

ΠΡΟΛΟΓΟΣ

Η εκπόνηση της διπλωματικής εργασίας «ΑΝΑΠΤΥΞΗ ΚΑΙΝΟΤΟΜΩΝ ΒΙΟΜΗΧΑΝΙΚΩΝ ΠΡΟΪΝΤΩΝ ΕΚΒΟΛΗΣ ΜΕ ΠΡΟΣΘΗΚΗ ΠΡΕΒΙΟΤΙΚΩΝ ΙΝΩΝ- ΦΥΤΙΚΩΝ ΚΑΙ ΖΩΙΚΩΝ ΤΡΟΦΙΜΩΝ. ΜΕΛΕΤΗ ΤΩΝ ΙΔΙΟΤΗΤΩΝ ΤΟΥΣ.» πραγματοποιήθηκε στο Εργαστήριο Σχεδιασμού και Ανάλυσης Διεργασιών (Σ.Α.Δ) της Σχολής Χημικών Μηχανικών του Εθνικού Μετσόβιου Πολυτεχνείου. Η ανάθεση του θέματος έγινε από την Αναπληρώτρια Καθηγήτρια Μαγδαληνή Κροκίδα, ενώ στην τριμελή εξεταστική επιτροπή συμμετείχαν επίσης η Αναπληρώτρια Καθηγήτρια Αθηνά Παππά και ο Καθηγητής Ιωάννης Ζιώμας.

Η διπλωματική αυτή ήταν για εμένα ένα ευχάριστο ταξίδι γεμάτο εμπειρίες, γνώση και την ηθική ικανοποίηση του να παράγεις ένα χειροπιαστό προϊόν, το οποίο είναι το δικό σου δημιούργημα και το ακόμα πιο ευχάριστο, το προϊόν αυτό να τρώγεται! Ο κόσμος της μηχανικής τροφίμων, μου “άνοιξε” τα μάτια λοιπόν σε μια περίοδο που έψαχνα ένα σοβαρό κίνητρο στο να επαναδραστηριοποιηθώ στη σχολή και να δώσω όλη μου την ενέργεια και όρεξη σε κάτι δημιουργικό. Για καλή μου τύχη λοιπόν ένα πρωί, επισκέφτηκα την κα. Μαγδαληνή Κροκίδα, η οποία μου έδειξε το δρόμο.

Θα ήθελα να ευχαριστήσω ιδιαίτερα τη κα. Μαγδαληνή Κροκίδα για την ευκαιρία που μου έδωσε να εκπονήσω την παρούσα διπλωματική εργασία υπό την επίβλεψη της, για την εμπιστοσύνη που μου έδειξε σε κάθε μου βήμα, στο ότι ήταν πάντα διαθέσιμη να μου προσφέρει γνώσεις για την βαθύτερη κατανόηση της μηχανικής τροφίμων και να ακούσει και να μου καταστήσει εφικτή κάθε καινούργια ιδέα που είχα πάνω στην ανάπτυξη και εξέλιξη της παρούσας διπλωματικής εργασίας.

Θα ήθελα επίσης να ευχαριστήσω θερμά τη Δρ. Ιωάννα Κατσαβού για την καθημερινή υποστήριξή της, τόσο στην παροχή τεχνογνωσίας, στην οργάνωση και εκτέλεση των πειραματικών δοκιμών και αναλύσεων, όσο και στην πολύτιμη συμβολή της στην αξιολόγηση των αποτελεσμάτων. Η Δρ. Ιωάννα Κατσαβού πραγματικά ήταν πάντα “εκεί” με χαμόγελο και όρεξη να μου λύσει κάθε μου απορία, να ακούσει κάθε μου ιδέα και να με βοηθήσει ώστε αυτή η ιδέα να γίνει πραγματικότητα.

Επίσης θα ήθελα να ευχαριστήσω και τον κ. Παναγιώτη Μιχαηλίδη, μέλος του εργαστηρίου, για την πολύ σημαντική βοήθεια που παρείχε τόσο κατά την διάρκεια παραγωγής των τροφίμων εκβολής, όσο και για τη λειτουργία του εργαστηριακού εκβολέα.

Επιπλέον, θα ήθελα να ευχαριστήσω ειλικρινά τα μέλη του Εργαστηρίου Σχεδιασμού και Ανάλυσης Διεργασιών, Σοφία Παπαδάκη, Βάσια Οικονομοπούλου, Παναγιώτα Ελένη, Κωνσταντίνα Κυριακοπούλου και Χρήστο Μπουκουβάλα, για τη βοήθειά τους σε θέματα τεχνογνωσίας και για το πολύ ευχάριστο, άνετο και φιλικό κλίμα που επικρατούσε καθ’ όλη τη

διάρκεια της θητείας μου στο εργαστήριο Σχεδιασμού και Ανάλυσης Διεργασιών της σχολής Χημικών Μηχανικών του Εθνικού Μετσόβιου Πολυτεχνείου.

Επίσης θα ήθελα να ευχαριστήσω την εταιρεία Agrino, η οποία μας χορήγησε το ρυζάλευρο που χρησιμοποιήσαμε ως βάση στα προϊόντα εκβολής.

Τέλος, θα ήθελα να ευχαριστήσω τους φίλους και την παρέα μου, που ήταν δίπλα μου σε όλες τις στιγμές των σπουδών μου και βεβαίως τους γονείς μου, Αλίκη Μόσχου και Βύρων Σεραϊδάρη, οι οποίοι με υπομονή, κατανόηση και πολύ αγάπη μου συμπαραστάθηκαν και με στήριξαν καθ' όλη τη διάρκεια των σπουδών μου.

ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ

ΠΡΟΛΟΓΟΣ	i
ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ	iii
ΠΕΡΙΛΗΨΗ.....	vii
1. ΘΕΩΡΗΤΙΚΟ ΜΕΡΟΣ.....	1
1.1 ΠΡΩΤΕΣ ΥΛΕΣ.....	1
1.1.1 ΠΡΕΒΙΟΤΙΚΑ.....	1
1.1.2 ΙΝΟΥΛΙΝΗ	1
1.1.3 ΡΥΖΑΛΕΥΡΟ	2
1.2 ΔΙΕΡΓΑΣΙΑ ΕΚΒΟΛΗΣ ΤΡΟΦΙΜΩΝ.....	2
1.2.1 ΕΚΒΟΛΕΑΣ	2
1.2.1.1 ΕΚΒΟΛΕΑΣ ΔΙΠΛΟΥ ΚΟΧΛΙΑ.....	3
1.3 ΚΑΙΝΟΤΟΜΑ ΠΡΟΪΟΝΤΑ ΕΚΒΟΛΗΣ.....	4
1.3.1 ΧΗΜΙΚΗ ΕΦΑΡΜΟΓΗ ΚΑΡΥΚΕΥΜΑΤΩΝ ΣΕ ΠΡΟΪΟΝΤΑ ΕΚΒΟΛΗΣ.....	4
1.4 ΘΕΡΜΟΦΥΣΙΚΕΣ ΙΔΙΟΤΗΤΕΣ ΤΡΟΦΙΜΩΝ	6
1.4.1 ΔΟΜΙΚΕΣ ΙΔΙΟΤΗΤΕΣ ΠΡΟΪΟΝΤΩΝ ΕΚΒΟΛΗΣ.....	6
1.4.1.1 ΗΛΕΚΤΡΟΝΙΚΗ ΜΙΚΡΟΣΚΟΠΙΑ ΣΑΡΩΣΗΣ.....	9
1.4.2 ΙΔΙΟΤΗΤΕΣ ΥΦΗΣ- ΜΗΧΑΝΙΚΕΣ ΙΔΙΟΤΗΤΕΣ ΠΡΟΪΟΝΤΩΝ ΕΚΒΟΛΗΣ.....	12
1.4.3 ΛΕΙΤΟΥΡΓΙΚΕΣ ΙΔΙΟΤΗΤΕΣ ΠΡΟΪΟΝΤΩΝ ΕΚΒΟΛΗΣ	13
1.4.4 ΟΠΤΙΚΕΣ ΙΔΙΟΤΗΤΕΣ ΠΡΟΪΟΝΤΩΝ ΕΚΒΟΛΗΣ.....	14
1.4.5 ΟΡΓΑΝΟΛΗΠΤΙΚΗ ΑΞΙΟΛΟΓΗΣΗ ΤΩΝ ΠΡΟΪΟΝΤΩΝ ΕΚΒΟΛΗΣ.....	15
1.4.6 ΘΕΡΜΙΚΕΣ ΙΔΙΟΤΗΤΕΣ.....	16
1.4.7 ΦΥΣΙΚΟΧΗΜΙΚΕΣ ΙΔΙΟΤΗΤΕΣ	17
2. ΠΕΙΡΑΜΑΤΙΚΟ ΜΕΡΟΣ.....	21
2.1 ΕΙΣΑΓΩΓΗ.....	21
2.2 ΠΕΙΡΑΜΑΤΙΚΟΣ ΣΧΕΔΙΑΣΜΟΣ	23

2.2.1 ΠΕΙΡΑΜΑΤΙΚΟΣ ΣΧΕΔΙΑΣΜΟΣ ΓΙΑ ΜΕΙΓΜΑ ΡΥΖΑΛΕΥΡΟΥ- ΙΝΟΥΛΙΝΗΣ.....	23
2.2.2 ΠΕΙΡΑΜΑΤΙΚΟΣ ΣΧΕΔΙΑΣΜΟΣ ΓΙΑ ΜΕΙΓΜΑ ΡΥΖΑΛΕΥΡΟΥ- ΦΥΤΙΚΩΝ ΚΑΙ ΖΩΙΚΩΝ ΠΡΟΪΟΝΤΩΝ25	
2.3 ΠΕΙΡΑΜΑΤΙΚΗ ΔΙΑΔΙΚΑΣΙΑ	26
2.3.1 ΠΡΟΕΤΟΙΜΑΣΙΑ ΜΙΓΜΑΤΩΝ	26
2.3.2 ΠΑΡΑΓΩΓΗ ΠΡΟΪΟΝΤΩΝ ΕΚΒΟΛΗΣ	28
2.4 ΠΡΟΣΔΙΟΡΙΣΜΟΣ ΙΔΙΟΤΗΤΩΝ	31
2.4.1 ΔΟΜΙΚΕΣ ΙΔΙΟΤΗΤΕΣ	31
2.4.1.1 ΗΛΕΚΤΡΟΝΙΚΗ ΜΙΚΡΟΣΚΟΠΙΑ ΣΑΡΩΣΗΣ.....	33
2.4.2 ΙΔΙΟΤΗΤΕΣ ΥΦΗΣ- ΜΗΧΑΝΙΚΕΣ ΙΔΙΟΤΗΤΕΣ.....	33
2.4.3 ΛΕΙΤΟΥΡΓΙΚΕΣ ΙΔΙΟΤΗΤΕΣ	35
2.4.3.1 ΙΚΑΝΟΤΗΤΑ ΑΠΟΡΡΟΦΗΣΗΣ ΝΕΡΟΥ ΚΑΙ ΙΚΑΝΟΤΗΤΑ ΔΙΑΛΥΤΟΤΗΤΑΣ ΣΕ ΝΕΡΟ	35
2.4.3.2 ΙΚΑΝΟΤΗΤΑ ΑΠΟΡΡΟΦΗΣΗΣ ΛΑΔΙΟΥ	35
2.4.4 ΟΠΤΙΚΕΣ ΙΔΙΟΤΗΤΕΣ.....	36
2.4.5 ΟΡΓΑΝΟΛΗΠΤΙΚΑ ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΤΙΚΑ ΚΑΙ ΟΛΙΚΗ ΑΠΟΔΟΧΗ	37
2.4.6 ΘΕΡΜΙΚΕΣ ΙΔΙΟΤΗΤΕΣ- ΜΕΤΡΗΣΗ ΘΕΡΜΟΚΡΑΣΙΑΣ ΥΑΛΩΔΟΥΣ ΜΕΤΑΠΤΩΣΗΣ ΜΕ ΧΡΗΣΗ DSC41	
2.3.7 ΦΥΣΙΚΟΧΗΜΙΚΕΣ ΙΔΙΟΤΗΤΕΣ- ΙΣΟΘΕΡΜΕΣ ΡΟΦΗΣΗΣ ΥΔΑΤΟΣ.....	44
3. ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ.....	45
3.1 ΔΟΜΙΚΕΣ ΙΔΙΟΤΗΤΕΣ ΠΡΟΪΟΝΤΩΝ ΕΚΒΟΛΗΣ.....	45
3.1.1 ΠΡΑΓΜΑΤΙΚΗ ΠΥΚΝΟΤΗΤΑ ΠΡΟΪΟΝΤΩΝ ΕΚΒΟΛΗΣ ΜΕ ΠΡΟΣΘΕΤΟ ΤΗΝ ΙΝΟΥΛΙΝΗ	45
3.1.2 ΠΡΑΓΜΑΤΙΚΗ ΠΥΚΝΟΤΗΤΑ ΠΡΟΪΟΝΤΩΝ ΕΚΒΟΛΗΣ ΜΕ ΠΡΟΣΘΕΤΑ ΦΥΤΙΚΗΣ ΚΑΙ ΖΩΙΚΗΣ ΠΡΟΕΛΕΥΣΗΣ.....	45
3.1.3 ΦΑΙΝΟΜΕΝΗ ΠΥΚΝΟΤΗΤΑ ΠΡΟΪΟΝΤΩΝ ΕΚΒΟΛΗΣ ΜΕ ΠΡΟΣΘΕΤΟ ΤΗΝ ΙΝΟΥΛΙΝΗ	47
3.1.4 ΠΟΡΩΔΕΣ ΠΡΟΪΟΝΤΩΝ ΕΚΒΟΛΗΣ ΜΕ ΠΡΟΣΘΕΤΟ ΤΗΝ ΙΝΟΥΛΙΝΗ	49
3.1.5 ΣΥΝΤΕΛΕΣΤΗΣ ΔΙΟΓΚΩΣΗΣ ΠΡΟΪΟΝΤΩΝ ΕΚΒΟΛΗΣ ΜΕ ΠΡΟΣΘΕΤΟ ΤΗΝ ΙΝΟΥΛΙΝΗ	50
3.1.6 ΦΑΙΝΟΜΕΝΗ ΠΥΚΝΟΤΗΤΑ ΠΡΟΪΟΝΤΩΝ ΕΚΒΟΛΗΣ ΜΕ ΠΡΟΣΘΕΤΑ ΦΥΤΙΚΗΣ ΚΑΙ ΖΩΙΚΗΣ ΠΡΟΕΛΕΥΣΗΣ	52

