος απώλειας της σταθερότητας του αλεύρου κατά την αποθήκευση, λόγω αύξησης της ενεργότητας του νερού σε επίπεδα που ευνοούν την ανάπτυξη μυκήτων. Συγκεκριμένα, σε ποσοστό υγρασίας 15% αναπτύσσεται μούχλα, ενώ σε 17% αναπτύσσονται επιπλέον ζύμες και βακτήρια. Ο ρυθμός ανάπτυξης είναι ανάλογος με την ενεργότητα του νερού και τη θερμοκρασία (Γιάννου, 2009).

3.5 Άλλα υλικά αρτοποιίας

Παρόλο που τα αλεύρι αποτελεί το σημαντικότερο συστατικό για την παραγωγή άρτου, τα χαρακτηριστικά του τελικού προϊόντος εξαρτώνται και μεταβάλλονται επίσης από τα υπόλοιπα συστατικά που χρησιμοποιούνται για την παραγωγή του ζυμαριού. Τα σπουδαιότερα από αυτά αναλύονται παρακάτω.

3.5.1 Νερό

Η προσθήκη του νερού στο αλεύρι κατά τη διάρκεια της αρτοποιίας αποσκοπεί στις παρακάτω βασικές λειτουργίες: διαλυτοποίηση των υδατοδιαλυτών μορίων, ενεργοποίηση των ενζύμων, ανάπτυξη νέων δεσμών μεταξύ των μακρομορίων του αλεύρου και μεταβολή των ρεολογικών ιδιοτήτων του ζυμαριού.

Η ποσότητα του νερού που μπορεί να προστεθεί στο αλεύρι, ώστε το ζυμάρι να αποκτήσει τα επιθυμητά χαρακτηριστικά, είναι συγκεκριμένη. Το ζυμάρι δεν αποτελεί μίγμα τυχαίων αναλογιών των συστατικών του, αλλά ένα κολλοειδές σύστημα με αναλογίες συστατικών που βρίσκονται εντός πολύ στενών ορίων. Η βέλτιστη ποσότητα νερού εξαρτάται σε κάθε περίπτωση από τη φυσικοχημική σύνθεση του αλεύρου, η οποία με τη σειρά της εξαρτάται από την ποικιλία από την οποία προέρχεται, τις περιβαλλοντικές και καλλιεργητικές συνθήκες κατά τη διάρκεια της ανάπτυξής του και τις εφαρμοζόμενες τεχνικές άλεσης. Επιπλέον, καθορίζεται από το επιθυμητό ιξώδες και τα ζητούμενα ρεολογικά χαρακτηριστικά του ζυμαριού (αντοχή στην παραμόρφωση, ελαστικότητα, εκτατότητα και προσκολλησιμότητα), ώστε να είναι εφικτή η διαμόρφωσή του στα κατάλληλα μεγέθη και σχήματα τόσο με την ελάχιστη δυνατή προσπάθεια, όσο και με τη μικρότερη επιβάρυνση των

ιδιοτήτων του. Τέλος, εξαρτάται από το είδος των αρτοσκευασμάτων για τα οποία προορίζεται, τη μέθοδο αρτοποιίας, το χειρισμό και την επεξεργασία του ζυμαριού κατά την ζύμωση.

Τα αποδεκτά επίπεδα προσθήκης νερού στο ζυμάρι κυμαίνονται μεταξύ 40 και 45% (κ.β. επί του ζυμαριού). Σε ποσοστά κάτω του 35%, το ζυμάρι εμφανίζει αυξημένη σκληρότητα και υψηλό ιξώδες, είναι δύσκαμπτο και παρουσιάζει μεγάλη δυσχέρεια κατά τη μορφοποίηση. Έπειτα, κατά τον κλιβανισμό, δεν επιτυγχάνεται η επιθυμητή ζελατινοποίηση του αμύλου, με συνέπεια η ψίχα να είναι υπερβολικά εύθρυπτη και να παρουσιάζει γρήγορη ξήρανση και μπαγιάτεμα. Ο όγκος του τελικού προϊόντος είναι μικρότερος και η οργανοληπτική αποδεκτότητά του περιορισμένη. Στην αντίθετη περίπτωση, για ποσοστά υγρασίας άνω του 50% το ζυμάρι γίνεται πολύ μαλακό και ρευστό, με αποτέλεσμα αφενός την ευκολότερη μορφοποίησή του, αφετέρου όμως τη μη διατήρηση του σχήματός του κατά τη διόγκωση. Κατά την ζελατινοποίηση δεν δεσμεύεται όλο το νερό από το άμυλο, με αποτέλεσμα ένα μέρος του να παραμένει ελεύθερο στο προϊόν. Η ύπαρξη αυτού του νερού συνεπάγεται αυξημένη υγρασία στο τελικό προϊόν και έτσι η ψίχα γίνεται υγρή και κολλώδης. Παρόλο που ο όγκος του άρτου θα αυξηθεί κατά τον τρόπο αυτό, τα οργανοληπτικά του χαρακτηριστικά θα είναι υποβαθμισμένα και θα καταρρέει κατά την κοπή. Ανάλογα με το είδος του άρτου, το μέγεθος, το σχήμα και το είδος του κλιβανισμού, παρατηρείται απώλεια υγρασίας κατά τον κλιβανισμό της τάξης του 8-24% (Τσιάρας, 1984).

Η ικανότητα συγκράτησης νερού ενός αλεύρου εξαρτάται από τα εξής χαρακτηριστικά: την υγρασία του αλεύρου, το πρωτεϊνικό περιεχόμενο, το άμυλο, τις πεντοζάνες, τις φυτικές ίνες και την ενζυμική δραστηριότητα. Συγκεκριμένα, όσο μικρότερη είναι η περιεχόμενη υγρασία του αλεύρου, τόσο μεγαλύτερη θα είναι και η απορρόφηση νερού. Αντίθετα, η αύξηση της ποσότητας των πρωτεϊνών συνεπάγεται αυξημένη απορρόφηση νερού. Αυτό συμβαίνει, διότι η επαφή των αποθηκευτικών πρωτεϊνών με το νερό οδηγεί στο σχηματισμό του πρωτεϊνικού δικτύου της γλουτένης, το οποίο αποτελεί καθοριστικό παράγοντα για τη συγκράτηση των αερίων που παράγονται κατά την αρτοποιία.

Όσον αφορά στο άμυλο, είναι σημαντική η ποσότητα των σπασμένων κόκκων αμύλου, καθότι συγκρατούν πενταπλάσια ποσότητα νερού από τους κανονικούς και,

μάλιστα, με πενταπλάσιο ρυθμό. Κατά συνέπεια, όσο μεγαλύτερο είναι το ποσοστό των κόκκων αυτών, τόσο θα αυξάνει η ικανότητα συγκράτησης νερού του αμύλου. Η απορρόφηση του νερού είναι απαραίτητη για την ζελατινοποίησή του. Τέλος, επειδή οι σπασμένοι κόκκοι του αμύλου μπορεί να προσβληθούν από τις α-αμυλάσες που περιέχονται φυσικά στο άλευρο ή έχουν προστεθεί μετά την άλεση, η ικανότητα συγκράτησης νερού μειώνεται με την αύξηση αυτής της ενζυμικής δραστηριότητας.

Επιπλέον, τα άλευρα περιέχουν πεντοζάνες σε ποσοστό 2-3%, οι οποίες απορροφούν περίπου επτά φορές το βάρος τους σε νερό και σχηματίζουν ιξώδη διαλύματα. Συνεπώς, η αύξηση του ποσοστού των πεντοζανών αυξάνει την ικανότητα συγκράτησης νερού και επηρεάζει τις ιδιότητες ανάμιξης και τα ρεολογικά χαρακτηριστικά του ζυμαριού (Denli & Erkan, 2001; Gan, et al., 1995; Laaksonen, et al., 2001; Primo-Martin & Martinez-Anaya, 2003).

Οι ίνες που μεταφέρονται από το σίτο στο άλευρο (κυρίως στα άλευρα ολικής άλεσης) δεσμεύουν επίσης ορισμένη ποσότητα νερού, αλλά με πιο αργό ρυθμό από τα υπόλοιπα συστατικά. Συνεπώς, άλευρα με υψηλότερο περιεχόμενο ινών εμφανίζουν αυξημένη ικανότητα συγκράτησης νερού.

Επιπρόσθετα, σημαντικό ρόλο παίζει η θερμοκρασία του νερού, η οποία επηρεάζει τη θερμοκρασία του ζυμαριού και κατά τη συνέπεια την ανάπτυξη του ζυμαριού, αφού τα φαινόμενα οξειδωσης ευνοούνται με την αύξηση της θερμοκρασίας. Ταυτόχρονα, επηρεάζει την ενζυμική δραστηριότητα του αλεύρου και τη δράση της μαγιάς, οι οποίες είναι εντονότερες σε υψηλότερες θερμοκρασίες. Άλλες ιδιότητες που επηρεάζονται από τη θερμοκρασία του νερού είναι η συνοχή και η ρεολογία του ζυμαριού. Καθώς η θερμοκρασία αυξάνεται, το ζυμάρι γίνεται απαλότερο και λιγότερο ανθεκτικό. Τέλος, επηρεάζεται και ο χρόνος ζύμωσης, ο οποίος αυξάνεται όσο η θερμοκρασία χαμηλώνει (Cauvain & Young, 2000; Fessas & Schiraldi, 2001; Gil, et al., 1997).

3.5.2 Μαγιά

Η μαγιά αρτοποιίας αποτελείται από ζυμομύκητες με σημαντικότερο εκπρόσωπο τον *Saccharomyces cerevisiae*. Μάλιστα, έχουν αναπτυχθεί εμπορικά στελέχη, κατάλληλα ειδικά για εφαρμογές στην αρτοποιομηχανία με συγκεκριμένες ιδιότητες/χαρακτηριστικά. Τα σπουδαιότερα πλεονεκτήματα της μαγιάς έναντι των

χημικών μέσων διόγκωσης είναι ότι συνεισφέρει στην ανάπτυξη χαρακτηριστικής γεύσης και αρώματος στο τελικό προϊόν καθώς επίσης και το ότι η έκλυση διοξειδίου του άνθρακα μπορεί να συνεχιστεί για πολύ περισσότερο χρονικό διάστημα. Αντίστοιχα, το βασικό της μειονέκτημα είναι ο πολύ δυσκολότερος έλεγχός της. Επίσης, σε μερικά προϊόντα, το άρωμα της μαγιάς μπορεί να είναι ανεπιθύμητο. Η διεργασία της διόγκωσης με μαγιά είναι επιπλέον πιο δαπανηρή σε σχέση με τη χημική διόγκωση, όχι μόνο επειδή η μαγιά είναι από μόνη της πιο ακριβή ως πρώτη ύλη, αλλά και επειδή καταναλώνει για την ανάπτυξή της και άλλα υλικά που περιέχονται στο ζυμάρι. Το απαραίτητο αέριο (διοξείδιο του άνθρακα) για τη διόγκωση των αρτοσκευασμάτων παράγεται μέσω της ζύμωσης και αποτελεί μέρος της μεταβολικής δραστηριότητας της μαγιάς.

Κάθε κύτταρο μαγιάς μπορεί να διεκπεραιώσει πολλές διαφορετικές χημικές αντιδράσεις, αλλά αυτές που έχουν ιδιαίτερη σημασία στην αρτοποιία είναι εκείνες που ανήκουν στην κατηγορία της ζύμωσης. Τα πιο προφανή σημάδια αυτών των αντιδράσεων είναι η παραγωγή διοξειδίου του άνθρακα και αιθυλικής αλκοόλης, αλλά αυτά δεν είναι παρά τα τελικά προϊόντα μίας αρκετά πολύπλοκης σειράς αντιδράσεων οι οποίες ελέγχονται σε μεγάλο βαθμό από ένζυμα. Μία απλοποιημένη εξίσωση που περιγράφει το σύνολο των αντιδράσεων ζύμωσης είναι η εξής:



Σύμφωνα με την παραπάνω απλοποιημένη εξίσωση, ένα μόριο εξόζης (γλυκόζης για παράδειγμα) μετατρέπεται μέσω της μαγιάς σε δύο μόρια αιθυλικής αλκοόλης και δύο μόρια διοξειδίου του άνθρακα. Στην πράξη, αυτή η απόδοση δεν είναι ποσοτική. Το διοξείδιο του άνθρακα είναι υπεύθυνο για τη διόγκωση του ζυμαριού, ενώ η αιθυλική αλκοόλη συμμετέχει στο άρωμα των ψημένων προϊόντων. Τόσο η πρώτη, όσο και η δεύτερη ουσία, χάνονται σε μεγάλο ποσοστό κατά το στάδιο του ψησίματος.

Τα σάκχαρα τα οποία καταναλώνονται κατά την ζύμωση, είναι συνήθως τα απλά σάκχαρα, όπως γλυκόζη ή φρουκτόζη, τα οποία προκύπτουν από τη δράση των ενζύμων του αλεύρου σε μεγαλύτερα μόρια όπως αυτά της σακχαρόζης, της μαλτόζης, του αμύλου ή παρόμοιων σύνθετων υδατανθράκων. Βέβαια, η γλυκόζη και η φρουκτόζη μπορούν να προστεθούν και άμεσα, σε μορφή ιμβερτοσακχάρων ή αμυλοσιροπίων, για να επιταχύνουν την ζύμωση. Η σακχαρόζη και η μαλτόζη

μπορούν να διασπαστούν εύκολα από τα ένζυμα που βρίσκονται στη συγκεκριμένη μαγιά, ενώ το άμυλο και οι δεξτρίνες δεν διασπώνται. Αντίθετα, υπεύθυνα για την παραγωγή σακχάρων από το άμυλο είναι τα ένζυμα που περιέχονται ενδογενώς στο αλεύρι.

Η αλκοολική ζύμωση συνοδεύεται από την ανεπιθύμητη παραγωγή σχετικά μικρών ποσοτήτων αρωματικών ουσιών. Δεν έχει γίνει η ταυτοποίηση όλων αυτών, αλλά είναι γνωστό ότι περιλαμβάνουν οξέα (όπως οξικό), αλδεΐδες και εστέρες. Συστατικά τα οποία δεν είναι επιθυμητά, όσον αφορά στο άρωμά τους, αντιδρούν κατά το ψήσιμο με άλλες ουσίες και δίνουν, τελικά, απαραίτητα συστατικά στο άρωμα των ψημένων αρτοσκευασμάτων.

Η μαγιά αρτοποιίας είναι διαθέσιμη είτε σε συμπιεσμένη είτε σε ξηρή μορφή. Το πρώτο προϊόν περιέχει περίπου 70% υγρασία, ενώ η δεύτερη περιέχει περίπου 92% στερεά. Σε κάθε περίπτωση, το προϊόν αποτελείται πλήρως από κύτταρα ζύμης, με εξαίρεση μικρές ποσότητες πρόσθετων που ενισχύουν την ικανότητα διασποράς των κυττάρων. Ένα κύτταρο έχει μέγεθος 4 με 6 μm σε πλάτος και 5 με 7 μm σε μήκος. Αυτά αναπτύσσονται ως αυτόνομα κύτταρα ή σε ζεύγη και πολλαπλασιάζονται με αγενή αναπαραγωγή σχηματίζοντας θύλακες (buds) ή θυγατρικά κύτταρα, τα οποία διαχωρίζονται και συνεχίζουν τον κύκλο ζωής.

Βακτήρια τα οποία παράγουν γαλακτικό οξύ υπάρχουν επίσης στην εμπορική μαγιά αρτοποιίας. Το πλήθος τους ποικίλλει από 10^4 - 10^6 κύτταρα/g. Παρόλο που ο αριθμός των κυττάρων είναι μεγάλος, η ποσότητα του ενεργού υλικού είναι σχετικά μικρή, καθώς ένα κύτταρο μαγιάς ζυγίζει περίπου 50 φορές περισσότερο από έναν κόκκο αυτών, και υπάρχουν πολύ περισσότερα (περίπου $30 \cdot 10^9$ κύτταρα ζύμης/g).

Ο ρυθμός παραγωγής αερίου από τα κύτταρα της μαγιάς επηρεάζεται από τη θερμοκρασία, την ποσότητα και το είδος των υποστρωμάτων, την ωσμωτική πίεση, το pH και άλλους παράγοντες.

Η παρασκευή της μαγιάς γίνεται εμβολιάζοντας με το στέλεχος σε μία δεξαμενή που περιέχει μελάσα (ή κάποιο άλλο θρεπτικό υπόστρωμα) και άλλα πρόσθετα συστατικά, υπό ελεγχόμενες συνθήκες θερμοκρασίας, πίεσης και άλλων παραγόντων. Τα κύτταρα που αναπτύσσονται τελικά συλλέγονται, ξεπλένονται και απομακρύνεται η περίσσεια υγρού.

Στη συνέχεια αναλύονται περαιτέρω οι διαφορετικοί τύποι μαγιάς αρτοποιίας.

Πεπιοσμένη μαγιά

Το αιώρημα της μαγιάς που αναφέρθηκε παραπάνω, φιλτράρεται και εξωθείται (extruded), ώστε να σχηματίσει πεπιοσμένη μαγιά που να περιέχει υγρασία σε ποσοστό 69 με 70%. Σε ξηρή βάση, θα περιέχει 50 με 60% πρωτεΐνες, 4 με 5% λιπαρά, 2,8 με 3% φωσφόρο και 6 με 8% τέφρα. Μικροποσότητες γαλακτωματοποιητών μπορεί επίσης να υπάρχουν. Όταν αποθηκεύεται η μαγιά σε θερμοκρασία 5,5°C, χάνει το 10% της δραστηρότητάς της σε 4 εβδομάδες. Σε υψηλότερες θερμοκρασίες αποθήκευσης, η μαγιά χάνει ραγδαία τη διογκωτική της ικανότητα και αναπτύσσει ανεπιθύμητες οσμές. Συνεπώς, δεν πρέπει ποτέ να αποθηκεύεται σε θερμοκρασία δωματίου.

Η μαγιά σε εντελώς αδρανή μορφή μπορεί να ψυχθεί χωρίς σημαντικές απώλειες δραστηρότητας. Εάν όμως η μαγιά είναι ενεργή κατά τη διάρκεια της ψύξης, μερικά από τα κύτταρα μπορεί να νεκρωθούν, προφανώς λόγω της παρουσίας της αιθυλικής αλκοόλης. Για το λόγο αυτό, συνιστάται ο χρόνος ζύμωσης για ζυμάρια που πρόκειται να ψυχθούν να είναι ο ελάχιστος δυνατός. Για τη χρήση σε ζυμάρια υπό κατάψυξη, που πρόκειται να αποψυχθούν και να αφεθούν για ζύμωση πριν το ψήσιμο, έχουν αναπτυχθεί ειδικά ανθεκτικά στελέχη του *S. Cerevisiae* τα οποία διατηρούν καλή διογκωτική ικανότητα ακόμη και μετά από κατάψυξη.

Ενεργή ξηρή μαγιά (Active dry yeast)

Υπάρχουν διάφοροι τύποι ενεργής ξηρής μαγιάς (active dry yeast, ADY). Οι περισσότεροι παρασκευάζονται από στελέχη που έχουν επιλεγεί να είναι ανθεκτικά στη αφυδάτωση. Οι πιο κοινοί τύποι αφυδατώνονται σε χαμηλές θερμοκρασίες μέχρι να φτάσουν σε περιεχόμενη υγρασία 7,5 με 8,5%, αλλιώς η σύνθεση είναι παρόμοια με αυτή την πεπιοσμένης μαγιάς. Μπορεί να παραχθεί υπό μορφή μικρών λεπτών λωρίδων, σφαιριδίων ή κόκκων και συνήθως συσκευάζεται σε πλαστικά κουτιά ή σακουλάκια. Περίπου το 1% της δραστηρότητας χάνεται ανά μήνα σε θερμοκρασία δωματίου, εάν έχει συσκευαστεί σε ατμόσφαιρα αζώτου ή διοξειδίου του άνθρακα, ενώ αν έχει συσκευαστεί σε ατμόσφαιρα κάποιου αδρανούς αερίου, τότε χάνει αντίστοιχα το 8% περίπου ανά μήνα.

Η κανονική μαγιά πρέπει να ενυδατώνεται με νερό θερμοκρασίας 40-43°C, ώστε να διατηρείται στο μέγιστο η δραστηριότητά της. Αντίθετα πρέπει να αποφεύγεται η χρήση παγωμένου ή ζεστού νερού. Μετά την ενυδάτωση, η μαγιά μπορεί να ψυχθεί ή να θερμανθεί λίγο πάνω από το εύρος της θερμοκρασίας ενυδάτωσης, χωρίς να προκληθεί μεγάλη ζημιά στην ικανότητα ζύμωσης.

Στιγμιαία ξηρή μαγιά (Instant dry yeast)

Η στιγμιαία ξηρή μαγιά διαφέρει από την ενεργή ως προς το ότι δεν χρειάζεται το στάδιο της ενυδάτωσης, και έτσι το προϊόν μπορεί να προστεθεί κατευθείαν από τη συσκευασία στον αναμίκτη του ζυμαριού. Η διαφορά αυτή έγκειται τόσο στα γενετικά χαρακτηριστικά του στελέχους όσο και στη μέθοδο επεξεργασίας. Δεδομένου ότι η γρηγορότερη ξήρανση οδηγεί σε μειωμένη απώλεια της δραστηριότητας, η παραγωγή της στιγμιαίας ξηρής μαγιάς στηρίζεται στην ταχεία ξήρανση μικρών ινών (διαμέτρου 0,4 mm) με ροή αέρα θερμοκρασίας ~160°C σε ξηραντήρα ρευστοστερεάς κλίνης. Παρόλο που η θερμοκρασία αυτή φαίνεται πολύ υψηλή, τα κύτταρα της μαγιάς δεν προλαβαίνουν να φτάσουν σε θερμοκρασία μεγαλύτερη των 40°C κατά τη σύντομη (20 min) έκθεσή του σε ρεύμα θερμού αέρα. Αυτός ο τύπος μαγιάς εμφανίζει μεγαλύτερη δραστηριότητα σε σύγκριση με την κανονική ξηρή μαγιά και σχεδόν εφάμιλλη αποτελεσματικότητα στην παραγωγή αερίου με την πεπεσμένη μαγιά (συγκρίνοντας επί ξηρής βάσης).

Καθώς η στιγμιαία μαγιά έχει περιεκτικότητα υγρασίας μικρότερη από 5%, μπορεί να απορροφήσει νερό από τον αέρα υπό κανονικές συνθήκες σχετικής υγρασίας. Αυτή η μερική ενυδάτωση μπορεί να προκαλέσει αλλοίωση και μειωμένη παραγωγή αερίου. Επίσης, η παρατεταμένη επαφή της με το οξυγόνο της ατμόσφαιρας περιορίζει το χρόνο ζωής της. Συνεπώς, η συσκευασία της σχεδιάζεται κατά τέτοιο τρόπο, ώστε να ελαχιστοποιεί το ρυθμό μεταφοράς αερίων. Αυτό συνήθως επιτυγχάνεται με πολυστρωματικό φύλλο που περιέχει αλουμίνιο και πολυεστέρα και εφαρμογή κενού πριν τη σφράγιση της συσκευασίας.

Μαγιά για κατεψυγμένα ζυμάρια

Ο τύπος μαγιάς που έχει αναπτυχθεί για ζυμάρια που προορίζονται για κατάψυξη, αποψύχονται και ζυμώνονται ακριβώς πριν το ψήσιμο, περιέχει 25% υγρασία. Ένα συγκεκριμένο στέλεχος του *S. cerevisiae* αφυδατώνεται υπό ήπιες συνθήκες μέχρι

όλο το μη δεσμευμένο νερό να απομακρυνθεί. Απαιτείται αποθήκευση υπό κατάψυξη, αλλά έτσι δεν σχηματίζονται κρύσταλλοι πάγου στα κύτταρα. Η μαγιά είναι συσκευασμένη υπό κενό.

Στα αρχικά στάδια του ζυμαριού, η μορφή αυτή της μαγιάς είναι λιγότερο ενεργή από την πεπιοσμένη μαγιά. Πρέπει να προστίθεται στην κατεψυγμένη της μορφή στο ζυμάρι, ώστε να αυξάνεται η λανθάνουσα φάση, καθώς ένα ξεχωριστό στάδιο επανασύστασης (reconstitution) δεν είναι επιθυμητό. Η αργή εκκίνηση είναι ένα σοβαρό πλεονέκτημα στην προετοιμασία των ζυμαριών για κατάψυξη, καθώς κάθε περίοδος ζύμωσης κατά την ανάμιξη και την προετοιμασία είναι επιβλαβής για την επιβίωση της μαγιάς κατά την ψύξη και την αποθήκευση (Matz, 1989).

3.5.3 Αλάτι

Το αλάτι χρησιμοποιείται στην αρτοποιία σε ποσοστά 1-2,2% ως προς το άλευρο, προκειμένου να βελτιώσει τη γεύση των προϊόντων, αλλά και τις ρεολογικές ιδιότητες του ζυμαριού. Συγκεκριμένα, με την προσθήκη αλατιού βελτιώνονται η συνεκτικότητα, η ελαστικότητα, η αντοχή, η δύναμη και η σταθερότητα του ζυμαριού κατά το στάδιο της ανάμιξης. Έτσι, προστατεύονται οι πρωτεΐνες του ζυμαριού από τη μηχανική καταπόνηση. Επιπρόσθετα, το αλάτι επηρεάζει την ανάπτυξη του χαρακτηριστικού χρώματος της κόρας, βελτιώνει τα αρωματικά χαρακτηριστικά του άρτου και επηρεάζει το χρόνο ζωής των αρτοσκευασμάτων, λόγω των υγροσκοπικών του ιδιοτήτων (Calvel et al., 2001).

3.5.4 Σάκχαρα

Στα αρτοσκευάσματα γίνεται συχνά προσθήκη σακχαρόζης ή άλλων σακχάρων, τόσο για την ενίσχυση του χρώματος της κόρας, όσο και λόγω της χρήσης τους ως πηγής ζυμώσιμων υδατανθράκων για τη μαγιά, ειδικά κατά τα πρώτα στάδια της ζύμωσης. Έπειτα, παρουσία των κατάλληλων ενζύμων στο αλεύρι, παράγονται, κυρίως από τη διάσπαση του αμύλου, ικανοποιητικές ποσότητες σακχάρων για τη συνέχιση της ζύμωσης και την παραγωγή αερίων (Cauvain & Young, 2000).

Η προσθήκη σακχάρων προσδίδει γλυκιά γεύση στα αρτοσκευάσματα και αυξάνει την απαλότητα του ζυμαριού. Προκειμένου, ωστόσο, να διατηρηθεί η συνοχή του, ίσως χρειαστεί να προστεθεί μικρότερη ποσότητα νερού. Ακόμη, επειδή τα σάκχαρα

αυξάνουν τη θερμοκρασία ζελατινοποίησης του αμύλου, προκαλούν αύξηση της διόγκωσης κατά τον κλιβανισμό και ενισχύουν τη διατήρηση της υγρασίας στα τελικά προϊόντα, τα οποία μένουν φρέσκα για περισσότερο χρονικό διάστημα (Colona et al., 2001). Τέλος, λόγω της αλληλεπίδρασής τους με τη γλουτένη, επηρεάζουν το χειρισμό του ζυμαριού, αλλά και την υφή των τελικών προϊόντων, ανάλογα με τον τύπο, την κοκκομετρία και την ποσότητά τους (Manohar & Rao, 1997).

3.5.5 Λιπαρά

Τα λιπαρά που χρησιμοποιούνται στα αρτοσκευάσματα προέρχονται κυρίως από φυτικά έλαια και βρίσκονται στο ζυμάρι είτε διεσπαρμένα, με τη μορφή σταγονιδίων, είτε σε συνεχή φάση, αλληλεπιδρώντας με τις πρωτεΐνες της γλουτένης. Η μέση περιεκτικότητα λιπαρών στα αρτοσκευάσματα είναι περίπου 3% ως προς το άλευρο. Τα λιπαρά διαρρηγνύουν τη συνοχή πρωτεΐνης - αμύλου, παρέχουν λίπανση των μορίων της γλουτένης κατά την ανάμιξη των πρώτων υλών και ενισχύουν το ζυμάρι, αυξάνοντας έτσι την ικανότητα συγκράτησης αερίων κατά τα αρχικά στάδια του κλιβανισμού. Η προσθήκη λιπαρών συμβάλλει, κατά τον τρόπο αυτό, στην παραγωγή προϊόντων με μεγαλύτερη απαλότητα και όγκο (αύξηση έως 10%). Επίσης, βελτιώνουν το χρόνο ζωής των προϊόντων, δρώντας ενάντια στο μπαγιατέμα που πραγματοποιείται κατά την παρατεταμένη αποθήκευσή τους, και τα κάνουν πιο απαλά και εύγευστα για μεγαλύτερο χρονικό διάστημα. Ιδιαίτερη προσοχή, ωστόσο, πρέπει να λαμβάνεται στην ποσότητα των λιπαρών, καθώς η υψηλή περιεκτικότητα σε λιπαρά μπορεί να περιορίσει τη διόγκωση του ζυμαριού κατά την ζύμωση. Σε περίπτωση αύξησης της περιεκτικότητας των λιπαρών στο ζυμάρι, πρέπει να μειώνεται αντίστοιχα η ποσότητα του νερού, προκειμένου να διατηρηθεί η συνοχή του ζυμαριού (Aibara et al., 2005; Gunstone, 2002; Kolakowska & Sikorski, 2003). Τέλος, είναι γνωστό ότι τα λιπαρά επηρεάζουν την απαλότητα και την υφή των αρτοσκευασμάτων, την αίσθηση που αφήνουν στο στόμα, τη δομική τους ακεραιότητα, τη μεταφορά θερμότητας και επίσης την ενσωμάτωση αέρα και το χρόνο ζωής του προϊόντος, όπως προαναφέρθηκε (Ghotra et al., 2002).

3.5.6 Λοιπά συστατικά

Άλλα συστατικά που μπορούν να χρησιμοποιηθούν για την παραγωγή των αρτοποιημάτων είναι διάφορα οξειδωτικά μέσα, οξέα, ένζυμα και γαλακτωματοποιητές.

Τα χημικά οξειδωτικά μέσα προστίθενται στο μίγμα, προκειμένου να βελτιώσουν τη ρεολογία, το χειρισμό του ζυμαριού και τα ποιοτικά χαρακτηριστικά των ψημένων προϊόντων. Τέτοιες ουσίες είναι το ασκορβικό οξύ, το βρωμικό κάλιο, το αζωδικαρθοναμίδιο και το υπεροξειδίο του ασβεστίου. Προστίθενται σε ποσότητες της τάξης του ppm και βελτιώνουν τη δύναμη του ζυμαριού καθώς και τον όγκο και την υφή του τελικού άρτου. Ο τύπος και η ποσότητα των οξειδωτικών που χρησιμοποιούνται στην αρτοποιία ποικίλλουν από χώρα σε χώρα. Στην ΕΕ έχει τεθεί υπό εξέταση η χημική κατεργασία του αλεύρου και η χρήση πρόσθετων ουσιών. Οι περισσότερες ευρωπαϊκές χώρες, για παράδειγμα, δεν επιτρέπουν τη χρήση βρωμικού αλάτος στο άλευρο αρτοποιίας και συχνά αντικαθίσταται με ασκορβικό οξύ.

Οξέα όπως το οξικό και το γαλακτικό οξύ προστίθενται στα άλευρα, προκειμένου να αυξήσουν τη διατηρησιμότητα του άρτου. Έχει προταθεί, μάλιστα, η αντικατάσταση βρωμικών αλάτων ή ασκορβικού οξέος από οξικό οξύ στην αρτοποιία.

Η τάση περιορισμού των χημικών ουσιών που προστίθενται στα τρόφιμα οδήγησε σε στροφή προς τη χρήση ενζύμων ως συστατικών του ζυμαριού, καθώς θεωρείται ότι μπορούν να αντικαταστήσουν διάφορα οξειδωτικά μέσα ή επιφανειοενεργές ουσίες. Συχνά, έχουν συνεργιστική δράση, όταν συνδυάζονται μεταξύ τους, βελτιώνοντας παράλληλα τόσο τη συμπεριφορά του ζυμαριού κατά την επεξεργασία, όσο και την ποιότητα και τα οργανοληπτικά χαρακτηριστικά των τελικών προϊόντων. Επίσης, επηρεάζουν την ζελατινοποίηση και την αναδιάταξη του αμύλου. Ένα από τα σημαντικότερα πλεονεκτήματα των ενζύμων είναι ότι δρουν ως βοηθητικά μέσα επεξεργασίας κατά το σχηματισμό του ζυμαριού και στα αρχικά στάδια του κλιβανισμού, προτού μετουσιωθούν και αδρανοποιηθούν. Λόγω της ιδιότητάς τους αυτής, σε πολλές περιπτώσεις, δεν είναι αναγκαία η αναγραφή τους στην ετικέτα των προϊόντων. Τα πιο ευρέως χρησιμοποιούμενα ένζυμα (ενδογενή ή εξωγενώς προστιθέμενα) είναι η α-αμυλάση, οι ξυλανάσες, οι λιποξυγενάσες, η οξειδάση της γλυκόζης, η τρανσγλουταμινάση, τα πρωτεολυτικά ένζυμα και οι λιπάσες.

Για τη διατήρηση της απαλότητας του άρτου για μεγαλύτερο χρονικό διάστημα, χρησιμοποιούνται επίσης και επιφανειοενεργές ουσίες. Οι συγκεκριμένες ουσίες αλληλεπιδρούν με το άμυλο και ειδικά με τα γραμμικά μόρια της αμυλόζης, σχηματίζοντας σύμπλοκα. Έτσι καθυστερούν το μαγιάτεμα του άρτου, είτε παρεμποδίζοντας την αναδιάταξη της αμυλόζης ή της αμυλοπηκτίνης, είτε περιορίζοντας τους διαθέσιμους πυρήνες αμυλόζης β-τύπου που προάγουν την αναδιάταξη της αμυλοπηκτίνης. Επίσης, εμποδίζουν τη μετανάστευση νερού από τη γλουτένη στο άμυλο (Γιάννου, 2009).

Τέλος, μπορούν να προστεθούν στο μίγμα της αρτοποιίας και άλλα συστατικά, που θα βελτιώσουν τα οργανοληπτικά χαρακτηριστικά του τελικού προϊόντος, όπως αυγά, μέλι, σιρόπια, φρούτα, καρυκεύματα και σπόροι (Sievert & Hosenev, 2002).

3.6 Συμβατική Αρτοποίηση

Η διαδικασία της αρτοποίησης διακρίνεται σε τρία βασικά στάδια: την ανάμιξη των συστατικών, την ζύμωση και το ψήσιμο.

3.6.1 Στάδια αρτοποίησης

3.6.1.1 Ανάμιξη

Το πρώτο στάδιο της αρτοποίησης είναι η ανάμιξη, κατά τη διάρκεια της οποίας καθορίζονται η παραγωγή του ζυμαριού και η θερμοκρασία. Εάν έστω κάποιο από τα δύο δεν ρυθμιστεί σωστά κατά τη διάρκεια της διεργασίας, η ποιότητα του προϊόντος θα υποβαθμιστεί. Το στάδιο της ανάμιξης είναι το πιο σημαντικό, καθώς σε περίπτωση που γίνει κάτι λάθος, δεν υπάρχει πιθανότητα διόρθωσης σε κάποιο από τα επόμενα στάδια (Haegens, 2006).

Σημαντική παράμετρος της παραγωγής του ζυμαριού είναι η σωστή ζύγιση και η προσθήκη όλων των πρώτων υλών. Προκειμένου να είναι δυνατή η παραγωγή πρέπει αφενός η αναλογία των επιμέρους συστατικών να είναι σωστά υπολογισμένη, ώστε το ζυμάρι να διαθέτει ισορροπημένη σύσταση, και αφετέρου η κατανομή των συστατικών αυτών στη μάζα του ζυμαριού να είναι ομοιογενής (Singh et al., 2002). Κατά την ανάμιξη, πρέπει, επίσης, να αποφεύγεται η άμεση επαφή της μαγιάς με την ζάχαρη και ειδικά με το αλάτι. Λόγω της υγροσκοπικής του φύσης, το αλάτι θα αρχίσει να απορροφά υγρασία από τα κύτταρα της μαγιάς (λόγω της ωσμωτικής

πίεσης) και έτσι αυτά θα αφυδατωθούν. Το αλάτι τελικά θα διαλυθεί μερικώς και το μίγμα θα αρχίσει να υγροποιείται.

Τα περισσότερα χαρακτηριστικά του τελικού προϊόντος καθορίζονται άμεσα ή έμμεσα κατά τη διάρκεια της ανάμιξης. Εάν το ζυμάρι αναδεύεται για περισσότερο ή λιγότερο χρόνο από τον απαιτούμενο, τότε οι ιδιότητες χειρισμού του θα είναι διαφορετικές. Επίσης, η ζύγιση είναι πολύ σημαντική, καθώς εάν έστω ένα από όλα τα συστατικά προστεθεί σε λάθος ποσότητα, τότε το τελικό προϊόν θα εμφανίζει σφάλματα στη δομή και τα οργανοληπτικά του χαρακτηριστικά, ανάλογα με το συστατικό αυτό (Haegens, 2006). Σε βιομηχανική κλίμακα, τα βασικά στερεά συστατικά, όπως το αλεύρο και τα σάκχαρα, ζυγίζονται και προστίθενται απευθείας στον κάδο ανάμιξης, με αυτόματα ζυγιστικά, δοσομετρικά μηχανήματα, ενώ το νερό και τα υπόλοιπα υγρά συστατικά διοχετεύονται στον αναμικτή μέσω αυτόματων ογκομετρικών μετρητικών συσκευών. Η μαγιά, ανάλογα με τη μορφή στην οποία βρίσκεται (συμπιεσμένη ή ξηρή), είτε θρυμματίζεται, είτε ενυδατώνεται ή προστίθεται απευθείας στο μίγμα (Angioloni & Dalla Rosa, 2005). Δεν πρέπει να υποτιμάται, ακόμη, η σημασία της θερμοκρασίας του ζυμαριού, καθώς αν δεν είναι η ιδανική, ο ρυθμός της ζύμωσης θα είναι μεγαλύτερος ή μικρότερος και θα επηρεαστεί ο όγκος του άρτου και το χρώμα της κόρας.

Τέλος, σημαντικό στοιχείο αποτελεί και η ανάπτυξη του δικτύου της γλουτένης, η οποία γίνεται αργά και σταθερά με τη βοήθεια της μηχανικής ενέργειας που δίνεται κατά την ανάμιξη του νερού και του αλεύρου. Το ζητούμενο είναι να αναπτυχθεί η κατάλληλη συνοχή, ώστε το ζυμάρι να έχει καλές μηχανικές ιδιότητες (machinability) και ικανοποιητική ικανότητα διατήρησης του αερίου.

Συνοψίζοντας, το στάδιο της ανάμιξης έχει τρία σημεία - κλειδιά:

- Ομοιόμορφη ενσωμάτωση όλων των συστατικών
- Ενυδάτωση του αλεύρου και όλων των άλλων ξηρών συστατικών
- Ανάπτυξη της γλουτένης.

Σε ένα συμβατικό αναδευτήρα, ο χρόνος ανάμιξης εξαρτάται από την ποιότητα του αλεύρου και τη μέθοδο ανάμιξης (π.χ. η στιγμή που θα προστεθεί το αλάτι επηρεάζει

το χρόνο ανάμιξης. Εάν προστεθεί καθυστερημένα, ο χρόνος ανάμιξης είναι μικρότερος) (Haegens, 2006).

Η ανάμιξη του ζυμαριού μπορεί να διακριθεί σε τέσσερα με πέντε στάδια, κατά τη διάρκεια των οποίων προκαλούνται πολυάριθμες φυσικές, κολλοειδείς και βιοχημικές μεταβολές. Στο πρώτο στάδιο, το ζυμάρι είναι κολλώδες, άμορφο και παραμένει ψυχρό (στάδιο έναρξης). Στο επόμενο στάδιο, αρχίζει να αυξάνεται η θερμοκρασία του ζυμαριού, να διαμορφώνεται η δομή της γλουτένης και το ζυμάρι να γίνεται απαλότερο και ξηρότερο (στάδιο αρχικής ανάπτυξης). Στο τρίτο στάδιο, το αναπτυσσόμενο ζυμάρι αποκτά τη μέγιστη σκληρότητά του και γίνεται μία ομοιόμορφη συνεκτική μάζα που χτυπά στα τοιχώματα του κάδου ανάμιξης, παρασύροντας τυχόν υπολείμματα που παραμένουν προσκολλημένα σε αυτόν, καθώς περιστρέφονται οι βραχίονες (στάδιο εκκαθάρισης). Το χρώμα αλλάζει από κιτρινωπό και αποκτά μία λευκή-κρεμώδη απόχρωση. Το τέταρτο και κρισιμότερο στάδιο ολοκληρώνεται μόλις η εμφάνιση του ζυμαριού μετατραπεί από σχετικά θαμπή σε απαλή, μεταξένια και στιλπνή (στάδιο τελικής ανάπτυξης). Το ζυμάρι βρίσκεται στη σωστή θερμοκρασία και έχει αποκτήσει την άριστη ικανότητα χειρισμού. Θεωρείται ότι έχει αναπτυχθεί πλήρως, όταν ένα μικρό του τεμάχιο μπορεί να εκταθεί σε απαλό, μακρύ, ημιδιάφανο φύλλο ομοιόμορφου πάχους. Πριν από αυτό το στάδιο, το ζυμάρι σχηματίζει κατά την έκτασή του νήματα και εξογκώματα. Αντίθετα, ένα ζυμάρι που έχει υποστεί ανάμιξη πέρα από το στάδιο της πλήρους ανάπτυξης χάνει την ελαστικότητά του και γίνεται προοδευτικά μαλακό και εκτατό, ενώ κατά την επαφή του με τους βραχίονες σχηματίζει μακριά και συνεκτικά νήματα, που αποτελούν ένδειξη υπερ-ανάμιξης (στάδιο πτώσης). Στο στάδιο αυτό το ζυμάρι είναι πολύ ζεστό και κολλώδες. Στο τελευταίο στάδιο, αρχίζει η αποικοδόμηση του ζυμαριού, το οποίο γίνεται υπερβολικά χαλαρό και ινώδες και αρχίζει να υγροποιείται (στάδιο κατάρρευσης). Δεν έχει ελαστικές ιδιότητες και είναι ακατάλληλο για αρτοποιήση (Angioloni & Dalla Rosa, 2005; Haegens, 2006).

Κατά την ανάμιξη λαμβάνουν χώρα ποικίλα φαινόμενα. Αρχικά, γίνεται ενυδάτωση των μορίων του αλεύρου και έτσι προκαλείται εξασθένιση των δεσμών αμύλου - πρωτεϊνών. Τα μόρια του νερού έρχονται σε επαφή με τις ενεργές χημικές ομάδες του αμύλου, των δεξτρινών, των πεντοζανών και των πρωτεϊνών σχηματίζοντας δεσμούς υδρογόνου. Παράγοντες όπως το μέγεθος και η υαλώδης μορφή των μορίων του αλεύρου, η ένταση της ανάμιξης και η παρουσία διαφόρων συστατικών όπως το

αλάτι, η μαγιά, κτλ., επηρεάζουν το χρόνο ανάμιξης. Ο ρυθμός ενυδάτωσης εξαρτάται από την ταχύτητα με την οποία το νερό έρχεται σε επαφή με τα μόρια του αλεύρου. Η μεγάλη επιφάνεια των κόκκων, που φτάνει όπως υπολογίζεται τα 235 m²/g, εξασφαλίζει την άμεση διαθεσιμότητα των ενεργών του ομάδων (Γιάννου, 2009).

Προκειμένου το ζυμάρι να διογκωθεί, πρέπει η γλουτένη να «χαλαρώσει», γεγονός που απαιτεί τη διάσπαση των δισουλφιδικών δεσμών. Οι δεσμοί αυτοί διασπώνται με τη βοήθεια της μηχανικής ενέργειας που προσφέρεται κατά τη διάρκεια της ανάμιξης ή της ανάπτυξης του ζυμαριού και προκαλείται έτσι το ξεδίπλωμα του μορίου της γλουτένης. Ως αποτέλεσμα, σχηματίζονται ελεύθερες σουλφυδρυλικές ομάδες (-SH) και το ζυμάρι είναι ελεύθερο να αναπτυχθεί και να αυξηθεί σε όγκο. Οι σουλφυδρυλικές ομάδες οξειδώνονται, σχηματίζουν νέους δισουλφιδικούς δεσμούς και έτσι διατηρείται σταθερή αυτή η διόγκωση. Η οξείδωση επιτυγχάνεται μέσω του ατμοσφαιρικού αέρα που έχει εγκλωβιστεί στη μάζα του ζυμαριού κατά τη μηχανική ανάμιξη, αλλά και λόγω οξειδωτικών μέσων, όπως το ασκορβικό οξύ (Haegens, 2006).

Τρίτο φαινόμενο που παρατηρείται κατά το στάδιο αυτό είναι η ανάπτυξη της γλουτένης, η οποία συνεχίζεται και κατά την ωρίμανση. Τα μόρια CO₂ που εκλύονται, ασκούν ώθηση στα μόρια της γλουτένης, με αποτέλεσμα να έρχονται σε επαφή μεταξύ τους και άλλα τμήματα πρωτεϊνών, σχηματίζοντας αντιδράσεις ανταλλαγής σουλφυδρυλίων και δισουλφιδίων, ενώ αποκαλύπτονται και άλλες πλευρικές ομάδες, που με τη σειρά τους συμμετέχουν στις αντιδράσεις αυτές (Καζάζης, 1981; Schiraldi, et al., 1996a).

Άλλο φαινόμενο που παρατηρείται είναι η κάλυψη των μορίων του αμύλου από πρωτεΐνες, με συνέπεια να δημιουργείται ένα επικαλυπτικό δίκτυο ινών, το οποίο βαθμιαία οδηγεί στην ανάπτυξη ολοένα και πιο λεπτών και συνεχών μεμβρανών γλουτένης. Ιδιαίτερη σημασία έχει η διασπορά και κατανομή της γλουτένης στην επιφάνεια του ελεύθερου αμύλου, ώστε το πλέγμα που θα σχηματιστεί να είναι συνεχές και ομοιόμορφο. Για το λόγο αυτό, η ελάχιστη περιεκτικότητα ενός αλεύρου σε πρωτεΐνη πρέπει να είναι 7%. Όσο, μάλιστα, αυξάνεται το ποσοστό των σπασμένων αμυλόκοκκων, αυξάνεται και η απαιτούμενη περιεκτικότητα πρωτεϊνών (ξεπερνά το 10%), καθώς οι κόκκοι διογκώνονται απορροφώντας περισσότερο νερό,

με αποτέλεσμα να αυξάνεται η επιφάνεια που πρέπει να καλυφθεί από γλουτένη. Ενδέχεται επίσης η γλουτένη να μην μπορεί να αναπτυχθεί πλήρως, λόγω ανεπαρκούς ενυδάτωσής της (Γιάννου, 2009).

3.6.1.2 Διαίρεση και μορφοποίηση ζυμαριού

Διαίρεση ζυμαριού

Η διαίρεση του ζυμαριού έχει ως στόχο το διαχωρισμό του σε μικρότερα τεμάχια ίσου βάρους. Μερικές από τις πιο κοινές τεχνικές διαίρεσης περιλαμβάνουν:

- Χειροκίνητους διαιρέτες πάγκου, εξοπλισμένους με κεφαλή κοπής η οποία πιέζεται χειροκίνητα προς το ζυμάρι με τη βοήθεια ενός συστήματος μοχλών και ελατηρίων. Αυτής της μορφής οι διαιρέτες χρησιμοποιούνται σε εφαρμογές μικρής κλίμακας, όπως σε φούρνους.
- Υδραυλικούς διαιρέτες, όπου το ζυμάρι τοποθετείται στην κορυφή ενός κάδου μορφοποίησης και διαιρείται ομοιόμορφα καθώς το κάλυμμα πιέζεται προς αυτό. Αυτός ο εξοπλισμός είναι πιο ευέλικτος από τα χειροκίνητα συστήματα και παραμένει απλός. Οι υδραυλικοί διαιρέτες είναι πιο κατάλληλοι για μικρής προς μεσαίας κλίμακας εφαρμογές και είναι κατάλληλοι για ένα μεγάλο εύρος προϊόντων.
- Ογκομετρικούς διαιρέτες, όπου το ζυμάρι εισάγεται σε μία χοάνη και πέφτει σταδιακά σε ένα θάλαμο συμπίεσης λόγω της βαρύτητάς του. Το μήκος του θαλάμου προσαρμόζεται, ώστε να επιτευχθεί το επιθυμητό βάρος ζυμαριού. Τα κομμάτια που παγιδεύονται μέσα στη χοάνη κόβονται λόγω του κενού που παράγεται από έναν περιστρεφόμενο κύλινδρο και από την κίνηση ενός πιστονιού και απορρίπτονται σε ένα μεταφορικό ιμάντα. Αυτού του τύπου οι διαιρέτες χρησιμοποιούνται για εφαρμογές μεγάλης κλίμακας και είναι κατάλληλοι για όλους τους τύπους ζυμαριού. Τα μηχανήματα αυτά μπορεί επίσης να διαθέτουν σύστημα ψεκασμού μικρής ποσότητας αλεύρου (flour duster system), προκειμένου να αποφεύγεται η προσκόλληση του ζυμαριού στους ιμάντες.

- Διαιρέτες εκβολής, όπου το ζυμάρι αντλείται και εξωθείται, συνήθως με τη βοήθεια ενός ελικοειδούς κοχλία, μέσω ενός στομίου. Ακολουθεί κοπή τμημάτων επιθυμητού μήκους με σταθερό ρυθμό.

Συνήθως οι διαιρέτες φτιάχνονται από ανοξείδωτο ατσάλι και, ανάλογα με τα χαρακτηριστικά τους, μπορούν να χρησιμοποιηθούν είτε πριν, είτε μετά την ζύμωση.

Στρογγύλεμα και μορφοποίηση ζυμαριού

Μετά τη διαίρεση, τα τμήματα του ζυμαριού έχουν συνήθως ακανόνιστο σχήμα με κολλώδεις επιφάνειες εκεί που έχουν κοπεί, με αποτέλεσμα να μην επιτρέπουν την ικανοποιητική ανάπτυξη του ζυμαριού. Το στρογγύλεμα έχει στόχο την παραγωγή τεμαχίων με σφαιρικό σχήμα και λεία, απαλή και σχετικά ξηρή επιδερμίδα, μέσω της τάνυσης και του αναπροσανατολισμού της γλουτένης που βρίσκεται στο εξωτερικό τμήμα του ζυμαριού. Με αυτό τον τρόπο διευκολύνεται η διατήρηση του αερίου και ο χειρισμός του ζυμαριού κατά τα επόμενα στάδια.

Μετά τη διαίρεση και το στρογγύλεμα του ζυμαριού ακολουθεί η τελική διαμόρφωση, συνήθως μετά από ένα σύντομο χρονικό διάστημα ανάπαυσης, στην περίπτωση προϊόντων διογκούμενων με μαγιά. Περιλαμβάνει κύλιση και μορφοποίηση μέσω της εφαρμογής πίεσης (ADM Cocoa, 1998).

3.6.1.3 Ζύμωση

Η ζύμωση του ζυμαριού ξεκινά κατά την ανάμιξη, συνεχίζεται κατά τους υπόλοιπους χειρισμούς του και ολοκληρώνεται στα τελικά στάδια του κλιβανισμού. Στη φάση αυτή, τα καλώς αναμεμιγμένα υλικά μετατρέπονται, υπό ελεγχόμενες συνθήκες υγρασίας και θερμοκρασίας για συγκεκριμένο χρονικό διάστημα, σε απαλό και εκτατό ζυμάρι, με αλλαγές στις δομικές και ρεολογικές του ιδιότητες.

Κατά την ζύμωση, το ζυμάρι μεταβάλλεται κατά δύο τρόπους. Αρχικά, η μαγιά μετατρέπει τα ανάγοντα σάκχαρα σε διοξείδιο του άνθρακα καθιστώντας έτσι ικανή τη διόγκωση του ζυμαριού, ενώ ταυτόχρονα μειώνει το pH του. Επίσης, πραγματοποιείται υδρόλυση από τα ένζυμα, η οποία μαλακώνει τη γλουτένη και αλλάζει τα χαρακτηριστικά του ζυμαριού, με αποτέλεσμα να είναι δυνατή ακόμη μεγαλύτερη διατήρηση αερίου. Για την ακρίβεια, σχηματίζεται επιδερμίδα που εκτός από τη συγκράτηση αερίου προσφέρει και διατήρηση του σχήματος του άρτου, ενώ

ταυτόχρονα το δίκτυο των πρωτεϊνών χαλαρώνει, ύστερα από τη βίαιη έκταση και μορφοποίηση που έχει υποστεί. Επιπλέον, η ζύμωση συνεισφέρει στο σχηματισμό ενώσεων που επηρεάζουν το άρωμα/γεύση (flavor), καθώς και στην πορώδη δομή της ψίχας μετά το ψήσιμο (Yang, 2006; Gandicota & MacRitchie, 2005).

Η ωρίμανση του ζυμαριού περιλαμβάνει όλες εκείνες τις διεργασίες που πραγματοποιούνται μετά την ανάμιξη, προκειμένου να αποκτήσει τα απαραίτητα χαρακτηριστικά που θα επιτρέψουν τον κλιβανισμό του. Για να θεωρηθεί ικανοποιητική η ωρίμανση, πρέπει να τηρούνται οι ακόλουθες προϋποθέσεις:

- Εντατική παραγωγή αερίου μετά την ανάπτυξη του ζυμαριού
- Βέλτιστες φυσικές ιδιότητες ζυμαριού κατά τη διαίρεση, μορφοποίηση και τελική διόγκωσή του και άριστη ικανότητα συγκράτησης αερίου
- Παραμονή ικανοποιητικών ποσοτήτων αζύμων σακχάρων και προϊόντων υδρόλυσης των πρωτεϊνών κατά τον κλιβανισμό, για τη διαμόρφωση του χρώματος της κόρας του άρτου και ουσιών που προσδίδουν άρωμα και γεύση στον άρτο (Stear, 1990).

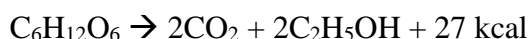
Οι παράγοντες που επηρεάζουν την ζύμωση είναι ποικίλοι και περιλαμβάνουν τα συστατικά του αλεύρου, το αλάτι, τα σάκχαρα, τη μαγιά, το νερό, τυχόν βελτιωτικά και άλλα στοιχεία, όπως το χρόνο ανάμιξης, τη θερμοκρασία του ζυμαριού, το χρόνο και τη θερμοκρασία της ζύμωσης και την υγρασία.

Κατά τη διεργασία αυτή, λαμβάνουν χώρα σημαντικά φαινόμενα, που καθορίζουν την ποιότητα και τις ιδιότητες του τελικού προϊόντος. Τα σημαντικότερα από αυτά είναι η παραγωγή αερίου, και συγκεκριμένα διοξειδίου του άνθρακα, κατά το μεταβολισμό των σακχάρων από τα κύτταρα της μαγιάς και η υδρόλυση του αμύλου και των πρωτεϊνών που περιέχονται στο αλεύρι, με αποτέλεσμα τη μεταβολή των φυσικοχημικών ιδιοτήτων του ζυμαριού.

Παραγωγή διοξειδίου του άνθρακα από τη μαγιά

Η μαγιά, αποτελείται από ζωντανούς οργανισμούς που μπορεί να δράσουν σε αερόβιες ή αναερόβιες συνθήκες. Στη συνταγή του άρτου με προστιθέμενα σάκχαρα, η ενέργεια που παρέχεται στα κύτταρα της μαγιάς για την ζύμωση προέρχεται από δύο πηγές: πρώτον από τα σάκχαρα που έχουν προστεθεί στο μίγμα και παρέχουν

διαθέσιμους υδατάνθρακες στη μαγιά για το πρώτο στάδιο της ζύμωσης και δεύτερον από τη μαλτόζη που παράγεται από την υδρόλυση του κατεστραμμένου αμύλου από τις αμυλάσες. Η μαλτόζη μετατρέπεται στη συνέχεια σε γλυκόζη με τη βοήθεια της μαλτάσης. Η γλυκόζη, που τελικά παράγεται με έναν από τους δύο παραπάνω τρόπους, υφίσταται τις καταλυτικές αντιδράσεις από τη μαγιά και μετατρέπεται σε διοξείδιο του άνθρακα, αιθανόλη και θερμότητα, σύμφωνα με τον τύπο της αντίδρασης:



Στη διάσπαση των σακχάρων κατά τη διαδικασία της ζύμωσης, η μαγιά μετατρέπει τους διαθέσιμους υδατάνθρακες σε διοξείδιο του άνθρακα που διαλύεται στο ζυμάρι, μέχρι να φτάσει στο σημείο κορεσμού. Το διοξείδιο του άνθρακα που παράγεται μετά από αυτό το σημείο θα διαχυθεί στις φυσαλίδες του αέρα που έχουν εγκλωβιστεί μέσα στο ζυμάρι κατά τη διαδικασία της ανάμιξης και μόνο ένα μικρό ποσοστό θα διαχυθεί στον αέρα. Το διοξείδιο του άνθρακα που βρίσκεται μέσα στις φυσαλίδες του αέρα θα αυξάνει σταδιακά την πίεσή του μέσα σε αυτές και καθώς αυτές θα αυξάνονται σε μέγεθος, θα αυξάνεται και ο όγκος του ζυμαριού, θα μειώνεται η εκτατότητά του και θα αυξάνεται η ελαστικότητά του.

Ένα ποσοστό του διοξειδίου του άνθρακα υπάρχει μέσα στις φυσαλίδες αέρα που έχουν εγκλωβιστεί στο ζυμάρι, ενώ το υπόλοιπο ποσοστό διαλύεται στο νερό και υπάρχει στο ζυμάρι υπό μορφή ανθρακικού οξέος. Το ανθρακικό οξύ είναι ένα ασθενές οξύ και μπορεί να μειώσει το pH. Ωστόσο, το αλεύρι διαθέτει οξυγαλακτικά βακτήρια και βακτήρια οξικού οξέος που μπορούν να μετατρέψουν σάκχαρα σε γαλακτικό ή οξικό οξύ, αντίστοιχα. Συγκρίνοντας τα δύο οξέα, το γαλακτικό οξύ είναι πιο ισχυρό, παράγεται σε μεγαλύτερη ποσότητα και έχει μεγαλύτερη επιρροή στη μείωση της τιμής του pH. Γενικότερα, το pH στο τέλος της ανάμιξης είναι γύρω στο 6, ενώ στο τέλος της διεργασίας της ζύμωσης η τιμή του pH μειώνεται γύρω στο 4.5 με 5. Η μείωση αυτή ενεργοποιεί τη μαγιά, τα βελτιωτικά και τα ένζυμα, αλλάζει τη δομή της γλουτένης του ζυμαριού και μαλακώνει τη γλουτένη.

Υδρόλυση αμύλου και πρωτεϊνών

Τα ένζυμα που περιέχονται στο αλεύρι ή που προστίθενται σκόπιμα στο μίγμα υδρολύουν το άμυλο και μαλακώνουν το ζυμάρι. Η α-αμυλάση μετατρέπει το

κατεστραμμένο άμυλο σε δεξτρίνη και στη συνέχεια η β-αμυλάση μετατρέπει τη δεξτρίνη σε μαλτόζη. Η διαδικασία της υδρόλυσης απελευθερώνει ορισμένη ποσότητα από το νερό που είχε αρχικά απορροφηθεί από το κατεστραμμένο άμυλο, απαλώνει το ζυμάρι και ενισχύει το σχηματισμό του δικτύου της γλουτένης. Επίσης, η υδρόλυση των πρωτεϊνών από τις πρωτεάσες απαλώνει τη γλουτένη και αλλάζει τις ρεολογικές ιδιότητες του ζυμαριού. Αυτό συνεπάγεται μεγαλύτερη πλαστικότητα και ελαστικότητα στη γλουτένη, με αποτέλεσμα να μπορεί να διατηρεί περισσότερο αέριο και να επιτρέπει στο ψωμί να διατηρεί την ποιότητά του.

Η διεργασία της ζύμωσης, προσφέρει δύο βασικές λειτουργίες: την παραγωγή αερίου λόγω της δράσης των κυττάρων της μαγιάς και την αύξηση της απαλότητας της γλουτένης, ώστε να διατηρεί περισσότερο αέριο. Εάν αυτές οι δύο λειτουργίες έρθουν σε ισορροπία, τότε η ποιότητα των τελικών προϊόντων θα επηρεαστεί θετικά. Εάν, ωστόσο, η ταχύτητα παραγωγής αερίου από τη μαγιά είναι μεγαλύτερη από την ταχύτητα επέκτασης της γλουτένης, η ικανότητα διατήρησης αερίου θα είναι μικρή. Άλευρα με αδύναμη γλουτένη μπορούν να χρησιμοποιηθούν ή να προστεθούν πρωτεάσες, ώστε να μειώσουν τη δύναμη της γλουτένης, και έτσι να επιτευχθεί αυτή η ισορροπία. Από την άλλη πλευρά, αν η ταχύτητα επέκτασης της γλουτένης είναι μεγαλύτερη από την ταχύτητα παραγωγής αερίου, θα διατηρείται επίσης, λιγότερο αέριο. Στην περίπτωση αυτή, λύση είναι η αύξηση του ποσοστού σακχάρων που προστίθενται ή η χρήση αλεύρου με ισχυρότερη γλουτένη.

Γεύση, άρωμα & απαλότητα στην υφή

Τέλος, κατά τη διάρκεια της ζύμωσης τα συστατικά του ζυμαριού υπόκεινται σε φυσικοχημικές αλλαγές, προσφέροντας στο ψωμί γεύση και άρωμα. Η μαγιά μετατρέπει τους διαθέσιμους υδατάνθρακες (σάκχαρα) σε διοξείδιο του άνθρακα, το οποίο αυξάνει τον όγκο του ζυμαριού και προσφέρει απαλότητα στο τελικό προϊόν (Yang, 2006).

3.6.1.4 Κλιβανισμός

Το τελικό στάδιο της αρτοποιίας είναι ο κλιβανισμός, όπου τα τεμάχια του ζυμαριού μετατρέπονται σε ελαφριά, πορώδη, βρώσιμα, εύπεπτα και εύγευστα προϊόντα, υπό την επίδραση της θερμότητας. Κατά τη διάρκεια της διεργασίας αυτής οι φυσικές δομές των βασικών συστατικών αλλάζουν αμετάκλητα μέσω μίας σειράς

φυσικοχημικών και βιοχημικών αλληλεπιδράσεων. Μερικά προφανή φαινόμενα προκύπτουν από τη θερμότητα του κλίβανου, όπως η διόγκωση του άρτου, ο σχηματισμός μίας περιβάλλουσας κρούστας, η απενεργοποίηση της μαγιάς και των ενζυματικών δραστηριοτήτων, η μετουσίωση των πρωτεϊνών του αλεύρου και η σταδιακή ζελατινοποίηση του αμύλου. Παράλληλα όμως, παρατηρείται σημαντική απώλεια υγρασίας. Ταυτόχρονα, σχηματίζονται νέες αρωματικές ουσίες, όπως προϊόντα καραμελοποίησης, πυροδεξτρίνες, κ.α. Παρόλο που πολλές από τις φυσικοχημικές αντιδράσεις που λαμβάνουν χώρα στο στάδιο αυτό είναι μόνο μερικώς κατανοητά, πιστεύεται ότι η ποιότητα των τελικών προϊόντων επηρεάζεται από το ρυθμό της μεταφοράς θερμότητας και την ποσότητα της θερμότητας, το επίπεδο της υγρασίας στο θάλαμο του κλιβάνου και τη διάρκεια του κλιβανισμού.

Στάδια του κλιβανισμού

Ο κλιβανισμός ορίζεται ως η διεργασία εκείνη στην οποία τα προϊόντα ψήνονται περνώντας από μία σειρά σταδίων με διαφορετικές θερμοκρασίες, χρονικές περιόδους και συνθήκες υγρασίας. Συγκεκριμένα, ο κλιβανισμός του άρτου μπορεί να διαιρεθεί στα εξής στάδια:

Στο πρώτο στάδιο που αποτελεί το ένα τέταρτο της συνολικής διεργασίας η θερμοκρασία στο εξωτερικό της ψίχας αυξάνεται με ρυθμό $4.7\text{ }^{\circ}\text{C} / \text{min}$, έως τους 60°C . Η πρώτη αισθητή διαφοροποίηση που παρατηρείται είναι ο σχηματισμός μίας λεπτής επιφανειακής επιδερμίδας που αρχικά εμφανίζει διασταλτική ικανότητα. Η σταδιακή αύξηση της θερμοκρασίας οδηγεί σε μία σειρά από μεταβολές. Μεταξύ των 30 και $40\text{ }^{\circ}\text{C}$, αυξάνεται η διόγκωση (oven-spring) λόγω αύξησης της ενζυμικής δράσης και της ανάπτυξης των κυττάρων της μαγιάς. Από τους $45\text{ }^{\circ}\text{C}$ παρατηρείται αύξηση της παραγωγής διαλυτών υδατανθράκων, ενώ η ζύμωση των σακχάρων συνεχίζεται μέχρι τους $60\text{ }^{\circ}\text{C}$. Στο άλευρο σίτου, η ζελατινοποίηση του αμύλου λαμβάνει χώρα από τους 55 μέχρι και τους $65\text{ }^{\circ}\text{C}$. Κατά τη διάρκεια της διόγκωσης και της ζελατινοποίησης του αμύλου παρατηρείται μετανάστευση νερού από τα άλλα συστατικά του ζυμαριού προς τους κόκκους αμύλου και μερική αφυδάτωση του συμπλόκου των πρωτεϊνών της γλουτένης. Το γεγονός αυτό συνεπάγεται αύξηση της ακαμψίας του πλέγματος της γλουτένης, οι ίνες του οποίου γίνονται όλο και πιο ιξώδεις και ελαστικές. Η στερεοποίηση των πρωτεϊνών λαμβάνει χώρα στο θερμοκρασιακό διάστημα μεταξύ 50 και $70\text{ }^{\circ}\text{C}$, ανάλογα με το μοριακό βάρος και την

κολλοειδή κατάσταση. Στους 55-60°C τα ένζυμα της μαγιάς απενεργοποιούνται θερμικά, ενώ οι ζυμάσες απενεργοποιούνται στους 65°C (Hui, 2006; Fessas & Schiraldi, 2000).

Όταν η θερμοκρασία φτάσει στους 50-60 °C ελευθερώνεται όλο το διοξείδιο του άνθρακα, συνεισφέροντας στη διόγκωση του ζυμαριού. Στη συνέχεια, η επιφάνεια του ζυμαριού χάνει την ελαστικότητά της, πυκνώνει και το χρώμα της μεταβάλλεται προς το καστανό, γεγονός που σηματοδοτεί την έναρξη του δεύτερου σταδίου (Therdtaï et al., 2002).

Το δεύτερο και το τρίτο στάδιο του κλιβανισμού αποτελούν το 50% του συνολικού χρόνου. Ο ρυθμός αύξησης της θερμοκρασίας κατά το δεύτερο στάδιο είναι 5,5°C/min, μέχρι η θερμοκρασία στο θερμικό κέντρο να φτάσει τους 98-99°C, οπότε και σταθεροποιείται, σηματοδοτώντας την έναρξη του τρίτου σταδίου. Στην αρχή του δεύτερου σταδίου το ζυμάρι εμφανίζει πλαστική συμπεριφορά και η διόγκωσή του συνεχίζεται, λόγω της διαστολής του διοξειδίου του άνθρακα, της έναρξης σχηματισμού υδρατμών στο εσωτερικό του και της εξάτμισης της αιθανόλης.

Στο τρίτο στάδιο ο ρυθμός εξάτμισης στο εσωτερικό του ζυμαριού παύει να είναι τόσο υψηλός, ενώ η θερμοκρασία στην επιφάνεια αυξάνεται και σχηματίζεται η κόρα, η οποία αυξάνεται σε πάχος με την πάροδο του χρόνου. Στο εσωτερικό του ζυμαριού διαμορφώνεται η τελική δομή της ψίχας, μέσω της μετάδοσης θερμότητας από τα εξωτερικά προς τα εσωτερικά στρώματα. Η μέγιστη θερμοκρασία που θα φτάσει το εσωτερικό του άρτου είναι 100°C. Στο στάδιο αυτό, κυρίως όταν η θερμοκρασία της κόρας φτάσει τους 150 με 206°C, λαμβάνουν χώρα οι θερμικά καταλυόμενες αντιδράσεις καστανώσεως, οι οποίες είναι μη ενζυμικές και μη οξειδωτικές και μπορούν να διακριθούν σε αντιδράσεις καραμελοποίησης και Maillard.

Αμέσως μετά την ολοκλήρωση της ανάμιξης, το ζυμάρι εμφανίζει μικρές κυψελίδες αερίου που διασκορπίζονται στο πλέγμα γλουτένης-αμύλου. Οι κυψελίδες αυτές διαστέλλονται λόγω της παραγωγής διοξειδίου του άνθρακα κατά την ζύμωση, ενώ μεταξύ τους διαχωρίζονται με λεπτές μεμβράνες, διατηρώντας τη μορφή αφρού. Κατά τη διάρκεια του κλιβανισμού, η ζελατινοποίηση του αμύλου προκαλεί δραματική αύξηση στο ιξώδες του ζυμαριού, με συνέπεια την απότομη αύξηση της δύναμης τάνυσης των μεμβρανών. Αυτό συνεπάγεται τη διάρρηξή τους και τη μετατροπή του αφρού σε σπόγγο (Gan et al., 1995).

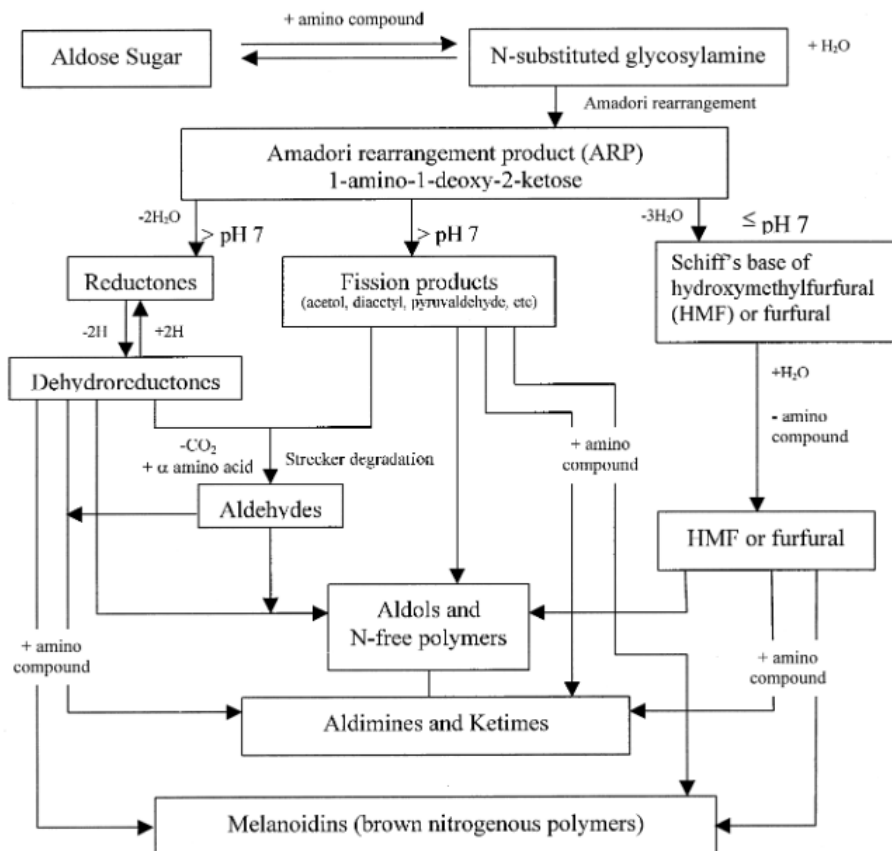
Αντιδράσεις που λαμβάνουν χώρα κατά τη διάρκεια του κλιβανισμού

Καραμελοποίηση

Η καραμελοποίηση είναι η διαδικασία μέσω της οποίας άχρωμες γλυκές ουσίες μετατρέπονται υπό την επίδραση της θερμότητας, σε συστατικά που ποικίλλουν σε χρώμα από ωχρό κίτρινο σε σκούρο καφέ και προσδίδουν γεύση από ήπια και ευχάριστη γεύση καραμέλας έως πικρή, καμμένη και καυστική. Οι ουσίες που παράγονται κατά την καραμελοποίηση δεν έχουν, ακόμη, όλες προσδιοριστεί. Ωστόσο, τα τελικά προϊόντα των αντιδράσεων αυτών είναι κυρίως κορεσμένα σύνθετα πολυμερή. Συγκεκριμένα, κατά τη διάρκεια της καραμελοποίησης σχηματίζεται σημαντικός αριθμός προϊόντων υποβάθμισης, με όξινη ή ελαφρώς πικρή γεύση, καθώς επίσης και σειρά σύνθετων καρβονυλίων, αλδευδών και κετονών με ευχάριστη οσμή. Η βασικότερη διαφορά μεταξύ της καραμελοποίησης και των αντιδράσεων Maillard είναι ότι η θερμοκρασία ενεργοποίησης είναι σημαντικά υψηλότερη στην πρώτη περίπτωση (Chang, 2006; Charley & Weaver, 1998; Stear, 1990).

Αντίδραση Maillard

Μία άλλη σημαντική θερμοχημική αντίδραση που λαμβάνει χώρα κατά τον κλιβανισμό είναι η αντίδραση Maillard η οποία είναι η θερμική αντίδραση πρωτεϊνών ή αμινών με υδατάνθρακες. Συγκεκριμένα, αποτελεί αλληλεπίδραση των ελεύθερων αμινομάδων των αμινοξέων, πεπτιδίων ή πρωτεϊνών, με τα ελεύθερα αναγωγικά σάκχαρα, με αποτέλεσμα την παραγωγή μελανοϊδινών (melanoidins) ως τελικά προϊόντα (Chang, 2006; Rincon & Benitez, 2001). Η συγκεκριμένη αντίδραση προτάθηκε για πρώτη φορά από το Maillard το 1912 και έχει έκτοτε μελετηθεί εκτενώς. Αποτελείται από σύνθετα μονοπάτια με ενδιάμεσα προϊόντα που έχουν σημαντικό ρόλο στο χρώμα και τη γεύση/άρωμα του ψωμιού. Το σχεδιάγραμμα που περιλαμβάνει όλες τις αντιδράσεις και τα προϊόντα που παράγονται φαίνεται στην εικόνα 3.1.



Εικόνα 3.1: Αντιδράσεις και προϊόντα Maillard

Σύμφωνα με την πρωτογενή βιβλιογραφία (Hodge, 1953), οι αντιδράσεις Maillard μπορούν να διακριθούν σε τρία στάδια:

1. Αρχικό στάδιο (άχρωμο)
 - a. Συμπύκνωση σακχάρων - αμινών
 - b. Αναδιάταξη Amadori
2. Ενδιάμεσο στάδιο (άχρωμο ή κίτρινο)
 - a. Αφυδάτωση σακχάρων
 - b. Διάσπαση σακχάρων
 - c. Διάσπαση αμινοξέων
3. Τελικό στάδιο (έντονο χρώμα)
 - a. Συμπύκνωση αλδόλης

b. Πολυμερισμός αλδεϋδών-αμινών

c. Σχηματισμός ετεροκυκλικών ενώσεων αζώτου (Chang, 2006)

Τόσο η καραμελοποίηση, όσο και η αντίδραση Maillard, πραγματοποιούνται στην επιφάνεια των προϊόντων και συμβάλλουν στο σχηματισμό του χαρακτηριστικού χρώματος της κόρας των αρτοσκευασμάτων. Συγκεκριμένα, η εξωτερική επιφάνεια μετατρέπεται από ωχρή κίτρινη σε κεχριμπαρένια, πορτοκαλόχρωμη, καστανή και τελικά σκούρα καστανή. Ικανοποιητικός χρωματισμός αναπτύσσεται, όταν μείνει αζύμωτο το 2-3% των σακχάρων του ζυμαριού.

Κατά το σχηματισμό της κόρας αναπτύσσονται διάφορες οργανικές ενώσεις, μερικές από τις οποίες χάνονται ή παρασύρονται από τα αέρια του κλιβάνου, ενώ άλλες από αυτές παγιδεύονται μέσα στη δομή της κόρας. Κατά την ψύξη και την αποθήκευση, οι ουσίες αυτές διαχέονται και στην ψίχα. Συνολικά, στο ζυμάρι, στον άρτο και στην ατμόσφαιρα του κλιβάνου, υπάρχουν πάνω από 200 ενώσεις που είναι υπεύθυνες για το άρωμα και τη γεύση του προϊόντος (Charley & Weaver, 1998).

Ζελατινοποίηση αμύλου

Κατά τη διάρκεια του κλιβανισμού, σε θερμοκρασία γύρω στους 40°C, οι κόκκοι του αμύλου αρχίζουν να διογκώνονται, ενώ όταν η θερμοκρασία κυμαίνεται μεταξύ 50-65°C, οι ιξωδοελαστικές ιδιότητες του ζυμαριού αντικαθίστανται από ρευστότητα. Στο αρχικό στάδιο της ζελατινοποίησης, καθώς οι κόκκοι του αμύλου διογκώνονται και μετασχηματίζονται, απορροφούν τόσο ελεύθερο νερό, όσο και νερό που έχει δεσμευτεί από τις πρωτεΐνες του ζυμαριού. Ωστόσο, ένα μεγάλο ποσοστό κόκκων παραμένει ανέπαφο μέχρι το τέλος της ζελατινοποίησης, λόγω έλλειψης νερού. Η έκταση της ζελατινοποίησης επηρεάζεται, συνεπώς, από τη διαθεσιμότητα του νερού, τη θερμοκρασία και τη διάρκεια έκθεσης του αμύλου στη θερμότητα. Γενικώς, ο βαθμός ζελατινοποίησης είναι μεγαλύτερος μεταξύ της κόρας και των εξωτερικών στρωμάτων της ψίχας, σε σχέση με το κέντρο του προϊόντος, λόγω της έκθεσης σε υψηλή θερμοκρασία για μεγαλύτερο χρονικό διάστημα.

Μετουσίωση πρωτεϊνών

Οι πρωτεΐνες της γλουτένης, οι οποίες δεσμεύουν περίπου το 31% του συνολικού νερού που απορροφάται από το ζυμάρι, είναι παρούσες σε ενυδατωμένη μορφή. Συνεισφέρουν στο σχηματισμό της δομής του ζυμαριού, παρέχοντας τη μήτρα στην οποία ενσωματώνονται μικροί κόκκοι άμυλου. Οι πρωτεΐνες αρχίζουν να υφίστανται θερμική μετουσίωση, όταν η θερμοκρασία της ψίχας φτάσει στους 60-70°C περίπου. Οι μετουσιωμένες πρωτεΐνες αρχίζουν και χάνουν την ικανότητα δέσμευσης νερού και έτσι το νερό απελευθερώνεται από αυτές προς το άμυλο, ευνοώντας την ζελατινοποίησή του. Από την άλλη πλευρά, όταν η θερμοκρασία ανέλθει πάνω από τους 74°C, τα γλουτενικά στρώματα που περιβάλλουν τις μεμονωμένες φυσαλίδες αερίου μετουσιώνονται, λόγω της θερμότητας, και μετατρέπονται σε σχετικά άκαμπτες δομές μέσω της αλληλεπίδρασης με το διογκωμένο άμυλο.

Μετακίνηση νερού

Κατά τα πρώτα λεπτά του κλιβανισμού, στην ατμόσφαιρα του κλίβανου επέρχεται μία κορεσμένη κατάσταση υγρασίας. Σε αυτήν την περίπτωση, οι ατμοί συμπυκνώνονται στην επιφάνεια του ζυμαριού, με αποτέλεσμα να παρατηρείται πρόσληψη μικρής ποσότητας νερού από αυτό. Καθώς η θερμοκρασία της επιφάνειας υπερβαίνει το σημείο δρόσου της ατμόσφαιρας του θαλάμου κλιβανισμού, αρχίζει ο σχηματισμός της κόρας και η υγρασία στο εξωτερικό μέρος μετατρέπεται σε ατμό. Το μεγαλύτερο μέρος του ατμού εξατμίζεται στον αέρα και μία μικρή ποσότητα μεταναστεύει στο εσωτερικό του άρτου. Καθώς η διαδικασία συνεχίζεται, το ποσοστό υγρασίας στην κόρα και στα εξωτερικά στρώματα της ψίχας μειώνεται γύρω στο 5%, ενώ στα εσωτερικά στρώματα της ψίχας παραμένει σχετικά σταθερό στο 43,5-45,1% (παρόμοιο με το ποσοστό στο ζυμάρι πριν τον κλιβανισμό). Αφού ο άρτος απομακρυνθεί από τον κλίβανο, η υγρασία από το εσωτερικό μεταναστεύει στο εξωτερικό μέρος και στην κρούστα. Όσο αυτός ψύχεται, η εξάτμιση νερού από την κρούστα συνεχίζεται, μέχρι που τελικά το ποσοστό υγρασίας όλου του προϊόντος να φτάσει περίπου το 38%.

Ενζυμικές δραστηριότητες

Με την έναρξη της διόγκωσης κατά τον κλιβανισμό, οι αμυλάσες επιταχύνουν την υδρόλυση του αμύλου. Ωστόσο, απενεργοποιούνται γρήγορα λόγω της υψηλής θερμοκρασίας που αναπτύσσεται. Η υδρόλυση του αμύλου σταματά, όταν όλες οι αμυλάσες απενεργοποιηθούν. Στο πρώιμο στάδιο του κλιβανισμού, τα ένζυμα αυτά συνεισφέρουν σε δύο αποτελέσματα: πρώτον, σπάνε τη δομή του αμύλου και έτσι κάνουν το ζυμάρι πιο ρευστό, με αποτέλεσμα να ευνοείται η διόγκωσή του. Δεύτερον, το άμυλο διασπάται σε μικρότερα μόρια, με αποτέλεσμα να αυξάνονται τα ποσοστά των δεξτρινών και τη μαλτόζης που ζυμώνονται από τη μαγιά. Η μη σωστή δράση της αμυλάσης θα δημιουργήσει προβλήματα στο τελικό προϊόν. Συγκεκριμένα, ο όγκος του θα μειωθεί, εάν τα ποσοστά της αμυλάσης είναι χαμηλά, ενώ εάν τα ποσοστά αυτά είναι υψηλά, το προϊόν θα υπερδιογκωθεί, κάτι που θα οδηγήσει στην κατάρρευσή του (Chang, 2006).

3.6.2 Εξοπλισμός αρτοποιίας

3.6.2.1 Εξοπλισμός ανάμιξης

Οι αναμίκτες ποικίλλουν μεταξύ τους από αυτούς που μιμούνται το μηχανικό ζύμωμα με το χέρι μέχρι τα μηχανήματα υψηλής ταχύτητας, που είναι ικανά να μετατρέψουν το μίγμα σε ζυμάρι μέσα σε λίγα λεπτά της ώρας. Πολλά μηχανήματα επεξεργάζονται το ζυμάρι με τον παραδοσιακό τρόπο, δηλαδή με διαδοχικές συμπίεσεις και εκτάσεις αυτού (compressing and stretching operations). Άλλα μηχανήματα εφαρμόζουν ταχύτερη και έντονη μηχανική διάτμηση, ώστε να προσδώσουν την απαραίτητη μηχανική ενέργεια στο ζυμάρι. Η ταχύτητα με την οποία περιστρέφεται το ζυμάρι μέσα στο θάλαμο χρησιμοποιείται για να συσσωματώσει όλα τα συστατικά σε μία ενιαία μάζα και για να προσφέρει ενέργεια από το μέσο ανάμιξης προς το ζυμάρι.

Οι αναμίκτες μπορούν να διακριθούν σε τρεις κατηγορίες: τους οριζόντιους, τους κάθετους πλανητικούς και τους συνεχείς.