3.1.7 ΠΟΡΩΔΕΣ ΠΡΟΪΟΝΤΩΝ ΕΚΒΟΛΗΣ ΜΕ ΠΡΟΣΘΕΤΑ ΦΥΤΙΚΗΣ ΚΑΙ ΖΩΙΚΗΣ ΠΡΟΕΛΕΥΣΗΣ	54
3.1.8 ΣΥΝΤΕΛΕΣΤΗΣ ΔΙΟΓΚΩΣΗΣ ΠΡΟΪΟΝΤΩΝ ΕΚΒΟΛΗΣ ΜΕ ΠΡΟΣΘΕΤΑ ΦΥΤΙΚΗΣ ΚΑΙ ΖΩΙΚΗΣ ΠΡΟΕΛΕΥΣΗΣ	55
3.1.9 ΗΛΕΚΤΡΟΝΙΚΗ ΜΙΚΡΟΣΚΟΠΙΑ ΣΑΡΩΣΗΣ.....	56
3.2 ΙΔΙΟΤΗΤΕΣ ΥΦΗΣ- ΜΗΧΑΝΙΚΕΣ ΙΔΙΟΤΗΤΕΣ ΠΡΟΪΟΝΤΩΝ ΕΚΒΟΛΗΣ.....	59
3.2.1 ΙΔΙΟΤΗΤΕΣ ΥΦΗΣ- ΜΗΧΑΝΙΚΕΣ ΙΔΙΟΤΗΤΕΣ ΠΡΟΣΘΕΤΟΥ ΙΝΟΥΛΙΝΗΣ	60
3.2.2 ΙΔΙΟΤΗΤΕΣ ΥΦΗΣ- ΜΗΧΑΝΙΚΕΣ ΙΔΙΟΤΗΤΕΣ ΦΥΤΙΚΩΝ ΚΑΙ ΖΩΙΚΩΝ ΠΡΟΣΘΕΤΩΝ.....	65
3.3 ΛΕΙΤΟΥΡΓΙΚΕΣ ΙΔΙΟΤΗΤΕΣ ΤΡΟΦΙΜΩΝ ΕΚΒΟΛΗΣ.....	70
3.3.1 ΙΚΑΝΟΤΗΤΑ ΑΠΟΡΡΟΦΗΣΗΣ ΝΕΡΟΥ ΙΑΝ.....	70
3.3.2 ΙΚΑΝΟΤΗΤΑ ΔΙΑΛΥΤΟΤΗΤΑΣ ΣΕ ΝΕΡΟ ΙΔΝ	72
3.3.3 ΙΚΑΝΟΤΗΤΑ ΑΠΟΡΡΟΦΗΣΗΣ ΕΛΑΙΟΥ ΙΑΕ	74
3.4 ΟΠΤΙΚΕΣ ΙΔΙΟΤΗΤΕΣ	75
3.5 ΟΡΓΑΝΟΛΗΠΤΙΚΗ ΑΞΙΟΛΟΓΗΣΗ ΤΩΝ ΠΡΟΪΟΝΤΩΝ ΕΚΒΟΛΗΣ.....	78
3.5.1 ΟΡΓΑΝΟΛΗΠΤΙΚΗ ΑΞΙΟΛΟΓΗΣΗ ΤΩΝ ΠΡΟΪΟΝΤΩΝ ΕΚΒΟΛΗΣ ΜΕ ΠΡΟΣΘΕΤΟ ΤΗΝ ΙΝΟΥΛΙΝΗ	78
3.5.2 ΟΡΓΑΝΟΛΗΠΤΙΚΗ ΑΞΙΟΛΟΓΗΣΗ ΤΩΝ ΠΡΟΪΟΝΤΩΝ ΕΚΒΟΛΗΣ ΦΥΤΙΚΩΝ ΚΑΙ ΖΩΙΚΩΝ ΠΡΟΣΘΕΤΩΝ.....	84
3.6 ΘΕΡΜΙΚΕΣ ΙΔΙΟΤΗΤΕΣ- ΜΕΤΡΗΣΗ ΘΕΡΜΟΚΡΑΣΙΑΣ ΥΑΛΩΔΟΥΣ ΜΕΤΑΠΤΩΣΗΣ ΜΕ ΧΡΗΣΗ DSC	90
3.7 ΦΥΣΙΚΟΧΗΜΙΚΕΣ ΙΔΙΟΤΗΤΕΣ- ΙΣΟΘΕΡΜΕΣ ΡΟΦΗΣΗΣ	94
4. ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ	97
5. ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ	101

ΠΕΡΙΛΗΨΗ

Ο σύγχρονος τρόπος ζωής έχει στρέψει όλο και περισσότερο το ενδιαφέρον των καταναλωτών στην κατανάλωση «έτοιμων» προϊόντων- σνακ, τα οποία όμως ταυτόχρονα διατηρούν τα διατροφικά τους χαρακτηριστικά. Επίσης, τα τελευταία χρόνια μεγάλη έμφαση έχει δοθεί στη Μεσογειακή διατροφή, καθώς επίσης και στην κατανάλωση φυτικών συστατικών, τα οποία προάγουν την υγεία. Βασικό συστατικό της Μεσογειακής διατροφής αποτελούν τα φρούτα και τα λαχανικά, τα οποία είναι μια σπουδαία πηγή φυτικών ινών, βιταμινών, μετάλλων και άλλων θρεπτικών συστατικών. Συνεπώς εμφανίζεται η αγοραστική ανάγκη για «έτοιμα» προϊόντα που προσαρμόζονται στο εν λόγω σύγχρονο τρόπο ζωής και συνάμα συνδυάζουν τις υγιεινές διατροφικές αξίες με ευχάριστη γεύση και υφή. Η εκβολή είναι μια διεργασία τροφίμων, η οποία μπορεί να παράγει μια μεγάλη ποικιλία προϊόντων- σνακ με τα παραπάνω χαρακτηριστικά από απλές πρώτες ύλες. Η αποδοχή των προϊόντων αυτών από μέρους των καταναλωτών βασίζεται στο σωστό σχεδιασμό των ιδιοτήτων που χαρακτηρίζουν την ποιότητά τους.

Ο πρώτος στόχος της παρούσας διπλωματικής εργασίας είναι η μελέτη της επίδρασης των παραμέτρων της διεργασίας και των χαρακτηριστικών της πρώτης ύλης στις ιδιότητες και τα χαρακτηριστικά ποιότητας των τροφίμων εκβολής με πρόσθετο το πρεβιοτικό ινουλίνη. Για το σκοπό αυτό παρήχθησαν προϊόντα εκβολής κάτω από διάφορες συνθήκες εκβολής, συμπεριλαμβανομένων της θερμοκρασίας εκβολής, T (140, 160 και 180°C) και της ταχύτητας περιστροφής των κοχλιών του εκβολέα, R (150, 200 και 250rpm). Ως πρώτη ύλη χρησιμοποιήθηκαν μίγματα ρυζάλευρου, νερού (υγρασία X 14, 17 και 20%) και σκόνης ινουλίνης σε συγκέντρωση αναλογίας στο μείγμα, $C=5, 10$ και 15%.

Ο δεύτερος στόχος της εν λόγω διπλωματικής εργασίας είναι η παραγωγή καινοτόμων προϊόντων εκβολής με βάση το ρυζάλευρο και προσθήκη φυτικών και ζωικών τροφίμων, όπως η φράουλα, η πιπεριά, το μήλο, μήλο συνδυασμένο με κανέλα, η πάπρικα, το μπέικον και ο παστοურμάς. Για το σκοπό αυτό παρήχθησαν προϊόντα εκβολής σε σταθερές συνθήκες εκβολής (θερμοκρασίας εκβολής, $T=180^{\circ}\text{C}$, ταχύτητας περιστροφής των κοχλιών του εκβολέα, $R=150$ rpm, για προϊόντα με πρόσθετο το μπέικον και $R=250$ rpm για όλα τα υπόλοιπα). Ως πρώτη ύλη χρησιμοποιήθηκαν μίγματα ρυζάλευρου, νερού (υγρασία 14%) και αποξηραμένης, μέσω της διεργασίας της ξήρανσης υπό κατάψυξη, σκόνης των παραπάνω φυτικών και ζωικών τροφίμων σε διάφορες συγκεντρώσεις αναλογίας, από 2- 15%.

Για τα προϊόντα εκβολής με πρόσθετο την ινουλίνη μελετήθηκαν οι δομικές ιδιότητες (φαινόμενη πυκνότητα, πραγματική πυκνότητα, συντελεστής διόγκωσης, πορώδες), οι ιδιότητες υφής (μέγιστη τάση, μέγιστη παραμόρφωση, μέτρο ελαστικότητας, αριθμός θραύσεων), οι λειτουργικές ιδιότητες (ικανότητα απορρόφησης νερού και ελαίου και ικανότητα διαλυτότητας σε νερό), οι οπτικές ιδιότητες (μεταβολή χρώματος), οι θερμικές

ιδιότητες (θερμοκρασία υαλώδους μετάπτωσης με χρήση DSC), οι φυσικοχημικές ιδιότητες (ισόθερμες ρόφησης με μαθηματική προτυποποίηση GAB) και τέλος τα οργανοληπτικά χαρακτηριστικά (εμφάνιση, γεύση, υφή, ολική αποδοχή).

Για τα καινοτόμα προϊόντα εκβολής μελετήθηκαν οι δομικές ιδιότητες (φαινόμενη πυκνότητα, πραγματική πυκνότητα, συντελεστής διόγκωσης, πορώδες), οι ιδιότητες υφής (μέγιστη τάση , μέγιστη παραμόρφωση, μέτρο ελαστικότητας, αριθμός θραύσεων) και τα οργανοληπτικά χαρακτηριστικά (εμφάνιση, γεύση, υφή, ολική αποδοχή).

Από τις μελέτες αυτές παρατηρήθηκε ότι η μεταβολή των παραμέτρων της διεργασίας (θερμοκρασία εκβολής και ταχύτητα περιστροφής κοχλιών) και των χαρακτηριστικών των πρώτων υλών (αναλογία υλικών τροφοδοσίας και περιεχόμενη υγρασία) είναι καθοριστικής σημασίας για τα χαρακτηριστικά και την ποιότητα των παραγόμενων προϊόντων.

1. ΘΕΩΡΗΤΙΚΟ ΜΕΡΟΣ

1.1 ΠΡΩΤΕΣ ΥΛΕΣ

1.1.1 ΠΡΕΒΙΟΤΙΚΑ

Τα πρεβιοτικά είναι δυσαπορρόφητα συστατικά των τροφίμων που διεγείρουν την ανάπτυξη και την αύξηση της δραστηριότητας ενός ή ορισμένων ειδών βακτηρίων στο παχύ έντερο, βελτιώνοντας έτσι την υγεία του ανθρώπου-ξενιστή τους. Κυριότερα πρεβιοτικά είναι η ινουλίνη, οι γαλακτο-ολιγοσακχαρίτες (GOS) και οι φρουκτο-ολιγοσακχαρίτες (FOS). Αποτελούν στοιχεία φρούτων, λαχανικών ή δημητριακών (όπως το ραδίκι, το κρεμμύδι, το σκόρδο, τα δημητριακά ολικής άλεσης, η μπανάνα ή η σόγια). Χρησιμοποιούνται ως προσθήκη σε γαλακτοκομικά προϊόντα, ροφήματα και γλυκά. Τα πρεβιοτικά δε διασπώνται από τα ένζυμα του γαστρεντερικού συστήματος. Αντίθετα περνούν μέσω του άνω γαστρεντερικού συστήματος στην εντερική κοιλότητα, όπου χρησιμοποιούνται επιλεκτικά από τα ευεργετικά βακτήρια. Μερικά από τα πλεονεκτήματα των πρεβιοτικών, όπως η ινουλίνη και η ολιγοφρουκτόζη, αυξάνει την εντερική απορρόφηση του ασβεστίου και του μαγνησίου από τον οργανισμό, μειώνουν τη χοληστερόλη και τον κίνδυνο εμφάνισης δυσλιπιδαιμιών, καθώς συμμετέχουν στον μεταβολισμό των λιπιδίων και μειώνουν τον κίνδυνο για εμφάνιση κάποιων μορφών καρκίνου (Ελληνικό_Ινστιτούτο_Διατροφής).

1.1.2 ΙΝΟΥΛΙΝΗ

Η ινουλίνη είναι ένας φυσικός πολυσακχαρίτης που παράγεται από πολλά είδη φυτών, κυρίως από ρίζες ή ριζώματα. Ο μοριακός τύπος της ινουλίνης είναι: $C_{6n}H_{10n+2}O_{5n+1}$.

Είναι ένας υδρογονάνθρακας που αποτελείται από β(2,1)- συνδεδεμένα υπολείματα φρουκτόζης, τα οποία ενώνονται με υπολείματα γλυκόζης.

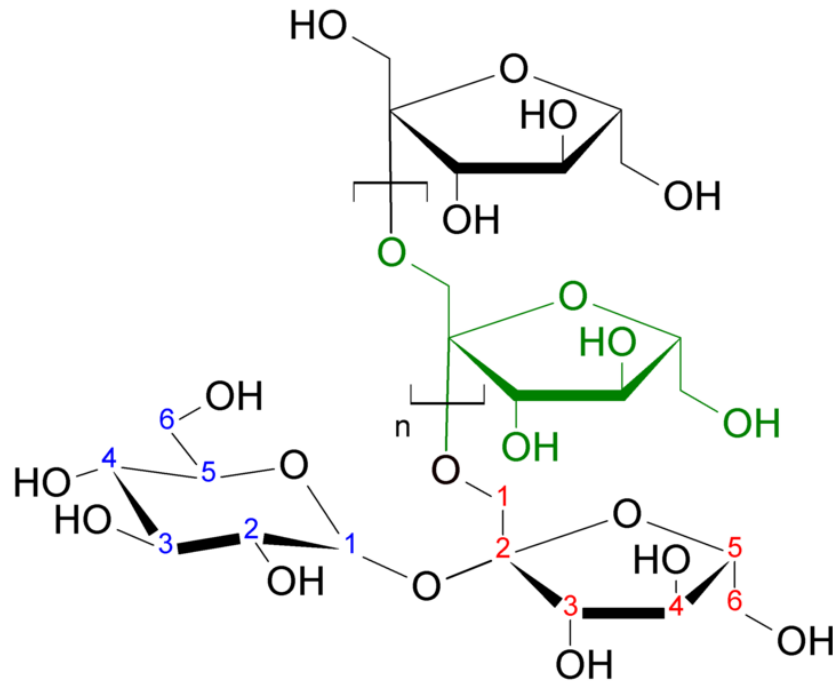
Συναντάται στα: κρεμμύδια (15% επί νωπού βάρους), σκόρδο (4-12%), μπανάνα (0,2%) και στις ρίζες ραδικιών(15-20%).

Μια μεσαίου μήκους αλυσίδα, όπως αυτή που συναντάται στις ρίζες ραδικιού έχει ένα βαθμό πολυμερισμού (DP) που κυμαίνεται από 3-60 μονάδες μονοσακχαρίτη με μέσο όρο περίπου 10. Το προϊόν ενζυματικής υδρόλυσης της ινουλίνης ονομάζεται ολιγοφρουκτόζη (OF) με DP που κυμαίνονται από 2 έως 8 με μέσο όρο περίπου 4. Μακριές αλυσίδες ινουλίνης με DP που κυμαίνονται από 10 έως 60 και μέσο DP 23 μπορεί να παραχθεί από φυσική ινουλίνη με την εφαρμογή ειδικών τεχνικών διαχωρισμού.

Η ινουλίνη είναι ένα πρεβιοτικό που χρησιμοποιείται ευρύτατα στα επεξεργασμένα τρόφιμα ως υποκατάστατο ζάχαρης, για να προσδίδει μια ήπια γλυκιά γεύση. Συντελεί στην απορρόφηση του ασβεστίου, του μαγνησίου και του σιδήρου, ενώ βοηθά και στην ανάπτυξη

ΘΕΩΡΗΤΙΚΟ ΜΕΡΟΣ: Ανάπτυξη καινοτόμων βιομηχανικών προϊόντων εκβολής με προσθήκη πρεβιοτικών ινών- φυτικών και ζωικών τροφίμων. Μελέτη των ιδιοτήτων τους.

φυσικών βακτηρίων του εντέρου, βελτιώνοντας κατά αυτόν τον τρόπο τη λειτουργία του. Τέλος θεωρείται κατάλληλη ουσία για τους διαβητικούς. (Wikipedia) (Meyer, Bayarri, Tírrrega and Costell)



Σχήμα 1-1: Δομή της ινουλίνης.

1.1.3 ΡΥΖΑΛΕΥΡΟ

Το ρυζάλευρο είναι μια μορφή αλευριού που γίνεται από λεπτά αλεσμένους κόκκους ρυζιού. Είναι διαφορετικό από το άμυλο ρυζιού, το οποίο παράγεται συνήθως από διαβροχή ρυζιού σε αλισίβα (υδατικό διάλυμα στάχτης). Το ρυζάλευρο είναι ένα ιδιαίτερα καλό υποκατάστατο του σιτάλευρου, το οποίο προκαλεί ερεθισμό στο πεπτικό σύστημα όσον έχουν δυσανεξία στη γλουτένη. Το ρυζάλευρο χρησιμοποιείται επίσης και ως πυκνωτικό μέσο σε κατεψυγμένα τρόφιμα μιας και αναστέλλει τον υγρό διαχωρισμό (Wikipedia).

1.2 ΔΙΕΡΓΑΣΙΑ ΕΚΒΟΛΗΣ ΤΡΟΦΙΜΩΝ

1.2.1 ΕΚΒΟΛΕΑΣ

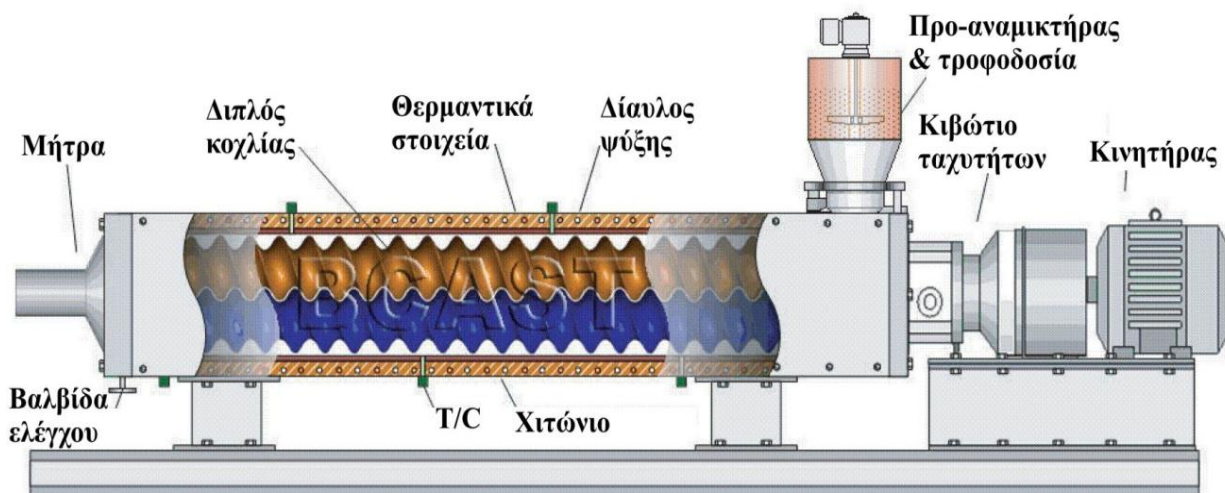
Οι εκβολείς ταξινομούνται σύμφωνα με τη μέθοδο λειτουργίας, ως ψυχροί και θερμοί, και σύμφωνα με τη μέθοδο κατασκευής, ως μονού ή διπλού κοχλίας. Οι αρχές λειτουργίας είναι οι ίδιες για όλους τους τύπους και γενικώς περιλαμβάνουν: Το υλικό τροφοδοσίας με κοκκώδη μορφή τροφοδοτείται στο χιτώνιο του εκβολέα. Κατόπιν, ο κοχλίας (ή κοχλίες) το μεταφέρουν,

ΘΕΩΡΗΤΙΚΟ ΜΕΡΟΣ: Ανάπτυξη καινοτόμων βιομηχανικών προϊόντων εκβολής με προσθήκη πρεβιοτικών ινών- φυτικών και ζωικών τροφίμων. Μελέτη των ιδιοτήτων τους.

το συμπιέζουν και το "δουλεύουν" (διάτμηση ή μάλαξη) έτσι ώστε να μετατραπεί από κοκκώδες σε μια ημιστερεή πλαστικοποιημένη μάζα. Η μάζα αυτή εξαναγκάζεται (εξωθείται) να διέλθει μέσω του στενού ανοίγματος της μήτρας και κατά την έξοδο κόβεται είτε με περιστρεφόμενα μαχαίρια ή με λαιμητόμο, για να δημιουργηθούν διάφορα σχήματα όπως ράβδοι, σφαίρες, "λουκουμάδες", σωλήνες, λωρίδες, στριφτάρια ή κοχύλια. (Mercier 1989; Krokida and Marinou-Kouris 2003)

1.2.1.1 ΕΚΒΟΛΕΑΣ ΔΙΠΛΟΥ ΚΟΧΛΙΑ

Οι εκβολείς διπλού κοχλία φέρουν εντός του χιτωνίου δύο ισομήκεις κοχλίες. Παρουσιάζουν μεγαλύτερη ευκαμψία και καλύτερο έλεγχο της διεργασίας κατά την εκβολή από ότι οι εκβολείς μονού κοχλία. Μπορούν να ταξινομηθούν σε δύο κατηγορίες, τους αντιθέτου περιστροφής και αυτούς της συστροφής. Ο βαθμός στον οποίο οι δύο κοχλίες εμπλέκονται εξαρτάται από το σχεδιασμό των εκβολέων. Οι αυτοκαθαριζόμενοι ή αυτοσκουπιζόμενοι εκβολείς συστροφής αποτελούν τον πλέον κοινό εξοπλισμό, ο οποίος χρησιμοποιείται στη βιομηχανία τροφίμων, καθώς επιτρέπουν μια πιο αποτελεσματική ανάμιξη (Mercier 1989).



Σχήμα 1-2: Εκβολέας διπλού κοχλία.

Στο Σχήμα 1-2 Ο εκβολέας διπλού κοχλία περιλαμβάνει μια διπλότοιχη κεφαλή, ένα περιστρεφόμενο άξονα ο οποίος φέρει τους κοχλίες, το χιτώνιο (περίβλημα) και τη μήτρα ή καλούπι. Στους εκβολείς διπλού κοχλία, υπάρχουν βασικά τρεις ζώνες επεξεργασίας, ονομαστικά: τροφοδοσίας, μάλαξης και τελικής επεξεργασίας (Mercier 1989). Στη ζώνη τροφοδοσίας, παραλαμβάνονται τα προρυθμισμένα ή ξηρά υλικά πριν να μεταφερθούν στη ζώνη μάλαξης. Στο σημείο αυτό μπορεί να εισαχθεί νερό ώστε να επιτευχθεί η απαιτούμενη υγρασία και επίσης για να σχηματισθεί η ζύμη εντός του χιτωνίου του εκβολέα πριν υποστεί περαιτέρω επεξεργασία. Μετά τη ρύθμιση της υγρασίας, τα υλικά μεταφέρονται στη ζώνη μάλαξης. Κατά τη διάρκεια της μεταφοράς, η μάζα των υλικών αποκτά μεγάλη πυκνότητα

ΘΕΩΡΗΤΙΚΟ ΜΕΡΟΣ: Ανάπτυξη καινοτόμων βιομηχανικών προϊόντων εκβολής με προσθήκη πρεβιοτικών ινών- φυτικών και ζωικών τροφίμων. Μελέτη των ιδιοτήτων τους.

λόγω της προσθήκης νερού και ατμού. Στη ζώνη αυτή, τα υλικά υποβάλλονται σε συμπίεση και διάτμηση και επίσης δέχονται θερμική ενέργεια, με συνέπεια την απώλεια της κοκκώδους διαμόρφωσης. Ο μηχανισμός διάτμησης παίζει σπουδαίο στη ζώνη αυτή. Το προς εκβολή υλικό (εξώθημα) δέχεται τη μέγιστη συμπίεση στη ζώνη μάλαξης που έχει ελαστική υφή και στη συνέχεια διέρχονται από τη ζώνη τελικής θέρμανσης. Τα πτερύγια των κοχλιών στη ζώνη αυτή είναι ρηχά και το βήμα βραχύ. Η ζώνη αυτή χρησιμοποιείται για τη συμπίεση και άντληση του υλικού με τη μορφή πλαστικοποιημένης μάζας στη μήτρα (καλούπι). Ο μηχανισμός διάτμησης στη ζώνη αυτή και η θερμοκρασία βρίσκονται στο μέγιστό της (Harper 1978). Για την παραγωγή προϊόντων σνακ, η πλαστικοποιημένη μάζα παραμένει στη ζώνη αυτή για λιγότερο από 5 sec πριν εξαναγκασθεί να διέλθει μέσω της μήτρας. Οι εκβολείς διπλού κοχλία παρουσιάζουν αρκετά πλεονεκτήματα έναντι αυτών του μονού κοχλία όπως, ο ρυθμός απόδοσης να είναι ανεξάρτητος του ρυθμού τροφοδοσίας, καθώς και μπορούν να δεχθούν ελαιώδη, κολλώδη ή πολύ υγρά υλικά, καθώς και έλεγχο της πίεσεως με μεταφορά μπρος – πίσω και ανάπτυξη υψηλής πίεσεως στο βραχύ τελευταίο τμήμα για αποφυγή φθοράς. (Λάζου 2011)

1.3 ΚΑΙΝΟΤΟΜΑ ΠΡΟΪΟΝΤΑ ΕΚΒΟΛΗΣ

Τα σνακ είναι προϊόντα ταχύτατης ανάπτυξης της βιομηχανίας τροφίμων και η εκβολή έχει καθιερωθεί ήδη ως το μέσο παραγωγής νέων και δημιουργικών προϊόντων. Τα περισσότερα προϊόντα που μπορούν να παραχθούν με εκβολή είναι κυρίως τα προϊόντα δημητριακών, όπως το ψωμί, τα δημητριακά πρωινού και τα κέικ.

Η τεχνολογία της εκβολής έχει εξελιχθεί αρκετά (από πλευράς των μηχανικών χαρακτηριστικών για παραγωγή εναλλακτικών προϊόντων) εκτός από τις Ηνωμένες Πολιτείες, στη Γαλλία και τη Γερμανία. Έχει πολλά πλεονεκτήματα όπως:

- μεγάλη ωριαία παραγωγή προϊόντων,
- καθαρή τεχνολογία (χωρίς επιμολύνσεις)
- χαμηλό ενεργειακό κόστος και
- δεν απαιτεί η εγκατάσταση αρκετό χώρο.

Όμως είναι ακριβή μέθοδος διότι έχει μεγάλο κόστος το μηχανικό σύστημα καθώς και ο εξοπλισμός συνολικά.

1.3.1 ΧΗΜΙΚΗ ΕΦΑΡΜΟΓΗ ΚΑΡΥΚΕΥΜΑΤΩΝ ΣΕ ΠΡΟΪΟΝΤΑ ΕΚΒΟΛΗΣ

Όλα σχεδόν τα σνακ ευρείας κατανάλωσης όπως για παράδειγμα τα προϊόντα εκβολής περιέχουν διάφορες γεύσεις, που προέρχονται κυρίως από καρυκεύματα ή μπαχαρικά (π.χ.

ΘΕΩΡΗΤΙΚΟ ΜΕΡΟΣ: Ανάπτυξη καινοτόμων βιομηχανικών προϊόντων εκβολής με προσθήκη πρεβιοτικών ινών- φυτικών και ζωικών τροφίμων. Μελέτη των ιδιοτήτων τους.

μπέικον, πάπρικα) ή αποξηραμένα φρούτα. Η χημική μέθοδος εφαρμογής καρυκευμάτων και μπαχαρικών στο μείγμα επηρεάζει την σύνθεση του προϊόντος εκβολής.

Η πιο κοινή μέθοδος για την εφαρμογή καρυκευμάτων σε σνακ είναι σε ένα κεκλιμένο βαρέλι (drum tumbler) υπό ξηρές συνθήκες. Το καρύκευμα εισάγεται στο βαρέλι με τη μορφή σκόνης και στη συνέχεια εισάγεται το σνακ. Υπό συνεχή ανάδευση, το καρύκευμα καλύπτει την επιφάνεια του σνακ. Σε ορισμένες περιπτώσεις, ψεκάζεται αρχικά λάδι στο σνακ, ώστε να προσκολληθεί το καρύκευμα αποτελεσματικότερα πάνω στην επιφάνεια του.

Μια άλλη μέθοδος εφαρμογής καρυκευμάτων σε σνακ είναι με ψεκασμό υδατικού μείγματος λαδιού-καρυκεύματος. Στην περίπτωση αυτή, το καρύκευμα προστίθεται σε φυτικό λάδι (σε ποσοστό αναλογίας καρυκεύματος-λαδιού 40%- 60%) και το μείγμα αυτό στη συνέχεια ψεκάζεται στη βάση του σνακ (συνήθως καλαμποκάλευρο ή ρυζάλευρο). Η μέθοδος αυτή εφαρμόζεται σε αρτοσκευάσματα και σνάκ δημητριακών. Πολλοί προμηθευτές προσθετικών γεύσεων σε σνακ παράγουν το παραπάνω μείγμα σε μορφή πολτού. Ο πολτός μπορεί να περιέχει ακόμα διάφορες γεύσεις, οξέα, άλατα, συντηρητικά, χρώματα και ενισχυτικά γεύσεως-αρώματος (αναφέρονται και ως συμπυκνώματα γεύσεων).

Η παραπάνω μέθοδος εφαρμόζεται και με μείγμα νερού-καρυκεύματος. Στην περίπτωση αυτή, τα καρυκεύματα αναμιγνύονται με νερό, μαλτοδεξτρίνη και άμυλο και σχηματίζουν ένα υδαρές μείγμα που ψεκάζεται στη βάση του σνάκ. Έπειτα η υγρασία αφαιρείται από το τελικό προϊόν. Η μέθοδος αυτή χρησιμοποιείται κυρίως σε προϊόντα που θέλουμε να είναι χαμηλής περιεκτικότητας λιπαρών. Το μειονέκτημα αυτής της μεθόδου είναι ότι κατά τη θέρμανση του προϊόντος, η οποία είναι απαραίτητη για στεγνώσει γρήγορα το σνακ, μπορεί να εξατμιστούν ορισμένα συστατικά του μείγματος, με αποτέλεσμα την μη ισορροπημένη γεύση ή απώλεια κάποιας γεύσης ή αρώματος. (Edmund W. 2001)

Τέλος υπάρχει και η μέθοδος της απευθείας ενσωμάτωσης καρυκεύματος ή φυτικών ή ζωικών προϊόντων ως πρώτη ύλη του σνακ, η οποία είναι 100% φυσική χωρίς χημικά πρόσθετα, αρώματα και συντηρητικά. Συγκεκριμένα γίνονται σκόνη διάφορα τρόφιμα (π.χ μπέικον, παστουρμάς, φράουλα κτλ) μέσω διαφόρων φυσικών μεθόδων (πχ. Ξήρανση υπο κατάψυξη, τρίψιμο κτλ) και προστίθενται στο αλεύρι του σνακ. Έτσι δημιουργείται ένα φυσικό προϊόν εκβολής με την ελάχιστη αλλοίωση στη γεύση και στις θρεπτικές ιδιότητες του.

Μειονέκτημα της μεθόδου είναι το υψηλό κόστος, το οποίο υφίσταται λόγω του ότι δεν χρησιμοποιούνται χημικά καρυκεύματα (αρώματα- γεύσεις) για να προσδοθεί γεύση αλλά τα ίδια τα φυσικά προϊόντα προσδίδουν τη γεύση, συνεπώς το κόστος της αγοράς των φυσικών προϊόντων είναι μεγαλύτερο από ότι μιας χημικής γεύσης ή ενός χημικού αρώματος. Επίσης για να γίνουν σκόνη διάφορα προϊόντα ζωικής προέλευσης, όπως το μπέικον ή ο παστουρμάς, αλλά και φυτικής όπως η φράουλα ακολουθείται συνήθως η διεργασία της ξήρανσης υπό

ΘΕΩΡΗΤΙΚΟ ΜΕΡΟΣ: Ανάπτυξη καινοτόμων βιομηχανικών προϊόντων εκβολής με προσθήκη πρεβιοτικών ινών- φυτικών και ζωικών τροφίμων. Μελέτη των ιδιοτήτων τους.