Οι οριζόντιοι αναμίκτες μπορούν συνήθως να αναμείξουν μεγάλες ποσότητες ζυμαριού σε μία παρτίδα και για αυτό χρησιμοποιούνται σχεδόν αποκλειστικά στις μεγάλες μονάδες παραγωγής αρτοποιημάτων. Η μέγιστη ταχύτητα ανάμιξης είναι 150 rpm. Η λειτουργία του οριζόντιου αναμίκτη στηρίζεται στο σχεδιασμό των

βραχιόνων του. Οι δύο βασικές κατηγορίες οριζόντιων αναμικτών περιλαμβάνουν κυλινδρικές ράβδους και βραχίονες ελλειπτικού σχήματος, αντίστοιχα. Και στις δύο περιπτώσεις η διαδικασία της ανάμιξης στηρίζεται στη μικρή απόσταση μεταξύ του εξωτερικού τμήματος των βραχιόνων και των τοιχωμάτων του κάδου ανάμιξης (Cauvain, 2003). Ο κάδος ανάμιξης έχει σχήμα U και βρίσκεται στερεωμένος στο σταθερό σκελετό ενός θαλάμου ο οποίος περιλαμβάνει τον κινητήρα προώθησης και μετάδοσης της κίνησης. Ο κινητήρας αυτός είναι συνήθως δύο ταχυτήτων, ώστε να επιτρέπει την αργή και γρήγορη ανάμιξη του ζυμαριού. Ο άξονας του αναδευτήρα διατρέχει τον κάδο αξονικά και πάνω του στηρίζονται οι βραχίονες του αναμικτή (Giannou, 2005).

Στην κατασκευή αυτή δεν είναι δυνατή η απόσπαση του κάδου και η μεταφορά του ζυμαριού. Για το λόγο αυτό, διατίθεται κατάλληλος μηχανισμός εκκένωσής του. Επίσης, είναι δυνατή η επένδυση του κάδου με κάποιο χιτώνιο ή μανδύα όπου κυκλοφορεί νερό ή κάποιο ψυκτικό μέσο, προκειμένου να ρυθμίζεται η θερμοκρασία του ζυμαριού (Matz, 1988).

Στους κάθετους πλανητικούς αναμικτές ο κάδος είναι κάθετα τοποθετημένος και δεν είναι μόνιμα συνδεδεμένος στο σκελετό του μηχανήματος, όπως, επίσης, και οι βραχίονες. Ο αναδευτήρας περιστρέφεται προσομοιάζοντας την κίνηση της γης, δηλαδή γύρω από τον άξονά του και ταυτόχρονα κυκλικά γύρω από τον κεντρικό άξονα του κάδου, κοντά στα εσωτερικά του τοιχώματα. Οι αναμικτές αυτοί είναι κατασκευασμένοι από ανοξείδωτο χάλυβα και σε μερικές περιπτώσεις έχουν μηχανισμό για την κίνηση και εκκένωση του κάδου. Ο βραχίονας που συνήθως χρησιμοποιείται στη βιομηχανία έχει σχήμα γάντζου κατασκευασμένου από χαλκό, αλουμίνιο ή ανοξείδωτο χάλυβα και επιτρέπει την ανάμιξη των συστατικών χωρίς να αναπτύσσονται έντονες τριβές και κατά συνέπεια χωρίς να αυξάνεται σημαντικά η θερμοκρασία (Matz, 1988).

Τέλος, οι αναμικτές συνεχούς λειτουργίας κατασκευάστηκαν με σκοπό την επιτάχυνση και την ομαλοποίηση της παραγωγικής διαδικασίας, αλλά και την παραγωγή ομοιομόρφων προϊόντων με σταθερή ποιότητα. Αποτελούνται από έναν προ-αναμικτή και τον τελικό αναμικτή. Ο προ-αναμικτής είναι ένας ανοξείδωτος κοχλίας που περιστρέφεται μέσα σε έναν, επίσης, ανοξείδωτο κύλινδρο. Τα συστατικά χωρίζονται σε ρεύματα (στερεά και υγρά) και τροφοδοτούνται στη μία

άκρη του εξοπλισμού. Αφού ενσωματωθούν πρόχειρα σε ζυμάρι, αποβάλλονται υπό πίεση από τον κοχλία προς μία αντλία που τα μεταφέρει στον κυρίως αναμίκτη. Αυτός αποτελείται από μία εσωτερική κοιλότητα, ωοειδούς σχήματος, με δύο περιστρεφόμενους διπλούς τοξωτούς βραχίονες που εκτείνονται αξονικά μέσα της. Το ζυμάρι εισάγεται από τη μία πλευρά της κοιλότητας και εξωθείται από την άλλη, μέσω εκβολέα, στις φόρμες έψησης (Matz, 1988).

3.6.2.2 Εξοπλισμός διαίρεσης και μορφοποίησης

Ο απλούστερος εξοπλισμός που χρησιμοποιείται για τη διαίρεση του ζυμαριού είναι ο κύλινδρος με έδρανο κορυφής, ο οποίος διοχετεύει στο ζυμάρι μία κεφαλή κοπής και το χωρίζει σε τεμάχια ίσου βάρους. Για την κίνηση της κεφαλής κοπής χρησιμοποιείται ένα σύστημα ελατηρίου και μοχλού. Ο διαιρέτης περιλαμβάνει ένα δίσκο κοπής, πάνω στον οποίο τοποθετείται μία προζυγισμένη ποσότητα ζυμαριού, που έχει σχεδόν επιπεδοποιηθεί. Επίσης, περιέχει ένα δίσκο πίεσης με εγκοπές, ο οποίος κατεβαίνει πάνω στο ζυμάρι που βρίσκεται στο δίσκο και του προσδίδει ομοιόμορφο πάχος. Μέσω των εγκοπών του δίσκου διέρχονται μαχαίρια, με τη βοήθεια ελατηρίων, τα οποία διαιρούν το ζυμάρι. Σε πιο εξελιγμένα συστήματα γίνεται χρήση ηλεκτροκίνητης αντλίας που κινεί ένα υδραυλικό σύστημα.

Τα συστήματα των διαιρετών διακρίνονται σε δύο κατηγορίες. Στην πρώτη περίπτωση το ζυμάρι διοχετεύεται σε ένα θύλακα συγκεκριμένων διαστάσεων και το επιπλέον ζυμάρι κόβεται μέσω διάτμησης. Στη δεύτερη περίπτωση, ένας κύλινδρος ζυμαριού υφίσταται εκβολή μέσω κατάλληλης οπής, όπου κόπτονται τεμάχια ομοιόμορφου μήκους. Η πρώτη περίπτωση αποτελεί τη βάση για το σχεδιασμό σχεδόν όλων των διαιρετών ζυμαριού που χρησιμοποιούνται σήμερα, ενώ η δεύτερη χρησιμοποιείται σε συνεχή συστήματα και αποτελεί την αρχή λειτουργίας ορισμένων από τα πλέον σύγχρονα μηχανήματα.

Για τη μορφοποίηση των ζυμαριών χρησιμοποιούνται πολλοί τύποι μηχανημάτων, ορισμένα από τα οποία συνδυάζονται με μικρούς διαιρέτες. Επίσης, υπάρχει το σύστημα «Eberhardt», το οποίο αποτελείται από ένα περιστρεφόμενο κεντρικό τμήμα με κυκλικό σχήμα, που φέρει κεκλιμένες προς τα έσω πλευρές και ένα εξωτερικό τμήμα, ελαφρώς κεκλιμένο προς τα έξω. Τα δύο μέρη δημιουργούν ένα κυκλικό κανάλι, του οποίου η είσοδος είναι διπλάσιου εύρους από την έξοδο. Το εσωτερικό

τύμπανο περιστρέφεται έκκεντρα, ώστε το ζυμαρί που τοποθετείται στο κανάλι να αναπλάθεται αποκτώντας σφαιρικό σχήμα.

Ακόμη, υπάρχουν μορφοποιητές τύπου ταινίας που χρησιμοποιούνται σε πολλές μονάδες για την παραγωγή μικρών αρτοσκευασμάτων. Μία υφασμάτινη ταινία μεταφοράς μετακινεί τα τεμάχια ζυμαριού μέσω μεταλλικών οδηγών με στρογγυλεμένη κάτω επιφάνεια. Οι οδηγοί αυτοί έχουν κλίση προς την κατεύθυνση κίνησης της ταινίας, με αποτέλεσμα ο συνδυασμός κίνησης που επιβάλλεται από την ταινία και της πλευρικής δύναμης που ασκείται από τους οδηγούς να προκαλεί την περιστροφή του ζυμαριού. Η ελαφριά προσκόλληση του ζυμαριού στην ταινία δημιουργεί σε αυτό μία σχετικά απαλή επιφάνεια. Τα συστήματα αυτά έχουν το ελάττωμα ότι είναι ευαίσθητα στη συνεκτικότητα του ζυμαριού. Ωστόσο, όταν η σύσταση του ρυθμιστεί σωστά είναι πολύ αποτελεσματικά.

Άλλη κατηγορία μορφοποιητών είναι οι μεσαίας ή μεγάλης δυναμικότητας οι οποίοι διακρίνονται σε τρεις κατηγορίες: τύπου καπέλου, ομπρέλας ή τυμπάνου. Ο πρώτος τύπος αποτελείται από ένα περιστρεφόμενο κύπελλο σχήματος κώνου, που στο εσωτερικό του είναι διαμορφωμένη μία σπειροειδής σταθερή δομή. Το ζυμαρί τροφοδοτείται στη χοάνη και πέφτει στον πυθμένα του περιστρεφόμενου κυπέλλου. Η πτώση που υφίσταται είναι βίαιη και στη συνέχεια, ακολουθώντας την κίνηση του κυπέλλου, περιστρέφεται κατά μήκος της διαδρομής. Οι μορφοποιητές τύπου ομπρέλας ή ανάστροφου κώνου διαφέρουν από τους προηγούμενους στο ότι τα ζυμαρία περιστρέφονται ταχύτερα, γύρω από την εξωτερική επιφάνεια του κώνου, ο οποίος φέρει απολήξεις στραμμένες προς τα άνω. Το τρίτο είδος μορφοποιητών είναι τύπου τυμπάνου και διαφέρουν από τους υπόλοιπους στο ότι το τμήμα του κώνου εμφανίζει πολύ μικρή κλίση στις πλευρές του (στην ουσία είναι σχεδόν κάθετες). Η κίνηση του ζυμαριού, κατά συνέπεια, πραγματοποιείται με περισσότερο ομοιόμορφο ρυθμό σε σχέση με τις δύο προηγούμενες περιπτώσεις. Το πλεονέκτημα του τύπου αυτού είναι ότι απαιτούν μικρότερο χώρο εγκατάστασης.

Τέλος, υπάρχουν μορφοποιητές με κοίλες πλευρές, στους οποίους η κυκλική διαδρομή του ζυμαριού αποτελείται από δύο ή περισσότερους τομείς σε διαφορετικά επίπεδα. Η τροφοδότηση του ζυμαριού γίνεται από την κορυφή και αυτό μετακινείται διαμέσου των τομέων διαδρομής και τελικά αποβάλλεται στο τύμπανο τροφοδοσίας του εξοπλισμού ενδιάμεσης ωρίμανσης (Γιάννου, 2009).

3.6.2.3 Εξοπλισμός ζύμωσης

Κατά τη διάρκεια της ζύμωσης εκτελούνται πολλαπλές αντιδράσεις και προκειμένου να διατηρηθούν υπό έλεγχο φροντίζεται, ώστε το ζυμάρι να διατηρείται σε θαλάμους με ρυθμιζόμενη θερμοκρασία και υγρασία οι οποίοι προσφέρουν, παράλληλα, υγιεινές συνθήκες αποθήκευσης και ελαχιστοποιούν τη φυσική καταπόνηση του ζυμαριού. Ο έλεγχος της θερμοκρασίας γίνεται με σκοπό την επίτευξη συγκεκριμένου και σταθερού ρυθμού ζύμωσης. Όσον αφορά στην υγρασία, απαιτούνται υψηλά ποσοστά στους θαλάμους ωρίμανσης, γύρω στο 76%, προκειμένου να αποφευχθεί η ξήρανση ή ο σχηματισμός κρούστας στην επιφάνεια του ζυμαριού. Υπάρχει ο κίνδυνος, αν η υγρασία φτάσει στο σημείο δρόσου, να συμπυκνωθεί η υγρασία στο ζυμάρι, με αποτέλεσμα την ανάπτυξη κολλώδους ή εστιγμένης επιφάνειας.

Οι θάλαμοι ζύμωσης ταξινομούνται σε ενδιάμεσους και τελικούς και πρέπει να είναι κατάλληλα κατασκευασμένοι, ώστε να απομονώνεται το εσωτερικό τους από ανεπιθύμητες μεταβολές της θερμοκρασίας. Για το λόγο αυτό, πρέπει να κατασκευάζονται από ανοξείδωτα δομικά μέρη. Τέλος, πρέπει να έχουν χωρητικότητα αντίστοιχη της παραγωγής της μονάδας (Γιάννου, 2009).

Ενδιάμεσοι θάλαμοι ζύμωσης/ωρίμανσης

Στη σύγχρονη βιομηχανία το ενδιάμεσο στάδιο της ζύμωσης χρησιμοποιείται ως περίοδος ανάπαυσης για το ζυμάρι, μεταξύ της διαίρεσης και της πρώτης μορφοποίησής του και της τελικής φυλλοποίησης και του σχηματισμού του, καθώς μετά τις πρώτες διαδικασίες διαθέτει μικρή εκτατότητα, σκίζεται εύκολα, είναι μαλακό και δεν διογκώνεται ικανοποιητικά. Με την άφεσή του προς ανάπαυση, η ζύμωση συνεχίζεται και αναδομούνται οι δεσμοί της γλουτένης. Όταν το ζυμάρι απομακρυνθεί από τους ενδιάμεσους θαλάμους, διαθέτει μεγαλύτερο όγκο, εξαιτίας της συσσώρευσης αερίων, η επιφάνειά του είναι σκληρότερη και ξηρότερη, ενώ είναι πιο εκτατό και εύκαμπτο.

Ο εξοπλισμός των θαλάμων περιλαμβάνει το χώρο αποθήκευσης, το μηχανισμό υποδοχής του ζυμαριού, την εσωτερική ταινία μεταφοράς, τη μονάδα ισχύος και το σύστημα ελέγχου. Στις περισσότερες περιπτώσεις τα τεμάχια παραμένουν σε αυτούς για 10 με 15 min. Οι βέλτιστες συνθήκες λειτουργίας κυμαίνονται μεταξύ 26.5-29.5 °C και σχετική υγρασία 70-73%.

Οι ενδιάμεσοι θάλαμοι διακρίνονται σε τύπου ταινίας και δίσκου. Οι πρώτοι αποτελούνται από ατέρμονες ταινίες που κινούνται μέσα σε έναν κλειστό θάλαμο. Τα τεμάχια του ζυμαριού μεταφέρονται από το ένα άκρο του θαλάμου στο άλλο και πέφτουν στη χαμηλότερη ταινία που τα μεταφέρει προς την αντίθετη κατεύθυνση. Η διαδικασία αυτή επαναλαμβάνεται μέχρι να φτάσουν στην ταινία εξόδου. Οι θάλαμοι τύπου δίσκου διαθέτουν ατέρμονους μεταφορείς για τη μεταφορά των τεμαχίων ζυμαριού. Περιλαμβάνουν εξοπλισμό που μετακινεί τα τεμάχια σε μεταλλικά σκεύη, σκάφες, κάδους, ξύλινους δίσκους ή διαφράγματα από καραβόπανο. Για λόγους υγιεινής, οι περισσότεροι ενδιάμεσοι θάλαμοι χρησιμοποιούν συμπαγές ή διάτρητο αλουμίνιο ή ανοξείδωτο χάλυβα. Οι δίσκοι συνήθως διαιρούνται σε τμήματα ή φόρμες, για να εμποδίζεται η ένωση των τεμαχίων ζυμαριού λόγω της δόνησης.

Τελικοί θάλαμοι ζύμωσης/ωρίμανσης

Μετά τη σχηματοποίηση, τα ζυμάρια μεταφέρονται στους τελικούς θαλάμους ωρίμανσης, όπου και παραμένουν για ορισμένο χρονικό διάστημα μέχρι να κλιβανιστούν. Τα φαινόμενα που πραγματοποιούνται κατά τη φάση αυτή είναι ιδιαίτερα σημαντικά για την ποιότητα του τελικού προϊόντος και επηρεάζονται τόσο από τη θερμοκρασία του ζυμαριού, όσο και από την υγρασία. Το ζυμάρι αποκτά το μεγαλύτερο μέρος του όγκου του, ενώ μέσω των αντιδράσεων που πραγματοποιούνται σχηματίζονται ενώσεις που ενισχύουν τα οργανοληπτικά χαρακτηριστικά του άρτου. Η δράση της υγρασίας είναι σημαντική, κυρίως λόγω της επίδρασής της στα χαρακτηριστικά της κόρας.

Οι τελικοί θάλαμοι ωρίμανσης είναι διαφόρων τύπων. Στην πιο πρωταρχική τους μορφή αποτελούνται από ένα ρηχό κιβώτιο ή συρτάρι, όπου η θερμοκρασία και η υγρασία ελέγχονται μόνο από την απομόνωση του ζυμαριού από τον ατμοσφαιρικό αέρα για ένα χρονικό διάστημα. Η πιο εξελιγμένη μορφή περιλαμβάνει θαλάμους με ορόφους, όπου βρίσκονται ράφια στηριζόμενα σε σιδηροτροχιές. Τα ράφια ωθούνται χειροκίνητα από το ένα άκρο του θαλάμου στο άλλο, μετακινώντας τα υπόλοιπα κατά μία θέση και τελικά ωθούνται προς την έξοδο του θαλάμου μέσα στον προκαθορισμένο χρόνο ωρίμανσης. Στο εσωτερικό του θαλάμου περιέχεται ένας μεταλλικός σκελετός επικαλυμμένος με ανοξείδωτη επένδυση, που διαθέτει αυτόματο σύστημα ρύθμισης του αέρα. Το σύστημα αυτό περιλαμβάνει ανεμιστήρες, θερμαντήρες, ακροφύσια ατμού και μονάδες ψεκασμού. Για τη μετακίνηση των

ραφιών χρησιμοποιούνται επιδαπέδιες ή εναέριες ράγες, ενώ υπάρχουν και συστήματα συνεχούς μεταφοράς διαμέσου του θαλάμου με ελάχιστες απαιτήσεις σε εργατικό δυναμικό.

Στα συμβατικά συστήματα που αναφέρθηκαν παραπάνω, το ζυμάρι διατηρείται σε περιβάλλον συγκεκριμένης και σταθερής θερμοκρασίας (~48.5-51.5°C) και σχετικής υγρασίας (~80-85%), προκειμένου η θερμοκρασία στο κέντρο να φτάσει στην επιθυμητή (~43°C). Για το σκοπό αυτό απαιτείται αρκετό χρονικό διάστημα. Προκειμένου να επιταχυνθεί η άνοδος της θερμοκρασίας και να μειωθεί ο χρόνος ωρίμανσης χρησιμοποιούνται μέθοδοι που συνδυάζουν τη συμβατική θέρμανση σε θάλαμο με ένα προκαταρκτικό στάδιο θέρμανσης με μικροκύματα (Γιάννου, 2009).

3.6.2.4 Εξοπλισμός τελικής σχηματοποίησης

Μετά το θάλαμο ωρίμανσης, το ζυμάρι οδηγείται στους σχηματοποιητές, οι οποίοι του προσδίδουν κυλινδρικό σχήμα. Υπάρχουν διάφοροι τύποι σχηματοποιητών, οι οποίοι εκτός από του τύπου εκβολής έχουν τέσσερις κοινές λειτουργίες: φυλλοποίηση, συστροφή, περιστροφή και σφράγιση. Οι δύο τελευταίες εκτελούνται, συχνά, ταυτόχρονα και, έτσι, αναφέρονται ως μία.

Η πρώτη λειτουργία ενός σχηματοποιητή είναι η επιπεδοποίηση του ζυμαριού σε ένα παχύ φύλλο για ευκολότερο χειρισμό στα επόμενα στάδια. Για το λόγο αυτό χρησιμοποιούνται δύο ή περισσότερα ζεύγη κυλίνδρων με σταδιακή μείωση της απόστασης μεταξύ τους. Το πρώτο ζεύγος κυλίνδρων (κύλινδροι κεφαλής), ασκεί μόνο μία ελαφριά πίεση στο ζυμάρι. Το δεύτερο ζεύγος (κεντρικοί κύλινδροι), πιέζει πιο δυνατά το ζυμάρι, ενώ το τελευταίο (κύλινδροι φυλλοποίησης), ασκεί τη μεγαλύτερη πίεση. Στην περίπτωση σχηματοποιητών αντίστροφης φυλλοποίησης, μεταξύ του δεύτερου και του τρίτου ζεύγους κυλίνδρων, μεσολαβούν δύο μονοί κύλινδροι, ο κύλινδρος αναστροφής και ο κύλινδρος υποδοχής.

Επόμενη λειτουργία του σχηματοποιητή είναι η συστροφή του σε ένα χαλαρό κύλινδρο, μέσω σειράς κυλίνδρων ή μέσω ζεύγους ταινιών από καραβόπανο. Στη δεύτερη περίπτωση, η κάτω μεταφορική ταινία μετακινεί το ζυμάρι, ώσπου το πρόσθιο άκρο του φύλλου να αγκιστρωθεί στην άνω ταινία συστροφής. Το πίσω άκρο του φύλλου εξακολουθεί να κινείται, με αποτέλεσμα να προκαλείται η συστροφή του σε ένα χαλαρό κύλινδρο. Όταν ολοκληρωθεί η διαδικασία αυτή, το ζυμάρι

αποτελείται από στρώματα που δεν είναι καλά προσκολλημένα μεταξύ τους. Έτσι, αναγκαία διαδικασία, είναι η προσεκτική σφράγιση του ζυμαριού.

Κατά τη σφράγιση, ο αέρας που έχει εγκλωβιστεί ανάμεσα στα στρώματα του ζυμαριού εκδιώκεται και το ζυμάρι επιμηκύνεται, ώστε οι διαστάσεις του να γίνουν ελαφρά μεγαλύτερες από αυτές της φόρμας έψησης. Για να επιτευχθεί αυτό, ο κύλινδρος του ζυμαριού περιστρέφεται διαμέσου ενός μεγάλου τυμπάνου επιστρωμένου με караβόπανο και μίας ημικυκλικής σανίδας συμπίεσης με λεία επιφάνεια. Άλλο σύστημα σφράγισης είναι μία επίπεδη πλάκα συμπίεσης και μία κινούμενη ταινία, των οποίων η απόσταση μειώνεται σταδιακά και, έτσι, το ζυμάρι αποκτά το επιθυμητό σχήμα.

Οι κύλινδροι φυλλοποίησης εμφανίζουν το μειονέκτημα ότι, καθώς το ζυμάρι διέρχεται από αυτούς, αυξάνεται η υγρασία του στο πίσω άκρο του, λόγω της συμπίεσης του ζυμαριού. Στους συμβατικούς σχηματοποιητές, το πίσω άκρο που εμφανίζει μεγαλύτερη υγρασία καταλήγει να σχηματίζει το εξωτερικό στρώμα του κυλίνδρου, θεωρώντας ότι η διαμόρφωση αυτή δίνει καλύτερα αποτελέσματα κατά την ωρίμανση και τον κλιβανισμό. Για την αντιμετώπιση της αναδίπλωσης του ξηρού μέρους του ζυμαριού στο κέντρο του κυλίνδρου, σχεδιάστηκαν σχηματοποιητές εγκάρσιας ή αντίστροφης φυλλοποίησης. Οι πρώτοι συστρέφουν το φύλλο του ζυμαριού καθέτως προς την κατεύθυνση κίνησης των κυλίνδρων φυλλοποίησης, με αποτέλεσμα το πιο υγρό άκρο του ζυμαριού να διαμορφώνει το ένα άκρο του κυλίνδρου και όχι την εξωτερική του επιφάνεια. Οι σχηματοποιητές αντίστροφης φυλλοποίησης συστρέφουν το φύλλο του ζυμαριού, ώστε το υγρό άκρο να βρίσκεται στο κέντρο και όχι στην εξωτερική επιφάνεια. Τέλος, έχει αναπτυχθεί άλλο ένα είδος σχηματοποιητή, προκειμένου να προσδίδει ζυμάρια με πιο ομοιόμορφη δομή, όπου πραγματοποιείται η συστρόφη του ζυμαριού μετά το πέρασμά του από τους κυλίνδρους. Η χαρακτηριστική εμφάνιση των προϊόντων τα καθιστά πιο ελκυστικά στους καταναλωτές. Στο σύστημα αυτό, τα κυλινδρικά ζυμάρια πέφτουν σε περιστρεφόμενα δοχεία σχήματος U.

Τέλος, υπάρχουν οι σχηματοποιητές με εκβολή, οι οποίοι χρησιμοποιούνται σε συνεχή συστήματα. Το ζυμάρι αντλείται στην κορυφή του εκβολέα υπό μορφή ομοιογενούς μάζας. Συνήθως ο εκβολέας βρίσκεται μετά το σύστημα ανάπτυξης του ζυμαριού. Το ζυμάρι εξωθείται υπό μορφή κυλίνδρου και κόβεται με κατάλληλες

λεπίδες. Η διάμετρος του κυλίνδρου διατηρείται σταθερή, ενώ το μήκος (και κατά συνέπεια το βάρος) μπορεί να μεταβάλλεται με τον κατάλληλο προγραμματισμό των λεπίδων (Γιάννου, 2009).

3.6.2.5 Εξοπλισμός κλιβανισμού

Ο κλίβανος είναι βασικό τμήμα του εξοπλισμού της αρτοβιομηχανίας, καθώς είναι υπεύθυνος για τη μετατροπή του ωμού ζυμαριού σε άρτο, μέσω της θερμότητας που του προσδίδει. Χρησιμοποιούνται διάφοροι τύποι κλιβάνων, όπως κλίβανοι τροχού, κινούμενων δίσκων, τούνελ, μεταφορικής ταινίας (conveyorized ovens), ραφιών και ηλεκτρονικοί κλίβανοι. Η επιλογή του κατάλληλου εξοπλισμού εξαρτάται από τον όγκο των παραγόμενων προϊόντων, το διαθέσιμο χώρο της μονάδας, την ποικιλία των προϊόντων και το κόστος. Σε γενικές γραμμές, οι κλίβανοι τροχού είναι κατάλληλοι για μικρό όγκο παραγωγής και περιορισμένο χώρο λειτουργίας, όπως για παράδειγμα σε καταστήματα λιανικής πώλησης. Για μεγαλύτερη παραγωγή, σε σούπερ μάρκετ ή στη βιομηχανία, οι κλίβανοι κινούμενων δίσκων αποτελούν μία καλύτερη λύση.

Κλίβανοι τροχού (Reel ovens)

Ο πρώτος μηχανικός κλίβανος που αναπτύχθηκε στην Αμερική ήταν ο κλίβανος τροχού. Αποτελείται από έναν τροχό τύπου «λούνα παρκ», ο οποίος περιστρέφεται κάθετα γύρω από έναν οριζόντιο άξονα μέσα στο θάλαμο του κλιβάνου. Πάνω σε αυτόν βρίσκονται δίσκοι, κατάλληλα τοποθετημένοι, ώστε να διέρχεται κάθε φορά ένας από τη θυρίδα εισαγωγής. Οι κλίβανοι αυτοί θερμαίνονται συνήθως με άμεση θέρμανση η οποία προκύπτει είτε από τη χρήση ηλεκτρισμού, είτε αερίου. Προκειμένου να μπορέσει να στεγαστεί ο τροχός, απαιτείται θάλαμος αρκετά υψηλός και έτσι είναι δύσκολο να διατηρηθεί μία ομαλή και ομοιόμορφη κατανομή θερμότητας, αλλά και να βρίσκεται υπό πλήρη έλεγχο η θερμοκρασία των δίσκων. Επιπλέον, το πάνω μέρος των κλιβάνων τείνει, συνήθως, να συσσωρεύει περισσότερη υγρασία.

Κλίβανοι κινούμενων δίσκων (Traveling tray ovens)

Οι κλίβανοι κινούμενων δίσκων είναι η εξέλιξη των κλιβάνων τροχού, με σκοπό την αύξηση της χωρητικότητας και της παραγωγής του κλιβάνου, αλλά και τη βελτίωση της απόδοσης της αρτοποιήσης. Η βασική διαφορά είναι η χρήση δύο παράλληλων ατέρμωνων αλυσίδων, αντί για τον τροχό, οι οποίες μεταφέρουν τους δίσκους μέσα στο θάλαμο. Με αυτόν τον τρόπο μειώνονται οι διαστάσεις του θαλάμου κλιβανισμού και αυξάνεται η χωρητικότητά του. Σε κάθε δίσκο τοποθετούνται πολλές φόρμες έψησης, ενώ οι δίσκοι ενώνονται μεταξύ τους, σχηματίζοντας μία μεταφορική ταινία. Οι δίσκοι έλκονται μέσω μίας αλυσίδας από το εμπρόσθιο προς το οπίσθιο μέρος του κλιβάνου και επιστρέφουν ξανά εκεί, όπου και εκφορτώνονται.

Κλίβανοι σήραγγες (Tunnel ovens)

Ο κλίβανος αυτής της μορφής είναι ένας μακρύς και χαμηλός θάλαμος κλιβανισμού, ο οποίος περιέχει ένα μηχανοκίνητο μεταφορέα που μετακινεί το δάπεδο. Συγκεκριμένα, το δάπεδο αποτελείται από ανοξείδωτα μεταλλικά τμήματα τα οποία μετακινούνται πάνω σε αλυσίδες μεταφοράς, ενώ η φόρτωση και η εκφόρτωση πραγματοποιούνται στα δύο διαφορετικά άκρα της σήραγγας. Ο κλίβανος μπορεί να χωριστεί σε ζώνες, ο αριθμός των οποίων ποικίλλει ανάλογα με το μήκος και την κατασκευή του. Κάθε ζώνη έχει το δικό της σύστημα ελέγχου θερμότητας και έτσι μπορεί να ρυθμίζεται η παρεχόμενη θερμότητα χωριστά στο πάνω και στο κάτω μέρος, να ισορροπείται η παροχή θερμότητας κατά πλάτος του φούρνου και να επιτυγχάνονται οι βέλτιστες συνθήκες ατμού. Οι κλίβανοι αυτοί δεν είναι πλέον δημοφιλείς, λόγω του υψηλού τους κόστους και της δυσκολίας στη συντήρησή τους σε σχέση με τους κλιβάνους μεταφορικής ταινίας παρόμοιας δυναμικότητας. Επίσης, οι κλίβανοι κινούμενων δίσκων είναι λίγο πιο ευέλικτοι και έχουν μικρότερο κόστος λειτουργίας (Matz, 1989; Chang, 2006).

Συστήματα ωρίμανσης/κλιβανισμού με μεταφορά (Conveyorized ovens)

Οι συγκεκριμένοι κλίβανοι έχουν ενσωματωμένο ένα συνεχές σύστημα ζύμωσης και κλιβανισμού. Αναπτύχθηκαν για πρώτη φορά από το Lanham το 1967 (Lanham, 1970). Το ξεχωριστό χαρακτηριστικό του αρχικά σχεδιασμένου συστήματος είναι ένας συνεχής μεταφορέας, μέσω του οποίου γίνεται η τοποθέτηση του ζυμαριού στις φόρμες έψησης, η ωρίμανση, ο κλιβανισμός και η εξαγωγή του άρτου από τις φόρμες γίνεται χωρίς την ανθρώπινη παρέμβαση. Λόγω των διαφορετικών χρονικών περιόδων ωρίμανσης και κλιβανισμού, τα μεγέθη του θαλάμου ωρίμανσης και κλιβανισμού, αντίστοιχα θα διαφέρουν, εφόσον η ταχύτητα του μεταφορέα είναι σταθερή. Τα συστήματα αυτά, επίσης, διαθέτουν, στο στάδιο της ωρίμανσης, ένα μεταφορέα ομαδοποίησης, ο οποίος διαχωρίζει τη συνεχή ροή των φορμών έψησης σε ομάδες με προκαθορισμένο μέγεθος. Τα προϊόντα που προκύπτουν τείνουν να έχουν υψηλό βαθμό ομοιομορφίας, λόγω του γεγονότος ότι κάθε προϊόν υφίσταται ακριβώς την ίδια επεξεργασία και διανύει την ίδια διαδρομή. Η θέρμανση του κλιβάνου πραγματοποιείται μέσω συστήματος απευθείας καύσης αερίου χωριζόμενου σε ζώνες.

Κλίβανοι ραφιών

Οι κλίβανοι με ράφια εισήχθησαν για πρώτη φορά το 1958 και είναι κάθετοι θάλαμοι κλιβανισμού στους οποίους εισάγονται κινούμενα ράφια πάνω στα οποία τοποθετούνται τα προϊόντα μέσα σε φόρμες έψησης. Τα ράφια μπορούν να παραμένουν σταθερά ή να περιστρέφονται κατά τη διάρκεια του κλιβανισμού, ώστε η έκθεση του προϊόντος στη θερμότητα να είναι ομοιόμορφη. Η πηγή ενέργειας μπορεί να είναι ηλεκτρισμός, αέριο ή καύσιμο. Πολλοί κλίβανοι φέρουν αυτόματα συστήματα ρύθμισης της θερμοκρασίας, των συνθηκών ατμού και των κύκλων κλιβανισμού.

Ηλεκτρικοί κλίβανοι

Ο γενικός ορισμός ενός ηλεκτρικού κλιβάνου είναι ότι χρησιμοποιεί ηλεκτρική ενέργεια για να παράγει συμβατική θερμότητα. Οι εμπορικοί ηλεκτρικοί κλίβανοι συνήθως περιέχουν πολλά επίπεδα και είναι εξοπλισμένοι με στοιχεία συσσώρευσης ενέργειας (heat storing). Ένα είδος κλιβάνου που χρησιμοποιείται στη βιομηχανία είναι οι κλίβανοι μικροκυμάτων, οι οποίοι θερμαίνουν τα προϊόντα με διηλεκτρική

θερμότητα. Με αυτόν τον τρόπο δεν σχηματίζεται κόρα στο αρτοσκεύασμα, επειδή η διηλεκτρική θέρμανση λαμβάνει χώρα ομοιόμορφα από το εξωτερικό προς το εσωτερικό του προϊόντος (Matz, 1989; Chang, 2006).

3.7 Κατεψυγμένο ζυμάρι

3.7.1 Το κατεψυγμένο ζυμάρι στη βιομηχανία

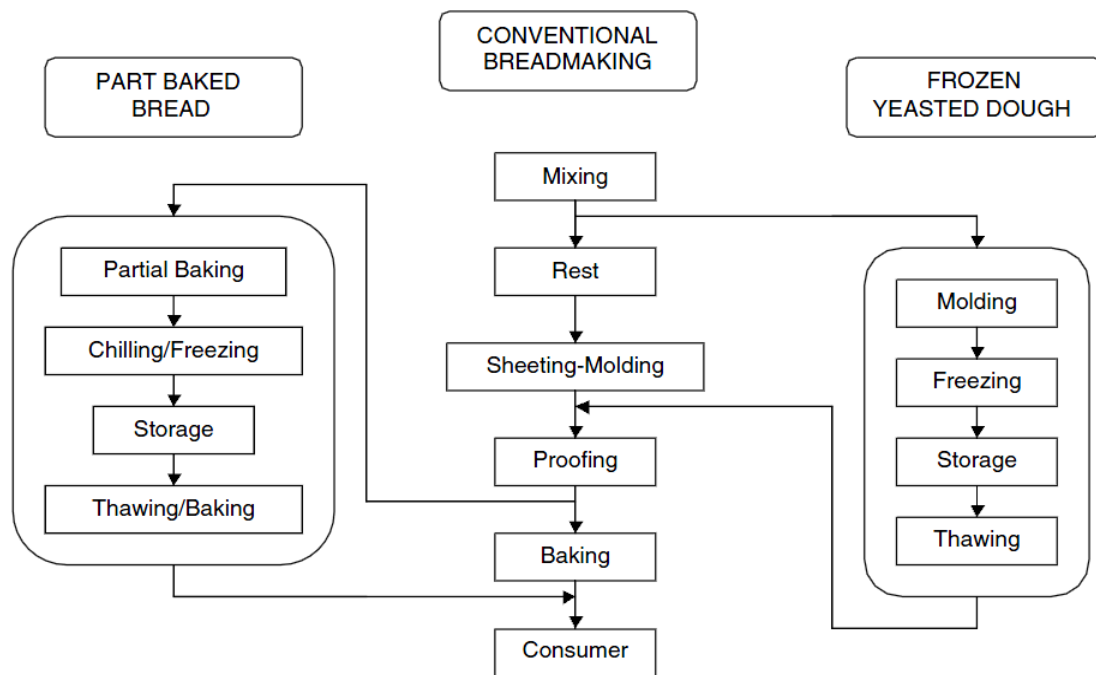
Κατά τη διάρκεια των τελευταίων δεκαετιών, η αρτοποιία αποτελεί σημαντικό κλάδο της βιομηχανίας. Ο φρέσκος άρτος είναι ένα προϊόν με σύντομη διάρκεια ζωής, καθώς κατά τη διάρκεια της αποθήκευσής του λαμβάνει χώρα ένα πλήθος φυσικοχημικών μεταβολών, γνωστών και ως μαγιατάμα. Συνέπεια αυτών των μεταβολών είναι η ποιότητά του να υποβαθμίζεται σταδιακά. Η κατάσταση αυτή και οι απαιτήσεις της αγοράς οδήγησαν στην ανάπτυξη τεχνολογιών κατεψυγμένου ζυμαριού. Η χρήση της ψύξης ή της κατάψυξης αρτοσκευασμάτων στη βιομηχανία τροφίμων πρωτοεμφανίστηκε στα τέλη του 19^{ου} αιώνα και αρχίζει να εφαρμόζεται ευρέως καθώς παρέχει προϊόντα αρτοποιίας με μεγαλύτερη διάρκεια ζωής, μεταθέτει τη διαδικασία διόγκωσης-κλιβανισμού και προσφέρει τα πλεονεκτήματα των φρέσκων αρτοσκευασμάτων με ταυτόχρονη οικονομία σε εξοπλισμό και κόστος εργασίας (Kenny, 1999; Ribbota, 2006).

Αρχικά, το πρώτο προϊόν, που αναπτύχθηκε γύρω στη δεκαετία του 1970, ήταν ο κατεψυγμένος άρτος. Η επιτυχία που γνώρισε ήταν περιορισμένη, καθώς εμφάνιζε προβλήματα αποκόλλησης της κόρας. Για το σκοπό αυτό, υλοποιήθηκε η παραγωγή του κατεψυγμένου ζυμαριού, το οποίο την παρούσα στιγμή αποτελεί το κυρίαρχο προϊόν στην αγορά των κατεψυγμένων προϊόντων. Η τεχνολογία του κατεψυγμένου ζυμαριού στηρίζεται στην προετοιμασία του και την κατάψυξή του προτού ξεκινήσει η ζύμωση, ή μετά από περιορισμένο χρονικό διάστημα ζύμωσης. Η τελική μετατροπή του ζυμαριού αποτελείται από τρία στάδια: την απόψυξη, την ζύμωση και τον κλιβανισμό (Giannou et al., 2006).

Τα κατεψυγμένα αρτοσκευάσματα διακρίνονται σε δύο κατηγορίες: προϊόντα κατεψυγμένου ζυμαριού και κατεψυγμένα ημι-κλιβανισμένα προϊόντα. Τα πρώτα σχεδιάζονται έτσι, ώστε να μπορούν να ανταπεξέλθουν κατά την κατάψυξη και την απόψυξη και εμφανίζουν παρόμοια ποιοτικά χαρακτηριστικά με το συμβατικό άρτο. Ωστόσο, απαιτούν προετοιμασία ελάχιστου χρόνου 2-3 h, αφού πριν τον κλιβανισμό

τους πρέπει να αποψυχθούν και να διογκωθούν. Η απόψυξη και η διόγκωση λαμβάνουν συνήθως χώρα σε θερμοκρασίες ελαφρώς υψηλότερες της θερμοκρασίας περιβάλλοντος και μετά κλιβανίζονται, ώστε να παραχθεί το τελικό προϊόν (Giannou et al., 2006). Σε αντίθεση με τα πρώτα, τα κατεψυγμένα ημι-κλιβανισμένα προϊόντα εμφανίζουν μικρό χρόνο προετοιμασίας (μπορούν να είναι έτοιμα σε μικρότερο από 20 min) και έχουν λιγότερες απαιτήσεις σε εξοπλισμό και εξειδικευμένο προσωπικό. Σε βιομηχανικό επίπεδο, η τεχνολογία των προϊόντων αυτών αποτελείται από την προετοιμασία του άρτου με μερικό κλιβανισμό σε μία μέση, συνήθως, θερμοκρασία, την ψύξη και την κατάψυξή του. Το κατεψυγμένο προϊόν μπορεί, στη συνέχεια, να τοποθετηθεί απευθείας στον κλίβανο και να υποστεί απόψυξη και κλιβανισμό σε ένα μόνο στάδιο. Ωστόσο, παράγουν προϊόντα με υποβαθμισμένα οργανοληπτικά χαρακτηριστικά και μικρότερη διάρκεια ζωής. Μερικές φορές συστήνεται η απόψυξή τους πριν τον τελικό κλιβανισμό που περιλαμβάνει την αναθέρμανση του προϊόντος για μικρό χρονικό διάστημα (περίπου τα 2/3 του αντίστοιχου χρόνου για τον πλήρη κλιβανισμό που απαιτείται για να αναπτυχθεί το χαρακτηριστικό καφετί χρώμα, το άρωμα/γεύση και η χαρακτηριστική υφή των αρτοσκευασμάτων) (Barcenas & Rosell, 2006; Carr et al., 2006; Carr & Tadini, 2003; Hamdami et al., 2004, Kraklow & Kandler, 2003).

Στην εικόνα 3.2 φαίνεται το διάγραμμα των διεργασιών για την παραγωγή των δύο ειδών κατεψυγμένων προϊόντων (Giannou et al., 2006).



Εικόνα 3.2: Διεργασίες παραγωγής κατεψυγμένων αρτοσκευασμάτων

3.7.2 Υποβάθμιση αρτοσκευασμάτων κατά την αποθήκευσή τους υπό κατάψυξη

Τα φυσικά φαινόμενα που λαμβάνουν χώρα κατά την αποθήκευση υπό κατάψυξη είναι ο σχηματισμός παγοκρυστάλλων, η υαλώδης μετάπτωση και ωσμωτικά φαινόμενα. Λόγω αυτών, κατά τη διάρκεια της κατάψυξης των προϊόντων, λαμβάνουν χώρα σοβαρές μεταβολές και δράσεις που μπορεί να έχουν καταστροφική επίδραση στην υφή και τα οργανοληπτικά τους χαρακτηριστικά (Kraklow & Kandler, 2003). Οι μεταβολές αυτές διακρίνονται σε τρεις κατηγορίες: φυσικές μεταβολές, χημικές/ενζυμικές μεταβολές και μικροβιακές δράσεις.

Οι φυσικές μεταβολές εξαρτώνται σε μεγάλο βαθμό από τις διακυμάνσεις της θερμοκρασίας, οι οποίες ενισχύουν τη μετανάστευση της υγρασίας και επηρεάζουν την κατανομή του μεγέθους των κρυστάλλων στα τρόφιμα. Επίσης, κατά την αποθήκευση υπό κατάψυξη ασυσκευαστων τροφίμων λαμβάνει χώρα εξάχνωση πάγου, λόγω διαφοράς θερμοκρασίας μεταξύ τροφίμων και ψυχρότερων μερών του θαλάμου αποθήκευσης, που μπορεί να οδηγήσει σε επιφανειακή ξήρανση/αφυδάτωση και σε εμφάνιση των λεγόμενων εγκαυμάτων κατάψυξης (Laaksonen, 2001; Fu & Labuza, 1997; Reid, 1998).

Οι χημικές/ενζυμικές μεταβολές που λαμβάνουν χώρα σε κατεψυγμένα τρόφιμα οφείλονται σε ποσότητες νερού που παραμένουν σε ρευστή κατάσταση ακόμη και υπό συνθήκες κατάψυξης. Οι σπουδαιότερες από αυτές είναι η μετουσίωση των πρωτεϊνών και διάφορες οξειδωτικές δράσεις που συνεπάγονται την υποβάθμιση της σταθερότητας, της υφής, του αρώματος/γεύσης και του χρώματος του προϊόντος, καθώς και την απώλεια βιταμινών και άλλων θρεπτικών συστατικών του τροφίμου. Ο ρυθμός των χημικών αντιδράσεων επηρεάζεται, αφενός από τη συμπύκνωση των διαλυμάτων, που λαμβάνει χώρα, με αποτέλεσμα τα αντιδρώντα να έρχονται σε μικρότερη απόσταση μεταξύ τους και, αφετέρου από φαινόμενα διάχυσης. Η συμπεριφορά των ενζύμων εξαρτάται από τη φύση τους, τα χαρακτηριστικά και τη συγκέντρωση των ουσιών του συστήματος, το pH και τη θερμοκρασία (Fu & Labuza, 1997).

Η οξείδωση των λιπαρών συστατικών των προϊόντων υπό κατάψυξη οφείλεται σε ενζυμικούς και μη μηχανισμούς. Η κύρια αντίδραση οξειδωτικής αλλοίωσης είναι η αντίδραση με μοριακό οξυγόνο (αυτοοξείδωση), η οποία οδηγεί στην ανάπτυξη πτητικών ενώσεων με ταγγή οσμή και γεύση (Parker, 2003). Όσον αφορά στη μετουσίωση των πρωτεϊνών, οι βασικοί παράγοντες που συμβάλλουν στην καταστροφή της δομής των πρωτεϊνών είναι ο σχηματισμός και η ανακρυστάλλωση του πάγου, η αφυδάτωση, η συμπύκνωση των διαλυμάτων, οι μεταβολές των λιπαρών και η απελευθέρωση (σε ορισμένες περιπτώσεις) μεταβολιτών από τα κύτταρα. Η μετουσίωση και η απώλεια της λειτουργικότητας των πρωτεϊνών έχει πολυάριθμες συνέπειες, όπως μειωμένη διαλυτότητα, μεταβολή της ικανότητας συγκράτησης νερού, απώλεια της βιολογικής δραστηριότητας (ειδικά ενζυμικής), κ.α.

Κατά τη διάρκεια της κατάψυξης των τροφίμων, οι περισσότεροι μικροοργανισμοί δεν καταστρέφονται και είναι ικανοί να επιζήσουν, ακόμη και αν αδρανοποιηθούν κατά τη διάρκεια της αποθήκευσης. Η θερμοκρασία στην οποία δεν παρατηρείται καμία ανάπτυξη μικροοργανισμών, πρακτικά, είναι οι -18°C . Ενδεχομένως να λαμβάνει χώρα μια μικρή μείωση του συνολικού μικροβιακού πληθυσμού, χωρίς να είναι όμως αξιόλογη για τα περισσότερα τρόφιμα. Για το λόγο αυτό, τα αποψυγμένα τρόφιμα είναι το ίδιο ευάλωτα με τα νωπά. Η βλάβη που επιφέρει η ανάπτυξη στα μικροβιακά κύτταρα οφείλεται σε δύο λόγους. Ο ένας είναι τα ωσμωτικά φαινόμενα (κατά την επιβολή χαμηλών ρυθμών ανάπτυξης) που προκαλούν συρρίκνωση των κυττάρων και κατάψυξη του εξωκυτταρικού νερού. Ο άλλος λόγος είναι η

αφυδάτωση των κυττάρων, η οποία, λόγω της μεταβολής της συγκέντρωσης των διαλυμάτων, οδηγεί σε αποικοδόμηση των βιολογικών μακρομορίων και των συστατικών των μεμβρανών τους. Κατά την εφαρμογή υψηλών ρυθμών κατάψυξης, δεν παρατηρείται μεταφορά εσωκυτταρικού νερού διαμέσου της κυτταρικής μεμβράνης, αλλά επιβαρύνονται η δομή και η λειτουργία της από το σχηματισμό κρυστάλλων πάγου στο εσωτερικό των κυττάρων (Γιάννου, 2009).

Η ποιότητα των αρτοσκευασμάτων από κατεψυγμένο ζυμάρι επηρεάζεται τόσο από τη σύσταση του ζυμαριού, όσο και από τις συνθήκες της παραγωγής, όπως ο χρόνος ανάμιξης, ο ρυθμός κατάψυξης, η θερμοκρασία και η διάρκεια αποθήκευσης υπό κατάψυξη και ο ρυθμός απόψυξης (Giannou et al., 2006). Οι παράγοντες αυτοί μπορούν να δράσουν είτε ανεξάρτητα, είτε συνεργιστικά, και έχουν ως συνέπεια τη μείωση της δραστηριότητας της μαγιάς, με αποτέλεσμα τη μειωμένη παραγωγή CO₂ ή την αποδυνάμωση ή καταστροφή του πλέγματος της γλουτένης. Συνέπεια αυτών είναι η περιορισμένη συγκράτηση CO₂ από το πλέγμα της γλουτένης και η μείωση της αρτοποιητικής ικανότητας (Autio & Mattila-Sandholm, 1992; Kenny et al., 1999; Rasanen et al., 1997; Perron et al., 1999; Takano et al., 2002; Salas-Mellado & Chang, 2003; Ribotta et al., 2003; Ribotta et al., 2004). Οι βασικές συνέπειες των φαινομένων αυτών είναι η αύξηση του χρόνου ζύμωσης, η αύξηση της εκτατότητας του ζυμαριού, η μείωση του όγκου των αρτοσκευασμάτων, η αλλοίωση των χαρακτηριστικών υφής και η μη σταθερή απόδοση (Wolt et al., 1984; Ribotta et al., 2001).

Όσον αφορά στα ημι-κλιβανισμένα αρτοσκευάσματα, βασικό πρόβλημα αποτελεί η ποιοτική υποβάθμιση της κόρας του άρτου, η οποία υπόκειται σε καταστάσεις έντονης θέρμανσης και ψύξης, με κίνδυνο την υπερβολική αφυδάτωση της επιφάνειας του άρτου. Σε κάποιες ακραίες περιπτώσεις, μπορεί να συμβεί ακόμη και αποκόλληση της κόρας, ως αποτέλεσμα διαδοχικής αφυδάτωσης της επιφάνειας του ζυμαριού κατά τη διόγκωση και τον κλιβανισμό (LeBail, et al., 2005).

3.7.3 Η επίδραση της κατάψυξης στα συστατικά του ζυμαριού

3.7.3.1 Άλευρο

Σε κάθε περίπτωση αρτοποιήσης, η ποιότητα του αλεύρου παίζει σημαντικό ρόλο για την παραγωγή ενός προϊόντος καλής ποιότητας. Στην περίπτωση των κατεψυγμένων αρτοσκευασμάτων, η διαδικασία της κατάψυξης, η μεταφορά, οι πιθανές διακυμάνσεις της θερμοκρασίας και η απόψυξη απαιτούν άλευρα καλύτερης ποιότητας από αυτά που χρησιμοποιούνται για τη συμβατική αρτοποιία. Σημαντικό ρόλο στην αρτοποιία κατέχουν οι πρωτεΐνες της γλουτένης, οι οποίες είναι υπεύθυνες για το σχηματισμό του πλέγματος που θα συγκρατήσει το αέριο μέσα στη δομή του ζυμαριού και θα προκαλέσει τη διόγκωσή του. Συνεπώς, διεργασίες που επηρεάζουν τη δομή των πρωτεϊνών, θα επηρεάσουν και την ποιότητα του τελικού προϊόντος.

Σύμφωνα με έρευνες που έχουν γίνει, όπου η ενεργότητα της μαγιάς του κατεψυγμένου προϊόντος διατηρήθηκε στα ίδια επίπεδα με την ενεργότητα αυτής του φρέσκου προϊόντος, βρέθηκε ότι κύρια αιτία για τη μείωση του όγκου του προϊόντος είναι η εξασθένηση της γλουτένης, και κατά συνέπεια του ζυμαριού, λόγω της κατάψυξης, της αποθήκευσης και της απόψυξης που υφίσταται. Επίσης, βρέθηκε ότι η δύναμη του ζυμαριού και η ικανότητα διόγκωσης μειώθηκαν σημαντικά και απότομα κατά την κατάψυξη και την απόψυξη του ζυμαριού και σταδιακά κατά την περίοδο αποθήκευσής του υπό κατάψυξη (Leon et al., 2004).

Η διατήρηση της αντοχής και της ικανότητας διόγκωσης του προϊόντος, κατά την αποθήκευσή του υπό κατάψυξη, μπορεί να επιτευχθεί με τη χρήση μετρίου ή δυνατού αλεύρου (Autio & Sinda, 1992; Lu & Grant, 1999). Τα ζυμάρια που προέρχονται από δυνατό άλευρο είναι, γενικά, ανθεκτικότερα στην καταπόνηση, ενώ στα κατεψυγμένα ζυμάρια προτιμάται η χρήση κόκκινου σκληρού ανοιξιάτικου σίτου (hard red spring (HRS) wheat) με ισχυρή ικανότητα διόγκωσης αμύλου, επειδή το άλευρό του διαθέτει μεγαλύτερη δύναμη γλουτένης σε σύγκριση με άλλους τύπους αλεύρου (Bhattacharya et al., 2003). Η περιεκτικότητα ενός αλεύρου σε πρωτεΐνη είναι υποδεέστερης σημασίας σε σχέση με την ποιότητα (δύναμη) της γλουτένης (Leon et al., 2004).

Σύμφωνα με τη βιβλιογραφία (Rasanen et al., 1998), η αρτοποιητική ικανότητα ενός αλεύρου για κατεψυγμένα ζυμάρια επηρεάζεται, επίσης, σε μεγάλο βαθμό, από το λόγο υδατοδιαλυτών πρωτεϊνών προς γλουτένη. Όσο πιο μεγάλος είναι ο λόγος

αυτός, τόσο πιο μεγάλη θα είναι η διόγκωση των δειγμάτων. Επιπλέον, η εφαρμογή προζύμωσης για μικρότερο χρονικό διάστημα (25 αντί για 40 min) πριν από την κατάψυξή τους, οδηγεί σε μεγαλύτερη διόγκωση κατά 20%. Η διαφορά αυτή αυξάνεται κατά την παρατεταμένη αποθήκευση του ζυμαριού.

3.7.3.2 Νερό

Το νερό που περιέχεται μέσα στο ζυμάρι είναι ελεύθερο και δρα ως πλαστικοποιητής. Στα κατεψυγμένα προϊόντα, το νερό βρίσκεται σε στερεή μορφή, με αποτέλεσμα να μην μπορεί να αντιδράσει όταν εφαρμόζονται υψηλοί ρυθμοί κατάψυξης και πολύ χαμηλές θερμοκρασίες. Στο κατεψυγμένο ζυμάρι και στα ημι-κλιβανισμένα αρτοσκευάσματα, ωστόσο, παραμένει κάποιο ποσοστό μη κατεψυγμένου νερού, το οποίο διαχέεται αργά και βοηθά στο σχηματισμό δεσμών υδρογόνου (Barcenas et al. 2004).

Στα προϊόντα κατεψυγμένου ζυμαριού προτείνεται η ενσωμάτωση μικρότερης ποσότητας νερού (3-5%), ώστε να μειωθεί το ποσοστό του ελεύθερου νερού που ευθύνεται για τη μετανάστευση αυτού και το σχηματισμό κρυστάλλων (Γιάννου, 2009). Η μετανάστευση του νερού, που παρατηρείται κατά τη διάρκεια της κατάψυξης και της αποθήκευσης, ενισχύει την ανάπτυξη διαμοριακών και ενδομοριακών δεσμών μεταξύ των μορίων της γλουτένης, οδηγώντας έτσι, σε μη αντιστρεπτές μεταβολές στη δομή του πρωτεϊνικού πλέγματος (Matuda et al., 2005). Συστήνεται, επίσης, η χρήση νερού χαμηλής θερμοκρασίας, καθώς επιβραδύνει την ζυμωτική δράση της μαγιάς και επιταχύνει την κατάψυξη του ζυμαριού (Selomulyo & Zhou, 2007).

Η επίδραση του νερού συνδέεται, επίσης, με την επίδραση του χρόνου κατάψυξης στη σκληρότητα της ψίχας. Κατά τον κλιβανισμό, ένα μέρος του νερού χάνεται, ενώ το υπόλοιπο συνδέεται με τις βιοπολυμερείς ουσίες που υπάρχουν στο σύστημα. Σιγά σιγά, η κινητικότητα του νερού μειώνεται, στην ψίχα όμως συνεχίζεται η αργή διάχυση νερού προς τις υδρόφιλες ομάδες, όπως τα μόρια γλυκόζης και οι υδροξυομάδες, που είναι διαθέσιμες για το σχηματισμό δεσμών υδρογόνου. Αυτοί οι δεσμοί υδρογόνου ενισχύουν το σχηματισμό γεφυρών μεταξύ των αλυσίδων και των πολυμερών μορίων του ζυμαριού, την ανακατανομή του νερού και την ανακρυστάλλωση της αμυλοπηκτίνης, και έτσι ενισχύουν το μαγατιάτεμα των αρτοσκευασμάτων. Τέλος, άλλη μία αντίδραση που ενισχύει το μαγατιάτεμα αυτό

είναι ο σχηματισμός δεσμών υδρογόνου μεταξύ της γλουτένης και του αμύλου (Schiraldi et al., 1996b).

3.7.3.3 Μαγιά

Από την κατάψυξη του ζυμαριού επηρεάζονται τόσο η βιωσιμότητα των κυττάρων της μαγιάς, όσο και η δραστηκότητά τους. Ο όγκος του διοξειδίου του άνθρακα χρησιμοποιείται ως μέτρο της δραστηκότητας της μαγιάς, καθώς παράγεται κυρίως από αυτά τα κύτταρα. Η καταστροφή αυτή προέρχεται από συχνές διακυμάνσεις της θερμοκρασίας συντήρησης και είναι ακόμη μεγαλύτερη όταν η θερμοκρασία βρίσκεται πλησίον του σημείου πήξης του νερού. Η κατάσταση αυτή μπορεί να ερμηνευτεί βάση των φαινομένων που λαμβάνουν χώρα κατά την κατάψυξη.

Ο τρόπος με τον οποίο τα κύτταρα εξισορροπούν το περιεχόμενό τους (equilibrate their content) εξαρτάται από το ρυθμό της ψύξης. Εάν τα κύτταρα ψυχθούν με αργό ρυθμό, το νερό μπορεί να απομακρυνθεί από τα κύτταρα λόγω της διαφοράς τάσης ατμών που υπάρχει με τον εξωτερικό πάγο. Αντίθετα, αν ψυχθούν γρήγορα, το νερό δεν προλαβαίνει να βγει από τα κύτταρα και έτσι σχηματίζεται ενδομοριακός πάγος που μπορεί να οδηγήσει στη διάρρηξη των κυτταρικών μεμβρανών. Η κυτταρική αφυδάτωση έχει ως αποτέλεσμα τη συμπύκνωση εσωτερικών διαλυμάτων, γεγονός που μπορεί επίσης να προκαλέσει ζημιά στις κυτταρικές μεμβράνες. Συνεπώς, υπάρχει ένας βέλτιστος ρυθμός ψύξης, ο οποίος είναι αρκετά αργός, ώστε να εμποδίζει το σχηματισμό του ενδομοριακού πάγου και αρκετά ταχύς, ώστε να ελαχιστοποιεί την έκθεση των κυττάρων σε υψηλές συγκεντρώσεις διαλυμάτων.

Εκτός από το ρυθμό κατάψυξης, σημαντικός παράγοντας είναι και οι συνθήκες αποθήκευσης. Όταν η θερμοκρασία αποθήκευσης είναι χαμηλότερη από τη θερμοκρασία κατάψυξής τους (freezing temperature), τα ζυμάρια φαίνεται να είναι λιγότερο σταθερά.

Η σταθερότητα της μαγιάς είναι αντιστρόφως ανάλογη προς το χρόνο της ενεργής ζύμωσης που λαμβάνει χώρα πριν την κατάψυξη. Αυτό οφείλεται στη μεγαλύτερη ευαισθησία που εμφανίζουν τα ενεργά κύτταρα και στην ανάπτυξη οσμωτικής πίεσης στο ζυμάρι. Τα ενεργά κύτταρα συγκεκριμένα έχουν λεπτότερη μεμβράνη από τα αδρανή κύτταρα και είναι πιο επιρρεπή σε βλάβες. Ταυτόχρονα, τα προϊόντα της

ζύμωσης, όπως η αιθανόλη και άλλα πτητικά συστατικά έχουν αρνητική επιρροή στη ζυμωτική δράση των κυττάρων.

Προκειμένου να αντιμετωπιστεί η απώλεια δράσης της μαγιάς, προστίθεται μεγαλύτερη ποσότητα αυτής, σε ποσοστό 50-100% περισσότερο. Ωστόσο, η υπερβολική αύξησή της μπορεί να προσδώσει στο τελικό προϊόν χαρακτηριστική γεύση μαγιάς (yeasty taste). Άλλες τεχνικές είναι η εφαρμογή ταχειών μεθόδων ανάμιξης και ανάπτυξης του ζυμαριού (no-time dough methods), η καθυστέρηση της προσθήκης της μαγιάς και η διατήρηση της θερμοκρασίας του ζυμαριού κάτω από τους 24°C (Ribbota, 2006).

3.7.3.4 Λοιπά συστατικά ως βοηθητικοί παράγοντες

Τα σάκχαρα, λόγω των υγροσκοπικών ιδιοτήτων τους, ενισχύουν την απορρόφηση του νερού από το ζυμάρι, με αποτέλεσμα τη μείωση της ποσότητας του ελεύθερου νερού και τον περιορισμό της βλάβης των κυττάρων της μαγιάς και των αρνητικών επιδράσεων στη σταθερότητα του ζυμαριού. Για τους λόγους αυτούς, στα κατεψυγμένα προϊόντα προτείνεται η χρήση σακχάρων σε ελαφρώς αυξημένες συγκεντρώσεις σε σχέση με τα συμβατικά αρτοσκευάσματα. Ωστόσο, τα σάκχαρα επηρεάζουν την ανάπτυξη ωσμωτικών φαινομένων στα κύτταρα της μαγιάς κατά τη διάρκεια της κατάψυξης, και έτσι προτείνεται η χρήση μαγιάς με στελέχη ανθεκτικά σε ωσμωτικά φαινόμενα.

Η προσθήκη άλατος αυξάνει τη σταθερότητα, τη σκληρότητα και την ικανότητα του ζυμαριού να συγκρατεί τα αέρια. Ταυτόχρονα, επηρεάζει το ρυθμό ζύμωσης (αύξηση της συγκέντρωσης του άλατος, συνεπάγεται μείωση του ρυθμού ζύμωσης) και ενισχύει το πλέγμα της γλουτένης (Γιάννου, 2009).

Τέλος, η βελτίωση της αντοχής του ζυμαριού κατά την κατάψυξη και την αποθήκευσή του μπορεί να επιτευχθεί μέσω της ενσωμάτωσης λιπαρών σε αυτό, σε ποσοστό 0,7-1% ως προς το άλευρο. Επίσης, τα λιπαρά προστατεύουν τη δομή του ζυμαριού κατά το σχηματισμό πάγου. Η σύσταση του λιπαρού (λιπαρά οξέα) επηρεάζει την εκτατότητα του κατεψυγμένου ζυμαριού, ενώ τα σταγονίδια του στη φάση διασποράς αναδιατάσσονται, με αποτέλεσμα να αυξάνονται σε μέγεθος, ειδικά κατά την απόψυξη του ζυμαριού. Στο κατεψυγμένο ζυμάρι προτείνεται η αύξηση της

περιεκτικότητας σε λιπαρά, ενώ προτιμάται η χρήση κορεσμένου ή μερικώς κορεσμένου λιπαρού (Aibara et al., 2005; Jeremiah, 1996; Kulp et al., 1995).

3.7.4 Τεχνολογία κατάψυξης – Εξοπλισμός

Εκτός από τον εξοπλισμό που χρησιμοποιείται στη συμβατική αρτοποιία, όπως αναμίκτης, μορφοποιητές και λοιπά μηχανήματα, στην παραγωγή κατεψυγμένων προϊόντων απαιτείται, επιπλέον, ένα σύστημα κατάψυξης. Ανάλογα με το μέσο μετάδοσης θερμότητας, οι καταψύκτες διακρίνονται σε καταψύκτες άμεσης επαφής, εμφύσησης αέρα ή άλλου αερίου και εξάτμισης υγρού/στερεού. Με βάση μία άλλη ταξινόμηση, τα συστήματα κατάψυξης μπορούν να διακριθούν σε δύο κατηγορίες. Η πρώτη κατηγορία περιλαμβάνει μηχανικά συστήματα, τα οποία εξατμίζουν και συμπιέζουν ένα ψυκτικό σε συνεχή κύκλο και χρησιμοποιούν κρύο αέρα, κρύο υγρό ή κρύες επιφάνειες για την απομάκρυνση της θερμότητας. Στη δεύτερη κατηγορία ανήκουν οι κρυογενικοί καταψύκτες, οι οποίοι χρησιμοποιούν υγρό άζωτο, υγρό ή στερεό διοξείδιο του άνθρακα ή υγρό Freon. Οι κυριότεροι καταψύκτες που χρησιμοποιούνται στη βιομηχανία τροφίμων περιγράφονται παρακάτω (Le Bail et al., 2006; Τζιά & Ωραιοπούλου, 2007).

Μηχανικοί καταψύκτες

Οι καταψύκτες με ρεύμα αέρα (Blast freezers) συνήθως περιλαμβάνουν ένα κλειστό, μονωμένο χώρο όπου κυκλοφορεί ρεύμα αέρα θερμοκρασίας -30 έως -40°C. Τα αρτοσκευάσματα τοποθετούνται σε δίσκους ή διάτρητες ταινίες και μετακινούνται αργά στο θάλαμο αυτό. Η ταχύτητα του αέρα είναι υψηλή (12-13m/s) και η έντονη ανακύκλωσή του επιτρέπει την ταχύτερη κατάψυξη του τροφίμου, αυξάνοντας τον επιφανειακό συντελεστή μετάδοσης θερμότητας. Η ροή του αέρα μπορεί να είναι είτε παράλληλη είτε κάθετη προς το προϊόν. Σε ασυνεχούς λειτουργίας καταψύκτες τα αρτοσκευάσματα στοιβάζονται σε δίσκους, σε θαλάμους ή κιβώτια-θαλάμους, ενώ στους καταψύκτες συνεχούς λειτουργίας τοποθετούνται σε κυλιόμενα οχήματα (χωρίς να αφήνονται κενά για δίοδο του αέρα μέσω αυτών) ή σε μεταφορικές ταινίες που μεταφέρουν τα τρόφιμα μέσω σήραγγας. Στους καταψύκτες αυτού του είδους περιέχεται, επίσης, ένα μηχανικό σύστημα κατάψυξης και φυσητήρες που παρέχουν τον ψυχρό αέρα στη μονάδα.

Ένα εξελιγμένο μοντέλο αυτού του είδους καταψυκτών είναι ο καταψύκτης συνεχούς μεταφορικής ταινίας (continuous belt freezer), ο οποίος αποτελείται από μία ή περισσότερες ταινίες, τοποθετημένες η μία πάνω στην άλλη, ή από σπειροειδή ταινία περιστρεφόμενη μέσα σε χώρο σχήματος τυμπάνου, πάνω στις οποίες στοιβάζονται τα αρτοσκευάσματα. Η ταινία είναι κατασκευασμένη από μεταλλικό πλέγμα και ο αέρας διοχετεύεται κάθετα προς την ταινία διαμέσου των προϊόντων, γεγονός που εξυπηρετεί την κατάψυξη ασυσκευάστων προϊόντων. Οι ταινίες μετά την προκατεργασία της κατάψυξης εισέρχονται και εξέρχονται μέσα στους καταψύκτες. Ο συγκεκριμένος καταψύκτης εκθέτει το προϊόν σε πολλαπλές εξόδους ψυχρού αέρα ή το τοποθετεί αυτόματα σε μετακινούμενους δίσκους (trays) που κινούνται κατά μήκος του χώρου κατάψυξης. Οι καταψύκτες σπειροειδούς μεταφορικής ταινίας (Spiral conveyor freezers) παρέχουν πολύ μεγαλύτερη διαδρομή του προϊόντος μέσα στο χώρο κατάψυξης σε σχέση με τους απλούς καταψύκτες συνεχούς ζώνης και συνεπώς μεγαλύτερο χρόνο έκθεσης σε ρεύμα ψυχρού αέρα. Σχεδιάζονται έτσι, ώστε να ελαχιστοποιούν την απώλεια βάρους του προϊόντος και να εξασφαλίζουν ήπιο χειρισμό κατά τη διαδικασία της κατάψυξης. Οι σπειροειδείς ταινίες απαιτούν σχετικά μικρή επιφάνεια, έχουν υψηλή δυναμικότητα, μικρό κόστος συντήρησης και διαθέτουν αυτόματο φόρτωση και εκφόρτωση. Το κόστος χειρισμού για αυτές δεν είναι απαραίτητα μικρότερο, αλλά έχουν το πλεονέκτημα ότι προσαρμόζονται καλύτερα μέσα στις εργοστασιακές εγκαταστάσεις και για αυτό το λόγο προτιμώνται.

Κρυογενικοί καταψύκτες

Η δεύτερη σημαντική κατηγορία εξοπλισμού κατάψυξης τροφίμων είναι οι κρυογενικές μονάδες, οι οποίες λειτουργούν με υγρό άζωτο ή διοξείδιο του άνθρακα. Αποτελούνται από ένα μεταφορικό σύστημα, συνήθως κάποιο συρμάτινο πλέγμα, μέσα σε μία μονωμένη σήραγγα, και ένα σύστημα ανακυκλοφορίας, το οποίο μεταφέρει κρύο αέριο με υψηλή ταχύτητα πάνω στα προϊόντα. Τα προϊόντα συνήθως προψύχονται με αέριο άζωτο και έπειτα, είτε ψεκάζονται με υγρό άζωτο, είτε καταψύχονται πλήρως από το αέριο. Οι θερμοκρασίες κατάψυξης που επιτυγχάνονται σε μία κρυογενική μονάδα είναι χαμηλότερες από αυτές σε ένα σύστημα που λειτουργεί με ρεύμα αέρα, καθώς το σημείο ζέσεως του υγρού αζώτου, για παράδειγμα, είναι $-195,79^{\circ}\text{C}$. Οι κρυογενικοί ρυθμοί ψύξης είναι συχνά πολύ ταχύτεροι σε σχέση με τους μηχανικούς ρυθμούς. Ωστόσο, η συνεχής κατανάλωση του ψυκτικού μέσου αυξάνει σημαντικά το κόστος χειρισμού (Le Bail et al., 2006).

3.8 Νέες πηγές αλεύρων στην παραγωγή ψωμιού – Καινοτόμα αρτοσκευάσματα

Εκτός από τις συνηθισμένες πηγές αλεύρων που χρησιμοποιούνται για την παραγωγή ψωμιού, τα τελευταία 30 χρόνια γίνεται έρευνα και προσπάθεια δημιουργίας νέων προϊόντων. Αυτό επιτυγχάνεται με διάφορους τρόπους όπως: η χρήση άλλων σπόρων δημητριακών, εκτός από σιτάρι και σίκαλη, η προσθήκη άλλων συστατικών ζωικής ή φυτικής προέλευσης, η εφαρμογή νέων διεργασιών ψησίματος και τέλος η μεταβολή της διατροφικής/θρεπτικής αξίας των αρτοσκευασμάτων (π.χ. διαιτητικά ή πολυβιταμινούχα προϊόντα).

3.7.1 Χρήση άλλων σπόρων δημητριακών

Πολλές φορές χρησιμοποιούνται άλλοι σπόροι ως πηγές αλεύρων στην αρτοποιία, προκειμένου να προσδώσουν ποικιλία ή άλλες θρεπτικές ή οργανοληπτικές ιδιότητες στο προϊόν. Τέτοιες πηγές είναι η σίκαλη, το καλαμπόκι, το ρύζι, η σόγια, η πατάτα, η βρώμη και το κριθάρι. Όλα τα άλευρα χρησιμοποιούνται σε συνδυασμό με το αλεύρι σίτου, καθώς δεν περιέχουν γλουτένη κατάλληλης ποιότητας και σε κατάλληλη ποσότητα.

Σίκαλη (Rye – Secale Cereale)

Μετά το αλεύρι σίτου, το αλεύρι σίκαλης είναι το πιο διαδεδομένο στην αρτοποιία. Παρόλο που η σίκαλη είναι από τους ελάχιστους σπόρους με αποθηκευτικές πρωτεΐνες κατάλληλες να σχηματίσουν το απαραίτητο δίκτυο, η γλουτένη που περιέχει είναι αδύναμη και κατώτερη συγκριτικά με τη γλουτένη του σίτου. Συνεπώς, αρτοσκευάσματα από 100% σίκαλη είναι συμπαγή και με πυκνή δομή (Lai, 2006).

Η άλεση της σίκαλης γίνεται όπως και του σίτου και παράγεται σκουρόχρωμο άλευρο με υψηλή περιεκτικότητα σε ανόργανα συστατικά. Χρησιμοποιείται στην παρασκευή άρτου με προζύμι, μόνη της, ή σε συνδυασμό με άλευρο σίτου. Η σίκαλη έχει μεγάλο ποσοστό υδατοδιαλυτών πρωτεϊνών και έτσι δεν μπορεί να διαμορφώσει σταθερή μάζα γλουτένης όπως ο σίτος. Ο καρπός της έχει υψηλή περιεκτικότητα σε πεντοζάνες, ειδικά στο περίβλημά του, ενώ στον πυρήνα κυμαίνεται μεταξύ 7-10% και στο άλευρο μεταξύ 2-4%, γεγονός που επηρεάζει τη συμπεριφορά των αλεύρων σίκαλης κατά τον κλιβανισμό. Αποτελεί καλή πηγή βιταμινών, μετάλλων, διαιτητικών ινών, β-γλυκάνης και λιγνάνης που συντελεί στην πρόληψη του καρκίνου (Karaoglu, 2006; Seibel et al., 2006).

Αραβόσιτος (Καλαμπόκι - Corn)

Το άλευρο αραβοσίτου προέρχεται από δύο ποικιλίες κίτρινου και άσπρου (dent) αραβοσίτου. Παρουσιάζει τη μεγαλύτερη μέση παραγωγή από όλους τους δημητριακούς καρπούς παγκοσμίως. Καταναλώνεται κυρίως ως φρέσκος ή ανώριμος (πράσινος) ολόκληρος αραβόσιτος και χρησιμοποιείται για την παρασκευή άρτου αραβοσίτου. Άλλα δημοφιλή ανά τον κόσμο αρτοσκευάσματα από αραβόσιτο είναι οι tortillas και το arepas (μη ζυμούμενα αρτοσκευάσματα). Από την άλεση του σπόρου προκύπτουν, επίσης, και άλλα πολύτιμα προϊόντα, τα οποία χρησιμοποιούνται κυρίως για την παραγωγή σνακ ή δημητριακών πρωινού (Seibel et al., 2006).

Βρώμη (Oats)

Ένα μεγάλο μέρος της βρώμης χρησιμοποιείται για τη διατροφή των ζώων. Είναι ένας θρεπτικός σπόρος που αποτελεί πηγή πρωτεϊνών υψηλής ποιότητας και διαλυτών ινών (β -(1 \rightarrow 3,1 \rightarrow 4) γλυκάνης). Η β -γλυκάνη έχει βρεθεί από τον FDA ως υπεύθυνη για τη μείωση της ολικής και της LDL χοληστερόλης και την ταυτόχρονη διατήρηση της HDL χοληστερόλης (Faridi et al., 2000). Η βρώμη, είτε αποφλοιωμένη, είτε σε μορφή νιφάδων, αποτελεί ένα ιδιαίτερα θρεπτικό και αποδεκτό προϊόν και χρησιμοποιείται στην παραγωγή κουάκερ και παξιμαδιών βρώμης, αλεύρου για παιδικές τροφές και δημητριακών πρωινού (Seibel et al., 2006).

Κριθάρι (Hordeum vulgare)

Το κριθάρι είναι πιθανόν ο αρχαιότερος και ευρύτερα καλλιεργούμενος σπόρος στον κόσμο. Το αλεσμένο κριθάρι χρησιμοποιείται στην αρτοποιία, στην παραγωγή κουάκερ και κουσκούς, καθώς και σε δημητριακά πρωινού υπό μορφή νιφάδων. Τα προϊόντα κριθαριού εμφανίζουν υψηλή περιεκτικότητα σε β -γλυκάνες και έτσι θεωρούνται υγιεινά, καθώς μειώνουν τη χοληστερόλη του αίματος και προστατεύουν από καρδιαγγειακές παθήσεις και από τον καρκίνο του παχέως εντέρου (Brennan & Cleary, 2005; Dhingra & Jood, 2001; Gill, 2001).

Ρύζι (Oryza sativa)

Το ρύζι αποτελεί μία από τις σημαντικότερες καλλιέργειες στον πλανήτη. Καταναλώνεται, συνήθως, ως μαγειρεμένος σπόρος, αλλά χρησιμοποιείται και ως πρώτη ύλη για την παραγωγή πλήθους τροφίμων, όπως κράκερ, noodles και κέικ

ρυζιού. Επίσης, παράγεται άλευρο ρυζιού, το οποίο έχει μοναδικά χαρακτηριστικά, όπως ήπια γεύση και λευκό χρώμα, ενώ παράλληλα είναι εύπεπτο και έχει υποαλλεργικές ιδιότητες. Εμφανίζει χαμηλή περιεκτικότητα σε πρωτεΐνες και νάτριο, δεν έχει γλοιαδίνη και περιλαμβάνει εύκολα αφομοιώσιμους υδατάνθρακες, με αποτέλεσμα να είναι ιδανικό για ασθενείς με κοιλιοκάκη. Εντούτοις, το χαμηλό του πρωτεϊνικό περιεχόμενο και η έλλειψη πρωτεϊνών γλουτένης το καθιστούν μη ικανό για την παραγωγή αρτοσκευασμάτων με αποδεκτά χαρακτηριστικά, λόγω απουσίας του κατάλληλου πρωτεϊνικού δικτύου για τη συγκράτηση του διοξειδίου του άνθρακα. Για την αντιμετώπιση του προβλήματος αυτού, μπορεί να συνδυαστεί με άλλα άλευρα, όπως άλευρο σόγιας και άμυλο (κυρίως καλαμποκιού), προκειμένου να παραχθεί άρτος με ικανοποιητική διόγκωση και ομοιόμορφη δομή ψίχας (Gujral et al., 2003; Kadan et al., 2001; Sivaramakrishnan et al., 2004; Wang et al., 2000; Wringley, 2001).

Triticale

Το triticale αποτελεί τον πρώτο δημητριακό καρπό που δημιουργήθηκε από τον άνθρωπο και αποτελεί διασταύρωση σίτου και σίκαλης. Εμφανίζει ιδιότητες ενδιάμεσες μεταξύ σίτου και σίκαλης. Έτσι, η παραγωγή του δεν φτάνει αυτή του σίτου, ούτε εμφανίζει αξιόλογες αρτοποιητικές ιδιότητες, αλλά είναι πλούσιο σε πρωτεΐνη και βασικά αμινοξέα, όπως η σίκαλη. Τέλος, είναι ευαίσθητο στο χειρισμό του και απαιτεί προσοχή κατά την παραγωγή άρτου (Seguchi et al., 1999; Tohver et al., 2005).

Σόργο (Sorghum bicolor Moench)

Το σόργο αποτελεί ένα δημητριακό καρπό με πολλά οφέλη για τον ανθρώπινο οργανισμό, λόγω της υψηλής του περιεκτικότητας σε αντιοξειδωτικές ουσίες. Θεωρείται, επίσης, ασφαλές προϊόν για κατανάλωση από άτομα με κοιλιοκάκη και καλή βάση για την παραγωγή προϊόντων ελεύθερων γλουτένης (gluten-free) και άλλων ψημένων προϊόντων, όπως μπισκότα και σνακ (Seibel et al., 2006).

Σόγια

Οι σπόροι της σόγιας καλλιεργούνται εδώ και αιώνες στην Ασία. Ωστόσο, η παγκόσμια κατανάλωση της σόγιας έχει αυξηθεί τον τελευταίο καιρό. Παρόλο που οι σπόροι της σόγιας κατατάσσονται στην ίδια κατηγορία με τα όσπρια, η καλλιέργειά τους είναι παρόμοια με των σιτηρών. Η ανθρώπινη κατανάλωση του ολόκληρου σπόρου είναι χαμηλή, αλλά τα συστατικά της, και ειδικά αυτά που σχετίζονται με τις πρωτεΐνες της σόγιας έχουν αυξανόμενη κατανάλωση. Η σόγια περιέχει μια τάξη φυτοχημικών, τις ισοφλαβόνες, οι οποίες υποστηρίζουν τη λειτουργία του προστάτη, το καρδιαγγειακό σύστημα, τη δομή των οστών και την υγεία του δέρματος και των μαστών (Suthar et al., 2001). Το αλεύρι σόγιας που του έχουν αφαιρεθεί τα λιπαρά, συνήθως με εκχύλιση σε εξάνιο, είναι μία από τις πλουσιότερες πηγές ισοφλαβονών, της τάξης των 2 mg/g πρωτεΐνης σόγιας. Αντίστοιχα, το αλεύρι σόγιας που έχει υποστεί εκχύλιση με νερό περιέχει ισοφλαβόνες σε συγκέντρωση 1,5 mg/g πρωτεΐνης.

Οι πρωτεΐνες της σόγιας είναι διαθέσιμες σε τρεις μορφές, οι οποίες λαμβάνονται από απελαιωμένες νιφάδες σόγιας: άλευρο σόγιας, συμπύκνωμα πρωτεΐνης σόγιας και απομονωμένες πρωτεΐνες. Το άλευρο περιέχει 40-54% πρωτεΐνες, 30-32% υδατάνθρακες, 2.5-3.5% ίνες και κατά μέγιστο 1% λιπαρά. Η λειτουργικότητα του αλεύρου στηρίζεται στην ικανότητά του να δεσμεύει νερό και να απορροφά λιπαρά. Τα χαρακτηριστικά αυτά ποικίλλουν ανάλογα με το μέγεθος των κόκκων και το βαθμό της θερμικής επεξεργασίας που υπόκειται και οδηγεί σε μετουσίωση των πρωτεϊνών. Σε γενικές γραμμές, χαμηλή θέρμανση και μικρό μέγεθος σωματιδίων συνεπάγεται μεγαλύτερη λειτουργικότητα (Lai & Lin, 2006).

Πυρίανθος (*Chenopodium quinoa*)

Οι καρποί του πυρίανθου (ή ευρέως γνωστού ως quinoa) έχουν υψηλή περιεκτικότητα σε πρωτεΐνες (~14%), λιπαρά (~9%) και διαιτητικές ίνες (~13%). Λόγω του σχετικά υψηλού περιεχομένου τους σε σαπωνίνες/γλυκοζίδια (saponins) και άλλα αντιθρεπτικά συστατικά περιορίζεται η χρήση τους στα τρόφιμα, ενώ είναι αναγκαία η επεξεργασία τους για απομάκρυνση αυτών. Το άλευρο χρησιμοποιείται κυρίως ως κουάκερ ή σε νηπιακές τροφές, λόγω της υψηλής ενέργειας και πρωτεϊνικής του αξίας. Μπορεί να χρησιμοποιηθεί στην παραγωγή άρτου ή μπισκότων και, επειδή

είναι ελεύθερο γλουτένης, θεωρείται κατάλληλο για ασθενείς με κοιλιοκάκη (Seguchi et al., 1999).

*Ζέα (*Triticum aestivum* var. *spelta*)*

Η ζέα αποτελεί μια υποκατηγορία του κοινού σίτου, η οποία παρουσιάζεται να έχει υψηλότερη θρεπτική αξία και μεγαλύτερη αντοχή σε αντίξοες περιβαλλοντικές συνθήκες. Έχει υψηλότερο πρωτεϊνικό και λιπιδικό περιεχόμενο και μεγαλύτερη συγκέντρωση ορισμένων στοιχείων, όπως μαγνήσιο, σίδηρο, χαλκό και φωσφόρο. Επιπλέον, έχει διαφορετική σύσταση πρωτεϊνών από αυτές του κοινού σίτου. Τέλος, περιέχει γλουτένη όπως και το σιτάρι, η οποία όμως έχει διαφορετική δομή από την αντίστοιχη γλουτένη του σίτου. Χρησιμοποιείται στην παραγωγή άρτου, μπισκότων, κέικ και άλλων αρτοσκευασμάτων. Εκτενής αναφορά στο συγκεκριμένο είδος σιτηρού θα γίνει στο επόμενο κεφάλαιο.