κατάψυξη (freeze drying), η οποία κρατά μεν αναλλοίωτα τα οργανοληπτικά και θρεπτικά συστατικά των τροφίμων αλλά είναι μια αρκετά ακριβή μέθοδος ξήρανσης.

Το προϊόν που παραλαμβάνουμε μπορεί να θεωρηθεί και ως super food και να αναφέρεται σε ένα πιο εξειδικευμένο κοινό, που θα χρησιμοποιεί τέτοιου είδους delicate σνακ (πχ. gourmet εστιατόρια). Εάν επιμείνουμε σε μαζική παραγωγή, μια μείωση του κόστους μπορεί να επιτευχθεί, εάν στις συσκευασίες υπάρχει συνδυασμός σνακ επικαλυμμένα με χημικά καρυκεύματα σε ποσοστό 50% και το υπόλοιπο 50% να αποτελείται από σνακ που θα είναι προϊόντα της παραπάνω μεθόδου.

1.4 ΘΕΡΜΟΦΥΣΙΚΕΣ ΙΔΙΟΤΗΤΕΣ ΤΡΟΦΙΜΩΝ

Η παρασκευή τροφίμων με επιθυμητές ιδιότητες και οργανοληπτικά χαρακτηριστικά αποτελεί βασικό στόχο της βιομηχανικής παραγωγής των τροφίμων. Καθώς, τόσο οι ιδιότητες, όσο και τα οργανοληπτικά χαρακτηριστικά τροφίμων επηρεάζονται από τη διαδικασία παραγωγής, συχνά προτυποποιούνται ως συναρτήσεις ενόργανων μετρήσεων ή των μεταβλητών της διεργασίας. Συνεπώς, τα ποιοτικά χαρακτηριστικά των τροφίμων εκβολής καθορίζονται από ένα σύνολο ιδιοτήτων. Αυτό περιλαμβάνει τις δομικές ιδιότητες, τις ιδιότητες υψής, τις λειτουργικές ιδιότητες, τις οπτικές ιδιότητες, καθώς και τα οργανοληπτικά τους χαρακτηριστικά.

1.4.1 ΔΟΜΙΚΕΣ ΙΔΙΟΤΗΤΕΣ ΠΡΟΪΟΝΤΩΝ ΕΚΒΟΛΗΣ

Οι δομικές ιδιότητες των τροφίμων εκβολής περιλαμβάνουν ιδιότητες όπως η φαινόμενη πυκνότητα, η πραγματική πυκνότητα, το πορώδες και ο συντελεστής διόγκωσης. Επίσης για την ανάλυση της μικροδομής ενός τροφίμου χρησιμοποιείται και η μέθοδος της Ηλεκτρονικής Μικροσκοπίας Σάρωσης (SEM).

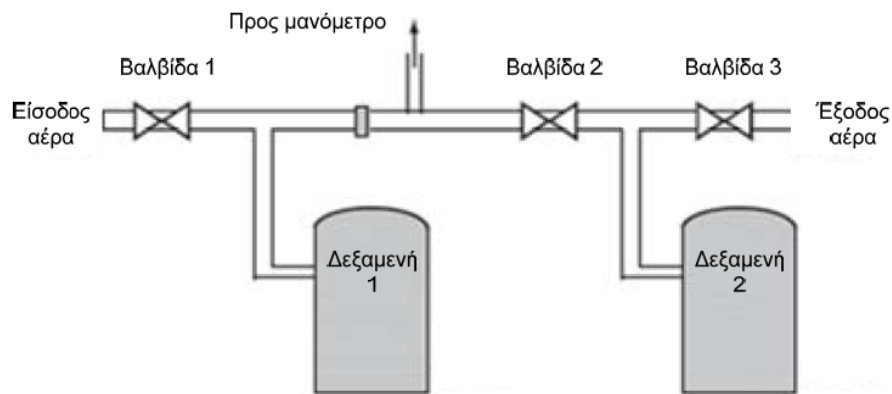
Η φαινόμενη πυκνότητα ενός τροφίμου περιλαμβάνει όλους του πόρους που υπάρχουν στο υλικό. Μπορεί να προσδιορισθεί, για ένα τρόφιμο που έχει ένα συγκεκριμένο σχήμα, μέσω της μάζας και του όγκου που προκύπτει από τις χαρακτηριστικές διαστάσεις του θεωρώντας ότι το προϊόν εκβολής έχει κυλινδρικό σχήμα, προκύπτει ότι η φαινόμενη πυκνότητα είναι:

$$\rho_a = \frac{4m}{\pi d^2 L} \quad (1)$$

όπου m η μάζα του τροφίμου (g), d η διάμετρος (cm) και L το μήκος του (cm). Η πραγματική πυκνότητα ενός υλικού ή ενός σύνθετου υλικού υπολογίζεται από τις πυκνότητες των συστατικών που το αποτελούν, λαμβάνοντας υπόψη τη διατήρηση της μάζας και του όγκου. Στα τρόφιμα η πραγματική πυκνότητα είναι η πυκνότητα του υλικού χωρίς τους πόρους. Για το λόγο αυτό, πριν από τη μέτρηση της πυκνότητας του υλικού, το δείγμα πρέπει να είναι αλεσμένο, για να διασφαλισθεί ότι δεν θα παραμείνουν κλειστοί πόροι. Η πυκνότητα του

ΘΕΩΡΗΤΙΚΟ ΜΕΡΟΣ: Ανάπτυξη καινοτόμων βιομηχανικών προϊόντων εκβολής με προσθήκη πρεβιοτικών ινών- φυτικών και ζωικών τροφίμων. Μελέτη των ιδιοτήτων τους.

υλικού μπορεί να προσδιορισθεί με διάφορες μεθόδους, συμπεριλαμβανομένων της μεθόδου εκτόπισης υγρού, της μεθόδου του αερίου πυκνόμετρου, της ποροσιμετρίας υδραργύρου και της μεθόδου απορρόφησης αερίου. Η συνηθέστερη μέθοδος προσδιορισμού είναι το πυκνόμετρο αερίου. Τα αέρια που χρησιμοποιούνται συνήθως είναι ο αέρας, το άζωτο και το ήλιο. Από τα αναφερθέντα αέρια, το ήλιο είναι αυτό που συνήθως προτείνεται, λόγω της μικρής ατομικής του διαμέτρου. Η τεχνική αυτή εφαρμόζει την αρχή του Αρχιμήδη της εκτόπισης ρευστών για τον προσδιορισμό του όγκου. (Krokida 2009) Στο Σχήμα 1-3 παρουσιάζεται η μέθοδος. Σύμφωνα με τη μέθοδο ακολουθείται η παρακάτω διαδικασία:



Σχήμα 1-3: Πυκνόμετρο συμπίεσης αέρα.

- Το δείγμα που πρόκειται να μετρηθεί τοποθετείται στην δεξαμενή 2 και ο αέρας τροφοδοτείται στη δεξαμενή 1, όταν η βαλβίδα 2 είναι κλειστή.
- Όταν επιτυγχάνεται η κατάλληλη πίεση, κλείνει η βαλβίδα 1 και καταγράφεται η πίεση ισορροπίας P_1 .
- Κλείνει η βαλβίδα 3, ανοίγει η βαλβίδα 2 και καταγράφεται η πίεση P_3 . Σε αυτές τις συνθήκες, ο όγκος του δείγματος μπορεί να μετρηθεί, ως V_S . Συγκεκριμένα, ο όγκος του δείγματος δίνεται από την ακόλουθη εξίσωση:

$$V_S = V_1 * \left[1 + \frac{P_3 - P_1}{P_3} \right] \quad (2)$$

όπου V_1 είναι ο κενός όγκος μεταξύ των δεξαμενών 1 και 2. Η μέτρηση του όγκου των τροφίμων συνήθως γίνεται σε διάφορους τύπους εμπορικών αυτομάτων πυκνόμετρων αερίου με ήλιο.

Στο Σχήμα 1-4 παρουσιάζεται η αρχή λειτουργίας του πολυπυκνόμετρου της εταιρίας Quantachrome. Το πυκνόμετρο προσδιορίζει την πυκνότητα του στερεού μετρώντας τη διαφορά πίεσης, όταν μια γνωστή ποσότητα ηλίου υπό πίεση αφήνεται να περάσει από έναν

ΘΕΩΡΗΤΙΚΟ ΜΕΡΟΣ: Ανάπτυξη καινοτόμων βιομηχανικών προϊόντων εκβολής με προσθήκη πρεβιοτικών ινών- φυτικών και ζωικών τροφίμων. Μελέτη των ιδιοτήτων τους.

γνωστό όγκο αναφοράς μέσα στη κυψελίδα του δείγματος που περιέχει το προς μέτρηση υλικό. Η διαδικασία προσδιορισμού του όγκου είναι η ακόλουθη:

- Επιλέγεται ο σωστός όγκος αναφοράς, ανάλογα με τη κυψελίδα δείγματος που θα χρησιμοποιηθεί.
- Ανοίγεται η έξοδος του αερίου μέχρι να σταθεροποιηθεί η μηδενική ένδειξη.
- Κλείνει η βαλβίδα εξόδου του αερίου.
- Η βαλβίδα επιλογής στρέφεται στην ένδειξη «αναφορά».
- Η βαλβίδα εισροής αερίου ανοίγεται και όταν η βαλβίδα προσεγγίσει περίπου τα 17 psig, η βαλβίδα εισόδου του αερίου κλείνει.
- Όταν η ένδειξη σταθεροποιηθεί, καταγράφεται η πίεση P1.
- Η βαλβίδα επιλογής στρέφεται στην ένδειξη «κυψελίδα».
- Όταν η ένδειξη σταθεροποιηθεί, καταγράφεται η πίεση P2.
- Τέλος ανοίγεται η βαλβίδα εξόδου του αερίου αργά, για την εκτόνωση της πίεσης.
- Ο όγκος του δείγματος και η πυκνότητα του υπολογίζεται από τις παρακάτω εξισώσεις:

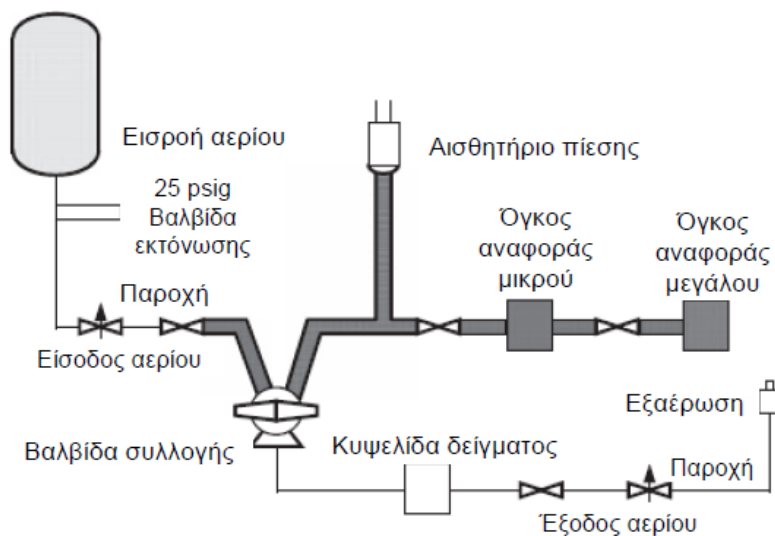
$$V_S = V_C + V_R * \left[\frac{P_1}{P_2} - 1 \right] \quad (3)$$

Και:

$$\rho_t = \frac{m_S}{V_S} \quad (4)$$

όπου V_C και V_R είναι οι σταθερές του μηχανήματος. Το πυκνόμετρο Quantachrome μπορεί να έχει τρεις κυψελίδες δείγματος διαφορετικού όγκου η καθεμία, οι οποίες χρησιμοποιούνται ανάλογα με τον όγκο του δείγματος που πρόκειται να προσδιορισθεί. Οι σταθερές της εξίσωσης (3) εξαρτώνται από την κυψελίδα που χρησιμοποιείται για τη μέτρηση. Η βαθμονόμηση του οργάνου γίνεται με τη χρήση μεταλλικών σφαιρών γνωστής διαμέτρου.

ΘΕΩΡΗΤΙΚΟ ΜΕΡΟΣ: Ανάπτυξη καινοτόμων βιομηχανικών προϊόντων εκβολής με προσθήκη πρεβιοτικών ινών- φυτικών και ζωικών τροφίμων. Μελέτη των ιδιοτήτων τους.



Σχήμα 1-4: Διάγραμμα ροής πολυπυκνόμετρου Quantachrome.

Η εκβολή είναι μια διεργασία που μπορεί να δώσει μια σειρά διαφορετικών τροφίμων αλλάζοντας μόνο τις συνθήκες εκβολής. Η δομή των προϊόντων αυτών καθορίζεται και επηρεάζεται από τις συνθήκες εκβολής που εφαρμόζονται και επίσης από τη συγκέντρωση των συστατικών που τροφοδοτούνται στον εκβολέα. Για την παραγωγή διογκωμένων τροφίμων εκβολής χρησιμοποιούνται στις περισσότερες περιπτώσεις οι εκβολείς διπλού κοχλίου. Η διόγκωση των προϊόντων αυτών εκφράζεται μέσω του πορώδους και του συντελεστή διόγκωσης. Στο παρελθόν έχει μελετηθεί η ανάπτυξη της αφρώδους δομής προϊόντων από άμυλο αραβοσίτου, σίτου, ρυζιού και πατάτας. Στις μελέτες αυτές χρησιμοποιείται κυρίως εκβολέα διπλού κοχλίου. Επίσης έχει μελετηθεί και προτυποποιηθεί η ανάπτυξη των πόρων και η διόγκωση των προϊόντων. (Λάζου 2011)

1.4.1.1 ΗΛΕΚΤΡΟΝΙΚΗ ΜΙΚΡΟΣΚΟΠΙΑ ΣΑΡΩΣΗΣ

Η Ηλεκτρονική Μικροσκοπία Σάρωσης (Scanning Electron Microscopy, SEM) είναι μία από τις σύγχρονες και ευέλικτες μεθόδους ανάλυσης της μικροδομής μεγάλου αριθμού υλικών.

Η ικανότητα των οπτικών μικροσκοπίων περιορίζεται λόγω της φύσης του φωτός σε επίπεδα μεγενθύνσεων έως 1000x και σε διακριτική ικανότητα έως 0.2 μm. Στις αρχές της δεκαετίας του '30 υπήρχε ήδη η ανάγκη για εξέταση του εσωτερικού του κυττάρου (πυρήνας, μιτοχόνδρια κλπ.) που απαιτούσε μεγενθύνσεις μεγαλύτερες του 10,000 x. Η απαίτηση αυτή

ΘΕΩΡΗΤΙΚΟ ΜΕΡΟΣ: Ανάπτυξη καινοτόμων βιομηχανικών προϊόντων εκβολής με προσθήκη πρεβιοτικών ινών- φυτικών και ζωικών τροφίμων. Μελέτη των ιδιοτήτων τους.

οδήγησε στην ανακάλυψη και εφαρμογή των ηλεκτρονικών μικροσκοπίων. Το ηλεκτρονικό μικροσκόπιο διέλευσης ή διαπερατότητας (TEM, Transmission Electron Microscope) ήταν το πρώτο είδος ηλεκτρονικού μικροσκοπίου και στη συνέχεια ακολούθησε το ηλεκτρονικό μικροσκόπιο σάρωσης (SEM, Scanning Electron Microscope).

Το ηλεκτρονικό μικροσκόπιο σάρωσης είναι ένα όργανο που λειτουργεί όπως περίπου και ένα οπτικό μικροσκόπιο μόνο που χρησιμοποιεί δέσμη ηλεκτρονίων υψηλής ενέργειας αντί για φως, για να εξετάσει αντικείμενα σε λεπτομερή κλίμακα. Τα ηλεκτρόνια λόγω της κυματικής τους φύσης μπορούν να εστιαστούν όπως και τα φωτεινά κύματα αλλά σε πολύ μικρότερη επιφάνεια (π.χ. κόκκος υλικού). Η δέσμη ηλεκτρονίων σαρώνει την επιφάνεια του δείγματος με το οποίον αλληλεπιδρά. Από την αλληλεπίδραση αυτή προκύπτουν πληροφορίες σε σχέση με τα άτομα των στοιχείων που απαρτίζουν το εξεταζόμενο υλικό. Από τα άτομα των στοιχείων εκπέμπονται κυρίως δευτερογενή (secondary) και οπισθοσκεδαζόμενα (backscattered) ηλεκτρόνια καθώς και ακτίνες X. Η ένταση των εκπεμπομένων ηλεκτρονίων επηρεάζεται από τα χαρακτηριστικά της επιφάνειας. Έτσι το SEM δίνει πληροφορίες που αφορούν κυρίως στη μορφολογία και στη σύσταση της επιφανείας. Εφαρμόζοντας ένα σύστημα ανίχνευσης της διασποράς των ενεργειών των ακτίνων X που δημιουργούνται στην επιφάνεια από την προσπίπτουσα δέσμη, μπορεί να γίνει ημιποσοτική στοιχειακή ανάλυση του υλικού.

Επομένως το SEM χρησιμοποιείται για την εξέταση μικροδομής στερεών δειγμάτων και για να δίνει εικόνες υψηλού βαθμού διεύθυνσης

Η λειτουργία του SEM στηρίζεται στις αλληλεπιδράσεις του προς εξέταση δείγματος και της προσπίπτουσας σε αυτό δέσμης ηλεκτρονίων. Οι βασικές διατάξεις που υπάρχουν στο μικροσκόπιο είναι το σύστημα παραγωγής δέσμης ηλεκτρονίων, το σύστημα κατεύθυνσης της δέσμης, το σύστημα πληροφοριών και τέλος το σύστημα κενού.

Τα βασικά στάδια λειτουργίας ενός ηλεκτρονικού μικροσκοπίου είναι:

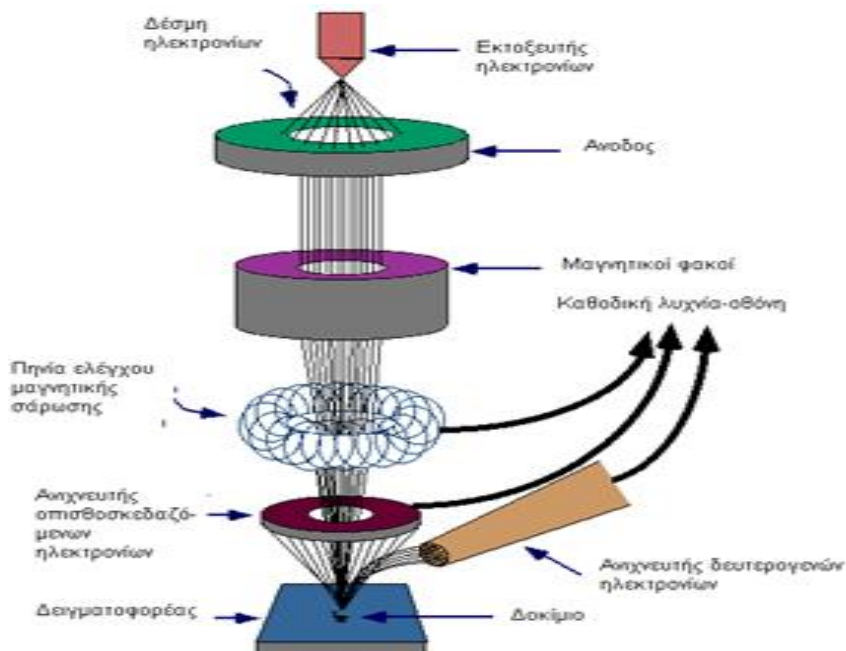
- 1) Σχηματίζεται μια δέσμη ηλεκτρονίων από την πηγή η οποία επιταχύνεται προς το δείγμα μέσω ενός θετικού ηλεκτρικού δυναμικού

ΘΕΩΡΗΤΙΚΟ ΜΕΡΟΣ: Ανάπτυξη καινοτόμων βιομηχανικών προϊόντων εκβολής με προσθήκη πρεβιοτικών ινών- φυτικών και ζωικών τροφίμων. Μελέτη των ιδιοτήτων τους.

2) Χρησιμοποιώντας μεταλλικά ανοίγματα, ηλεκτρομαγνητικούς φακούς και πηνία σάρωσης, επιτυγχάνεται μια λεπτή εστιασμένη μονοχρωματική δέσμη, η οποία σαρώνει την επιφάνεια του δείγματος.

3) Οι αλληλεπιδράσεις δέσμης δείγματος καταγράφονται από τους ανιχνευτές και μετατρέπονται σε εικόνα.

Τα παραπάνω στάδια ισχύουν επίσης για όλους τους τύπους ηλεκτρονικών μικροσκοπίων.



Σχήμα 1-5: Διάγραμμα λειτουργίας ηλεκτρονικού μικροσκοπίου σάρωσης.

Το ηλεκτρονικό μικροσκόπιο σάρωσης χρησιμοποιείται ευρύτατα σε όλα τα πεδία που μας ενδιαφέρει η γεωμετρία και η σύσταση της μικροδομής. Μπορεί να χρησιμοποιηθεί για μια μεγάλη ποικιλία δειγμάτων όπως, βιολογικά υλικά, φιλμ, μεμβράνες, φίλτρα, ίνες, ρητίνες, τέφρες, τσιμέντα, χρώματα, μεταλλικές επιφάνειες, κλπ. Η μεγάλη δυνατότητα εστίασης και αλλαγής μεγέθυνσης σε ένα ευρύ πεδίο, η ελάχιστη προετοιμασία του δείγματος και τα τρισδιάστατα διαγράμματα που μας προσφέρει το SEM το έχουν κάνει ένα απαραίτητο όργανο έρευνας. Με το ηλεκτρονικό μικροσκόπιο σάρωσης παίρνουμε ποσοτικές αναλύσεις με γεωμετρικές λεπτομέρειες και έχουμε τη δυνατότητα να ξεχωρίζουμε φάσεις. Ο συνδυασμός του SEM με το XRD χρησιμοποιείται για την ποσοτική ανάλυση σε ελατές και εύθραυστες φάσεις, για το βάθος των ρηγμάτων, το μέγεθος της ζώνης στη σχισμή, και τον τρόπο δημιουργίας ρωγμών με σκοπό να καθοριστεί ένα ποσοτικό μοντέλο σκληρότητας της δομής.

Η διάβρωση και επικάλυψη επιφανειών μελετώνται επίσης με το ηλεκτρονικό μικροσκόπιο σάρωσης, χρησιμοποιώντας όλα τα πλεονεκτήματά του για τον χαρακτηρισμό των τύπων της

ΘΕΩΡΗΤΙΚΟ ΜΕΡΟΣ: Ανάπτυξη καινοτόμων βιομηχανικών προϊόντων εκβολής με προσθήκη πρεβιοτικών ινών- φυτικών και ζωικών τροφίμων. Μελέτη των ιδιοτήτων τους.

διάβρωσης και της επικάλυψης και τη κινητική μελέτη των διεργασιών. Οι δομές των προστατευτικών επικαλυπτικών και η αποτελεσματικότητά τους ελέγχονται με τις εικόνες του SEM. (Μ.Κουή 2007)

1.4.2 ΙΔΙΟΤΗΤΕΣ ΥΦΗΣ- ΜΗΧΑΝΙΚΕΣ ΙΔΙΟΤΗΤΕΣ ΠΡΟΪΟΝΤΩΝ ΕΚΒΟΛΗΣ

Η υφή αποτελεί μια από τις σημαντικότερες παραμέτρους που σχετίζονται με την ποιότητα ενός προϊόντος. Συνδέεται άμεσα με το αίσθημα της αφής του τροφίμου κατά την επαφή του με τα δάχτυλα ή κατά το μάσημα. Το πρόβλημα που αντιμετωπίζεται είναι η εύρεση φυσικών μεγεθών τα οποία να προσομοιάζουν και να ποσοτικοποιούν το αίσθημα της αφής των δαχτύλων και της αίσθησης κατά το μάσημα. Μεγέθη που αντιλαμβάνεται ο άνθρωπος όταν ακουμπά ένα σώμα ή μασά ένα τρόφιμο είναι η σκληρότητα, η τραγανότητα, η μαλακότητα, το χυμώδες, η κολλητικότητα, η λιπαρότητα, η ελαστικότητα, η ολκιμότητα, το αφρώδες κ.α. Όλα όμως τα παραπάνω μεγέθη είναι δύσκολο να μετρηθούν και για το λόγο αυτό αντί αυτών μετρούνται συνήθως ορισμένες παράμετροι μηχανικών ιδιοτήτων που σχετίζονται με τη ρεολογική συμπεριφορά των τροφίμων.

Οι δοκιμές που εφαρμόζονται συχνότερα για τον προσδιορισμό και χαρακτηρισμό της υφής των τροφίμων εκβολής, μπορούν να ταξινομηθούν σε τρεις ομάδες: κάμψη (flexure), διάτμηση (shear) και δοκιμές συμπίεσης (compression). Η τελευταία κατηγορία είναι η συνηθέστερη, λόγω των ομοιοτήτων με τη διαδικασία μάσησης. Σε αυτές τις δοκιμές, το προς εξέταση δείγμα συμπιέζεται είτε μεταξύ δύο παράλληλων πλακών, είτε ένα έμβολο συμπιέζει το δείγμα που κρατείται σε έναν κύλινδρο. Κατά τη διάρκεια της συμπίεσης καταγράφεται η εφαρμοζόμενη δύναμη και η μετατόπιση, δεδομένα που χρησιμοποιούνται για την κατασκευή των χαρακτηριστικών καμπυλών τάσης- παραμόρφωσης των εύθρυπτων τροφίμων. Από τις καμπύλες αυτές λαμβάνονται χαρακτηριστικά, όπως η τάση θραύσης σ , η παραμόρφωση κατά τη θραύση ϵ , το μέτρο ελαστικότητας E και ο αριθμός θραύσεων N που σχετίζονται με την τραγανότητα του τροφίμου.

ΘΕΩΡΗΤΙΚΟ ΜΕΡΟΣ: Ανάπτυξη καινοτόμων βιομηχανικών προϊόντων εκβολής με προσθήκη πρεβιοτικών ινών- φυτικών και ζωικών τροφίμων. Μελέτη των ιδιοτήτων τους.



Σχήμα 1-6 Χαρακτηριστική καμπύλη συμπίεσης τροφίμων εκβολής.

Οι καμπύλες συμπίεσης επίσης εμφανίζουν ένα «οδοντωτό» τμήμα του οποίου ο βαθμός «οδόντωσης» εξαρτάται από την υγρασία. Αυτό το τραχύ τμήμα υποδεικνύει την έκταση της ευκαμψίας ή την ευθραυστότητα της δομής. Τα τελευταία χρόνια έχουν χρησιμοποιηθεί διάφορες τεχνικές για την αποτίμηση του «οδοντωτού» τμήματος της καμπύλης συμπίεσης των διογκωμένων σνακ. Αυτές περιλαμβάνουν την μέτρηση των τοπικών ελαχίστων ή μεγίστων στο «οδοντωτό» τμήμα, ενώ ορίζεται ο «αριθμός των θραύσεων» θεωρώντας για κάθε «θραύση» μια διαφορά στη δύναμη (πχ. 1N). (Λάζου 2011)

1.4.3 ΛΕΙΤΟΥΡΓΙΚΕΣ ΙΔΙΟΤΗΤΕΣ ΠΡΟΪΟΝΤΩΝ ΕΚΒΟΛΗΣ

Ο όρος λειτουργικότητα (functionality) για τα τρόφιμα ορίζεται ως το σύνολο των ιδιοτήτων, εκτός από τις θρεπτικές, οι οποίες επηρεάζουν τη χρησιμοποίησή τους σε διάφορες εφαρμογές. Οι λειτουργικές ιδιότητες των προϊόντων εκβολής είναι εκείνες οι φυσικοχημικές ιδιότητες που καθορίζουν τη συμπεριφορά τους, όταν χρησιμοποιούνται σε διάφορα συστήματα τροφίμων, και επηρεάζουν την ποιότητα και την αποδοχή των τροφίμων. Οι ιδιότητες αυτές καθορίζονται από τη λειτουργικότητα των συστατικών του τροφίμου εκβολής, δηλαδή των πρωτεϊνών, των υδατανθράκων κλπ.

Στα προϊόντα εκβολής οι σπουδαιότερες λειτουργικές ιδιότητες είναι αυτές που προκύπτουν από την αλληλεπίδραση του τροφίμου με το νερό και τα λιπαρά. Αυτές περιλαμβάνουν την

ΘΕΩΡΗΤΙΚΟ ΜΕΡΟΣ: Ανάπτυξη καινοτόμων βιομηχανικών προϊόντων εκβολής με προσθήκη πρεβιοτικών ινών- φυτικών και ζωικών τροφίμων. Μελέτη των ιδιοτήτων τους.

ικανότητα απορρόφησης νερού, την ικανότητα διαλυτότητας σε νερό και την ικανότητα απορρόφησης ελαίου. Η ικανότητα απορρόφησης νερού (IAN - Water Absorption Index-WAI) δίνεται από τη σχέση:

$$WAI = \frac{m_g}{m_s} \quad (5)$$

όπου m_g είναι η μάζα του ενυδατωμένου τροφίμου (g) και m_s είναι η μάζα του δείγματος (g). Η ικανότητα διαλυτότητας σε νερό (IAN – Water Solubility Index-WSI) δίνεται από τη σχέση:

$$WSI = \frac{m_{ds}}{m_s} * 100 \quad (6)$$

όπου m_{ds} η μάζα των στερεών που διαλύονται στο νερό (g) και m_s είναι η μάζα του δείγματος (g). Η ικανότητα απορρόφησης ελαίου (IAE - Oil Absorption Index-OAI) δίνεται από τη σχέση:

$$OAI = \frac{V_{oil}}{m_s} \quad (7)$$

όπου V_{oil} ο όγκος του ελαίου που έχει απορροφηθεί (mL) και m_s είναι η μάζα του δείγματος (g).

Στο παρελθόν έχει μελετηθεί η επίδραση των συνθηκών εκβολής στις λειτουργικές ιδιότητες διαφόρων προϊόντων δημητριακών (αραβοσιτάλευρου, ρυζιού και σίτου) (Artz, Warren and Villota 1990; Λάζου 2011)). Γενικά οι λειτουργικές ιδιότητες των τροφίμων εκβολής σχετίζονται με τις μοριακές μετατροπές οι οποίες συμβαίνουν κατά τη διάρκεια της εκβολής. Επίσης έχουν διεξαχθεί διάφορες μελέτες όπου εξετάζεται η επίδραση της προσθήκης πρωτεϊνών στις λειτουργικές ιδιότητες προϊόντων εκβολής με βάση τα δημητριακά (Matthey 1997; Onwulata 2001; Lin 2002; Fernandez-Gutierrez 2004).