3.7.2 Προσθήκη συστατικών ζωικής ή φυτικής προέλευσης

Πλήθος συστατικών ζωικής ή φυτικής προέλευσης είναι σήμερα διαθέσιμα και μπορούν να χρησιμοποιηθούν για να βελτιώσουν τα διατροφικά και οργανοληπτικά χαρακτηριστικά των αρτοσκευασμάτων. Οι πρώτες ύλες φυτικής προέλευσης περιλαμβάνουν φύτρο σιταριού, σταφίδες, μπαχαρικά, φυτικές ίνες και ελαιούχους σπόρους. Για παράδειγμα, σε γερμανικά αρτοποιεία χρησιμοποιούνται πάνω από 20 διαφορετικά είδη ελαιούχων σπόρων, με την προσθήκη να ανέρχεται κατ' ελάχιστο στα 8 kg ανά 100 kg αλεσμένου σιταριού. Οι πιο ευρέως χρησιμοποιούμενοι από αυτούς είναι η σόγια, οι ηλιόσποροι, οι λιναρόσποροι και οι κολοκυθόσποροι.

Αντίστοιχα, τα πιο συχνά χρησιμοποιούμενα υλικά ζωικής προέλευσης είναι γαλακτοκομικά προϊόντα, όπως σκόνη πλήρους ή αποβουτυρωμένου γάλακτος, σκόνη ξινόγαλου ή βούτυρο. Τυρόπηγμα, ορός γάλατος και γιαούρτι είναι συστατικά που επίσης χρησιμοποιούνται. Το βούτυρο χρησιμοποιείται ευρέως στην παραγωγή ψωμιού του τοστ. Είναι, φυσικά, δυνατή η αντικατάσταση του λιπαρού με κάποιο έλαιο, το οποίο θα έχει υψηλότερη διατροφική αξία, χωρίς σημαντικές διαφοροποιήσεις στη χρησιμοποιούμενη συνταγή. Η προσθήκη ζωικών συστατικών στο ψωμί προσφέρει ένα ιδιαίτερο άρωμα, το οποίο φαίνεται να είναι επιθυμητό και προτιμότερο από τους καταναλωτές.

3.7.3 Νέες διεργασίες κλιβανισμού

Στα παλαιότερα χρόνια, ο άρτος ψηνόταν σε φούρνους με ξύλα. Σήμερα, η διεργασία αυτή έχει επανενταχθεί στη βιομηχανία για λόγους μάρκετινγκ, ώστε να παραπέμπει σε σπιτικό προϊόν. Κατά τη διάρκεια του συμβατικού κλιβανισμού, η απώλεια βιταμινών στην κόρα μπορεί να φτάσει στο 30%. Έτσι, ειδικά ψωμιά ολικής άλεσης ψήνονται σε φούρνους με ατμό, με αποτέλεσμα να προλαμβάνεται η δημιουργία κόρας και η περαιτέρω απώλεια βιταμινών. Εάν απαιτείται, ωστόσο, η δημιουργία παχιάς κόρας, συστήνεται το ψήσιμο σε πέτρινο φούρνο. Στη Γερμανία, για μερικούς τύπους ψωμιού, εφαρμόζεται μία διεργασία που ονομάζεται «Gersteln». Προτού το ζυμάρι τοποθετηθεί μέσα στο φούρνο, επεξεργάζεται για λίγο πάνω από γυμνή φλόγα, ώστε να δημιουργηθούν σκούρα στίγματα στην επιφάνειά του.

3.7.4 Αρτοσκευάσματα με βελτιωμένη διατροφική αξία

Προκειμένου να ικανοποιηθούν συγκεκριμένες διατροφικές απαιτήσεις, η συνταγή των αρτοσκευασμάτων μπορεί να τροποποιηθεί αυξομειώνοντας ορισμένα συστατικά. Ωστόσο, συγκεκριμένοι ισχυρισμοί σχετικά με τη διατροφική αξία και τις ιδιότητες του προϊόντος μπορούν να γίνουν, μόνο όταν αυτές διαφέρουν σε ικανοποιητικό βαθμό από τις αντίστοιχες του παραδοσιακού προϊόντος. Όσον αφορά στον πρωτεϊνικό εμπλουτισμό, το περιεχόμενο σε πρωτεΐνες πρέπει να είναι τουλάχιστον 20% σε ξηρή βάση. Η αύξηση αυτή μπορεί να επιτευχθεί με προσθήκη συστατικών υψηλής περιεκτικότητας σε πρωτεΐνες, όπως μίγμα «ζωντανής» γλουτένης, γάλακτος και πρωτεΐνης σόγιας. Σχετικά με τη μείωση των υδατανθράκων, απαιτείται μείωσή τους σε βαθμό τουλάχιστον 30%, η οποία μπορεί να επιτευχθεί μόνο με σημαντική αύξηση των πρωτεϊνών.

Σημαντικότερη από τη μείωση των υδατανθράκων, είναι η ενεργειακή/θερμιδική μείωση. Στην αγορά υπάρχει ένα μεγάλο εύρος προϊόντων χαμηλού γλυκαιμικού δείκτη, αλλά και προϊόντων μειωμένου θερμιδικού περιεχομένου («light»). Στον όρο «light» μπορούν να δοθούν διάφορες ερμηνείες. Στο παρελθόν, σχετιζόταν με το πόσο εύπεπτο είναι ένα τρόφιμο, ενώ πλέον οι καταναλωτές θεωρούν ως light ένα προϊόν με χαμηλό θερμιδικό περιεχόμενο και συνήθως με χαμηλή περιεκτικότητα σε λιπαρά. Στην Ευρωπαϊκή Ένωση, η μείωση του θερμιδικού περιεχομένου των τροφίμων ρυθμίζεται από το νόμο. Στον τομέα των σιτηρών και των προϊόντων τους, το ενεργειακό περιεχόμενο ενός τέτοιου άρτου πρέπει να είναι χαμηλότερο από 840

kJ ή 200 kcal ανά 100 g προϊόντος. Η μείωση αυτή επιτυγχάνεται είτε με αντικατάσταση λευκού αλεύρου από άλευρο ολικής άλεσης, είτε με αύξηση του περιεχομένου σε φυτικές ίνες μέσω προσθήκης κλασμάτων υψηλής περιεκτικότητας σε αυτές ή με αύξηση της υγρασίας του άρτου μέσω ουσιών με μεγάλη ικανότητα δέσμευσης νερού, όπως τα υδροκολλοειδή. Εάν η συνταγή έχει μεγάλη περιεκτικότητα σε λιπαρά (όπως στην περίπτωση του ψωμιού για τوست), αυτά μπορούν να αντικατασταθούν με κατάλληλα υποκατάστατα.

Άλλο είδος ενίσχυσης των αρτοσκευασμάτων είναι ο εμπλουτισμός με βιταμίνες. Συνήθως τα προϊόντα αυτά παράγονται από άλευρα με χαμηλό βαθμό άλεσης. Η προσθήκη μίγματος βιταμινών ή προϊόντων εκ φύσεως πλούσιων σε βιταμίνες, όπως για παράδειγμα φύτρο σιταριού, αυξάνει την περιεκτικότητα σε βιταμίνες, φτάνοντας αυτή των προϊόντων από άλευρο ολικής άλεσης.

Τέλος, καθώς η αυξημένη πρόσληψη αλατιού έχει συσχετιστεί με αυξημένη αρτηριακή πίεση, έχουν παραχθεί νέα αρτοσκευάσματα με μειωμένη περιεκτικότητα σε χλωριούχο νάτριο. Η μείωση αυτού στο μισό (250 mg ανά 100 g άρτου) φαίνεται να μην επηρεάζει τα οργανοληπτικά χαρακτηριστικά του προϊόντος. Είναι δυνατή και περαιτέρω μείωση, σε περιεκτικότητα χαμηλότερη από 40 mg νατρίου ανά 100 g άρτου, αλλά μπορεί να συνοδεύεται από προβλήματα κατά τις διεργασίες παραγωγής, όπως διαταραχές στη συμπεριφορά του ζυμαριού, φτωχή συγκράτηση αερίου και ήπια (άνοστη) γεύση. Τα άλευρα ολικής άλεσης είναι κατάλληλα για τέτοιου είδους εφαρμογές, καθώς χαρακτηρίζονται από έντονη και αρωματική γεύση.

3.7.5 Βιολογικά αρτοσκευάσματα

Άλλη μία νέα τάση ανάμεσα στους καταναλωτές (και ειδικά στους νεότερους) είναι η κατανάλωση υγιεινότερων προϊόντων, χωρίς συντηρητικά και προερχόμενων από σιτηρά που καλλιεργήθηκαν χωρίς λιπάσματα και φυτοφάρμακα. Σύμφωνα με την Ευρωπαϊκή Κοινότητα, για να χρησιμοποιηθεί ένα άλευρο για την παραγωγή βιολογικών αρτοσκευασμάτων, πρέπει να προέρχεται από σιτηρό που έχει καλλιεργηθεί υπό τις συνθήκες που περιγράφονται στην αντίστοιχη νομοθεσία. Στην πραγματικότητα, δε συμβαδίζουν όλα τα συστατικά που χρησιμοποιούνται σε μία συνταγή με τους νόμους αυτούς. Επιτρέπεται, ωστόσο, να περιέχονται μέχρι και 5% συμβατικά υλικά σε μία συνταγή για βιολογικά αρτοσκευάσματα (Seibel, 1994).

4. Ζέα

4.1 Ιστορικά στοιχεία

Η λατινική ονομασία του σπόρου που αναφέρεται σήμερα ως ζέα είναι *Triticum aestivum var. spelta* ή *Triticum Spelta* και συναντάται στην ξένη βιβλιογραφία ως «Farro» (Ιταλία) «Spelt» ή «Dinkel» (Γερμανία) (Percival, 1921; Puumalainen, 2002). Η λέξη «spelt» βρίσκεται για πρώτη φορά σε διάταγμα του αυτοκράτορα Διοκλητιανού (το 301 μ.Χ.), όπου δίνεται ως συνώνυμη με την ελληνική λέξη «όλυρα». Έναν αιώνα μετά, αναφέρεται σε αυτήν ο Ιερώνυμος (414 μ.Χ.), υποστηρίζοντας ότι είναι δημητριακό γερμανικής καταγωγής, το οποίο χρησιμοποιείτο από τους πρώτους κατοίκους της επαρχίας της Παννονίας, στην Ουγγαρία θεωρώντας ότι είναι το ίδιο με το δημητριακό φαρ (far) για το οποίο μιλούσαν μέχρι τότε Λατίνοι συγγραφείς. Το 13^ο αιώνα έγινε πλέον η διάκριση μεταξύ ζέας και «far», από τον Crescentius, ο οποίος τόνισε ότι το «far» μοιάζει με τη ζέα, αλλά έχει σπόρους μεγαλύτερου μεγέθους.

Υπάρχουν αμφιβολίες για το εάν η ζέα είναι πολύ πιο πρόσφατη από άλλα είδη δημητριακών ή όχι, καθώς δεν έχουν βρεθεί ίχνη της από τη Νεολιθική Εποχή ή την Εποχή του Χαλκού, εκτός από μία αμφίβολη αναφορά από το βοτανολόγο Heer σε ξύλινες κατοικίες της Ελβετίας. Δεν απαντάται, επίσης, σε αιγυπτιακούς τάφους και όλα τα στοιχεία που διατίθενται προς το παρόν συγκλίνουν στο συμπέρασμα ότι δεν ήταν γνωστή στους αρχαίους Έλληνες και Ρωμαίους. Σύμφωνα με τη βιβλιογραφία, είναι πιθανόν να είναι υβρίδιο μεταξύ ενός είδους σίτου, του «Emmer», και του «Aegilops cylindrical». Το συγκεκριμένο καλλιεργήθηκε για πρώτη φορά από τους προγόνους των αρχαίων γερμανικών φυλών που εγκαταστάθηκαν στις επαρχίες στα βόρεια των Άλπεων, όπου ευδοκίμωσε τουλάχιστον μέχρι και το 1920.

Η ζέα αποτελούσε το επικρατέστερο από τα σιτηρά με εύθραυστο στέλεχος για την παραγωγή άρτου, από τον 5^ο αιώνα μέχρι τις αρχές του 20^{ου} αιώνα (Ruibal-Mendieta et al., 2002). Γύρω στο 1900, καλλιεργείται κυρίως στη Γερμανία (314.671 εκτάρια), αλλά και σε μικρότερο βαθμό στην Ελβετία (39.000 εκτάρια) και στην Αυστρία (5.000 εκτάρια). Επιπλέον, σημαντικές ποσότητες αυτής καλλιεργούνται και στα βόρεια τμήματα της Ισπανίας, αλλά και σε μικρές περιοχές σε Σουηδία, Γαλλία και Ιταλία. Τέλος, δεν υπάρχουν αξιόπιστες αναφορές που να υποδηλώνουν την

καλλιέργειά της σε άλλες χώρες της Ευρώπης ή σε Αφρική, Περσία, Ινδία, Κίνα και στην ευρύτερη Ασία (Percival, 1921). Η καλλιέργειά της ελαττώθηκε τις τελευταίες δεκαετίες, ωστόσο, λόγω του πρόσφατου ενδιαφέροντος για τη χρήση του σπόρου στην αρτοποιία, αρχίζει και ανακάμπτει. Σε χώρες, βέβαια, όπως η Γερμανία, αποτελεί παραδοσιακό προϊόν, και η καλλιέργειά της συνεχίζεται μέχρι σήμερα (Ranhotra et al., 1995). Περί τα 1980, εισήχθη και καλλιεργήθηκε και στις ΗΠΑ (Ranhorta, 1995).

4.2 Γενικά χαρακτηριστικά

Η ζέα μπορεί να αναπτυχθεί οπουδήποτε ευδοκιμεί το κλασσικό σιτάρι. Παρουσιάζει μεγαλύτερη απόδοση, όταν καλλιεργείται σε γη κατάλληλη για σίτο, αλλά αναπτύσσεται επίσης και σε εδάφη τα οποία είναι πολύ ξηρά ή ελαφριά για τις πιο συχνά καλλιεργήσιμες ποικιλίες του *T. vulgare*. Είναι από τα πιο σκληρά δημητριακά και σπανίως επηρεάζεται από παγετούς που καταστρέφουν τα υπόλοιπα σιτηρά. Φυτρώνει σε όλα τα υψόμετρα και συγκεκριμένα από τα 300 μέχρι και τα 3000 μέτρα πάνω από την επιφάνεια της θάλασσας στη Γερμανία και τη Σουηδία (Percival, 1921). Για το λόγο αυτό, θεωρείται σιτηρό κατάλληλο για καλλιέργεια σε περιοχές όπου περιβαλλοντικοί παράγοντες εμποδίζουν την ανάπτυξη του σίτου (Zanetti et al., 2001).

Παρόλο που εμφανίζει ελαφρώς μικρότερη παραγωγικότητα από το κοινό σιτάρι και έχει πολύ εύθραυστα στάχυα με αποτέλεσμα να απαιτούνται ειδικοί μύλοι για την άλεση του σπόρου, η ζέα συναγωνίζεται επιτυχώς τις πιο παραγωγικές ποικιλίες του *T. vulgare* σε περιοχές όπου έχει καθιερωθεί η καλλιέργειά του. Βασικό της πλεονέκτημα είναι η αντοχή της στο ψύχος. Σύμφωνα με τη βιβλιογραφία (Percival, 1921), το χειμώνα του 1900-1901 στη Γερμανία, επλήγη το 38% (περίπου 7.300.000 στρέμματα) των καλλιεργειών του χειμερινού σίτου εξαιτίας του παγετού, σε αντίθεση με τη ζέα, που καταστράφηκε λιγότερο από το 1% (2.800 στρέμματα).

Άλλα πλεονεκτήματα του σιτηρού αυτού είναι η μεγαλύτερη αντοχή του σε ασθένειες ή προσβολές από έντομα και πτηνά. Το άχυρό του είναι πιο άκαμπτο από αυτό των κοινών ποικιλιών. Επιπλέον θερίζεται νωρίτερα από το κοινό σιτάρι και ο σπόρος της δεν βλαστάνει τόσο εύκολα, όταν αφηθεί σε περιβάλλον αυξημένης υγρασίας.

Η πλειοψηφία των ποικιλιών του dinkel είναι χειμερινού τύπου, εκτός από κάποιες λιγότερο ανθεκτικές, εαρινές ποικιλίες που καλλιεργούνται σε περιορισμένη κλίμακα. Οι πρώτες σπέρνονται τέλη Σεπτεμβρίου ή την πρώτη εβδομάδα του Οκτωβρίου, ενώ οι δεύτερες σπέρνονται τους μήνες Φεβρουάριο και Μάρτιο. Ωστόσο, αντί για την καλλιέργεια της εαρινής ποικιλίας του *T. Spelta*, συνήθως προτιμάται αυτή του γένους Emmer (*T. Dicoccum*). Όσον αφορά στο χρώμα του καρπού, προτιμώνται οι κόκκινες ποικιλίες προς καλλιέργεια καθώς εμφανίζουν μεγαλύτερη σκληρότητα και δυνατότερο άχυρο σε σχέση με τις λευκές ποικιλίες.

Η απόδοση του σπόρου κατά τη συγκομιδή κυμαίνεται από 220 μέχρι 250 kg αποφλοιωμένου σιτηρού ανά εκτάριο, με τη χαμηλότερη απόδοση να αναφέρεται στις εαρινές ποικιλίες. Μορφολογικά, ο σπόρος του dinkel έχει παχύτερο περικάρπιο και αποδίδει λιγότερο πίτουρο από το κοινό σιτάρι. Το άλευρό του έχει μικρότερη περιεκτικότητα σε σάκχαρα και δεξτρίνη από αυτό του κοινού σίτου και αντίστοιχα υψηλότερο περιεχόμενο σε άμυλο, ενώ η περιεκτικότητα σε άζωτο είναι περίπου ίδια στα δύο σιτηρά (Percival, 1921).

Το γένος *T. Spelta* είναι μία υποκατηγορία της ποικιλίας του κοινού σίτου (Ranhorta, 1995). Συγκριτικά με το σίτο, η ζέα έχει μεγαλύτερο ύψος (150 ± 200 cm), μακρύτερο στάχυ (15 ± 20 cm) και πιο σφιχτό φλοιό (Zanetti et al., 2001). Τα φύλλα των νέων φυτών το φθινόπωρο και ωρίς την άνοιξη έχουν βαθύ πράσινο χρώμα και, εκτός από την περίπτωση της ποικιλίας *coeruleum*, αναπτύσσονται κοντά στο έδαφος. Το πλάτος τους είναι ίσο με το μισό των αντίστοιχων της ποικιλίας *T. dicoccum*, φτάνοντας τα 3 με 4 mm εγκάρσιως. Ωστόσο, τα γηραιότερα φύλλα είναι πιο πλατιά από αυτά του *T. dicoccum*.



Εικόνα 4.1. Το στάχυ (*spike*), το σταχύδιο (*spikelet*) και ο σπόρος της ζέας (*Cubadda & Marconi, 2002*).

4.3 Ποικιλίες ζέας

T. Spelta, var. arduini

Άλλες ονομασίες που έχουν χρησιμοποιηθεί κατά καιρούς στη βιβλιογραφία για τη ζέα είναι: *T. arduini*, και *T. vulgare arduini*. Εμφανίζει στάχυ με άγανα (ear bearded), λευκό και λείο φλοιό. Αποτελεί μία κοινή ποικιλία, σπανίως αμιγή (pure) η οποία συνήθως φυτρώνει μεταξύ άλλων ποικιλιών. Η εαρινή ποικιλία, τις περισσότερες φορές, φυτρώνει εκεί που καλλιεργείται η χειμερινή, και έτσι οι δύο αυτές ποικιλίες συναντώνται μαζί. Η χειμερινή έχει μέτρια απόδοση, ενώ η εαρινή έχει μικρή, εκτός από την περίπτωση που το έδαφος είναι εξαιρετικά γόνιμο.

T. Spelta, var. albovelutinum

Έχει στάχυ με άγανα, λευκό και χνουδωτό φλοιό. Θεωρείται ότι είναι υβρίδιο των ποικιλιών *T. spelta var vulpinum* και *T. vulgare*.

T. Spelta, var. vulpinum

Άλλη ονομασία της είναι *T. vulgare vulpinum*. Έχει στάχυ με άγανα, ερυθρό και λείο φλοιό. Υπάρχουν δύο μορφές αυτής: η ερυθρή χειμερινή ζέα και η σκούρα ερυθρή χειμερινή ζέα.

T. Spelta, var. rubrovelutinum

Έχει στάχυ με άγανα, ερυθρό και χνουδωτό φλοιό. Θεωρείται ότι έχει δύο χειμερινές και μία εαρινή μορφή.

T. Spelta, var. schenkii

Έχει στάχυ με άγανα και ο φλοιός της έχει χρώμα γκριζωπό μπλε και είναι λείος.

T. Spelta, var. coeruleum

Άλλη ονομασία της είναι *T. vulgare coeruleum*. Έχει στάχυ με άγανα και λείο φλοιό. Το χρώμα της γίνεται κυανό-μαύρο, όταν οι συνθήκες ανάπτυξής της είναι θερμές και ξηρές και χρησιμοποιείται κοκκινωπό χόμα (blue-black on a reddish ground). Εάν οι συνθήκες που επικρατούν περιλαμβάνουν αυξημένη υγρασία, η κόκκινη απόχρωση υπερισχύει.

T. Spelta, var. album

Άλλη ονομασία της είναι *T. vulgare album*. Έχει στάχυ χωρίς άγανα, λευκό και λείο φλοιό. Αποτελεί μία από τις ποικιλίες που φυτρώνουν συχνότερα και συνδυάζεται με την ερυθρή ποικιλία *Duhamelianum*. Τα πιο κοινά είδη της ποικιλίας αυτής είναι:

1. η λευκή χειμερινή ζέα, η οποία φυτρώνει σε θερμά και γόνιμα εδάφη,
2. η λευκή εαρινή ζέα, η οποία ωριμάζει 10-12 ημέρες αργότερα από την αντίστοιχη χειμερινή,
3. η Schlegel Dinkel, η οποία δίνει λιγότερο σκληρό σιτηρό από την (1) και ωριμάζει μία εβδομάδα αργότερα από αυτή, και
4. η Vogeles Dinkel, η οποία αποτελεί τη χειμερινή μορφή ζέας.

T. Spelta, var. recens

Έχει στάχυ χωρίς άγανα, λευκό και χνουδωτό φλοιό και πιθανόν να είναι ένα υβρίδιο των ποικιλιών *T. vulpinum* και της ερυθρής *T. vulgare*.

T. Spelta, var. Duhamelianum

Άλλες ονομασίες της είναι *T. Duhamelianum* και *T. vulgare rufum*. Έχει στάχυ χωρίς άγανα, ερυθρό και λείο φλοιό. Οι κυριότερες μορφές της είναι οι εξής:

1. η Tyrol Dinkel, η οποία αποτελεί μία από τις πιο γόνιμες ποικιλίες

2. η ερυθρή χειμερινή ζέα, μία πολύ ανθεκτική ποικιλία με μεγάλη απόδοση, και
3. η ερυθρή εαρινή ζέα, της οποίας η καλλιέργεια είναι παρόμοια με εκείνη της χειμερινής (2), αλλά η διαφορά τους έγκειται στο μικρότερο άχυρο αυτής.

T. Spelta, var. Neglectum

Έχει στάχυ χωρίς άγανα, ερυθρό και χνουδωτό φλοιό.

T. Spelta, var. Amisum

Άλλη ονομασία της είναι *T. vulgare Duhamelianum*. Έχει στάχυ χωρίς άγανα, γκριζωπό μπλε και λείο φλοιό. Αποτελεί μία σπάνια ποικιλία, η οποία καλλιεργείτο περισσότερο στις αρχές του 19^{ου} αιώνα στη Σουηδία.

T. Spelta, var. Alefeldii,

Έχει στάχυ χωρίς άγανα, γκριζωπό μπλε και χνουδωτό φλοιό (Percival, 1921).

4.4 Χημική σύσταση της ζέας - σύγκριση με τη σύσταση του σίτου

Η ζέα εμφανίζει υψηλή θρεπτική αξία και περιέχει όλα τα βασικά θρεπτικά συστατικά που είναι απαραίτητα για την ανθρώπινη διατροφή. Τυχόν διαφορές που μπορεί να εμφανίζονται μεταξύ σοδειών του ίδιου είδους οφείλονται στην εποχή και στην περιοχή βλάστησης, στην καλλιέργεια και στη σύσταση των λιπασμάτων που χρησιμοποιούνται (Bojnanská & Francáková, 2002; Ruumalainen, 2002). Ακόμη, θεωρείται ότι η ζέα διαθέτει αξιόλογη διατροφική αξία λόγω της ποσότητας και της ποιότητας των πρωτεϊνών που περιέχει, καθώς και λόγω των λιπαρών, των φυτικών ινών, των βιταμινών και των ανόργανων αλάτων που περιέχει (Wieser, 2001; Abdel-Aal & Hucl, 2002; Pruska-Kedzior et al., 2008; Kohajdová & Karovicová, 2008). Είχαν υπάρξει, στο παρελθόν, ισχυρισμοί σχετικά με την απουσία γλουτένης στο άλευρο της ζέας. Ωστόσο, πληθώρα νεότερων μελετών έχει αποδείξει την ύπαρξη γλουτένης, με διαφορετική ωστόσο δομή από αυτή του κοινού σίτου και σε μικρότερη ποσότητα (Ranhotra, 1995).

Πρωτεϊνικό περιεχόμενο

Σε σύγκριση με τον κοινό σίτο, η ζέα εμφανίζει υψηλότερο πρωτεϊνικό περιεχόμενο και μεγαλύτερο ποσοστό του στρώματος της αλευρόνης στον πυρήνα. Από έρευνες που έχουν γίνει, έχει βρεθεί ότι το ποσοστό πρωτεϊνών που περιέχονται στην ζέα κυμαίνεται από 14,3 μέχρι 18,4% και επηρεάζεται σημαντικά από την τοποθεσία και τη γεωπονική τεχνική με την οποία καλλιεργείται το σιτηρό αυτό (Marconi et al., 1999).

Ειδικά όσον αφορά τις πρωτεΐνες της γλουτένης, παρόλο που στη ζέα, συνήθως, παρατηρείται υψηλότερο ποσοστό ενυδατωμένης γλουτένης, αυτές εμφανίζουν μεγαλύτερη εκτατότητα και είναι πιο αδύναμες από τις αντίστοιχες του σίτου (Schober et al., 2002; Schober et al., 2006, Pruska-Kedzior et al., 2008). Ανάλογα με την ποικιλία, ωστόσο, το ποσοστό της ενυδατωμένης γλουτένης μπορεί να ποικίλλει σε μεγάλο βαθμό για τους λόγους που αναφέρθηκαν παραπάνω. Σύμφωνα με τη βιβλιογραφία (Bojnanská & Francáková, 2002), έρευνες πάνω σε πέντε διαφορετικές ποικιλίες ζέας έδωσαν ποσοστό ενυδατωμένης γλουτένης από 30,6 μέχρι 51,8%. Επίσης, υπάρχουν σημαντικές διαφορές μεταξύ ζέας και κοινού σίτου στο πλήθος των κλασμάτων και των μοριακών μαζών των α -, γ - και ω - γλοιαδινών, όπως επίσης και στον αριθμό των υπομονάδων γλουτενίνης υψηλού (HMW - high molecular weight) και χαμηλού μοριακού βάρους (LMW - low molecular weight). Μέσω της τεχνικής RP-HPLC έχει βρεθεί ότι το περιεχόμενο των συνολικών γλοιαδινών στη ζέα είναι πολύ μεγαλύτερο, ενώ αντίστοιχα οι συνολικές γλουτενίνες είναι λιγότερες. Επομένως, ο λόγος γλοιαδίνες/γλουτενίνες είναι σημαντικά μεγαλύτερος στην ζέα και ταυτόχρονα οι α -γλοιαδίνες αποτελούν το μεγαλύτερο ποσοστό, ακολουθούμενες από τις γ -γλοιαδίνες και τις χαμηλού μοριακού βάρους γλουτενίνες. Οι ω -γλοιαδίνες και οι γλουτενίνες υψηλού μοριακού βάρους απαντώνται σε πολύ μικρές ποσότητες (Pruska-Kedzior et al., 2008; Kohajdová & Karovicová, 2008). Αντίθετα με την τεχνική RP=HPLC, έχει βρεθεί μέσω της ηλεκτροφόρησης των πρωτεϊνικών κλασμάτων διαφόρων ποικιλιών ζέας, ότι ανάλογα με την ποικιλία της ζέας, οι γλοιαδίνες μπορεί να είναι είτε περισσότερες, είτε λιγότερες στο σίτο έναντι της ζέας. Αντίστοιχα η περιεκτικότητα των συνολικών γλουτενινών μπορεί να είναι μικρότερη ή μεγαλύτερη στο σίτο (Dvoracek & Curn, 2003).

Οι πρωτεΐνες του σίτου εμφανίζουν χαμηλή περιεκτικότητα σε ορισμένα αμινοξέα που θεωρούνται απαραίτητα για την ανθρώπινη διατροφή, ειδικά στη λυσίνη (το πιο ελλιπές αμινοξύ) και τη θρεονίνη (το δεύτερο πιο ελλιπές αμινοξύ). Ωστόσο, είναι πλούσιες σε γλουταμίνη και προλίνη, τα λειτουργικά αμινοξέα που είναι απαραίτητα για το σχηματισμό του ζυμαριού. Η σύνθεση των πρωτεϊνών της ζέας διαφέρει ελαφρά από αυτή του σίτου. Συγκεκριμένα η λυσίνη μπορεί να είναι σε ελαφρά μικρότερη συγκέντρωση, αλλά αφομοιώνεται καλύτερα όταν λαμβάνεται από τη ζέα, σε σχέση με εκείνη που λαμβάνεται από το σίτο (Abdel-Aal & Hucl, 2002; Ranhotra, 1995). Επίσης, το αμινοξύ μεθειονίνη είναι στα ίδια επίπεδα και στα δύο σιτηρά, ενώ το γλουταμινικό οξύ βρίσκεται σε μεγαλύτερη περιεκτικότητα στην ζέα (Abdel-Aal & Hucl, 2002).

Διαιτητικές ίνες

Το συνολικό περιεχόμενο σε ίνες στις διάφορες ποικιλίες ζέας ποικίλλει από 10.5% επί ξηρής βάσης (ξ.β.) μέχρι 14.9% επί ξ.β. (Marconi et al., 1999; Ranhotra et al., 1996a,b). Από διατροφική άποψη, είναι σημαντική η διαφοροποίηση μεταξύ διαλυτών και αδιάλυτων ινών, καθώς κάθε μορφή έχει διαφορετικές επιδράσεις και οφέλη ως συστατικό της ανθρώπινης διατροφής. Το περιεχόμενο σε διαλυτές ίνες κυμαίνεται, ανάλογα με την ποικιλία, από 1.2% μέχρι 2.5% επί ξ.β. και μπορεί να αποτελεί από το 8.7% μέχρι το 21.1% του συνολικού περιεχομένου σε διαιτητικές ίνες (Marconi et al., 1999). Σύμφωνα με τη βιβλιογραφία, υπάρχουν διαφορετικά στοιχεία όσον αφορά το περιεχόμενο σε διαλυτές και αδιάλυτες ίνες. Σύμφωνα με τους Abdel-Aal et al. (1995) και Ranhotra et al. (1996), το περιεχόμενο σε διαλυτές φυτικές ίνες είναι υψηλότερο κατά 0.4% στην ζέα σε σχέση με το σίτο (1.7-1.8% στην ζέα έναντι 1.4% επί ξ.β. στο σίτο), ενώ το περιεχόμενο σε αδιάλυτες φυτικές ίνες είναι μικρότερο (10.5 g ινών / 100 g ζέας έναντι 11.2-12.1 g ινών / 100 g σίτου) (Abdel-Aal et al., 1995; Ranhotra et al., 1996). Αντίθετα, σύμφωνα με νεότερες μελέτες από τους Bonifacia et al. (2000) και Marques et al. (2007), η ζέα έχει υψηλότερη περιεκτικότητα σε αδιάλυτες διαιτητικές ίνες (11.2-12.1% επί ξ.β.) σε σχέση με το κοινό σιτάρι (11.4% επί ξ.β.). Αντίστοιχα, το περιεχόμενο σε διαλυτές διαιτητικές ίνες σε άρτο από ζέα είναι μικρότερο από εκείνο σε άρτο σίτου (1.45 g / 100 g άρτου ζέας έναντι 1.76 g / 100 g άρτου σίτου) (Bonifacia et al., 2000; Marques et al., 2007).

Υδατάνθρακες

Η β-γλυκάνη είναι ένας σημαντικός υδατάνθρακας των κυτταρικών τοιχωμάτων, ο οποίος απομονώνεται από σπόρους δημητριακών (Demirbas, 2005). Το περιεχόμενο αυτής στις ποικιλίες της ζέας είναι χαμηλό (0.6-1.2% επί ξ.β.) και παραπλήσιο του περιεχομένου στον κοινό σίτο (Marconi et al., 1999; Demirbas, 2005; Loje et al., 2003).

Άμυλο

Το ποσοστό του αμύλου στη ζέα κυμαίνεται μεταξύ 48.29-66.8% (Bojnanská & Francáková, 2002) και υδρολύεται πιο εύκολα από τα ένζυμα. Έτσι, τα προϊόντα ζέας μπορούν να χρησιμοποιηθούν σε δίαιτες όπου προτιμώνται εύκολα αφομοιώσιμοι υδατάνθρακες. Επίσης, επειδή η ζέα περιέχει περισσότερες πρωτεΐνες από τον κοινό σίτο, είναι πιθανό αυτές να δεσμεύονται ισχυρά πάνω στους κόκκους του αμύλου. Κατά τη διάρκεια της άλεσης, αναμένεται μεγαλύτερο ποσοστό κατεστραμμένων κόκκων αμύλου και συνεπώς υψηλότερος δείκτης πέψης αμύλου (Bonifacia et al., 2000).

Ανάγοντα σάκχαρα

Τα ανάγοντα σάκχαρα στα άλευρα ζέας κυμαίνονται μεταξύ 0.29-0.39% και είναι λιγότερα σε σχέση με τα ανάγοντα σάκχαρα στα δείγματα σίτου (0.41%). Επιπλέον, ο άρτος από σίτο είναι πλουσιότερος σε μαλτόζη σε σχέση με τον άρτο από ζέα (3.64 g / 100 g άρτου σίτου έναντι 1.61 g / 100 g άρτου ζέας) (Marconi et al., 2002; Marques et al., 2007).

Λιπαρά

Παρόλο που τα λιπαρά στα σιτηρά είναι δευτερεύοντα συστατικά, αποτελούν μία σύνθετη οικογένεια ενώσεων και εμφανίζονται είτε ως ελεύθερα λιπαρά είτε ως δεσμευμένα σε διάφορα άλλα συστατικά, όπως πρωτεΐνες και άμυλο (Ruibal-Mendieta et al., 2002). Σύμφωνα με έρευνες, τα κλάσματα ολικής άλεσης της ζέας είναι πλουσιότερα σε λιπίδια και ακόρεστα λιπαρά οξέα σε σχέση με το σιτάρι, ενώ, αντίθετα, είναι φτωχότερα σε τοκοφερόλη (Ruibal-Mendieta et al., 2005). Επίσης, έχουν υψηλότερο περιεχόμενο ελεύθερων και ολικών λιπιδίων (1.3 και 1.2 φορές μεγαλύτερο από του σίτου, αντίστοιχα) (Ruibal-Mendieta et al., 2002). Ο λόγος

ακόρεστων λιπαρών οξέων/παλμιτικό οξύ είναι υψηλότερος από τον αντίστοιχο λόγο στο σιτάρι, γεγονός που προκύπτει από τη (σχεδόν) διπλάσια περιεκτικότητα σε ελαϊκό οξύ (Ruibal-Mendieta et al., 2005), ενώ το ποσοστό των μονοακόρεστων λιπαρών οξέων στο άλευρο της ζέας έχει βρεθεί δύο φορές υψηλότερο από αυτό στο άλευρο σίτου (Marques et al., 2007). Επιπρόσθετα, τόσο η ζέα, όσο και ο σίτος, εμφανίζουν όχι μόνο παρόμοια σύσταση στερολών, αλλά και παρόμοιες περιεκτικότητες αυτών (Ruibal-Mendieta et al., 2004). Τέλος, σύμφωνα με τους Ranhotra et al. (1996) η υψηλότερη περιεκτικότητα σε λιπαρά και αφομοιώσιμους υδατάνθρακες συνεπάγεται περισσότερη ενέργεια κατά 3% στο σπόρο της ζέας (324 έναντι 315 kcal / 100 g σπόρου σίτου).

Βιταμίνες

Η ζέα θεωρείται ότι έχει υψηλό βιταμινικό περιεχόμενο. Οι διαφορές μεταξύ των σιτηρών στη σύνθεση των βιταμινών Β δεν είναι μεγάλες, ειδικά για τη θειαμίνη, η οποία βρίσκεται σε ποσότητα περίπου 0.6 mg / 100 g σπόρου. Η ριβοφλαβίνη, ωστόσο, απαντάται σε σχετικά μεγάλη ποσότητα στο μονόκκοκο και στο κοινό σιτάρι (περίπου 0.5 mg / 100 g σπόρου) ενώ η ποσότητά της στη ζέα περιορίζεται γύρω στα 0.15 mg / 100 g σπόρου. Από την άλλη πλευρά, οι ποικιλίες της ζέας έχουν υψηλότερη περιεκτικότητα σε νιασίνη (5.5 mg / 100 g σπόρου) σε σχέση με τα άλλα δύο είδη (2.5 mg / g σπόρου). Όσον αφορά τις λιποδιαλυτές βιταμίνες, δεν υπάρχουν σημαντικές διαφορές στις περιεκτικότητες των βιταμινών Α, Ε και D (Abdel-Aal et al., 1995).

Τέφρα

Επιπλέον, διαφορές μεταξύ των δύο σιτηρών παρατηρούνται και σε παραμέτρους όπως η τέφρα. Οι Bojnanská and Francáková (2002) προσδιόρισαν ότι το περιεχόμενό της σε πέντε διαφορετικές ποικιλίες ζέας κυμαίνεται σε εύρος 1.79-2.36%. Αντίστοιχα, οι Ruibal-Mendieta et al. (2005) βρήκαν υψηλότερο περιεχόμενο τέφρας στην ζέα, συγκριτικά με το σιτάρι, σε ποσοστά 1.83% και 1.49% αντίστοιχα. Το υψηλό αυτό ποσοστό οφείλεται στη μεγάλη ποσότητα μακρο- και μικροστοιχείων (Forssell & Wieser, 1995; Ruibal-Mendieta et al., 2005; Zielinski et al., 2008). Συγκριτικά με το σιτάρι, η ζέα έχει, κατά μέσο όρο, 30-60% υψηλότερη συγκέντρωση στα στοιχεία: Fe, Zn, Cu, Mg και P, τα οποία βρίσκονται κυρίως στο πίτυρο, όπως σε

κάθε δημητριακό (Ruibal-Mendieta et al., 2005). Συγκεκριμένα, ο σπόρος της ζέας είναι πλουσιότερος σε P (κατά 19%), Fe (κατά 20%), K (κατά 7%) και Zn (κατά 91%) από το σπόρο του σκληρού ερυθρού χειμερινού σίτου (Ranhotra et al., 1995). Σε αντίθεση με τα μέταλλα, το περιεχόμενο σε φυτικό οξύ (ινοσιτολικό εξαφωσφατίδιο - IP 6) τείνει να είναι 40% μικρότερο στη ζέα από ότι στο σίτο (Lopez et al., 2002).

Τέλος, η ζέα προτείνεται να περιλαμβάνεται στη διατροφή ασθενών με προβλήματα υγείας, όπως ελκώδης κολίτιδα, νευροδερματίτιδα και άλλες αλλεργίες, υψηλή χοληστερόλη του αίματος, ρευματοειδής αρθρίτιδα, κατάθλιψη και καρκίνος (Abdel-Aal et al., 2002; Ranhorta et al., 1995; Zielinski et al., 2008; Rozenberg et al., 2003). Παρόλα αυτά τα πλεονεκτήματα, η ζέα περιλαμβάνει πρωτεΐνες γλουτένης και έτσι μπορεί να προκαλέσει τις ίδιες αλλεργίες και παθήσεις του εντέρου που προκαλεί και η κατανάλωση του σίτου (Zielinski et al., 2008). Αποτελεί, συνεπώς, ένα μη ασφαλές προϊόν για άτομα που πάσχουν από κοιλιοκάκη και εμφανίζουν ευαισθησία στη γλουτένη (Kohajdová & Karovicová, 2008).

4.5 Αρτοποιητικές εφαρμογές της ζέας

Η ζέα είναι ένα προϊόν το οποίο αξιοποιείται σε αρκετά μεγάλο εύρος εφαρμογών, ανάλογα με το γενότυπο, την καλλιέργεια και την περαιτέρω επεξεργασία που υφίσταται. Χρησιμοποιείται είτε ως ζωοτροφή (αλεσμένοι σπόροι), είτε για ανθρώπινη κατανάλωση υπό μορφή αλεύρου, άρτου, δημητριακών πρωινού, ζυμαρικών και κράκερ (Kohajdová & Karovicová, 2008). Επίσης, καταναλώνεται και υπό μορφή άλλων τοπικών, ιδιότυπων προϊόντων, όπως το Grünkern της νότιας Γερμανίας. Για την παρασκευή του Grünkern χρησιμοποιούνται σπόροι ζέας που έχουν συλλεχθεί με αλωνιστικές μηχανές, ενόσω είναι ακόμη πράσινοι, και στη συνέχεια έχουν υποβληθεί σε ξήρανση σε μεγάλους κλιβάνους. Το προϊόν αυτό χρησιμοποιείται σε σούπες, ως πηγή αμύλου, σε σάλτσες, πουτίγκες και είδη ζαχαροπλαστικής. Οργανοληπτικά, χαρακτηρίζεται από καπνιστή γεύση και πλούσιο σε άρωμα (Büren et al., 2001; Puumalainen et al., 2002).

Η χρήση της ζέας στην αρτοποιία είναι δυνατή, καθώς παράγει προϊόν με χαρακτηριστικό έντονο άρωμα άρτου και εξαιρετική γεύση που παραμένει φρέσκο και μαλακό για μεγαλύτερο χρονικό διάστημα (Bojnanská & Francáková, 2002). Η αρτοποιητική συμπεριφορά του συγκεκριμένου σιτηρού είναι διαφορετική από αυτή

του σίτου (Schober et al., 2002). Το ζυμαρί που παρασκευάζεται από το άλευρο αυτό είναι λιγότερο σταθερό και ελαστικό και έχει μεγαλύτερη εκτατότητα από το αντίστοιχο από άλευρο σίτου. Ταυτόχρονα, είναι πολύ μαλακό και κολλώδες αμέσως μετά την ανάμιξη, με αποτέλεσμα να είναι δύσκολος ο χειρισμός του, ενώ ο όγκος του είναι μικρότερος από αυτόν των αντίστοιχων προϊόντων σίτου (Abdel-Aal et al., 1997; Schober et al., 2002; Zanetti et al., 2001; Pruska-Kedzior et al., 2008; Bonifácia et al., 2000). Για την αντιμετώπιση θεμάτων όπως η μικρή διόγκωση του ζυμαριού, προτείνεται η χρήση ασκορβικού οξέος (Bojnanská & Francáková, 2002) ή η αύξηση του χρόνου ωρίμανσης από τα 30 min, που είναι ο συχνά προτεινόμενος χρόνος για τα προϊόντα σίτου, σε μερικές ώρες (Schober et al., 2002).

Ο άρτος που παράγεται αποκλειστικά από άλευρο ζέας εμφανίζει χονδροειδή υφή, σκούρο χρώμα ψίχας και πολύ μικρή διόγκωση. Οργανοληπτικά, το προϊόν αυτό χαρακτηρίζεται ως μέτριο (Abdel-Aal et al., 1997; Ranhotra et al., 1995).

Επίσης, το άλευρο ζέας θεωρείται κατάλληλο για χρήση στην παραγωγή ζυμαρικών. Το πρωτεϊνικό του περιεχόμενο θεωρείται ο σημαντικότερος παράγοντας στην προκειμένη περίπτωση, καθώς όταν άλευρα ζέας με ποσοστό μεγαλύτερο του 13.5% (ή αντίστοιχα με ποσοστό πρωτεϊνών 15% στον αρχικό σπόρο) συνδυάζονται με υψηλές θερμοκρασίες ξήρανσης, προκύπτουν ζυμαρικά με ικανοποιητική ποιότητα (Marconi et al., 1999; Marconi et al., 2002). Ο χρωματισμός αυτών των προϊόντων διαφέρει από τον αντίστοιχο των ζυμαρικών από σιμιγδάλι, καθώς δεν εμφανίζουν το συνηθισμένο κίτρινο χρώμα, αλλά έχουν μια ερυθρότερη χροιά, τείνοντας προς το καφέ (Marconi & Carcea, 2001).

Το λεπτό πίτυρο της ζέας αποτελεί μία κατάλληλη ακατέργαστη πρώτη ύλη για θρεπτικές μπάρες δημητριακών, καθώς συνδυάζει υψηλό περιεχόμενο σε μέταλλα και ακόρεστα λιπαρά οξέα, μικρό ποσοστό μη αφομοιώσιμου φωσφόρου υπό μορφή φυτικού οξέος, μία ελαφρώς γλυκιά γεύση και σύνθεση πλούσια σε άμυλο, ώστε να μπορεί να σχηματίσει μπάρες με υφή μπισκότου (Ruibal-Mendieta et al., 2002). Επιπρόσθετα, η ζέα μπορεί να χρησιμοποιηθεί ως πρώτη ύλη για την παραγωγή δημητριακών πρωινού υπό μορφή νιφάδων με ελκυστική γεύση/άρωμα και υφή (Abdel-Aal et al., 1998), αλλά και μπισκότων και κέικ (Abdel-Aal et al., 2007).

Με βάση τα παραπάνω, προκύπτει ότι υπάρχει μεγάλη ποικιλία τροφίμων που μπορούν να παραχθούν έχοντας ως πρώτη ύλη την ζέα. Έτσι, εφόσον γίνει επιλογή

της σωστής ποικιλίας του σιτηρού αυτού και κατάλληλος χειρισμός των συνθηκών επεξεργασίας, μπορούν να παραχθούν αξιόλογα προϊόντα υψηλής ποιότητας και διατροφικής αξίας πλούσια σε πρωτεΐνες και διαιτητικές ίνες (Abdel-Aal et al., 2007).

ΜΕΡΟΣ II

5. Πειραματικό μέρος

5.1 Σκοπός

Τα πειράματα της παρούσας διπλωματικής εργασίας έλαβαν χώρα στο εργαστήριο Χημείας και Τεχνολογίας Τροφίμων της Σχολής Χημικών Μηχανικών του Εθνικού Μετσόβιου Πολυτεχνείου.

Το αντικείμενο της εργασίας απαρτίζεται από τρία μέρη. Το πρώτο μέρος ήταν η χημική ανάλυση δύο ειδών αλεύρου που χρησιμοποιήθηκαν, του σίτου και της ζέας, με σκοπό τη σύγκριση των ιδιοτήτων τους και των χαρακτηριστικών τους. Το δεύτερο μέρος ήταν η παραγωγή φρέσκου άρτου σε διάφορες αναλογίες σίτου και ζέας και η μελέτη και σύγκριση των ποιοτικών και οργανοληπτικών χαρακτηριστικών τους. Ταυτόχρονα, αναζητήθηκε και η βέλτιστη αναλογία των δύο αλεύρων, ώστε το τελικό προϊόν να διατηρεί τις οργανοληπτικές ιδιότητες του κοινού άρτου, προσφέροντας ταυτόχρονα όσο το δυνατόν περισσότερα από τα διατροφικά οφέλη της ζέας. Τέλος, στο τρίτο μέρος της διπλωματικής εργασίας μελετήθηκε η μεταβολή των ποιοτικών χαρακτηριστικών του άρτου με διαφορετικές αναλογίες των δύο παραπάνω τύπων αλεύρων κατά τη διάρκεια αποθήκευσης του ζυμαριού υπό κατάψυξη.

5.2 Συσκευές, όργανα και υλικά

Τα υλικά, οι συσκευές και τα όργανα που χρησιμοποιήθηκαν για τους σκοπούς της διπλωματικής αυτής εργασίας περιγράφονται στις ακόλουθες παραγράφους.

5.2.1. Πρώτες ύλες

Για την παρασκευή των δειγμάτων φρέσκου και κατεψυγμένου άρτου, χρησιμοποιήθηκαν τα παρακάτω υλικά:

- Αλεύρι σίτου (λευκό) T.70% (χορηγία της εταιρίας «Ηλιος»)
- Αλεύρι ζέας (ολικής άλεσης) (χορηγία της εταιρίας «Ηλιος»)
- Κρυσταλλική ζάχαρη (εμπορικής προέλευσης)
- Ιωδιούχο αλάτι (εμπορικής προέλευσης)
- Στιγμαϊαία ξηρή μαγιά αρτοποιίας (εμπορικής προέλευσης).

5.2.2. Συσκευές και όργανα

Κατά την παρασκευή και αποθήκευση των δειγμάτων άρτου χρησιμοποιήθηκαν τα παρακάτω όργανα:

- Ηλεκτρονικός ζυγός (620C της Precisa Instruments)
- Ηλεκτρικό μίξερ (Kenwood Chef KM400)
- Χρονόμετρο
- Θάλαμος σταθερής θερμοκρασίας (Sanyo MIR-153)
- Κλίβανος (Thermawatt TG103)
- Καταψύκτης (Whirlpool AFG 543-C/H)

Για τη μελέτη των ποιοτικών χαρακτηριστικών χρησιμοποιήθηκαν οι ακόλουθες συσκευές:

- Αναλυτής υφής TA-XT2 (Stable Micro Systems) με τα στελέχη SMSP / 45C (κώνος), SrisP / 75 (κύλινδρος) και TA-45 Craft knife (κοπίδι)
- Χρωματόμετρο CR-200 (Konica-Minolta)
- Μετρητής ενεργότητας Aqualab 4TEV (Decagon Devices Inc. Pullman, WA, USA)

Για τις χημικές αναλύσεις των αλεύρων χρησιμοποιήθηκαν οι παρακάτω συσκευές και όργανα:

Προσδιορισμός της υγρασίας

- Θερμοζυγός Brabender

Προσδιορισμός τέφρας

- Κλίβανος (Gallenkamp Muffle Furnace Size 1)

Προσδιορισμός πρωτεϊνών (Μέθοδος Kjeldahl)

- Συσκευή Kjeldahl (Buchi K-350)

Μέθοδος Bradford και μέθοδος DNS

- Φωτόμετρο (Hitachi U-2900)

Ηλεκτροφόρηση

- Συσκευή ηλεκτροφόρησης

Φαρινογράφημα

- Φαρινογράφος (Model S 300H, Brabender, Duisburg, Germany)

Εξτενσιογράφημα

- Εξτενσιογράφος Brabender (Model 8600, Brabender, Duisburg, Germany)

5.3 Πειραματική διαδικασία

Η πειραματική διαδικασία που ακολουθήθηκε κατά τη διάρκεια της διπλωματικής εργασίας περιγράφεται στις παρακάτω παραγράφους.

5.3.1 Σχηματισμός ζυμαριού

Οι ποσότητες των συστατικών όπως αυτές παρουσιάζονται στον πίνακα 7.1, ζυγισμένες με ακρίβεια 0,1 g εισάγονται στον κάδο του αναμίκτη, όπου και αναμιγνύονται για 2 min σε χαμηλή ταχύτητα (ταχύτητα 2) και για άλλα 8 min στη μεσαία ταχύτητα (ταχύτητα 4), οπότε και το ζυμάρι έχει πλέον σχηματιστεί. Έπειτα, το ζυμάρι χωρίζεται σε δείγματα των $80 \pm 0,02$ g, τα οποία μορφοποιούνται με τα χέρια ώστε να αποκτήσουν σφαιρικό σχήμα. Στη συνέχεια, τα δείγματα τοποθετούνται σε κατάλληλες χάρτινες φόρμες μίας χρήσης.

Πίνακας 5.1: Αναλογίες συστατικών ζυμαριού

Συστατικό	Ποσοστό (%)	Ποσότητα/παρτίδα (g)
Αλεύρι	100	500
Νερό	60	300
Ζάχαρη	4	20
Αλάτι	2	10
Μαγιά	2	10

5.3.2 Επεξεργασία ζυμαριού – Παρασκευή άρτου

Τα δείγματα αμέσως μετά το σχηματισμό τους τοποθετούνται σε θάλαμο θερμοκρασίας 40°C για ωρίμανση/διόγκωση, όπου και παραμένουν για 30 min. Στη συνέχεια εισάγονται σε κλίβανο, με παροχή αέρα, θερμοκρασίας 180°C, για 25 min. Μετά τον κλιβανισμό, τα δείγματα αφήνονται σε ηρεμία σε θερμοκρασία περιβάλλοντος, για 45 min, ώστε να ψυχθούν.

5.3.3 Αποθήκευση δειγμάτων υπό κατάψυξη – Δειγματοληψία κατά την αποθήκευση

Στην περίπτωση των δειγμάτων ζυμαριού που πρόκειται να αποθηκευτούν υπό κατάψυξη, οι φόρμες που περιέχουν τα δείγματα τυλίγονται με πλαστική μεμβράνη κατάλληλη για χρήση σε τρόφιμα και αποθηκεύονται σε καταψύκτη θερμοκρασίας -18°C για συγκεκριμένο κάθε φορά χρονικό διάστημα.

Για τη μελέτη των ζυμαριών υπό κατάψυξη παρασκευάζονται παρτίδες με περιεκτικότητα σε αλεύρι ζέας 0%, 30%, 50%, 80% και 100%, αντίστοιχα. Για κάθε αναλογία παρασκευάζονται 6 παρτίδες. Η δειγματοληψία, αρχικά, γίνεται ανά πυκνότερα χρονικά διαστήματα, επειδή ο ρυθμός της υποβάθμισης των δειγμάτων, με βάση βιβλιογραφικά δεδομένα, είναι υψηλότερος τις πρώτες ημέρες της αποθήκευσης υπό κατάψυξη. Στη συνέχεια η δειγματοληψία γίνεται μία φορά το μήνα και για διάστημα συνολικά τριών μηνών.

Τα δείγματα προς εξέταση λαμβάνονται από τον καταψύκτη και τοποθετούνται σε θάλαμο θερμοκρασίας 40°C , όπου και παραμένουν για 75 min, προκειμένου να αποψυχθούν και να διογκωθούν. Στη συνέχεια, όπως και στην περίπτωση των φρέσκων δειγμάτων, εισάγονται σε κλίβανο με παροχή αέρα, θερμοκρασίας 180°C , για 25 min. Μετά τον κλιβανισμό, τα δείγματα αφήνονται σε ηρεμία σε θερμοκρασία περιβάλλοντος, για 45 min, ώστε να ψυχθούν.

5.4 Μέθοδοι/μετρήσεις και αναλύσεις

Μετρήσεις στο ζυμάρι και στα αρτοσκευάσματα

Αμέσως μετά την ολοκλήρωση του σταδίου της διόγκωσης λαμβάνεται από το θάλαμο ωρίμανσης ένα δείγμα ζυμαριού από κάθε πειραματική σειρά, προκειμένου να υποβληθεί σε ανάλυση υφής, ενώ τα υπόλοιπα εισάγονται στον κλίβανο. Αφού τα αρτοσκευάσματα κρυώσουν και φτάσουν σε θερμοκρασία δωματίου, διενεργούνται μετρήσεις των ακόλουθων χαρακτηριστικών τους: βάρος, όγκος, υφή, χρώμα, ενεργότητα νερού, διαστάσεις και οργανοληπτικά χαρακτηριστικά. Επιπλέον, στα φρέσκα δείγματα, μετρώνται η ενεργότητα και η υφή ύστερα από 2 h και 24 h.

Συγκεκριμένα, σε όλα τα δείγματα πραγματοποιείται μέτρηση του βάρους με τη χρήση ηλεκτρονικού ζυγού ακρίβειας 0,1 g, μέτρηση του όγκου με την εμπειρική μέθοδο εκτόπισης σπόρων, ανάλυση υφής (μέτρηση της σκληρότητας με τον αναλυτή υφής TA-XT2), ανάλυση χρώματος με το χρωματόμετρο CR-200 (Konica-Minolta) και μέτρηση ενεργότητας με τη συσκευή Aqualab 4TEV. Τέλος, μετρώνται το ύψος και το πλάτος των δειγμάτων από κάθε παρτίδα και γίνονται οργανοληπτικές δοκιμές. Από τις παραπάνω μετρήσεις προκύπτουν τα ακόλουθα αποτελέσματα.

Μεταβολή βάρους αρτοσκευασμάτων κατά τον κλιβανισμό

Με δεδομένο το βάρος του κάθε δείγματος πριν (B_1 =βάρος ζυμαριού) και μετά (B_2 =βάρος ψημένου προϊόντος) τον κλιβανισμό, χωρίς τη συσκευασία, μπορεί να υπολογιστεί η μεταβολή (επί τοις εκατό, %) του βάρους κατά τον κλιβανισμό από την παρακάτω σχέση (5.4.1).

$$MB = \frac{B_1 - B_2}{B_1} \cdot 100\% \quad (5.4.1)$$

Στόχος είναι η μεγαλύτερη δυνατή απόδοση σε τελικό προϊόν καθώς και η παραγωγή προϊόντων σταθερού βάρους. Συνεπώς το βάρος των προϊόντων θα πρέπει να είναι όσο το δυνατόν μεγαλύτερο και σταθερότερο, ώστε να παρουσιάζονται οι μικρότερες δυνατές απώλειες.

Μέτρηση ειδικού όγκου αρτοσκευασμάτων

Η μέθοδος που χρησιμοποιήθηκε για τη μέτρηση του όγκου είναι η εμπειρική μέθοδος εκτόπισης σπόρων. Συγκεκριμένα, χρησιμοποιήθηκε ένα ποτήρι ζέσεως των 800 mL, το οποίο αρχικά γεμίζεται με σπόρους σιναπιού οι οποίοι είναι μικροί, σφαιρικοί και συμμετρικοί. Αφαιρείται μια ποσότητα αυτών, τοποθετείται το δείγμα στο εσωτερικό του ποτηριού και συμπληρώνονται τα κενά με όσους σπόρους απαιτούνται ακόμη. Οι εναπομείναντες σπόροι ογκομετρούνται με τη βοήθεια ογκομετρικού κυλίνδρου 250 mL και έτσι προκύπτει ο όγκος του δείγματος (V). Σε κάθε παρτίδα ογκομετρούνται 3 δείγματα σε καθένα από τα οποία πραγματοποιούνται 3 επαναλήψεις. Με διαίρεση του όγκου κάθε δείγματος προς το βάρος του μετά τον κλιβανισμό, προκύπτει ο ειδικός όγκος (SV) του άρτου σε mL/g προϊόντος, όπως φαίνεται και στην επόμενη σχέση (5.4.2).

$$SV = \frac{V}{B_2} \quad (5.4.2)$$

Ο ειδικός όγκος αποτελεί μια χαρακτηριστική ποιοτική παράμετρο, η οποία συνδέεται με την ικανότητα διόγκωσης, τα οργανοληπτικά χαρακτηριστικά και έμμεσα με την υφή των τελικών προϊόντων.

Μέτρηση χρώματος κόρας και ψίχας αρτοσκευασμάτων

Η ανάλυση του χρώματος των δειγμάτων πραγματοποιήθηκε με τη χρήση του χρωματόμετρου CR-200 της εταιρείας Konica-Minolta. Το συγκεκριμένο χρωματόμετρο φέρει στο άκρο του οπή διαμέτρου 8 mm και αποδίδει τις τιμές των χρωματικών παραμέτρων L*, a*, b*, βάσει του συστήματος CIELAB, όπως αυτές μετρώνται στην επιφάνεια του δείγματος. Αρχικά, πριν πραγματοποιηθεί κάποια μέτρηση, προηγείται βαθμονόμηση του οργάνου με τη βοήθεια λευκής πλάκας (Calibration plate: L*=97,50, a*=-0,31, b*=-3,83) προς αποφυγήν λανθασμένων μετρήσεων. Σε κάθε δείγμα λαμβάνονται τρεις μετρήσεις του χρώματος της κόρας και άλλες τρεις μετρήσεις του χρώματος της ψίχας. Οι τελικές τιμές των παραμέτρων προκύπτουν από το μέσο όρο των τριών μετρήσεων.

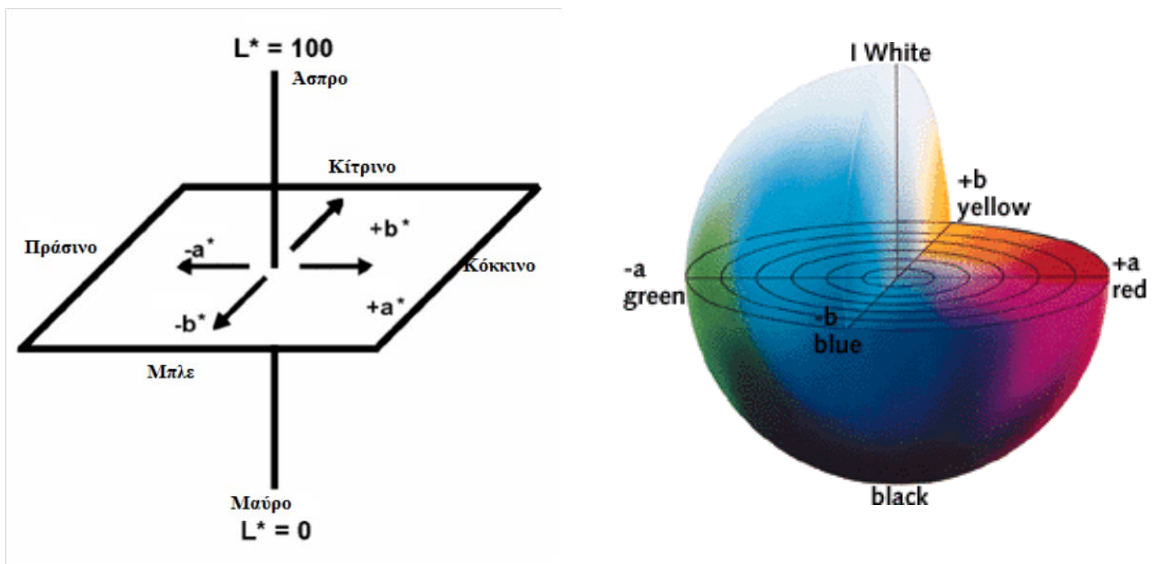
Σύστημα Cielab

Το σύστημα Cielab (Commision International del' Eclairage Lab) απεικονίζεται από μία σφαίρα που περιλαμβάνει όλο το φάσμα του ορατού φωτός. Η σφαίρα αποτελείται από τρεις κάθετους μεταξύ τους άξονες με καρτεσιανές συντεταγμένες. Ο κατακόρυφος άξονας εκφράζει τη φωτεινότητα του χρώματος (παράμετρος L^*) σε κλίμακα από 0 έως 100, αντιπροσωπεύοντας το μαύρο και το άσπρο, αντίστοιχα. Οι άλλοι δύο άξονες ορίζουν το επίπεδο του χρώματος. Ο άξονας που αντιστοιχεί στην παράμετρο a^* εκφράζει την κόκκινη/πράσινη συνιστώσα του χρώματος (αρνητικές τιμές τείνουν προς το πράσινο, ενώ θετικές τιμές τείνουν προς το κόκκινο), ενώ ο άξονας που αντιστοιχεί στην παράμετρο b^* εκφράζει την μπλε/κίτρινη συνιστώσα του χρώματος (αρνητικές τιμές τείνουν προς το μπλε, ενώ θετικές τιμές τείνουν προς το κίτρινο). Αν ένα δείγμα έχει μηδενική τιμή για τις παραμέτρους a^* και b^* , τότε το σημείο στο οποίο αντιστοιχεί το χρώμα του βρίσκεται πάνω στον άξονα άσπρου – μαύρου. Κάθε χρώμα αντιστοιχεί σε ένα σημείο εντός της σφαίρας και εκφράζεται ως διάνυσμα $\Delta\vec{E}$ με αυτές τις τρεις συνιστώσες. Έτσι, από τις τιμές των παραμέτρων αυτών υπολογίζεται η συνολική μεταβολή της οπτικής απόκρισης ΔE , αλλά και η συνολική μεταβολή του χρώματος ΔC . Οι τιμές τους υπολογίζονται από τις παρακάτω σχέσεις (5.4.1 και 5.4.2).

$$\Delta E = \sqrt{L^2 + a^2 + b^2} \quad (5.4.3)$$

$$\Delta C = \sqrt{a^2 + b^2} \quad (5.4.4)$$

Στις παρακάτω εικόνες φαίνεται σχηματικά το τριαξονικό σφαιρικό σύστημα.



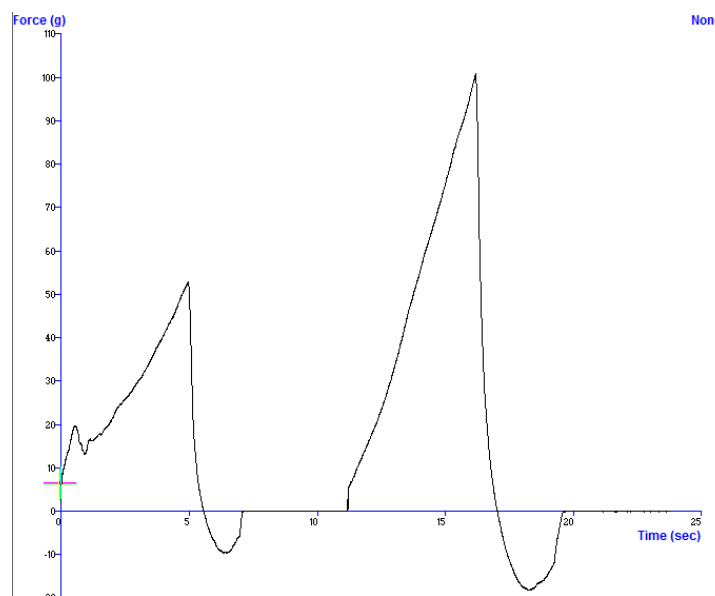
Εικόνα 5.1: Τριαζονικό σύστημα Cielab

Μέτρηση χαρακτηριστικών υφής ζυμαριού

Η ανάλυση υφής γίνεται με τη χρήση του αναλυτή υφής TA-XT2 (StableMicro Systems), ο οποίος είναι συνδεδεμένος με ηλεκτρονικό υπολογιστή. Το εκάστοτε δείγμα υφίσταται συμπίεση (ταχύτητα διείσδυσης 3 mm/s, βάθος διείσδυσης 15 mm), που λαμβάνει χώρα σε δύο κύκλους, με ειδικό στέλεχος κωνικού σχήματος (SMSP/45C). Πριν την έναρξη των μετρήσεων γίνεται βαθμονόμηση του οργάνου με τη χρήση πρότυπου βάρους 1 kg. Λαμβάνονται 3 μετρήσεις από κάθε δείγμα. Για την πραγματοποίηση των μετρήσεων δημιουργήθηκε ειδικό πρόγραμμα συμπίεσης στη βάση δεδομένων του αναλυτή υφής, του οποίου οι παράμετροι παρουσιάζονται στον πίνακα 5.2. Το διάγραμμα που προκύπτει έχει τη μορφή που παρουσιάζεται στην εικόνα 5.2. Η μέγιστη δύναμη κατά την πρώτη διείσδυση δίνει τη ζητούμενη σκληρότητα.

Πίνακας 5.2: Τιμές παραμέτρων για την ανάλυση υφής στο ζυμάρι

Παράμετρος	Τιμή
Test Mode	Compression
Pre-Test Speed	10,00 mm/s
Test Speed	3,00 mm/s
Post-Test Speed	5,00 mm/s
Target Mode	Distance
Distance	15,00 mm
Count	2
Trigger Type	Auto (Force)
Trigger Force	5,0 g



Εικόνα 5.2: Διάγραμμα συμπίεσης ζυμαριού

Μέτρηση χαρακτηριστικών υφής αρτοσκευασμάτων

Για την ανάλυση υφής των αρτοσκευασμάτων χρησιμοποιούνται δύο παρόμοια δείγματα. Η πρώτη μέτρηση λαμβάνεται με τη χρήση του στελέχους TA-45 Craftknife και προσομοιάζει την κοπή του άρτου με μαχαίρι. Το δείγμα τοποθετείται ολόκληρο στην ειδική επιφάνεια του αναλυτή και μέσω του προσαρτημένου στελέχους εφαρμόζεται κατακόρυφη πίεση η οποία συνεπάγεται την κοπή του δείγματος. Η κοπή εκτελείται πάντα προς την ίδια κατεύθυνση, δηλαδή από την εξωτερική επιφάνεια της κόρας προς την ψίχα του αρτοσκευάσματος, ώστε οι μετρήσεις να είναι αντιπροσωπευτικές και συγκρίσιμες μεταξύ τους. Στη συνέχεια το δείγμα κόβεται στη μέση και τοποθετείται κατάλληλα στην ειδική επιφάνεια, ώστε η κοπή να λαμβάνει χώρα από το εσωτερικό του δείγματος (ψίχα) προς το εξωτερικό (κόρα). Η διαδικασία είναι πανομοιότυπη με αυτή που περιγράφηκε προηγουμένως. Τέλος, το άλλο δείγμα κόβεται κατάλληλα, με χρήση διπλού μαχαιριού, ώστε να προκύψει μία φέτα αυτού σταθερού πάχους 1 cm, προκειμένου οι μετρήσεις να είναι συγκρίσιμες κάθε φορά. Στη φέτα αυτή εφαρμόζεται διπλή συμπίεση με τη χρήση κυλίνδρου, προσομοιάζοντας τη διαδικασία της μάσησης. Το στέλεχος που χρησιμοποιείται είναι το SrisP/75. Πριν την έναρξη των μετρήσεων, όπως και παραπάνω, γίνεται βαθμονόμηση του οργάνου.

Πίνακας 5.3: Τιμές παραμέτρων για την ανάλυση υφής στα αρτοσκευάσματα (κοπή)

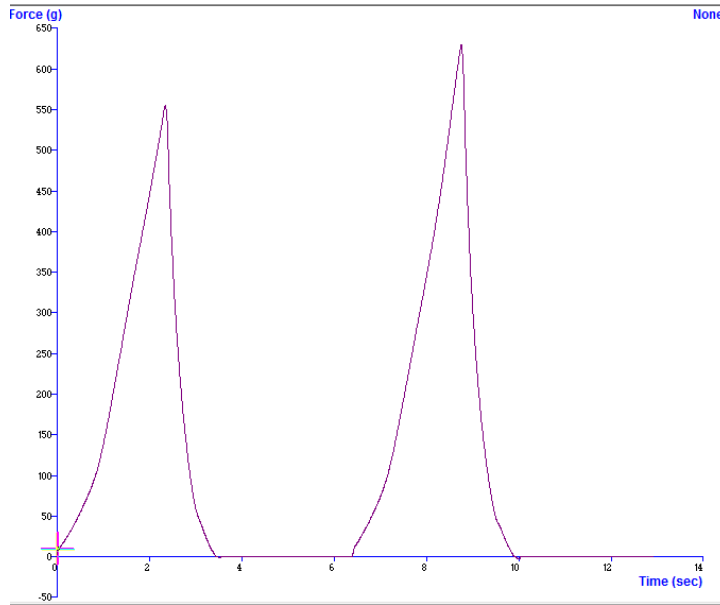
Παράμετρος	Τιμή
Test Mode	Compression
Pre-Test Speed	10,00 mm/s
Test Speed	3,00 mm/s
Post-Test Speed	5,00 mm/s
Target Mode	Distance
Distance	10,00 mm
Trigger Type	Auto(Force)
Trigger Force	5,0 g

Σε κάθε περίπτωση καταγράφεται η ασκούμενη δύναμη σε συνάρτηση με το χρόνο. Για κάθε δείγμα έγιναν τρεις ανεξάρτητες μετρήσεις σε κεντρικά σημεία αυτού. Για κάθε είδος μετρήσεων δημιουργήθηκε ειδικό πρόγραμμα κοπής ή συμπίεσης, αντίστοιχα, στη βάση δεδομένων του αναλυτή υφής. Οι τιμές των παραμέτρων παρουσιάζονται στους πίνακες 5.3 και 5.4.

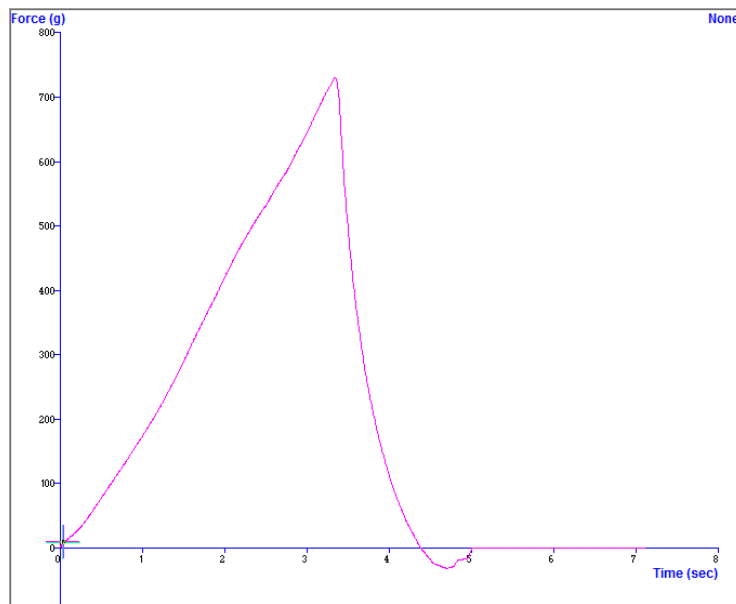
Πίνακας 5.4: Τιμές παραμέτρων για την ανάλυση υφής στα αρτοσκευάσματα (συμπίεση)

Παράμετρος	Τιμή
Test Mode	Compression
Pre-Test Speed	10,00 mm/s
Test Speed	3,00 mm/s
Post-Test Speed	5,00 mm/s
Target Mode	Distance
Distance	7,0 mm
Count	2
Trigger Type	Auto(Force)
Trigger Force	5,0 g

Από κάθε μέτρηση προκύπτει ένα διάγραμμα δύναμης – χρόνου, το οποίο μεταφέρεται σε ηλεκτρονικό υπολογιστή μέσω του λογισμικού του αναλυτή υφής (Texture Expert Exceed). Ταυτόχρονα, καταγράφεται η σκληρότητα, όπως αυτή προκύπτει από το διάγραμμα. Η τελική τιμή προκύπτει από το μέσο όρο των τριών μετρήσεων που πραγματοποιούνται. Μέσω της κοπής του δείγματος και της συμπίεσης της φέτας προσδιορίζεται η σκληρότητα του άρτου με δύο εναλλακτικούς τρόπους. Το διάγραμμα συμπίεσης έχει τη μορφή που παρουσιάζεται στην εικόνα 5.3. Η μέγιστη δύναμη κατά την πρώτη διείσδυση είναι η ζητούμενη σκληρότητα. Αντίστοιχα, το διάγραμμα κοπής έχει τη μορφή που παρουσιάζεται στην εικόνα 5.4 και η μέγιστη δύναμη είναι η ζητούμενη σκληρότητα.



Εικόνα 5.3 : Διάγραμμα συμπίεσης αρτοσκευασμάτων



Εικόνα 5.4: Διάγραμμα κοπής αρτοσκευασμάτων

Μέτρηση ενεργότητας νερού

Η ενεργότητα νερού των δειγμάτων μετρήθηκε με τη συσκευή Aqualab 4TEV (Decagon Devices Inc. Pullman, WA, USA), η οποία εκτός από την ενεργότητα νερού του τροφίμου καταγράφει και τη θερμοκρασία στην οποία γίνεται η μέτρηση. Ένα μέρος της ψίχας του δείγματος τοποθετείται σε κατάλληλο, καθαρό και στεγνό περιέκτη, ο οποίος εισάγεται στην υποδοχή του οργάνου και αφήνεται μέχρις ότου να σταθεροποιηθεί η τιμή της ενεργότητας νερού και να εμφανιστεί η ένδειξη αυτής στην οθόνη.

Η ενεργότητα του νερού σε ένα τρόφιμο σε ισορροπία με το περιβάλλον του ορίζεται ως ο λόγος της μερικής πίεσης ατμών του περιβάλλοντος σε ισορροπία με το τρόφιμο (p) προς την τάση ατμών του καθαρού νερού (πίεση κορεσμού, p^0):

$$a_w = \frac{p}{p^0} = \frac{RH}{100} \quad (5.4.4)$$

Όπου RH η σχετική υγρασία του τροφίμου.

Η ενεργότητα αποτελεί ένα δείκτη της σταθερότητας των τροφίμων και της διατήρησης της ποιότητάς τους ως προς το χρόνο. Μέσω αυτής μπορεί να εκτιμηθεί η περιεχόμενη υγρασία του δείγματος (ως συνάρτηση της σχετικής υγρασίας, RH) και να προβλεφθεί η μεταφορά υγρασίας από ή/και προς το τρόφιμο. Ακόμη, λειτουργεί ως δείκτης της μικροβιακής ανάπτυξης στο τρόφιμο, αλλά και ως ποιοτικός δείκτης κατά την ανάπτυξη νέων προϊόντων. Για το λόγο αυτό χρησιμοποιείται εκτεταμένα στο σχεδιασμό διεργασιών και τον ποιοτικό έλεγχο των τροφίμων.

Εκτίμηση οργανοληπτικών χαρακτηριστικών αρτοσκευασμάτων

Ο οργανοληπτικός έλεγχος των δειγμάτων (φρέσκα ή κατεψυγμένα αρτοσκευάσματα) πραγματοποιήθηκε στο διαπιστευμένο κατά ISO 17025 Εργαστήριο Οργανοληπτικών Δοκιμών του Εργαστηρίου Χημείας και Τεχνολογίας Τροφίμων της Σχολής Χημικών Μηχανικών ΕΜΠ από εκπαιδευμένους δοκιμαστές, οι οποίοι αξιολογούσαν ξεχωριστά τα δείγματα, σε ειδικά σχεδιασμένους και κατάλληλα φωτισμένους θαλάμους. Προκειμένου να εξασφαλίζονται σταθερές συνθήκες κατά τη διεξαγωγή των δοκιμών, η θερμοκρασία του χώρου διατηρείται σε ευχάριστα για τους δοκιμαστές επίπεδα (20-25°C) και χρησιμοποιούνται κάθε φορά παρόμοια σκεύη

κωδικοποιημένα με τυχαίους τριψήφιους αριθμούς. Κατά τη διάρκεια του οργανοληπτικού ελέγχου, τα αρτοσκευάσματα μοιράζονται στους δοκιμαστές μαζί με τα αντίστοιχα έντυπα. Μεταξύ των δειγμάτων οι δοκιμαστές εκπλένουν το στόμα τους με νερό. Για την καλύτερη και πληρέστερη εκτίμηση των οργανοληπτικών χαρακτηριστικών των δειγμάτων, ο έλεγχος έγινε από 4–9 δοκιμαστές, εκπαιδευμένους στην αναγνώριση και την αξιολόγηση των αντίστοιχων χαρακτηριστικών με χρήση της ποσοτικής περιγραφικής ανάλυσης (Quantitative Descriptive Analysis, QDA).

ΕΝΤΥΠΟ ΔΟΚΙΜΑΣΤΗ

Δοκιμή: Ποσοτική Περιγραφική

Προϊόντα: Άρτος

Χαρακτηριστικό			
Όγκος			
Χρώμα κόρας			
Σχήμα Φόρμας			
Ελαττώματα			
Υφή στο χέρι	Κανονική		
	Σκληρή		
	Κολλώδης		
	Εύθρυπτη		
Εμφάνιση	Ραβδώσεις		
Ψίχας	Τρύπες		
Χρώμα ψίχας			
Γεύση/Αρωμα			
Υφή στο στόμα			
Μετάγευση			
Συνολική αρέσκεια			
Παρατηρήσεις			

1=ανύπαρκτο – 10=πολύ έντονο

Η εκτίμηση και βαθμολόγηση των περιγραφικών όρων έγινε με χρήση 10-βάθμιας κλίμακας (1–10). Οι τιμές βαθμολόγησης σημειώνονταν στο ειδικό έντυπο οργανοληπτικού ελέγχου που δημιουργήθηκε για το σκοπό αυτό. Επιπλέον, οι δοκιμαστές κλήθηκαν να σημειώσουν και προσωπικές κρίσεις σε περίπτωση που οι αναγραφόμενοι στο έντυπο περιγραφικοί όροι δεν επαρκούσαν για να χαρακτηρίσουν τα εξεταζόμενα δείγματα. Το έντυπο που διανεμήθηκε παρουσιάζεται παραπάνω.

Προσδιορισμός υγρασίας

Για τον προσδιορισμό της υγρασίας χρησιμοποιήθηκαν δύο βασικές μέθοδοι ξήρανσης με κλίβανο. Οι μέθοδοι αυτές είναι σχετικά ακριβείς και έχουν μεγάλη επαναληψιμότητα, για αυτό και είναι οι επίσημες, αλλά έχουν το μειονέκτημα ότι διαρκούν πολύ. Οι μέθοδοι ξήρανσης με κλίβανο βασίζονται στην ξήρανση με θέρμανση δείγματος γνωστού βάρους. Η υγρασία υπολογίζεται από την απώλεια βάρους με απλή μέθοδο των τριών και είναι επί της υγρής βάσης. Για να υπολογιστεί η υγρασία επί της ξηρής βάσης (W_{Ξ}) χρησιμοποιείται η παρακάτω εξίσωση, όπου %W είναι η περιεκτικότητα επί υγρής βάσης. Η υγρασία W_{Ξ} εκφράζεται σε g νερού ανά g ξηρού σιτηρού.

$$W_{\Xi} = \frac{\%W}{100 - \%W} \cdot 100 \quad (5.4.5)$$

Οι μέθοδοι αυτές είναι εμπειρικές και εξαρτώνται από το βαθμό άλεσης του δείγματος, το χρόνο ξήρανσης, τη θερμοκρασία και την ατμοσφαιρική πίεση.

Η πρώτη (και επίσημη) μέθοδος περιλαμβάνει την εξής διαδικασία. Αρχικά, ζυγίζεται κατάλληλη ποσότητα αλεσμένου δείγματος, σε κατάλληλο φιαλίδιο ζύγισης, με ακρίβεια 0,0001. Ξηραίνεται σε φούρνο σταθερής θερμοκρασίας 100°C μέχρι να σταθεροποιηθεί το βάρος του, οπότε και ακολουθεί ζύγιση. Η ελάττωση του βάρους του αποτελεί την υγρασία επί τοις %.

Η δεύτερη μέθοδος γίνεται με τη βοήθεια της συσκευής Brabender και είναι μία ταχεία μέθοδος κλιβάνου. Περιέχει ενσωματωμένο ζυγό για την αυτόματη ζύγιση του δείγματος μετά την ξήρανση, χωρίς τη μετακίνησή του, καθώς και 10 θέσεις για την ταυτόχρονη εξέταση δειγμάτων, τα οποία θερμαίνονται στη σταθερή θερμοκρασία των 130°C για 1 h. Η υγρασία που προκύπτει (ατμός) απομακρύνεται με εξαερισμό. Μετά την ξήρανση, κάθε δείγμα ζυγίζεται και το βάρος μετατρέπεται σε %

περιεκτικότητα σε υγρασία, η οποία διαβάζεται στη φωτεινή κλίμακα που έχει υποδιαιρέσει 0,1%.

Προσδιορισμός τέφρας

Η μέθοδος του προσδιορισμού έχει ως εξής: σε προζυγισμένο χωνευτήριο πορσελάνης τοποθετείται κατάλληλη ποσότητα δείγματος αλεύρου που ζυγίζονται με ακρίβεια 0,0001. Το χωνευτήριο εισάγεται σε κλίβανο και θερμαίνεται αρχικά ήπια μέχρι να απανθρακωθεί. Στη συνέχεια, αυξάνεται η θερμοκρασία στους 500 – 600°C, για να αποτεφρωθεί. Η θερμοκρασία του κλιβάνου δεν πρέπει να υπερβεί τους 950°C. Όταν αποτεφρωθεί εντελώς το δείγμα, η πύρωση σταματά και το δείγμα έχει λάβει λευκό, ανοιχτό σταχτί ή υπέρυθρο χρώμα. Το χωνευτήριο ψύχεται σε ξηραντήρα και ζυγίζεται.