1.4.4 ΟΠΤΙΚΕΣ ΙΔΙΟΤΗΤΕΣ ΠΡΟΪΟΝΤΩΝ ΕΚΒΟΛΗΣ

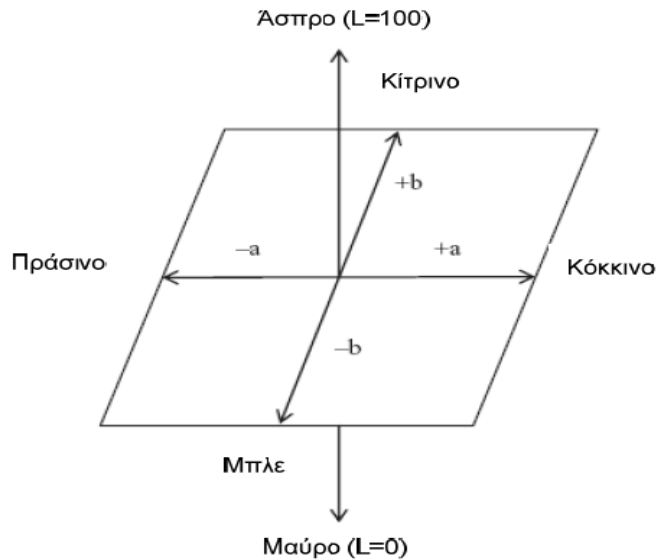
Οι οπτικές ιδιότητες των τροφίμων είναι αυτές που διέπουν τον τρόπο που τα τρόφιμα ανταποκρίνονται στην απορρόφηση της ηλεκτρομαγνητικής ακτινοβολίας στην περιοχή των οπτικών μηκών κύματος και συχνοτήτων. Αυτή η περιοχή περιλαμβάνει το ορατό φως και χρώμα, καθώς και τη διάδοση, την ανάκλαση και τη διάθλαση του ορατού φωτός (Figura 2007).

Οι επιλεκτική απορρόφηση διαφορετικών ποσοστών μήκους κύματος στην περιοχή του ορατού φάσματος καθορίζει το χρώμα των τροφίμων. Το χρώμα είναι μια σημαντική φυσική ιδιότητα η οποία καθορίζει την αποδοχή του τροφίμου από τους καταναλωτές. Για την περιγραφή του χρώματος έχει αναπτυχθεί μια ποικιλία συστημάτων. Τα συστήματα ταξινόμησης του χρώματος (Color order systems) είναι τρισδιάστατες διευθετήσεις του χρώματος σύμφωνα με την εμφάνιση. Υπάρχουν πέντε κλίμακες ταξινόμησης του χρώματος

ΘΕΩΡΗΤΙΚΟ ΜΕΡΟΣ: Ανάπτυξη καινοτόμων βιομηχανικών προϊόντων εκβολής με προσθήκη πρεβιοτικών ινών- φυτικών και ζωικών τροφίμων. Μελέτη των ιδιοτήτων τους.

για τα τρόφιμα: το σύστημα Munsell, το CIE, το CIE L*a*b* (CIELAB), το Hunter Lab και το Lovibond.

Η κλίμακα που χρησιμοποιείται για τη μέτρηση του χρώματος στα τρόφιμα είναι η Hunter Lab. Αυτό το σύστημα στηρίζεται τις μετρήσεις των L, a και b. Η τιμή του L αναπαριστά τη φωτεινότητα και μεταβάλλεται από το 0 (μαύρο) μέχρι το 100 (άσπρο). Η τιμή του a μεταβάλλεται από -a (πράσινο) μέχρι +a (κόκκινο), ενώ οι τιμές του b από -b (μπλε) έως +b (κίτρινο).



Σχήμα 1.6 Οι διαστάσεις της κλίμακας Hunter Lab.

Η μέτρηση του χρώματος αποτελεί κρίσιμη παράμετρο ποιότητας που μπορεί να χρησιμοποιηθεί στις ακόλουθες εφαρμογές: α) στον προσδιορισμό του δείκτη ποιότητας των ακατέργαστων και επεξεργασμένων τροφίμων για χρήση στην τεκμηρίωση του δείκτη ποιότητας, β) για τον έλεγχο της συμμόρφωσης της ποιότητας των τροφίμων στις υπάρχουσες προδιαγραφές και γ) για την ανάλυση των ποιοτικών αλλαγών τους ως αποτέλεσμα της επεξεργασίας, της αποθήκευσης, ή και άλλων παραγόντων (Bocek, Vespalec and Giese 2000).

1.4.5 ΟΡΓΑΝΟΛΗΠΤΙΚΗ ΑΞΙΟΛΟΓΗΣΗ ΤΩΝ ΠΡΟΪΟΝΤΩΝ ΕΚΒΟΛΗΣ

Οι οργανοληπτικές ιδιότητες των τροφίμων είναι καθοριστικές για την αποδοχή τους από τους καταναλωτές. Τα διάφορα διογκωμένα προϊόντα εκβολής έχουν μοναδικά οργανοληπτικά χαρακτηριστικά ιδιαίτερα αρεστά από τους καταναλωτές. Τα οργανοληπτικά χαρακτηριστικά καθορίζονται από τη δομή και την υφή των προϊόντων, καθώς και από τα διάφορα αρωματικά συστατικά με τα οποία εμπλουτίζονται. Η υφή και η δομή των τροφίμων εκβολής επηρεάζεται σημαντικά από τις συνθήκες επεξεργασίας και τη σύσταση του μίγματος που υφίσταται επεξεργασία. Κατά συνέπεια οι οργανοληπτικές ιδιότητες των τροφίμων εκβολής

ΘΕΩΡΗΤΙΚΟ ΜΕΡΟΣ: Ανάπτυξη καινοτόμων βιομηχανικών προϊόντων εκβολής με προσθήκη πρεβιοτικών ινών- φυτικών και ζωικών τροφίμων. Μελέτη των ιδιοτήτων τους.

επηρεάζονται και καθορίζονται από τις συνθήκες εκβολής, όπως η θερμοκρασία, η παροχή του υλικού τροφοδοσίας κλπ. και από τη χημική σύνθεση του υλικού.

Κύριος στόχος είναι η μελέτη της επίδρασης των παραμέτρων της διεργασίας και των χαρακτηριστικών των πρώτων υλών στις οργανοληπτικές ιδιότητες (εμφάνιση, υφή, γεύση) και την αποδοχή των τροφίμων εκβολής και η κατανόηση των μηχανισμών που καθορίζουν την δημιουργία και την ανάπτυξη των διαφόρων οργανοληπτικών χαρακτηριστικών.

Σε αυτά περιλαμβάνονται η τραγανή υφή και η καλά διογκωμένη δομή, η ομοιογενής δομή, η καλή γεύση, η ελκυστική εμφάνιση, το χρώμα και η οσμή. Η οργανοληπτική αξιολόγηση είναι πολύ σημαντική στην ανάπτυξη νέων προϊόντων, στη βελτίωση των προϊόντων και στην αριστοποίηση τους. Οι συνθήκες εκβολής και οι ιδιότητες των πρώτων υλών επηρεάζουν τα οργανοληπτικά χαρακτηριστικά των τροφίμων εκβολής και τέτοιες μεταβολές έχουν παρατηρηθεί για διάφορα προϊόντα δημητριακών (από αραβόσιτο και σιτάρι) (Andersson 1990; Chen 1991; Onwulata 1994). Επιπροσθέτως, η προσθήκη φυτικών πρωτεϊνών επηρεάζει τα οργανοληπτικά χαρακτηριστικά των τροφίμων εκβολής. Για την παραγωγή σνακ πλουσίων σε πρωτεΐνες χρησιμοποιείται συνήθως σόγια. Όμως, η προσθήκη της σε υψηλές συγκεντρώσεις προσδίδει στα παραγόμενα τρόφιμα γεύση-οσμή «φασολιού» (beany). Έχει βρεθεί ότι η γεύση-οσμή «φασολιού» στα τρόφιμα σχετίζεται με διάφορες χημικές ενώσεις (Thymi, Krokida, Pappa and Maroulis 2005; Lazou and Krokida 2010).

1.4.6 ΘΕΡΜΙΚΕΣ ΙΔΙΟΤΗΤΕΣ

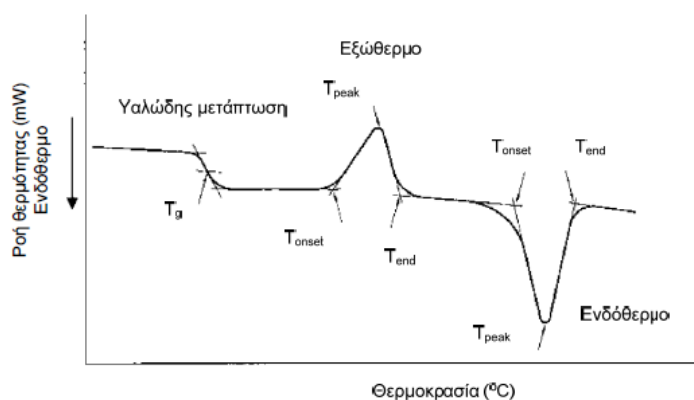
Τα περισσότερα τρόφιμα υπόκεινται σε αλλαγές της θερμοκρασίας τους κατά την παραγωγή, μεταφορά, αποθήκευση, προετοιμασία και κατανάλωσή τους, όπως για παράδειγμα συμβαίνει λόγω της παστερίωσης, της ψύξης ή κατάψυξης, το ψήσιμό τους κτλ. Οι αλλαγές αυτές της θερμοκρασίας προκαλούν μεταβολές των φυσικών και χημικών ιδιοτήτων των συστατικών των τροφίμων, οι οποίες επηρεάζουν τις ιδιότητες του τελικού προϊόντος, όπως η γεύση, η εμφάνιση, η υφή και η σταθερότητά του. Η εκβολή τροφίμων, λόγω των συνθηκών και των παραγόντων που επιδρούν κατά τη διεργασία, έχει ως αποτέλεσμα τη δημιουργία και παραγωγή προϊόντων χαμηλής υγρασίας, τα οποία σπάνια βρίσκονται σε κάποιο στάδιο ισορροπίας φάσεων και είναι μερικώς ή πλήρως άμορφα. Έτσι για τη συντήρηση των τροφίμων εκβολής, η υαλώδης μετάπτωση είναι μεγάλης σπουδαιότητας, γιατί επηρεάζει τη δομή και κατ' επέκταση την υφή των προϊόντων, καθώς επίσης και το ρυθμό των αντιδράσεων που ελέγχονται από τη διάχυση των αντιδρώντων. Επίσης, κατά τη διάρκεια της εκβολής λόγω των φυσικοχημικών μεταβολών που συμβαίνουν κατά το ψήσιμο, λαμβάνει χώρα σχηματισμός διαφόρων συμπλόκων μεταξύ των πολυμερών του τροφίμου.

Οι μεταπτώσεις φάσεων των τροφίμων εκβολής μπορούν να μελετηθούν με διάφορες τεχνικές. Η θερμιδομετρία διαφορικής σάρωσης (DSC) χρησιμοποιείται ευρέως για την

ΘΕΩΡΗΤΙΚΟ ΜΕΡΟΣ: Ανάπτυξη καινοτόμων βιομηχανικών προϊόντων εκβολής με προσθήκη πρεβιοτικών ινών- φυτικών και ζωικών τροφίμων. Μελέτη των ιδιοτήτων τους.

ανίχνευση και τον προσδιορισμό των θερμοκρασιών που αντιστοιχούν στις θερμικά επαγόμενες μεταπτώσεις (υαλώδης, τήξη, ζελατινοποίηση), σε περιοχές θερμοκρασιών και υγρασίας παρόμοιες με αυτά που επικρατούν κατά τη διάρκεια της εκβολής. Η βάση για τη θερμοδυναμική μελέτη των βιοπολυμερών είναι ότι μπορούν να προσδιορισθούν τα σχετικά αρχικά και τελικά στάδια και να μετρηθούν οι ενεργειακές διαφορές μεταξύ αυτών των σταδίων χρησιμοποιώντας το θερμιδόμετρο διαφορικής σάρωσης. Η σύγκριση των διαφόρων τελικών σταδίων που προκύπτουν από τις διάφορες συνθήκες εκβολής, οι οποίες ξεκινούν από το ίδιο αρχικό στάδιο επιτρέπει την πρόβλεψη της επίδρασης των διαφόρων παραμέτρων της διεργασίας στο σχηματισμό νέων δομών και υφών.

Επιπρόσθετα, μπορούν να αξιολογηθούν τα πολύπλοκα συστήματα μεμονωμένων βιοπολυμερών, καθώς και η αλληλεπίδρασή τους σε μακρομοριακά συγκροτήματα (Kaletung 2003; Lazou and Krokida 2010).



Σχήμα 1-7: Τυπική καμπύλη DSC για μερικώς κρυσταλλικά υλικά.

1.4.7 ΦΥΣΙΚΟΧΗΜΙΚΕΣ ΙΔΙΟΤΗΤΕΣ

Η σχέση ισορροπίας του νερού μεταξύ του τροφίμου και της αέριας φάσης σε σταθερή θερμοκρασία μπορεί να αποδοθεί από τις ισόθερμες ρόφησης. Αυτές συσχετίζουν την περιεκτικότητα του νερού στο τρόφιμο (υγρασία του τροφίμου) με τη μερική πίεση ατμών στην αέρια φάση (p), ή με την ενεργότητα του νερού (a). Οι ισόθερμες ρόφησης και η ενεργότητα νερού του τροφίμου προσδιορίζονται συνήθως στα τρόφιμα με δύο βασικές μεθόδους.

Στην πρώτη ένα τρόφιμο γνωστής υγρασίας τοποθετείται σε ένα αεροστεγή μικρό θάλαμο και αφήνεται να έρθει σε ισορροπία με το περιβάλλον του. Η σχετική υγρασία του χώρου (ή η ενεργότητα νερού) μετριέται μετά την αποκατάσταση της ισορροπίας με κατάλληλους αισθητήρες.

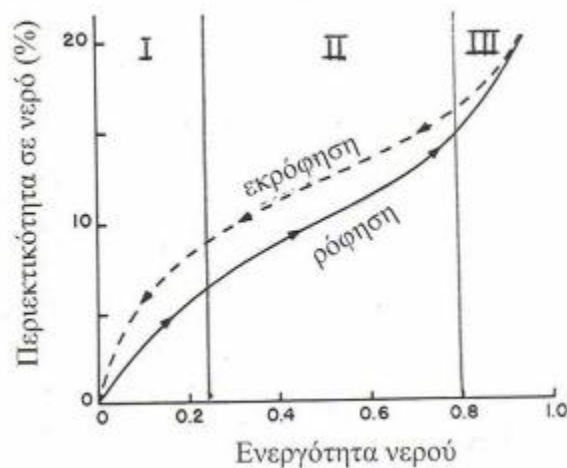
ΘΕΩΡΗΤΙΚΟ ΜΕΡΟΣ: Ανάπτυξη καινοτόμων βιομηχανικών προϊόντων εκβολής με προσθήκη πρεβιοτικών ινών- φυτικών και ζωικών τροφίμων. Μελέτη των ιδιοτήτων τους.

Στη δεύτερη μέθοδο μικρά δείγματα τροφίμου τοποθετούνται σε χώρους σταθερής σχετικής υγρασίας. Μετά την αποκατάσταση της ισορροπίας προσδιορίζεται η υγρασία του τροφίμου σταθμικά μετά από ξήρανση, ή με άλλη κατάλληλη μέθοδο. Η σταθερή σχετική υγρασία στο χώρο επιτυγχάνεται με χρήση κορεσμένων διαλυμάτων αλάτων ή διαλυμάτων θειικού οξέος.

Οι ισόθερμες των τροφίμων είναι συνήθως σιγμοειδείς καμπύλες, όπως φαίνονται στο σχήμα 1-8. και έχουν αποδοθεί προσεγγιστικά από διάφορες μαθηματικές εξισώσεις. Στο σχήμα 1-8 φαίνεται και η υστέρηση που παρουσιάζουν τα περισσότερα τρόφιμα μεταξύ ρόφησης και εκρόφησης. Στο φαινόμενο της υστέρησης, τα τρόφιμα, κατά τη ρόφηση υγρασίας, εμφανίζουν μικρότερη περιεκτικότητα νερού από ότι κατά την εκρόφηση, σε ισορροπία με περιβάλλον της ίδιας σχετικής υγρασίας. Το φαινόμενο της υστέρησης ερμηνεύεται από τη δημιουργία μη αντιστρεπτών μεταβολών κατά τη ρόφηση υγρασίας από το τρόφιμο.

Η σχέση της υγρασίας του τροφίμου με τη μερική πίεση ατμών στην αέρια φάση σε ισορροπία εξαρτάται από τον τρόπο με τον οποίο το νερό συγκρατείται από το τρόφιμο. Ένα τμήμα του νερού είναι ισχυρά δεσμευμένο στο τρόφιμο ως μονομοριακό στρώμα. Οι ειδικές θέσεις στις οποίες δεσμεύεται αυτό το νερό περιλαμβάνουν τις ομάδες υδροξυλίων των πολυσακχαριτών, τις καρβονυλομάδες και αμινομάδες των πρωτεϊνών κ.ά. Η εκτίμηση της ποσότητας αυτού του ισχυρά δεσμευμένου νερού που καλείται και “τιμή μονομοριακού στρώματος” (monolayer value) μπορεί να γίνει μέσω της εξίσωσης BET (Brunauer-Emmett-Teller), η οποία είναι μία από τις εξισώσεις που προσεγγίζουν την ισόθερμη ρόφησης;

$$W = \frac{w_{bm}Ca}{2(1-a)[1+(C-1)a]} \quad (8)$$



Σχήμα 1-8: Τυπική ισόθερμη ρόφησης-εκρόφησης τροφίμου.

$$\text{ή } \frac{a}{w(1-a)} = \frac{1}{w_{bm}C} + \frac{C-1}{w_{bm}C} a \quad (9)$$

ΘΕΩΡΗΤΙΚΟ ΜΕΡΟΣ: Ανάπτυξη καινοτόμων βιομηχανικών προϊόντων εκβολής με προσθήκη πρεβιοτικών ινών- φυτικών και ζωικών τροφίμων. Μελέτη των ιδιοτήτων τους.

Όπου:

- a ενεργότητα νερού
- w υγρασία του τροφίμου (kg H₂O/kg ξηρού στερεού)
- w_{bm} τιμή μονομοριακού στρώματος (kg H₂O/kg ξηρού στερεού)
- C σταθερά

Για τον υπολογισμό της τιμής μονομοριακού στρώματος κατασκευάζεται η ισόθερμη BET με άξονες την ενεργότητα νερού (a) και το λόγο $a/w(1-a)$. Η μονοστρωματική τιμή (w_{bm}) και η σταθερά C υπολογίζονται από την αποτέμνουσα ($1/w_{bm}C$) και την κλίση $[(C-1)/w_{bm}C]$ της ευθείας. Η εξίσωση BET συνήθως θεωρείται ότι εκφράζει με καλή προσέγγιση τα δεδομένα της ισοθέρμου ρόφησης μέχρι τιμή ενεργότητας 0.45. Επίσης η τιμή μονομοριακού στρώματος που υπολογίζεται με την εξίσωση BET αποδίδει ικανοποιητικά το νερό το δεσμευμένο σε πολικές θέσεις των ξηρών τροφίμων.

Πιο ικανοποιητική προσέγγιση της ισοθέρμου ρόφησης για τα περισσότερα τρόφιμα και για μεγαλύτερο εύρος τιμών ενεργότητας νερού (μέχρι 0.90 ή 0.95) δίνεται από την εξίσωση GAB (Guggenheim-Anderson-de Boer):

$$w = \frac{w_{gm} Y K a}{(1 - K a)(1 - K a + Y K a)} \quad (10)$$

όπου:

- w_{gm} τιμή μονομοριακού στρώματος (kg H₂O/kg ξηρού στερεού)
- K, Y σταθερές που σχετίζονται με την επίδραση της θερμοκρασίας.

Ο υπολογισμός των σταθερών της εξίσωσης GAB στηρίζεται στο μετασχηματισμό της εξίσωσης (10) στην:

$$\frac{a}{w} = \frac{K}{w_{gm}} \left(\frac{1}{Y} - 1 \right) a^2 + \frac{1}{w_{gm}} \left(1 - \frac{2}{Y} \right) a + \frac{1}{w_{gm} Y K} \quad (11)$$

Οι συντελεστές του πολυωνύμου της (11) προσδιορίζονται με πολυωνμική προσέγγιση της καμπύλης που προκύπτει αν κατασκευασθεί διάγραμμα a/w ως προς a με βάση τα πειραματικά δεδομένα. Τιμές του μονομοριακού στρώματος κατά BET και GAB και των αντίστοιχων σταθερών των δύο εξισώσεων υπάρχουν στη βιβλιογραφία για διάφορα τρόφιμα.

ΘΕΩΡΗΤΙΚΟ ΜΕΡΟΣ: Ανάπτυξη καινοτόμων βιομηχανικών προϊόντων εκβολής με προσθήκη πρεβιοτικών ινών- φυτικών και ζωικών τροφίμων. Μελέτη των ιδιοτήτων τους.

Το μονομοριακό στρώμα νερού αντιστοιχεί στο πρώτο τμήμα των ισοθέμων ρόφησης (ζώνη I, σχήμα 1-8) και ανέρχεται σε 0-0.2 g/g στερεών και οι τιμές ενεργότητας που αντιστοιχούν σε αυτό δεν υπερβαίνουν συνήθως το 0.25. Το λιγότερο ισχυρά δεσμευμένο νερό αποτελεί τις πολυστρωματικές στοιβάδες και αντιστοιχεί στη ζώνη II της ισοθέμου σε τιμές ενεργότητας μέχρι 0.75 περίπου. Επί πλέον του δεσμευμένου νερού υπάρχει ένα μέρος νερού παγιδευμένο σε τριχοειδείς πόρους, το οποίο παρουσιάζει μειωμένη τάση ατμών. Η ενεργότητα νερού μειώνεται όσο μειώνεται η ακτίνα των πόρων ενός υλικού. Η ακριβής μείωση της ενεργότητας νερού λόγω της ύπαρξης τριχοειδών πόρων στα τρόφιμα δεν είναι εύκολο να υπολογισθεί, αλλά έχει εκτιμηθεί από εξισώσεις και πίνακες που υπάρχουν στη βιβλιογραφία. Το ελεύθερο νερό στα τρόφιμα εμφανίζει μειωμένη τάση ατμών λόγω των διαφόρων συστατικών που είναι διαλυμένα σε αυτό και αντιστοιχεί στη ζώνη III των ισοθέμων ρόφησης (<http://www.chemeng.ntua.gr/courses/trbio/files/KEF%204>).

2. ΠΕΙΡΑΜΑΤΙΚΟ ΜΕΡΟΣ

2.1 ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Η παρούσα διπλωματική εργασία αποσκοπεί στη μελέτη των ιδιοτήτων των προϊόντων εκβολής, τα οποία παράγονται με συνδυασμό ρυζάλευρου και ινουλίνης καθώς και με συνδυασμό ρυζάλευρου και διαφόρων πρόσθετων γεύσεων από φυτικά προϊόντα, όπως η φράουλα, το μήλο, μήλο σε συνδυασμό με κανέλα, η πιπεριά και η πάπρικα, αλλά και από ζωικά προϊόντα, όπως το μπέικον και ο παστοურμάς.

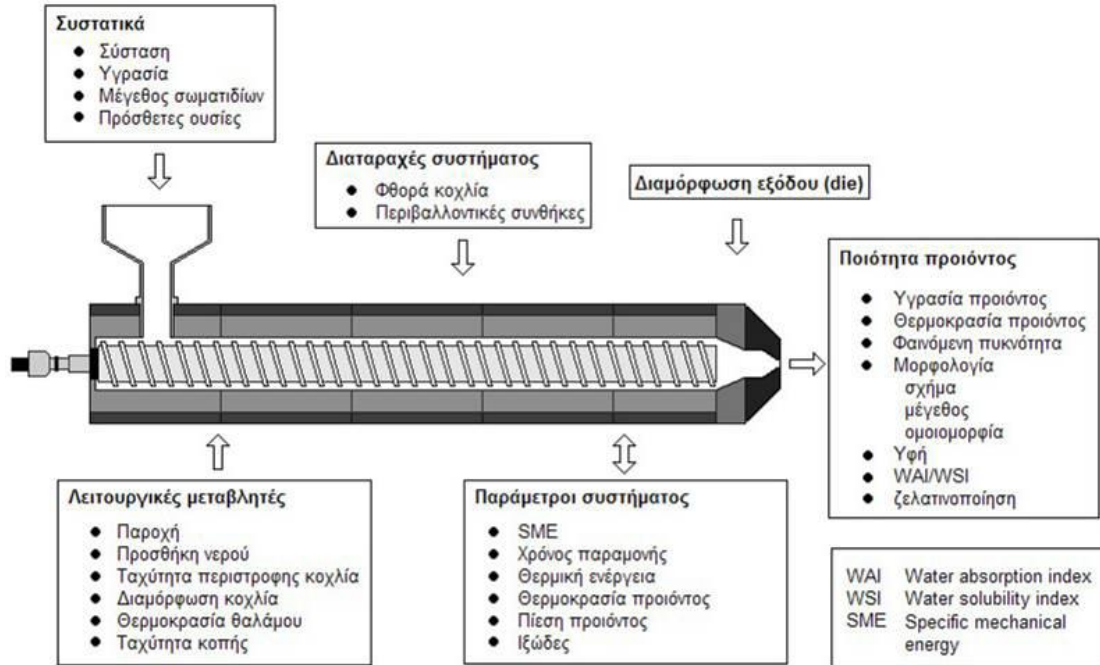
Η ξήρανση των φυτικών και ζωικών προϊόντων έγινε με τη διεργασία της ξήρανσης υπό κατάψυξη (freeze drying), ώστε να διατηρηθούν αναλλοίωτα όσο το δυνατόν περισσότερα από τα πολύτιμα θρεπτικά συστατικά τους.

Τα προϊόντα του συνδυασμού ρυζάλευρο- ινουλίνη καθώς και του συνδυασμού ρυζάλευρο- πρόσθετες γεύσεις φυτικών και ζωικών προϊόντων μελετώνται σε διάφορες αναλογίες μεταξύ τους και σε διαφορετικές υγρασίες. Αυτό θα έχει ως αποτέλεσμα την ανάπτυξη καινοτόμων προϊόντων τύπου σνακ, τα οποία να μπορούν να ανταπεξέλθουν στην ευρύτερη αγορά των τροφίμων, ως υγιεινά, καθώς δεν είναι χημικώς επεξεργασμένα, οπτικά αρεστά αλλά κυρίως ιδιαίτερα γευστικά. Ο ειδικός μας στόχος είναι η παραγωγή νέας γνώσης, η οποία θα βελτιώσει τη διεργασία της εκβολής και θα οδηγήσει στην παραγωγή νέων καινοτόμων προϊόντων εκβολής με επιθυμητές δομικές, θερμικές, λειτουργικές, οπτικές και οργανοληπτικές ιδιότητες.

Οι ιδιότητες των προϊόντων εκβολής (δομικές, λειτουργικές, θερμικές, οπτικές οργανοληπτικές κλπ.), εκτός από τον τύπο του εκβολέα που χρησιμοποιείται, εξαρτώνται και καθορίζονται από τις παραμέτρους της διεργασίας και τη σύσταση του υλικού που υφίσταται επεξεργασία (Σχήμα 2.1). Οι μεταβλητές που επηρεάζουν περισσότερο τις ιδιότητες των προϊόντων εκβολής είναι η θερμοκρασία εκβολής, η ταχύτητα περιστροφής των κοχλιών, η υγρασία και η σύσταση της τροφοδοσίας. Για το λόγο αυτό μελετήθηκε η εκβολή των παραπάνω μιγμάτων ρυζάλευρου, κάτω από διάφορες συνθήκες εκβολής (θερμοκρασία, ταχύτητας περιστροφής κοχλιών, υγρασία - σύσταση τροφοδοσίας). Χρησιμοποιήθηκε εκβολέας διπλού κοχλία, συμπεριστροφής.

Η προσθήκη της ινουλίνης και των φυτικών και ζωικών προϊόντων σε διάφορες αναλογίες συμβάλλει τόσο στη μεταβολή των ποιοτικών χαρακτηριστικών των προϊόντων, όσο και στη βελτίωση του θρεπτικού περιεχομένου. Αυτό θα επιτρέψει τη μελέτη της επίδρασης των συνθηκών εκβολής, καθώς και των χαρακτηριστικών της πρώτης ύλης πάνω στις ιδιότητες των τροφίμων εκβολής με αυξημένη διατροφική αξία.

ΠΕΙΡΑΜΑΤΙΚΟ ΜΕΡΟΣ: Ανάπτυξη καινοτόμων βιομηχανικών προϊόντων εκβολής με προσθήκη πρεβιοτικών ινών- φυτικών και ζωικών τροφίμων. Μελέτη των ιδιοτήτων τους.



Σχήμα 2-1: Παράγοντες που καθορίζουν τις ιδιότητες των τροφίμων εκβολής.

ΠΕΙΡΑΜΑΤΙΚΟ ΜΕΡΟΣ: Ανάπτυξη καινοτόμων βιομηχανικών προϊόντων εκβολής με προσθήκη πρεβιοτικών ινών- φυτικών και ζωικών τροφίμων. Μελέτη των ιδιοτήτων τους.

2.2 ΠΕΙΡΑΜΑΤΙΚΟΣ ΣΧΕΔΙΑΣΜΟΣ

2.2.1 ΠΕΙΡΑΜΑΤΙΚΟΣ ΣΧΕΔΙΑΣΜΟΣ ΓΙΑ ΜΕΙΓΜΑ ΡΥΖΑΛΕΥΡΟΥ- ΙΝΟΥΛΙΝΗΣ

Οι πειραματικές παράμετροι που επηρεάζουν τη διεργασία της εκβολής του μείγματος ρυζάλευρου-ινουλίνης και θα εξεταστούν αναλυτικά βρίσκονται στον παρακάτω πίνακα.

Πίνακας 1: Τιμές πειραματικών παραμέτρων και κωδικοποίηση δειγμάτων ρυζάλευρου- ινουλίνης.

Ανεξάρτητη μεταβλητή	Επίπεδα			Κωδικοποίηση			Συνθήκες αναφοράς	
Περιεχόμενη υγρασία (% κ.β.), X	14	17	20	1	2	3	X_o	17
Αναλογία ινουλίνη/ριζάλευρο (%), C	5	10	15	1	2	3	$C_{o,1}$	10
Θερμοκρασία εκβολής ($^{\circ}C$), T	140	160	180	1	2	3	T_o	160
Ταχύτητα Περιστροφής Κοχλιών (rpm), R	150	200	250	1	2	3	R_o	200

Παράδειγμα κωδικοποίησης I1233: προϊόν με ινουλίνη που περιέχει υγρασία τροφοδοσίας 14%, αναλογία υλικών 10% και έχει επεξεργασθεί στους 180 $^{\circ}C$ και στα 250 rpm.

Από τα δεδομένα του Πίνακα 1 βγαίνει το συμπέρασμα ότι ο πλήρης έλεγχος των επιλεγμένων πειραματικών μετρήσεων απαιτεί τη πραγματοποίηση 243 πειραμάτων (1 υλικά x 3 συγκεντρώσεις x 3 υγρασίες x 3 θερμοκρασίες x 3 ταχύτητες x 3 επαναλήψεις).