Προσδιορισμός γλουτένης

Για τον προσδιορισμό της γλουτένης αναμιγνύονται μέσα σε ίδιο πορσελάνης 20 g εξεταζόμενου αλεύρου με 11 mL ψυχρό νερό. Το ζυμάρι παραλαμβάνεται και γίνεται με τα χέρια σφαιρικό. Μαλάσσεται με το χέρι με ελαφριά ροή νερού πάνω από ξύλινο πλαίσιο στο οποίο είναι απλωμένο ειδικό ύφασμα. Σε περίπτωση που το αλεύρι προέρχεται από σκληρό σιτάρι, το ζυμάρι αφήνεται για 20 min πάνω στο βρεγμένο ύφασμα προτού ξεκινήσει η μάλαξη. Η μάλαξη διαρκεί μέχρι να αποχωριστεί όλο το άμυλο και έτσι το νερό της έκπλυσης πάψει να είναι γαλακτόχρωμο. Η γλουτένη συμπιέζεται, ώστε να απομακρυνθεί το επιπλέον νερό και τελικά ζυγίζεται. Όλη η διαδικασία πρέπει να διαρκέσει το πολύ 14 min.

Στη συνέχεια, η γλουτένη τεμαχίζεται και ξηραίνεται σε κλίβανο των 100°C μέχρι σταθερού βάρους (για 12-24 h) και έτσι προσδιορίζεται η ξηρή γλουτένη. Η διαφορά υγρής και ξηρής γλουτένης δίνει το ποσό του απορροφούμενου νερού και είναι ανάλογη με την ποιότητα της γλουτένης. Ενυδάτωση γλουτένης λέγεται το ποσό του νερού που συγκρατούν 100 g υγρής γλουτένης και πρέπει να είναι τουλάχιστον 62%.

Δίνεται δε από τη σχέση:

$$\text{ενυδάτωση} = [(υγρή \text{ γλουτένη} - \text{ξηρή γλουτένη}) / υγρή \text{ γλουτένη}] \times 100$$

Προσδιορισμός πρωτεϊνών μέσω της μεθόδου Kjeldahl

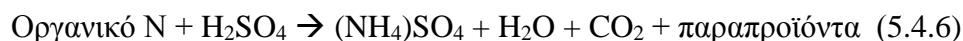
Αντιδραστήρια

- Θεικό κάλιο (K_2SO_4)
- Θεικός χαλκός ($CuSO_4$)
- Πυρήνες βρασμού
- Πυκνό θειικό οξύ (H_2SO_4 , 98% w/v)
- Θεικό αμμώνιο [$(NH_4)_2SO_4$]
- Πυκνό καυστικό νάτριο ($NaOH$) 32%
- Θειικό οξύ (H_2SO_4) 0,5 N
- Καυστικό νάτριο ($NaOH$) 0,5 N
- Δείκτης ερυθρό του μεθυλίου – μπλε μεθυλενίου (0,125 g ερυθρό μεθυλίου & 0,08 g μπλε μεθυλενίου σε 100 mL αιθανόλης)

Μέθοδος

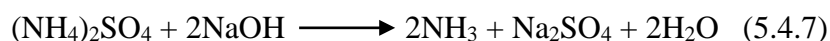
Για τον προσδιορισμού του πρωτεϊνικού περιεχομένου των δύο τύπων αλεύρων χρησιμοποιήθηκε η μέθοδος Kjeldahl. Η αρχή της μεθόδου στηρίζεται στην καύση του προς μελέτη δείγματος με πυκνό θειικό οξύ παρουσία θειικού καλίου και θειικού χαλκού. Κατά τη διάρκεια αυτής, το οργανικά δεσμευμένο άζωτο μετατρέπεται σε αμμωνία, την οποία δεσμεύει η περίσσεια του οξέος. Αφού τα δείγματα κρυώσουν, προκειμένου να απελευθερωθεί η αμμωνία προστίθεται πυκνό καυστικό νάτριο που αντιδρά με το θειικό οξύ. Η αμμωνία αποστάζεται και οδηγείται σε συγκεκριμένο όγκο πρότυπου διαλύματος οξέος. Η περίσσεια του οξέος που δεν έχει αντιδράσει με την αμμωνία προσδιορίζεται αλκαλιμετρικά και έτσι, μέσω της ποσότητας της αμμωνίας, υπολογίζεται η περιεκτικότητα του δείγματος σε οργανικό άζωτο και μέσω αυτού η περιεκτικότητα σε πρωτεΐνες.

Πιο συγκεκριμένα, η μέθοδος Kjeldahl διακρίνεται σε τρία στάδια: τη χώνευση, την απόσταξη και την τιτλοδότηση. Η χώνευση επιτυγχάνεται μέσω του βρασμού ενός ομοιογενούς δείγματος σε πυκνό θειικό οξύ με αποτέλεσμα να προκύπτει τελικά διάλυμα θειικού αμμωνίου. Η γενική εξίσωση για τη χώνευση ενός οργανικού δείγματος είναι η εξίσωση 5.4.6.

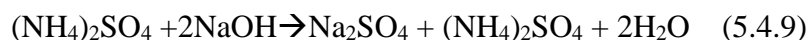
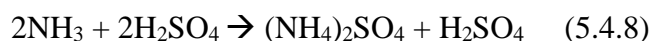


Στο στάδιο της απόσταξης, προστίθεται περίσσεια βάσης στο προϊόν της χώνευσης ώστε να μετατραπεί το θεικό αμμώνιο (NH_4^+) σε αμμωνία (NH_3), σύμφωνα με την εξίσωση (5.4.7). Η αμμωνία ανακτάται μέσω απόσταξης του προϊόντος της αντίδρασης.

θέρμανση



Τέλος, κατά την τιτλοδότηση, προσδιορίζεται η ποσότητα της αμμωνίας που έχει αποστάξει στο διάλυμα του πρότυπου οξέος. Η περιεκτικότητα ενός δείγματος σε άζωτο μπορεί να υπολογιστεί από την ποσότητα αυτή. Υπάρχουν δύο τύποι τιτλοδότησης, η άμεση και η έμμεση. Στην έμμεση τιτλοδότηση (η οποία χρησιμοποιήθηκε στο πείραμα) η αμμωνία δεσμεύεται στην κωνική φιάλη από συγκεκριμένη περίσσεια πρότυπου διαλύματος αραιού οξέος. Η περίσσεια του διαλύματος οξέος διατηρεί το pH χαμηλά και έτσι ο δείκτης δεν αλλάζει μέχρι να το διάλυμα να τιτλοδοτηθεί με τη βάση. Οι αντιδράσεις της τιτλοδότησης παρουσιάζονται στις εξισώσεις 5.4.8 και 5.4.9.



Στην παρούσα εργασία πραγματοποιήθηκε μέτρηση της περιεκτικότητας του αλεύρου σίτου και ζέας σε πρωτεΐνη. Επιπλέον χρησιμοποιήθηκε θεικό αμμώνιο ως πρότυπο δείγμα, ενώ έγινε και τυφλός προσδιορισμός. Αρχικά, για κάθε ένα δείγμα ζυγίζονται 10 g θεικού καλίου (K_2SO_4) και 1 g θεικού χαλκού (CuSO_4) με ακρίβεια 0,001 και αφού προστεθεί η αντίστοιχη ποσότητα του δείγματος (1 g από κάθε αλεύρι ή 0,8 g θεικό αμμώνιο) και πυρήνες βρασμού, ρίχνονται 25 mL πυκνού θεικού οξέος 98%

w/v. Γίνεται μικρή ανάδευση του περιεχομένου της κάθε φιάλης προκειμένου να αναμιχθούν τα αντιδραστήρια με το δείγμα και τοποθετούνται στη συσκευή καύσης Kjeldahl. Εκεί γίνεται ήπια θέρμανση, ώστε να αποφευχθεί ο έντονος αφρισμός και η ενδεχόμενη απώλεια δείγματος στα τοιχώματα της φιάλης. Όταν ο αφρισμός πάψει να είναι έντονος και οι ατμοί του θειικού οξέος γίνουν πυκνοί αυξάνεται η ένταση της θέρμανσης.

Η καύση έχει ολοκληρωθεί όταν τα δείγματα έχουν πλέον θαλασσί/πράσινο χρώμα, οπότε διακόπτεται η θέρμανση, οι φιάλες απομακρύνονται από τη συσκευή και αφήνονται να ισορροπήσουν σε θερμοκρασία περιβάλλοντος για 30 min. Έπειτα, στην κάθε φιάλη προστίθενται 50 mL νερό και 125 mL πυκνό καυστικό νάτριο 32% w/v. Το χρώμα του διαλύματος (εφόσον περιέχει οργανικά συστατικά) μετατρέπεται σε καφέ σκούρο και παραμένει και μετά την απόσταξη που θα ακολουθήσει. Μέσω της συσκευής, γίνεται απόσταξη του δείγματος για 5 min με το απόσταγμα να οδηγείται σε κωνική φιάλη που περιέχει 50 mL θειικού οξέος 0,5 N. Το περιεχόμενο της κωνικής φιάλης τιτλοδοτείται με καυστικό νάτριο 0,5 N και δείκτη ερυθρό του μεθυλίου-μπλε μεθυλενίου (0,125 g ερυθρό μεθυλίου + 0,08 g μπλε μεθυλενίου σε 100 mL αιθανόλης) και έτσι υπολογίζεται η περιεκτικότητα του εκάστοτε δείγματος σε άζωτο ή πρωτεΐνες.

Το επί τοις εκατό (%) ποσοστό του περιεχομένου αζώτου υπολογίζεται από τη σχέση (5.4.10):

$$N\% = \frac{1,4007(V_0 - V)N}{\beta} \quad (5.4.10)$$

όπου:

V_0 = καταναλωθέντα mL NaOH 0,5N για το τυφλό διάλυμα

V = καταναλωθέντα mL NaOH 0,5N για το εξεταζόμενο διάλυμα

N = κανονικότητα διαλύματος NaOH = 0,5N

β = g δείγματος που χρησιμοποιήθηκαν

Ο συντελεστής που χρησιμοποιείται για τη μετατροπή του περιεχόμενου άζωτο σε περιεκτικότητα σε πρωτεΐνες είναι 5,7 για το σιτάρι και το αλεύρι.

Προσδιορισμός γλουτενίνης

Η πλέον αξιόπιστη μέθοδος για τον προσδιορισμό της γλουτενίνης είναι η προταθείσα από τους Blish - Sandstedt.

Αντιδραστήρια

- Διάλυμα NaOH 1 N
- Μεθυλική αλκοόλη
- Δείκτης κυανό της βρωμοθυμόλης
- Διάλυμα HCl 0,2 N
- Θεϊκό κάλιο (K_2SO_4)
- Θεϊκός χαλκός ($CuSO_4$)
- Πυρήνες βρασμού
- Πυκνό θεϊκό οξύ (98% w/v)
- Θεϊκό αμμώνιο $[(NH_4)_2SO_4]$
- Πυκνό καυστικό νάτριο (NaOH) 32%
- Θεϊκό οξύ (H_2SO_4) 0,5 N
- Καυστικό νάτριο (NaOH) 0,5 N
- Δείκτης ερυθρό του μεθυλίου – μπλε μεθυλενίου (0,125 g ερυθρό μεθυλίου & 0,08 g μπλε μεθυλενίου σε 100 mL αιθανόλης)

Μέθοδος

Σε αιώρημα 8 g δείγματος σε 50 mL νερού, προστίθενται 5 mL διαλύματος NaOH 1 N. Αναταράσσεται ανά τακτά χρονικά διαστήματα για συνολικά 1 h. Στη συνέχεια, προστίθεται μεθυλική αλκοόλη μέχρι το διάλυμα να γίνει 200 mL. Ύστερα από κάθε προσθήκη 50 mL μεθυλικής αλκοόλης το διάλυμα αναταράσσεται έντονα. Τέλος, προστίθενται άλλα 5 mL μεθυλικής αλκοόλης. Το διάλυμα αφήνεται σε ηρεμία, οπότε το άμυλο καθιζάνει. Ακολουθεί διήθηση υπό κενό. Λαμβάνεται το διήθημα και συμπληρώνεται μέχρι τα 200 mL με μεθυλική αλκοόλη. Προστίθενται μερικές σταγόνες δείκτη κυανό της βρωμοθυμόλης και διάλυμα HCl 0,2 N μέχρι να αλλάξει

χρώμα (να γίνει κίτρινο) και το pH να γίνει 6,4, οπότε η γλουτενίνη καθιζάνει. Το διάλυμα αφήνεται για 1 h και ύστερα γίνεται φυγοκέντρηση μέχρι το υπερκείμενο υγρό να διαυγαστεί (15 min). Αποχύνεται το υγρό και η γλουτενίνη μεταφέρεται προς ξήρανση στους 70°C. Όταν ξηρανθεί, αποξάινεται και λαμβάνεται με τη βοήθεια μεταλλικής σπάτουλας. Μεταφέρεται στη φιάλη καύσης Kjeldahl, όπου και προσδιορίζεται με την ομώνυμη μέθοδο.

Προσδιορισμός γλοιαδίνης

Η διαφορά της περιεχόμενης γλουτενίνης και της διαλυτής πρωτεΐνης σε K₂SO₄ 5%, από το συνολικό πρωτεϊνικό περιεχόμενο του αλεύρου αντιπροσωπεύει την περιεχόμενη γλοιαδίνη.

Προσδιορισμός διαλυτών πρωτεϊνών σε διάλυμα K₂SO₄ 5%

Αντιδραστήρια

- Αλεύρι σίτου
- Αλεύρι ζέας
- Διάλυμα K₂SO₄ 5%
- Απιονισμένο νερό
- Διάλυμα Bradford
 - ✓ 100 mg Coomassie Brilliant Blue G250
 - ✓ 50 mL EtOH 95%
 - ✓ 100 mL H₃PO₄ 85%
 - ✓ 850 mL απιονισμένο νερό

Μέθοδος

Λαμβάνονται 6 g δείγματος, προστίθενται 100 mL διαλύματος K₂SO₄ 5% θερμοκρασίας 20°C και αναταράσσεται με τη βοήθεια συσκευής για 1 h. Αφήνεται το διάλυμα σε ηρεμία. Φυγοκεντρείται και στη συνέχεια γίνεται διήθηση υπό κενό. Το διήθημα συμπληρώνεται με νερό μέχρι τα 100 mL και στη συνέχεια γίνεται προσδιορισμός του πρωτεϊνικού περιεχομένου με τη μέθοδο Bradford.

Μέθοδος Bradford

Σε δοκιμαστικό σωλήνα φέρονται 50 μL διαλύματος πρωτεΐνης και 2.5 mL διαλύματος Bradford (100 mg Coomassie Brilliant Blue G250 σε 50 mL 95% αιθανόλης, 100 mL 85% H_3PO_4 και 850 mL απιονισμένο νερό, ανάδευση και διήθηση), αναδεύονται και μετά από πάροδο 5 min για την ανάπτυξη μπλε χρώματος, μετράται η απορρόφησή τους στα 590 nm. Η ποσότητα της πρωτεΐνης υπολογίζεται από καμπύλη αναφοράς με εξίσωση $\text{Abs} = 0,0009\text{C} - 0,0072$, όπου Abs η απορρόφηση του δείγματος και C η συγκέντρωση της πρωτεΐνης στο διάλυμα.

Προσδιορισμός αμύλου

Αντιδραστήρια

- Πυκνό HCl οξύ, 37% w/w
- NaOH 5 N
- Δινιτροσαλικυλικό οξύ (DNS)

Μέθοδος

Ζυγίζονται με ακρίβεια 2,50 g αλεύρου και αναμιγνύονται με 50 mL κρύου νερού. Αναταράσσονται για να γίνουν αιώρημα και αφήνονται για 1 h. Το αιώρημα μεταφέρεται σε φίλτρο και ξεπλένεται με 250 mL κρύου νερού. Μετά την απομάκρυνση των διαλυτών συστατικών, το ίζημα αφήνεται για 2,5 h με 200 mL HCl οξύ, συγκέντρωσης 37% w/w. Ακολουθεί ψύξη και εξουδετέρωση με NaOH 5N, φυγοκέντρηση για τη διαύγαση του διαλύματος και αραίωση με νερό μέχρι τα 250 mL. Ο προσδιορισμός των σχηματισθέντων σακχάρων γίνεται με τη μέθοδο του δινιτροσαλικυλικού οξέος (DNS). Το αποτέλεσμα πολλαπλασιάζεται με το συντελεστή 0,9 και δίνει το περιεχόμενο άμυλο. Από κάθε είδος αλεύρου παρασκευάστηκαν δύο δείγματα.

Προσδιορισμός ολικών υδατανθράκων

Αντιδραστήρια

- Πυκνό HCl οξύ, 37% w/w
- NaOH 5 N
- Δινιτροσαλικυλικό οξύ (DNS)

Μέθοδος

Ζυγίζονται με ακρίβεια 2,50 g αλεύρου και αναμιγνύονται με 50 mL κρύου νερού. Αναταράσσονται για να γίνουν αιώρημα και αφήνονται για 2,5 h με 200 mL HCl οξύ, συγκέντρωσης 37% w/w. Ακολουθεί ψύξη και εξουδετέρωση με NaOH 5N, φυγοκέντρωση για τη διαύγαση του διαλύματος και αραιώση με νερό μέχρι τα 250 mL. Ο προσδιορισμός των σχηματισθέντων σακχάρων γίνεται με τη μέθοδο του δινιτροσαλικυλικού οξέος (DNS). Από κάθε είδος αλεύρου παρασκευάστηκαν δύο δείγματα.

Μέθοδος του δινιτροσαλικυλικού οξέος (DNS)

Με τη συγκεκριμένη φωτομετρική μέθοδο γίνεται μέτρηση των αναγωγικών σακχάρων που έχουν σχηματιστεί. Ως αναγωγικό σάκχαρο ορίζεται εκείνο που έχει ελεύθερο το ημιακεταλικό υδροξύλιο. Η μέθοδος βασίζεται στο σχηματισμό συμπλόκου ανάμεσα στο υδροξύλιο αυτό και το δινιτροσαλικυλικό οξύ, κατά τη θέρμανση σε θερμοκρασία άνω των 70°C. Το σύμπλοκο αυτό εμφανίζει μέγιστο απορρόφησης στα 540 nm.

Σε 16 δοκιμαστικούς σωλήνες προστίθενται 250 μL κατάλληλα αραιωμένου δείγματος (1:10) και 250 μL DNS. Για κάθε δείγμα γίνονται δύο επαναλήψεις. Ταυτόχρονα, σε άλλους δύο δοκιμαστικούς σωλήνες, προστίθενται 250 μL νερό και 250 μL DNS (τυφλό δείγμα). Ακολουθεί ανάδευση, βρασμός των διαλυμάτων για 5 min και προσθήκη 2 mL νερού στο καθένα. Ύστερα από καλή ανάδευση γίνεται φωτομέτρηση έναντι του τυφλού στα 540 nm.

Δοκιμή Zeleny

Αντιδραστήρια

- Ισοπροπυλική αλκοόλη
- Γαλακτικό οξύ

Μέθοδος

Η δοκιμή Zeleny είναι μια απλή και γρήγορη μέθοδος αξιολόγησης των αλεύρων, που δεν προϋποθέτει ακριβά μηχανήματα και βασίζεται σε φυσικοχημικές μεταβολές του εξεταζόμενου δείγματος. Είναι μία δοκιμή καταβύθισης και στηρίζεται στη διόγκωση της γλουτένης του εξεταζόμενου αλεύρου που βρίσκεται υπό μορφή υδατικού αιωρήματος. Η διόγκωση προκαλείται από οξύ. Η διογκωμένη γλουτένη καθιζάνει, συμπαρασύροντας εγκλωβισμένο άμυλο. Η ποσότητα ιζήματος που σχηματίζεται μετά από ορισμένο χρονικό διάστημα (5 min) αποτελεί την τιμή καθίζησης.

Συγκεκριμένα, 3,20 g αλεύρου ζυγίζονται με ακρίβεια 0,01 και εισάγονται σε ογκομετρικό κύλινδρο που κλείνει με εσφυρισμένο πώμα. Προστίθενται 50 mL απεσταγμένου νερού και ανακινείται ο κύλινδρος μέχρι να σχηματιστεί αιώρημα. Στη συνέχεια προστίθενται 25 mL διαλύματος ισοπροπυλικής αλκοόλης – γαλακτικού οξέος. Ακολουθεί καλή ανάμιξη και άφεση του κυλίνδρου σε ισορροπία. Ύστερα από 5 min μετράται το ύψος του ιζήματος.

Ηλεκτροφόρηση πρωτεϊνών – SDS Page

Αντιδραστήρια

- Διάλυμα SDS/DTT
- Διάλυμα Δωδεκυλοθειϊκού νατρίου [Sodium Dodecyl Sulfate (SDS)] 10%
- Διάλυμα Tris-HCl 1,5M pH 8,8:
 - ✓ 182 g/L Tris
 - ✓ 40 mL SDS 10%

- ✓ Ρύθμιση του pH στο 8,8 με HCl 25%
- Διάλυμα Tris-HCl 0,5M pH 6,8:
 - ✓ 60,6 g/L Tris
 - ✓ 40 mL SDS 10%
 - ✓ Ρύθμιση του pH στο 6,8 με HCl 25%
- Ακρυλαμίδα-δισακρυλαμίδα (Acr/Bis):
 - ✓ 300 g ακρυλαμίδα
 - ✓ 8 g δισακρυλαμίδα
 - ✓ 1 L απεσταγμένο νερό
- TEMED (N,N,N,N-Tetramethyl-ethylenediamine)
- Υπερθεϊκό αμμώνιο [Ammonium Persulfate (AP) ((NH₄)₂S₂O₈):
 - ✓ 0,05 mg AP
 - ✓ 500 μL απεσταγμένο νερό
- Πήκτωμα διαχωρισμού (Seperating gel) 10%:
 - ✓ 1,7 mL dH₂O
 - ✓ 2,21 mL Tris pH 8,8
 - ✓ 2 mL Acr/Bis
 - ✓ 50 μL AP
 - ✓ 5 μL TEMED
- Πήκτωμα πακεταρίσματος (Stacking gel) 3%:
 - ✓ 1,55 mL dH₂O
 - ✓ 1,625 mL Tris pH 6,8
 - ✓ 0,3 mL Acr/Bis

- ✓ 30 μ L AP
- ✓ 5 μ L TEMED
- Διάλυμα ηλεκτροφόρησης (Running Buffer) (4x):
 - ✓ 12 g Tris
 - ✓ 56 g γλυκίνη
 - ✓ 4 g SDS
 - ✓ Συμπληρώνεται με απεσταγμένο νερό στο 1 L και το pH ρυθμίζεται στο 8,3
- Μάρτυρες Μοριακών Βαρών για ηλεκτροφόρηση
- Διάλυμα δειγμάτων (Sample Buffer):
 - ✓ 0.0625M Tris-HCl pH 6,8
 - ✓ 10% SDS
 - ✓ 30% γλυκερόλη
 - ✓ 25% β -μερκαπτοαιθανόλη μόνο για τις αναγωγικές συνθήκες
 - ✓ 0,01% μπλε της βρωμοφαινόλης
 - ✓ Συμπληρώνεται με απεσταγμένο νερό μέχρι τελικό όγκο 10 mL
- Διάλυμα χρώσης για ηλεκτροφόρηση (Stainsolution):
 - ✓ 225 mL αιθανόλη
 - ✓ 1,25 g Coomassie Blue
 - ✓ 40 mL οξικό οξύ
 - ✓ 230 mL απεσταγμένο νερό
- Διάλυμα αποχρωματισμού για ηλεκτροφόρηση (Destain solution):
 - ✓ 10% οξικό οξύ

- ✓ 20% αιθανόλη
- ✓ 70% απεσταγμένο νερό

Μέθοδος

Η τεχνική της ηλεκτροφόρησης σε πήκτωμα πολυακρυλαμίδης προσφέρει τη δυνατότητα διαχωρισμού πρωτεϊνών με βάση το μοριακό τους βάρος. Το πήκτωμα πολυακρυλαμίδιου είναι ένα τρισδιάστατο πλέγμα που δημιουργείται από τον πολυμερισμό μονομερών ακρυλαμίδιου και μορίων δισακρυλαμίδιου. Ο πολυμερισμός γίνεται σε θερμοκρασία δωματίου με τη βοήθεια του TEMED, το οποίο καταλύει το σχηματισμό ελευθέρων ριζών από το AP. Τα δείγματα διαλύονται σε διάλυμα που περιέχει SDS, το οποίο αποδιατάσσει και φορτίζει αρνητικά τις πρωτεΐνες. Οι πρωτεΐνες μετακινούνται στο πήκτωμα από την κάθοδο προς την άνοδο, με ταχύτητα ανάλογη του μοριακού βάρους. Η μέθοδος προσφέρεται για ημιποσοτικό προσδιορισμό της συγκέντρωσης των δειγμάτων σε πρωτεΐνες.

Η προετοιμασία των δειγμάτων πριν την ηλεκτροφόρηση είναι η παρακάτω:

1 g από κάθε είδος αλεύρου εκχυλίζεται εις διπλούν με 4 mL Tris-HCl (50 mM, pH=8,8) για 1 h στους 4 °C. Ανά 15 min γίνεται ανάδευση με τη χρήση vortex. Ύστερα από την πάροδο της μίας ώρας γίνεται φυγοκέντρηση στις 20000 g για 20 min. Το υπερκείμενο υγρό, το οποίο περιέχει αλβουμίνες και γλοβουλίνες, αποθηκεύεται υπό κατάψυξη. Η διαδικασία επαναλαμβάνεται άλλες δύο φορές στο ίζημα και τα υπερκείμενα υγρά απορρίπτονται. Μετά το πέρας της τρίτης επανάληψης, το ίζημα ξεπλένεται με νερό και προστίθενται σε αυτό 4 mL αιθανόλης 75% v/v. Αφήνεται για 2 h στους 25 °C και ακολουθεί φυγοκέντρηση. Το υπερκείμενο υγρό, το οποίο περιέχει τις γλοιαδίνες, αποθηκεύεται υπό κατάψυξη και η διαδικασία επαναλαμβάνεται άλλες δύο φορές στο ίζημα. Τα υπερκείμενα υγρά που προκύπτουν απορρίπτονται. Μετά το πέρας της τρίτης επανάληψης, το ίζημα ξεπλένεται με νερό και προστίθενται 4 mL διαλύματος SDS/DTT για 2 h σε θερμοκρασία δωματίου. Ανά διαστήματα γίνεται ανάδευση με vortex. Το υπερκείμενο υγρό, το οποίο περιέχει τις γλουτενίνες, αποθηκεύεται υπό κατάψυξη μέχρι να χρησιμοποιηθεί για την ηλεκτροφόρηση.

Η προετοιμασία πριν την έναρξη της ηλεκτροφόρησης έχει ως εξής:

Αρχικά στήνεται το σύστημα των γυάλινων πλακών έτσι ώστε να μη υπάρχει διαρροή. Κατασκευάζεται πήκτωμα διαχωρισμού 10% και τοποθετείται στο σύστημα. Στην επιφάνειά του προστίθεται απεσταγμένο νερό για να ευθυγραμμιστεί η στάθμη. Το πήκτωμα αφήνεται για περίπου 1 h ώσπου να ολοκληρωθεί ο πολυμερισμός του. Στη συνέχεια κατασκευάζεται το πήκτωμα συγκέντρωσης 3%. Αφού απομακρυνθεί το νερό από το σύστημα των πλακών, προστίθεται το πήκτωμα αυτό και τοποθετείται το χτενάκι για τη δημιουργία καναλιών. Αφήνεται για 1 h ώστε να ολοκληρωθεί ο πολυμερισμός του. Ετοιμάζονται οι μάρτυρες (Markers), οι οποίοι είναι εμπορικά διαθέσιμοι.

Σε 20 μL δείγματος προστίθενται 4 μL sample buffer, το οποίο περιέχει μερκαπτοαιθανόλη που ανάγει τους δισουλφιδικούς δεσμούς μεταξύ των κυστεϊνών. Τα δείγματα θερμαίνονται στους 100 $^{\circ}\text{C}$ για 5 min. Παράλληλα τοποθετείται το σύστημα των γυάλινων πλακών κατακόρυφα στη συσκευή ηλεκτροφόρησης. Έπειτα, προστίθεται το διάλυμα ηλεκτροφόρησης και τα δείγματα τοποθετούνται στα πηγάδια.

Ακολουθεί η έναρξη της ηλεκτροφόρησης, όπου διαβιβάζεται στη συσκευή ρεύμα τάσης 120 V. Όταν το μέτωπο της χρωστικής φτάσει σχεδόν στο κάτω άκρο του πηκτώματος, διακόπτεται η παροχή ρεύματος. Το πήκτωμα αφαιρείται από της γυάλινες πλάκες και τοποθετείται, υπό ανάδευση, στο διάλυμα χρώσης, το οποίο που περιέχει coomassie blue. Έστερα από 20 min το πήκτωμα τοποθετείται στο διάλυμα αποχρωματισμού (10% οξικό οξύ, 20% μεθανόλη, 70% νερό) για 24 h. Μετά τον αποχρωματισμό το πήκτωμα πλένεται και διατηρείται σε νερό μέχρι να φωτογραφηθεί.

Φαρινογράφος brabender

Ο Φαρινογράφος δίνει τη δυνατότητα εκτέλεσης διαφόρων τεστ, εκ των οποίων το σημαντικότερο είναι η καμπύλη αλεύρου - νερού. Αρχικά, γίνεται μία προκαταρκτική δοκιμή για να βρεθεί η απορρόφηση του αλεύρου σε νερό. Αυτό γίνεται μέχρι το ζυμάρι να αποκτήσει μια προκαθορισμένη συνεκτικότητα (500 Φαρινογραφικές Μονάδες - Φ.Μ.). Ο θερμοστάτης τίθεται σε λειτουργία για να ζεσταθεί το νερό (30 $^{\circ}\text{C}$) και μέσω αυτού οι παρειές του ζυμωτηρίου. Γεμίζεται η προχοΐδα, ενώ τοποθετείται στο ζυμωτήριο ποσότητα 300 g αλεύρου από το εξεταζόμενο δείγμα. Ενεργοποιείται το κατάλληλο λογισμικό και τίθεται σε λειτουργία ο Φαρινογράφος.

Αφού αναμιχθεί και ομογενοποιηθεί για 1 min το αλεύρι, προστίθεται με την προχοΐδα δοκιμαστική ποσότητα νερού. Όταν αρχίσει ο σχηματισμός του ζυμαριού αποξέονται από τα τοιχώματα τα προσκολλημένα ζυμάρια με τη βοήθεια πλαστικής σπάτουλας. Οι Φ.Μ. διαβάζονται στο Φαρινογράφημα. Ταυτόχρονα, μέσω του λογισμικού δίνεται η απαιτούμενη ποσότητα νερού ώστε το ζυμάρι να φτάσει τις 500 Φ.Μ. Όσο περισσότερο νερό απαιτείται, τόσο καλύτερης ποιότητας είναι το εξεταζόμενο αλεύρι. Η απορρόφηση νερού υπολογίζεται με βάση υγρασία αλεύρου 14%.

Ύστερα από τον προσδιορισμό απορρόφησης νερού, καθαρίζεται το ζυμωτήριο. Έπειτα, τοποθετούνται 300 g αλεύρου στο ζυμωτήριο και, όπως και πριν, γίνεται ανάμιξη και ομογενοποίηση για 1 min και έπειτα προστίθενται μέσω της προχοΐδας τα κατάλληλα mL νερού, ώστε να σχηματιστεί ζυμάρι 500 Φ.Μ., με βάση το προηγούμενο τεστ. Η προσθήκη γίνεται μέσα σε 20 s. Με τη βοήθεια της σπάτουλας καθαρίζονται τα τοιχώματα του ζυμωτηρίου. Αν η απορρόφηση νερού προσδιορίστηκε με ακρίβεια, η καμπύλη θα ανέρχεται βαθμιαία μέχρι να φτάσει στην κορυφή της. Όταν η γραμμή των 500 Φ.Μ. είναι στο μέσο της ζώνης του διαγράμματος και αφού παραμείνει για ένα διάστημα στο επίπεδο αυτό, αρχίζει να κατέρχεται προς τη γραμμή των 400 Φ.Μ. Από τη στιγμή που αρχίζει το πάνω μέρος της καμπύλης να πέφτει από την κορυφή, αφήνεται ο Φαρινογράφος να λειτουργήσει για 12 min, οπότε διακόπτεται η λειτουργία της συσκευής. Έτσι προκύπτει η κανονική καμπύλη, μέσω της οποίας προσδιορίζονται η αρχική φάση, ο χρόνος ανάπτυξης του ζυμαριού, η σταθερότητα του ζυμαριού και ο βαθμός εξασθένησης του ζυμαριού. Πιο αναλυτικά, αρχική φάση είναι ο χρόνος που χρειάζεται για να ζυμωθεί το ζυμάρι από την αρχή και μέχρι το πάνω μέρος της καμπύλης να φτάσει στη γραμμή των 500 Φ.Μ. Η αρχική φάση (min) δείχνει την ταχύτητα ανάμιξης του νερού με το αλεύρι και αυξάνεται με την αύξηση του πρωτεϊνικού περιεχομένου του αλεύρου. Ο χρόνος ανάπτυξης του ζυμαριού (min) δείχνει τον ολικό χρόνο μέχρις ότου το ζυμάρι αποκτήσει τη μέγιστη συνεκτικότητα, λίγο προτού αρχίσει η καμπύλη να κατέρχεται. Εξαρτάται από την ποιότητα της γλουτένης - όσο πιο δυνατό είναι το αλεύρι, τόσο μεγαλύτερος είναι ο χρόνος αυτός. Επίσης, αυξάνεται με την αύξηση της λεπτότητας άλεσης. Η σταθερότητα του ζυμαριού (min) δίνει το χρόνο που το ζυμάρι έχει συνεκτικότητα πάνω από 500 Φ.Μ. Όσο μεγαλύτερη είναι η σταθερότητα, τόσο μεγαλύτερη θα είναι και η αντοχή του ζυμαριού στη μηχανική

καταπόνηση. Τέλος, ο βαθμός εξασθένησης (Φ.Μ.) δίνει την κατάσταση του ζυμαριού μετά από 10 και 20 min από την έναρξη της κατεργασίας και μετά από 12 min από την έναρξη της πτώσης από την κορυφή. Όσο μεγαλύτερες τιμές έχουν τα τρία πρώτα και όσο μικρότερος είναι ο βαθμός εξασθένησης, τόσο καλύτερη είναι η ποιότητα του αλεύρου. Τα κακής ποιότητας άλευρα δίνουν Φαρινογραφήματα που φτάνουν στην κορυφή γρήγορα και έχουν μεγάλο βαθμό εξασθένησης.

Εξτενσιογράφος brabender

Για την εξαγωγή του Εξτενσιογραφήματος ακολουθείται η εξής διαδικασία: μέσω του Φαρινογράφου βρίσκεται πόσο νερό απορροφά το εξεταζόμενο αλεύρι για να αποκτήσει σύσταση 500 Φ.Μ. Κατόπιν, 300 g εξεταζόμενου αλεύρου με υγρασία 14% τοποθετούνται στο ζυμωτήριο του Φαρινογράφου. Ζυγίζονται 6 g χημικά καθαρού NaCl και διαλύονται σε κωνική φιάλη με το 80% του νερού που χρειάζεται το αλεύρι για να δώσει ζυμάρι 500 Φ.Μ. Το νερό έχει θερμοκρασία 30°C και προστίθεται με την προχοΐδα. Το αλατοδιάλυμα περιχύνεται στο αλεύρι και προστίθεται και το υπόλοιπο νερό που χρειάζεται για να σχηματιστεί ζυμάρι 500 Φ.Μ. Οι προσθήκες και η ανάμιξη γίνονται μέσα σε 1 min. Διακόπτεται η λειτουργία της συσκευής για 5 min και συνεχίζεται η ανάμιξη για άλλα 2 min (συνολικός χρόνος ανάμιξης $1 + 2 = 3$ min). Μετά την διακοπή των 5 min ίσως χρειαστεί να προστεθεί με την προχοΐδα και άλλο νερό ώστε να διατηρηθεί η συνεκτικότητα στις 500 Φ.Μ. Αυτό πρέπει να γίνει (αν χρειαστεί) στα πρώτα 30 s της ανάμιξης, ώστε στα επόμενα 90 s να αποκτήσει το ζυμάρι την απαραίτητη ομοιογένεια. Αν στο ζύμωμα των 2 min χρειαστεί να προστεθεί νερό σε ποσοστό μεγαλύτερο του 0,5%, η δοκιμή επαναλαμβάνεται και το επί πλέον νερό προστίθεται από την αρχή στο διάλυμα του NaCl.

Στη συνέχεια λαμβάνεται, προσεχτικά, το ζυμάρι από το ζυμωτήριο. Κόβεται στη μέση με ψαλίδι (και όχι με το χέρι, ώστε να μην καταπονηθεί ιδιαίτερα) και ζυγίζονται στο ζυγό 150 g ζυμάρι. Ύστερα, αυτό στρογγυλοποιείται και κυλινδροποιείται με τη βοήθεια του μηχανήματος, τοποθετείται στο σκαφίδιο και αφήνεται για 45 min στο θάλαμο ωρίμανσης. Επαναλαμβάνονται τα ίδια και για ένα δεύτερο κομμάτι ζυμαριού που χρησιμοποιείται για επαναληπτική δοκιμή. Τα σκαφίδια τοποθετούνται στους θαλάμους για ωρίμανση, όπου και παραμένουν για συνολικά 45 min.

Μετά την ολοκλήρωση της ωρίμανσης του ζυμαριού, το σκαφίδιο τοποθετείται στην ειδική θέση της συσκευής η οποία μπαίνει σε λειτουργία. Το τέντωμα/επιμήκυνση του ζυμαριού από το αργά κινούμενο άγκιστρο, που περνά από το μέσο του κυλινδρικού ζυμαριού, συνεχίζεται μέχρις ότου κοπεί το ζυμάρι. Μόλις αρχίσει το τέντωμα του ζυμαριού αρχίζει και η καταγραφή της καμπύλης (Εξτενσιογράφημα). Επαναλαμβάνεται η ίδια εργασία με το δεύτερο κομμάτι ζυμαριού, αρχίζοντας το σχηματισμό του Εξτενσιογραφήματος από το αρχικό σημείο του πρώτου. Κανονικά, οι δύο καμπύλες πρέπει σχεδόν να συμπίπτουν μεταξύ τους.

Τα δύο δείγματα ξαναπλάθονται, ζυγίζονται, σφαιροποιούνται, κυλινδροποιούνται, ωριμάζουν για 45 min ακόμα και εξτενσιογραφούνται. Το ίδιο επαναλαμβάνεται και τρίτη φορά. Έτσι, προκύπτουν Εξτενσιογραφήματα για 45, 90 και 135 min ωρίμανσης. Η αξιολόγηση βασίζεται κυρίως στην καμπύλη των 135 min.

Στο Εξτενσιογράφημα ο οριζόντιος άξονας εκφράζει την εκτατότητα σε mm και είναι ανάλογος του χρόνου που απαιτείται μέχρι να κοπεί το ζυμάρι. Η απόσταση της καμπύλης από τον οριζόντιο άξονα, 50 mm μετά την έναρξη της καμπύλης, εκφράζει την αντοχή σε μονάδες Εξτενσιογράφου (E.M.). Κυμαίνονται από 0 μέχρι 1000. Η επιφάνεια που περικλείεται από την καμπύλη μετρείται με εμβαδόμετρο (σε cm²) και εκφράζει τη δύναμη του αλεύρου. Δύναμη αλεύρου καλείται η ικανότητά του να δίνει καλά διογκωμένο άρτο, με ψίχα που έχει πολλούς και λεπτούς πόρους, με λεπτά και ανθεκτικά τοιχώματα. Ακόμη, ένα αλεύρι με μεγάλη δύναμη απορροφά και συγκρατεί, κατά την αρτοποιήσή του, πολύ νερό, ώστε να δίνει όσο το δυνατόν μεγαλύτερη απόδοση σε τελικό προϊόν. Για να θεωρηθεί ένα άλευρο καλής ποιότητας πρέπει να έχει μεγάλο Εμβαδόν Εξτενσιογραφήματος και να είναι καλά ισορροπημένο, να υπάρχει δηλαδή συμμετρία μεταξύ εκτατότητας και αντοχής. Αυτό εκφράζεται με το λόγο αντοχής/εκτατότητα.

6. Σχεδιασμός πειραμάτων και στατιστική επεξεργασία

Η παρούσα διπλωματική περιλαμβάνει 3 σειρές πειραμάτων. Η πρώτη σειρά αφορά στις χημικές αναλύσεις των αλεύρων σίτου και ζέας, στη μελέτη των ρεολογικών ιδιοτήτων του ζυμαριού που σχηματίζει καθένα από αυτά και στη μεταξύ τους σύγκριση. Η δεύτερη σειρά μετρήσεων αφορά στη μελέτη φρέσκου άρτου σε διάφορες αναλογίες των αλεύρων σίτου και ζέας, ενώ η τρίτη σειρά ασχολείται με τη μελέτη κατεψυγμένου άρτου σε κάποιες αναλογίες των δύο αυτών αλεύρων.

Σχεδιασμός 1^{ης} σειράς πειραμάτων

Στην πρώτη σειρά πειραμάτων γίνεται μία σειρά χημικών αναλύσεων των δύο αλεύρων, καθώς επίσης και χρήση φαρινογράφου και εξτενσιογράφου για τη μελέτη των ρεολογικών ιδιοτήτων του ζυμαριού που σχηματίζεται από το κάθε άλευρο. Αναλυτική παρουσίαση των μεθόδων που χρησιμοποιήθηκαν γίνεται στον πίνακα 6.1.

Πίνακας 6.1. 1^η σειρά πειραμάτων

Μετρούμενη παράμετρος	Χρησιμοποιούμενη μέθοδος
Υγρασία	1. Ξήρανση σε κλίβανο 2. Ξήρανση σε θερμοζυγό Brabender
Τέφρα	Αποτέφρωση σε κλίβανο
Πρωτεϊνικό περιεχόμενο	Μέθοδος Kjeldahl
Γλουτένη	Μηχανική παραλαβή
Ολικές διαλυτές πρωτεΐνες, Γλουτενίνη, Γλοιαδίνη	Μέθοδος Bradford & μέθοδος Blish – Sandstedt
Άμυλο	Όξινη υδρόλυση
Ολικοί υδατάνθρακες	Όξινη υδρόλυση
Τιμή καθίζησης	Δοκιμή Zeleny
Αλβουμίνες & γλοβουλίνες, Γλοιαδίνες, Γλουτενίνες	Ηλεκτροφόρηση πρωτεϊνών
Ρεολογικά χαρακτηριστικά ζυμαριού	1. Φαρινογράφος Brabender 2. Εξτενσιογράφος Brabender

Σχεδιασμός 2^{ης} σειράς πειραμάτων

Κατά τη δεύτερη σειρά πειραμάτων παρασκευάζονται παρτίδες, των δέκα (10) δειγμάτων έκαστη, από αλεύρι που αποτελείται από διαφορετικά ποσοστά αλεύρου σίτου-ζέας κάθε φορά. Έτσι, παρασκευάστηκαν παρτίδες με περιεκτικότητα σε αλεύρι ζέας 0%, 10%, 20%, 30%, 40%, 50%, 60%, 70%, 80%, 90% και 100%, αντίστοιχα, με σκοπό η μελέτη να είναι όσο το δυνατόν πιο ολοκληρωμένη και να καλύπτει όλες τις δυνατές διαφορετικές περιπτώσεις. Κάθε παρτίδα παρασκευάστηκε εις διπλούν, προκειμένου τα αποτελέσματα να είναι πιο ακριβή. Αναλυτική παρουσίαση των ποσοστών υποκατάστασης γίνεται στον πίνακα 6.2.

Πίνακας 6.2: 2^η σειρά πειραμάτων

Ποσοστό υποκατάστασης αλεύρου σίτου με άλευρο ζέας										
0%	10%	20%	30%	40%	50%	60%	70%	80%	90%	100%

Σχεδιασμός 3^{ης} σειράς πειραμάτων

Στην τρίτη σειρά πειραμάτων μελετήθηκε η επίδραση του χρόνου κατάψυξης στα ποιοτικά και οργανοληπτικά χαρακτηριστικά των αρτοσκευασμάτων διαφόρων αναλογιών. Με βάση τα αποτελέσματα της 2^{ης} σειράς πειραμάτων επιλέχθηκαν τα πιο αντιπροσωπευτικά ποσοστά υποκατάστασης του αλεύρου σίτου. Εξετάστηκε η σταθερότητα της συμπεριφοράς του ζυμαριού και του παραγόμενου από αυτό άρτου με παρασκευή πολλαπλών δειγμάτων ανά παρτίδα και αποθήκευσή τους υπό κατάψυξη για παρατεταμένο χρονικό διάστημα. Αναλυτική παρουσίαση των ποσοστών υποκατάστασης και των διαστημάτων δειγματοληψίας γίνεται στον πίνακα 6.3.

Πίνακας 6.3: 3^η σειρά πειραμάτων

Ποσοστό υποκατάσταση αλεύρου σίτου από άλευρο ζέας κατά την παραγωγή κατεψυγμένων αρτοσκευασμάτων

Ποσοστό υποκατάστασης αλεύρου σίτου από άλευρο ζέας				
0%	30%	50%	80%	100%

Χρόνος αποθήκευσης αρτοσκευασμάτων υπό κατάψυξη

Χρόνος αποθήκευσης υπό κατάψυξη (μέρες)					
1	7	14	30	60	90

Στατιστική επεξεργασία

Για τη στατιστική επεξεργασία των αποτελεσμάτων χρησιμοποιήθηκε το πρόγραμμα Statistica (Version 10, Statsoft, Tulsa, OK, USA). Στα αποτελέσματα της πρώτης σειράς πειραμάτων, για κάθε μεταβλητή έγινε ανάλυση διακύμανσης κατά έναν παράγοντα (one-way ANOVA). Στη σκληρότητα της κόρας και της ψίχας έγινε, επίσης, ανάλυση διακύμανσης δύο παραγόντων (main effects ANOVA), ώστε εκτός από την αναλογία των αλεύρων να μελετηθεί και η επίδραση του χρόνου μετά τον κλιβανισμό. Στα αποτελέσματα της δεύτερης σειράς πειραμάτων έγινε ανάλυση διακύμανσης δύο παραγόντων (main effects ANOVA), ώστε να μελετηθεί η επίδραση της αναλογίας των αλεύρων και του χρονικού διαστήματος κατάψυξης σε κάθε μεταβλητή. Τέλος, και στις δύο σειρές πειραμάτων έγινε παραγοντική ανάλυση κυρίων συνιστωσών (PCA - Principal Component Analysis).

7. Αποτελέσματα - Συζήτηση

7.1 Σειρά 1^η: Χημική ανάλυση αλεύρων ζέας και σίτου και μελέτη ρεολογικών ιδιοτήτων των ζυμαριών τους

Για τη χημική ανάλυση των δύο ειδών αλεύρου και τη μελέτη των ρεολογικών ιδιοτήτων των ζυμαριών που σχηματίζουν χρησιμοποιήθηκαν οι μέθοδοι που περιγράφονται στην παράγραφο 5.4. Τα αποτελέσματα που προέκυψαν από την επεξεργασία των μετρήσεων συνοψίζονται στους πίνακες 7.1 - 7.5.

Πίνακας 7.1: Περιεκτικότητες αλεύρων σε υγρασία και τέφρα

Μετρούμενες παράμετροι		Άλευρο σίτου	Άλευρο ζέας
<i>Επίσημη μέθοδος</i>	<i>Υγρασία (g / 100 g αλεύρου)</i>	13,75	13,07
	<i>Υγρασία (ξηρή βάση) (g / 100 g αλεύρου)</i>	15,93	15,04
<i>Brabender</i>	<i>Υγρασία (g / 100 g αλεύρου)</i>	13,95	13,10
	<i>Υγρασία (ξηρή βάση) (g / 100 g αλεύρου)</i>	16,21	15,07
<i>Τέφρα (%)</i>		0,63	1,95

Πίνακας 7.2: Περιεκτικότητα αλεύρων σε πρωτεΐνες, πρωτεϊνικά κλάσματα, άμυλο και ολικούς υδατάνθρακες

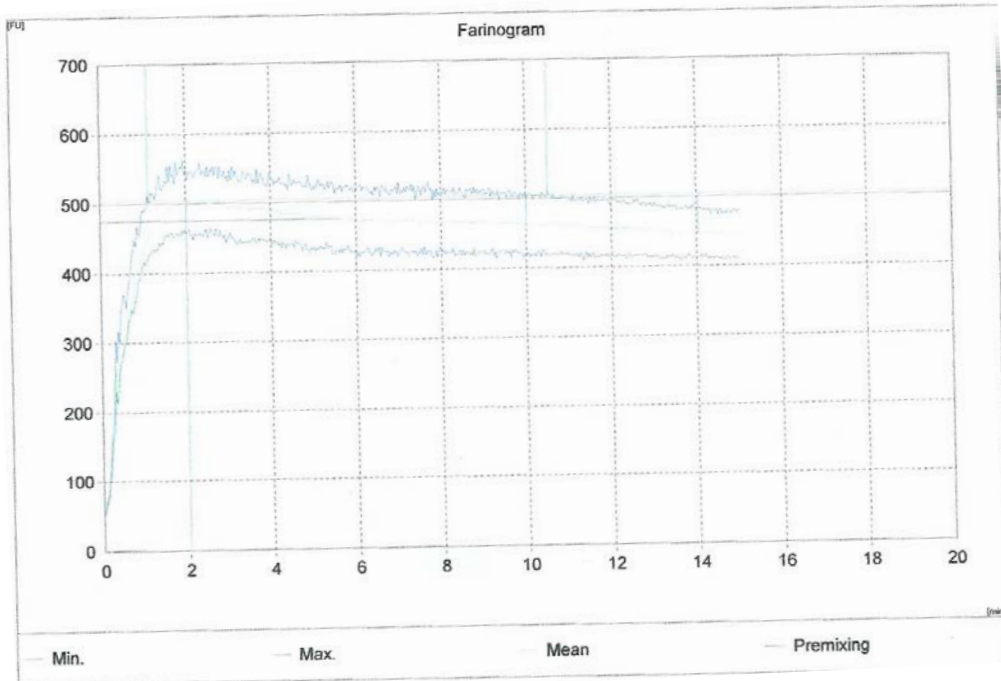
	Άλευρο σίτου	Άλευρο ζέας
Ολικές πρωτεΐνες (%)	11,58	15,17
Διαλυτές πρωτεΐνες σε K₂SO₄ (mg / g αλεύρου)	23,69	44,53
Γλουτενίνη (mg / g αλεύρου)	31,94	46,66
Γλοιαδίνη (mg / g αλεύρου)	60,14	59,83
Γλοιαδίνη / Γλουτενίνη	1,88	2,40
Γλουτένη (%)	28,24	18,45
Ξηρή γλουτένη (%)	10,90	6,70
Άμυλο (g / 100 g αλεύρου)	66,38	64,21
Ολικοί υδατάνθρακες (g / 100 g αλεύρου)	67,78	70,77

Πίνακας 7.3: Αποτελέσματα δοκιμής Zeleny (τιμές καθίζησης) στους δύο τύπους αλεύρων

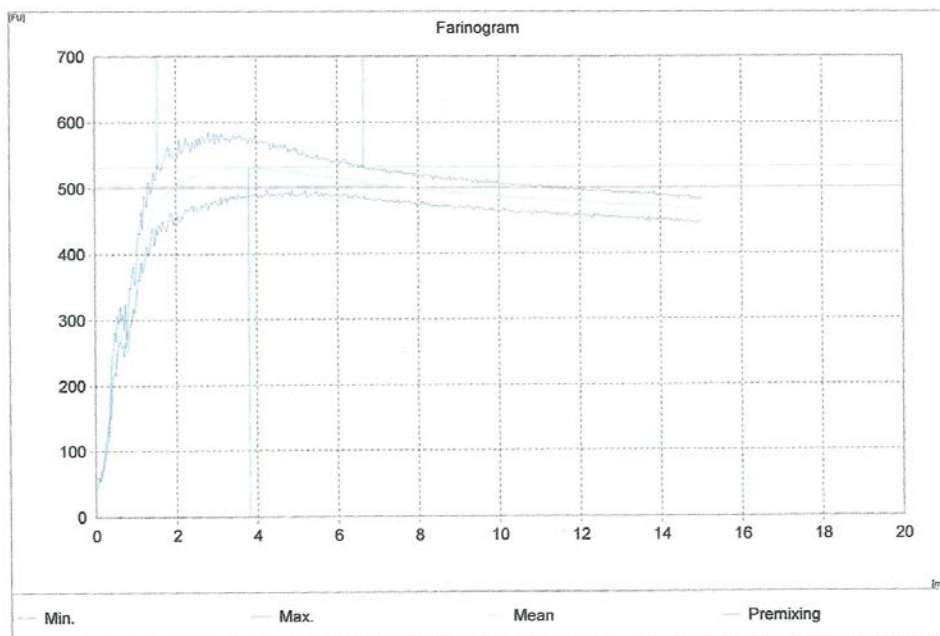
Άλευρο σίτου	Άλευρο ζέας
12,25 cm	11,75 cm

Πίνακας 7.4 Αποτελέσματα Φαρινογραφήματος Brabender για τους δύο τύπους αλεύρου

	Άλευρο σίτου	Άλευρο ζέας
Απορρόφηση νερού (διόρθωση στις 500 F.U.)	58,60%	63,80%
Απορρόφηση νερού (διόρθωση σε 14% υγρασία)	58,60%	62,90%
Χρόνος ανάπτυξης (min)	2	3,8
Σταθερότητα (stability) (min)	9,4	5,1
Βαθμός εξασθένισης (10 min μετά την έναρξη) (FU)	42	46
Βαθμός εξασθένισης (ICC / 12 min μετά το μέγιστο) (FU)	57	0
Farinograph quality number	56	73



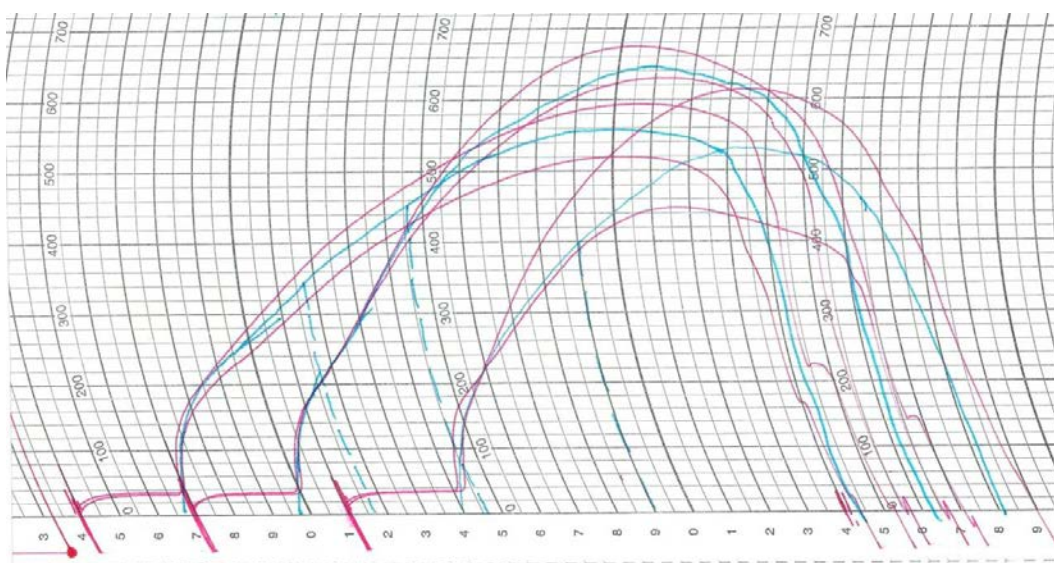
Σχήμα 7.1: Φαρινογράφημα αλεύρου σίτου



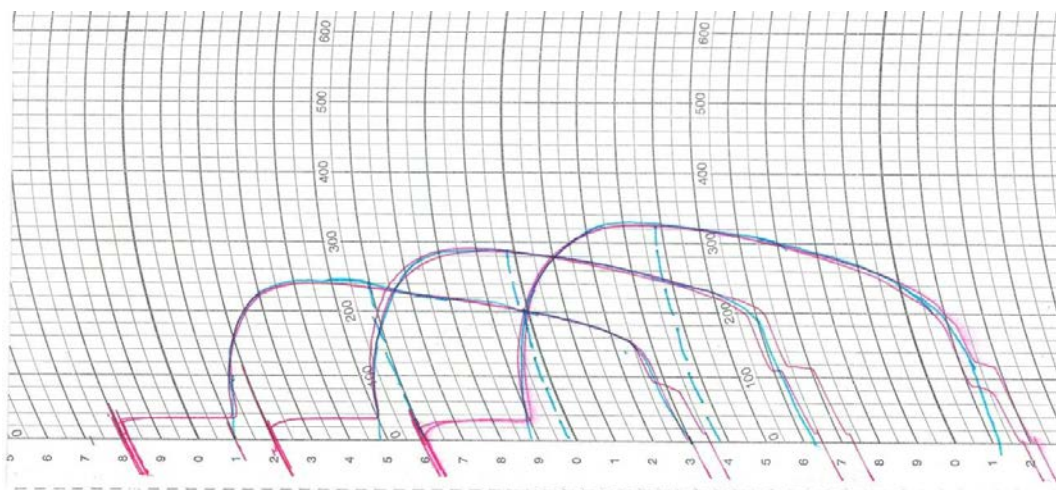
Σχήμα 7.2: Φαρινογράφημα αλεύρου ζέας

Πίνακας 7.5: Αποτελέσματα Εξτενσιογραφήματος Brabender για τους δύο τύπους αλεύρου

ΑΛΕΥΡΟ ΣΙΤΟΥ			
	45 min	90 min	135 min
Αντοχή (B) (σε εξτενσιογραφικές μονάδες - B.U.)	340	450	440
Εκτατότητα (C) (mm)	176	166	140
Λόγος αντοχής/εκτατότητας (B/C)	1,9	2,7	3,1
Δύναμη αλεύρου E (cm²)	125	140	103
ΑΛΕΥΡΟ ΖΕΑΣ			
	45 min	90 min	135 min
Αντοχή (B) (σε εξτενσιογραφικές μονάδες - B.U.)	240	290	310
Εκτατότητα (C) (mm)	120	115	125
Λόγος αντοχής/εκτατότητας (B/C)	2,0	2,5	2,5
Δύναμη αλεύρου E (cm²)	45	47	56



Σχήμα 7.3: Εξτενσιογράφημα αλεύρου σίτου



Σχήμα 7.4: Εξτενσιογράφημα αλεύρου ζέας

Από τα παραπάνω αποτελέσματα παρατηρείται ότι το άλευρο του σίτου περιέχει μεγαλύτερο ποσοστό υγρασίας σε σχέση με το άλευρο της ζέας. Επίσης, έχει μικρότερη περιεκτικότητα σε τέφρα, γεγονός που επιβεβαιώνεται και από τη βιβλιογραφία. Η μεγάλη, ωστόσο, διαφορά μεταξύ των δύο αποτελεσμάτων οφείλεται στο γεγονός ότι το άλευρο του σίτου ήταν λευκό, ενώ το άλευρο της ζέας ήταν ολικής άλεσης και έτσι περιείχε περισσότερα ανόργανα στοιχεία.

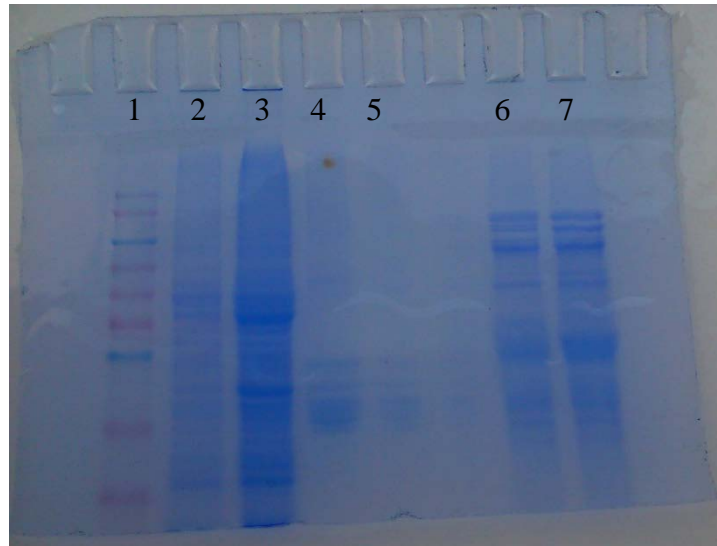
Με βάση τα αποτελέσματα του πίνακα 7.2, προκύπτει ότι το πρωτεϊνικό περιεχόμενο των δύο αλεύρων είναι διαφορετικό και ότι το άλευρο της ζέας έχει υψηλότερη περιεκτικότητα, όπως επιβεβαιώνεται και από τη βιβλιογραφία. Το άλευρο σίτου έχει ελαφρώς μεγαλύτερη περιεκτικότητα σε γλοιαδίνη και μικρότερη περιεκτικότητα σε γλουτενίνη. Ο λόγος γλοιαδίνης-γλουτενίνης είναι σημαντικά μεγαλύτερος στο άλευρο της ζέας. Συνήθως το άλευρο ζέας έχει μεγαλύτερη περιεκτικότητα σε γλοιαδίνη και μικρότερη περιεκτικότητα σε γλουτενίνη από αυτό του σίτου. Ωστόσο, με βάση τη βιβλιογραφία, η διαφορά αυτή δεν είναι σταθερή, αλλά εξαρτάται από την ποικιλία της ζέας. Σε κάποιες περιπτώσεις οι περιεκτικότητες είναι αντίστροφες, δηλαδή το άλευρο της ζέας έχει μικρότερη περιεκτικότητα σε γλοιαδίνη και μεγαλύτερη περιεκτικότητα σε γλουτενίνη, όπως προκύπτει και από τις μετρήσεις του παρόντος πειράματος. Επίσης, το άλευρο σίτου έχει μεγαλύτερη περιεκτικότητα σε γλουτένη. Η τελευταία παρατήρηση έρχεται σε αντίθεση με τη βιβλιογραφία και πιθανόν οφείλεται στο γεγονός ότι το άλευρο της ζέας ήταν ολικής άλεσης και ένα μέρος της γλουτένης συμπαρασύρθηκε μαζί με το πίτυρο του αλεύρου. Τα δύο είδη αλεύρων έχουν περίπου ίδια ποσότητα αμύλου, με το άλευρο του σίτου να υπερτερεί

ελαφρώς ως προς το άλευρο της ζέας. Τέλος, από τα αποτελέσματα των μετρήσεων προέκυψε ελαφρώς μικρότερη περιεκτικότητα σε ολικούς υδατάνθρακες για το άλευρο σίτου σε σύγκριση με το άλευρο της ζέας.

Άλλη μία μέθοδος εκτίμησης της δύναμης ενός αλεύρου είναι η δοκιμή Zeleny. Σε γενικές γραμμές, όσο μεγαλύτερη είναι η τιμή καθίζησης, τόσο πιο δυνατό είναι ένα αλεύρι. Ωστόσο, οι τιμές που αναφέρονται στη βιβλιογραφία για δυνατά άλευρα είναι πολύ μεγαλύτερες από αυτές που βρέθηκαν (άνω των 70 cm). Συνεπώς, τόσο το άλευρο της ζέας όσο και το άλευρο του σίτου είναι αδύναμα άλευρα. Το άλευρο της ζέας, που έχει τη μικρότερη τιμή καθίζησης, είναι το πιο αδύναμο εκ των δύο. Η εκτίμηση της δύναμης των δύο αλεύρων θα γίνει στη συνέχεια και μέσω του φαρινογραφήματος και του εξτενσιογραφήματος, αλλά και στις επόμενες δύο σειρές πειραμάτων μέσω της χρήσης τους σε αρτοποιητικές εφαρμογές.

Σύμφωνα με τα φαρινογραφήματα (σχήματα 7.1 και 7.2) και τα αποτελέσματα που παρουσιάζονται στον πίνακα 7.4, το άλευρο της ζέας παρουσιάζει μεγαλύτερη απορρόφηση νερού. Όσον αφορά το χρόνο ανάπτυξης, μεγαλύτερο έχει το άλευρο της ζέας. Ο χρόνος ανάπτυξης εξαρτάται από την ποιότητα της γλουτένης και όσο πιο δυνατό είναι το αλεύρι, τόσο μεγαλύτερος είναι ο χρόνος αυτός. Επίσης, αυξάνεται με τη λεπτότητα της άλεσης. Συνεπώς, το άλευρο της ζέας φαίνεται είναι πιο δυνατό από του σίτου. Στη συνέχεια θα γίνει περαιτέρω εξέταση του χαρακτηριστικού αυτού μέσω του εξτενσιογραφήματος και της χρήσης των αλεύρων σε αρτοποιητικές εφαρμογές. Από τα δύο άλευρα, μεγαλύτερη σταθερότητα έχει αυτό του σίτου και συνεπώς έχει μεγαλύτερη αντοχή στη μηχανική καταπόνηση. Ο βαθμός εξασθένησης είναι μικρότερος στο άλευρο του σίτου. Το γεγονός ότι το συγκεκριμένο άλευρο έχει υψηλότερη σταθερότητα και μικρότερο βαθμό εξασθένησης, σημαίνει ότι είναι ανώτερο ποιοτικά από το αντίστοιχο άλευρο της ζέας. Από τα εξτενσιογραφήματα (σχήματα 7.3 και 7.4) και τα αποτελέσματά τους στον πίνακα 7.5 συμπεραίνεται ότι το άλευρο του σίτου έχει μεγαλύτερη αντοχή και εκτατότητα από το άλευρο της ζέας και σημαντικά μεγαλύτερη δύναμη. Ο λόγος αντοχής / εκτατότητας είναι περίπου ίδιος και για τις δύο περιπτώσεις. Συνεπώς, το άλευρο σίτου δίνει πιο δυνατό και ελαστικό ζυμάρι και έχει καλύτερες αρτοποιητικές ικανότητες, οι οποίες θα εξεταστούν εκτενώς στις επόμενες δύο σειρές πειραμάτων.

Στο σχήμα 7.5 παρουσιάζεται η πηκτή της ηλεκτροφόρησης. Παρατηρείται ότι το άλευρο της ζέας περιέχει περισσότερες αλβουμίνες και γλοβουλίνες συγκριτικά με το άλευρο του σίτου, περίπου ίσες γλοιαδίνες και περισσότερες γλουτενίνες. Τα αποτελέσματα αυτά έρχονται σε συμφωνία με τα αποτελέσματα του προσδιορισμού γλοιαδινών και γλουτενινών που αναφέρθηκε παραπάνω.



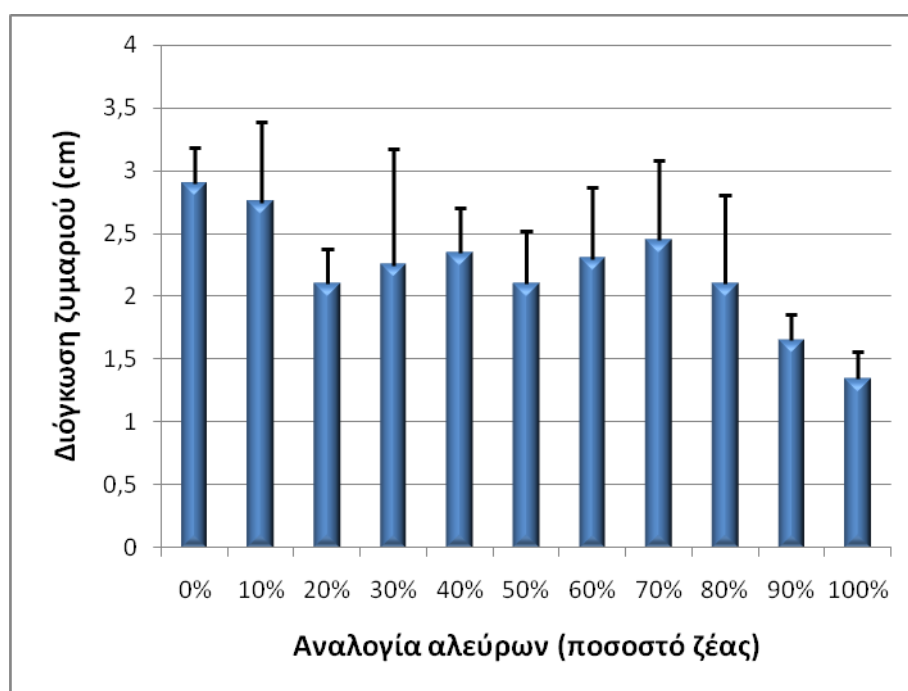
Σχήμα 7.5: Ηλεκτροφόρηση πρωτεϊνών των δύο ειδών αλεύρου (όπου 1:μάρτυρας μοριακών βαρών, 2:αλβουμίνες και γλοβουλίνες αλεύρου σίτου, 3: αλβουμίνες και γλοβουλίνες αλεύρου ζέας, 4:γλοιαδίνες αλεύρου σίτου, 5: γλοιαδίνες αλεύρου ζέας, 6: γλουτενίνες αλεύρου σίτου, 7: γλουτενίνες αλεύρου σίτου)

7.2 Σειρά 2^η: Μελέτη επίδρασης αναλογίας αλεύρου ζέας - αλεύρου σίτου σε φρέσκα δείγματα άρτου

Σκοπός

Προκειμένου να βρεθεί η βέλτιστη αναλογία αλεύρου ζέας και αλεύρου σίτου στο προϊόν του άρτου, παρασκευάστηκαν δείγματα με συνδυασμό των δύο αλεύρων σε ποσοστά 10%, 20%, 30%, 40%, 50%, 60%, 70%, 80%, 90% και 100% ζέας. Τα αποτελέσματα που προέκυψαν από τις μετρήσεις που ελήφθησαν παρουσιάζονται στα διαγράμματα που ακολουθούν (σχήμα 7.6 – 7.36).

Διόγκωση ζυμαριού

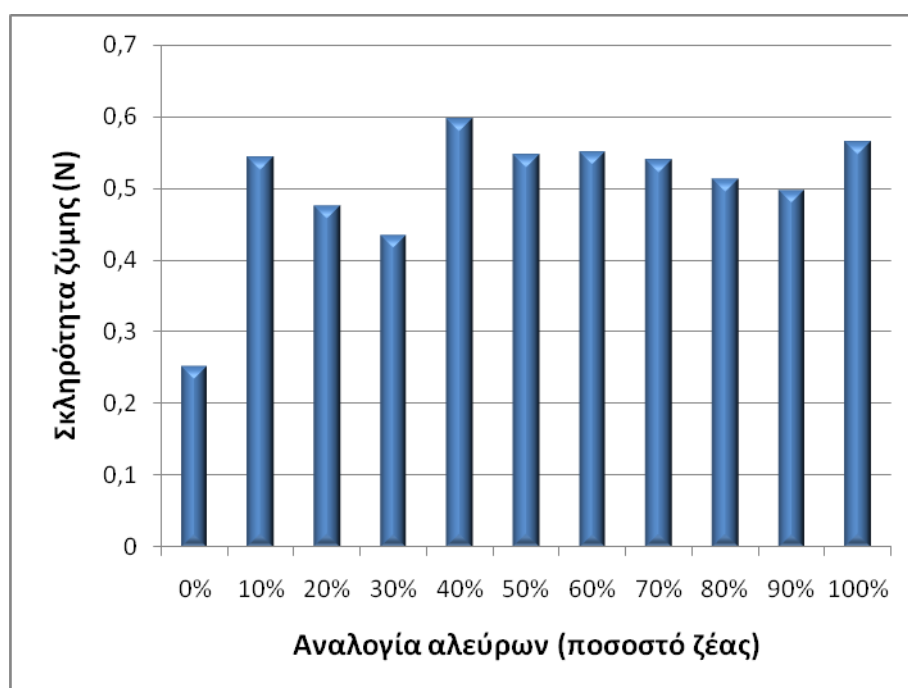


Σχήμα 7.6: Μεταβολή διόγκωσης φρέσκων αρτοσκευασμάτων

Σύμφωνα με το παραπάνω διάγραμμα, η διόγκωση των αρτοσκευασμάτων εμφανίζει μία τάση μείωσης καθώς αυξάνεται το ποσοστό της ζέας. Ωστόσο, η μείωση αυτή

είναι μικρή και έτσι η στατιστική επεξεργασία έδειξε ότι δεν κρίνεται ως σημαντική μεταβολή. Συνεπώς τα επίπεδα της διόγκωσης του ζυμαριού κυμαίνονται στο ίδιο εύρος τιμών για κάθε περίπτωση δείγματος, με εξαίρεση, ίσως, τα δείγματα με ζέα σε ποσοστό 90% και 100%, τα οποία εμφάνισαν τη μικρότερη διόγκωση. Η τελευταία παρατήρηση ήταν αναμενόμενη, καθώς το άλευρο της ζέας έχει πιο αδύναμη γλουτένη συγκριτικά με το άλευρο του σίτου, όπως φάνηκε στα εξτενσιογραφήματα των αλεύρων, με αποτέλεσμα να επιτυγχάνεται μικρότερη συγκράτηση αερίου από το ζυμάρι. Συνεπώς, τα προϊόντα με υψηλή περιεκτικότητα σε ζέα δεν διογκώνονται στον ίδιο βαθμό με τα προϊόντα του κοινού σίτου.

Σκληρότητα ζυμαριού

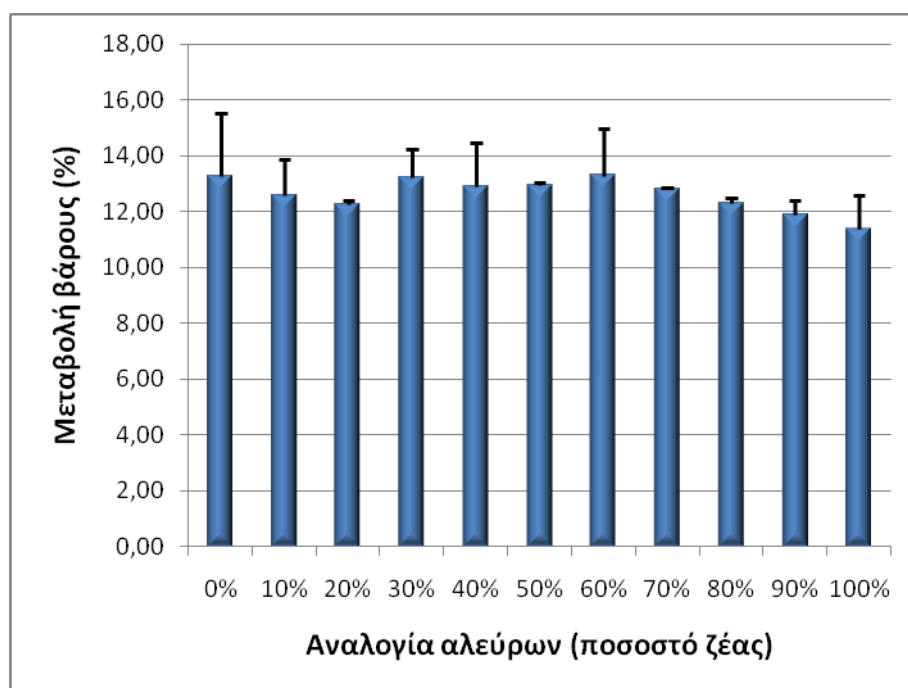


Σχήμα 7.7: Μεταβολή σκληρότητας ζυμαριού φρέσκων αρτοσκευασμάτων

Παρατηρώντας το παραπάνω διάγραμμα, φαίνεται η σκληρότητα του ζυμαριού να μεταβάλλεται από την προσθήκη αλεύρου ζέας. Όπως επιβεβαιώνεται και από τη στατιστική επεξεργασία, η σκληρότητα του ζυμαριού επηρεάζεται σημαντικά από την

προσθήκη της ζέας ($p < 0.05$) αλλά όχι από το ποσοστό της προσθήκης. Συγκεκριμένα, η διαφορά παρατηρείται μεταξύ του «τυφλού» δείγματος που δεν περιέχει καθόλου άλευρο ζέας και όλων των άλλων δειγμάτων. Αυτό υποδηλώνει ότι έστω και μικρή προσθήκη ζέας αυξάνει σημαντικά τη σκληρότητα του ζυμαριού. Η περαιτέρω προσθήκη δεν επηρεάζει σημαντικά το αποτέλεσμα. Το γεγονός αυτό οφείλεται στο ότι το άλευρο της ζέας μπορεί να περιέχει υψηλότερο ποσοστό πρωτεϊνών από το άλευρο του σίτου (15,17% έναντι 11,58%), αυτές όμως είναι κατώτερης αρτοποιητικής ποιότητας και η παρουσία τους καθιστά το ζυμάρι κολλώδες, σκληρό και λιγότερο ελαστικό. Συνεπώς, δεν διογκώνεται στον ίδιο βαθμό με το ζυμάρι από άλευρο σίτου, με αποτέλεσμα να έχει λιγότερο πορώδη και πιο πυκνή δομή.

Μεταβολή βάρους φρέσκων αρτοσκευασμάτων

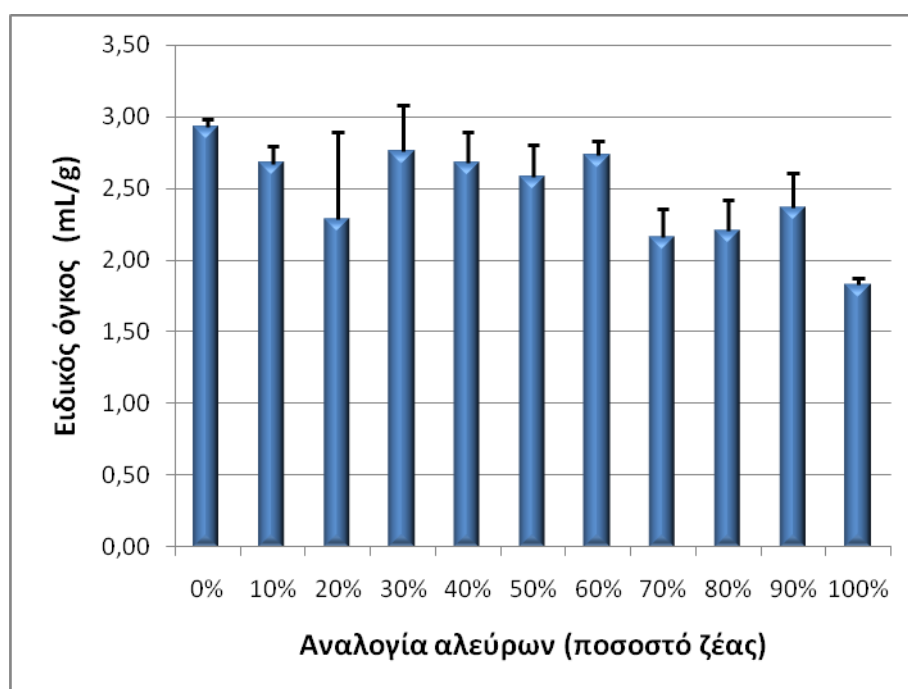


Σχήμα 7.8: Μεταβολή βάρους φρέσκων αρτοσκευασμάτων κατά τον κλιβανισμό

Στο παραπάνω διάγραμμα παρατηρείται ότι η μεταβολή του βάρους των αρτοσκευασμάτων μετά τον κλιβανισμό δεν επηρεάζεται ιδιαίτερα από την αναλογία

των αλεύρων. Φαίνεται μία τάση μείωσης της μεταβολής αυτής, δηλαδή συγκράτηση περισσότερης υγρασίας από τα δείγματα με μεγάλα ποσοστά αλεύρου ζέας, αλλά είναι μη σημαντική, όπως επιβεβαιώνεται και από τη στατιστική επεξεργασία των παραπάνω αποτελεσμάτων με ανάλυση διακύμανσης κατά έναν παράγοντα (One-way ANOVA)¹.

Ειδικό όγκος φρέσκων αρτοσκευασμάτων



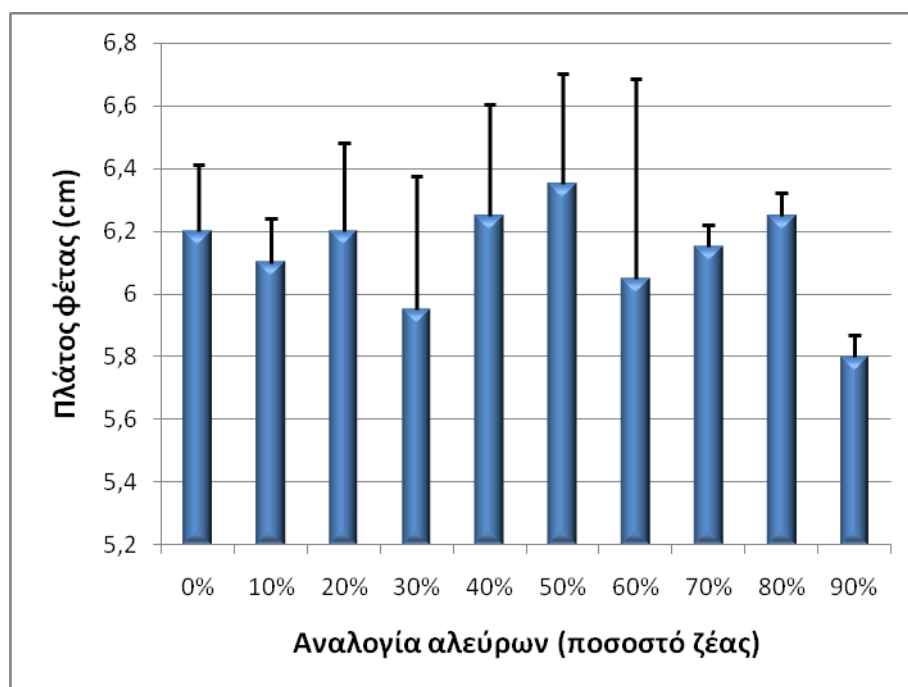
Σχήμα 7.9: Μεταβολή ειδικού όγκου φρέσκων αρτοσκευασμάτων

Από το διάγραμμα 7.9 προκύπτει ότι αύξηση του ποσοστού της ζέας οδηγεί σε σταδιακή μείωση του ειδικού όγκου του έτοιμου ψημένου προϊόντος, ανάλογα με το ποσοστό αυτό. Η τάση αυτή που αποτυπώνεται στο διάγραμμα επιβεβαιώνεται και από τη στατιστική επεξεργασία με ανάλυση διακύμανσης κατά έναν παράγοντα (one-way ANOVA), η οποία έδειξε ότι ο ειδικός όγκος των αρτοσκευασμάτων επηρεάζεται σημαντικά από τη μεταβολή της αναλογίας των αλεύρων ($p < 0.05$). Όσο

¹ Οι αντίστοιχοι πίνακες με τα αποτελέσματα της ανάλυσης διακύμανσης (ANOVA) παρουσιάζονται στο παράρτημα.

αυξάνεται το ποσοστό της ζέας, ο ειδικός όγκος παρουσιάζει μείωση. Συγκεκριμένα, τα δείγματα με ποσοστά 70%, 80%, 90% και 100% εμφανίζουν τη μεγαλύτερη μείωση, γεγονός που υποδηλώνει ότι η προσθήκη υψηλού ποσοστού ζέας προκαλεί σημαντική μεταβολή του όγκου. Αντίθετα, η μικρότερη προσθήκη αλεύρου ζέας, έως και σε ποσοστό 60% δεν προκαλεί ιδιαίτερη μεταβολή, όπως φαίνεται από το κριτήριο Duncan. Αυτό οφείλεται στο γεγονός ότι όταν το άλευρο ζέας προστίθεται σε ποσοστό μέχρι 60%, η γλουτένη του σίτου παραμένει ακόμη σε μεγάλη ποσότητα με αποτέλεσμα τα δείγματα να διογκώνονται ικανοποιητικά. Σε μεγαλύτερα ποσοστά ζέας, η γλουτένη της ζέας, η οποία είναι πιο αδύναμη, υπερिशύει της γλουτένης του σίτου, με αποτέλεσμα το πλέγμα που σχηματίζεται να είναι λιγότερο ανθεκτικό και ελαστικό. Έτσι επιτυγχάνεται μικρότερη συγκράτηση αερίου και κατά συνέπεια μικρότερος ειδικός όγκος του τελικού προϊόντος. Τα αποτελέσματα αυτά έρχονται σε συμφωνία με τα αποτελέσματα των χημικών αναλύσεων.

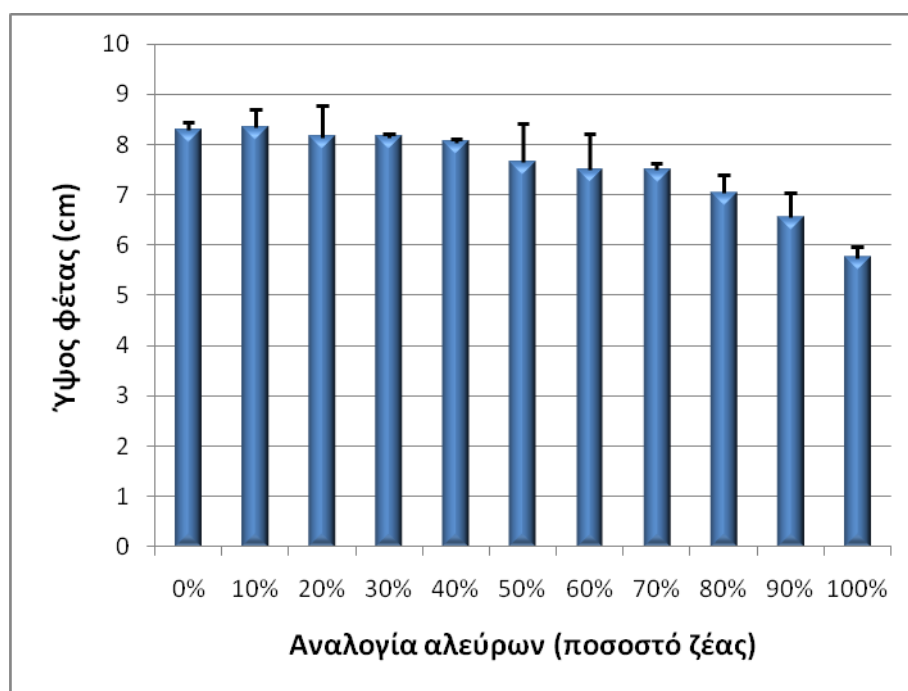
Πλάτος φέτας φρέσκων αρτοσκευασμάτων



Σχήμα 7.10: Μεταβολή πλάτους φέτας φρέσκων αρτοσκευασμάτων

Στο διάγραμμα 7.10 παρατηρείται ότι το πλάτος των αρτοσκευασμάτων κυμαίνεται σε στενό εύρος τιμών για όλα τα δείγματα. Όπως επιβεβαιώνει και η στατιστική επεξεργασία με ανάλυση διακύμανσης κατά έναν παράγοντα (one-way ANOVA), το πλάτος της φέτας των δειγμάτων δεν επηρεάζεται σημαντικά από την αναλογία των δύο αλεύρων. Αυτό οφείλεται, βέβαια, στο γεγονός ότι τα αρτοσκευάσματα βρίσκονταν καθ' όλη τη διάρκεια της επώασης και του κλιβανισμού μέσα σε κατάλληλες φόρμες που διατηρούσαν σταθερό το σχήμα τους.

Ύψος φέτας φρέσκων αρτοσκευασμάτων

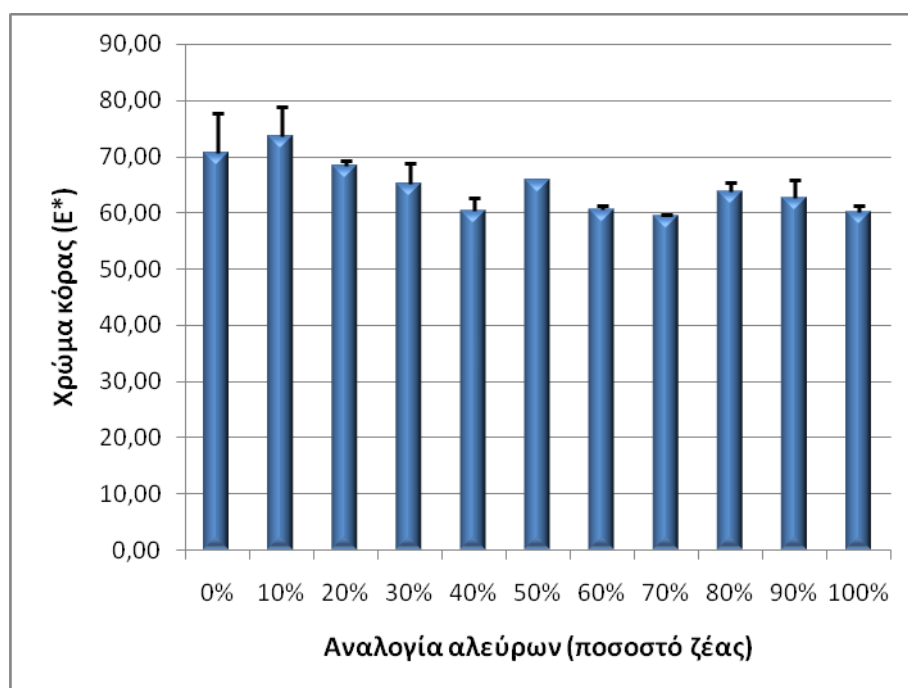


Σχήμα 7.11: Μεταβολή ύψους φέτας φρέσκων αρτοσκευασμάτων

Σε αντίθεση με το διάγραμμα 7.10, στο παραπάνω παρατηρείται μία σταδιακή μείωση του ύψους των αρτοσκευασμάτων. Σύμφωνα με τη στατιστική επεξεργασία με ανάλυση διακύμανσης κατά έναν παράγοντα (one-way ANOVA), το ύψος επηρεάζεται από την αναλογία των αλεύρων και η σταδιακή αύξησή της οδηγεί σε ανάλογη μείωση του ύψους. Έτσι, τα αρτοσκευάσματα με ποσοστά ζέας 0%, 10%, 20% και 30% έχουν παρόμοιο ύψος. Τα αρτοσκευάσματα με ποσοστά 40%, 50%, 60%, 70% και 80% εμφανίζουν ενδιάμεσο ύψος και σταδιακή μείωσή του με την

αύξηση του ποσοστού, ενώ τα δείγματα με ποσοστά 90% και 100% παρουσιάζουν τις χαμηλότερες τιμές και με σημαντική, μάλιστα, διαφορά μεταξύ τους. Συμπερασματικά, σε υψηλά ποσοστά ζέας, η αύξηση ακόμη και κατά 10% προκαλεί σημαντική μείωση του ύψους, σε αντίθεση με τα χαμηλότερα ποσοστά, όπου δεν παρατηρείται τόσο έντονη μεταβολή. Το συγκεκριμένο φαινόμενο επηρεάζεται, όπως η διόγκωση του ζυμαριού και ο ειδικός όγκος των τελικών ψημένων προϊόντων, από την ποιότητα της γλουτένης που περιέχεται στο άλευρο της ζέας και έρχεται μαζί με τα προηγούμενα αποτελέσματα να επιβεβαιώσει τα συμπεράσματα των εξτενσιογραφημάτων. Όσο μάλιστα αυξάνεται το ποσοστό της ζέας, η επίδραση της γλουτένης που περιέχει είναι εντονότερη.

Χρώμα κόρας φρέσκων αρτοσκευασμάτων

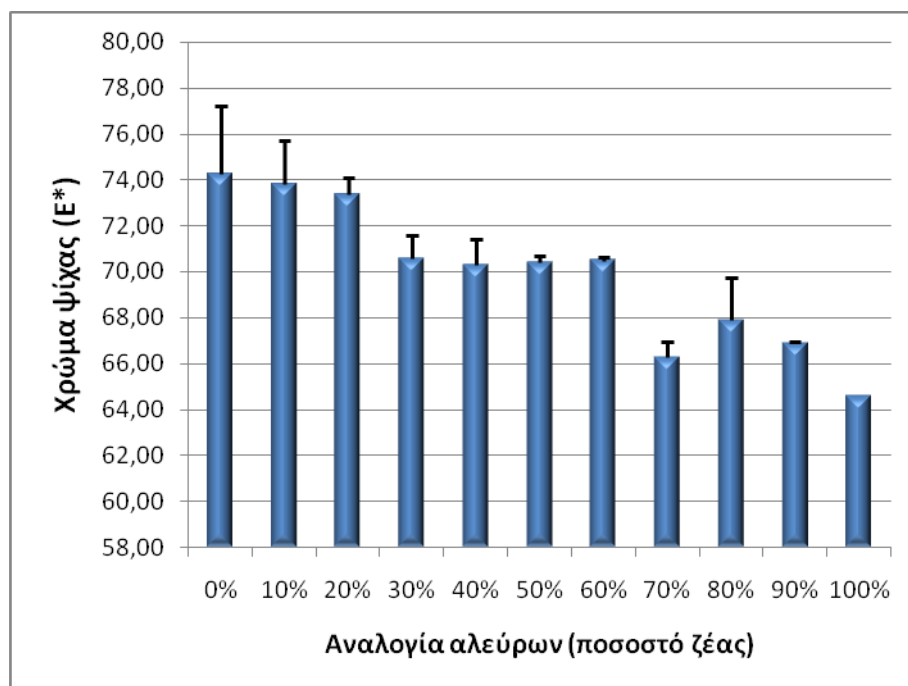


Σχήμα 7.12: Μεταβολή χρώματος κόρας φρέσκων αρτοσκευασμάτων

Στο διάγραμμα 7.12 παρατηρείται σταδιακή μείωση του χρώματος της κόρας του αρτοσκευάσματος. Όπως επιβεβαιώνεται και από τη στατιστική επεξεργασία με

ανάλυση διακύμανσης κατά έναν παράγοντα (one-way ANOVA), το χρώμα της κόρας επηρεάζεται από το ποσοστό της ζέας που περιέχεται μέσα στο δείγμα ($p < 0.05$). Συγκεκριμένα, τα δείγματα με χαμηλά ποσοστά (0%, 10% και 20%) έχουν ανοιχτό χρώμα, παρεμφερές με το χρώμα αρτοσκευασμάτων από κοινό σίτο, με αποτέλεσμα να μην γίνεται αντιληπτή η προσθήκη αυτή. Η μεταβολή του χρώματος προς σκουρότερες, καφέ αποχρώσεις γίνεται σταδιακά, όπως φαίνεται από την ομαδοποίηση του κριτηρίου Duncan, χωρίς να παρατηρείται κάποια ραγδαία μεταβολή. Το σκουρότερο χρώμα της κόρας σε δείγματα με υψηλότερα ποσοστά ζέας οφείλεται, καταρχάς, στη μεγαλύτερη περιεκτικότητα του αλεύρου ζέας σε ίνες και πίτυρο, καθώς είναι ολικής άλεσης, σε αντίθεση με το χρησιμοποιηθέν άλευρο σίτου που είναι λευκό. Επιπλέον, το άλευρο της ζέας είναι εκ φύσεως πιο σκουρόχρωμο από το άλευρο του σίτου. Τέλος, το άλευρο της ζέας περιέχει άμυλο που υδρολύεται πιο εύκολα προς απλά σάκχαρα. Έτσι, είναι πιθανόν, να παράγονται περισσότερα σάκχαρα, τα οποία να συμμετέχουν στις αντιδράσεις Maillard ή να καραμελοποιούνται προσδίδοντας το χαρακτηριστικό καφέ χρώμα στην κόρα του αρτοσκευάσματος.

Χρώμα ψίχας φρέσκων αρτοσκευασμάτων



Σχήμα 7.13: Μεταβολή χρώματος ψίχας φρέσκων αρτοσκευασμάτων

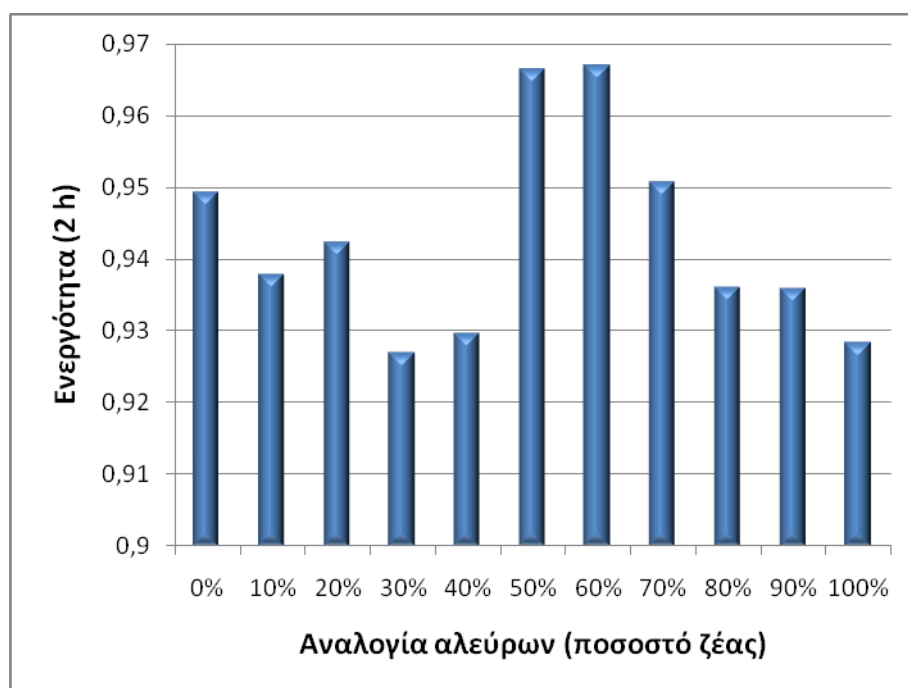
Στο παραπάνω διάγραμμα παρατηρείται έντονη μείωση του χρώματος της ψίχας των αρτοσκευασμάτων από τα χαμηλά προς τα υψηλά ποσοστά περιεκτικότητας αλεύρου ζέας. Η τάση αυτή επιβεβαιώνεται και από τη στατιστική επεξεργασία με ανάλυση διακύμανσης κατά έναν παράγοντα (one-way ANOVA), απ' όπου προκύπτει ότι η μεταβολή που εμφανίζεται είναι σημαντική ($p < 0.05$). Σύμφωνα με το κριτήριο Duncan, η προσθήκη αλεύρου ζέας μέχρι και σε ποσοστό 20% μπορεί να γίνει χωρίς να αλλοιώσει το ανοιχτό χρώμα που συνηθίζεται στα αρτοσκευάσματα κοινού σίτου. Στα ποσοστά 30%, 40%, 50% και 60% η μεταβολή του χρώματος του αρτοσκευάσματος γίνεται σταδιακά, ενώ σε μεγάλα ποσοστά αλεύρου ζέας (70 και άνω) παρατηρείται απότομη μεταβολή και σκούρο χρώμα στην ψίχα των δειγμάτων, κάνοντας φανερή την ύπαρξη του συγκεκριμένου αλεύρου. Όπως και στην περίπτωση του χρώματος της κόρας των αρτοσκευασμάτων, οι σκουρότερες αποχρώσεις σε δείγματα με υψηλότερα ποσοστά αλεύρου ζέας οφείλονται στο γεγονός ότι το άλευρο αυτό είναι ολικής άλεσης, αλλά και εκ φύσεως πιο σκούρο από το άλευρο σίτου.

Ενεργότητα φρέσκων αρτοσκευασμάτων στις 0, 2 και 24 h



Σχήμα 7.14: Μεταβολή ενεργότητας φρέσκων αρτοσκευασμάτων αμέσως μετά τον κλιβανισμό

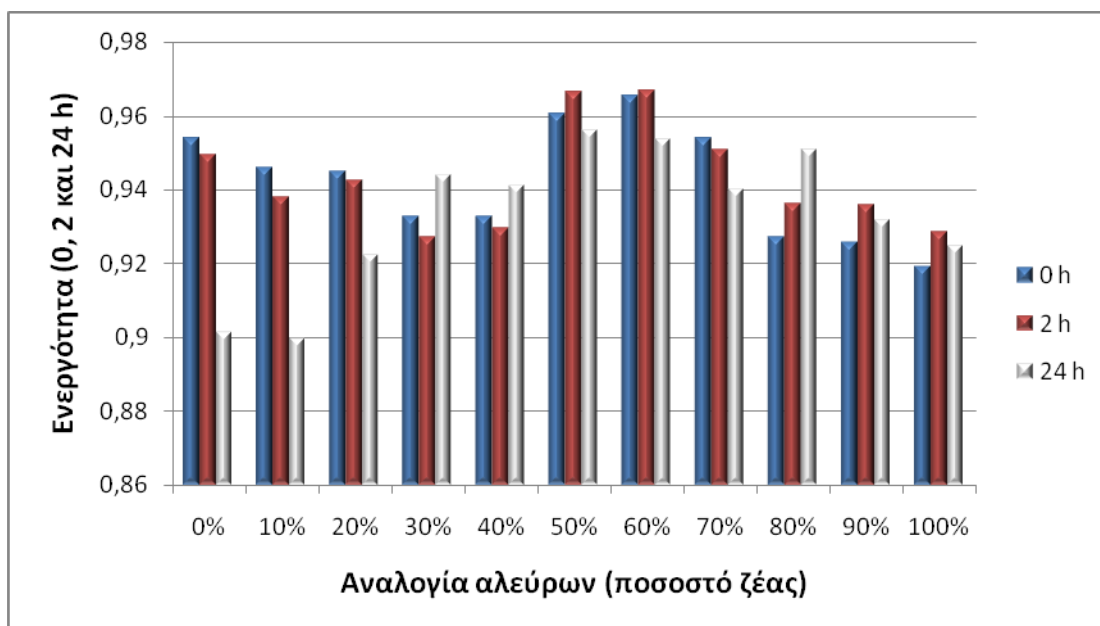
Στο διάγραμμα 7.14 παρατηρείται διακύμανση της ενεργότητας των δειγμάτων, με τη μέγιστη ενεργότητα να εμφανίζεται στα αρτοσκευάσματα με αλεύρο ζέας σε ποσοστό 50% και 60% και την ελάχιστη στα δείγματα με μεγάλα ποσοστά ζέας. Η τάση αυτή επιβεβαιώνεται από τη στατιστική επεξεργασία με ανάλυση διακύμανσης κατά έναν παράγοντα (one-way ANOVA), η οποία έδειξε ότι η ενεργότητα των δειγμάτων λίγο μετά τον κλιβανισμό επηρεάζεται από το ποσοστό του αλεύρου ζέας που περιέχουν ($p < 0.05$). Σύμφωνα με το κριτήριο Duncan, δεν υπάρχει σαφής διαχωρισμός των δειγμάτων, παρόλο που υπάρχει στατιστική διαφορά μεταξύ τους. Το αναμενόμενο είναι δείγματα με μεγαλύτερη περιεκτικότητα σε φυτικές ίνες να συγκρατούν περισσότερη υγρασία με αποτέλεσμα να εμφανίζουν υψηλότερη ενεργότητα. Σε γενικές γραμμές, οι απόλυτες τιμές της ενεργότητας όλων των δειγμάτων είναι παραπλήσιες και της τάξης άνω του 0,92, οπότε οι φυτικές ίνες που περιέχονται στο αλεύρο της ζέας δεν απορροφούν σημαντική ποσότητα νερού.



Σχήμα 7.15: Μεταβολή ενεργότητας φρέσκων αρτοσκευασμάτων 2 h μετά τον κλιβανισμό



Σχήμα 7.16: Μεταβολή ενεργότητας φρέσκων αρτοσκευασμάτων 24 h μετά τον κλιβανισμό

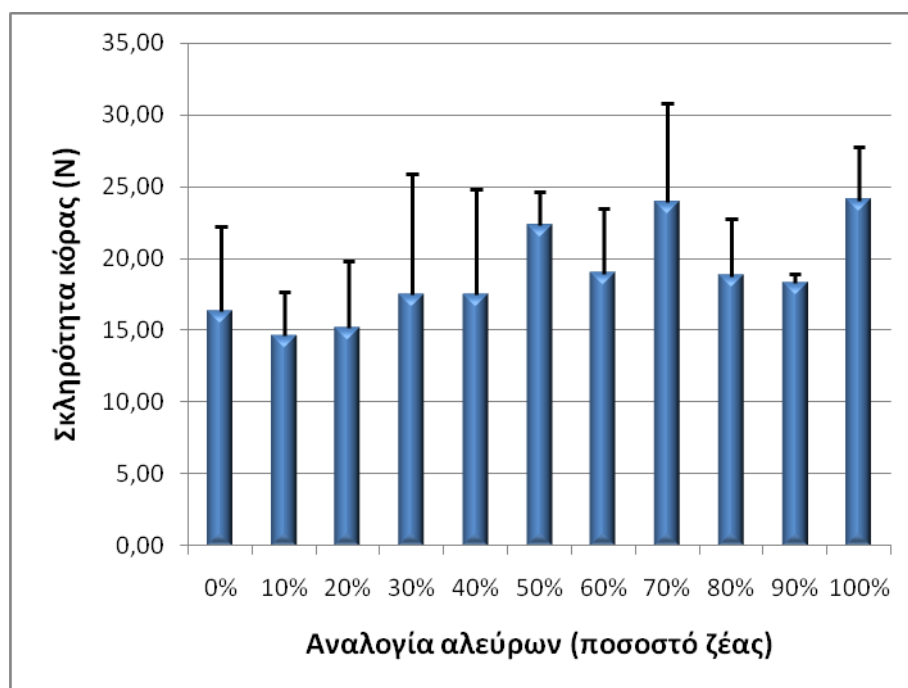


Σχήμα 7.17: Σύγκριση μεταβολής ενεργότητας φρέσκων αρτοσκευασμάτων με την πάροδο του χρόνου

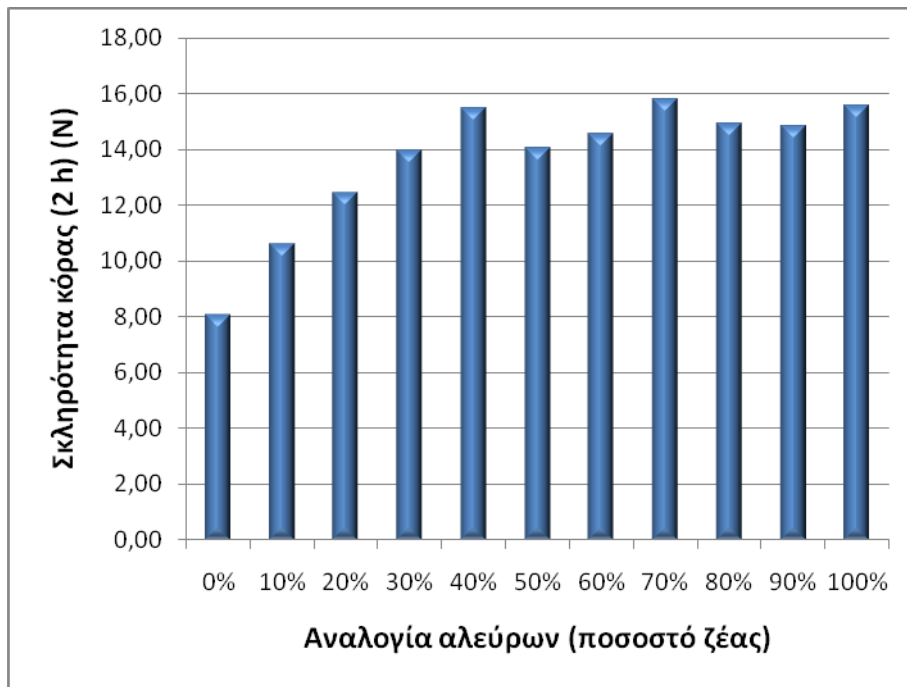
Στα διαγράμματα 7.15 και 7.16, παρατηρείται ότι η μεταβολή της ενεργότητας σε σχέση με την αναλογία των αλεύρων 2 h και 24 h μετά τον κλιβανισμό είναι παρεμφερής με την αντίστοιχη μεταβολή αμέσως μετά τον κλιβανισμό. Η στατιστική

επεξεργασία των μετρήσεων με ανάλυση διακύμανσης δύο παραγόντων (main effects ANOVA), έδειξε ότι η ενεργότητα των δειγμάτων με την πάροδο του χρόνου (2 h και 24 h) δεν επηρεάζεται ιδιαίτερα από την αναλογία των αλεύρων σίτου και ζέας.

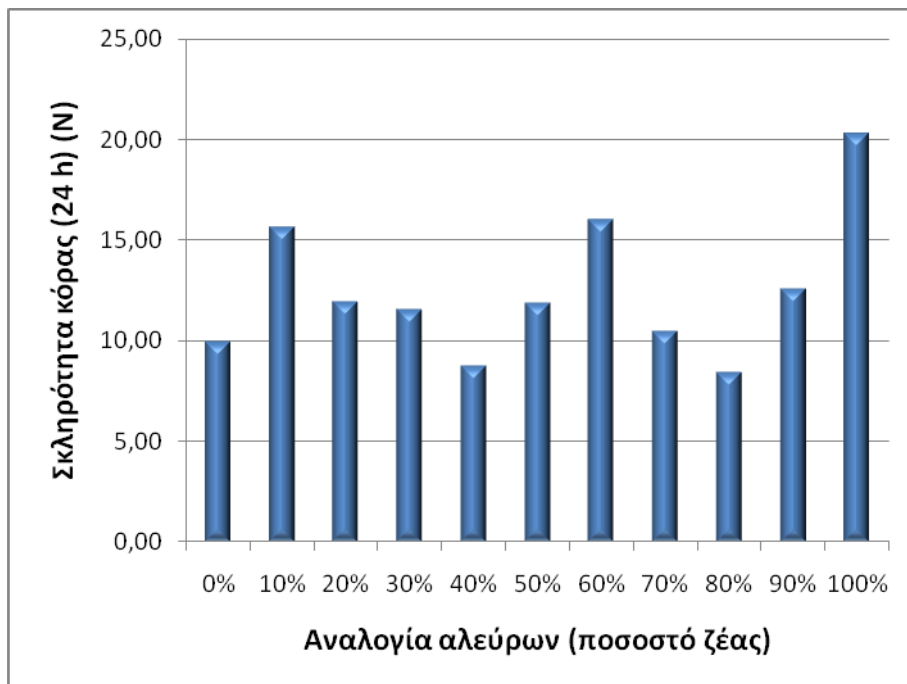
Σκληρότητα κόρας φρέσκων αρτοσκευασμάτων στις 0, 2 και 24 h



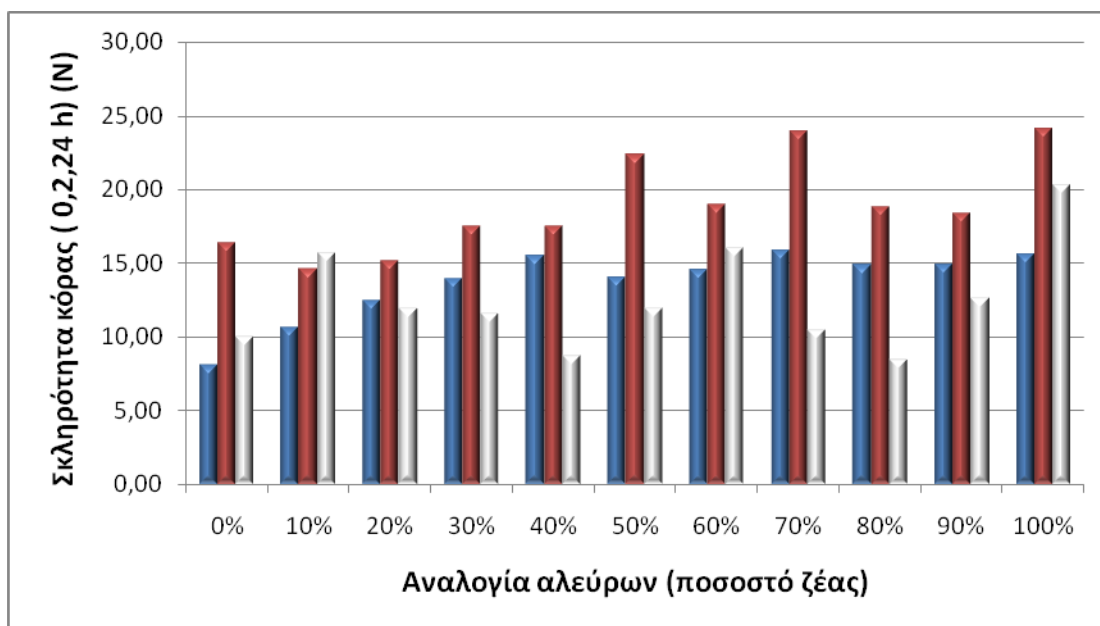
Σχήμα 7.18: Μεταβολή σκληρότητας κόρας φρέσκων αρτοσκευασμάτων μετά τον κλιβανισμό



Σχήμα 7.19: Μεταβολή σκληρότητας κόρας φρέσκων αρτοσκευασμάτων 2 h μετά τον κλιβανισμό



Σχήμα 7.20: Μεταβολή σκληρότητας κόρας φρέσκων αρτοσκευασμάτων 24 h μετά τον κλιβανισμό



Σχήμα 7.21: Σύγκριση μεταβολής σκληρότητας κόρας φρέσκων αρτοσκευασμάτων 0, 2 και 24 h μετά τον κλιβανισμό

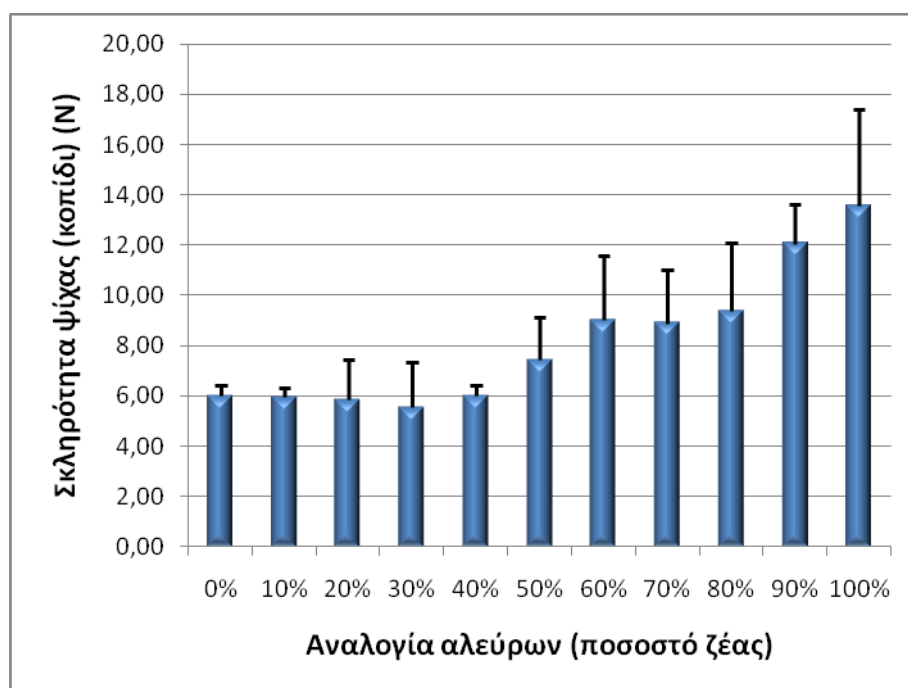
Στα διαγράμματα 7.18-7.21 παρατηρείται συνεχής διακύμανση της σκληρότητας της κόρας σε στενά όρια, χωρίς να παρατηρείται κάποια ιδιαίτερη τάση. Σε γενικές γραμμές, τα αρτοσκευάσματα με χαμηλά ποσοστά ζέας εμφανίζουν ελαφρώς χαμηλότερες τιμές σκληρότητας σε σχέση με εκείνα που περιέχουν υψηλότερα ποσοστά. Η διαφορά αυτή (ειδικά μεταξύ των δύο ακραίων ποσοστών) γίνεται εντονότερη με την πάροδο του χρόνου. Οι υψηλές τιμές σκληρότητας στα προϊόντα με περισσότερο άλευρο ζέας οφείλονται στο γεγονός ότι περιέχουν περισσότερες φυτικές ίνες (λόγω του αλεύρου ολικής άλεσης) και λιγότερο πορώδη δομή, λόγω της περιορισμένης συγκράτησης αερίου από το πλέγμα της γλουτένης, με αποτέλεσμα η δομή να είναι πιο πυκνή και σκληρή.

Παρόλα αυτά, η εφαρμογή της στατιστικής επεξεργασίας με ανάλυση διακύμανσης κατά έναν παράγοντα (one-way ANOVA), έδειξε ότι η σκληρότητα της κόρας δεν επηρεάζεται από την προσθήκη αλεύρου ζέας.

Παρατηρώντας το διάγραμμα 7.21 προκύπτει ότι τη μεγαλύτερη σκληρότητα εμφανίζουν τα δείγματα 2 h μετά τον κλιβανισμό, ανεξαρτήτως του περιεχόμενου ποσοστού αλεύρου ζέας. Η εφαρμογή της στατιστικής επεξεργασίας με ανάλυση διακύμανσης δύο παραγόντων (main effects ANOVA) στις συγκριτικές μετρήσεις έδειξε ότι η σκληρότητα της κόρας μπορεί να μην εξαρτάται από την αναλογία των

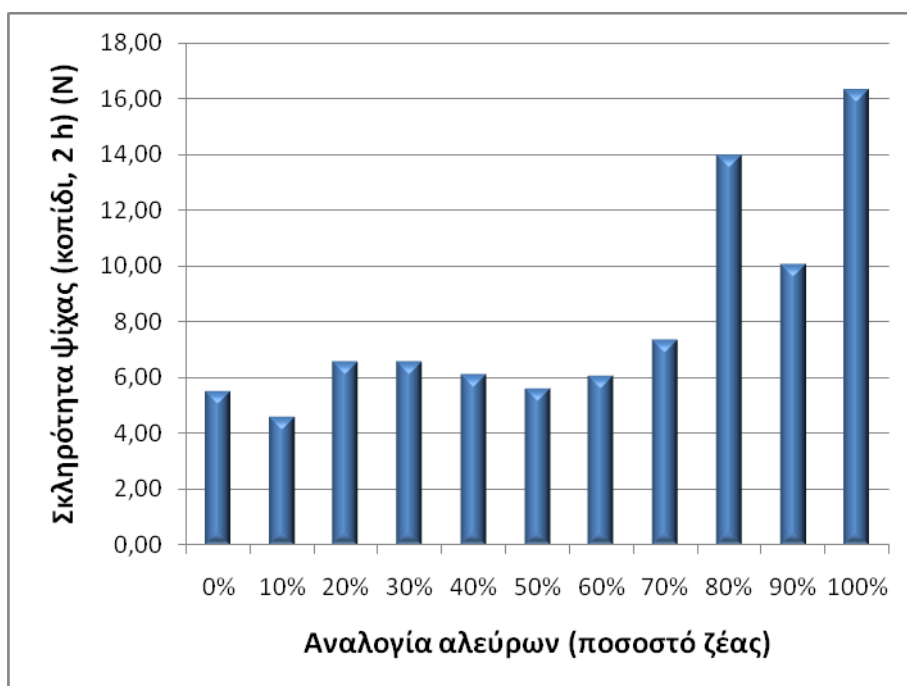
αλεύρων, αλλά επηρεάζεται από την πάροδο του χρόνου. Συγκεκριμένα, η σημαντικότερη μεταβολή λαμβάνει χώρα κατά τις πρώτες 2 h, καθώς η μεγαλύτερη διαφορά σημειώνεται μεταξύ των 0 και των 2 h μετά τον κλιβανισμό. Η μεταβολή της σκληρότητας μεταξύ των 2 και 24 h γίνεται πιο ομαλά και σταδιακά, αλλά συνεχίζει να είναι σημαντική. Η αρχική αύξηση της σκληρότητας της κόρας του αρτοσκευάσματος ίσως οφείλεται στην προσωρινή απώλεια υγρασίας αυτού καθώς κρυσταλλώνει και έρχεται σε ισορροπία με το περιβάλλον του. Η μείωση της σκληρότητας της κόρας του προϊόντος μεταξύ των 2 και των 24 h οφείλεται στην πρόσληψη υγρασίας κυρίως από την ψίχα, αλλά και από το περιβάλλον.

Σκληρότητα ψίχας φρέσκων αρτοσκευασμάτων στις 0, 2 και 24 h - δοκιμή με κοπίδι



Σχήμα 7.22: Μεταβολή σκληρότητας ψίχας φρέσκων αρτοσκευασμάτων (δοκιμή με κοπίδι)

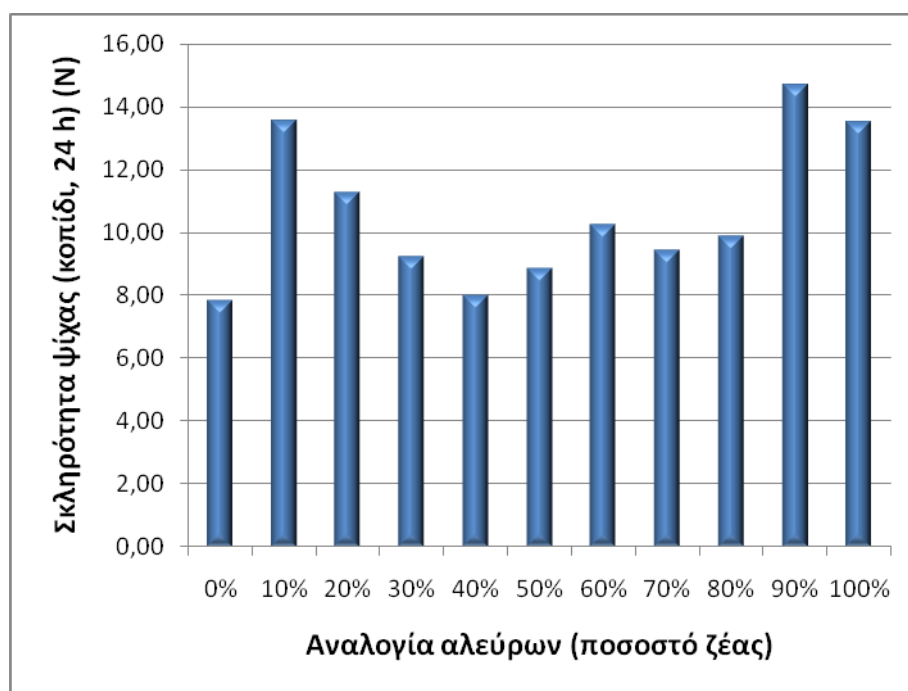
Η σκληρότητα της ψίχας διατηρείται αρχικά σε χαμηλές τιμές και αυξάνεται απότομα στα ποσοστά 90% και 100%. Όπως αποδεικνύεται και από τη στατιστική επεξεργασία με ανάλυση διακύμανσης κατά έναν παράγοντα (one-way ANOVA), η σκληρότητα επηρεάζεται από την προσθήκη αλεύρου ζέας, ιδιαίτερα στα υψηλά ποσοστά αυτής. Σε ποσοστό μέχρι και 50% δεν μεταβάλλεται ιδιαίτερα, ενώ σε ανώτερες τιμές και ιδίως στα δείγματα με άλευρο ζέας από 90% και πάνω παρατηρείται ραγδαία αύξηση της σκληρότητας. Αυτό σημαίνει ότι η προσθήκη αλεύρου ζέας μέχρι και ποσοστό 50% δεν προκαλεί ιδιαίτερη μεταβολή στη σκληρότητα της ψίχας και μπορεί να εφαρμοστεί χωρίς να γίνει αντιληπτή κάποια μεγάλη διαφορά από την αντίστοιχη σκληρότητα των κοινών αρτοσκευασμάτων. Η αύξηση της σκληρότητας της ψίχας παράλληλα με την αύξηση του ποσοστού αλεύρου ζέας στο προϊόν οφείλεται στους ίδιους παράγοντες που οφείλεται και η αύξηση της σκληρότητας της κόρας.



Σχήμα 7.23: Μεταβολή σκληρότητας ψίχας φρέσκων αρτοσκευασμάτων 2 h μετά τον κλιβανισμό (δοκιμή με κοπίδι)

Στο διάγραμμα 7.23 παρατηρείται ότι η σκληρότητα της ψίχας 2 h μετά από τον κλιβανισμό επηρεάζεται από την αναλογία των δύο αλεύρων και αυξάνεται ιδιαίτερα

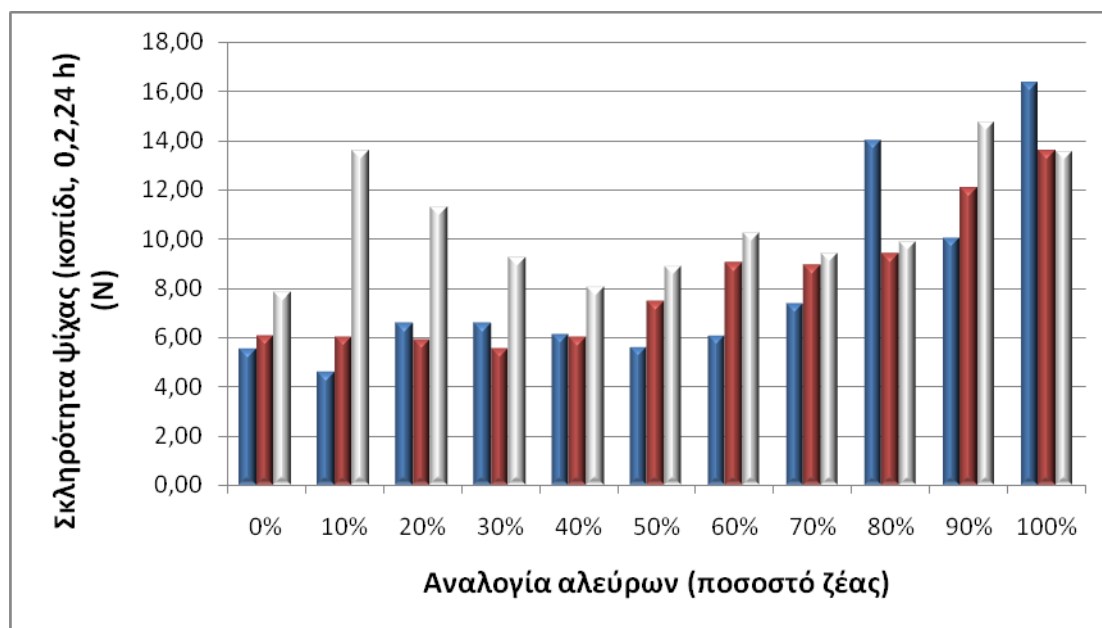
σε μεγάλα ποσοστά αλεύρου ζέας, όπως επιβεβαιώνεται και από τη στατιστική επεξεργασία. Συγκεκριμένα, τα δείγματα με ποσοστά 80%, 90% και 100% σκληραίνουν σε μεγάλο βαθμό και μάλιστα έχουν και σημαντική διαφορά στη μεταξύ τους σκληρότητα, ενώ έχουν και μεγάλη απόκλιση από τη σκληρότητα των άλλων δειγμάτων. Τα υπόλοιπα αρτοσκευάσματα έχουν σκληρότητα που κυμαίνεται σε παρόμοια επίπεδα. Παρατηρείται, λοιπόν, ότι μεγάλα ποσοστά αλεύρου ζέας επιταχύνουν την ξήρανση και συνεπώς την αύξηση της σκληρότητας της ψίχας με την πάροδο του χρόνου. Αυτό πιθανόν οφείλεται στο γεγονός ότι τα δείγματα είναι περισσότερο συμπαγή, με αποτέλεσμα να μη συγκρατούν την ίδια υγρασία με τα πιο αφράτα αρτοσκευάσματα.



Σχήμα 7.24: Μεταβολή σκληρότητας ψίχας φρέσκων αρτοσκευασμάτων 24 h μετά τον κλιβανισμό (δοκιμή με κοπίδι)

Η σκληρότητα της ψίχας 24 h μετά τον κλιβανισμό επηρεάζεται και αυτή σημαντικά από το ποσοστό της ζέας που περιέχει. Η τάση αυτή επιβεβαιώνεται άλλωστε και από τη στατιστική επεξεργασία με ανάλυση διακύμανσης κατά έναν παράγοντα (one-way ANOVA). Όπως και στην προηγούμενη περίπτωση, τα ποσοστά 90% και 100%

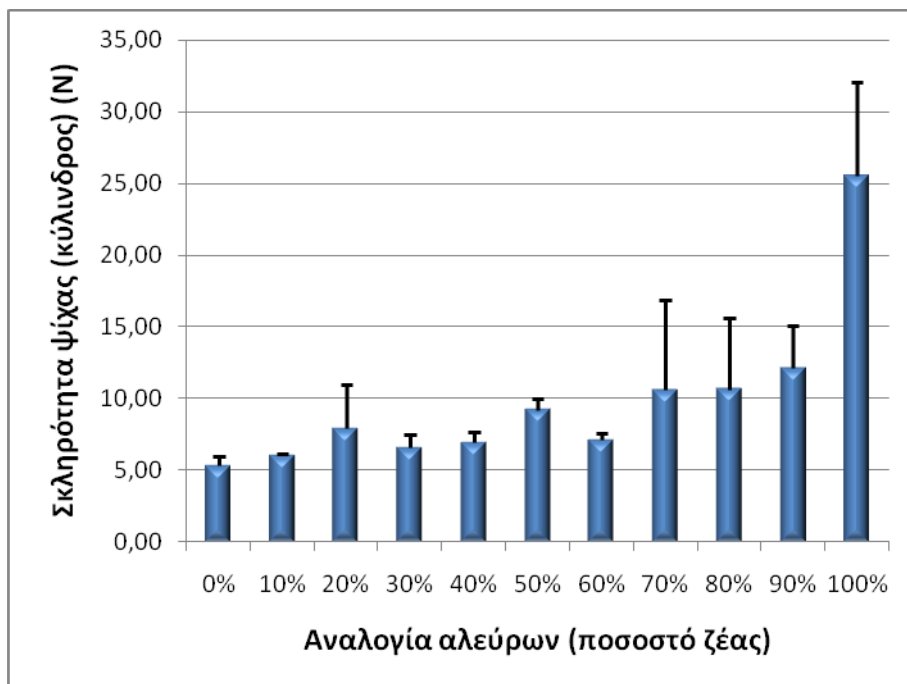
έχουν πολύ υψηλές σκληρότητες και μεγάλη απόκλιση από τα άλλα δείγματα. Ωστόσο, το δείγμα με ποσοστό 80% δεν παρουσιάζει ιδιαίτερη διαφορά από τα υπόλοιπα αρτοσκευάσματα. Αντίθετα, το δείγμα με ποσοστό ζέας 10% έχει σκληρότητα της τάξης των 90% και 100%, γεγονός που μπορεί να οφείλεται σε πειραματικό σφάλμα.



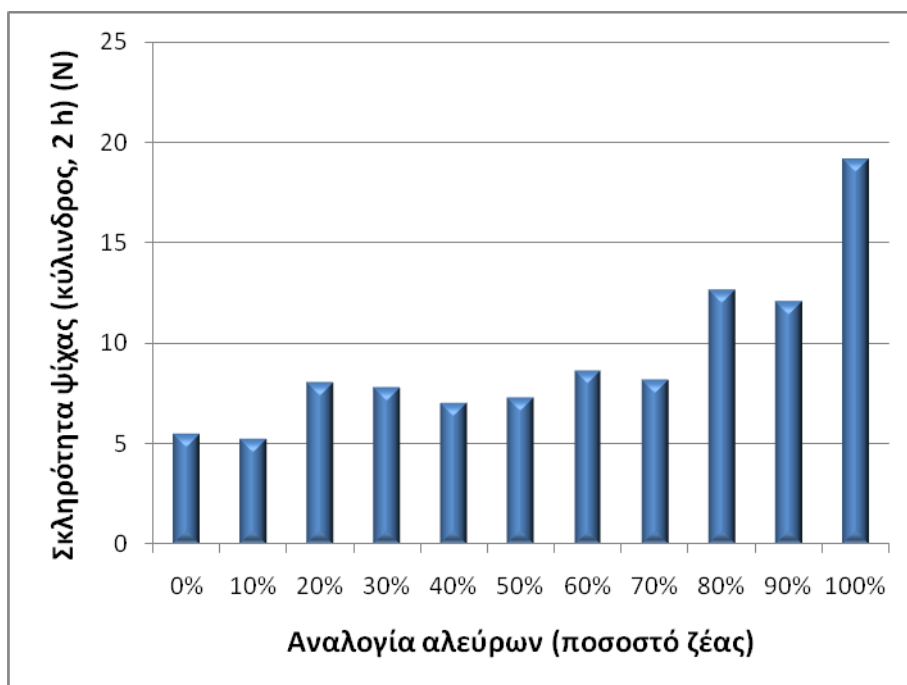
Σχήμα 7.25: Σύγκριση μεταβολής σκληρότητας ψίχας φρέσκων αρτοσκευασμάτων 0, 2 και 24 h μετά τον κλιβανισμό (δοκιμή με κοπίδι)

Στο διάγραμμα 7.25 παρατηρείται ότι στην πληθώρα των περιπτώσεων, αύξηση του χρόνου μετά τον κλιβανισμό συνεπάγεται αύξηση της σκληρότητας της ψίχας των αρτοσκευασμάτων. Η τάση αυτή επιβεβαιώνεται και από τη στατιστική επεξεργασία με ανάλυση διακύμανσης δύο παραγόντων (main effects ANOVA), η οποία έδειξε ότι υπάρχει σημαντική διαφορά μεταξύ της σκληρότητας των δειγμάτων στις 0, 2 και 24 h μετά τον κλιβανισμό. Συγκεκριμένα, η μεταβολή δεν είναι τόσο έντονη από τις 0 στις 2 h, αλλά από τις 2 στις 24 h. Μετά την πάροδο μίας ημέρας, η σκληρότητα της ψίχας αυξάνεται σημαντικά. Το γεγονός αυτό οφείλεται στην απώλεια υγρασίας καθώς αυτή μεταφέρεται σταδιακά από την ψίχα προς την κόρα των αρτοσκευασμάτων.

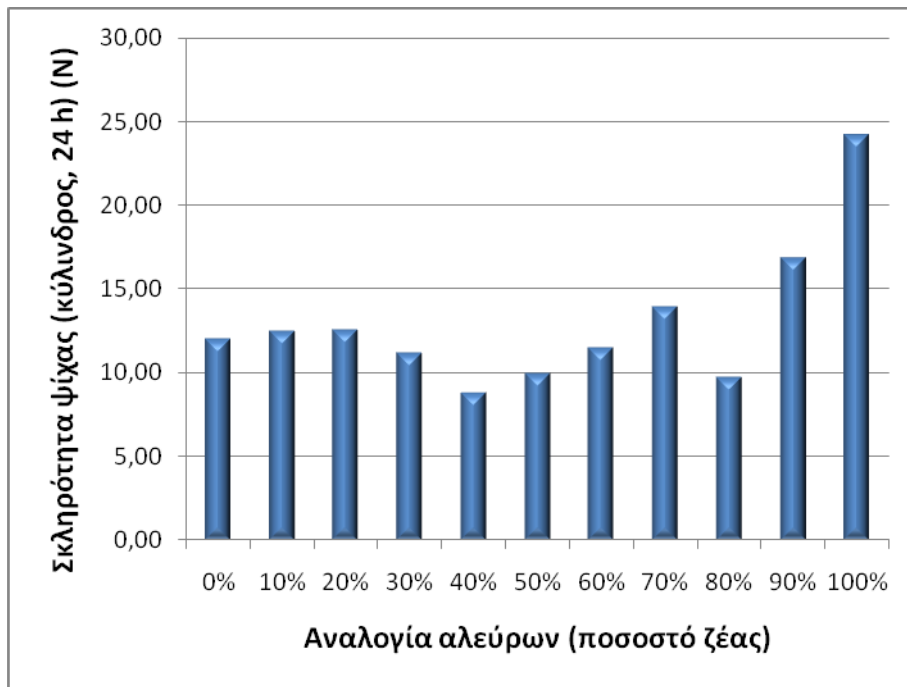
Σκληρότητα ψίχας φρέσκων αρτοσκευασμάτων στις 0, 2 και 24 h - δοκιμή με κύλινδρο



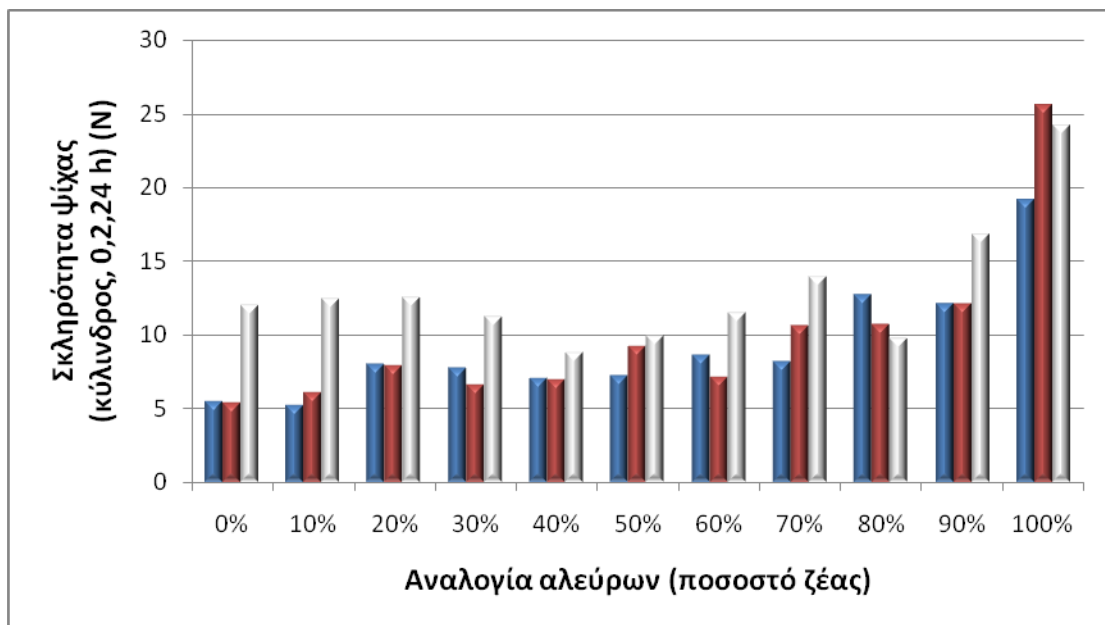
Σχήμα 7.26: Μεταβολή σκληρότητας ψίχας φρέσκων αρτοσκευασμάτων (δοκιμή με κύλινδρο)



Σχήμα 7.27: Μεταβολή σκληρότητας ψίχας φρέσκων αρτοσκευασμάτων 2 h μετά τον κλιβανισμό (δοκιμή με κύλινδρο)



Σχήμα 7.28: Μεταβολή σκληρότητας ψίχας φρέσκων αρτοσκευασμάτων 2 h μετά τον κλιβανισμό (δοκιμή με κύλινδρο)

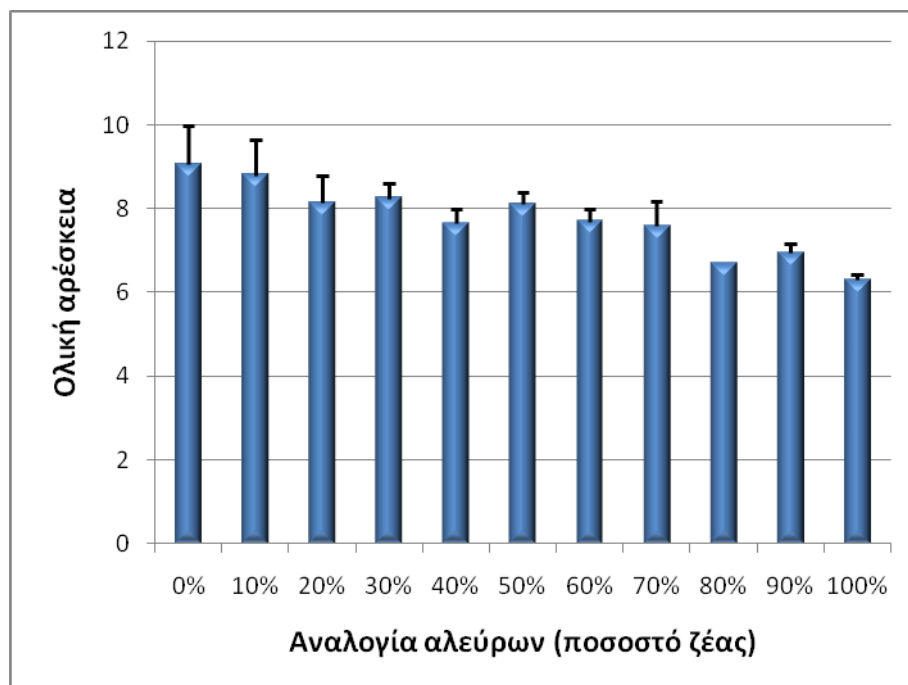


Σχήμα 7.29: Σύγκριση μεταβολής σκληρότητας κόρας φρέσκων αρτοσκευασμάτων 0, 2 και 24 h μετά τον κλιβανισμό (δοκιμή με κύλινδρο)

Από τα παραπάνω διαγράμματα (7.26-7.29) και τη στατιστική επεξεργασία με ανάλυση διακύμανσης κατά έναν παράγοντα (one-way ANOVA), προκύπτει ότι, όπως και στην περίπτωση της μέτρησης της σκληρότητας της ψίχας μέσω της δοκιμής με κοπίδι, η σκληρότητα αυξάνεται απότομα στα μεγάλα ποσοστά ζέας και ειδικά στα δείγματα με 80%, 90% και 100% άλευρο ζέας, είτε αμέσως μετά τον κλιβανισμό, είτε 2 ή 24 h μετά. Όπως αναφέρθηκε και παραπάνω, αυτό οφείλεται στη μεγάλη περιεκτικότητα σε αδύναμη γλουτένη από το άλευρο ζέας και στη μικρή περιεκτικότητα δυνατής γλουτένης από το άλευρο σίτου. Συνέπεια αυτών είναι η μικρή διόγκωση και λιγότερο αφράτα αρτοσκευάσματα.

Επίσης, από το διάγραμμα 7.29 παρατηρείται ότι με την πάροδο του χρόνου η σκληρότητα της ψίχας αυξάνεται. Το γεγονός αυτό επιβεβαιώνεται και από τη στατιστική επεξεργασία, η οποία έδειξε, όπως και στη δοκιμή με κοπίδι, ότι η μεγαλύτερη μεταβολή της σκληρότητας της ψίχας σημειώνεται μεταξύ των 2 και 24 h μετά τον κλιβανισμό, καθώς υγρασία μεταφέρεται από την ψίχα του προϊόντος στην κόρα αυτού.

Ολική αρέσκεια φρέσκων αρτοσκευασμάτων



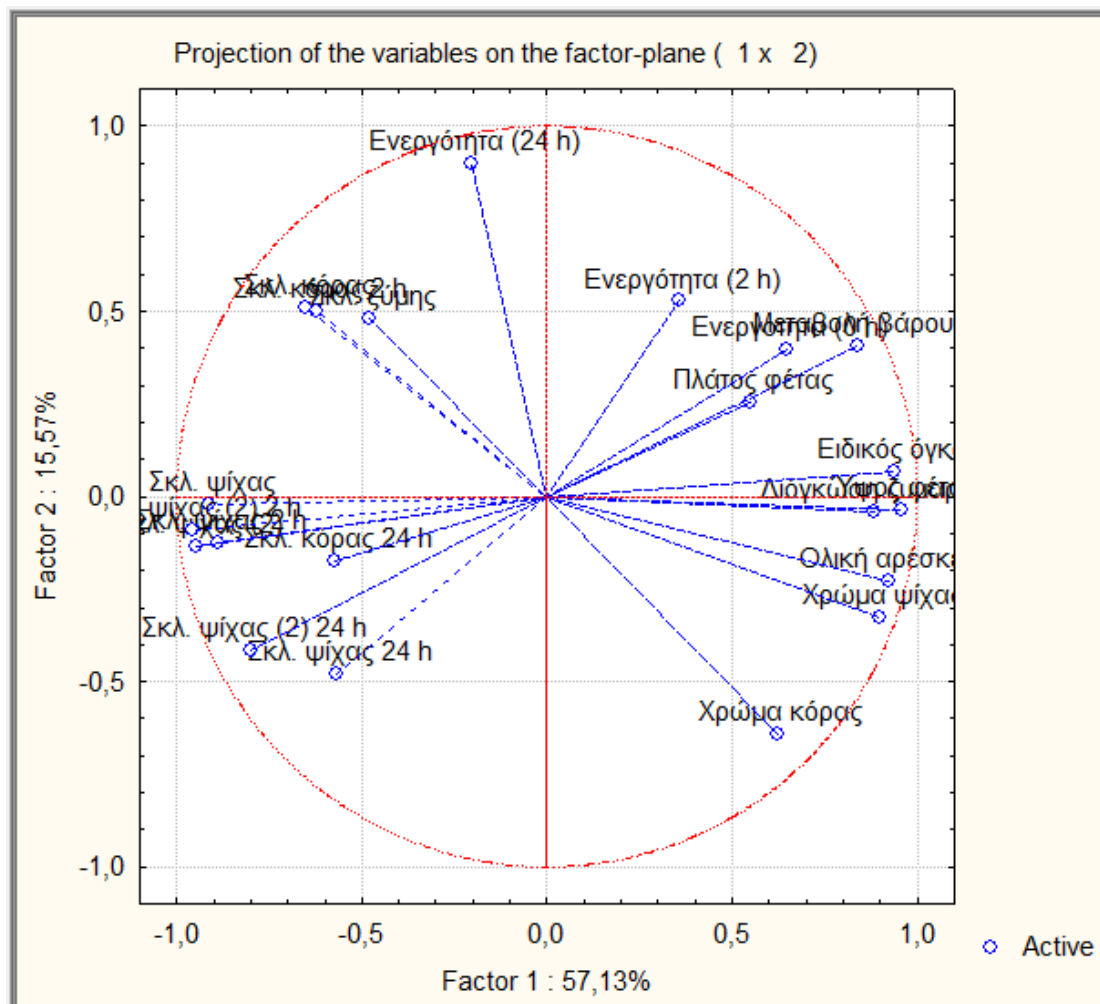
Σχήμα 7.30: Μεταβολή ολικής αρέσκειας αρτοσκευασμάτων

Η ολική αρέσκεια των δοκιμαστών φαίνεται να επηρεάζεται από το ποσοστό αλεύρου ζέας που περιέχεται κάθε φορά στο δείγμα και να προτιμώνται από τους δοκιμαστές δείγματα με χαμηλά έως μέτρια ποσοστά ζέας.

Όπως επιβεβαιώνεται και από τη στατιστική επεξεργασία, ιδιαίτερη προτίμηση φαίνεται να δίνεται στα δείγματα με ποσοστά 0%, 10%, 20%, 30% και 50%. Μέτριας αρέσκειας χαρακτηρίζονται τα αρτοσκευάσματα με ποσοστά αλεύρου ζέας 40%, 60% και 70%, ενώ τις χαμηλότερες βαθμολογίες συγκεντρώνουν τα δείγματα με τα υψηλότερα ποσοστά ζέας (80%, 90% και 100%). Φαίνεται πως οι δοκιμαστές εκτιμούν ιδιαίτερα τα δείγματα με οργανοληπτικά χαρακτηριστικά παρεμφερή με αυτά των αρτοσκευασμάτων κοινού άρτου, δηλαδή μεγάλο ειδικό όγκο, μικρή σκληρότητα ψίχας και ανοιχτό χρώμα κόρας και ψίχας.

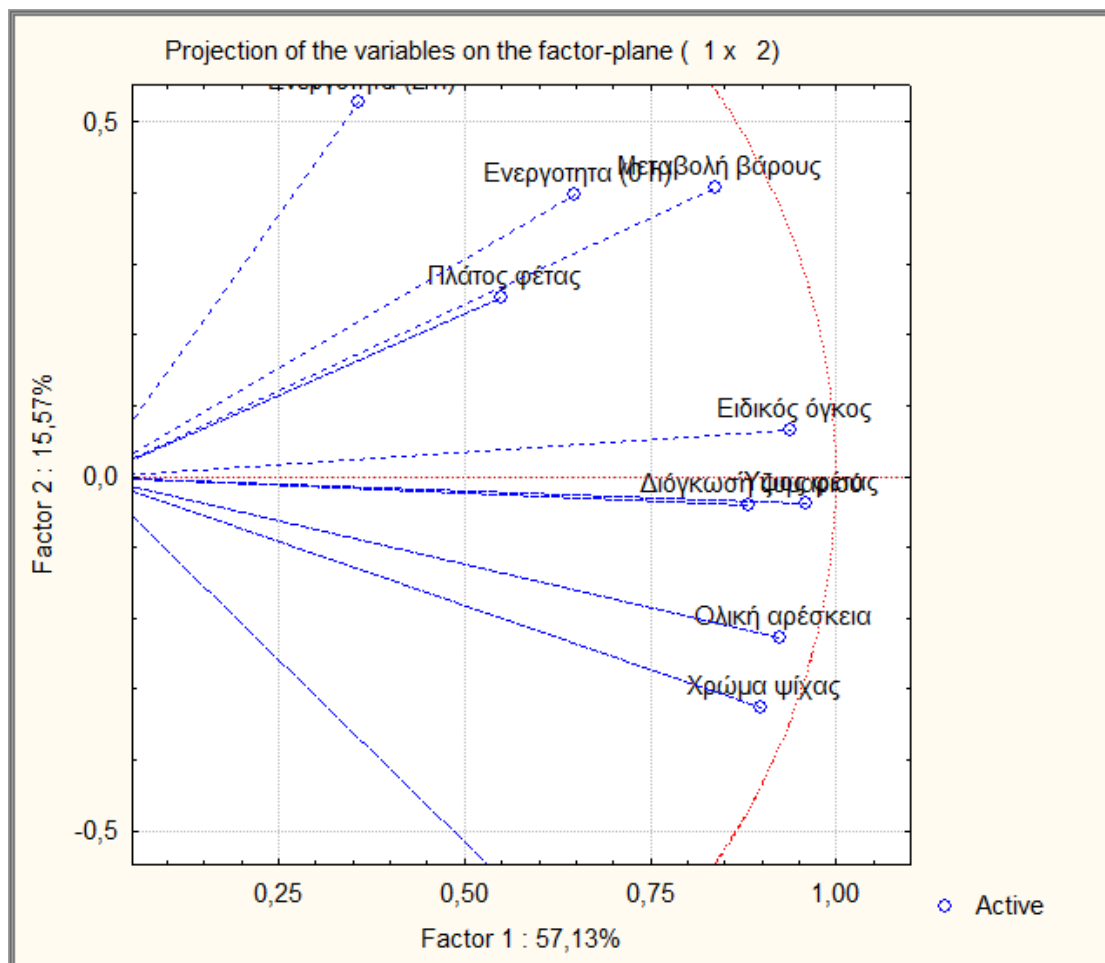
Ανάλυση συσχέτισης κύριων συνιστωσών (PCA)

Στα αποτελέσματα που προέκυψαν συνολικά για τα φρέσκα αρτοσκευάσματα (Πείραμα 1^ο) πραγματοποιήθηκε ανάλυση κύριων συνιστωσών (PCA). Στο διάγραμμα 7.31 φαίνεται η συσχέτιση των μεταβλητών που μελετήθηκαν.



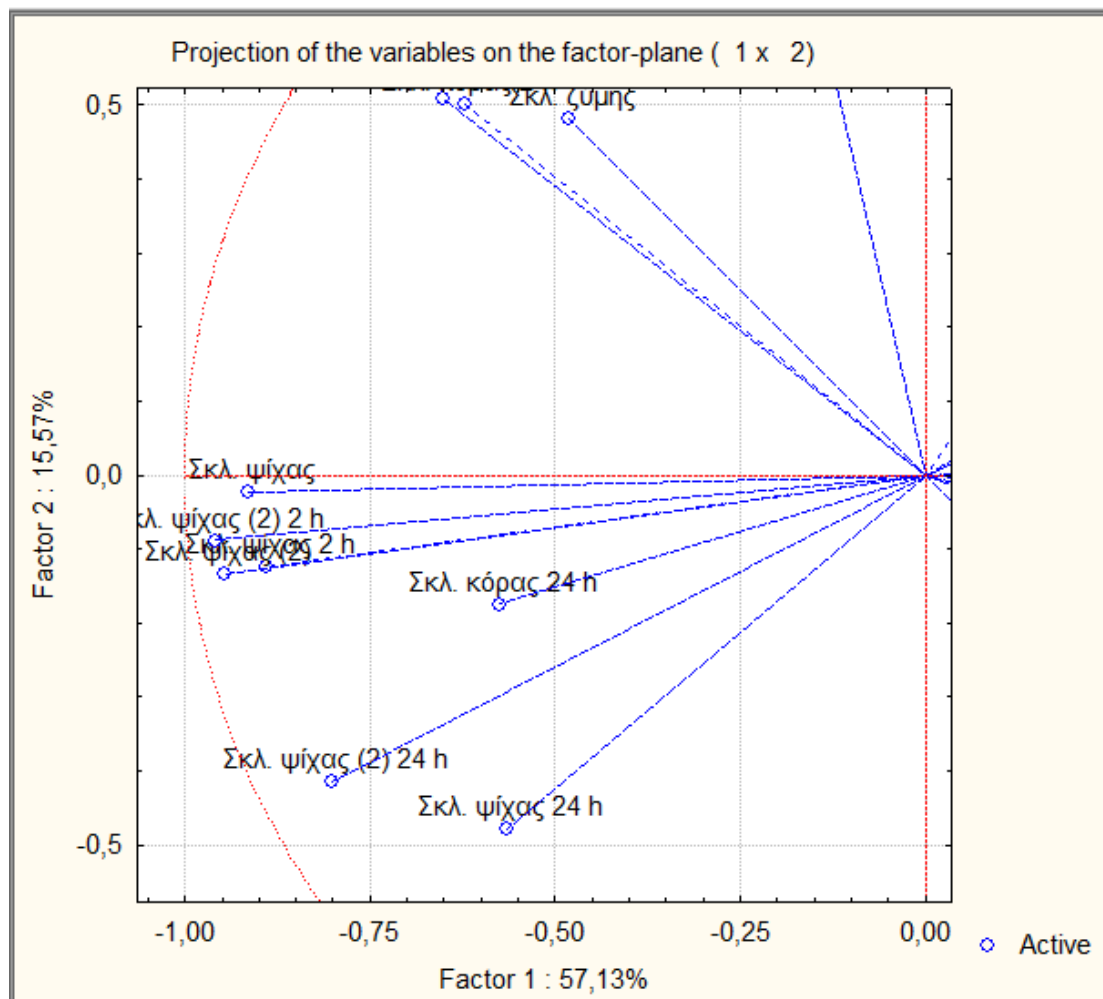
Σχήμα 7.31: Ανάλυση συσχέτισης των μεταβλητών του πειράματος 1

Η πρώτη κύρια συνιστώσα περιγράφει το πείραμα κατά 57,13%, ενώ η δεύτερη το περιγράφει κατά 15,57%. Συνολικά και οι δύο συνιστώσες περιγράφουν το πείραμα κατά 72,70%. Η ενεργότητα των δειγμάτων 24 h μετά τον κλιβανισμό έχει σημαντική θετική συνεισφορά στη δεύτερη κύρια συνιστώσα. Αρνητικά στην πρώτη κύρια συνιστώσα του συστήματος συνεισφέρει η σκληρότητα της ψίχας 0 και 2 h μετά τον κλιβανισμό. Τέλος, η διόγκωση του ζυμαριού, ο ειδικός όγκος, το ύψος της φέτας και η ολική αρέσκεια, συνεισφέρουν θετικά στην πρώτη κύρια συνιστώσα.



Σχήμα 7.32: Μεγέθυνση της δεξιάς πλευράς του σχήματος 7.31

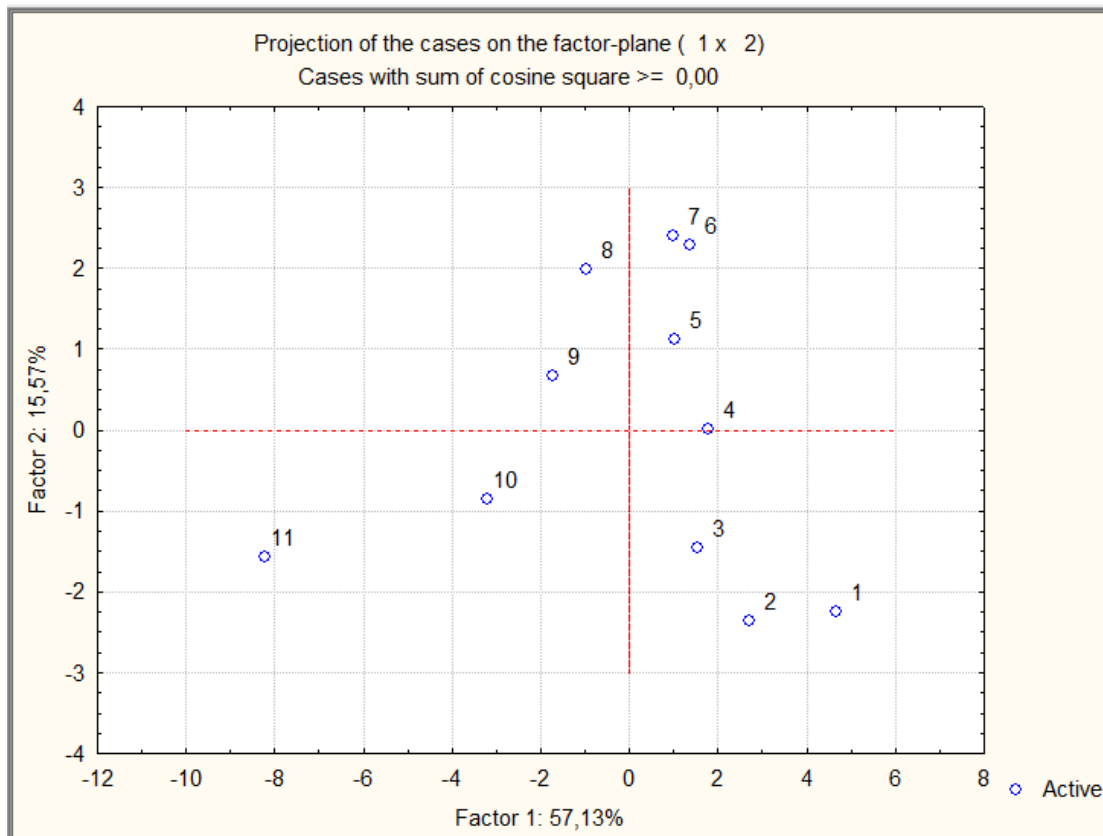
Ο ειδικός όγκος, η διόγκωση του ζυμαριού, το ύψος της φέτας και η ολική αρέσκεια φαίνεται να συσχετίζονται, σύμφωνα με το σχήμα 7.32. Οι μεταβλητές αυτές αλληλεπιδρούν μεταξύ τους και έτσι αρτοσκευάσματα με μεγάλη διόγκωση έχουν μεγάλο ειδικό όγκο και είναι ιδιαίτερα αποδεκτά από τους δοκιμαστές.



Σχήμα 7.33: Μεγέθυνση της κάτω αριστερής πλευράς του σχήματος 7.31

Από το σχήμα 7.33 φαίνεται ότι η σκληρότητα της ψίχας 0 και 2 h μετά τον κλιβανισμό αλληλεπιδρούν μεταξύ τους και έτσι τα αρτοσκευάσματα με τη σκληρότερη ψίχα αμέσως μετά τον κλιβανισμό θα έχουν επίσης τη σκληρότερη ψίχα συγκριτικά με τα άλλα, με την πάροδο του χρόνου.

Τέλος, παρατηρείται ότι η σκληρότητα της ψίχας και ο ειδικός όγκος βρίσκονται σε αντιδιαμετρικές θέσεις, με αποτέλεσμα να έχουν αντίθετη συνεισφορά στο σύστημα. Αυτό σημαίνει ότι δείγματα με μεγάλο όγκο θα έχουν πιο μαλακή ψίχα (μικρότερη σκληρότητα) και αντιστρόφως, δείγματα με μικρό όγκο θα είναι πιο ξερά, θα έχουν δηλαδή μεγαλύτερη σκληρότητα ψίχας.



Σχήμα 7.34: Ανάλυση συσχέτισης των δειγμάτων του πειράματος 1

Στο διάγραμμα 7.34 φαίνεται η συσχέτιση των δειγμάτων. Παρατηρείται να σχηματίζονται τρεις σημαντικές επιμέρους ομάδες από τα δείγματα 1, 2, 3 (1^η ομάδα), τα δείγματα 4, 5, 6, 7 (2^η ομάδα) και τα δείγματα 8, 9 και 10 (3^η ομάδα). Τα δείγματα 1, 2, 3 αντιπροσωπεύουν τις αναλογίες 0%, 10% και 20% και έχουν παρόμοια συνεισφορά στο σύστημα. Έχουν υψηλές τιμές διόγκωσης, ειδικού όγκου, ύψους φέτας και ολικής αρέσκειας και χαμηλές τιμές σκληρότητας ψίχας. Με άλλα λόγια, είναι αρτοσκευάσματα με χαμηλά ποσοστά ζέας, έχουν μεγάλο ειδικό όγκο και είναι ιδιαίτερα αποδεκτά από τους δοκιμαστές. Το γεγονός αυτό είναι αναμενόμενο και συμβαδίζει με τα συμπεράσματα από τη στατιστική επεξεργασία με ανάλυση διακύμανσης κατά έναν παράγοντα (one-way ANOVA). Τα δείγματα με χαμηλά ποσοστά ζέας (μέχρι και 20%) έχουν υψηλή περιεκτικότητα σε γλουτένη από άλευρο σίτου, η οποία είναι δυνατή και προσφέρει μεγάλη συγκράτηση αερίου στο ζυμάρι, με αποτέλεσμα μεγάλη διόγκωση αυτού και κατά συνέπεια μεγάλο ειδικό όγκο του τελικού αρτοσκευάσματος. Ταυτόχρονα, τα δείγματα με περιεκτικότητα σε άλευρο ζέας μέχρι και 20% έχουν παραπλήσια οργανοληπτικά χαρακτηριστικά με τα κοινά

αρτοσκευάσματα και έτσι είναι πιο αποδεκτά από τους καταναλωτές. Η 2^η ομάδα αποτελείται από τις αναλογίες 30%, 40%, 50% και 60% ζέα. Τα δείγματα αυτά εμφανίζουν μέτριες τιμές σκληρότητας ψίχας. Επίσης έχουν ενδιάμεσες τιμές ειδικού όγκου, διόγκωσης ζυμαριού, ύψους φέτας και ολικής αρέσκειας. Συνεπώς, δείγματα μεσαίας περιεκτικότητας σε ζέα συγκρατούν περισσότερη υγρασία και κατά συνέπεια εμφανίζουν υψηλές τιμές ενεργότητας. Έχουν μέτρια διόγκωση, καθώς η γλουτένη της ζέας που έχει αντικαταστήσει ένα μέρος της γλουτένης του σίτου δεν έχει την ίδια δύναμη, όπως φάνηκε από τις ρεολογικές αναλύσεις, ώστε να προσδώσει στο τελικό προϊόν την αντίστοιχη διόγκωση. Σε αρτοσκευάσματα με αναλογία από 30% μέχρι και 60% ζέα γίνεται φανερή η παρουσία του συγκεκριμένου αλεύρου και μειώνεται η αποδοχή τους από τους καταναλωτές, χωρίς ωστόσο να θεωρούνται μη αποδεκτά. Η τελευταία ομάδα αποτελείται από τα δείγματα με 70%, 80% και 90% άλευρο ζέας, τα οποία εμφανίζουν υψηλές τιμές σκληρότητας ψίχας και χαμηλές τιμές διόγκωσης ζυμαριού, ειδικού όγκου, ύψους φέτας και ολικής αρέσκειας. Είναι αρτοσκευάσματα με υψηλά ποσοστά ζέας και, όπως ήταν αναμενόμενο, δεν διογκώνονται ιδιαίτερα αφού η γλουτένη που περιέχουν σε μεγαλύτερη ποσότητα δεν έχει την αντίστοιχη δύναμη με τη γλουτένη του σίτου. Επίσης, έχουν σκληρή ψίχα λόγω της παρουσίας των φυτικών ινών και της απουσίας διόγκωσης. Το χρώμα τους είναι αρκετά σκούρο και οφείλεται στο χρώμα του αλεύρου ζέας που είναι παρόν σε μεγάλες ποσότητες και στις φυτικές ίνες που αυτό περιέχει. Ως αποτέλεσμα αυτών των χαρακτηριστικών, τα προϊόντα αυτά φαίνονται να μην είναι ιδιαίτερα αποδεκτά από τους καταναλωτές.

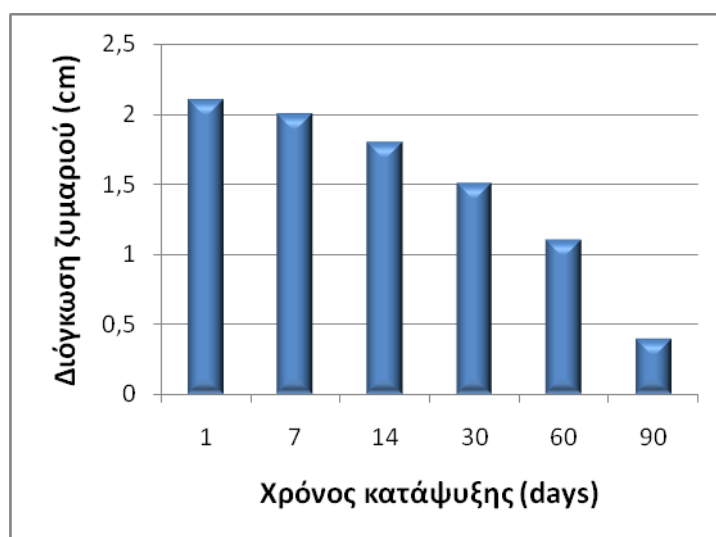
Συμπερασματικά, τα αρτοσκευάσματα με περιεκτικότητα σε ζέα μέχρι και 20% έχουν παρεμφερή ποιοτικά και οργανοληπτικά χαρακτηριστικά με τα κοινά αρτοσκευάσματα από άλευρο σίτου και γίνονται ιδιαίτερα αποδεκτά από τους καταναλωτές. Τα αρτοσκευάσματα με ποσοστό ζέας από 30% μέχρι και 60% εμφανίζουν ελαφρώς υποβαθμισμένα ποιοτικά και οργανοληπτικά χαρακτηριστικά, παραμένοντας όμως αποδεκτά από τους δοκιμαστές. Τέλος, στα αρτοσκευάσματα με περιεκτικότητα σε ζέα από 70% παίζει σημαντικό ρόλο η παρουσία του αλεύρου ζέας και υποβαθμίζει σε μεγάλο βαθμό τα χαρακτηριστικά τους, με αποτέλεσμα να μην γίνονται ιδιαίτερα αρεστά στους δοκιμαστές.

7.3 Σειρά 3^η: Μελέτη επίδρασης χρόνου κατάψυξης σε επιλεγμένες αναλογίες αλεύρου ζέας – αλεύρου σίτου

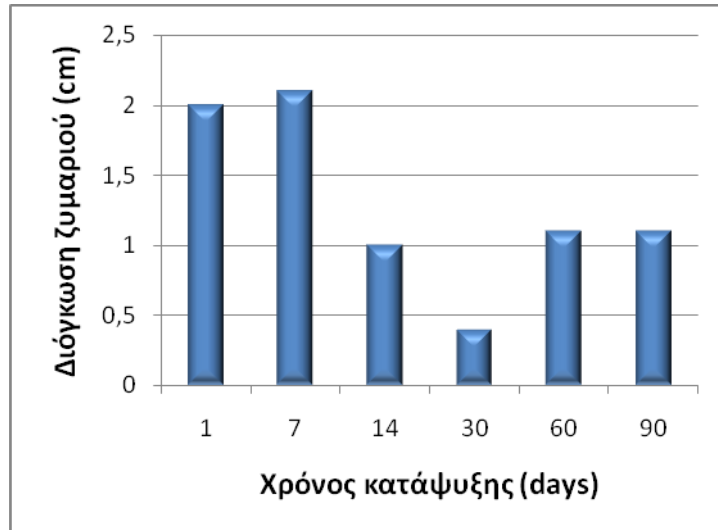
Σκοπός

Προκειμένου να μελετηθεί η συμπεριφορά των αρτοσκευασμάτων υπό συνθήκες κατάψυξης, επιλέχθηκαν τα ποσοστά 0%, 30%, 50%, 80% και 100% σε ζέα και αποθηκεύτηκαν υπό κατάψυξη μέχρι διάστημα 3 μηνών. Ανά τακτά χρονικά διαστήματα γινόταν δειγματοληψία για κάθε ποσοστό. Τα αποτελέσματα των μετρήσεων συνοψίζονται στα διαγράμματα 7.35 - 7.101.

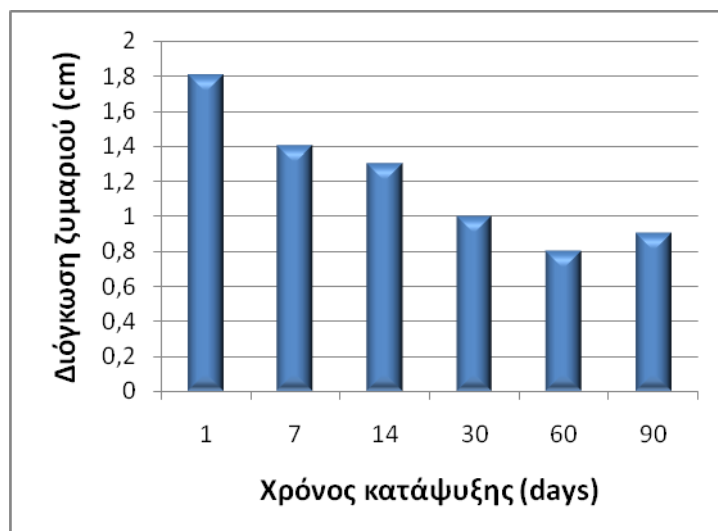
Διόγκωση ζυμαριού κατεψυγμένων αρτοσκευασμάτων



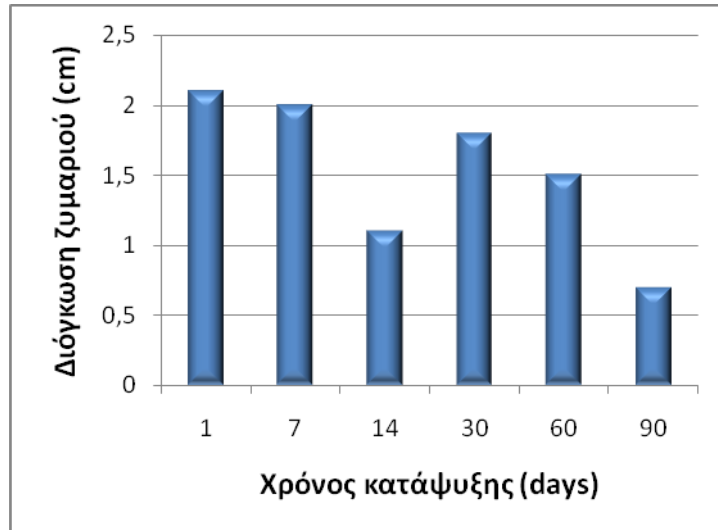
Σχήμα 7.35: Μεταβολή διόγκωσης ζυμαριού κατεψυγμένων αρτοσκευασμάτων (0% ζέα)



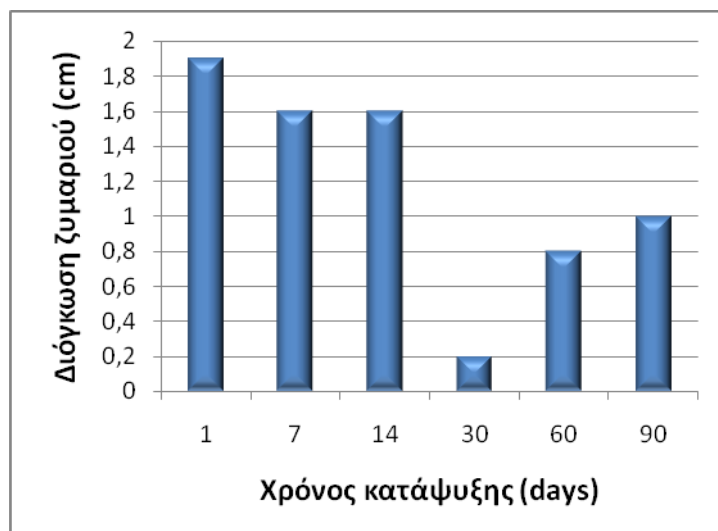
Σχήμα 7.36: Μεταβολή διόγκωσης ζυμαριού κατεψυγμένων αρτοσκευασμάτων (30% ζέα)



Σχήμα 7.37: Μεταβολή διόγκωσης ζυμαριού κατεψυγμένων αρτοσκευασμάτων (50% ζέα)



Σχήμα 7.38: Μεταβολή διόγκωσης ζυμαριού κατεψυγμένων αρτοσκευασμάτων (80% ζέα)

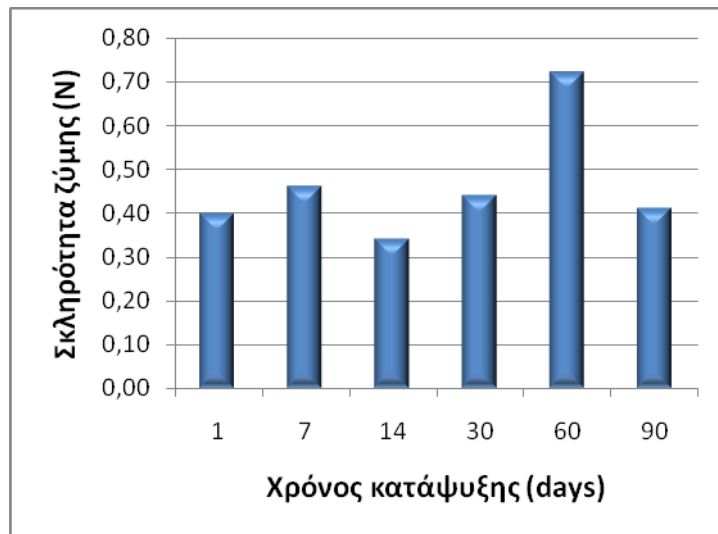


Σχήμα 7.39: Μεταβολή διόγκωσης ζυμαριού κατεψυγμένων αρτοσκευασμάτων (100% ζέα)

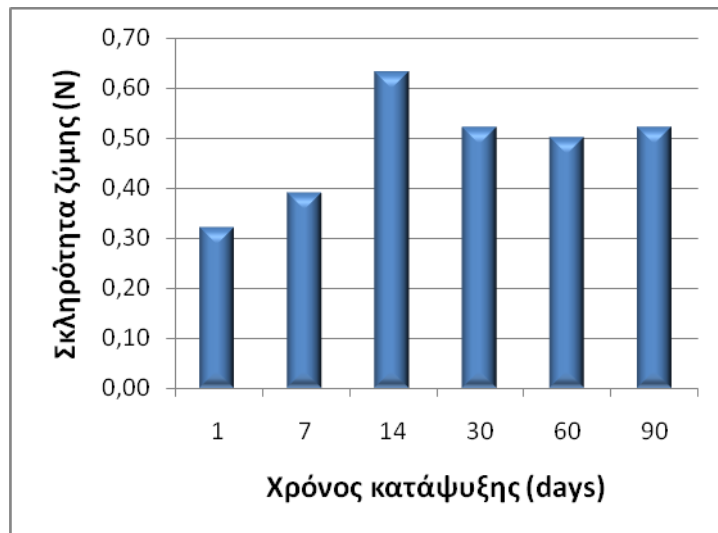
Παρατηρώντας τα διαγράμματα 7.35 - 7.39 προκύπτει ότι καθώς αυξάνεται ο χρόνος κατάψυξης, η διόγκωση του ζυμαριού μειώνεται. Η μείωση αυτή είναι ομοιόμορφη και σταδιακή, όπως επιβεβαιώνεται και από τη στατιστική επεξεργασία με ανάλυση διακύμανσης δύο παραγόντων (main-effects ANOVA)². Σύμφωνα με την ανάλυση διακύμανσης, η διόγκωση του ζυμαριού επηρεάζεται από το χρόνο αποθήκευσης υπό κατάψυξη ($p < 0.05$), αλλά δεν επηρεάζεται από την αναλογία των δύο αλεύρων. Με βάση το κριτήριο Duncan, τα δείγματα που βρίσκονται αποθηκευμένα υπό κατάψυξη για μία ημέρα ή 1 εβδομάδα οποία εμφανίζουν τη μεγαλύτερη διόγκωση. Τα αρτοσκευάσματα που έχουν αποθηκευτεί υπό κατάψυξη για χρονικό διάστημα 2 εβδομάδων έως και 2 μηνών έχουν μέτρια διόγκωση, ενώ τα δείγματα που έχουν καταψυχθεί για 3 μήνες έχουν πολύ χαμηλή διόγκωση. Η μεταβολή της διόγκωσης οφείλεται σε δύο παράγοντες. Ο ένας είναι το θερμικό σοκ που υφίστανται τα κύτταρα της μαγιάς και η γλουτένη κατά την ταπείνωση της θερμοκρασίας. Ο δεύτερος παράγοντας περιλαμβάνει τη σταδιακή μετουσίωση των μορίων γλουτενίνης προς μόρια μικρότερου μοριακού βάρους κατά την αποθήκευση υπό κατάψυξη αλλά και την απελευθέρωση αναγωγικών ουσιών από τα νεκρά κύτταρα της μαγιάς που προκαλούν διάσπαση των δισουλφιδικών δεσμών και οδηγούν στην αποδυνάμωση του ζυμαριού.

² Οι αντίστοιχοι πίνακες με τα αποτελέσματα της ανάλυσης διακύμανσης (ANOVA) παρουσιάζονται στο παράρτημα.

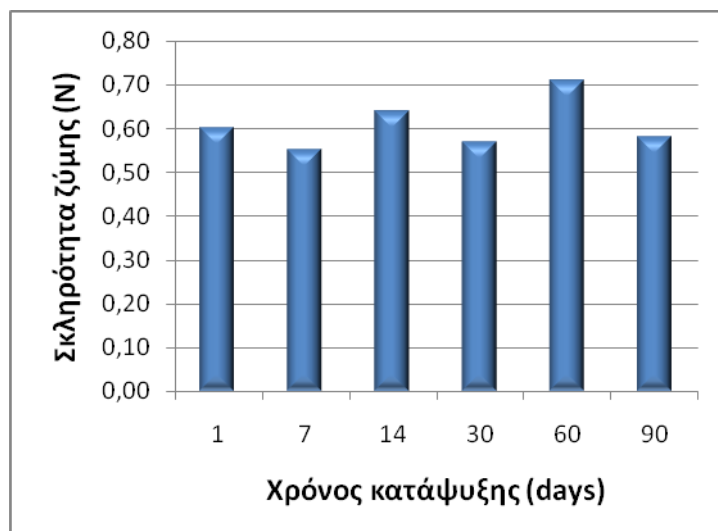
Σκληρότητα ζυμαριού κατεψυγμένων αρτοσκευασμάτων



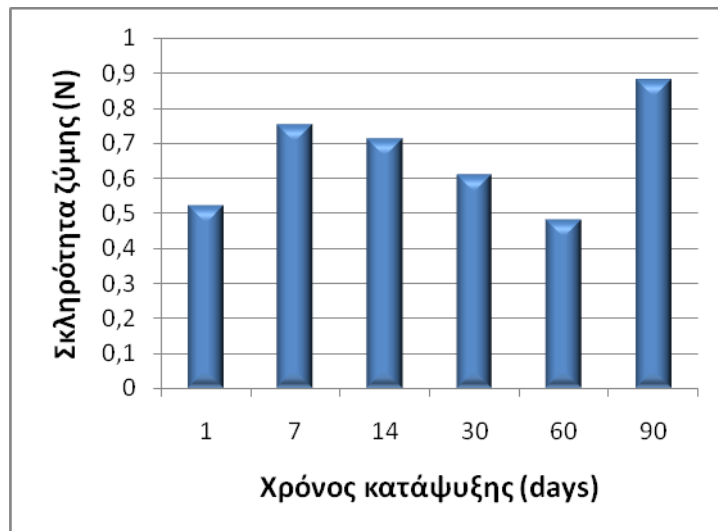
Σχήμα 7.40: Μεταβολή σκληρότητας ζυμαριού κατεψυγμένων αρτοσκευασμάτων (0% ζέα)



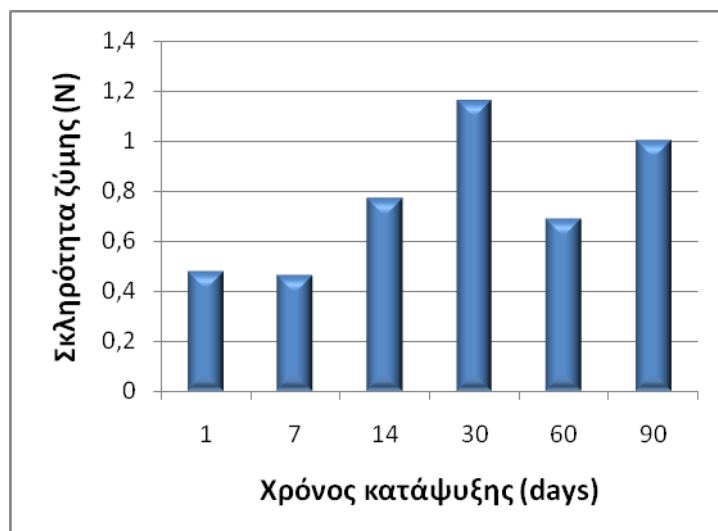
Σχήμα 7.41: Μεταβολή σκληρότητας ζυμαριού κατεψυγμένων αρτοσκευασμάτων (30% ζέα)



Σχήμα 7.42: Μεταβολή σκληρότητας ζυμαριού κατεψυγμένων αρτοσκευασμάτων (50% ζέα)



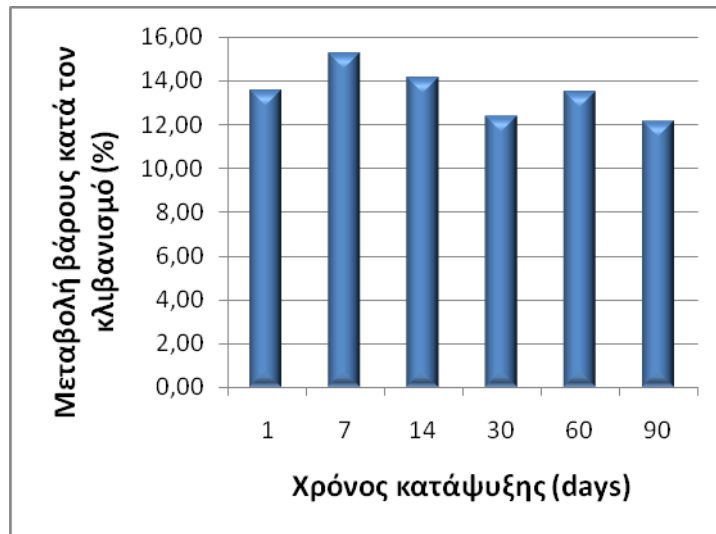
Σχήμα 7.43: Μεταβολή σκληρότητας ζυμαριού κατεψυγμένων αρτοσκευασμάτων (80% ζέα)



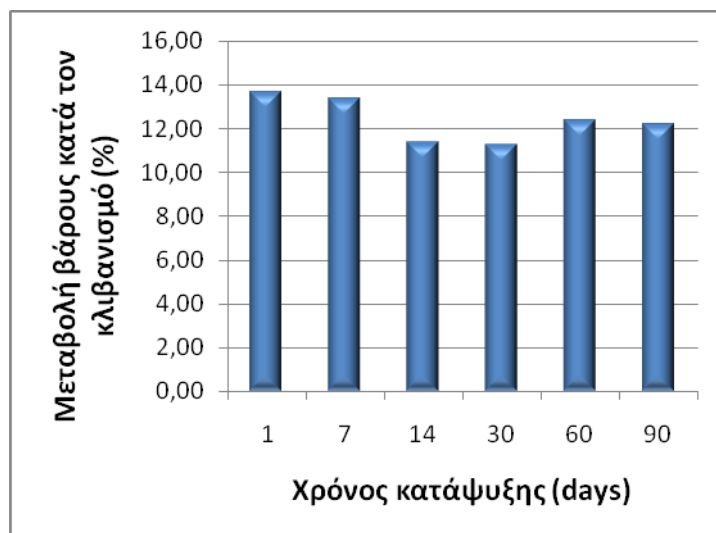
Σχήμα 7.44: Μεταβολή σκληρότητας ζυμαριού κατεψυγμένων αρτοσκευασμάτων (100% ζέα)

Στα διαγράμματα 7.40 - 7.44 παρουσιάζεται η μεταβολή της σκληρότητας του ζυμαριού με το χρόνο κατάψυξης. Στην πλειονότητα των δειγμάτων παρατηρείται τάση αύξησης της σκληρότητας καθώς αυξάνεται η παραμονή των δειγμάτων υπό κατάψυξη. Ωστόσο, η τάση αυτή είναι αμελητέα όπως υποδεικνύει η στατιστική επεξεργασία και ουσιαστικά η σκληρότητα του ζυμαριού επηρεάζεται μόνο από την αναλογία των αλεύρων. Συγκεκριμένα, τα δείγματα από 100% άλευρο ζέας έχουν μεγάλη διαφορά στη σκληρότητα σε σχέση με τα άλλα δείγματα. Αυτό σημαίνει ότι έστω και μικρή ποσότητα αλεύρου σίτου μειώνει τη σκληρότητα του ζυμαριού σε σημαντικό βαθμό, ενώ αντίθετα η περαιτέρω προσθήκη αυτού δεν προκαλεί σημαντική μεταβολή. Η μεταβολή της σκληρότητας οφείλεται στις κατώτερης αρτοποιητικής ικανότητας πρωτεΐνες που περιέχονται στο άλευρο της ζέας, όπως αναφέρθηκε και στην περίπτωση των φρέσκων αρτοσκευασμάτων.

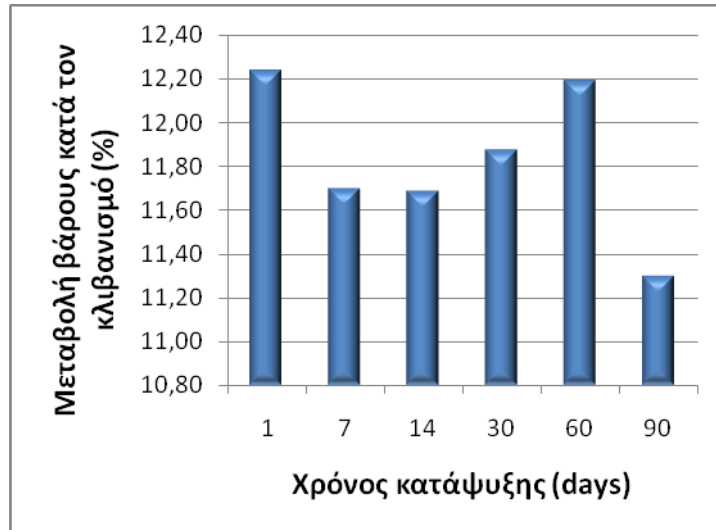
Μεταβολή βάρους κατεψυγμένων αρτοσκευασμάτων



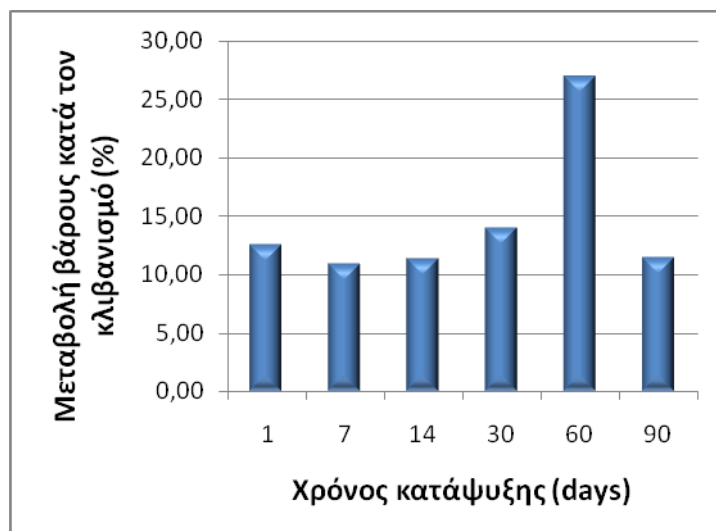
Σχήμα 7.45: Μεταβολή βάρους κατεψυγμένων αρτοσκευασμάτων κατά τον κλιβανισμό (0% ζέα)



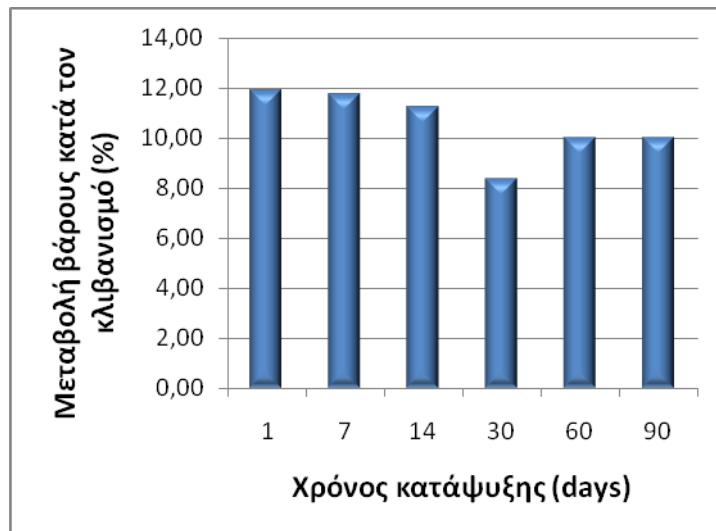
Σχήμα 7.46: Μεταβολή βάρους κατεψυγμένων αρτοσκευασμάτων κατά τον κλιβανισμό (30% ζέα)



Σχήμα 7.47: Μεταβολή βάρους κατεψυγμένων αρτοσκευασμάτων κατά τον κλιβανισμό (50% ζέα)



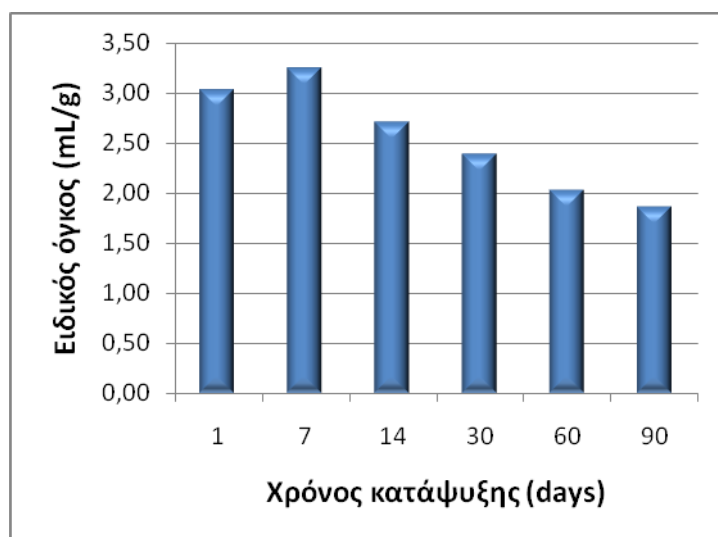
Σχήμα 7.48: Μεταβολή βάρους κατεψυγμένων αρτοσκευασμάτων κατά τον κλιβανισμό (80% ζέα)



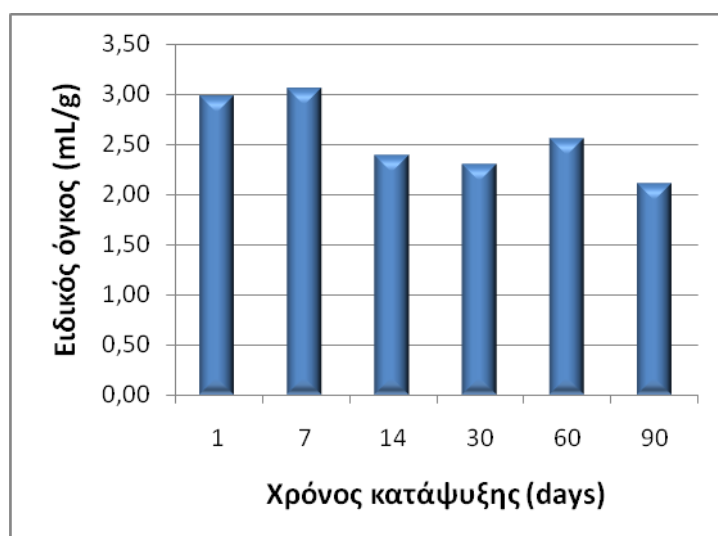
Σχήμα 7.49: Μεταβολή βάρους κατεψυγμένων αρτοσκευασμάτων κατά τον κλιβανισμό (100% ζέα)

Από τα παραπάνω διαγράμματα παρατηρείται ότι δεν υπάρχει κάποια αξιόλογη διαφορά στη μεταβολή του βάρους των δειγμάτων καθώς μεταβάλλεται ο χρόνος αποθήκευσης υπό κατάψυξη, ιδίως στα ποσοστά 0% και 30%. Τα ποσοστά 50% και 80% εμφανίζουν μεγαλύτερη μεταβολή βάρους στο χρονικό διάστημα των 2 μηνών, η οποία όμως δεν δύναται να ερμηνευθεί και πιθανόν οφείλεται σε πειραματικό σφάλμα. Τα ποσοστά αυτά, με εξαίρεση το σημείο των 2 μηνών, εμφανίζουν τάση μείωσης της μεταβολής του βάρους τους, η οποία όμως είναι αμελητέα. Η παρατήρηση αυτή έρχεται σε συμφωνία με τη στατιστική επεξεργασία των αποτελεσμάτων, η οποία δείχνει ότι η μεταβολή του βάρους των δειγμάτων είναι ανεξάρτητη από το χρόνο αποθήκευσης υπό κατάψυξη.

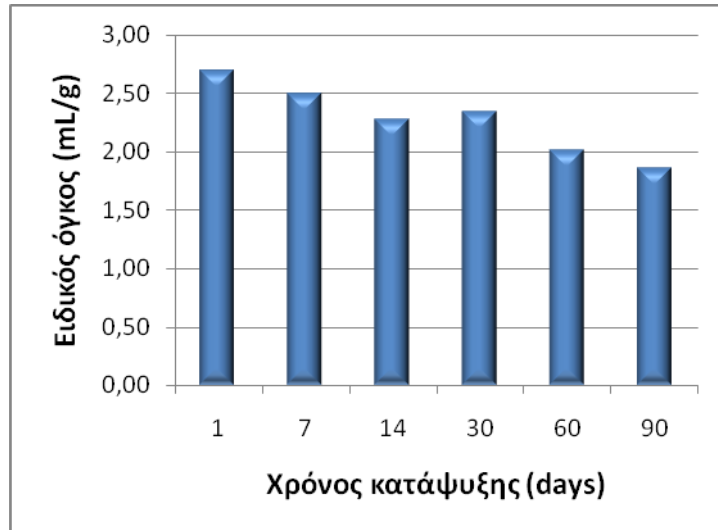
Ειδικός όγκος κατεψυγμένων αρτοσκευασμάτων



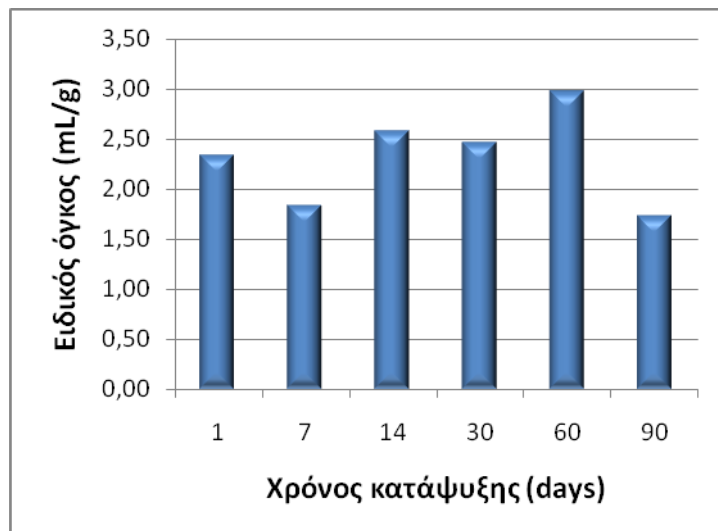
Σχήμα 7.50: Μεταβολή ειδικού όγκου κατεψυγμένων αρτοσκευασμάτων (0% ζέα)



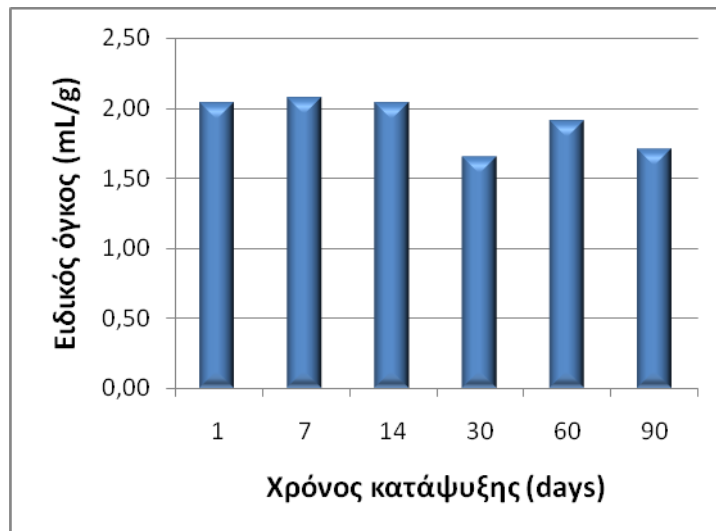
Σχήμα 7.51: Μεταβολή ειδικού όγκου κατεψυγμένων αρτοσκευασμάτων (30% ζέα)



Σχήμα 7.52: Μεταβολή ειδικού όγκου κατεψυγμένων αρτοσκευασμάτων (50% ζέα)



Σχήμα 7.53: Μεταβολή ειδικού όγκου κατεψυγμένων αρτοσκευασμάτων (80% ζέα)

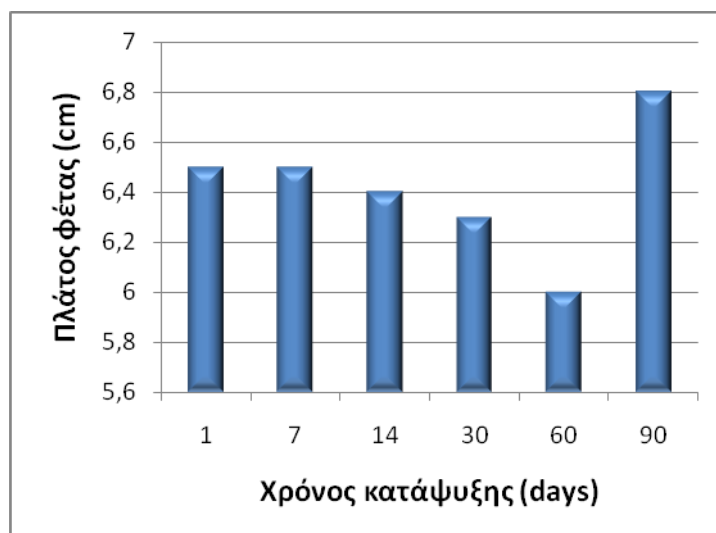


Σχήμα 7.55: Μεταβολή ειδικού όγκου κατεψυγμένων αρτοσκευασμάτων (100% ζέα)

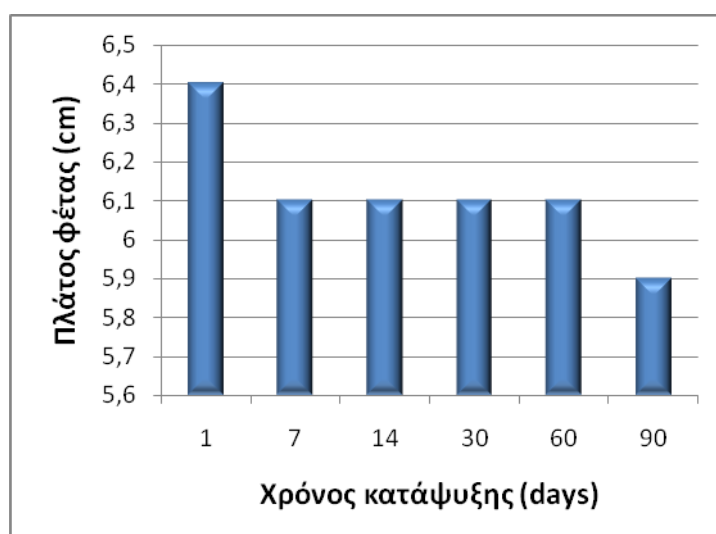
Παρατηρώντας τα διαγράμματα 7.50 - 7.55 προκύπτει ότι ο ειδικός όγκος των αρτοσκευασμάτων μειώνεται καθώς αυξάνεται ο χρόνος κατάψυξης. Παρατηρείται, μάλιστα, ότι τα αρτοσκευάσματα με 0% ποσοστό ζέας έχουν μεγαλύτερο ρυθμό μείωσης του όγκου, ενώ τα αντίστοιχα δείγματα με 100% άλευρο ζέας έχουν το μικρότερο ρυθμό μείωσης και λιγότερο σημαντική διαφορά μεταξύ τους ως προς τον όγκο. Τα συμπεράσματα αυτά επιβεβαιώνονται και από τη στατική επεξεργασία με ανάλυση διακύμανσης δύο παραγόντων (main-effects ANOVA), η οποία έδειξε ότι στον ειδικό όγκο είναι σημαντική η επιρροή τόσο του χρόνου κατάψυξης, όσο και της αναλογίας των αλεύρων. Συγκεκριμένα, το κριτήριο Duncan ως προς την αναλογία των αλεύρων δείχνει ότι η μεγαλύτερη μεταβολή του ειδικού όγκου παρατηρείται σε ποσοστό 100% ζέας, ενώ στις υπόλοιπες τέσσερις περιπτώσεις η μείωση είναι σταδιακή και δεν παρατηρείται κάποια ραγδαία μεταβολή. Η παρατήρηση αυτή είναι σύμφωνη με την αντίστοιχη στην περίπτωση των φρέσκων αρτοσκευασμάτων. Αντίστοιχα, το κριτήριο Duncan ως προς το χρόνο κατάψυξης δείχνει ότι η μείωση με την πάροδο του χρόνου είναι σταδιακή και πιο απότομη από την 1^η προς τη 2^η εβδομάδα και τον 1^ο μήνα κατάψυξης. Μεταξύ 1^{ου} και 2^{ου} μήνα δεν παρατηρείται τόσο έντονη μείωση του ειδικού όγκου, ενώ τον 3^ο μήνα τα αρτοσκευάσματα εμφανίζουν αρκετά μικρότερη διόγκωση. Η μείωση του ειδικού όγκου οφείλεται κυρίως στο θερμικό σοκ που υφίστανται τα κύτταρα της μαγιάς και η γλουτένη καθώς η θερμοκρασία μειώνεται, αφού η υποβάθμισή του είναι εντονότερη μέχρι και τον 1^ο μήνα κατάψυξης. Η περαιτέρω και πιο ήπια μείωση οφείλεται, όπως αναφέρθηκε και

παραπάνω, στη σταδιακή μετουσίωση των μορίων της γλουτενίνης και στις αναγωγικές ουσίες που απελευθερώνονται από τα νεκρά κύτταρα.

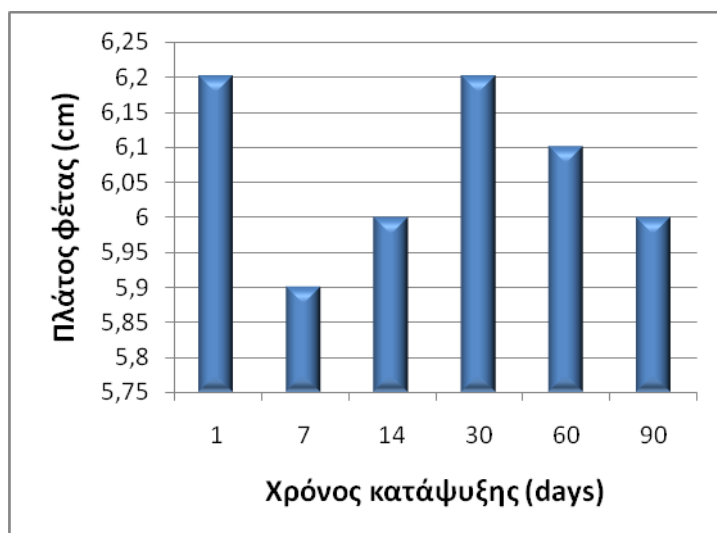
Πλάτος φέτας κατεψυγμένων αρτοσκευασμάτων



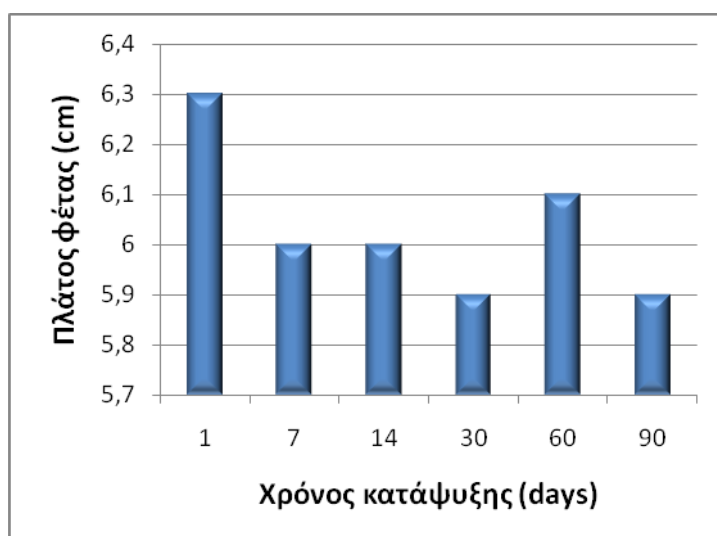
Σχήμα 7.55: Μεταβολή πλάτους φέτας κατεψυγμένων αρτοσκευασμάτων (0% ζέα)



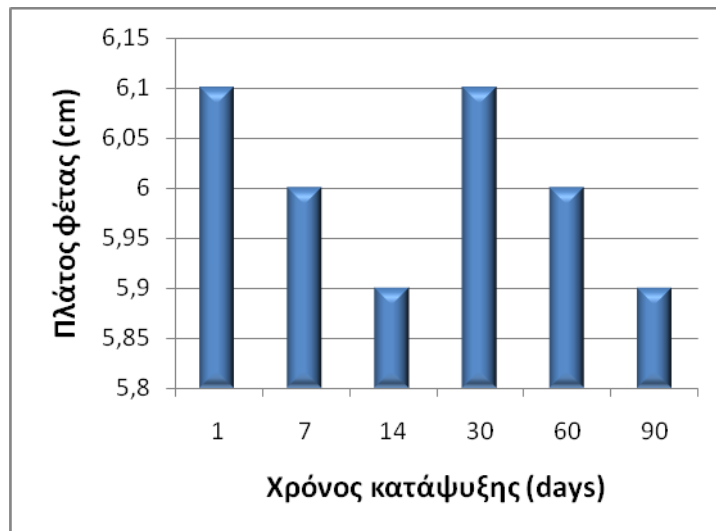
Σχήμα 7.56: Μεταβολή πλάτους φέτας κατεψυγμένων αρτοσκευασμάτων (30% ζέα)



Σχήμα 7.57: Μεταβολή πλάτους φέτας κατεψυγμένων αρτοσκευασμάτων (50% ζέα)



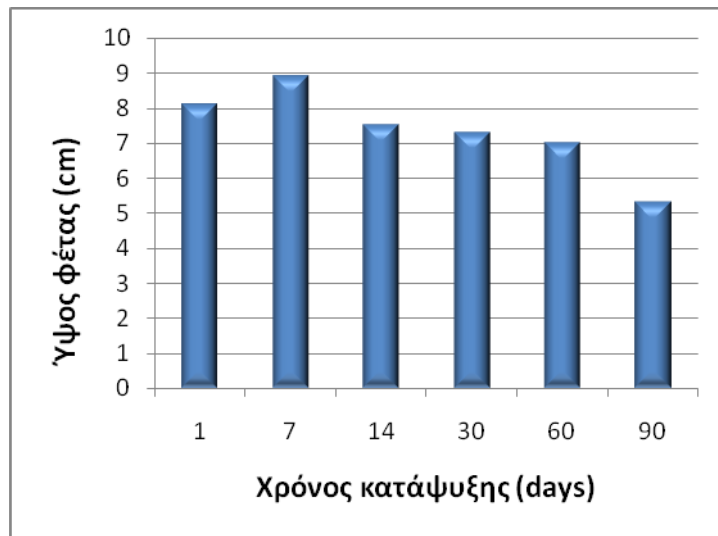
Σχήμα 7.58: Μεταβολή πλάτους φέτας κατεψυγμένων αρτοσκευασμάτων (80% ζέα)



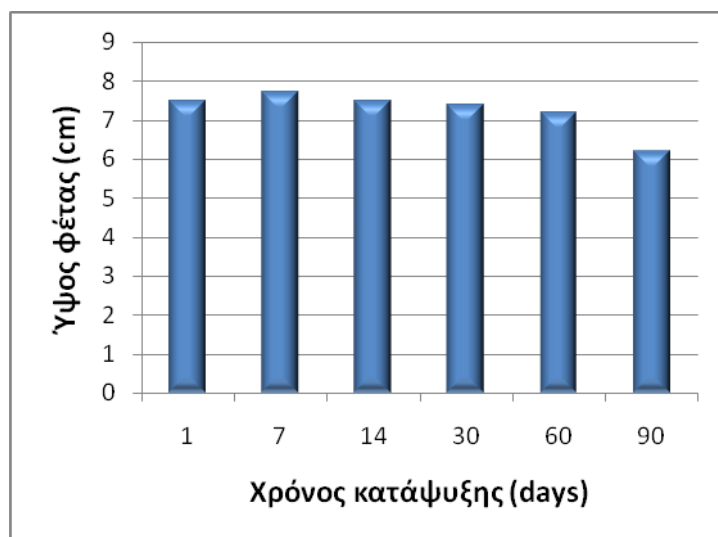
Σχήμα 7.59: Μεταβολή πλάτους φέτας κατεψυγμένων αρτοσκευασμάτων (100% ζέα)

Παρατηρώντας τα διαγράμματα 7.56 - 7.59, φαίνεται ότι ο χρόνος κατάψυξης δεν επηρεάζει ιδιαίτερα το πλάτος των προϊόντων, καθώς οι διακυμάνσεις που παρατηρούνται δεν φαίνονται να έχουν κάποια λογική εξήγηση και πιθανόν οφείλονται σε πειραματικές αποκλίσεις. Η στατιστική επεξεργασία επιβεβαιώνει την παρατήρηση αυτή, καθώς δείχνει ότι υπάρχει εξάρτηση του πλάτους των αρτοσκευασμάτων μόνο από την αναλογία των αλεύρων και όχι από το χρόνο κατάψυξης. Συγκεκριμένα, σύμφωνα με το κριτήριο Duncan, τα αρτοσκευάσματα με μηδενική περιεκτικότητα ζέας είναι αυτά με το μεγαλύτερο πλάτος φέτας, ενώ τα υπόλοιπα δεν εμφανίζουν ιδιαίτερη διαφορά μεταξύ τους.

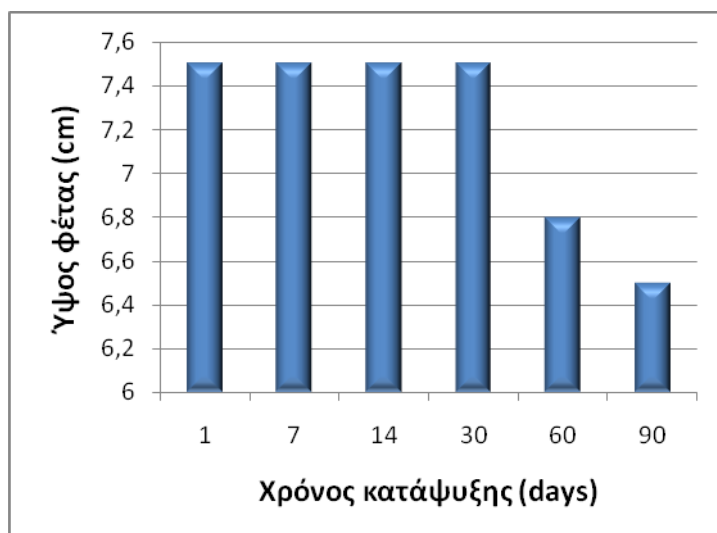
Ύψος φέτας κατεψυγμένων αρτοσκευασμάτων



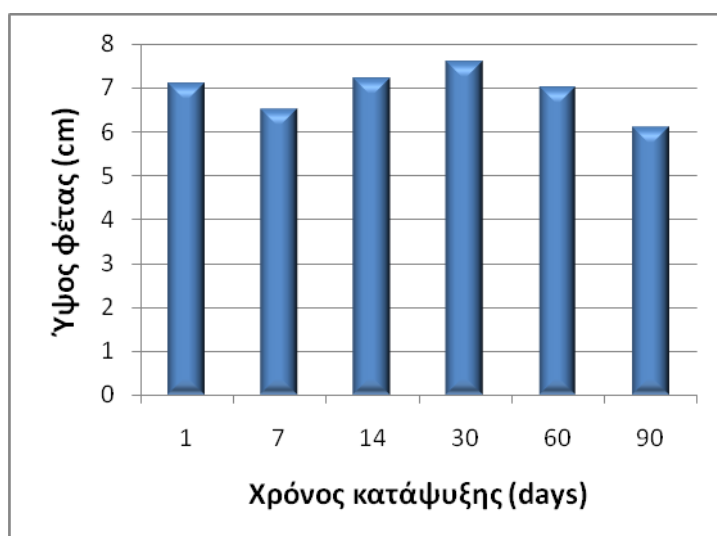
Σχήμα 7.60: Μεταβολή ύψους φέτας κατεψυγμένων αρτοσκευασμάτων (0% ζέα)



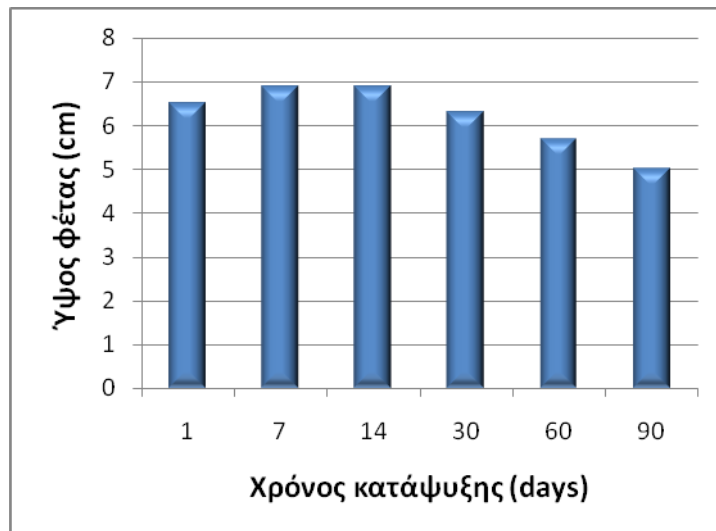
Σχήμα 7.61: Μεταβολή ύψους φέτας κατεψυγμένων αρτοσκευασμάτων (30% ζέα)



Σχήμα 7.62: Μεταβολή ύψους φέτας κατεψυγμένων αρτοσκευασμάτων (50% ζέα)



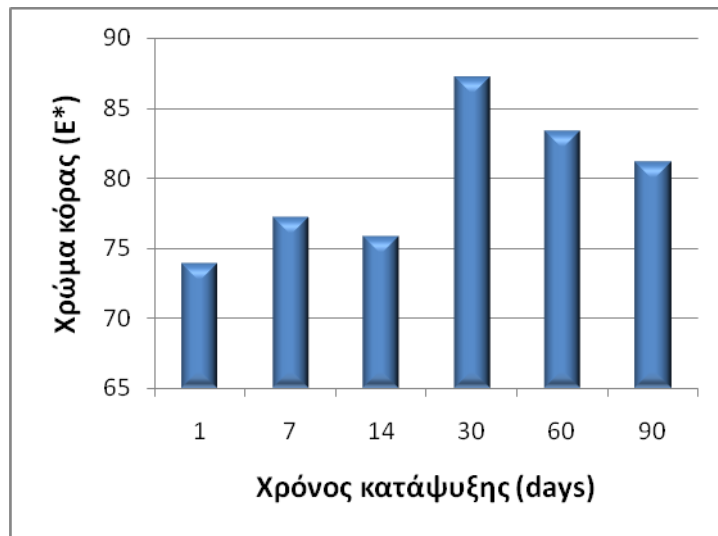
Σχήμα 7.63: Μεταβολή ύψους φέτας κατεψυγμένων αρτοσκευασμάτων (80% ζέα)



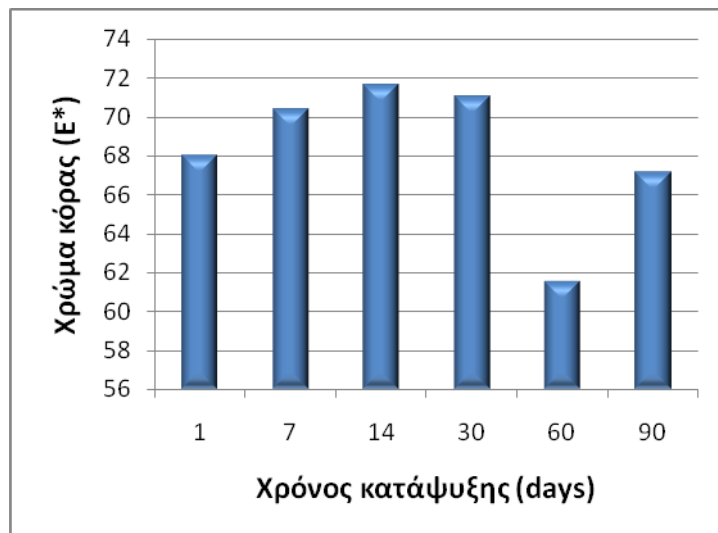
Σχήμα 7.64: Μεταβολή ύψους φέτας κατεψυγμένων αρτοσκευασμάτων (100% ζέα)

Στα διαγράμματα 7.60 - 7.64 δίνεται η μεταβολή του ύψους των αρτοσκευασμάτων με την πάροδο του χρόνου κατάψυξης. Καθώς αυξάνεται ο χρόνος αποθήκευσης, παρατηρείται μείωση του ύψους των τελικών προϊόντων. Η τάση αυτή επιβεβαιώνεται και από τη στατιστική επεξεργασία, η οποία δείχνει ότι το ύψος των αρτοσκευασμάτων εξαρτάται τόσο από την αναλογία των αλεύρων ($p < 0.05$), όσο και από το ποσοστό ζέας που περιέχουν ($p < 0.05$). Σύμφωνα με το κριτήριο Duncan ως προς την αναλογία των αλεύρων, τα δείγματα με ποσοστό ζέας 100% εμφανίζουν σημαντικά μικρότερο ύψος από τα υπόλοιπα δείγματα, ενώ τα υπόλοιπα δεν έχουν ιδιαίτερη απόκλιση μεταξύ τους. Η διαφορά αυτή οφείλεται στην παντελή έλλειψη δυνατής γλουτένης από το αλεύρο του σίτου, με αποτέλεσμα να μην επιτυγχάνεται τόσο αποτελεσματική διόγκωση του προϊόντος. Σύμφωνα με το κριτήριο Duncan ως προς το χρόνο, οι πρώτες τέσσερις περιπτώσεις δειγμάτων (1 ημέρας, 1 εβδομάδας, 2 εβδομάδων και 1 μήνα) έχουν παρόμοιο ύψος και υψηλότερο από τις άλλες δύο. Τα δείγματα των 2 μηνών έχουν σαφώς μικρότερο ύψος από τα προαναφερθέντα, ενώ τα δείγματα των 3 μηνών έχουν το μικρότερο, με διαφορά, ύψος φέτας. Το γεγονός αυτό οφείλεται στους ίδιους παράγοντες που αναφέρθηκαν και στην περίπτωση του ειδικού όγκου.

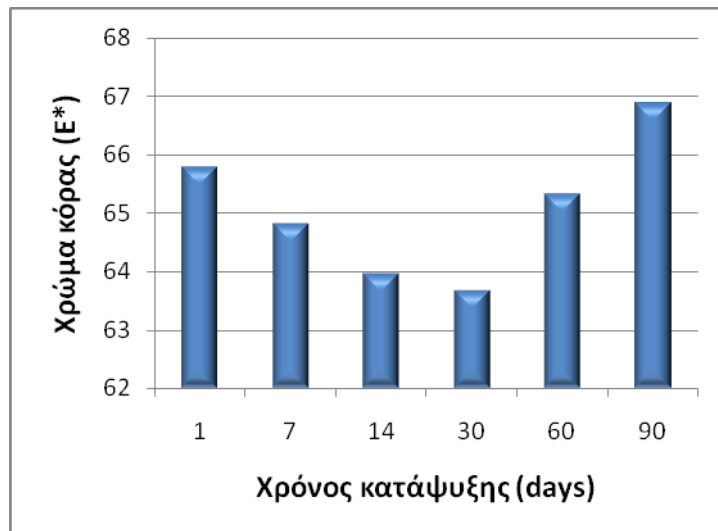
Χρώμα κόρας κατεψυγμένων αρτοσκευασμάτων



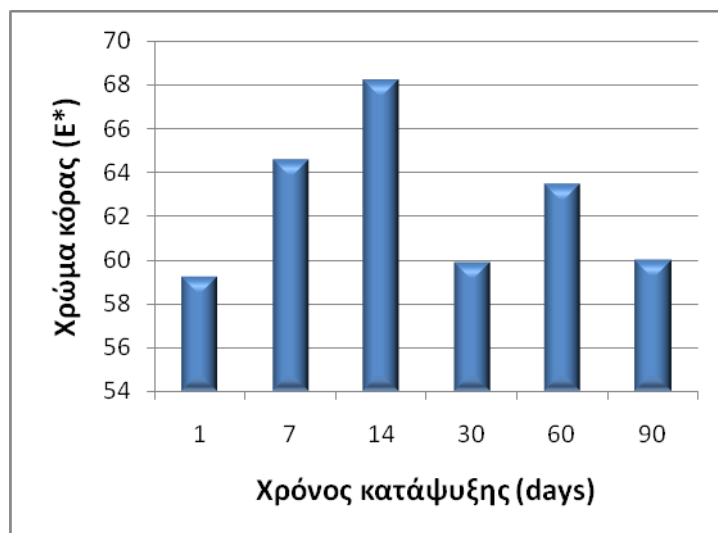
Σχήμα 7.65: Μεταβολή χρώματος κόρας κατεψυγμένων αρτοσκευασμάτων (0% ζέα)



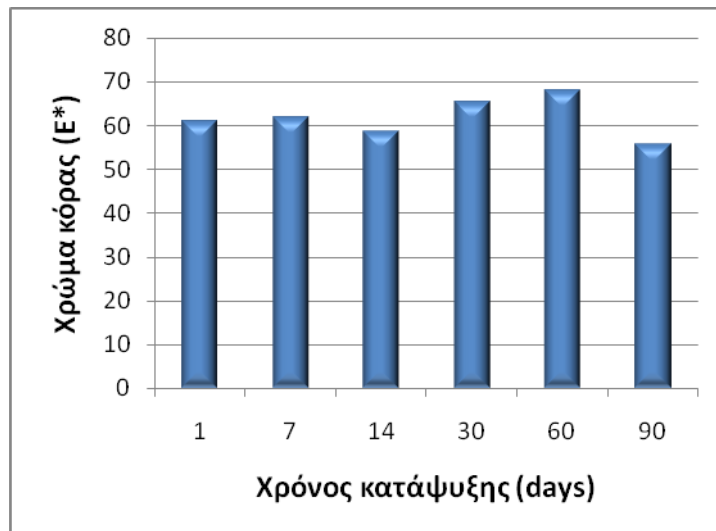
Σχήμα 7.66: Μεταβολή χρώματος κόρας κατεψυγμένων αρτοσκευασμάτων (30% ζέα)



Σχήμα 7.67: Μεταβολή χρώματος κόρας κατεψυγμένων αρτοσκευασμάτων (50% ζέα)



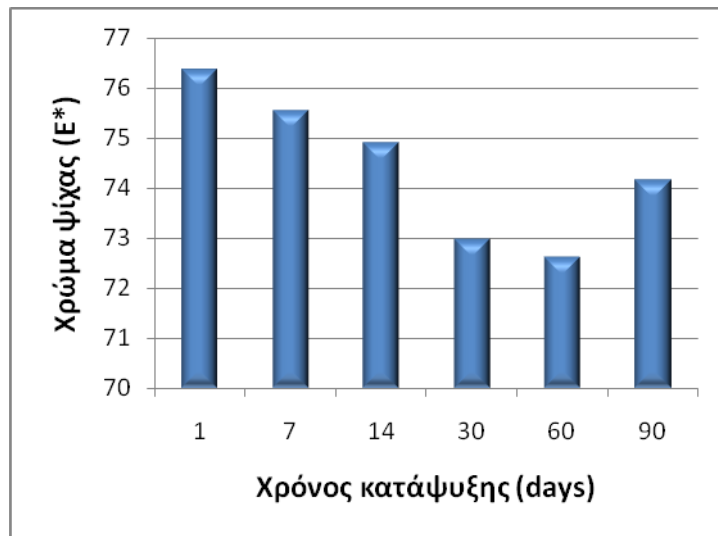
Σχήμα 7.68: Μεταβολή χρώματος κόρας κατεψυγμένων αρτοσκευασμάτων (80% ζέα)



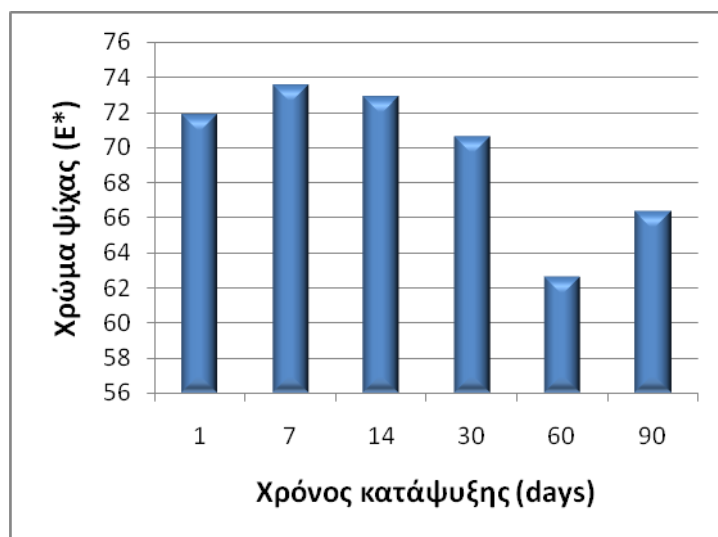
Σχήμα 7.69: Μεταβολή χρώματος κόρας κατεψυγμένων αρτοσκευασμάτων (100% ζέα)

Παρατηρώντας τα παραπάνω διαγράμματα (7.65 - 7.69) προκύπτει ότι το χρώμα της κόρας παρουσιάζει διακυμάνσεις καθώς μεταβάλλεται ο χρόνος αποθήκευσης υπό κατάψυξη. Στα δείγματα με ποσοστό ζέας 0% παρατηρείται απότομη αύξηση του χρώματος από τον 1^ο μήνα κατάψυξης και μετά, δηλαδή τα αρτοσκευάσματα έχουν πιο ανοιχτό χρώμα, γεγονός που παρατηρήθηκε και από τους δοκιμαστές. Η τάση αυτή είναι έντονη μόνο σε αυτήν την περίπτωση, καθώς στα δείγματα με ποσοστά 30% και 100% δεν παρατηρείται κάποια αξιόλογη μεταβολή. Αντίθετα, τα δείγματα με ποσοστό 50% σε ζέα σκουραίνουν κατά την αποθήκευσή τους μέχρι και τον 1^ο μήνα. Από τότε και έπειτα αρχίζουν να εμφανίζουν όλο και πιο ανοιχτό χρώμα, μέχρι τον 3^ο μήνα, όπου παρατηρείται απότομη αύξησή του. Τα δείγματα με ποσοστό ζέας 80% εμφανίζουν σταθερό περίπου χρώμα με την πάροδο του χρόνου, με εξαίρεση τα αρτοσκευάσματα που βρίσκονται 2 εβδομάδες υπό κατάψυξη. Οι διακυμάνσεις αυτές δεν είναι έντονες και σύμφωνα με τη στατιστική επεξεργασία το χρώμα της κόρας δεν επηρεάζεται από το χρόνο της κατάψυξης, αλλά από την αναλογία των αλεύρων ($p < 0.05$). Έτσι, με βάση το κριτήριο Duncan, τα αρτοσκευάσματα με ποσοστό ζέας 0% έχουν ανοιχτό χρώμα με μεγάλη διαφορά από τα υπόλοιπα δείγματα, ενώ αυτά που περιέχουν μέχρι και 50% ζέα έχουν μέτριο χρώμα κόρας. Τέλος, δείγματα με μεγαλύτερη περιεκτικότητα έχουν το πιο σκούρο χρώμα. Αυτό οφείλεται, όπως αναφέρθηκε και στην περίπτωση των φρέσκων αρτοσκευασμάτων, στις φυτικές ίνες και στο πίτυρο που περιέχονται στο άλευρο της ζέας, στο σκουρότερο χρώμα του αλεύρου αυτού έναντι του αλεύρου σίτου και ίσως στη μεγαλύτερη ευκολία υδρόλυσης του αμύλου.

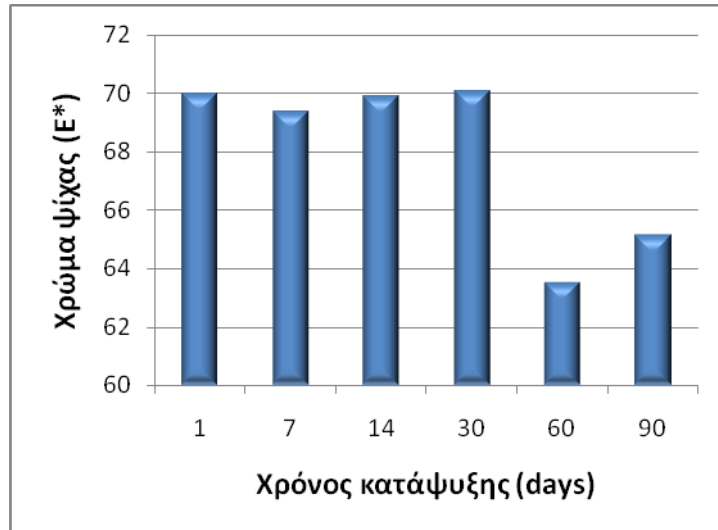
Χρώμα ψίχας κατεψυγμένων αρτοσκευασμάτων



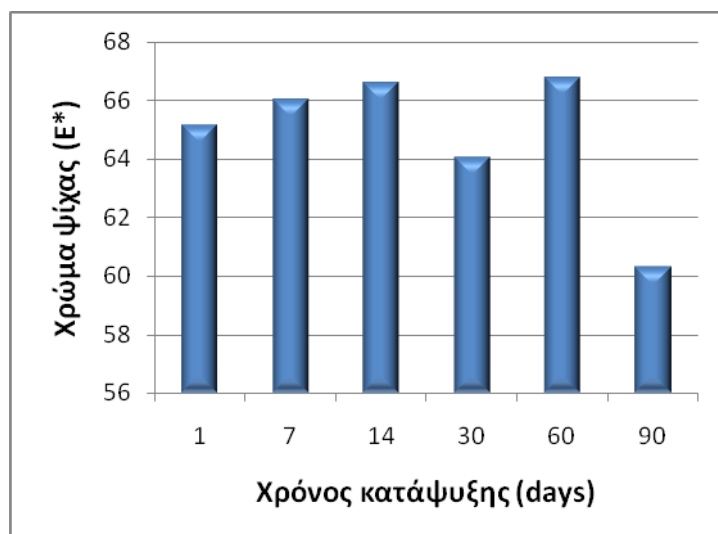
Σχήμα 7.70: Μεταβολή χρώματος ψίχας κατεψυγμένων αρτοσκευασμάτων (0% ζέα)



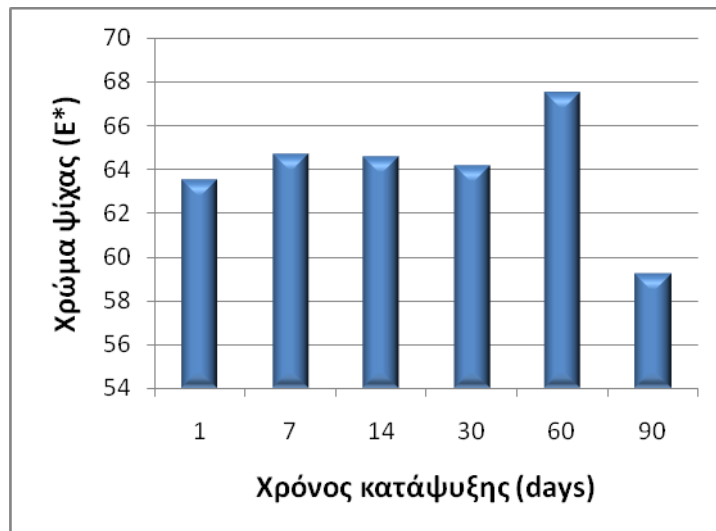
Σχήμα 7.71: Μεταβολή χρώματος ψίχας κατεψυγμένων αρτοσκευασμάτων (30% ζέα)



Σχήμα 7.72: Μεταβολή χρώματος ψίχας κατεψυγμένων αρτοσκευασμάτων (50% ζέα)



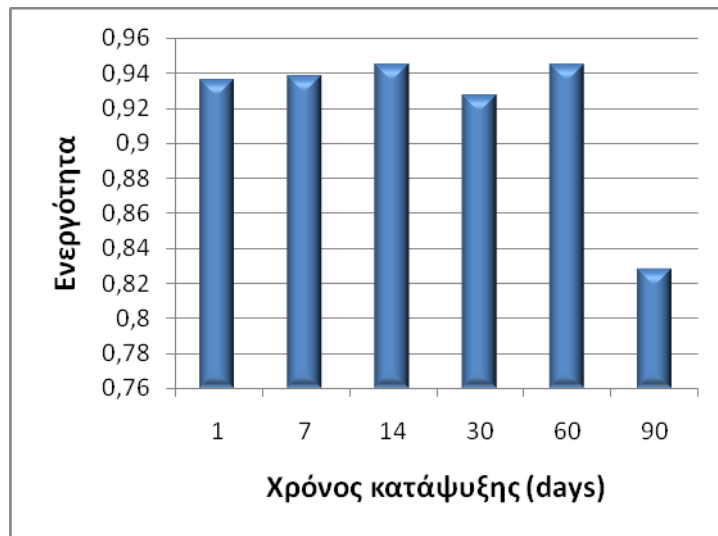
Σχήμα 7.73: Μεταβολή χρώματος ψίχας κατεψυγμένων αρτοσκευασμάτων (80% ζέα)



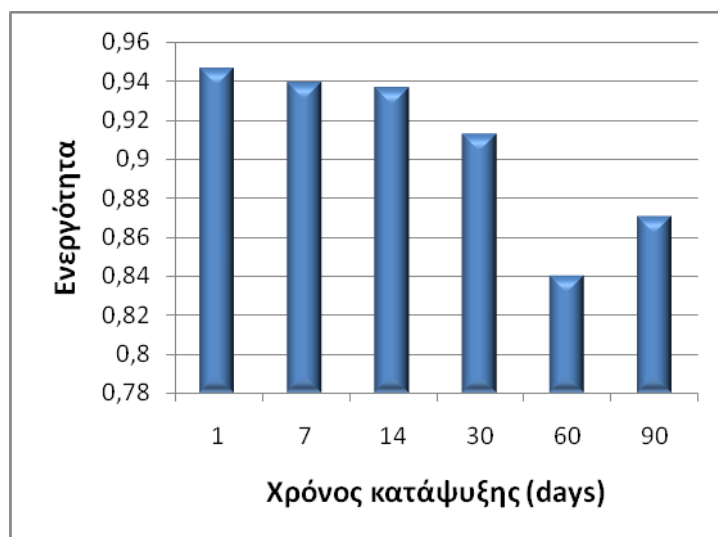
Σχήμα 7.74: Μεταβολή χρώματος ψίχας κατεψυγμένων αρτοσκευασμάτων (100% ζέα)

Σε αντίθεση με το χρώμα της κόρας, το χρώμα της ψίχας φαίνεται σε κάθε περίπτωση να μειώνεται καθώς αυξάνεται ο χρόνος κατάψυξης, ανεξάρτητα από το ποσοστό ζέας που περιέχουν τα δείγματα. Η διαφορά αυτή γίνεται πιο έντονη μετά τον 1^ο ή το 2^ο μήνα κατάψυξης. Η τάση αυτή επιβεβαιώνεται και από τη στατιστική επεξεργασία με ανάλυση δύο παραγόντων, η οποία υποδεικνύει την εξάρτηση του χρώματος της ψίχας τόσο από το χρόνο της κατάψυξης ($p < 0.05$), όσο και από την αναλογία των αλεύρων ($p < 0.05$), όπως συμβαίνει και στην περίπτωση των φρέσκων αρτοσκευασμάτων. Συγκεκριμένα, με βάση το κριτήριο Duncan ως προς το χρόνο κατάψυξης, τα αρτοσκευάσματα που έχουν αποθηκευτεί υπό κατάψυξη για χρονικό διάστημα μέχρι και 1 μήνα έχουν πιο ανοιχτό χρώμα, ενώ τα δείγματα που έχουν αποθηκευτεί για 2 ή 3 μήνες έχουν σκουρότερο χρώμα. Με βάση το κριτήριο Duncan ως προς την αναλογία των αλεύρων, τα δείγματα με ποσοστό 0% ζέας έχουν το πιο ανοιχτό χρώμα, με αισθητή διαφορά από τα υπόλοιπα δείγματα. Αρτοσκευάσματα με ποσοστά μέχρι και 50% έχουν μέτρια απόχρωση ψίχας, ενώ δείγματα με ποσοστό ζέας 80% και άνω έχουν την πιο σκούρα απόχρωση ψίχας. Η μεταβολή του χρώματος της ψίχας οφείλεται στους ίδιους παράγοντες με την αντίστοιχη μεταβολή του χρώματος της κόρας.

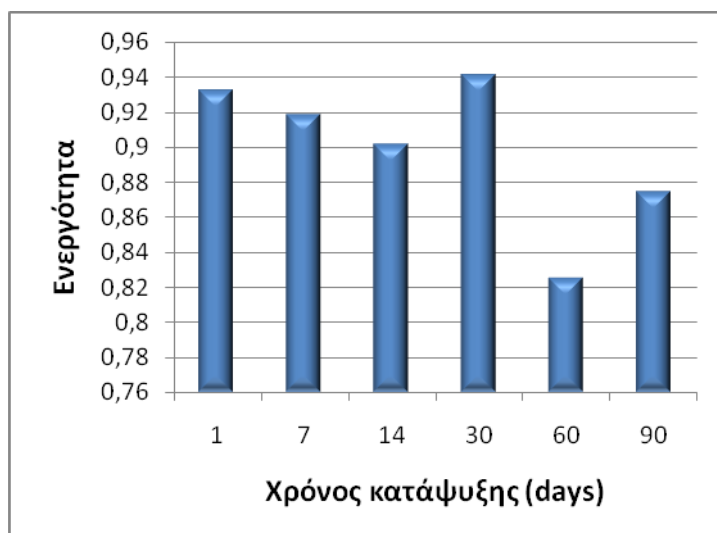
Ενεργότητα κατεψυγμένων αρτοσκευασμάτων



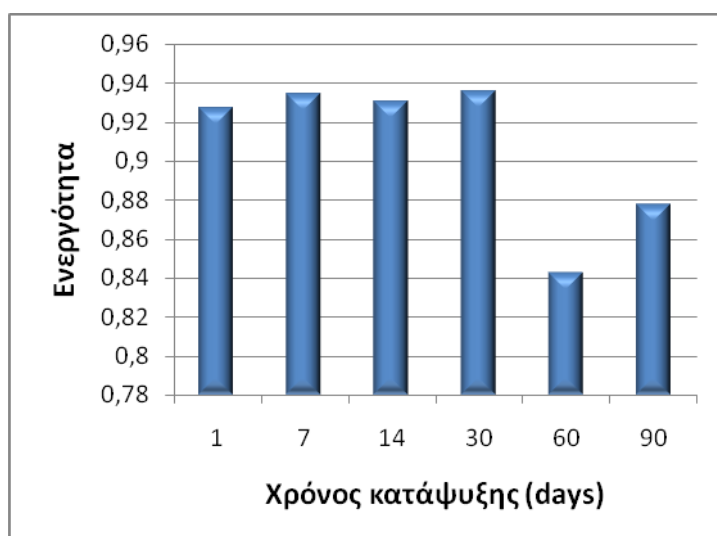
Σχήμα 7.75: Μεταβολή ενεργότητας κατεψυγμένων αρτοσκευασμάτων (0% ζέα)



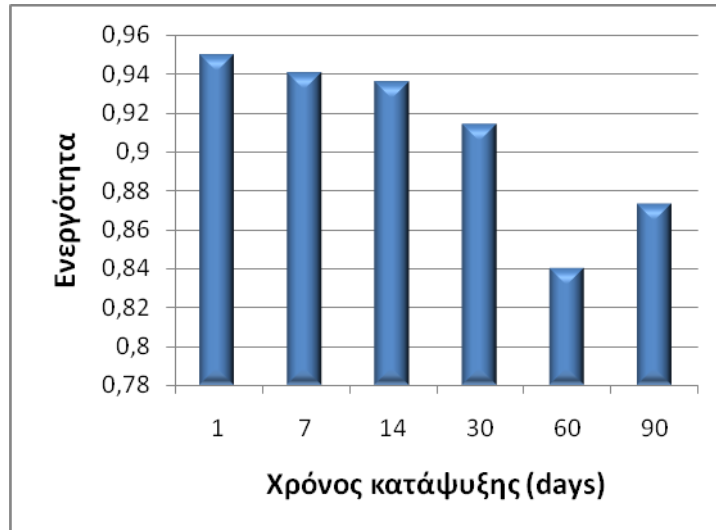
Σχήμα 7.76: Μεταβολή ενεργότητας κατεψυγμένων αρτοσκευασμάτων (30% ζέα)



Σχήμα 7.77: Μεταβολή ενεργότητας κατεψυγμένων αρτοσκευασμάτων (50% ζέα)



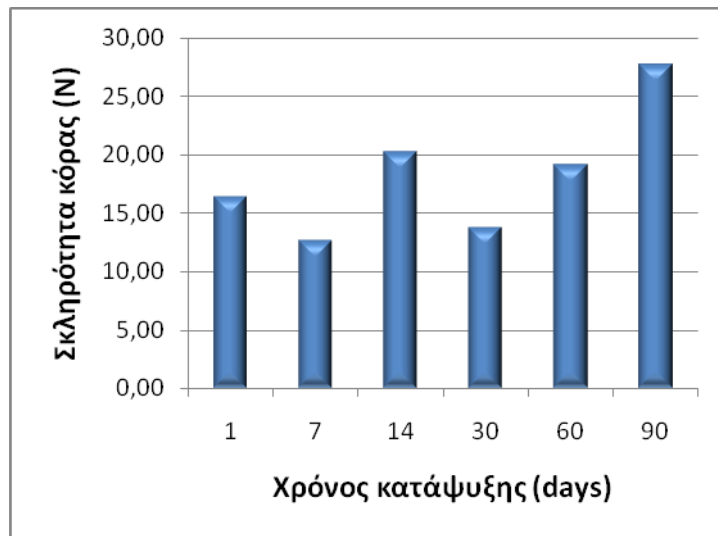
Σχήμα 7.78: Μεταβολή ενεργότητας κατεψυγμένων αρτοσκευασμάτων (80% ζέα)



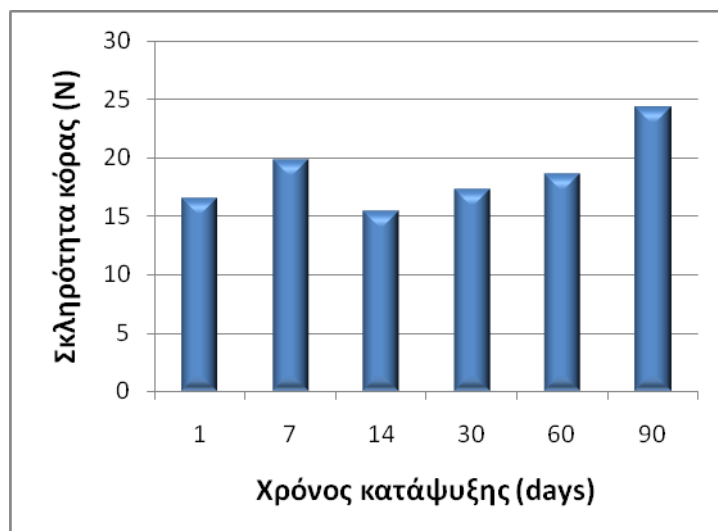
Σχήμα 7.79: Μεταβολή ενεργότητας κατεψυγμένων αρτοσκευασμάτων (100% ζέα)

Από τα διαγράμματα 7.75 - 7.79 παρατηρείται ότι στην πλειονότητα των περιπτώσεων η ενεργότητα των δειγμάτων μειώνεται απότομα τους 2 τελευταίους μήνες κατάψυξης, με αποτέλεσμα τα προϊόντα να έχουν λιγότερη υγρασία και να είναι πιο ξερά. Η τάση αυτή επιβεβαιώνεται και από τη στατιστική επεξεργασία, από την οποία προκύπτει ότι η ενεργότητα δεν εξαρτάται από την αναλογία των αλεύρων, αλλά επηρεάζεται από το χρόνο αποθήκευσης υπό κατάψυξη ($p < 0.05$). Συγκεκριμένα, με βάση το κριτήριο Duncan, η ενεργότητα των δειγμάτων μέχρι και τον 1^ο μήνα κατάψυξης εμφανίζει υψηλότερες τιμές, ενώ μετά τους 2 ή 3 μήνες κατάψυξης μειώνεται. Καθώς ο χρόνος κατάψυξης αυξάνεται, αλλάζει η δομή του νερού καθώς αυτό μετατρέπεται σταδιακά σε πάγο, με αποτέλεσμα να χάνεται κατά την απόψυξη των δειγμάτων.

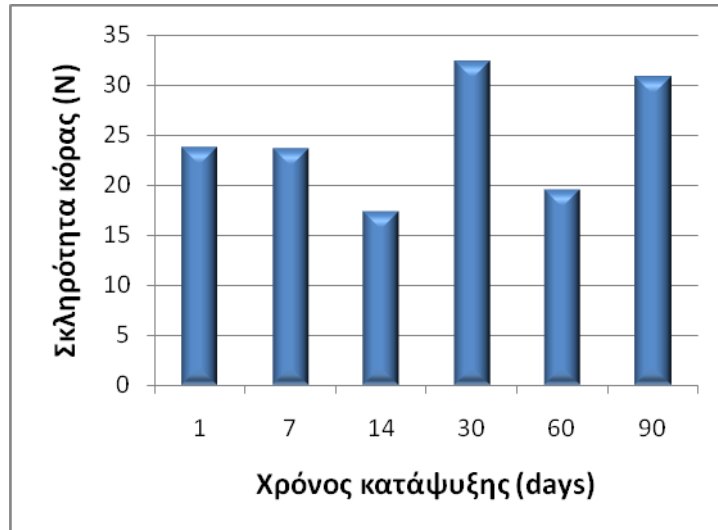
Σκληρότητα κόρας κατεψυγμένων αρτοσκευασμάτων



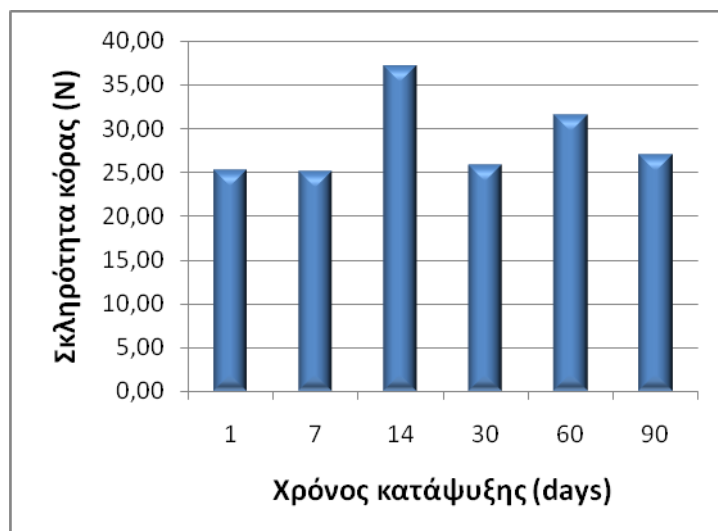
Σχήμα 7.80: Μεταβολή σκληρότητας κόρας κατεψυγμένων αρτοσκευασμάτων (30% ζέα)



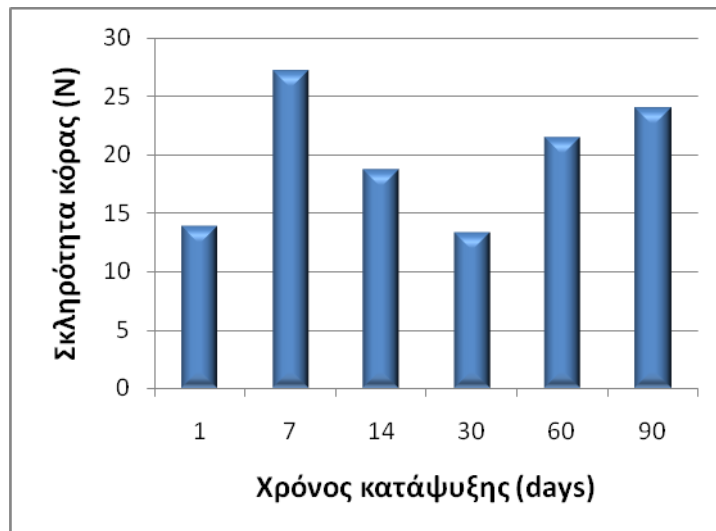
Σχήμα 7.81: Μεταβολή σκληρότητας κόρας κατεψυγμένων αρτοσκευασμάτων (50% ζέα)



Σχήμα 7.82: Μεταβολή σκληρότητας κόρας κατεψυγμένων αρτοσκευασμάτων (80% ζέα)



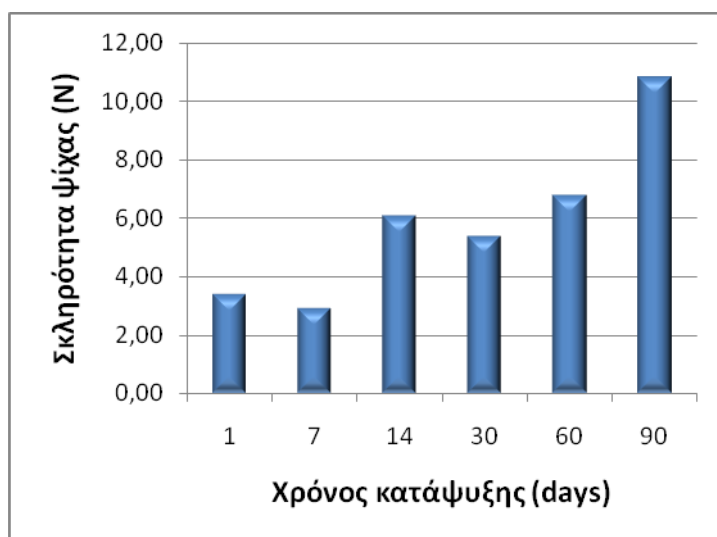
Σχήμα 7.83: Μεταβολή σκληρότητας κόρας κατεψυγμένων αρτοσκευασμάτων (100% ζέα)



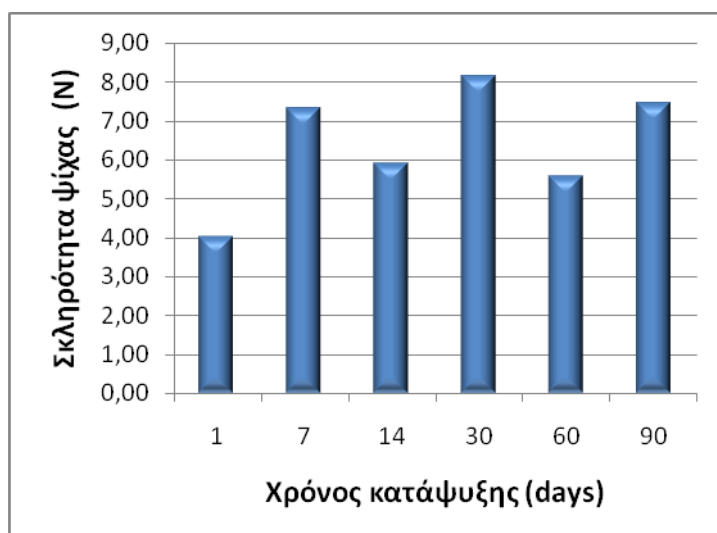
Σχήμα 7.84: Μεταβολή σκληρότητας κόρας κατεψυγμένων αρτοσκευασμάτων (0% ζέα)

Στα διαγράμματα 7.80 - 7.84 παρουσιάζεται η μεταβολή της σκληρότητας της κόρας των αρτοσκευασμάτων με το χρόνο κατάψυξης. Η πλειονότητα των περιπτώσεων παρουσιάζει τάση αύξησης της σκληρότητας καθώς αυξάνεται ο χρόνος αποθήκευσης, η οποία όμως είναι αμελητέα σύμφωνα με τη στατιστική επεξεργασία. Ο μοναδικός παράγοντας που επηρεάζει τη σκληρότητα της κόρας είναι η αναλογία των αλεύρων. Συγκεκριμένα, ενώ τα δείγματα των πρώτων τριών περιπτώσεων (0%, 30% και 50% άλευρο ζέας) δεν εμφανίζουν σημαντικές διαφορές στη μεταξύ τους σκληρότητα, τα αρτοσκευάσματα με ποσοστό ζέας 80% και 100% εμφανίζουν πολύ μεγαλύτερη σκληρότητα, τόσο ως προς τα υπόλοιπα δείγματα, όσο και μεταξύ τους. Συνεπώς, αρτοσκευάσματα με ποσοστό ζέας από 80% και πάνω έχουν πολύ μεγάλη σκληρότητα κόρας, ενώ μία μικρή προσθήκη αλεύρου σίτου τη μειώνει σημαντικά. Περαιτέρω προσθήκη αλεύρου σίτου δεν προκαλεί σημαντικές μεταβολές στο τελικό προϊόν. Αυτό οφείλεται στις φυτικές ίνες, το πίτυρο και την αδύναμη γλουτένη που περιέχονται στο άλευρο της ζέας. Η γλουτένη αυτή σχηματίζει λιγότερο ελαστικό πλέγμα με αποτέλεσμα η διόγκωση του δείγματος να είναι μικρότερη. Έτσι, το τελικό προϊόν έχει πιο πυκνή δομή και εμφανίζει τελικά μεγαλύτερη σκληρότητα.

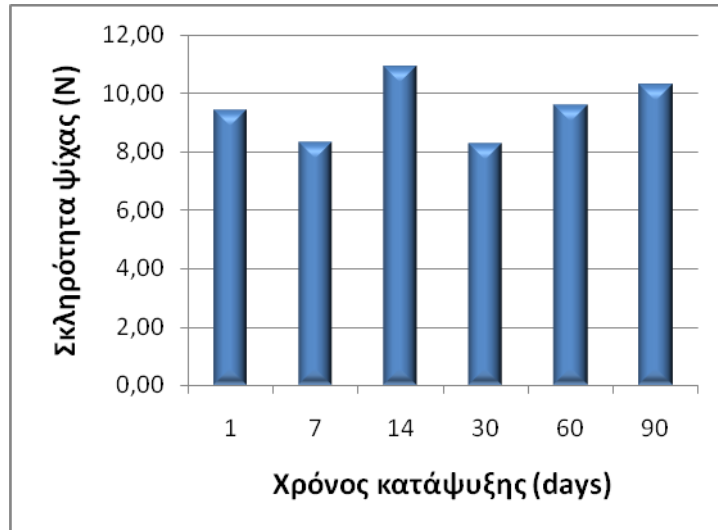
Σκληρότητα ψίχας κατεψυγμένων αρτοσκευασμάτων - δοκιμή με κοπίδι



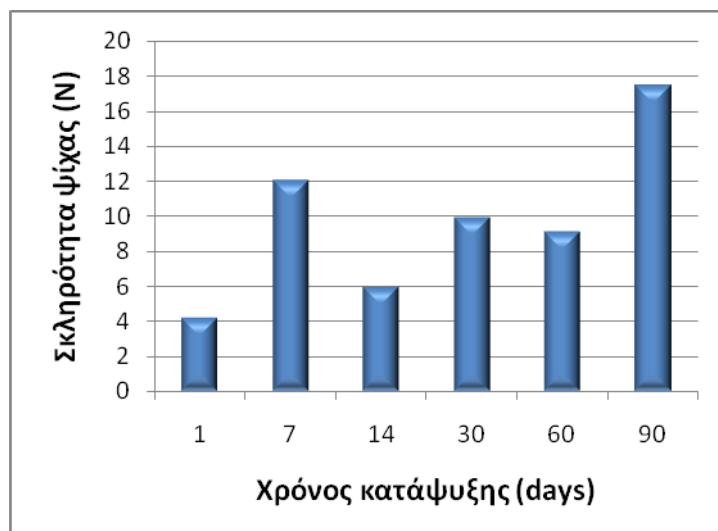
Σχήμα 7.85: Μεταβολή σκληρότητας ψίχας κατεψυγμένων αρτοσκευασμάτων (δοκιμή με κοπίδι) (0% ζέα)



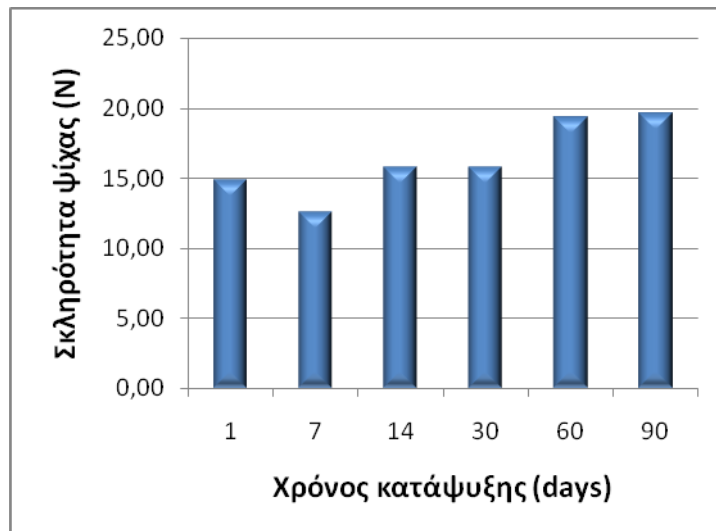
Σχήμα 7.86: Μεταβολή σκληρότητας ψίχας κατεψυγμένων αρτοσκευασμάτων (δοκιμή με κοπίδι) (30% ζέα)



Σχήμα 7.87: Μεταβολή σκληρότητας ψίχας κατεψυγμένων αρτοσκευασμάτων (δοκιμή με κοπίδι) (50% ζαα)



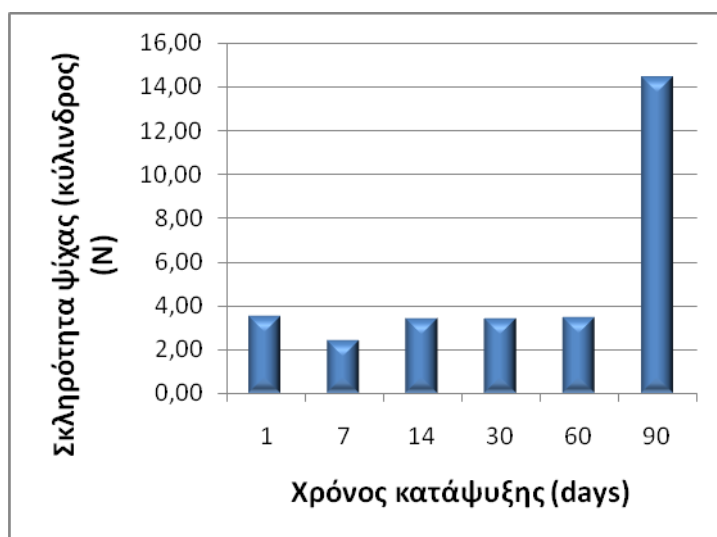
Σχήμα 7.88: Μεταβολή σκληρότητας ψίχας κατεψυγμένων αρτοσκευασμάτων (δοκιμή με κοπίδι) (80% ζαα)



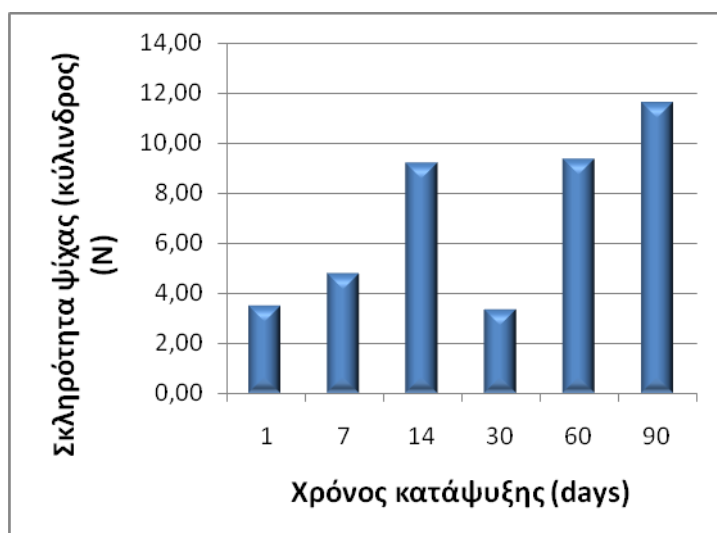
Σχήμα 7.89: Μεταβολή σκληρότητας ψίχας κατεψυγμένων αρτοσκευασμάτων (δοκιμή με κοπίδι) (100% ζέα)

Στα διαγράμματα 7.85 - 7.89 παρουσιάζεται η μεταβολή της σκληρότητας της ψίχας με το χρόνο κατάψυξης, όπως αυτή υπολογίστηκε κατά την κοπή δείγματος. Παρατηρείται τάση αύξησης της σκληρότητας καθώς αυξάνεται ο χρόνος παραμονής υπό κατάψυξη, ιδίως στα ποσοστά 0% και 80%. Μικρότερο ρυθμό αύξησης της σκληρότητας εμφανίζουν τα ποσοστά 30% και 50%, ενώ το χαμηλότερο ρυθμό έχει το ποσοστό 100%, το οποίο εξ αρχής εμφανίζει αυξημένη σκληρότητα ψίχας. Η τάση αυτή επιβεβαιώνεται και από τη στατιστική επεξεργασία, σύμφωνα με την οποία, η σκληρότητα της ψίχας επηρεάζεται τόσο από την αναλογία των αλεύρων ($p < 0.05$), όσο και από το χρόνο κατάψυξης ($p < 0.05$). Με βάση το κριτήριο Duncan ως προς την αναλογία των αλεύρων, τα δείγματα από 100% άλευρο ζέας έχουν πολύ μεγάλη σκληρότητα ενώ αρτοσκευάσματα με ποσοστό ζέας μεταξύ 50% και 80% έχουν μέτρια σκληρότητα. Δείγματα με περιεκτικότητα σε άλευρο ζέας από 30% εμφανίζουν μικρή σκληρότητα. Τα αίτια του φαινομένου αυτού είναι τα αντίστοιχα που επηρεάζουν και τη σκληρότητα της κόρας του προϊόντος. Όσον αφορά την αντίστοιχη δοκιμή ως προς το χρόνο κατάψυξης, προκύπτει ότι με εξαίρεση τα δείγματα που αποθηκεύτηκαν για 3 μήνες υπό κατάψυξη, όλα τα υπόλοιπα έχουν παρόμοια σκληρότητα ψίχας. Το γεγονός αυτό οφείλεται, πιθανόν, στην απώλεια υγρασίας από τα δείγματα καθώς αυξάνεται ο χρόνος κατάψυξης, με αποτέλεσμα τα τελικά προϊόντα να είναι πιο ξερά.

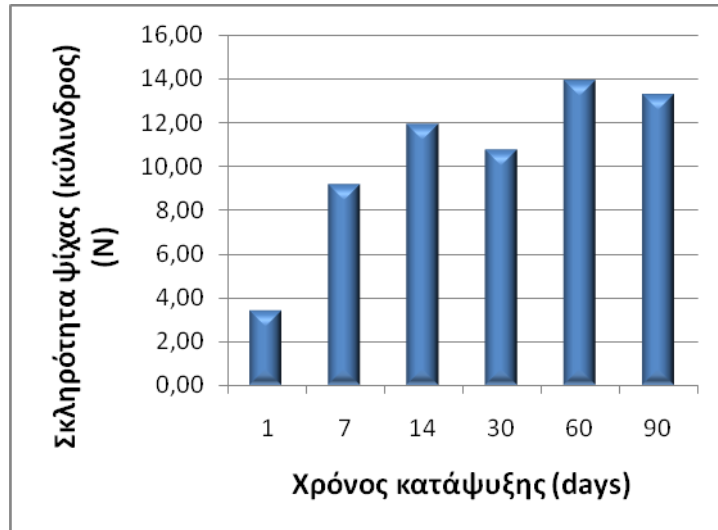
Σκληρότητα ψίχας κατεψυγμένων αρτοσκευασμάτων - δοκιμή με κύλινδρο



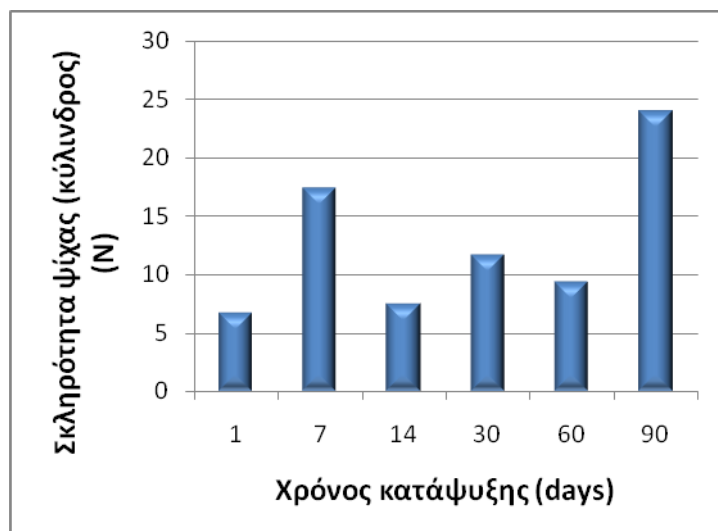
Σχήμα 7.90: Μεταβολή σκληρότητας ψίχας κατεψυγμένων αρτοσκευασμάτων (δοκιμή με κύλινδρο) (0% ζέα)



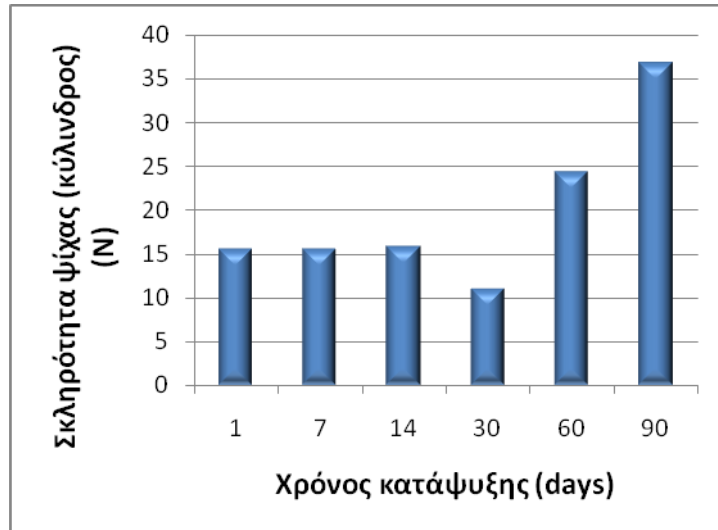
Σχήμα 7.91: Μεταβολή σκληρότητας ψίχας κατεψυγμένων αρτοσκευασμάτων (δοκιμή με κύλινδρο) (30% ζέα)



Σχήμα 7.92: Μεταβολή σκληρότητας ψίχας κατεψυγμένων αρτοσκευασμάτων (δοκιμή με κύλινδρο) (50% ζέα)



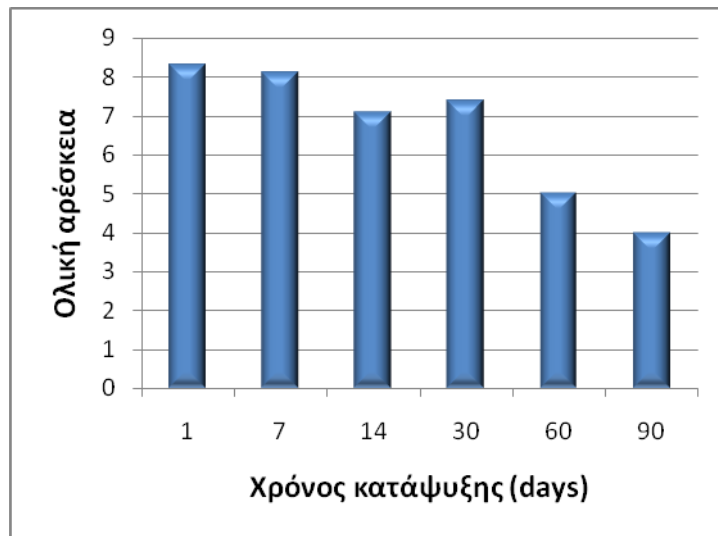
Σχήμα 7.93: Μεταβολή σκληρότητας ψίχας κατεψυγμένων αρτοσκευασμάτων (δοκιμή με κύλινδρο) (80% ζέα)



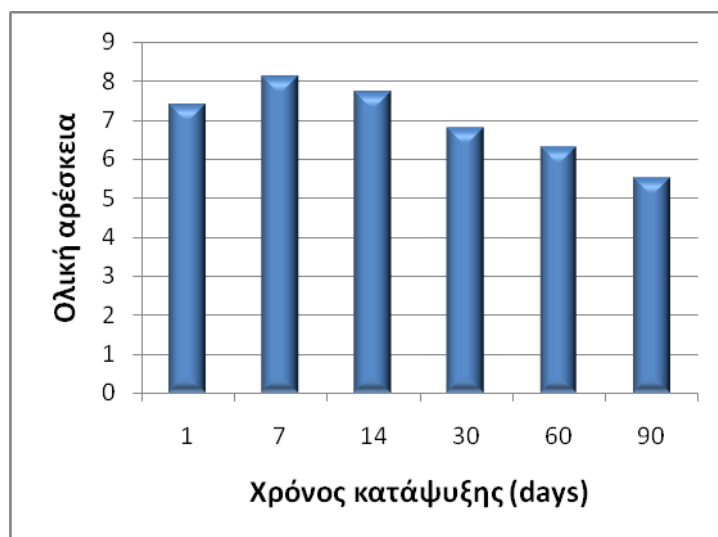
Σχήμα 7.94: Μεταβολή σκληρότητας ψίχας κατεψυγμένων αρτοσκευασμάτων (δοκιμή με κύλινδρο) (100% ζέα)

Στα διαγράμματα 7.90 - 7.94 παρουσιάζεται η μεταβολή της σκληρότητας της ψίχας με το χρόνο κατάψυξης, όπως αυτή υπολογίστηκε κατά τη συμπίεση δείγματος με κύλινδρο. Τα αποτελέσματα των μετρήσεων είναι, όπως αναμενόταν, αντίστοιχα, αν όχι όμοια, με τα αποτελέσματα της μέτρησης της σκληρότητας μέσω κοπής των δειγμάτων και επιβεβαιώνονται από τη στατιστική επεξεργασία ($p < 0.05$). Παρατηρείται, λοιπόν, τάση αύξησης της σκληρότητας τόσο με την αύξηση του χρόνου παραμονής υπό κατάψυξη, όσο και με την αύξηση του ποσοστού του αλεύρου ζέας. Μεγαλύτερη σκληρότητα έχουν τα δείγματα με άλευρο ζέας από 80% και πάνω, τα οποία έχουν αποθηκευτεί υπό κατάψυξη για χρονικό διάστημα 3 μηνών.

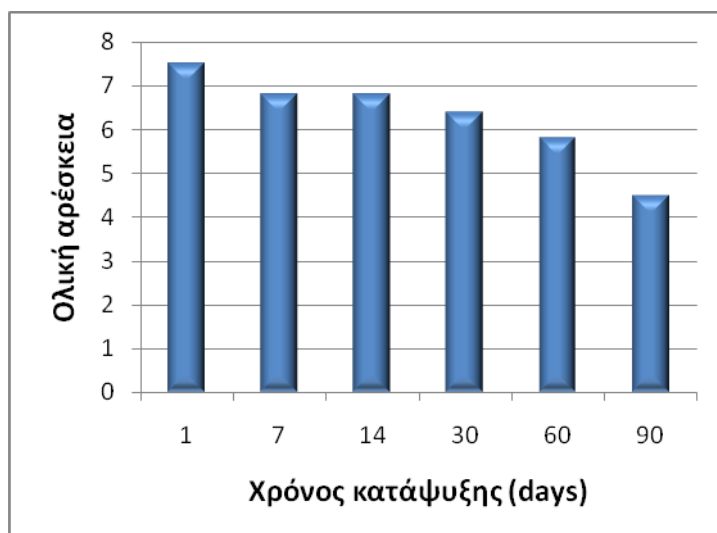
Ολική αρέσκεια κατεψυγμένων αρτοσκευασμάτων



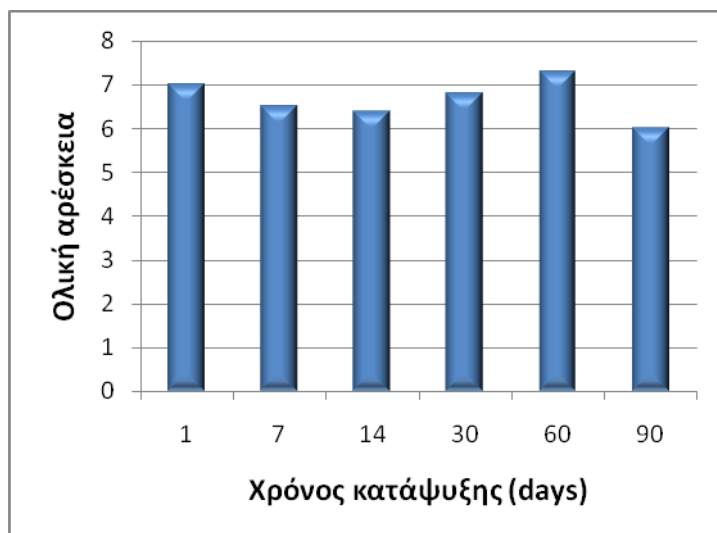
Σχήμα 7.95: Μεταβολή ολικής αρέσκειας κατεψυγμένων αρτοσκευασμάτων (0% ζέα)



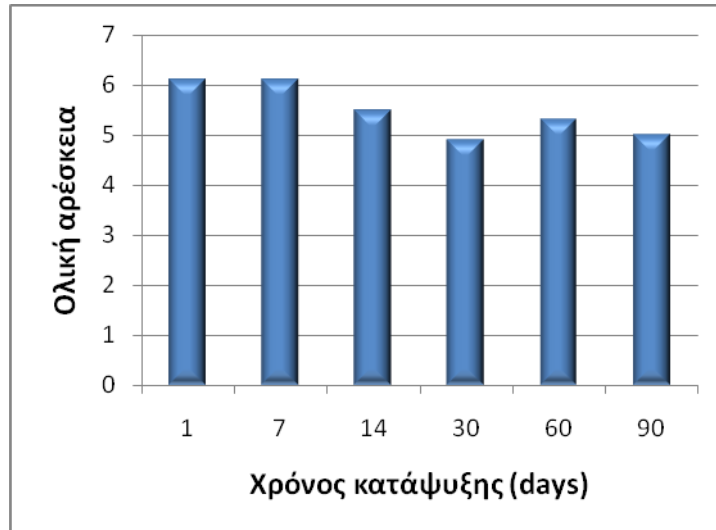
Σχήμα 7.96: Μεταβολή ολικής αρέσκειας κατεψυγμένων αρτοσκευασμάτων (30% ζέα)



Σχήμα 7.97: Μεταβολή ολικής αρέσκειας κατεψυγμένων αρτοσκευασμάτων (50% ζέα)



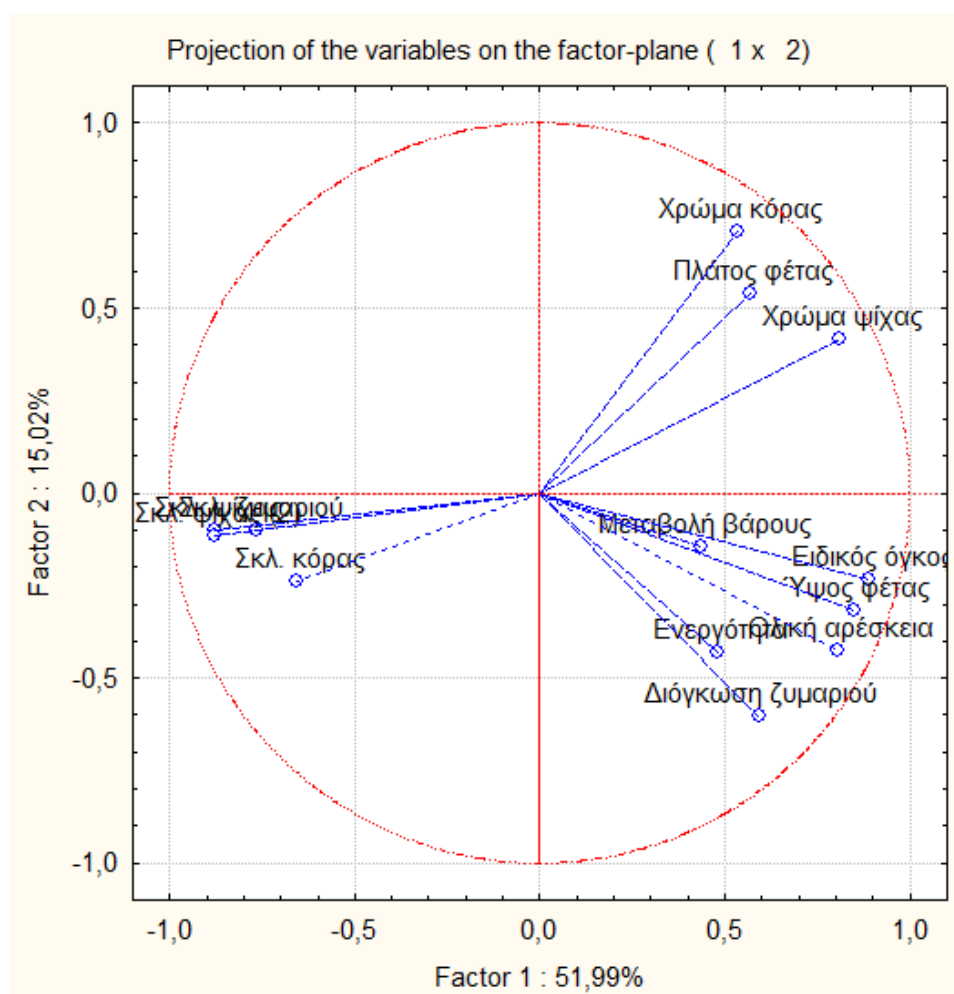
Σχήμα 7.98: Μεταβολή ολικής αρέσκειας κατεψυγμένων αρτοσκευασμάτων (80% ζέα)



Σχήμα 7.99: Μεταβολή ολικής αρέσκειας κατεψυγμένων αρτοσκευασμάτων (100% ζέα)

Η ολική αρέσκεια των δειγμάτων εμφανίζει τάση μείωσης καθώς αυξάνεται ο χρόνος αποθήκευσης υπό κατάψυξη, η οποία είναι πιο έντονη στα ποσοστά 0%, 30% και 50%. Η τάση αυτή επιβεβαιώνεται και από τη στατιστική επεξεργασία, η οποία υποδεικνύει ότι η ολική αρέσκεια εξαρτάται τόσο από την αναλογία των αλεύρων, όσο και από το χρόνο αποθήκευσης υπό κατάψυξη. Με βάση το κριτήριο Duncan ως προς την αναλογία των αλεύρων τα δείγματα με 100% ποσοστό ζέας συγκεντρώνουν με διαφορά τη χαμηλότερη βαθμολογία. Ταυτόχρονα, από την ίδια δοκιμή ως προς το χρόνο κατάψυξης υποδηλώνεται ότι η αύξηση του χρόνου κατάψυξης μειώνει το βαθμό αρέσκειας των δοκιμαστών. Συγκεκριμένα, υψηλότερη βαθμολογία συγκεντρώνουν τα αρτοσκευάσματα που έχουν αποθηκευτεί υπό κατάψυξη το πολύ μέχρι 1 εβδομάδα, μέτρια βαθμολογία έχουν τα δείγματα που βρίσκονται υπό κατάψυξη για διάστημα 2 εβδομάδων μέχρι και 1 μήνα και, τέλος, χαμηλότερη βαθμολογία δίνεται στα κατεψυγμένα δείγματα 2 μηνών και άνω. Με βάση τα παραπάνω, προκύπτει ότι αρτοσκευάσματα με υψηλά ποσοστά ζέας και αποθηκευμένα για μεγάλο χρονικό διάστημα υπό κατάψυξη δεν είναι ιδιαίτερα αρεστά από τους δοκιμαστές, γεγονός αναμενόμενο, λόγω των υποβαθμισμένων ποιοτικών και οργανοληπτικών τους χαρακτηριστικών.

Ανάλυση συσχέτισης κύριων συνιστωσών (PCA)

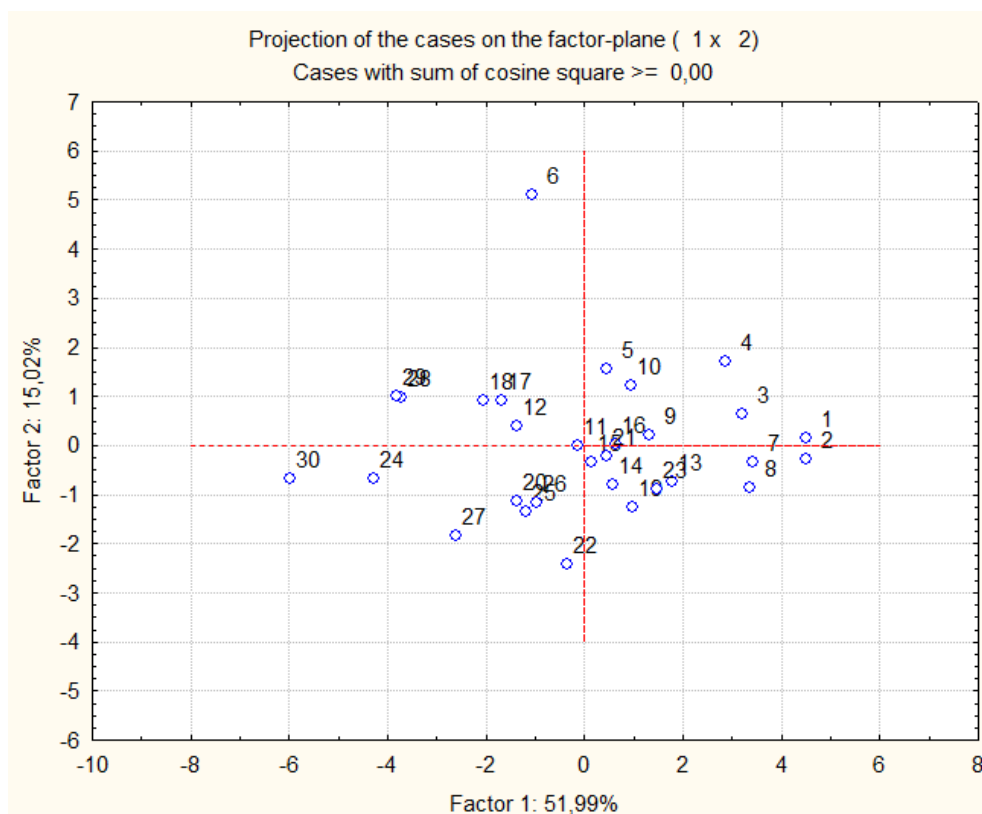


Σχήμα 7.100: Ανάλυση συσχέτισης των μεταβλητών του πειράματος 2

Η πρώτη κύρια συνιστώσα περιγράφει το πείραμα κατά 51,99%, ενώ η δεύτερη κύρια συνιστώσα περιγράφει το πείραμα κατά 15,02%. Συνολικά, περιγράφουν το πείραμα κατά 67,01%. Το χρώμα της ψίχας έχει θετική συνεισφορά στην πρώτη κύρια συνιστώσα. Ο ειδικός όγκος, το ύψος της φέτας και η ολική αρέσκεια, παράμετροι οι οποίοι συνεισφέρουν θετικά στην πρώτη κύρια συνιστώσα. Η σκληρότητα γενικότερα (σκληρότητα ζυμαριού, και ψίχας) έχει αρνητική συνεισφορά στην πρώτη κύρια συνιστώσα. Στη δεύτερη κύρια συνιστώσα δε φαίνεται κάποια μεταβλητή να έχει ιδιαίτερη συνεισφορά.

Παρατηρείται, ότι η σκληρότητα του ζυμαριού και της ψίχας αλληλεπιδρούν μεταξύ τους και έχουν παρόμοια συνεισφορά στο σύστημα. Πιο απλά, ζυμάρια με μεγάλη σκληρότητα δίνουν αρτοσκευάσματα με σκληρή ψίχα. Επίσης, παρόμοια συνεισφορά στο σύστημα φαίνεται να έχουν ο ειδικός όγκος, το ύψος της φέτας και η ολική αρέσκεια. Με λίγα λόγια, η ολική αρέσκεια επηρεάζεται από τους δύο αυτούς παράγοντες και έτσι τα δείγματα με μεγάλο ειδικό όγκο και ύψος συγκεντρώνουν και υψηλές βαθμολογίες.

Τέλος, παρατηρείται ότι οι σκληρότητες ζυμαριού και ψίχας βρίσκονται σε αντιδιαμετρικές θέσεις με το χρώμα της ψίχας και έτσι έχουν αντίθετη συνεισφορά στο σύστημα. Αυτό σημαίνει ότι αύξηση της σκληρότητας των δειγμάτων συνοδεύεται από μείωση του χρώματος, δηλαδή πιο σκούρο χρώμα ψίχας.



Σχήμα 7.101: Ανάλυση συσχέτισης των δειγμάτων του πειράματος 2

Στο διάγραμμα 7.101 φαίνεται η συσχέτιση των δειγμάτων.

Τα δείγματα 1, 2, 7 και 8 φαίνεται να σχηματίζουν μία ομάδα. Τα δείγματα αυτά αντιπροσωπεύουν τις αναλογίες 0% (1 και 2) και 30% (7 και 8) υπό κατάψυξη για 1 ημέρα και 1 βδομάδα, αντίστοιχα. Έχουν υψηλές τιμές σε παραμέτρους όπως ο ειδικός όγκος, το ύψος της φέτας και η ολική αρέσκεια. Φαίνεται ότι τα δείγματα χαμηλού ποσοστού ζέας και μικρού χρόνου κατάψυξης έχουν καλύτερα χαρακτηριστικά, όπως μεγαλύτερο όγκο, και είναι ιδιαίτερα αποδεκτά από τους δοκιμαστές. Η κατάσταση αυτή οφείλεται στο ότι ο χρόνος κατάψυξης είναι μικρός και φαινόμενα όπως η μετουσίωση των μορίων γλουτενίνης και η απελευθέρωση αναγωγικών ουσιών που αποδυναμώνουν το ζυμάρι δεν έχουν πάρει ακόμη μεγάλες διαστάσεις.

Τα δείγματα 20, 25 και 26 είναι άλλο ένα σύνολο και αντιπροσωπεύουν τις αναλογίες 80% υπό 1 εβδομάδα κατάψυξη, 100% υπό 1 ημέρα κατάψυξη και 100% υπό 1 εβδομάδα κατάψυξη, αντίστοιχα. Έχουν υψηλή σκληρότητα ζυμαριού και ψίχας, γεγονός αναμενόμενο λόγω του μεγάλου ποσοστού ζέας που περιέχουν.

Τέλος, άλλη μία ομάδα σχηματίζεται από τα δείγματα 12, 17, 18, 28 και 29 τα οποία αντιπροσωπεύουν, αντίστοιχα, τις αναλογίες 30% υπό 3 μήνες κατάψυξη, 50% υπό 2 μήνες κατάψυξη, 50% υπό 3 μήνες κατάψυξη, 100% υπό 1 μήνα κατάψυξη και 100% υπό 2 μήνες κατάψυξη. Αντίθετα με τα προηγούμενα δείγματα, αυτά εμφανίζουν μικρό ειδικό όγκο και είναι λιγότερο αποδεκτά από τους δοκιμαστές. Συνεπώς, το μεγάλο χρονικό διάστημα κατάψυξης έχει υποβαθμίσει σε μεγάλο βαθμό τα χαρακτηριστικά των δειγμάτων, ανεξάρτητα από το ποσοστό ζέας που περιέχεται, λόγω των φαινομένων που περιγράφηκαν παραπάνω.

Συμπεραίνεται, λοιπόν, ότι μεγαλύτερη επίδραση στην υποβάθμιση των ποιοτικών και οργανοληπτικών χαρακτηριστικών των αρτοσκευασμάτων έχει ο χρόνος κατάψυξης και όχι το ποσοστό του αλεύρου ζέας που περιέχεται σε αυτά.

8. Συμπεράσματα - Προτάσεις

Στην παρούσα διπλωματική εργασία μελετήθηκαν η χημική σύσταση των αλεύρων σίτου και ζέας, τα ρεολογικά χαρακτηριστικά του ζυμαριού που παράγεται από κάθε ένα από αυτά και οι αρτοποιητικές εφαρμογές τους. Συγκεκριμένα, έγινε μελέτη φρέσκων αρτοσκευασμάτων με υποκατάσταση αλεύρου σίτου από άλευρο ζέας σε ποσοστά 0%, 10%, 20%, 30%, 40%, 50%, 60%, 70%, 80%, 90% και 100%, αλλά και κατεψυγμένων αρτοσκευασμάτων με υποκατάσταση σε ποσοστά 0%, 30%, 50%, 80% και 100%. Τα κατεψυγμένα δείγματα διατηρήθηκαν υπό κατάψυξη μέχρι και διάστημα 3 μηνών και η δειγματοληψία γινόταν ανά συγκεκριμένα, τακτά χρονικά διαστήματα.

Στόχος της συγκεκριμένης διπλωματικής εργασίας ήταν η σύγκριση των δύο διαφορετικών αλεύρων και η εύρεση της κατάλληλης αναλογίας αλεύρου σίτου - αλεύρου ζέας, η οποία διατηρεί σε μεγάλο βαθμό τα οργανοληπτικά και ποιοτικά χαρακτηριστικά των κοινών αρτοσκευασμάτων από άλευρο σίτου, αλλά ταυτόχρονα προσφέρει όσο το δυνατόν περισσότερα από τα διατροφικά οφέλη του αλεύρου ζέας.

Από τις χημικές αναλύσεις και τη μελέτη των ρεολογικών ιδιοτήτων προέκυψε ότι το άλευρο της ζέας είχε χαμηλότερη περιεκτικότητα υγρασίας και σημαντικά υψηλότερη περιεκτικότητα σε τέφρα, τόσο λόγω της φύσης του, όσο και λόγω του βαθμού άλεσής του, δεδομένου ότι ήταν ολικής άλεσης. Όσον αφορά το πρωτεϊνικό περιεχόμενο, το άλευρο της ζέας είχε μεγαλύτερο (15,17%) έναντι του αλεύρου του σίτου (11,58%). Επιπλέον, η συγκεκριμένη ποικιλία ζέας είχε μεγαλύτερη περιεκτικότητα σε γλουτενίνες και ελαφρώς μικρότερη περιεκτικότητα σε γλοιαδίνες από τη συγκεκριμένη ποικιλία σίτου. Βρέθηκε, επίσης, ότι περιείχε λιγότερη γλουτένη από το άλευρο του σίτου. Η περιεκτικότητα σε άμυλο και υδατάνθρακες βρέθηκε περίπου ίδια και στους δύο τύπους αλεύρου. Τέλος, από το φαρινογράφημα και το εξτενσιογράφημα του κάθε αλεύρου προέκυψε ότι το άλευρο του σίτου είναι ανώτερο ποιοτικά του αλεύρου της ζέας και το ζυμάρι που δίνει είναι πιο ελαστικό και δυνατό, με αποτέλεσμα να δίνει πιο αφράτα και διογκωμένα τελικά προϊόντα.

Από τα αποτελέσματα των μετρήσεων που πραγματοποιήθηκαν στα φρέσκα αρτοσκευάσματα προκύπτει ότι η υποκατάσταση του αλεύρου σίτου από άλευρο ζέας μέχρι και σε ποσοστό 20% δεν επηρεάζει σημαντικά τα οργανοληπτικά και ποιοτικά χαρακτηριστικά των προϊόντων. Συγκεκριμένα, τα αρτοσκευάσματα με προσθήκη

ζέας μέχρι και το ποσοστό αυτό εμφανίζουν χαρακτηριστικά παρεμφερή με αυτά των προϊόντων από άλευρο κοινού σίτου. Το άλευρο της ζέας βρίσκεται σε μικρό ποσοστό και έτσι δεν επιδρά ιδιαίτερα στο τελικό αποτέλεσμα. Η γλουτένη του σίτου υπερισχύει, με αποτέλεσμα να διατηρείται σε πολύ καλά επίπεδα η διόγκωση των δειγμάτων. Ως αποτέλεσμα, έχουν μεγάλο ειδικό όγκο και είναι αφράτα, ενώ το χρώμα της ψίχας τους είναι ανοιχτό και παραπλήσιο της ψίχας των αρτοσκευασμάτων σίτου. Έτσι, ενώ η παρουσία του αλεύρου ζέας είναι αισθητή και δίνεται η εντύπωση ενός πιο «υγιεινού» προϊόντος, διατηρούνται ταυτόχρονα τα επιθυμητά χαρακτηριστικά των προϊόντων σίτου η αφράτη υφή και η ικανοποιητική διόγκωση. Για το λόγο αυτό, τα συγκεκριμένα αρτοσκευάσματα συγκεντρώνουν τη μεγαλύτερη αρέσκεια.

Στα δείγματα με υποκατάσταση ζέας από ποσοστό 30% μέχρι και 60% αρχίζει να γίνεται εντονότερα αισθητή η παρουσία του αλεύρου αυτού. Τα δείγματα έχουν ενδιάμεσα ποιοτικά χαρακτηριστικά και τα οργανοληπτικά χαρακτηριστικά τους, παρότι δεν είναι εφάμιλλα αυτών των προϊόντων σίτου, παραμένουν αποδεκτά από τους δοκιμαστές. Λόγω της αδύναμης γλουτένης της ζέας, που έχει αντικαταστήσει πλέον σε σημαντικό βαθμό εκείνη του σίτου, η διόγκωση έχει μειωθεί και ο ειδικός όγκος είναι σε μέτρια επίπεδα. Έτσι, τα δείγματα παύουν να είναι τόσο αφράτα και αποκτούν πιο πυκνή δομή, με αποτέλεσμα να αυξάνεται η σκληρότητα της ψίχας ως ένα βαθμό. Το χρώμα της ψίχας είναι πιο σκούρο, λόγω της παρουσίας των φυτικών ινών και του πιτύρου του αλεύρου ζέας, αλλά και λόγω του χρώματος του ίδιου του αλεύρου ζέας, το οποίο είναι πιο σκούρο από το άλευρο του κοινού σίτου. Επιπλέον, η παρουσία της ζέας σε μεγαλύτερα ποσοστά προσφέρει περαιτέρω ενίσχυση της διατροφικής τους αξίας.

Τέλος, τα δείγματα με υποκατάσταση 70% και άνω έχουν πολύ μικρή διόγκωση, λόγω της αδύναμης γλουτένης της ζέας, που πλέον βρίσκεται σε πολύ μεγάλα ποσοστά. Η παρουσία της ζέας είναι φανερή, καθώς ο ειδικός όγκος είναι αρκετά μικρός πλέον, το χρώμα της ψίχας είναι φανερά πιο σκούρο και η δομή των προϊόντων είναι πολύ πυκνή, με αποτέλεσμα η ψίχα να εμφανίζει μεγάλη σκληρότητα. Η βαθμολογία της συνολικής αρέσκειας από τους δοκιμαστές είναι σημαντικά μειωμένη στην περίπτωση των αρτοσκευασμάτων αυτών. Έτσι, παρόλο που τα δείγματα αυτά προσφέρουν τα μέγιστα διατροφικά οφέλη της ζέας αφού την περιέχουν σε τόσο μεγάλα ποσοστά, δεν προτείνονται λόγω των υποβαθμισμένων ποιοτικών και οργανοληπτικών τους χαρακτηριστικών.

Όσον αφορά τα κατεψυγμένα προϊόντα, προκύπτει ότι στην υποβάθμιση των χαρακτηριστικών τους συμβάλλει κατά κύριο λόγο η κατάψυξή τους και όχι η περιεκτικότητα σε άλευρο ζέας. Σημαντικότερη υποβάθμιση παρατηρείται στα δείγματα που βρίσκονται αποθηκευμένα υπό κατάψυξη για περισσότερο από 1 ή 2 μήνες. Τα καλύτερα χαρακτηριστικά εμφανίζουν τα δείγματα χαμηλής περιεκτικότητας σε ζέα (μέχρι και 30%) που έχουν καταψυχθεί για μικρό χρονικό διάστημα (μέχρι και 1 εβδομάδα). Συγκεκριμένα, έχουν μεγάλη διόγκωση, καθώς η γλουτένη που περιέχουν είναι δυνατή και τα φαινόμενα υποβάθμισης αυτής ή του ζυμαριού δεν έχουν λάβει μεγάλη έκταση.

Αντίστοιχα, τα δείγματα υψηλής περιεκτικότητας σε άλευρο ζέας (από 80% και πάνω) εμφάνισαν αυξημένη σκληρότητα, όπως ήταν αναμενόμενο και όπως προέκυψε και από τα αποτελέσματα των μετρήσεων των φρέσκων αρτοσκευασμάτων. Ακόμη και ύστερα από κατάψυξη 1 εβδομάδας τα ποιοτικά τους χαρακτηριστικά δεν είναι ιδιαίτερα αποδεκτά.

Τέλος, δείγματα με μεσαία ή μεγάλη περιεκτικότητα σε άλευρο ζέας (50% και πάνω) τα οποία έχουν αποθηκευτεί υπό κατάψυξη για αρκετό καιρό (1 μήνα ή περισσότερο) έχουν πολύ μικρή διόγκωση και δεν είναι αποδεκτά από τους δοκιμαστές. Συνεπώς, δείγματα με υψηλή περιεκτικότητα σε άλευρο ζέας και μεγάλο χρονικό διάστημα αποθήκευσης υπό κατάψυξη δεν προτείνονται προς παραγωγή, καθώς τα ήδη υποβαθμισμένα χαρακτηριστικά τους αλλοιώνονται περαιτέρω με την αύξηση του χρόνου παραμονής υπό κατάψυξη. Αντίθετα, δείγματα με περιορισμένη περιεκτικότητα αλεύρου ζέας (μέχρι 30%) μπορούν να αποθηκευτούν υπό κατάψυξη για μικρό χρονικό διάστημα χωρίς να αλλοιωθούν ιδιαίτερα.

Συνολικά από τα αποτελέσματα που προέκυψαν από την παρούσα διπλωματική εργασία, καθώς και από τη βιβλιογραφική ανασκόπηση που πραγματοποιήθηκε στα πλαίσια της συγγραφής της, προκύπτει ότι η ενσωμάτωση του αλεύρου ζέας στην παραγωγή αρτοσκευασμάτων αποτελεί μία ιδιαίτερα αξιόλογη επιλογή. Στο γεγονός αυτό συμβάλλει τόσο η αυξημένη διατροφική αξία της ζέας όσο και η σύγχρονη τάση για περισσότερο φυσικά και ανεπεξέργαστα προϊόντα. Έτσι η ζέα, παρόλο που φέρει πολλά κοινά χαρακτηριστικά με το σίτο, όπως η ύπαρξη γλουτένης σε συγκρίσιμα ποσοστά, δίνει προϊόντα υψηλότερης προστιθέμενης αξίας τα οποία θεωρούνται και ανώτερης ποιότητας από την πλειοψηφία των καταναλωτών.

Για τους παραπάνω λόγους προτείνεται η ενσωμάτωσή του αλεύρου ζέας στα προϊόντα της αρτοποιητικής και η προώθηση των προϊόντων αυτών ως

εναλλακτικών, περισσότερο φυσικών αρτοσκευασμάτων. Εξάλλου, το κόστος μίας τέτοιας διαδικασίας δεν είναι μεγάλο, αφού δεν απαιτείται κάποια αλλαγή στον ήδη υπάρχοντα εξοπλισμό. Αναμένεται μόνο μία μικρή επιβάρυνση στο κόστος παραγωγής η οποία προέρχεται από την ελαφρά αυξημένη τιμή της πρώτης ύλης (άλευρο ζέας), η οποία αντισταθμίζεται από την αύξηση της τιμής πώλησης των παραγόμενων προϊόντων, με αποτέλεσμα να αναμένεται συνολικά κέρδος για την επιχείρηση.

Προκειμένου όμως να διασφαλιστεί η σταθερότητα στα ποιοτικά και οργανοληπτικά χαρακτηριστικά των αρτοσκευασμάτων με ενσωμάτωση αλεύρου ζέας, προτείνεται η περαιτέρω μελέτη του με σκοπό την πλήρη διερεύνηση των ιδιοτήτων του και της αρτοποιητικής του συμπεριφοράς. Είναι επίσης χρήσιμο να μελετηθούν περισσότερες ποικιλίες του ίδιου είδους, προκειμένου να επιλεγούν οι καταλληλότερες για κάθε εφαρμογή καθώς είναι δεδομένο ότι οι αρτοποιητικές του ιδιότητες διαφέρουν από ποικιλία σε ποικιλία.

Επιπλέον, μεγάλο ενδιαφέρον παρουσιάζει η έρευνα και η παραγωγή άλλων προϊόντων, εκτός του άρτου, από άλευρο ζέας. Συγκεκριμένα, προτείνεται η διερεύνηση της ενσωμάτωσής του σε προϊόντα όπως τα ζυμαρικά, οι μπάρες δημητριακών, τα μπισκότα, τα κέικ ή τα δημητριακά πρωινού.

Τέλος, θα ήταν χρήσιμο να γίνει περαιτέρω έρευνα για τη βελτίωση των ποιοτικών και οργανοληπτικών χαρακτηριστικών των αρτοσκευασμάτων με μεγάλη περιεκτικότητα σε άλευρο ζέας χωρίς να μειωθεί η διατροφική τους αξία. Έτσι, αντί για αντικατάσταση ενός μέρους του αλεύρου αυτού με άλευρο σίτου, θα μπορούσε να διερευνηθεί η προσθήκη άλλων βελτιωτικών συστατικών που θα ενισχύσουν την αρτοποιητική του ικανότητα και θα βελτιώσουν τη διόγκωση και την υφή των παραγόμενων προϊόντων.

9. Βιβλιογραφία

1. **Abdel-Aal** E.S.M.; Hucl P.; Sosulski F.W. (1995). Compositional and nutritional characteristics of spring einkorn and spelt wheats. *Cereal Chem.* 72, 621-624.
2. **Abdel-Aal** E.S.M.; Hucl P.; Sosulski F.W.; Bhirud P.R.; (1997). Kernel, milling and baking quality of spring type spelt and einkorn wheats. *J. Cereal Sci.* 26, 363-370.
3. **Abdel-Aal** E.S.M.; Hucl P.; Sosulski F.W.; (1998). Food uses for ancient wheats. *Cereal Food World* 43, 763-767.
4. **Abdel-Aal** E.S.M.; Hucl P. (2002). Amino acid composition and in vitro protein digestibility of selected ancient wheats and their end products. *J. Food Comp. Anal.* 15, 737-747.
5. **ADM** Cocoa. (1998). Cocoa powders in bakery applications. Switzerland: deZaan, pp. 1-48.
6. **Aibara**, S.; Ogawa, N.; Hirose, M. (2005). Microstructures of bread dough and the effects of shortening on frozen dough. *Bioscience Biotechnology & Biochemisrty*, 69 (2), 397-402.
7. **Aminlari**, M.; Majzoobi, M. (2002). Effect of chemical modification, pH change, and freezing on the rheological, solubility, and electrophoretic pattern of wheat flour proteins. *Journal of Food Science*, 67 (7), 2502-2506.
8. **Angioloni**, A.; Dalla Rosa, M., (2005). Dough thermo-mechanical properties: influence of sodium chloride, mixing time and equipment. *Journal of Cereal Science*, 41, 327-331.
9. **Atwell**, W.A. (2001). An overview of wheat development, cultivation and production. *Cereal Foods World*, 46 (2), 59-62.
10. **Autio**, K.; Mattila-Sandholm, T. (1992). Detection of active ywast cells (*saccharomyces cerevisae*) in frozen dough sections. *Applied and Environmental Microbiology*, 58 (7), 2153-2157.

11. **Barcenas**, M.E.; Benedito, C.; Rosell, C.M. (2004). Use of hydrocolloids as bread improvers in interrupted baking process with frozen storage. *Food Hydrocolloids*, 18, 769-774.
12. **Barcenas**, M.E.; Rosell, C.M. (2006). Different approaches for improving the quality and extending the shelf life of the partially baked bread: low temperatures and HPMC addition. *Journal of Food Engineering*, 72, 92-99.
13. **Belderok**, B. (2000). Milling of wheat. *Plant Foods for Human Nutrition*, 55 (1), 21-29.
14. **Belitz**, H. D.; Grosch, W.; Schieberle, P. (2011). Σιτηρά και προϊόντα σιτηρών [Ενότητα βιβλίου] // Χημεία Τροφίμων, 4η έκδοση. - Θεσσαλονίκη : Εκδόσεις Τζιόλα.
15. **Bojnanská** T.; Francáková H. (2002). The use of spelt wheat (*Triticum spelta* L.) for baking applications. *Rostl. Výr.* 48, 41-147.
16. **Bonifácia** G.; Galli V.; Francisci R.; Mair V.; Skrabanja V.; Kreft I. (2000). Characteristics of spelt wheat products and nutritional value of spelt wheat-based bread. *Food Chem.* 68, 437-441.
17. **Brennan**, C.S.; Cleary, L.J. (2005). The potential use of cereal (1→3,1→4)-β-D-glycans as functional food ingredients. *Journal of Cereal Science*, 42, 1-13.
18. **Büren** M.; Stadler M.; Luthy J. (2001). Detection of wheat adulteration of spelt flour and products by PCR. *Eur. Food Res. Technol.* 212, 234-239.
19. **Calvel**, R.; Wirtz, R.; MacGuire, J.J. (2001). The taste of bread. Aspen Publishers, Maryland, USA, pp. 18-21, 32, 49-54.
20. **Carr**, L.G.; Rodas, M.A.B.; Della Torre, J.C.M.; Tadini, C.C. (2006). Physical, textural and sensory characteristics of 7-day frozen part-baked French bread. *Lebensmittel Wissenschaft und Technologie*, 39, 540-547.
21. **Carr**, L.G.; Tadini, C.C. (2003). Influence of yeast and vegetable shortening on physical and textural parameters of frozen part-baked French bread. *Lebensmittel Wissenschaft und Technologie*, 36 (6), 609-614.

22. **Cauvain, S.P.;** Young, L.S. (2000). Bakery food manufacture and quality – water control and effects. Blackwell Science Ltd, London, UK, pp. 24-46.
23. **Cauvain, S.;** Campden and Chorleywood Food Research Association (2003). Breadmaking: an overview. Woodhead Publishing Limited, UK.
24. **Chang, M.-H.** (2006). Baking. In: Hui, Y.H. (ed.) Bakery Products, Science and Technology. Blackwell Publishing, USA, pp. 273-284.
25. **Charley, H.;** Weaver, C. (1998). Foods-A Scientific Approach. Prentice-Hall, New Jersey, USA, pp. 180-183, 202-205, 207-208, 223-226.
26. **Chokrizghal, M.** (1999). The relationship between bread physical texture and its structure determined by digital, image analysis. Master of Science thesis, Department of Food Science, Univeristy of Manitoba, Winnipeg, Manitoba, National Library of Canada.
27. **Colona, W.J.;** Samaraweera, U.; Clarke, M.A.; Cleary, M.; Godshall, M.A.; White, J.S. (2001). Sugar (Vol.19). In: Kirk-Othmer Encyclopedia of Chemical Technology. John Wiley & Sons, Inc., Indianapolis, USA, pp. 1-67.
28. **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.
29. **Corner, H.** (2003). The chemistry and biochemistry of wheat (Ch.3). In: Bread making, Improving quality, Cauvain S.P. (ed). Woodhead Publishing Limited, Cambridge, UK.
30. **Cubadda, R.;** Marconi, E. (2002). Spelt Wheat. In: Belton, P. S.; Taylor, J. R. N. (eds). Pseudocereals and Less Common Cereals. Grain Properties and Utilization Potential. Springer Berlin Heidelberg. pp 153-175.
31. **Decock, P.;** Cappelle, S. (2005). Bread technology and sourdough technology. Trends in Food Science and Technology 16 (1–3), 113–120.
32. **Demirbas A.** (2005). β -glucan and mineral nutrient contents of cereals grown in Turkey. Food Chem. 90, 773-777.

33. **Denli**, E.; Ercan, R. (2001). Effect of added pentosans isolated from wheat and rye grain on some properties of bread. *European Food Research & Technology*, 212, 374-376.
34. **Dhingra**, S.; Jood, S. (2001). Organoleptic and nutritional evaluation of wheat breads supplemented with soybean and barley flour. *Food Chemistry*, 77, 479-488.
35. **Dvoracek**, V.; Curn, V. (2003). Evaluation of protein fractions as biochemical markers for identification of spelt wheat cultivars (*Triticum spelta* L.). *Pl. Soil Environ.*, 49, 99-105.
36. **Escarnot** E.; Agneessens R.; Wathelet B.; Paquot M. (2010). Quantitative and qualitative study of spelt and wheat fibres in varying milling fractions. *Food Chem.*, 122, 857-863.
37. **Evers**, A.D.; Flintham, J.; Kotecha, K. (1995). Alpha-amylase and grain size in wheat. *Journal of Cereal Science*, 21, 1-3.
38. **Faridi**, H.; Gaines, C.S.; Strouts, B.L. (2000). Soft wheat products. In: Kulp, K; Ponte, J.G. Jr (eds). *Handbook of cereal science and Technology*, 2nd ed. New York: Marcel Dekker, Inc. Chapter 18, pp. 575-614.
39. **Fessas**, D.; Schiraldi, A. (2000). Starch gelatinization kinetics on bread dough. DSC investigations on “simulated” baking processes. *Journal of Thermal Analysis and Calorimetry*, 61, 411-423.
40. **Fessas**, D.; Schiraldi, A. (2001). Water properties in wheat dough flour I: Classical thermogravimetry approach. *Food Chemistry*, 72, 237-244.
41. **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.
42. **Forssell** F.; Wieser H. (1995). Dinkel und Zoliakie. *Z. Lebensm. Unters. Forsch.* 201, 35-39.

43. **Fu, B.;** Labuza, T.P. (1997). Shelf life testing: Procedures and prediction methods for frozen foods. In: Erickson, M.C.; Hung, Y.-C. (Eds). *Quality in Frozen Food*. Chapman & Hall, New York, USA, pp. 377-416.
44. **Gan, Z.;** Ellis, P.R.; Schofield, J.D. (1995). Gas cell stabilization and gas retention in wheat bread dough. *Journal of Cereal Science*, 21, 215-230.
45. **Gandikota, S.;** MacRitchie, F. (2005). Expansion capacity of doughs: methodology and applications. *Journal of Cereal Science*, 42, 157-163.
46. **Ghotra, B.S.;** Dyal, S.D.; Narine, S.S. (2002). Lipid shortenings: a review. *Food Research International*, 35, 1015-1048.
47. **Giannou, V.;** Kessoglou, V.; Tzia, C. (2003). Quality and safety characteristics of bread made from frozen dough. *Trends in Food Science and Technology* 14 (3), 99–108.
48. **Giannou, V.;** Tzia, K.; Le Bail, A. (2005). Quality and Safety of Frozen Bakery Products (Ch.22). In: D.-W. Sun (ed), *Handbook of Frozen food Processing and Packaging*. Marcel Dekker, Inc., New York, USA.
49. **Gil, M.J.;** Callejo, M.J.; Rodriguez, G. (1997). Effect of water content and storage time on white pan bread quality: instrumental evaluation, *Z Lebensm Unters Forsch A*, 205, 268-273.
50. **Gill, S.K.** (2001). Wheat bread quality as influenced by the substitution of waxy and regular barley flours in their native and heat moisture treated forms. Master of Science thesis, Food Science and Technology, Department of Agricultural, Food and Nutritional Science, University of Alberta, Edmonton, Alberta, National Library of Canada.
51. **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.

52. **Gujral**, H.S.; Guardiola, I.; Carbonell, J.V.; Rosell, C.M. (2003). Effect of cyclodextrinase on dough rheology and bread quality from rice flour. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 51, 3814-3818.
53. **Gunstone**, F.D. (2002). Food Applications of Lipids (Ch.24). In: Akoh, C.C., Min, D.B. (Eds.), *Food Lipids-Chemistry, nutrition and biotechnology* (2nd Ed.). Markel Dekker, Inc. New York, USA.
54. **Haegens**, N. (2006). Mixing, Dough Making, and Dough Makeup. In: Hui, Y.H. (ed.) *Bakery Products, Science and Technology*. Blackwell Publishing, USA, pp. 245-259.
55. **Hamdami**, N.; Monteau, J.-Y.; LeBail, A. (2004). Thermophysical properties evolution of French partly baked bread during freezing. *Food Research International*, 37, 703-713.
56. **Haros**, M.; Rosell, C.M.; Benedito, C. (2001). Use of fungal phytase to improve breadmaking performance of whole wheat bread. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 49, 5450-5454.
57. **Herrman**, T.; Bequette, R.K.; McCluskey, P.J.; Pedersen, J.R.; Ponte, J.G.; Shroyer, J.P. (1995). Quality oriented marketing of hard winter wheat. A description of quality evaluation techniques. Cooperative Extension Service, Kansas State University, Manhattan, Kansas.
58. **Hodge**, J.E. (1953). Dehydrated foods: Chemistry of browning reactions in model systems. *J Agr Food Chem* (1), pp. 928-943.
59. **Hui**, Y.H. (2006). *Bakery Products, Science and Technology*. Blackwell Publishing, USA, pp. 5-8, 10-13.
60. **Jeremiah**, L.E. (1996). Freezing effects on food quality. Marcel Dekker, Inc., New York, USA, pp. 1-43, 367-398.
61. **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.

62. **Karaoglu**, M.M. (2006). Effect of baking procedure and storage on the pasting properties and staling of part-baked and rebaked white pan bread crumb. *International Journal of Food Properties*, 9, 609-622.
63. **Kenny**, S.; Wehlre, K.; Dennehy, T. (1999). Correlations between empirical and fundamental rheology measurements and baking performance of frozen bread dough. *KE Arendt. Cereal Chemistry* 76 (3):421–425.
64. **Kohajdová**, Z.; Karovičová, J. (2007). Effect of incorporation of spelt flour on the dough properties and wheat bread quality. *Zywność. Nauka. Technologia. Jakość*, 4 (53), pp. 36-45.
65. **Kohajdová** Z.; Karovicová J. (2008). Nutritional value and baking applications of spelt wheat. *Acta Sci. Pol., Technol. Aliment.* 7(3), 5-14.
66. **Kolakowska**, A.; Sikorski, Z.E. (2003). The role of lipids in food quality. (Ch.1) In: Sikorski, Z.E., Kolakowska, A. (Eds.), *Chemical and functional properties of food lipids*. CRC Press LLC, Florida, USA.
67. **Klostermeyer**, H.; Schmandke, H.; Soeder, C.J.; Schreiber, W.; Oehlenschlager, J.; Scholtyssek, S.; Kobald, M.; Sander, A.; Eilers, E.; Von Kries, E. (2005). Proteins. In: *Ullmann's Encyclopedia of Industrial Chemistry*, Wiley-VCH Verlag GmbH & Co, Weinheim, Germany.
68. **Kraklow**, K.H.; Kandler, R.C. (2003). Frozen microwaveable bakery products. PCT International Application number WO03092388, pp.61.
69. **Kulp**, K. Lorenz; K., Brummer, J. (1995). Frozen and Refrigerated Dough sans Batters. *American Association of Cereal Chemists*, Minnesota, USA, pp. 1-3, 93, 148.
70. **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.
71. **Laaksonen**, T.J.; Kuuva, T.; Jouppila, K.; Roos, Y.H. (2001). Effects of arabinoxylans on thermal behavior of frozen wheat doughs as measured by DSC, DMA, and DEA. *Journal of Food Science*, 67 (1), 223-230.

72. **Lai**, H.M.; Lin, T.C (2006). Bakery products: Science and Technology. In: In: Hui, Y.H. (ed.) Bakery Products, Science and Technology. Blackwell Publishing, USA, pp.4-13
73. **LeBail**, A.; Monteau, J.Y.; Margerie, F.; Lucas, T.; Chargelegue, A.; Reverdy, Y. (2005). Impact of selected process parameters on crust flaking of part baked bread. *Journal of Food Engineering* 69:503–509.
74. **Leon**, A.E.; Anon, M.-C.; Le Bail, A. (2004). Effect of freezing on dough ingredients. In: Murell, K.D., Hui, Y. H., Wai-Kit, N., Miang, H.L., Legarreta, G.I., Cornillon, P. (eds). *Handbook of frozen foods*. CRC Press.
75. **Liu**, Z.; Scanlon, M.G. (2003). Predicting mechanical properties of bread crumb. *Trans IChemE*, 81 C, 224-238.
76. **Loje** H.; Moller B.; Laustsen A.M.; Hansen A. (2003). Chemical composition, functional properties and sensory profiling of einkorn (*Triticum monococcum* L.). *J. Cereal Sci.* 37, 231-240.
77. **Lopez** H.W.; Leenhard F.; Coudray C.; Rémésy C. (2002). Minerals and PA interactions: is it a real problem for human nutrition? *Inter. J. Food Sci. Technol.* 37, 727-739.
78. **Lu**, W.; Grant, L.A. (1999). Role of flour fractions in breadmaking quality of frozen dough. *Cereal Chemistry*, 76 (5), 663-667.
79. **Marques** C.D.; Auria L.; Cani P.D.; Baccelli Ch.; Rozenberg R.; Ruibal-Mendieta N.L.; Petitjean G.; Delacroix D.L.; Quetin-Leclercq J.; Habib-Jiwan J.L.; Meurens M.; Delzenne M. (2007). Comparison of glycemic index of spelt and wheat bread in human volunteers. *Food Chem.* 100, 1265-1271.
80. **Mathlouthi**, M. (2001). Water content, water activity, water structure and the stability of foodstuffs. *Food Control*, 12, 409-417.
81. **Matuda**, T.G.; Parra, D.F.; Lugao, A.B.; Tadini, C.C. (2005). Influence of vegetable shortening and emulsifiers on the unfrozen water content and textural properties of frozen French bread dough. *Lebensmittel Wissenschaft und Technologie*, 38, 275-280.

82. **Matz**, S.A. (1988). Equipment for Bakers. Pan-Tech International, Texas, USA, pp. 89-109, 125-130, 141-147, 159-192, 319-360.
83. **Matz**, S.A. (1989). Technology of the materials of baking, Elsevier science publishers LTD, USA.
84. **Matz**, S.A. (1991). The chemistry and technology of cereals as food and feed (2nd ed). Van Nostrand Reinhold; McAllen, TX, USA: Pan-Tech International [distributor], New York.
85. **Manohar**, R.S.; Rao, P.H. (1997). Effects of sugars on the rheological characteristics of biscuit dough and quality of biscuits. Journal of the Science of Food and Agriculture, 75, 383-390.
86. **Marconi** E.; Carcea M.; Graziano M.; Cubadda R.; (1999). Kernel properties and pasta-making quality of five European spelt wheat (*Triticum spelt* L.) cultivars. Cereal Chem. 76, 25-29.
87. **Marconi** E.; Carcea M. (2001). Pasta from nontraditional raw materials. Cereal Food World 46, 522-530.
88. **Marconi** E.; Carcea M.; Schiavone M.; Cubadda R. (2002). Spelt (*Triticum spelta* L.) pasta quality: Combined effect of flour properties and drying conditions. Cereal Chem. 79, 634-639.
89. **Micard**, V.; Guilbert, S. (2000). Thermal behaviour of native and hydrophobized wheat gluten, gliadin and glutenin-rich fractions by modulated DSC. International Journal of Biological Macromolecules, 27, 229-236.
90. **Mondal** A.; Datta A.K. (2008). Bread baking – A review. Journal of Food Engineering, 86: 465–474.
91. **Oleson**, B. T. 1994. World Wheat Production, Utilization and Trade. In: Bushuk, W. and Rasper V.F. (eds.) "Wheat, Production, Properties and Quality". Blackie Academic and Professional, London. pp. 1-11.
92. **Parker**, R. (2003). Introduction to food science. Delmar – Tomson Leading, Inc., Albany, New York, USA, pp.322-324, 330-333.

93. **Percival**, J (1921). The wheat plant – a monograph, Duckworth & Co, London.
94. **Pohjanheimo**, T.A.; Hakala, M.A.; Tahvonen, R.L.; Salminen, S.J.; Kallio, H.P. (2006). Flaxseed in breadmaking: Effects on sensory quality, aging, and composition of bakery products. *Journal of Food Science*, 71 (4), 343-348.
95. **Porres**, J.M.; Etcheverry, P.; Miller, D.D.; Lei, X.G. (2001). Phytase and citric acid supplementation in whole-wheat bread improves phytatephosphorus release and iron dialyzability. *Journal of Food Science*, 66 (4), 614-619.
96. **Posner**, E.S.; Hibbs, A.N. (1997). *Wheat Flour Milling*. AACCC press, USA.
97. **Primo-Martin**, C.; Martinez-Anaya, M.A. (2003). Influence of pentosanase and oxidases on water-extractable pentosans during a straight breadmaking process. *Journal of Food Science*, 68 (1), 31-41.
98. **Pruska-Kedzior** A.; Kedzior Z.; Klockiewicz-Kaminska E. (2008). Comparison of viscoelastic properties of gluten from spelt and common wheat. *Eur. Food Res. Technol.* 227, 199-207.
99. **Puumalainen** T.; Nykopp H.; Tuorila H. (2002). Old product in a new context: Importance of the type of dish for the acceptance of Grünkern a spelt-based traditional cereal. *Lebensm. Wiss. Technol.* 35, 549-553.
100. **Pyler**, E.J. (1988). *Baking Science & Technology*. (Vol I). Sosland Publishing Company, Kansas City, USA, pp. 290-296, 301-346.
101. **Ranhotra**, G. S. (1994). Wheat: contribution to world food supply and human nutrition. In: W.; Rasper, V. F. (eds). *Wheat production, properties and quality*. Bushuk, Blackie Academic and Professional. Glasgow, pp 12-24.
102. **Ranhorta** G.S.; Gerroth J.A.; Glaser B.K.; Lorenz K.J. (1995). Baking and nutritional qualities of a spelt wheat sample. *Lebensm. Wiss. Technol.* 28, 118-122.
103. **Ranhorta** G.S.; Gelroth J.A.; Glaser B.K.; Lorenz K.J. (1996a). Nutrient composition of spelt wheat. *J. Food Comp. Anal.* 9, 81-84.

104. **Ranhorta** G.S.; Gelroth J.A.; Glaser B.K.; Stallknecht G.F. (1996b). Nutritional profile of three spelt wheat cultivars grown at five different locations. *Cereal Chem.* 73, 533-535.
105. **Rasanen**, J.; Blanshard, J.M.V.; Mitchell, J.R.; Derbyshire, W., Autio, K. (1998). Properties of frozen wheat doughs at subzero temperatures. *Journal of Cereal Science*, 28, 1-14.
106. **Reid**, D. (1998). Freezing preservation of fresh foods: quality aspects (Ch. 14). In: Taub, I.A., Singh, P.R. (Eds.), *Food storage stability*. CRC Press LLC, New York, USA.
107. **Ribotta**, P.D.; Leon, A.E.; Anon, M.C (2001). Effect of freezing and frozen storage of doughs on bread quality. *Journal of Agricultural and Food Chemistry* 49 (2):913–918.
108. **Ribotta**, P.D.; Leon, A.E.; Anon, M.C. (2006). Frozen Dough. In: Hui, Y.H. (ed.) *Bakery Products, Science and Technology*. Blackwell Publishing, USA, pp. 381-387.
109. **Rincon**, A.M.; Benitez, T. (2001). Improved organoleptic and nutritive properties of bakery products supplemented with amino acid overproducing *Saccharomyces cerevisiae* yeasts. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 49, 1861-1866.
110. **Rozenberg** R.; Ruibal-Mendieta N.L.; Petitjean G.; Cani P.; Delacroix D.L.; Delzenne N.M.; Meurens M.; Quetin-Leclercq J.; Habib-Jiwan J.L. (2003). Phytosterol analysis and characterization in spelt (*Triticum aestivum* ssp. *spelta* L.) and wheat (*T. aestivum* L.) lipids by LC/APCI-MS. *J. Cereal Sci.* 38, 189-197.
111. **Ruibal-Mendieta** N.L.; Delacroix D.L.; Meurens M. (2002). A comparative analysis of free, bound and total lipid content on spelt and winter wheat wholemeal. *J. Cereal Sci.* 35, 337-342.
112. **Ruibal-Mendieta** N.L.; Rozenberg R.; Deôacroix D.L.; Petitjean G.; Dekeyser A.; Baccelli Ch.; Marques C.; Delzenne N.M.; Meurens M.; Habib-Jiwan J.L.; Quentin-Leclercq J. (2004). Spelt (*Triticum spelta* L.) and winter wheat

- (*Triticum aestivum* L.) wholemeals have similar sterol profiles, as determined by quantitative liquid chromatography and mass spectrometry analysis. *J. Agric. Food Chem.* 52, 4802-4807.
113. **Ruibal-Mendieta** N.L.; Delacroix D.L.; Mignolet J.M.P.; Marques C.; Rozenberg R.; Petitjean G.; Habib-Jiwan J.L.; Meurens M.; Qeentin-Leclercq J.; Delzenne N.M.; Larondelle Y. (2005). Spelt (*Triticum aestivum* ssp. *spelta*) as a source of readmaking flours and bran naturally enriched in oleic acid and minerals but not phytic acid. *J. Agric. Food Chem.* 53, 2751-2759.
114. **Seguchi**, M.; Ishihara, C.; Yoshino Y; Nakatsuka, K.; Yoshihira, T. (1999). Breadmaking properties of triticale flour with wheat flour and relationship to amylase activity. *Journal of Food Science*, 64 (4), 582-586.
115. **Scanlon**, M.G.; Zghal, M.C. (2001). Bread properties and crumb structure. *Food Research International* 34 (10), 841–864.
116. **Schiraldi**, A.; Piazza, L.; Brenna, O.; Vittadini, E. (1996a). Structure and properties of bread dough and crumb. Calorimetric, rheological and mechanical investigations on the effects produced by hydrocolloids, pentosans and soluble proteins. *Journal of Thermal Analysis*, 47, 1339-1360.
117. **Schiraldi**, A.; Piazza, L.; Riva, M. (1996b). Bread staling: a calorimetric approach. *Cereal Chemistry*, 73, 32-39.
118. **Schober** T.J.; Clarke Ch.I.; Kuhn M. (2002). Characterization of functional properties of gluten proteins in spelt cultivars using rheological and quality factor measurements. *Cereal Chem.* 79, 408-417.
119. **Schober** T.J.; Bean S.R.; Kuhn M. (2006). Gluten proteins from spelt (*Triticum aestivum* ssp. *spelta*) cultivars: A rheological and size-exclusion high-performance liquid chromatography study *J. Cereal Sci.* 44, 161-173.
120. **Seibel**, W. (1994). Recent research progress in bread baking technology. In: Bushuk, W; Rasper, V.F. (eds). *Wheat Production, Properties and Quality*. Bushuk, Blackie Academic and Professional. Glasgow, pp.60-65.

121. **Seibel**, W.; Chung, O.K.; Weipert, D.; Park, S.-H. (2006). Cereals. In: Ullmann's Encyclopedia of Industrial Chemistry, Wiley-VCH Verlag GmbH & Co, Weinheim, Germany.
122. **Selomulyo**, V.O.; Zhou, W. (2007). Frozen bread dough: Effects of freezing storage and dough improvers. *Journal of Cereal Science*, 45, 1-17.
123. **Sievert**, D.; Hoseney, R.C. (2002). Bread and Other Baked Products. In: Ullmann's Encyclopedia of Industrial Chemistry, Wiley-VCH Verlag GmbH & Co.
124. **Singh**, N.; Bajaj, I.K.; Singh, R.P.; Gujral, H.S. (2002). Effect of different additives on mixograph and bread making properties of Indian wheat flour. *Journal of Food Engineering*, 56, 89-95.
125. **Sivaramakrishnan**, H.P.; Senge, B.; Chattopadhyay, P.K. (2004). Rheological properties of rice dough for making rice bread. *Journal of Food Engineering*, 62, 37-45.
126. **Stear**, C.A. (1990). *Handbook of Breadmaking Technology*. Elsevier Applied Science, London, UK, pp. 45-53,322-326,689-690.
127. **Suthar**, A.C.; Banavalikar, M.M.; Biyani, M.K. (2001). Pharmacological activities of genistein, an isoflavone from soy (*Glycine max*): Part II: Anti-cholesterol activity, effects on osteoporosis and menopausal symptoms. *Indian J Exp Biol* 39: 520-525.
128. **Tanhehco** E.J.; Ng, P.K.W. (2008). Soft wheat quality. In: Sumnu, S.G; Sahin, S. (eds). *Food engineering aspects of baking sweet goods*. CRC Press: Boca Raton, FL, pp. 1-30.
129. **Takano**, H.; Naito, S.; Ishida, N.; Koizumi, M.; Kano, H. (2002). Fermentation process and grain structure of baked breads from frozen dough using freeze-tolerant yeasts. *Journal of Food Science*, 67 (7), 2725-2733.
130. **Therdta**, N.; Zhou, W.; Adamczak, T. (2002). Optimisation of the temperature profile in bread baking. *Journal of Food Engineering*, 55, 41-48.

131. **Tohver**, M.; Kann, A.; Taht, R.; Mihhalevski, A.; Hakman, J. (2005). Quality of triticale cultivars suitable for growing and bread-making in northern conditions. *Food Chemistry*, 89, 125-132.
132. **Turnbull**, K.M.; Rahman, S. (2002). Endosperm texture in wheat *Journal of Science Cereal*, 36, 327 – 337.
133. **Wang**, H.-H.; Sun, D.-W.; Zeng, Q.; Lu, Y. (2000). Effect of pH, corn starch and phosphates on the pasting properties of rice flour. *Journal of Food Engineering*, 46, 133-138.
134. **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.
135. **Wieser**, H. (2000). Comparative investigations of gluten proteins from different wheat species. I. Qualitative and quantitative composition of gluten protein types. *European Food Research & Technology*, 210, 324-330.
136. **Wieser** H. (2001). Comparative investigations of gluten proteins from different wheat species. III. N-terminal amino acid sequences of α -gliadins potentially toxic for coeliac patients. *Eur. Food Res. Technol.* 213, 183-186.
137. **Wolt**, M.J.; D'Appolonia B.L. (1984). Factors involved in the stability of frozen dough. I. The influence of yeast reducing compounds on frozen dough stability. *Cereal Chemistry* 61 (3):213–221.
138. **Wringley**, C.W. (2001). Wheat and other cereal grains (Vol.26). In: Kirk-Othmer *Encyclopedia of Chemical Technology*. John Wiley & Sons, Inc., Indianapolis, USA, pp.262-294.
139. **Zanetti** S.; Winzeler M.; Feullet C.; Keller B.; Messner M. (2001). Genetic analysis of bread-making quality in wheat and spelt. *Plant Breeding*, **120**, 13-19.
140. **Zielinski** H.; Ceglinska A.; Michalska A. (2008). Bioactive compounds in spelt bread. *Eur. Food Res. Technol.* 226, 537-544.
141. **Yang**, C.-H. (2006). Fermentation. In: Hui, Y.H. (ed.) *Bakery Products, Science and Technology*. Blackwell Publishing, USA, pp. 261-272.

142. **Καζάζης**, Ι. (1981). Τεχνολογία σιτηρών ΙΙ (Τεχνολογία αρτοσκευασμάτων). Οργανισμός Εκδόσεων Διδακτικών Βιβλίων, Αθήνα, Ελλάδα, σελ. 457-469.
143. **Λεμπέση**, Δ. (2012). Δράση ενζύμων και διαιτητικών ινών στα ποιοτικά χαρακτηριστικά αρτοσκευασμάτων // Διδακτορική διατριβή. - Αθήνα : Ε.Μ.Π.
144. **Ρούτουλα**, Ε. (2013). Μελέτη του αντιμικροβιακού χαρακτήρα φυσικών ουσιών και της επίδρασης πηγών διαιτητικών ινών σε φρέσκα ζυμαρικά // Διπλωματική εργασία. – Αθήνα : Ε.Μ.Π.
145. **Τζιά**, Κ.; Ωραιοπούλου Β. Σχεδιασμός βιομηχανικών τροφίμων – Επεξεργασία και συντήρηση τροφίμων. ΕΜΠ, Αθήνα.,
146. **Τσιάρας**, Ν (1984). Ποιοτικός έλεγχος Φ/Π Ι. Οργανισμός Εκδόσεων Διδακτικών Βιβλίων, Αθήνα, Ελλάδα.

10. Παράρτημα

10.1 Σειρά 2^η: Μελέτη επίδρασης αναλογίας αλεύρου ζέας-αλεύρου σίτου σε φρέσκα αρτοσκευάσματα

Univariate Tests of Significance for Διόγκωση ζυμαριού (Fresh) Sigma-restricted parameterization Effective hypothesis decomposition						
Effect	SS	Degr. of Freedom	MS	F	p	
Intercept	107,3618	1	107,3618	389,7624	0,000000	
Αναλογία αλεύρων	3,8882	10	0,3888	1,4116	0,289515	
Error	3,0300	11	0,2755			

Εικόνα 10.1: Ανάλυση επίδρασης των παραγόντων στην διόγκωση των φρέσκων αρτοσκευασμάτων

Univariate Tests of Significance for Σκληρότητα ζύμης (Fresh) Sigma-restricted parameterization Effective hypothesis decomposition						
Effect	SS	Degr. of Freedom	MS	F	p	
Intercept	5,517013	1	5,517013	915,8734	0,000000	
Αναλογία αλεύρων	0,177016	10	0,017702	2,9386	0,045608	
Error	0,066262	11	0,006024			

Εικόνα 10.2 Ανάλυση επίδρασης των παραγόντων στη σκληρότητα του ζυμαριού των φρέσκων αρτοσκευασμάτων

Duncan test; variable Σκληρότητα ζύμης (Fresh) Approximate Probabilities for Post Hoc Tests Error: Between MS = ,00602, df = 11,000												
Cell No.	Αναλογία αλεύρων	{1}	{2}	{3}	{4}	{5}	{6}	{7}	{8}	{9}	{10}	{11}
1	1	,25100	,54250	,47500	,43450	,59600	,54600	,54950	,54000	,51300	,49600	,56500
2	2		0,006178	0,018445	0,037674	0,002455	0,006019	0,005817	0,006135	0,010095	0,013252	0,004395
3	3	0,006178		0,440780	0,231211	0,538836	0,964957	0,933845	0,975019	0,724464	0,588437	0,792788
4	4	0,018445	0,440780		0,612304	0,186281	0,420523	0,399484	0,452378	0,650299	0,791865	0,313514
5	5	0,037674	0,231211	0,612304		0,089636	0,219132	0,206784	0,238238	0,367053	0,466373	0,157617
6	6	0,002455	0,538836	0,186281	0,089636		0,561112	0,579919	0,522186	0,350493	0,266459	0,697382
7	7	0,006019	0,964957	0,420523	0,219132	0,561112		0,964957	0,943276	0,700082	0,565238	0,820243
8	8	0,005817	0,933845	0,399484	0,206784	0,579919	0,964957		0,913637	0,673548	0,540526	0,845470
9	9	0,006135	0,975019	0,452378	0,238238	0,522186	0,943276	0,913637		0,734638	0,600203	0,773458
10	10	0,010095	0,724464	0,650299	0,367053	0,350493	0,700082	0,673548	0,734638		0,830763	0,551681
11	11	0,013252	0,588437	0,791865	0,466373	0,266459	0,565238	0,540526	0,600203	0,830763		0,433705
11	11	0,004395	0,792788	0,313514	0,157617	0,697382	0,820243	0,845470	0,773458	0,551681	0,433705	

Εικόνα 10.3: Δοκιμή Duncan (Σκληρότητα ζυμαριού, αναλογία αλεύρων)

Duncan test; variable Σκληρότητα ζύμης (Fresh) Homogenous Groups, alpha = ,05000 Error: Between MS = ,00602, df = 11,000					
Cell No.	Αναλογία αλεύρων	Σκληρότητα ζύμης Mean	1	2	
1	1	0,251000		****	
4	4	0,434500	****		
3	3	0,475000	****		
10	10	0,496000	****		
9	9	0,513000	****		
8	8	0,540000	****		
2	2	0,542500	****		
6	6	0,546000	****		
7	7	0,549500	****		
11	11	0,565000	****		
5	5	0,596000	****		

Εικόνα 10.4: Δοκιμή Duncan - ομαδοποίηση (Σκληρότητα ζυμαριού, αναλογία αλεύρων)

Univariate Tests of Significance for Μεταβολή βάρους (Fresh) Sigma-restricted parameterization Effective hypothesis decomposition					
Effect	SS	Degr. of Freedom	MS	F	p
Intercept	3506,278	1	3506,278	2601,582	0,000000
Αναλογία αλεύρων	7,576	10	0,758	0,562	0,813374
Error	14,825	11	1,348		

Εικόνα 10.5: Ανάλυση επίδρασης των παραγόντων στη μεταβολή βάρους των φρέσκων αρτοσκευασμάτων

Univariate Tests of Significance for Ειδικός όγκος (Fresh) Sigma-restricted parameterization Effective hypothesis decomposition					
Effect	SS	Degr. of Freedom	MS	F	p
Intercept	147,6760	1	147,6760	2230,325	0,000000
Αναλογία αλεύρων	2,5797	10	0,2580	3,896	0,017594
Error	0,7283	11	0,0662		

Εικόνα 10.6: Ανάλυση επίδρασης των παραγόντων στον ειδικό όγκο των φρέσκων αρτοσκευασμάτων

Duncan test; variable Ειδικός όγκος (Fresh) Approximate Probabilities for Post Hoc Tests Error: Between MS = ,06621, df = 11,000												
Cell No.	Αναλογία αλεύρων	{1}	{2}	{3}	{4}	{5}	{6}	{7}	{8}	{9}	{10}	{11}
1	1		0,471746	0,393831	0,939218	0,606568	0,434614	0,554224	0,040933	0,057430	0,021818	0,003054
2	2	0,471746		0,875044	0,435922	0,801582	0,937198	0,875671	0,129317	0,175469	0,070928	0,009618
3	3	0,393831	0,875044		0,359347	0,693167	0,930975	0,764886	0,150578	0,192813	0,084733	0,011233
4	4	0,939218	0,435922	0,359347		0,574080	0,398821	0,517365	0,036889	0,051901	0,019671	0,002793
5	5	0,606568	0,801582	0,693167	0,574080		0,749926	0,914152	0,090329	0,125222	0,048838	0,006749
6	6	0,434614	0,937198	0,930975	0,398821	0,749926		0,822951	0,140296	0,186807	0,077633	0,010401
7	7	0,554224	0,875671	0,764886	0,517365	0,914152	0,822951		0,104564	0,143802	0,056785	0,007761
8	8	0,040933	0,129317	0,150578	0,036889	0,090329	0,140296	0,104564		0,820782	0,685594	0,134968
9	9	0,057430	0,175469	0,192813	0,051901	0,125222	0,186807	0,143802	0,820782		0,549781	0,101082
10	10	0,021818	0,070928	0,084733	0,019671	0,048838	0,077633	0,056785	0,685594	0,549781		0,228629
11	11	0,003054	0,009618	0,011233	0,002793	0,006749	0,010401	0,007761	0,134968	0,101082	0,228629	

Εικόνα 10.7: Δοκιμή Duncan (Ειδικός όγκος, αναλογία αλεύρων)

Duncan test; variable Ειδικός όγκος (Fresh) Homogenous Groups, alpha = ,05000 Error: Between MS = ,06621, df = 11,000						
Cell No.	Αναλογία αλεύρων	Ειδικός όγκος Mean	1	2	3	4
11	11	1,862972				****
10	10	2,191116		****		****
8	8	2,298148		****	****	****
9	9	2,357898	****	****	****	****
3	3	2,715005	****	****	****	
6	6	2,737847	****	****	****	
2	2	2,758625	****	****	****	
7	7	2,799873	****	****	****	
5	5	2,828300	****		****	
1	1	2,964771	****			
4	4	2,984882	****			

Εικόνα 10.8: Δοκιμή Duncan - ομαδοποίηση (Ειδικός όγκος, αναλογία αλεύρων)

Univariate Tests of Significance for Πλάτος φέτας (Fresh) Sigma-restricted parameterization Effective hypothesis decomposition					
Effect	SS	Degr. of Freedom	MS	F	p
Intercept	827,1823	1	827,1823	8464,191	0,000000
Αναλογία αλεύρων	0,4727	10	0,0473	0,484	0,868554
Error	1,0750	11	0,0977		

Εικόνα 10.9 Ανάλυση επίδρασης των παραγόντων στο πλάτος της φέτας των φρέσκων αρτοσκευασμάτων

Univariate Tests of Significance for Ύψος φέτας (Fresh)					
Sigma-restricted parameterization					
Effective hypothesis decomposition					
Effect	SS	Degr. of Freedom	MS	F	p
Intercept	1252,545	1	1252,545	6560,952	0,000000
Αναλογία αλεύρων	13,355	10	1,335	6,995	0,001723
Error	2,100	11	0,191		

Εικόνα 10.10 Ανάλυση επίδρασης των παραγόντων στο ύψος της φέτας των φρέσκων αρτοποιημάτων

Duncan test; variable Ύψος φέτας (Fresh)												
Approximate Probabilities for Post Hoc Tests												
Error: Between MS = ,19091, df = 11,000												
Cell No.	Αναλογία αλεύρων	{1}	{2}	{3}	{4}	{5}	{6}	{7}	{8}	{9}	{10}	{11}
1	1	8,3000	0,911080	0,737982	0,750098	0,605094	0,199756	0,126518	0,124699	0,026822	0,004532	0,000321
2	2	8,3500	0,911080	0,671514	0,678482	0,540401	0,173166	0,108170	0,107118	0,022913	0,003920	0,000288
3	3	8,1500	0,737982	0,671514	1,000000	0,831739	0,310038	0,202965	0,199756	0,044857	0,007507	0,000491
4	4	8,1500	0,750098	0,678482	1,000000	0,823305	0,298905	0,199756	0,193982	0,043478	0,007184	0,000469
5	5	8,0500	0,605094	0,540401	0,831739	0,823305	0,379765	0,266513	0,255515	0,059956	0,009851	0,000612
6	6	7,6500	0,199756	0,173166	0,310038	0,298905	0,379765	0,750098	0,737982	0,227917	0,041533	0,002254
7	7	7,5000	0,126518	0,108170	0,202965	0,199756	0,266513	0,750098	1,000000	0,325296	0,061989	0,003219
8	8	7,5000	0,124699	0,107118	0,199756	0,193982	0,255515	0,737982	1,000000	0,347644	0,067942	0,003591
9	9	7,0500	0,026822	0,022913	0,044857	0,043478	0,059956	0,227917	0,325296	0,347644	0,276906	0,015814
10	10	6,5500	0,004532	0,003920	0,007507	0,007184	0,009851	0,041533	0,061989	0,067942	0,276906	0,094453
11	11	5,7500	0,000321	0,000288	0,000491	0,000469	0,000612	0,002254	0,003219	0,003591	0,015814	0,094453

Εικόνα 10.11: Δοκιμή Duncan (Ύψος φέτας, αναλογία αλεύρων)

Duncan test; variable Ύψος φέτας (Fresh)						
Homogenous Groups, alpha = ,05000						
Error: Between MS = ,19091, df = 11,000						
Cell No.	Αναλογία αλεύρων	Ύψος φέτας Mean	1	2	3	4
11	11	5,750000				****
10	10	6,550000			****	****
9	9	7,050000		****	****	
7	7	7,500000	****	****	****	
8	8	7,500000	****	****	****	
6	6	7,650000	****	****		
5	5	8,050000	****	****		
4	4	8,150000	****			
3	3	8,150000	****			
1	1	8,300000	****			
2	2	8,350000	****			

Εικόνα 10.12: Δοκιμή Duncan - ομαδοποίηση (Ύψος φέτας, αναλογία αλεύρων)

Effect	Univariate Tests of Significance for Χρώμα κόρας (Fresh) Sigma-restricted parameterization Effective hypothesis decomposition				
	SS	Degr. of Freedom	MS	F	p
Intercept	91681,66	1	91681,66	8874,910	0,000000
Αναλογία αλεύρων	435,53	10	43,55	4,216	0,013194
Error	113,63	11	10,33		

Εικόνα 10.13: Ανάλυση επίδρασης των παραγόντων στο χρώμα της κόρας των φρέσκων αρτοσκευασμάτων

Cell No.	Αναλογία αλεύρων	Duncan test; variable Χρώμα κόρας (Fresh) Approximate Probabilities for Post Hoc Tests Error: Between MS = 10,330, df = 11,000										
		{1} 70,520	{2} 73,580	{3} 68,335	{4} 65,055	{5} 60,390	{6} 65,900	{7} 60,485	{8} 59,365	{9} 63,675	{10} 62,595	{11} 60,205
1	1		0,361690	0,510845	0,142083	0,016925	0,197888	0,017144	0,010773	0,077036	0,047203	0,015872
2	2	0,361690		0,147871	0,033346	0,003886	0,047888	0,003909	0,002540	0,017485	0,010645	0,003676
3	3	0,510845	0,147871		0,351894	0,048167	0,464803	0,048977	0,030540	0,204700	0,130017	0,044994
4	4	0,142083	0,033346	0,351894		0,210060	0,797616	0,212945	0,138021	0,676104	0,481373	0,197105
5	5	0,016925	0,003886	0,048167	0,210060		0,147662	0,977076	0,767299	0,362233	0,527096	0,955243
6	6	0,197888	0,047888	0,464803	0,797616	0,147662		0,150861	0,095173	0,523424	0,359433	0,137715
7	7	0,017144	0,003909	0,048977	0,212945	0,977076	0,150861		0,752076	0,364772	0,525175	0,936095
8	8	0,010773	0,002540	0,030540	0,138021	0,767299	0,095173	0,752076		0,247309	0,375541	0,798784
9	9	0,077036	0,017485	0,204700	0,676104	0,362233	0,523424	0,364772	0,247309		0,743315	0,342613
10	10	0,047203	0,010645	0,130017	0,481373	0,527096	0,359433	0,525175	0,375541	0,743315		0,503432
11	11	0,015872	0,003676	0,044994	0,197105	0,955243	0,137715	0,936095	0,798784	0,342613	0,503432	

Εικόνα 10.14: Δοκιμή Duncan (Χρώμα κόρας, αναλογία αλεύρων)

Cell No.	Αναλογία αλεύρων	Χρώμα κόρας Mean	Duncan test; variable Χρώμα κόρας (Fresh) Homogenous Groups, alpha = ,05000 Error: Between MS = 10,330, df = 11,000			
			1	2	3	4
8	8	59,36500	****			
11	11	60,20500	****			
5	5	60,39000	****			
7	7	60,48500	****			
10	10	62,59500	****	****		
9	9	63,67500	****	****	****	
4	4	65,05500	****	****	****	
6	6	65,90000	****	****	****	
3	3	68,33500		****	****	****
1	1	70,52000			****	****
2	2	73,58000				****

Εικόνα 10.15: Δοκιμή Duncan - ομαδοποίηση (Χρώμα κόρας, αναλογία αλεύρων)

Effect	Univariate Tests of Significance for Χρώμα ψίχας (Fresh) Sigma-restricted parameterization Effective hypothesis decomposition				
	SS	Degr. of Freedom	MS	F	p
Intercept	107476,8	1	107476,8	61894,58	0,000000
Αναλογία αλεύρων	204,0	10	20,4	11,75	0,000163
Error	19,1	11	1,7		

Εικόνα 10.16: Ανάλυση επίδρασης των παραγόντων στο χρώμα της ψίχας των φρέσκων αρτοσκευασμάτων

Duncan test; variable Χρώμα ψίχας (Fresh) Approximate Probabilities for Post Hoc Tests Error: Between MS = 1,7365, df = 11,000												
Cell No.	Αναλογία αλεύρων	{1}	{2}	{3}	{4}	{5}	{6}	{7}	{8}	{9}	{10}	{11}
		74,270	73,815	73,345	70,585	70,295	70,405	70,490	66,255	67,900	66,890	64,595
1	1		0,736532	0,517733	0,024318	0,020315	0,022274	0,023380	0,000233	0,001215	0,000424	0,000063
2	2	0,736532		0,728222	0,038914	0,034016	0,037061	0,038400	0,000352	0,001942	0,000656	0,000082
3	3	0,517733	0,728222		0,060315	0,057539	0,061990	0,062784	0,000549	0,003177	0,001042	0,000115
4	4	0,024318	0,038914	0,060315		0,842268	0,899270	0,943924	0,013171	0,088856	0,027454	0,001880
5	5	0,020315	0,034016	0,057539	0,842268		0,935081	0,890933	0,015447	0,096600	0,031026	0,002148
6	6	0,022274	0,037061	0,061990	0,899270	0,935081		0,949826	0,014691	0,096919	0,030197	0,002051
7	7	0,023380	0,038400	0,062784	0,943924	0,890933	0,949826		0,014094	0,094662	0,029272	0,001988
8	8	0,000233	0,000352	0,000549	0,013171	0,015447	0,014691	0,014094		0,259258	0,639493	0,233969
9	9	0,001215	0,001942	0,003177	0,088856	0,096600	0,096919	0,094662	0,259258		0,459729	0,039377
10	10	0,000424	0,000656	0,001042	0,027454	0,031026	0,030197	0,029272	0,639493	0,459729		0,124785
11	11	0,000063	0,000082	0,000115	0,001880	0,002148	0,002051	0,001988	0,233969	0,039377	0,124785	

Εικόνα 10.17: Δοκιμή Duncan (Χρώμα ψίχας, αναλογία αλεύρων)

Duncan test; variable Χρώμα ψίχας (Fresh) Homogenous Groups, alpha = ,05000 Error: Between MS = 1,7365, df = 11,000							
Cell No.	Αναλογία αλεύρων	Χρώμα ψίχας Mean	1	2	3	4	5
11	11	64,59500			****		
8	8	66,25500			****	****	
10	10	66,89000			****	****	
9	9	67,90000	****			****	
5	5	70,29500	****	****			
6	6	70,40500	****	****			
7	7	70,49000	****	****			
4	4	70,58500	****	****			
3	3	73,34500		****			****
2	2	73,81500					****
1	1	74,27000					****

Εικόνα 10.18: Δοκιμή Duncan – ομαδοποίηση (Χρώμα ψίχας, αναλογία αλεύρων)

Univariate Tests of Significance for Ενεργότητα (0 h) (Fresh)					
Sigma-restricted parameterization					
Effective hypothesis decomposition					
Effect	SS	Degr. of Freedom	MS	F	p
Intercept	19,52220	1	19,52220	151388,7	0,000000
Αναλογία αλεύρων	0,00477	10	0,00048	3,7	0,021214
Error	0,00142	11	0,00013		

Εικόνα 10.19: Ανάλυση επίδρασης των παραγόντων στην ενεργότητα των φρέσκων αρτοποιημάτων

Duncan test; variable Ενεργότητα (0 h) (Fresh)												
Approximate Probabilities for Post Hoc Tests												
Error: Between MS = ,00013, df = 11,000												
Cell No.	Αναλογία αλεύρων	{1}	{2}	{3}	{4}	{5}	{6}	{7}	{8}	{9}	{10}	{11}
1	1	,95390	,503894	,459072	,113699	,109573	,585621	,366475	,993243	,055752	0,047974	0,019713
2	2	0,503894		0,911045	0,294224	0,284818	0,258541	0,146697	0,518830	0,154406	0,133682	0,056902
3	3	0,459072	0,911045		0,329975	0,309587	0,226736	0,126998	0,464530	0,176246	0,154406	0,066191
4	4	0,113699	0,294224	0,329975		0,996668	0,048636	0,025683	0,115217	0,637809	0,580114	0,295931
5	5	0,109573	0,284818	0,309587	0,996668		0,047533	0,025117	0,112949	0,650874	0,585931	0,300054
6	6	0,585621	0,258541	0,226736	0,048636	0,047533		0,680815	0,572978	0,023302	0,019925	0,008194
7	7	0,366475	0,146697	0,126998	0,025683	0,025117	0,680815		0,359496	0,012266	0,010498	0,004362
8	8	0,993243	0,518830	0,464530	0,115217	0,112949	0,572978	0,359496		0,056517	0,048310	0,019925
9	9	0,055752	0,154406	0,176246	0,637809	0,650874	0,023302	0,012266	0,056517		0,911045	0,521414
10	10	0,047974	0,133682	0,154406	0,580114	0,585931	0,019925	0,010498	0,048310	0,911045		0,572978
11	11	0,019713	0,056902	0,066191	0,295931	0,300054	0,008194	0,004362	0,019925	0,521414	0,572978	

Εικόνα 10.20: Δοκιμή Duncan (Ενεργότητα, αναλογία αλεύρων)

Duncan test; variable Ενεργότητα (0 h) (Fresh)					
Homogenous Groups, alpha = ,05000					
Error: Between MS = ,00013, df = 11,000					
Cell No.	Αναλογία αλεύρων	Ενεργότητα (0 h) Mean	1	2	3
11	11	0,919200	****		
10	10	0,925800	****		
9	9	0,927100	****	****	
4	4	0,932600	****	****	
5	5	0,932650	****	****	
3	3	0,944750	****	****	****
2	2	0,946050	****	****	****
1	1	0,953900		****	****
8	8	0,954000		****	****
6	6	0,960600			****
7	7	0,965400			****

Εικόνα 10.21: Δοκιμή Duncan - ομαδοποίηση (Ενεργότητα, αναλογία αλεύρων)

Univariate Tests of Significance for Ενεργότητα (2 h) (Fresh) Sigma-restricted parameterization Effective hypothesis decomposition					
Effect	SS	Degr. of Freedom	MS	F	p
Intercept	19,55367	1	19,55367	126044,8	0,000000
Αναλογία αλεύρων	0,00398	10	0,00040	2,6	0,068733
Error	0,00171	11	0,00016		

Εικόνα 10.22: Ανάλυση επίδρασης των παραγόντων στην ενεργότητα των φρέσκων αρτοσκευασμάτων 2 ώρες μετά τον κλιβανισμό

Univariate Tests of Significance for Ενεργότητα (24 h) (Fresh) Sigma-restricted parameterization Effective hypothesis decomposition					
Effect	SS	Degr. of Freedom	MS	F	p
Intercept	19,15710	1	19,15710		
Αναλογία αλεύρων	0,00761	10	0,00076		
Error	0,00000	11	0,00000		

Εικόνα 10.23: Ανάλυση επίδρασης των παραγόντων στην ενεργότητα των φρέσκων αρτοσκευασμάτων 24 ώρες μετά τον κλιβανισμό

Univariate Tests of Significance for Σκληρότητα κόρας (Fresh) Sigma-restricted parameterization Effective hypothesis decomposition					
Effect	SS	Degr. of Freedom	MS	F	p
Intercept	7831,428	1	7831,428	293,6888	0,000000
Αναλογία αλεύρων	212,812	10	21,281	0,7981	0,635147
Error	293,323	11	26,666		

Εικόνα 10.24: Ανάλυση επίδρασης των παραγόντων στη σκληρότητα της κόρας των φρέσκων αρτοσκευασμάτων

Univariate Tests of Significance for Σκληρότητα κόρας (2 h) (Fresh) Sigma-restricted parameterization Effective hypothesis decomposition					
Effect	SS	Degr. of Freedom	MS	F	p
Intercept	4297,452	1	4297,452	677,3149	0,000000
Αναλογία αλεύρων	93,830	10	9,383	1,4788	0,264934
Error	69,793	11	6,345		

Εικόνα 10.25: Ανάλυση επίδρασης των παραγόντων στη σκληρότητα της κόρας των φρέσκων αρτοσκευασμάτων 2 ώρες μετά τον κλιβανισμό

Univariate Tests of Significance for Σκληρότητα κόρας (24 h) (Fresh)						
Sigma-restricted parameterization						
Effective hypothesis decomposition						
Effect	SS	Degr. of Freedom	MS	F	p	
Intercept	3265,702	1	3265,702			
Αναλογία αλεύρων	241,743	10	24,174			
Error	0,000	11	0,000			

Εικόνα 10.26: Ανάλυση επίδρασης των παραγόντων στη σκληρότητα της κόρας των φρέσκων αρτοσκευασμάτων 24 ώρες μετά τον κλιβανισμό

Univariate Tests of Significance for Σκληρότητα ψίχας (κοπίδι) (Fresh)						
Sigma-restricted parameterization						
Effective hypothesis decomposition						
Effect	SS	Degr. of Freedom	MS	F	p	
Intercept	1350,049	1	1350,049	330,6254	0,000000	
Αναλογία αλεύρων	131,152	10	13,115	3,2119	0,034229	
Error	44,916	11	4,083			

Εικόνα 10.27: Ανάλυση επίδρασης των παραγόντων στη σκληρότητα της ψίχας των φρέσκων αρτοσκευασμάτων (δοκιμή με κοπίδι)

Duncan test; variable Σκληρότητα ψίχας (κοπίδι) (Fresh)												
Approximate Probabilities for Post Hoc Tests												
Error: Between MS = 4,0833, df = 11,000												
Cell No.	Αναλογία αλεύρων	{1}	{2}	{3}	{4}	{5}	{6}	{7}	{8}	{9}	{10}	{11}
1	1		0,791718	0,963468	0,724419	0,733171	0,946107	0,347986	0,167250	0,388480	0,083278	0,008095
2	2	0,791718		0,816737	0,919870	0,928819	0,748343	0,248074	0,114827	0,283862	0,056136	0,005581
3	3	0,963468	0,816737		0,753483	0,760107	0,914233	0,333550	0,159500	0,377029	0,079228	0,007838
4	4	0,724419	0,919870	0,753483		0,986611	0,679908	0,216446	0,099509	0,250274	0,048642	0,004988
5	5	0,733171	0,928819	0,760107	0,986611		0,689830	0,221025	0,101469	0,254639	0,049476	0,004990
6	6	0,946107	0,748343	0,914233	0,679908	0,689830		0,368377	0,178888	0,401272	0,089697	0,008565
7	7	0,347986	0,248074	0,333550	0,216446	0,221025	0,368377		0,587384	0,913477	0,340170	0,037738
8	8	0,167250	0,114827	0,159500	0,099509	0,101469	0,178888	0,587384		0,536300	0,635671	0,086062
9	9	0,388480	0,283862	0,377029	0,250274	0,254639	0,401272	0,913477	0,536300		0,304577	0,033757
10	10	0,083278	0,056136	0,079228	0,048642	0,049476	0,089697	0,340170	0,635671	0,304577		0,165235
11	11	0,008095	0,005581	0,007838	0,004988	0,004990	0,008565	0,037738	0,086062	0,033757	0,165235	

Εικόνα 10.28: Δοκιμή Duncan (Σκληρότητα ψίχας-κοπίδι, αναλογία αλεύρων)

Duncan test; variable Σκληρότητα ψίχας (κοπίδι) (Fresh)						
Homogenous Groups, alpha = ,05000						
Error: Between MS = 4,0833, df = 11,000						
Cell No.	Αναλογία αλεύρων	Σκληρότητα ψίχας (κοπίδι) Mean	1	2	3	
4	4	5,52000	****			
5	5	5,55500	****			
2	2	5,74000	****	****		
3	3	6,22000	****	****		
1	1	6,31500	****	****		
6	6	6,45500	****	****		
9	9	8,22000	****	****		
7	7	8,44500	****	****		
8	8	9,57500	****	****	****	
10	10	10,56000		****	****	
11	11	13,56500			****	

Εικόνα 10.29: Δοκιμή Duncan - ομαδοποίηση (Σκληρότητα ψίχας-κοπίδι, αναλογία αλεύρων)

Univariate Tests of Significance for Σκληρότητα ψίχας (κοπίδι) (2 h) (Fresh)						
Sigma-restricted parameterization						
Effective hypothesis decomposition						
Effect	SS	Degr. of Freedom	MS	F	p	
Intercept	1429,522	1	1429,522	2994,390	0,000000	
Αναλογία αλεύρων	288,217	10	28,822	60,372	0,000000	
Error	5,251	11	0,477			

Εικόνα 10.30: Ανάλυση επίδρασης των παραγόντων στη σκληρότητα της ψίχας των φρέσκων αρτοσκευασμάτων 2 ώρες μετά τον κλιβανισμό (δοκιμή με κοπίδι)

Duncan test; variable Σκληρότητα ψίχας (κοπίδι) (2 h) (Fresh)												
Approximate Probabilities for Post Hoc Tests												
Error: Between MS = ,47740, df = 11,000												
Cell No.	Αναλογία αλεύρων	{1}	{2}	{3}	{4}	{5}	{6}	{7}	{8}	{9}	{10}	{11}
1	1		0,201052	0,191006	0,190376	0,458997	0,910036	0,464387	0,035693	0,000025	0,000127	0,000024
2	2	0,201052		0,024272	0,024695	0,070580	0,186897	0,069910	0,004234	0,000024	0,000041	0,000023
3	3	0,191006	0,024272		0,988831	0,501826	0,218382	0,505124	0,299298	0,000042	0,000683	0,000035
4	4	0,190376	0,024695	0,988831		0,513511	0,219841	0,506513	0,283093	0,000065	0,000618	0,000042
5	5	0,458997	0,070580	0,501826	0,513511		0,513511	0,977550	0,115320	0,000035	0,000289	0,000032
6	6	0,910036	0,186897	0,218382	0,219841	0,513511		0,510593	0,041473	0,000029	0,000138	0,000025
7	7	0,464387	0,069910	0,505124	0,506513	0,977550	0,510593		0,115192	0,000032	0,000298	0,000029
8	8	0,035693	0,004234	0,299298	0,283093	0,115320	0,041473	0,115192		0,000099	0,002779	0,000065
9	9	0,000025	0,000024	0,000042	0,000065	0,000035	0,000029	0,000032	0,000099		0,000297	0,006076
10	10	0,000127	0,000041	0,000683	0,000618	0,000289	0,000138	0,000298	0,002779	0,000297		0,000100
11	11	0,000024	0,000023	0,000035	0,000042	0,000032	0,000025	0,000029	0,000065	0,006076	0,000100	

Εικόνα 10.31: Δοκιμή Duncan (Σκληρότητα ψίχας-κοπίδι-2 h, αναλογία αλεύρων)

Duncan test; variable Σκληρότητα ψίχας (κοπίδι) (2 h) (Fresh)								
Homogenous Groups, alpha = ,05000								
Error: Between MS = ,47740, df = 11,000								
Cell No.	Αναλογία αλεύρων	Σκληρότητα ψίχας (κοπίδι) (2 h) Mean	1	2	3	4	5	6
2	2	4,58000		****				
1	1	5,52000	****	****				
6	6	5,60000	****	****				
7	7	6,07000	****	****	****			
5	5	6,09000	****	****	****			
3	3	6,57000	****		****			
4	4	6,58000	****		****			
8	8	7,36000			****			
10	10	10,03000				****		
9	9	13,96000					****	
11	11	16,31000						****

Εικόνα 10.32: Δοκιμή Duncan - ομαδοποίηση (Σκληρότητα ψίχας-κοπίδι-2 h, αναλογία αλεύρων)

Univariate Tests of Significance for Σκληρότητα ψίχας (κοπίδι) (24 h) (Fresh)					
Sigma-restricted parameterization					
Effective hypothesis decomposition					
Effect	SS	Degr. of Freedom	MS	F	p
Intercept	2465,352	1	2465,352	2117,099	0,000000
Αναλογία αλεύρων	111,273	10	11,127	9,555	0,000429
Error	12,809	11	1,164		

Εικόνα 10.33: Ανάλυση επίδρασης των παραγόντων στη σκληρότητα της ψίχας των φρέσκων αρτοσκευασμάτων 24 ώρες μετά τον κλιβανισμό (δοκιμή με κοπίδι)

Duncan test; variable Σκληρότητα ψίχας (κοπίδι) (24 h) (Fresh)												
Approximate Probabilities for Post Hoc Tests												
Error: Between MS = 1,1645, df = 11,000												
Cell No.	Αναλογία αλεύρων	{1} 7,8400	{2} 13,540	{3} 11,265	{4} 9,2100	{5} 8,0100	{6} 8,8600	{7} 10,230	{8} 9,4100	{9} 9,8800	{10} 14,690	{11} 13,510
1	1		0,000690	0,016340	0,262673	0,877801	0,387272	0,071585	0,209054	0,114209	0,000175	0,000688
2	2	0,000690		0,069151	0,004099	0,000830	0,002593	0,015408	0,005185	0,009832	0,309522	0,978438
3	3	0,016340	0,069151		0,108895	0,020320	0,068433	0,358271	0,138162	0,246843	0,012873	0,061797
4	4	0,262673	0,004099	0,108895		0,312121	0,751906	0,398099	0,856457	0,566439	0,000847	0,004022
5	5	0,877801	0,000830	0,020320	0,312121		0,447706	0,088965	0,252962	0,140621	0,000204	0,000824
6	6	0,387272	0,002593	0,068433	0,751906	0,447706		0,268561	0,637101	0,398099	0,000557	0,002569
7	7	0,071585	0,015408	0,358271	0,398099	0,088965	0,268561		0,484458	0,751906	0,002920	0,014154
8	8	0,209054	0,005185	0,138162	0,856457	0,252962	0,637101	0,484458		0,671747	0,001051	0,005019
9	9	0,114209	0,009832	0,246843	0,566439	0,140621	0,398099	0,751906	0,671747		0,001900	0,009338
10	10	0,000175	0,309522	0,012873	0,000847	0,000204	0,000557	0,002920	0,001051	0,001900		0,319893
11	11	0,000688	0,978438	0,061797	0,004022	0,000824	0,002569	0,014154	0,005019	0,009338	0,319893	

Εικόνα 10.34: Δοκιμή Duncan (Σκληρότητα ψίχας-κοπίδι-24 h, αναλογία αλεύρων)

Duncan test; variable Σκληρότητα ψίχας (κοπίδι) (24 h) (Fresh)						
Homogenous Groups, alpha = ,05000						
Error: Between MS = 1,1645, df = 11,000						
Cell No.	Αναλογία αλεύρων	Σκληρότητα ψίχας (κοπίδι) (24 h) Mean	1	2	3	4
1	1	7,84000	****			
5	5	8,01000	****			
6	6	8,86000	****	****		
4	4	9,21000	****	****		
8	8	9,41000	****	****		
9	9	9,88000	****	****		
7	7	10,23000	****	****		
3	3	11,26500		****	****	
11	11	13,51000			****	****
2	2	13,54000			****	****
10	10	14,69000				****

Εικόνα 10.35: Δοκιμή Duncan - ομαδοποίηση (Σκληρότητα ψίχας-κοπίδι-24 h, αναλογία αλεύρων)

Univariate Tests of Significance for Σκληρότητα ψίχας (κύλινδρος) (Fresh)					
Sigma-restricted parameterization					
Effective hypothesis decomposition					
Effect	SS	Degr. of Freedom	MS	F	p
Intercept	2128,196	1	2128,196	186,3361	0,000000
Αναλογία αλεύρων	635,920	10	63,592	5,5679	0,004479
Error	125,634	11	11,421		

Εικόνα 10.36: Ανάλυση επίδρασης των παραγόντων στη σκληρότητα της ψίχας των φρέσκων αρτοσκευασμάτων (δοκιμή με κύλινδρο)

Duncan test; variable Σκληρότητα ψίχας (κύλινδρος) (Fresh)												
Approximate Probabilities for Post Hoc Tests												
Error: Between MS = 11,421, df = 11,000												
Cell No.	Αναλογία αλεύρων	{1}	{2}	{3}	{4}	{5}	{6}	{7}	{8}	{9}	{10}	{11}
1	1		0,842070	0,499761	0,729490	0,675910	0,318178	0,635449	0,184699	0,183600	0,101501	0,000279
2	2	0,842070		0,617819	0,869248	0,811165	0,406466	0,767869	0,242211	0,241130	0,135480	0,000350
3	3	0,499761	0,617819		0,724371	0,780467	0,706898	0,820722	0,460373	0,468156	0,281963	0,000610
4	4	0,729490	0,869248	0,724371		0,930976	0,490568	0,884464	0,299871	0,299297	0,171014	0,000422
5	5	0,675910	0,811165	0,780467	0,930976		0,536122	0,947058	0,332460	0,333350	0,192406	0,000455
6	6	0,318178	0,406466	0,706898	0,490568	0,536122		0,567949	0,684695	0,695923	0,447782	0,000987
7	7	0,635449	0,767869	0,820722	0,884464	0,947058	0,567949		0,356135	0,359772	0,209432	0,000474
8	8	0,184699	0,242211	0,460373	0,299871	0,332460	0,684695	0,356135		0,996641	0,690898	0,001680
9	9	0,183600	0,241130	0,468156	0,299297	0,333350	0,695923	0,359772	0,996641		0,679455	0,001456
10	10	0,101501	0,135480	0,281963	0,171014	0,192406	0,447782	0,209432	0,690898	0,679455		0,002289
11	11	0,000279	0,000350	0,000610	0,000422	0,000455	0,000987	0,000474	0,001680	0,001456	0,002289	

Εικόνα 10.37: Δοκιμή Duncan (Σκληρότητα ψίχας-κύλινδρος, αναλογία αλεύρων)

Duncan test; variable Σκληρότητα ψίχας (κύλινδρος) (Fresh)				
Homogenous Groups, alpha = ,05000				
Error: Between MS = 11,421, df = 11,000				
Cell No.	Αναλογία αλεύρων	Σκληρότητα ψίχας (κύλινδρος) Mean	1	2
1	1	5,35500	****	
2	2	6,04500	****	
4	4	6,61500	****	
5	5	6,91500	****	
7	7	7,14500	****	
3	3	7,93000	****	
6	6	9,23500	****	
8	8	10,64500	****	
9	9	10,66000	****	
10	10	12,09500	****	
11	11	25,55000		****

Εικόνα 10.38: Δοκιμή Duncan - ομαδοποίηση (Σκληρότητα ψίχας-κύλινδρος, αναλογία αλεύρων)

Univariate Tests of Significance for Σκληρότητα ψίχας (κύλινδρος) (2 h) (Fresh)					
Sigma-restricted parameterization					
Effective hypothesis decomposition					
Effect	SS	Degr. of Freedom	MS	F	p
Intercept	1863,000	1	1863,000	1850,092	0,000000
Αναλογία αλεύρων	323,211	10	32,321	32,097	0,000001
Error	11,077	11	1,007		

Εικόνα 10.39: Ανάλυση επίδρασης των παραγόντων στη σκληρότητα της ψίχας των φρέσκων αρτοσκευασμάτων 2 ώρες μετά τον κλιβανισμό (δοκιμή με κύλινδρο)

Duncan test; variable Σκληρότητα ψίχας (κύλινδρος) (2 h) (Fresh)												
Approximate Probabilities for Post Hoc Tests												
Error: Between MS = 1,0070, df = 11,000												
Cell No.	Αναλογία αλεύρων	{1}	{2}	{3}	{4}	{5}	{6}	{7}	{8}	{9}	{10}	{11}
1	1		0,781819	0,041288	0,056612	0,149674	0,118643	0,017228	0,035150	0,000069	0,000123	0,000024
2	2	0,781819		0,027401	0,038083	0,107948	0,081826	0,011339	0,023158	0,000056	0,000093	0,000023
3	3	0,041288	0,027401		0,819281	0,385512	0,491522	0,580673	0,899403	0,001327	0,003062	0,000035
4	4	0,056612	0,038083	0,819281		0,497207	0,618112	0,455212	0,735839	0,001013	0,002345	0,000032
5	5	0,149674	0,107948	0,385512	0,497207		0,826829	0,181239	0,333519	0,000402	0,000887	0,000025
6	6	0,118643	0,081826	0,491522	0,618112	0,826829		0,242778	0,431967	0,000519	0,001151	0,000029
7	7	0,017228	0,011339	0,580673	0,455212	0,181239	0,242778		0,648821	0,002631	0,005705	0,000065
8	8	0,035150	0,023158	0,899403	0,735839	0,333519	0,431967	0,648821		0,001452	0,003256	0,000042
9	9	0,000069	0,000056	0,001327	0,001013	0,000402	0,000519	0,002631	0,001452		0,562162	0,000214
10	10	0,000123	0,000093	0,003062	0,002345	0,000887	0,001151	0,005705	0,003256	0,562162		0,000120
11	11	0,000024	0,000023	0,000035	0,000032	0,000025	0,000029	0,000065	0,000042	0,000214	0,000120	

Εικόνα 10.40: Δοκιμή Duncan (Σκληρότητα ψίχας-κύλινδρος-2 h, αναλογία αλεύρων)

Duncan test; variable Σκληρότητα ψίχας (κύλινδρος) (2 h) (Fresh) Homogenous Groups, alpha = ,05000 Error: Between MS = 1,0070, df = 11,000							
Cell No.	Αναλογία αλεύρων	Σκληρότητα ψίχας (κύλινδρος) (2 h) Mean	1	2	3	4	5
2	2	5,18500		****			
1	1	5,47000		****	****		
5	5	7,02500	****	****	****		
6	6	7,25000	****	****	****		
4	4	7,76500	****		****		
3	3	8,00000	****				
8	8	8,13000	****				
7	7	8,60000	****				
10	10	12,05000				****	
9	9	12,65000				****	
11	11	19,10000					****

Εικόνα 10.41: Δοκιμή Duncan - ομαδοποίηση (Σκληρότητα ψίχας-κύλινδρος-2 h, αναλογία αλεύρων)

Univariate Tests of Significance for Σκληρότητα ψίχας (κύλινδρος) (24 h) (Fresh) Sigma-restricted parameterization Effective hypothesis decomposition						
Effect	SS	Degr. of Freedom	MS	F	p	
Intercept	3716,440	1	3716,440	4158,572	0,000000	
Αναλογία αλεύρων	371,215	10	37,122	41,538	0,000000	
Error	9,830	11	0,894			

Εικόνα 10.42: Ανάλυση επίδρασης των παραγόντων στη σκληρότητα της ψίχας των φρέσκων αρτοσκευασμάτων 24 ώρες μετά τον κλιβανισμό (δοκιμή με κύλινδρο)

Duncan test; variable Σκληρότητα ψίχας (κύλινδρος) (24 h) (Fresh) Approximate Probabilities for Post Hoc Tests Error: Between MS = ,89368, df = 11,000												
Cell No.	Αναλογία αλεύρων	{1} 12,000	{2} 12,435	{3} 12,505	{4} 11,190	{5} 8,7800	{6} 9,9000	{7} 11,480	{8} 13,950	{9} 9,7400	{10} 16,810	{11} 24,180
1	1		0,654526	0,621161	0,431827	0,010297	0,062968	0,593426	0,081192	0,050954	0,000672	0,000035
2	2	0,654526		0,942407	0,246286	0,005176	0,031792	0,356594	0,154627	0,025454	0,001199	0,000042
3	3	0,621161	0,942407		0,228208	0,004827	0,029687	0,334939	0,154769	0,023529	0,001163	0,000065
4	4	0,431827	0,246286	0,228208		0,036773	0,199794	0,764903	0,022768	0,171546	0,000243	0,000029
5	5	0,010297	0,005176	0,004827	0,036773		0,282987	0,023864	0,000508	0,331811	0,000031	0,000023
6	6	0,062968	0,031792	0,029687	0,199794	0,282987		0,139172	0,002671	0,868797	0,000061	0,000025
7	7	0,593426	0,356594	0,334939	0,764903	0,023864	0,139172		0,035582	0,114875	0,000337	0,000032
8	8	0,081192	0,154627	0,154769	0,022768	0,000508	0,002671	0,035582		0,002166	0,011713	0,000099
9	9	0,050954	0,025454	0,023529	0,171546	0,331811	0,868797	0,114875	0,002166		0,000053	0,000024
10	10	0,000672	0,001199	0,001163	0,000243	0,000031	0,000061	0,000337	0,011713	0,000053		0,000174
11	11	0,000035	0,000042	0,000065	0,000029	0,000023	0,000025	0,000032	0,000099	0,000024	0,000174	

Εικόνα 10.43: Δοκιμή Duncan (Σκληρότητα ψίχας-κύλινδρος-24 h, αναλογία αλεύρων)

Duncan test; variable Σκληρότητα ψίχας (κύλινδρος) (24 h) (Fresh) Homogenous Groups, alpha = ,05000 Error: Between MS = ,89368, df = 11,000								
Cell No.	Αναλογία αλεύρων	Σκληρότητα ψίχας (κύλινδρος) (24 h) Mean	1	2	3	4	5	6
5	5	8,78000				****		
9	9	9,74000	****			****		
6	6	9,90000	****			****		
4	4	11,19000	****	****				
7	7	11,48000	****	****				
1	1	12,00000	****	****	****			
2	2	12,43500		****	****			
3	3	12,50500		****	****			
8	8	13,95000			****			
10	10	16,81000					****	
11	11	24,18000						****

Εικόνα 10.44: Δοκιμή Duncan - ομαδοποίηση (Σκληρότητα ψίχας-κύλινδρος-24 h, αναλογία αλεύρων)

Univariate Tests of Significance for Σκληρότητα κόρας (Σκληρότητα ψίχας) Sigma-restricted parameterization Effective hypothesis decomposition						
Effect	SS	Degr. of Freedom	MS	F	p	
Intercept	7425,750	1	7425,750	1094,960	0,000000	
Αναλογία	154,352	10	15,435	2,276	0,056361	
Ώρες	254,315	2	127,157	18,750	0,000026	
Error	135,635	20	6,782			

Εικόνα 10.45 Ανάλυση επίδρασης δύο παραγόντων στη σκληρότητα της κόρας των φρέσκων αρτοσκευασμάτων

Duncan test; variable Σκληρότητα κόρας (Σκληρότητα ψίχας) Approximate Probabilities for Post Hoc Tests Error: Between MS = 6,7818, df = 20,000				
Cell No.	Ώρες	{1}	{2}	{3}
1	1	18,867	13,657	12,478
2	2	0,000278		0,301283
3	3	0,000086	0,301283	

Εικόνα 10.46: Δοκιμή Duncan (Σκληρότητα κόρας, χρόνος)

Duncan test; variable Σκληρότητα κόρας (Σκληρότητα ψίχας) Homogenous Groups, alpha = ,05000 Error: Between MS = 6,7818, df = 20,000					
Cell No.	Ωρες	Σκληρότητα κόρας Mean	1	2	
3	3	12,47818	****		
2	2	13,65682	****		
1	1	18,86727		****	

Εικόνα 10.47: Δοκιμή Duncan - ομαδοποίηση (Σκληρότητα κόρας, χρόνος)

Univariate Tests of Significance for Σκληρότητα ψίχας (κοπίδι) (Σκληρότητα ψίχας) Sigma-restricted parameterization Effective hypothesis decomposition					
Effect	SS	Degr. of Freedom	MS	F	p
Intercept	2635,512	1	2635,512	685,8667	0,000000
Αναλογία	196,686	10	19,669	5,1186	0,000949
Ωρες	44,938	2	22,469	5,8473	0,010010
Error	76,852	20	3,843		

Εικόνα 10.48: Ανάλυση επίδρασης δύο παραγόντων στη σκληρότητα της ψίχας των φρέσκων αρτοσκευασμάτων (δοκιμή με κοπίδι)

Duncan test; variable Σκληρότητα ψίχας (κοπίδι) (Σκληρότητα ψίχας) Approximate Probabilities for Post Hoc Tests Error: Between MS = 3,8426, df = 20,000					
Cell No.	Ωρες	{1}	{2}	{3}	
1	1	8,1632	0,903949	0,009041	
2	2	0,903949		0,008954	
3	3	0,009041	0,008954		

Εικόνα 10.49: Δοκιμή Duncan (Σκληρότητα ψίχας-κοπίδι, χρόνος)

Duncan test; variable Σκληρότητα ψίχας (κοπίδι) (Σκληρότητα ψίχας) Homogenous Groups, alpha = ,05000 Error: Between MS = 3,8426, df = 20,000					
Cell No.	Ωρες	Σκληρότητα ψίχας (κοπίδι) Mean	1	2	
2	2	8,06091	****		
1	1	8,16318	****		
3	3	10,58591		****	

Εικόνα 10.50: Δοκιμή Duncan - ομαδοποίηση (Σκληρότητα ψίχας-κοπίδι, χρόνος)

Univariate Tests of Significance for Σκληρότητα ψίχας (κύλινδρος) (Σκληρότητα ψίχας)					
Sigma-restricted parameterization					
Effective hypothesis decomposition					
Effect	SS	Degr. of Freedom	MS	F	p
Intercept	3762,884	1	3762,884	1079,690	0,000000
Αναλογία	595,470	10	59,547	17,086	0,000000
Ώρες	90,933	2	45,467	13,046	0,000237
Error	69,703	20	3,485		

Εικόνα 10.51: Ανάλυση επίδρασης δύο παραγόντων στη σκληρότητα της ψίχας των φρέσκων αρτοσκευασμάτων (δοκιμή με κύλινδρο)

Duncan test; variable Σκληρότητα ψίχας (κύλινδρος) (Σκληρότητα ψίχας)				
Approximate Probabilities for Post Hoc Tests				
Error: Between MS = 3,4852, df = 20,000				
Cell No.	Ώρες	{1}	{2}	{3}
1	1		0,435872	0,000889
2	2	0,435872		0,000225
3	3	0,000889	0,000225	

Εικόνα 10.52: Δοκιμή Duncan (Σκληρότητα ψίχας-κύλινδρος, χρόνος)

Duncan test; variable Σκληρότητα ψίχας (κύλινδρος) (Σκληρότητα ψίχας)				
Homogenous Groups, alpha = ,05000				
Error: Between MS = 3,4852, df = 20,000				
Cell No.	Ώρες	Σκληρότητα ψίχας (κύλινδρος) Mean	1	2
2	2	9,20227	****	
1	1	9,83545	****	
3	3	12,99727		****

Εικόνα 10.53: Δοκιμή Duncan - ομαδοποίηση (Σκληρότητα ψίχας-κύλινδρος, χρόνος)

Univariate Tests of Significance for Ολική αρέσκεια (Fresh)					
Sigma-restricted parameterization					
Effective hypothesis decomposition					
Effect	SS	Degr. of Freedom	MS	F	p
Intercept	1321,375	1	1321,375	5256,826	0,000000
Αναλογία αλεύρων	14,410	10	1,441	5,733	0,003977
Error	2,765	11	0,251		

Εικόνα 10.54: Ανάλυση επίδρασης των παραγόντων στην ολική αρέσκεια των φρέσκων αρτοσκευασμάτων

Duncan test; variable Ολική αρέσκεια (Fresh)												
Approximate Probabilities for Post Hoc Tests												
Error: Between MS = ,25136, df = 11,000												
Cell No.	Αναλογία αλεύρων	{1}	{2}	{3}	{4}	{5}	{6}	{7}	{8}	{9}	{10}	{11}
		9,0500	8,8000	8,1500	8,2500	7,6500	8,1000	7,7000	7,6000	6,7000	6,9500	6,3000
1	1		0,628008	0,123144	0,156264	0,029065	0,110467	0,032853	0,025533	0,001650	0,003407	0,000539
2	2	0,628008		0,242365	0,296198	0,061835	0,220740	0,069633	0,054404	0,003407	0,007179	0,001059
3	3	0,123144	0,242365		0,845663	0,373536	0,922483	0,410890	0,335258	0,024793	0,052899	0,007179
4	4	0,156264	0,296198	0,845663		0,295328	0,781285	0,329534	0,262220	0,018622	0,039859	0,005434
5	5	0,029065	0,061835	0,373536	0,295328		0,410890	0,922483	0,922483	0,105659	0,210133	0,031219
6	6	0,110467	0,220740	0,922483	0,781285	0,410890		0,442038	0,373536	0,027975	0,059476	0,008064
7	7	0,032853	0,069633	0,410890	0,329534	0,922483	0,442038		0,853166	0,094925	0,191700	0,027975
8	8	0,025533	0,054404	0,335258	0,262220	0,922483	0,373536	0,853166		0,114733	0,221487	0,034201
9	9	0,001650	0,003407	0,024793	0,018622	0,105659	0,027975	0,094925	0,114733		0,628008	0,442038
10	10	0,003407	0,007179	0,052899	0,039859	0,210133	0,059476	0,191700	0,221487	0,628008		0,242365
11	11	0,000539	0,001059	0,007179	0,005434	0,031219	0,008064	0,027975	0,034201	0,442038	0,242365	

Εικόνα 10.55: Δοκιμή Duncan (Ολική αρέσκεια, αναλογία αλεύρων)

Duncan test; variable Ολική αρέσκεια (Fresh)							
Homogenous Groups, alpha = ,05000							
Error: Between MS = ,25136, df = 11,000							
Cell No.	Αναλογία αλεύρων	Ολική αρέσκεια Mean	1	2	3	4	5
11	11	6,300000					****
9	9	6,700000			****		****
10	10	6,950000		****	****		****
8	8	7,600000	****	****	****		
5	5	7,650000	****	****	****		
7	7	7,700000	****	****	****		
6	6	8,100000	****	****		****	
3	3	8,150000	****	****		****	
4	4	8,250000	****			****	
2	2	8,800000	****			****	
1	1	9,050000				****	

Εικόνα 10.56: Δοκιμή Duncan – ολική αρέσκεια (Ολική αρέσκεια, αναλογία αλεύρων)

10.2 Σειρά 3^η: Μελέτη επίδρασης χρόνου κατάψυξης σε επιλεγμένες αναλογίες αλεύρου ζέας - αλεύρου σίτου

Effect	Univariate Tests of Significance for Διόγκωση ζυμαριού (Freeze) Sigma-restricted parameterization Effective hypothesis decomposition				
	SS	Degr. of Freedom	MS	F	p
Intercept	53,60033	1	53,60033	384,9677	0,000000
Αναλογία αλεύρων	0,63133	4	0,15783	1,1336	0,369079
Χρόνος κατάψυξης	5,59367	5	1,11873	8,0350	0,000272
Error	2,78467	20	0,13923		

Εικόνα 10.57: Ανάλυση επίδρασης δύο παραγόντων στη μεταβολή της διόγκωσης των κατεψυγμένων αρτοποιημάτων

Cell No.	Χρόνος κατάψυξης	Duncan test; variable Διόγκωση ζυμαριού (Freeze) Approximate Probabilities for Post Hoc Tests Error: Between MS = ,13923, df = 20,000					
		{1} 1,9800	{2} 1,8200	{3} 1,3600	{4} ,98000	{5} 1,0600	{6} ,82000
1	1		0,505703	0,020760	0,000850	0,001558	0,000226
2	2	0,505703		0,065568	0,003296	0,005785	0,000850
3	3	0,020760	0,065568		0,142475	0,218364	0,047018
4	4	0,000850	0,003296	0,142475		0,738279	0,505703
5	5	0,001558	0,005785	0,218364	0,738279		0,348160
6	6	0,000226	0,000850	0,047018	0,505703	0,348160	

Εικόνα 10.58: Δοκιμή Duncan (Διόγκωση ζυμαριού, χρόνος)

Cell No.	Χρόνος κατάψυξης	Διόγκωση ζυμαριού Mean	Duncan test; variable Διόγκωση ζυμαριού (Freeze) Homogenous Groups, alpha = ,05000 Error: Between MS = ,13923, df = 20,000			
			1	2	3	4
6	6	0,820000	****			
4	4	0,980000	****	****		
5	5	1,060000	****	****		
3	3	1,360000		****	****	
2	2	1,820000			****	****
1	1	1,980000				****

Εικόνα 10.59: Δοκιμή Duncan - ομαδοποίηση (Διόγκωση ζυμαριού, χρόνος)

Effect	Univariate Tests of Significance for Σκληρότητα ζυμαριού (Freeze) Sigma-restricted parameterization Effective hypothesis decomposition				
	SS	Degr. of Freedom	MS	F	p
Intercept	10,57202	1	10,57202	426,3099	0,000000
Αναλογία αλεύρων	0,37471	4	0,09368	3,7775	0,019079
Χρόνος κατάψυξης	0,17400	5	0,03480	1,4033	0,265581
Error	0,49598	20	0,02480		

Εικόνα 10.60: Ανάλυση επίδρασης δύο παραγόντων στη μεταβολή της σκληρότητας του ζυμαριού των κατεψυγμένων αρτοσκευασμάτων

Cell No.	Αναλογία αλεύρων	Duncan test; variable Σκληρότητα ζυμαριού (Freeze) Approximate Probabilities for Post Hoc Tests Error: Between MS = ,02480, df = 20,000				
		{1}	{2}	{3}	{4}	{5}
1	1	,46150	,48000	,60833	,65833	,76000
2	2	0,840938		0,173601	0,076967	0,006901
3	3	0,141344	0,173601		0,588583	0,129252
4	4	0,059263	0,076967	0,588583		0,276865
5	5	0,006901	0,009388	0,129252	0,276865	

Εικόνα 10.61: Δοκιμή Duncan (Σκληρότητα ζυμαριού, Αναλογία αλεύρων)

Cell No.	Αναλογία αλεύρων	Σκληρότητα ζυμαριού Mean	Duncan test; variable Σκληρότητα ζυμαριού (Freeze) Homogenous Groups, alpha = ,05000 Error: Between MS = ,02480, df = 20,000	
			1	2
1	1	0,461500	****	
2	2	0,480000	****	
3	3	0,608333	****	****
4	4	0,658333	****	****
5	5	0,760000		****

Εικόνα 10.62: Δοκιμή Duncan - ομαδοποίηση (Σκληρότητα ζυμαριού, Αναλογία αλεύρων)

Effect	Univariate Tests of Significance for Μεταβολή βάρους (Freeze) Sigma-restricted parameterization Effective hypothesis decomposition				
	SS	Degr. of Freedom	MS	F	p
Intercept	4720,684	1	4720,684	557,2058	0,000000
Αναλογία αλεύρων	55,729	4	13,932	1,6445	0,202317
Χρόνος κατάψυξης	43,446	5	8,689	1,0256	0,429237
Error	169,441	20	8,472		

Εικόνα 10.63: Ανάλυση επίδρασης των παραγόντων στη μεταβολή βάρους των κατεψυγμένων αρτοσκευασμάτων

Effect	Univariate Tests of Significance for Ειδικός όγκος (Freeze) Sigma-restricted parameterization Effective hypothesis decomposition				
	SS	Degr. of Freedom	MS	F	p
Intercept	161,5551	1	161,5551	1511,472	0,000000
Αναλογία αλεύρων	1,7174	4	0,4293	4,017	0,014995
Χρόνος κατάψυξης	1,8417	5	0,3683	3,446	0,020837
Error	2,1377	20	0,1069		

Εικόνα 10.64: Ανάλυση επίδρασης δύο παραγόντων στη μεταβολή του ειδικού όγκου των κατεψυγμένων αρτοσκευασμάτων

Duncan test; variable Ειδικός όγκος (Freeze) Approximate Probabilities for Post Hoc Tests Error: Between MS = ,10689, df = 20,000						
Cell No.	Αναλογία αλεύρων	{1}	{2}	{3}	{4}	{5}
		2,5406	2,5622	2,2810	2,3204	1,8988
1	1		0,910062	0,207694	0,257204	0,004682
2	2	0,910062		0,186554	0,239588	0,004184
3	3	0,207694	0,186554		0,836838	0,056619
4	4	0,257204	0,239588	0,836838		0,045974
5	5	0,004682	0,004184	0,056619	0,045974	

Εικόνα 10.65: Δοκιμή Duncan (Ειδικός όγκος, αναλογία αλεύρων)

Duncan test; variable Ειδικός όγκος (Freeze) Homogenous Groups, alpha = ,05000 Error: Between MS = ,10689, df = 20,000				
Cell No.	Αναλογία αλεύρων	Ειδικός όγκος Mean	1	2
5	5	1,898834		****
3	3	2,280968	****	****
4	4	2,320380	****	
1	1	2,540591	****	
2	2	2,562212	****	

Εικόνα 10.66: Δοκιμή Duncan - ομαδοποίηση (Ειδικός όγκος, αναλογία αλεύρων)

Duncan test; variable Ειδικός όγκος (Freeze) Approximate Probabilities for Post Hoc Tests Error: Between MS = ,10689, df = 20,000							
Cell No.	Χρόνος κατάψυξης	{1}	{2}	{3}	{4}	{5}	{6}
		2,6121	2,5394	2,3996	2,2265	2,2942	1,8519
1	1		0,729139	0,343234	0,108035	0,173391	0,003274
2	2	0,729139		0,506774	0,179967	0,275395	0,006305
3	3	0,343234	0,506774		0,438731	0,615953	0,023116
4	4	0,108035	0,179967	0,438731		0,746931	0,085208
5	5	0,173391	0,275395	0,615953	0,746931		0,055136
6	6	0,003274	0,006305	0,023116	0,085208	0,055136	

Εικόνα 10.67: Δοκιμή Duncan (Ειδικός όγκος, χρόνος)

Duncan test; variable Ειδικός όγκος (Freeze)				
Homogenous Groups, alpha = ,05000				
Error: Between MS = ,10689, df = 20,000				
Cell No.	Χρόνος κατάψυξης	Ειδικός όγκος Mean	1	2
6	6	1,851863		****
4	4	2,226493	****	****
5	5	2,294179	****	****
3	3	2,399579	****	
2	2	2,539410	****	
1	1	2,612057	****	

Εικόνα 10.67: Δοκιμή Duncan – ομαδοποίηση (Ειδικός όγκος, χρόνος)

Univariate Tests of Significance for Πλάτος φέτας (Freeze)					
Sigma-restricted parameterization					
Effective hypothesis decomposition					
Effect	SS	Degr. of Freedom	MS	F	p
Intercept	1126,081	1	1126,081	43930,35	0,000000
Αναλογία αλεύρων	0,675	4	0,169	6,59	0,001497
Χρόνος κατάψυξης	0,191	5	0,038	1,49	0,238073
Error	0,513	20	0,026		

Εικόνα 10.68: Ανάλυση επίδρασης δύο παραγόντων στη μεταβολή του πλάτους της φέτας των κατεψυγμένων αρτοσκευασμάτων

Duncan test; variable Πλάτος φέτας (Freeze)						
Approximate Probabilities for Post Hoc Tests						
Error: Between MS = ,02563, df = 20,000						
Cell No.	Αναλογία αλεύρων	{1}	{2}	{3}	{4}	{5}
1	1	6,4167	6,1167	6,0667	6,0333	6,0000
2	2	0,004200		0,594671	0,404746	0,261016
3	3	0,001642	0,594671		0,722301	0,504067
4	4	0,000902	0,404746	0,722301		0,722301
5	5	0,000476	0,261016	0,504067	0,722301	

Εικόνα 10.69: Δοκιμή Duncan (Πλάτος φέτας, Αναλογία αλεύρων)

Duncan test; variable Πλάτος φέτας (Freeze)				
Homogenous Groups, alpha = ,05000				
Error: Between MS = ,02563, df = 20,000				
Cell No.	Αναλογία αλεύρων	Πλάτος φέτας Mean	1	2
5	5	6,000000	****	
4	4	6,033333	****	
3	3	6,066667	****	
2	2	6,116667	****	
1	1	6,416667		****

Εικόνα 10.70: Δοκιμή Duncan - ομαδοποίηση (Πλάτος φέτας, Αναλογία αλεύρων)

Effect	Univariate Tests of Significance for Ύψος φέτας (Freeze) Sigma-restricted parameterization Effective hypothesis decomposition				
	SS	Degr. of Freedom	MS	F	p
Intercept	1465,803	1	1465,803	7157,241	0,000000
Αναλογία αλεύρων	5,112	4	1,278	6,240	0,001987
Χρόνος κατάψυξης	9,879	5	1,976	9,647	0,000083
Error	4,096	20	0,205		

Εικόνα 10.71: Ανάλυση επίδρασης δύο παραγόντων στη μεταβολή του ύψους της φέτας των κατεψυγμένων αρτοσκευασμάτων

Duncan test; variable Ύψος φέτας (Freeze) Approximate Probabilities for Post Hoc Tests Error: Between MS = ,20480, df = 20,000						
Cell No.	Αναλογία αλεύρων	{1}	{2}	{3}	{4}	{5}
		7,3500	7,2500	7,2167	6,9167	6,2167
1	1		0,706084	0,635701	0,143037	0,000684
2	2	0,706084		0,899874	0,241525	0,001375
3	3	0,635701	0,899874		0,264569	0,001500
4	4	0,143037	0,241525	0,264569		0,014565
5	5	0,000684	0,001375	0,001500	0,014565	

Εικόνα 10.72: Δοκιμή Duncan (Ύψος φέτας, Αναλογία αλεύρων)

Duncan test; variable Ύψος φέτας (Freeze) Homogenous Groups, alpha = ,05000 Error: Between MS = ,20480, df = 20,000				
Cell No.	Αναλογία αλεύρων	Ύψος φέτας Mean	1	2
5	5	6,216667		****
4	4	6,916667	****	
3	3	7,216667	****	
2	2	7,250000	****	
1	1	7,350000	****	

Εικόνα 10.73: Δοκιμή Duncan - ομαδοποίηση (Ύψος φέτας, Αναλογία αλεύρων)

Duncan test; variable Ύψος φέτας (Freeze) Approximate Probabilities for Post Hoc Tests Error: Between MS = ,20480, df = 20,000							
Cell No.	Χρόνος κατάψυξης	{1}	{2}	{3}	{4}	{5}	{6}
		7,3400	7,5000	7,3200	7,2200	6,7400	5,8200
1	1		0,582490	0,945077	0,696953	0,067245	0,000103
2	2	0,582490		0,559788	0,381370	0,025351	0,000050
3	3	0,945077	0,559788		0,730585	0,068223	0,000123
4	4	0,696953	0,381370	0,730585		0,109257	0,000185
5	5	0,067245	0,025351	0,068223	0,109257		0,004498
6	6	0,000103	0,000050	0,000123	0,000185	0,004498	

Εικόνα 10.74: Δοκιμή Duncan (Ύψος φέτας, Χρόνος)

Duncan test; variable Ύψος φέτας (Freeze)					
Homogenous Groups, alpha = ,05000					
Error: Between MS = ,20480, df = 20,000					
Cell No.	Χρόνος κατάψυξης	Ύψος φέτας Mean	1	2	3
6	6	5,820000			****
5	5	6,740000	****		
4	4	7,220000	****	****	
3	3	7,320000	****	****	
1	1	7,340000	****	****	
2	2	7,500000		****	

Εικόνα 10.75: Δοκιμή Duncan – ομαδοποίηση (Ύψος φέτας, Χρόνος)

Univariate Tests of Significance for Χρώμα κόρας (Freeze)					
Sigma-restricted parameterization					
Effective hypothesis decomposition					
Effect	SS	Degr. of Freedom	MS	F	p
Intercept	136568,7	1	136568,7	8757,621	0,000000
Αναλογία αλεύρων	1288,0	4	322,0	20,648	0,000001
Χρόνος κατάψυξης	49,0	5	9,8	0,628	0,680465
Error	311,9	20	15,6		

Εικόνα 10.76: Ανάλυση επίδρασης δύο παραγόντων στη μεταβολή του χρώματος της κόρας των κατεψυγμένων αρτοσκευασμάτων

Duncan test; variable Χρώμα κόρας (Freeze)						
Approximate Probabilities for Post Hoc Tests						
Error: Between MS = 15,594, df = 20,000						
Cell No.	Αναλογία αλεύρων	{1}	{2}	{3}	{4}	{5}
		79,747	68,285	65,078	62,540	61,703
1	1		0,000207	0,000075	0,000059	0,000033
2	2	0,000207		0,175069	0,025916	0,014137
3	3	0,000075	0,175069		0,278900	0,176137
4	4	0,000059	0,025916	0,278900		0,717627
5	5	0,000033	0,014137	0,176137	0,717627	

Εικόνα 10.77: Δοκιμή Duncan (Χρώμα κόρας, αναλογία αλεύρων)

Duncan test; variable Χρώμα κόρας (Freeze)					
Homogenous Groups, alpha = ,05000					
Error: Between MS = 15,594, df = 20,000					
Cell No.	Αναλογία αλεύρων	Χρώμα κόρας Mean	1	2	3
5	5	61,70333	****		
4	4	62,54000	****		
3	3	65,07833	****	****	
2	2	68,28500		****	
1	1	79,74667			****

Εικόνα 10.78: Δοκιμή Duncan - ομαδοποίηση (Χρώμα κόρας, αναλογία αλεύρων)

Effect	Univariate Tests of Significance for Χρώμα ψίχας (Freeze) Sigma-restricted parameterization Effective hypothesis decomposition				
	SS	Degr. of Freedom	MS	F	p
Intercept	139350,4	1	139350,4	24425,32	0,000000
Αναλογία αλεύρων	423,7	4	105,9	18,57	0,000002
Χρόνος κατάψυξης	95,2	5	19,0	3,34	0,023595
Error	114,1	20	5,7		

Εικόνα 10.79: Ανάλυση επίδρασης δύο παραγόντων στη μεταβολή του χρώματος της ψίχας των κατεψυγμένων αρτοσκευασμάτων

Duncan test; variable Χρώμα ψίχας (Freeze) Approximate Probabilities for Post Hoc Tests Error: Between MS = 5,7052, df = 20,000						
Cell No.	Αναλογία αλεύρων	{1}	{2}	{3}	{4}	{5}
		74,425	69,627	67,987	64,817	63,917
1	1		0,002510	0,000266	0,000059	0,000033
2	2	0,002510		0,248389	0,003193	0,000915
3	3	0,000266	0,248389		0,032560	0,010411
4	4	0,000059	0,003193	0,032560		0,521571
5	5	0,000033	0,000915	0,010411	0,521571	

Εικόνα 10.80: Δοκιμή Duncan (Χρώμα ψίχας, αναλογία αλεύρων)

Duncan test; variable Χρώμα ψίχας (Freeze) Homogenous Groups, alpha = ,05000 Error: Between MS = 5,7052, df = 20,000					
Cell No.	Αναλογία αλεύρων	Χρώμα ψίχας Mean	1	2	3
5	5	63,91667	****		
4	4	64,81667	****		
3	3	67,98667		****	
2	2	69,62667		****	
1	1	74,42500			****

Εικόνα 10.81: Δοκιμή Duncan - ομαδοποίηση (Χρώμα ψίχας, αναλογία αλεύρων)

Duncan test; variable Χρώμα ψίχας (Freeze) Approximate Probabilities for Post Hoc Tests Error: Between MS = 5,7052, df = 20,000							
Cell No.	Χρόνος κατάψυξης	{1}	{2}	{3}	{4}	{5}	{6}
		69,350	69,828	69,762	68,360	66,596	65,030
1	1		0,768802	0,787977	0,519859	0,098792	0,014963
2	2	0,768802		0,965706	0,384501	0,067202	0,009548
3	3	0,787977	0,965706		0,391243	0,067310	0,009513
4	4	0,519859	0,384501	0,391243		0,256785	0,048634
5	5	0,098792	0,067202	0,067310	0,256785		0,312415
6	6	0,014963	0,009548	0,009513	0,048634	0,312415	

Εικόνα 10.82: Δοκιμή Duncan (Χρώμα ψίχας, χρόνος)

Duncan test; variable Χρώμα ψίχας (Freeze) Homogenous Groups, alpha = ,05000 Error: Between MS = 5,7052, df = 20,000				
Cell No.	Χρόνος κατάψυξης	Χρώμα ψίχας Mean	1	2
6	6	65,03000		****
5	5	66,59600	****	****
4	4	68,36000	****	
1	1	69,35000	****	
3	3	69,76200	****	
2	2	69,82800	****	

Εικόνα 10.83: Δοκιμή Duncan - ομαδοποίηση (Χρώμα ψίχας, χρόνος)

Univariate Tests of Significance for Ενεργότητα (Freeze) Sigma-restricted parameterization Effective hypothesis decomposition					
Effect	SS	Degr. of Freedom	MS	F	p
Intercept	24,76189	1	24,76189	40541,36	0,000000
Αναλογία αλεύρων	0,00133	4	0,00033	0,55	0,703776
Χρόνος κατάψυξης	0,03334	5	0,00667	10,92	0,000036
Error	0,01222	20	0,00061		

Εικόνα 10.84: Ανάλυση επίδρασης δύο παραγόντων στη μεταβολή της ενεργότητας των κατεψυγμένων αρτοσκευασμάτων

Duncan test; variable Ενεργότητα (Freeze) Approximate Probabilities for Post Hoc Tests Error: Between MS = ,00061, df = 20,000							
Cell No.	Χρόνος κατάψυξης	{1}	{2}	{3}	{4}	{5}	{6}
1	1	,93814	0,789087	0,614626	0,483069	0,000163	0,000317
2	2	0,789087		0,789087	0,635550	0,000252	0,000500
3	3	0,614626	0,789087		0,813453	0,000395	0,000743
4	4	0,483069	0,635550	0,813453		0,000543	0,001005
5	5	0,000163	0,000252	0,000395	0,000543		0,704326
6	6	0,000317	0,000500	0,000743	0,001005	0,704326	

Εικόνα 10.85: Δοκιμή Duncan (Ενεργότητα, χρόνος)

Duncan test; variable Ενεργότητα (Freeze)				
Homogenous Groups, alpha = ,05000				
Error: Between MS = ,00061, df = 20,000				
Cell No.	Χρόνος κατάψυξης	Ενεργότητα Mean	1	2
5	5	0,858720		****
6	6	0,864740		****
4	4	0,925920	****	
3	3	0,929660	****	
2	2	0,933900	****	
1	1	0,938140	****	

Εικόνα 10.86: Δοκιμή Duncan - ομαδοποίηση (Ενεργότητα, χρόνος)

Univariate Tests of Significance for Σκληρότητα κόρας (Freeze)					
Sigma-restricted parameterization					
Effective hypothesis decomposition					
Effect	SS	Degr. of Freedom	MS	F	p
Intercept	14465,93	1	14465,93	606,3416	0,000000
Αναλογία αλεύρων	484,05	4	121,01	5,0723	0,005485
Χρόνος κατάψυξης	166,07	5	33,21	1,3922	0,269410
Error	477,15	20	23,86		

Εικόνα 10.87: Ανάλυση επίδρασης δύο παραγόντων στη μεταβολή της σκληρότητας της κόρας των κατεψυγμένων αρτοσκευασμάτων

Duncan test; variable Σκληρότητα κόρας (Freeze)						
Approximate Probabilities for Post Hoc Tests						
Error: Between MS = 23,858, df = 20,000						
Cell No.	Αναλογία αλεύρων	{1}	{2}	{3}	{4}	{5}
1	1	19,712	0,642517	0,702462	0,102589	0,006596
2	2	0,642517	18,302	0,911822	0,054334	0,003039
3	3	0,702462	0,911822	18,618	0,059489	0,003377
4	4	0,102589	0,054334	0,059489	24,538	0,162937
5	5	0,006596	0,003039	0,003377	0,162937	28,625

Εικόνα 10.88: Δοκιμή Duncan (Σκληρότητα κόρας, Αναλογία αλεύρων)

Duncan test; variable Σκληρότητα κόρας (Freeze)				
Homogenous Groups, alpha = ,05000				
Error: Between MS = 23,858, df = 20,000				
Cell No.	Αναλογία αλεύρων	Σκληρότητα κόρας Mean	1	2
2	2	18,30167	****	
3	3	18,61833	****	
1	1	19,71167	****	
4	4	24,53833	****	****
5	5	28,62500		****

Εικόνα 10.89: Δοκιμή Duncan - ομαδοποίηση (Σκληρότητα κόρας, Αναλογία αλεύρων)

Effect	Univariate Tests of Significance for Σκληρότητα ψίχας (κοπίδι) (Freeze) Sigma-restricted parameterization Effective hypothesis decomposition				
	SS	Degr. of Freedom	MS	F	p
Intercept	2742,764	1	2742,764	519,5443	0,000000
Αναλογία αλεύρων	413,809	4	103,452	19,5963	0,000001
Χρόνος κατάψυξης	99,589	5	19,918	3,7729	0,014378
Error	105,583	20	5,279		

Εικόνα 10.90: Ανάλυση επίδρασης δύο παραγόντων στη μεταβολή της σκληρότητας της ψίχας των κατεψυγμένων αρτοσκευασμάτων (δοκιμή με κοπίδι)

Cell No.	Αναλογία αλεύρων	Duncan test; variable Σκληρότητα ψίχας (κοπίδι) (Freeze) Approximate Probabilities for Post Hoc Tests Error: Between MS = 5,2792, df = 20,000				
		{1}	{2}	{3}	{4}	{5}
1	1	5,8883	0,703911	0,018207	0,013186	0,000033
2	2	0,703911	6,4000	0,032192	0,025163	0,000059
3	3	0,018207	0,032192	9,4567	0,820617	0,000131
4	4	0,013186	0,025163	0,820617	9,7617	0,000222
5	5	0,000033	0,000059	0,000131	0,000222	16,302

Εικόνα 10.91: Δοκιμή Duncan (Σκληρότητα ψίχας-κοπίδι, Αναλογία αλεύρων)

Cell No.	Αναλογία αλεύρων	Σκληρότητα ψίχας (κοπίδι) Mean	Duncan test; variable Σκληρότητα ψίχας (κοπίδι) (Freeze) Homogenous Groups, alpha = ,05000 Error: Between MS = 5,2792, df = 20,000		
			1	2	3
1	1	5,88833	****		
2	2	6,40000	****		
3	3	9,45667		****	
4	4	9,76167		****	
5	5	16,30167			****

Εικόνα 10.92: Δοκιμή Duncan - ομαδοποίηση (Σκληρότητα ψίχας-κοπίδι, Αναλογία αλεύρων)

Duncan test; variable Σκληρότητα ψίχας (κοπίδι) (Freeze)							
Approximate Probabilities for Post Hoc Tests							
Error: Between MS = 5,2792, df = 20,000							
Cell No.	Χρόνος κατάψυξης	{1}	{2}	{3}	{4}	{5}	{6}
1	1		0,329771	0,267161	0,159366	0,085494	0,001316
2	2	0,329771		0,837592	0,583017	0,369480	0,010349
3	3	0,267161	0,837592		0,705167	0,461559	0,014197
4	4	0,159366	0,583017	0,705167		0,685208	0,026946
5	5	0,085494	0,369480	0,461559	0,685208		0,049800
6	6	0,001316	0,010349	0,014197	0,026946	0,049800	

Εικόνα 10.93: Δοκιμή Duncan (Σκληρότητα ψίχας-κοπίδι, Χρόνος)

Duncan test; variable Σκληρότητα ψίχας (κοπίδι) (Freeze)					
Homogenous Groups, alpha = ,05000					
Error: Between MS = 5,2792, df = 20,000					
Cell No.	Χρόνος κατάψυξης	Σκληρότητα ψίχας (κοπίδι) Mean	1	2	
1	1	7,16600	****		
2	2	8,61800	****		
3	3	8,92000	****		
4	4	9,47800	****		
5	5	10,07600	****		
6	6	13,11200		****	

Εικόνα 10.94: Δοκιμή Duncan- ομαδοποίηση (Σκληρότητα ψίχας-κοπίδι, Χρόνος)

Univariate Tests of Significance for Σκληρότητα ψίχας (κύλινδρος) (Freeze)						
Sigma-restricted parameterization						
Effective hypothesis decomposition						
Effect	SS	Degr. of Freedom	MS	F	p	
Intercept	3640,127	1	3640,127	219,6739	0,000000	
Αναλογία αλεύρων	796,562	4	199,141	12,0177	0,000039	
Χρόνος κατάψυξης	572,964	5	114,593	6,9154	0,000675	
Error	331,412	20	16,571			

Εικόνα 10.95: Ανάλυση επίδρασης δύο παραγόντων στη μεταβολή της σκληρότητας της ψίχας των κατεψυγμένων αρτοσκευασμάτων (δοκιμή με κύλινδρο)

Duncan test; variable Σκληρότητα ψίχας (κύλινδρος) (Freeze)						
Approximate Probabilities for Post Hoc Tests						
Error: Between MS = 16,571, df = 20,000						
Cell No.	Αναλογία αλεύρων	{1}	{2}	{3}	{4}	{5}
1	1	5,1150	6,9633	10,390	12,755	19,853
1	1		0,440987	0,044982	0,006489	0,000039
2	2	0,440987		0,160505	0,029022	0,000095
3	3	0,044982	0,160505		0,326436	0,000972
4	4	0,006489	0,029022	0,326436		0,006925
5	5	0,000039	0,000095	0,000972	0,006925	

Εικόνα 10.96: Δοκιμή Duncan (Σκληρότητα ψίχας-κύλινδρος, Αναλογία αλεύρων)

Duncan test; variable Σκληρότητα ψίχας (κύλινδρος) (Freeze)						
Homogenous Groups, alpha = ,05000						
Error: Between MS = 16,571, df = 20,000						
Cell No.	Αναλογία αλεύρων	Σκληρότητα ψίχας (κύλινδρος) Mean	1	2	3	4
1	1	5,11500	****			
2	2	6,96333	****	****		
3	3	10,39000		****	****	
4	4	12,75500			****	
5	5	19,85333				****

Εικόνα 10.97: Δοκιμή Duncan - ομαδοποίηση (Σκληρότητα ψίχας-κύλινδρος, Αναλογία αλεύρων)

Duncan test; variable Σκληρότητα ψίχας (κύλινδρος) (Freeze)							
Approximate Probabilities for Post Hoc Tests							
Error: Between MS = 16,571, df = 20,000							
Cell No.	Χρόνος κατάψυξης	{1}	{2}	{3}	{4}	{5}	{6}
1	1	6,5600	9,8600	9,5460	8,0260	12,074	20,026
1	1		0,253839	0,285884	0,575539	0,066930	0,000123
2	2	0,253839		0,904256	0,509286	0,400183	0,001150
3	3	0,285884	0,904256		0,561670	0,364750	0,001065
4	4	0,575539	0,509286	0,561670		0,164143	0,000341
5	5	0,066930	0,400183	0,364750	0,164143		0,005960
6	6	0,000123	0,001150	0,001065	0,000341	0,005960	

Εικόνα 10.98: Δοκιμή Duncan (Σκληρότητα ψίχας-κύλινδρος, Χρόνος)

Duncan test; variable Σκληρότητα ψίχας (κύλινδρος) (Freeze)						
Homogenous Groups, alpha = ,05000						
Error: Between MS = 16,571, df = 20,000						
Cell No.	Χρόνος κατάψυξης	Σκληρότητα ψίχας (κύλινδρος) Mean	1	2		
1	1	6,56000	****			
4	4	8,02600	****			
3	3	9,54600	****			
2	2	9,86000	****			
5	5	12,07400	****			
6	6	20,02600		****		

Εικόνα 10.99: Δοκιμή Duncan - ομαδοποίηση (Σκληρότητα ψίχας-κύλινδρος, Χρόνος)

Univariate Tests of Significance for Ολική αρέσκεια (Freeze)					
Sigma-restricted parameterization					
Effective hypothesis decomposition					
Effect	SS	Degr. of Freedom	MS	F	p
Intercept	1233,925	1	1233,925	2410,167	0,000000
Αναλογία αλεύρων	7,825	4	1,956	3,821	0,018257
Χρόνος κατάψυξης	17,611	5	3,522	6,880	0,000696
Error	10,239	20	0,512		

Εικόνα 10.100: Ανάλυση επίδρασης δύο παραγόντων στη μεταβολή της ολικής αρέσκειας των κατεψυγμένων αρτοσκευασμάτων

Duncan test; variable Ολική αρέσκεια (Freeze)						
Approximate Probabilities for Post Hoc Tests						
Error: Between MS = ,51197, df = 20,000						
Cell No.	Αναλογία αλεύρων	{1}	{2}	{3}	{4}	{5}
1	1	6,6500	6,9667	6,3000	6,6667	5,4833
2	2		0,477871	0,407062	0,968356	0,013697
3	3	0,477871		0,153696	0,476287	0,003542
4	4	0,407062	0,153696		0,411957	0,062139
5	5	0,968356	0,476287	0,411957		0,014814
6	6	0,013697	0,003542	0,062139	0,014814	

Εικόνα 10.101: Δοκιμή Duncan (Ολική αρέσκεια, αναλογία αλεύρων)

Duncan test; variable Ολική αρέσκεια (Freeze) Homogenous Groups, alpha = ,05000 Error: Between MS = ,51197, df = 20,000						
Cell No.	Αναλογία αλεύρων	Ολική αρέσκεια Mean	1	2		
5	5	5,483333		****		
3	3	6,300000	****	****		
1	1	6,650000	****			
4	4	6,666667	****			
2	2	6,966667	****			

Εικόνα 10.102: Δοκιμή Duncan - ομαδοποίηση (Ολική αρέσκεια, αναλογία αλεύρων)

Duncan test; variable Ολική αρέσκεια (Freeze) Approximate Probabilities for Post Hoc Tests Error: Between MS = ,51197, df = 20,000							
Cell No.	Χρόνος κατάψυξης	{1} 7,2600	{2} 7,1200	{3} 6,7000	{4} 6,4600	{5} 5,9400	{6} 5,0000
1	1		0,760375	0,255572	0,119456	0,014923	0,000194
2	2	0,760375		0,364579	0,182380	0,025134	0,000324
3	3	0,255572	0,364579		0,601839	0,126795	0,002132
4	4	0,119456	0,182380	0,601839		0,264211	0,005710
5	5	0,014923	0,025134	0,126795	0,264211		0,051007
6	6	0,000194	0,000324	0,002132	0,005710	0,051007	

Εικόνα 10.103: Δοκιμή Duncan (Ολική αρέσκεια, χρόνος)

Duncan test; variable Ολική αρέσκεια (Freeze) Homogenous Groups, alpha = ,05000 Error: Between MS = ,51197, df = 20,000						
Cell No.	Χρόνος κατάψυξης	Ολική αρέσκεια Mean	1	2	3	
6	6	5,000000			****	
5	5	5,940000		****	****	
4	4	6,460000	****	****		
3	3	6,700000	****	****		
2	2	7,120000	****			
1	1	7,260000	****			

Εικόνα 10.104: Δοκιμή Duncan - ομαδοποίηση (Ολική αρέσκεια, χρόνος)