Η υλοποίηση των πειραμάτων αποφασίστηκε να ακολουθήσει τη μεθοδολογία του σταυροειδούς σχεδιασμού. Συγκεκριμένα, επιλέχθηκε ο πειραματικός σχεδιασμός κεντρικού σημείου, 4 παραγόντων με 3 επίπεδα με αποτέλεσμα να προκύπτουν συνολικά 26 ανεξάρτητα πειράματα τα οποία θα πραγματοποιηθούν σε 3 φορές (3 επαναλήψεις). Στον Πίνακα 2 φαίνεται αναλυτικά ο πειραματικός σχεδιασμός που θα ακολουθηθεί.

ΠΕΙΡΑΜΑΤΙΚΟ ΜΕΡΟΣ: Ανάπτυξη καινοτόμων βιομηχανικών προϊόντων εκβολής με προσθήκη πρεβιοτικών ινών- φυτικών και ζωικών τροφίμων. Μελέτη των ιδιοτήτων τους.

Πίνακας 2: Πειραματικός σχεδιασμός.

Υλικό	Περιεχόμενη υγρασία X (% κ.β.)	Συγκέντρωση ινουλίνης C (%)	Θερμοκρασία εκβολής T (°C)	Ταχύτητα Περιστροφής Κοχλιών R (rpm)	
	I3311	20	15	140	150
	I3313	20	15	140	250
	I3111	20	5	140	150
	I3113	20	5	140	250
	I2212	17	10	140	200
	I1311	14	15	140	150
	I1313	14	15	140	250
	I1113	14	5	140	250
	I1111	14	5	140	150
	I3222	20	10	160	200
	I2322	17	15	160	200
	I2222	17	10	160	200
Ρυζάλευρο/Ινουλίνη	I2222	17	10	160	200
	I2223	17	10	160	250
	I2221	17	10	160	150
	I2122	17	5	160	200
	I1222	14	10	160	200
	I3333	20	15	180	250
	I3331	20	15	180	150
	I3131	20	5	180	150
	I3133	20	5	180	250
	I2232	17	10	180	200
	I1333	14	15	180	250
	I1331	14	15	180	150
	I1131	14	5	180	150
	I1133	14	5	180	250
Τυφλό(Control)	I2022	17	0	160	200

ΠΕΙΡΑΜΑΤΙΚΟ ΜΕΡΟΣ: Ανάπτυξη καινοτόμων βιομηχανικών προϊόντων εκβολής με προσθήκη πρεβιοτικών ινών- φυτικών και ζωικών τροφίμων. Μελέτη των ιδιοτήτων τους.

2.2.2 ΠΕΙΡΑΜΑΤΙΚΟΣ ΣΧΕΔΙΑΣΜΟΣ ΓΙΑ ΜΕΙΓΜΑ ΡΥΖΑΛΕΥΡΟΥ- ΦΥΤΙΚΩΝ ΚΑΙ ΖΩΙΚΩΝ ΠΡΟΪΟΝΤΩΝ

Η πειραματική παράμετρος που επιλέχθηκε να μελετηθεί κατά τη διεργασία της εκβολής των μειγμάτων ρυζάλευρου- φυτικών και ζωικών προϊόντων είναι η αναλογία των πρόσθετων υλικών στο μείγμα με το ρυζάλευρο, C , ώστε να εξετασθεί η επίδρασή της στις τελικές ιδιότητες των προϊόντων. Η θερμοκρασία εκβολής, T , η ταχύτητα περιστροφής των κοχλιών (rpm), R και η περιεχόμενη υγρασία X επιλέχθηκε να παραμείνουν σταθερές με βάση τη βέλτιστη τιμή τους. Ως βέλτιστη τιμή για κάθε παράμετρο επιλέξαμε τις τιμές εκείνες που δίνουν τη βέλτιστη οργανοληπτική αξιολόγηση για το μείγμα ρυζάλευρου- ινουλίνης και αυτές παρατίθενται στον πίνακα 3.

Πίνακας 3:Βέλτιστες τιμές πειραματικών παραμέτρων ρυζάλευρου- προσθέτων.

Ανεξάρτητη μεταβλητή	Επίπεδα
Περιεχόμενη υγρασία (% κ.β.), X	14
Θερμοκρασία εκβολής ($^{\circ}\text{C}$), T	180
Ταχύτητα Περιστροφής Κοχλιών (rpm), R	150 250

Συνεπώς η τιμή της περιεχόμενης υγρασίας είναι 14%, η θερμοκρασία εκβολής 180 $^{\circ}\text{C}$ και η ταχύτητα περιστροφής των κοχλιών είναι 150 rpm για το μπέικον και 250 rpm για το μήλο, τη φράουλα, την πιπεριά, την πάπρικα και τον παστοურμά. Για το μπέικον επιλέξαμε την τιμή 150 rpm για την περιστροφή των κοχλιών, λόγο του ότι σε χαμηλές στροφές προκύπτουν προϊόντα με πιο ευχάριστη γεύση και χωρίς γεύση άψητου, όπως προέκυψαν τα ίδια δείγματα στα 250 rpm.

Η συγκέντρωση των πρόσθετων υλικών στο μείγμα με το ρυζάλευρο, C καθώς και η κωδικοποίηση των μειγμάτων παρατίθεται στον πίνακα 4.

ΠΕΙΡΑΜΑΤΙΚΟ ΜΕΡΟΣ: Ανάπτυξη καινοτόμων βιομηχανικών προϊόντων εκβολής με προσθήκη πρεβιοτικών ινών- φυτικών και ζωικών τροφίμων. Μελέτη των ιδιοτήτων τους.

Πίνακας 4: Τιμές της αναλογίας πρόσθετου- ριζάλευρου και κωδικοποίηση δειγμάτων.

Πρόσθετο υλικό	Αναλογία πρόσθετου/ριζάλευρο (%), C			Κωδικοποίηση
Μήλο	5	10	15	A
Μήλο- Κανέλα	10 (μήλο)-1 (κανέλα)			A-CIN
Φράουλα	5	10	15	F
Πιπεριά	2	4		PEP
Πάπρικα	2	4		PAP
Παστουρμάς	2	5	8	PAS
Μπέικον	2	5	10	B

Παράδειγμα κωδικοποίησης PAS5: προϊόν με παστοურμά που περιέχει υγρασία τροφοδοσίας 14%, αναλογία υλικών 5% και έχει επεξεργασθεί στους 180°C και στα 250 grm.

2.3 ΠΕΙΡΑΜΑΤΙΚΗ ΔΙΑΔΙΚΑΣΙΑ

2.3.1 ΠΡΟΕΤΟΙΜΑΣΙΑ ΜΙΓΜΑΤΩΝ

Για την παραγωγή των μειγμάτων χρησιμοποιήθηκε ως βάση το ρυζάλευρο (Agrino) η ινουλίνη, το μήλο, μήλο με κανέλα, η φράουλα, η πιπεριά, η πάπρικα, το μπέικον και ο παστοურμάς. Για το μήλο, τη φράουλα, τη πιπεριά, το μπέικον και τον παστοურμά ακολουθήθηκε η διεργασία της ξήρανσης υπό κατάψυξη (freeze-drying).

Η διαδικασία της ξήρανσης υπό κατάψυξη για τα παραπάνω διεξήχθη ως εξής: Αρχικά ψιλοκόψαμε τα φρούτα σε μικρά κομμάτια και το μπέικον και τον παστοურμά σε λεπτές φέτες. Στη συνέχεια τοποθετήσαμε τα υπό επεξεργασία τρόφιμα στην κατάψυξη στους -30°C για 3 ημέρες. Έπειτα τα τοποθετήσαμε σε συσκευή ξήρανσης υπό κατάψυξη (Leybold-Heraeus GT 2A) για 24 ώρες (Εικόνα 2). Αφού τελειώσει η διαδικασία της ξήρανσης υπό κατάψυξη, τα αποξηραμένα κομμάτια φρούτων και οι αποξηραμένες φέτες μπέικον και παστοურμά τοποθετήθηκαν σε μπλέντερ, ώστε να γίνουν σκόνη. Τέλος τα συσκευάσαμε αεροστεγώς, ώστε να αποφευχθεί η αλλοίωση τους και η αλλαγή της περιεχόμενης υγρασίας τους και τα τοποθετούμε στην κατάψυξη για την περαιτέρω διατήρησή τους.

Η περιεκτικότητα σε υγρασία της σκόνης των αποξηραμένων πλέον τροφίμων προσδιορίστηκε σε φούρνο (Binder, Germany) στους 105 °C, μέχρι σταθερού βάρους.

ΠΕΙΡΑΜΑΤΙΚΟ ΜΕΡΟΣ: Ανάπτυξη καινοτόμων βιομηχανικών προϊόντων εκβολής με προσθήκη πρεβιοτικών ινών- φυτικών και ζωικών τροφίμων. Μελέτη των ιδιοτήτων τους.



Εικόνα 1: Αποξηραμένα προϊόντα σε μορφή σκόνης.



Εικόνα 2: Φράουλες στη συσκευή για ξήρανση υπό κατάψυξη.

Ακολουθεί η δημιουργία των μιγμάτων προς εκβολή με την ανάμειξη ρυζάλευρου πρόσθετης σκόνης ινουλίνης η τροφίμου και νερού, σύμφωνα με τις προκαθορισμένες αναλογίες που αναφέρθηκαν παραπάνω. Στη συνέχεια πέρασαν από κόσκινο ώστε να είναι ομοιόμορφα. Ο προσδιορισμός της υγρασίας των μιγμάτων εκβολής έγινε σε φούρνο των 105°C , μέχρι σταθερού βάρους, για την επιβεβαίωση της επίτευξης της επιθυμητής υγρασίας. Σε όποιο μίγμα δεν υπήρξε η υγρασία σε επιθυμητά επίπεδα προσθέταμε υπολογισμένο ποσό νερού.

ΠΕΙΡΑΜΑΤΙΚΟ ΜΕΡΟΣ: Ανάπτυξη καινοτόμων βιομηχανικών προϊόντων εκβολής με προσθήκη πρεβιοτικών ινών- φυτικών και ζωικών τροφίμων. Μελέτη των ιδιοτήτων τους.

Επαναλαβάναμε τη διαδικασία έως ότου αποκτούσαμε την επιθυμητή υγρασία σε κάθε μείγμα. Στη συνέχεια, τα μείγματα τοποθετήθηκαν στο ψυγείο στους 4°C, για 24 ώρες τουλάχιστον, έτσι ώστε να επιτευχθεί η ομοιόμορφη κατανομή της υγρασίας στο εσωτερικό τους. Επιπλέον, κάθε μείγμα ήταν αεροστεγώς κλεισμένο σε διπλές σακούλες πολυαιθυλενίου ώστε να μην υπάρχει απώλεια της περιεχόμενης υγρασίας του.



Εικόνα 3: Τελικά μείγματα πριν την εκβολή.

2.3.2 ΠΑΡΑΓΩΓΗ ΠΡΟΪΟΝΤΩΝ ΕΚΒΟΛΗΣ

Για την παραγωγή των προϊόντων εκβολής χρησιμοποιήθηκε εκβολέας διπλού κοχλίου (Prism Eurolab, model KX- 16HC, Staffordshire, UK). Ο εκβολέας είχε μήκος 40 cm, διάμετρο 16 mm, μέγιστη ταχύτητα περιστροφής των κοχλιών 500 rpm και διάμετρο μήτρας 3 mm. Ο εκβολέας διαθέτει πέντε ζώνες ρύθμισης της θερμοκρασίας, για την επίτευξη των τριών διαφορετικών θερμοκρασιών (140°C, 160°C και 180°C) που αναφέρονται στη μήτρα. Παρατηρήθηκε ότι η σταθερή κατάσταση επιτεύχθηκε μετά από 20 sec από την έναρξη της τροφοδότησης, μετά την οποία ξεκίνησε η συλλογή των δειγμάτων, τα οποία αποθηκεύθηκαν στη συνέχεια σε κατάλληλη συσκευασία για την περαιτέρω διεξαγωγή της μέτρησης των ιδιοτήτων. Στις παρακάτω εικόνες παρουσιάζεται ο εκβολέας, οι κοχλίες και η μήτρα.

ΠΕΙΡΑΜΑΤΙΚΟ ΜΕΡΟΣ: Ανάπτυξη καινοτόμων βιομηχανικών προϊόντων εκβολής με προσθήκη πρεβιοτικών ινών- φυτικών και ζωικών τροφίμων. Μελέτη των ιδιοτήτων τους.



Εικόνα 4: Δεξιά πλάγια όψη εκβολέα. Διακρίνεται το χιτωνίο, ο κινητήρας και η οθόνη τύπου touch screen.

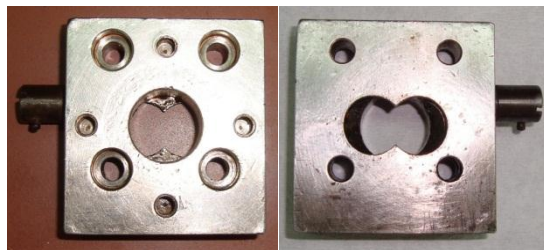


Εικόνα 5: Κάτοψη χιτωνίου εκβολέα διπλού κοχλία.



Εικόνα 6: Μήτρα εξόδου του προϊόντος από τον εκβολέα.

ΠΕΙΡΑΜΑΤΙΚΟ ΜΕΡΟΣ: Ανάπτυξη καινοτόμων βιομηχανικών προϊόντων εκβολής με προσθήκη πρεβιοτικών ινών- φυτικών και ζωικών τροφίμων. Μελέτη των ιδιοτήτων τους.



Εικόνα 7: Πρόσθια και οπίσθια όψη προσαγωγή μήτρας.



Εικόνα 8: Τελικά προϊόντα εκβολής.

ΠΕΙΡΑΜΑΤΙΚΟ ΜΕΡΟΣ: Ανάπτυξη καινοτόμων βιομηχανικών προϊόντων εκβολής με προσθήκη πρεβιοτικών ινών- φυτικών και ζωικών τροφίμων. Μελέτη των ιδιοτήτων τους.

2.4 ΠΡΟΣΔΙΟΡΙΣΜΟΣ ΙΔΙΟΤΗΤΩΝ

2.4.1 ΔΟΜΙΚΕΣ ΙΔΙΟΤΗΤΕΣ

Πραγματική Πυκνότητα, Φαινόμενη Πυκνότητα, Πορώδες, Κατανομή πόρων, Συντελεστής Διόγκωσης

Στην παρούσα διπλωματική εργασία η πραγματική πυκνότητα προσδιορίσθηκε με χρήση στερεοπυκνόμετρου ηλίου Quantachrome (model MVP-1, Quantachrome, Florida, USA) (Εικόνα 9).

Η αρχή λειτουργίας της συσκευής αυτής βασίζεται στη μέτρηση της διαφοράς πίεσης που προκύπτει όταν γνωστή ποσότητα αερίου υπό πίεση κινηθεί από έναν χώρο γνωστού όγκου V_R μέσα σε μια κυψελίδα η οποία περιέχει την προς μέτρηση στερεή σκόνη. Το ήλιο λόγω των μικρών ατομικών διαστάσεων του μπορεί να διαπεράσει τους πιο μικρούς πόρους του υλικού και να εξασφαλίσει έτσι τη μέγιστη ακρίβεια. Εκτιμάται ότι το ήλιο διαπερνά ρωγμές και πόρους του υλικού μεγέθους που προσεγγίζει το ένα Angstrom (10^{-10} m).

Η διαδικασία μέτρησης περιλαμβάνει την λειοτρίβιση τεμαχίων προϊόντων εκβολής, τη ζύγισή τους, πριν και μετά την λειοτρίβιση, και την τοποθέτηση του λειοτριβιμένου υλικού στην κυψελίδα του πυκνόμετρου. Σε κάθε μέτρηση η κυψελίδα πληρώνεται στα 2/3 περίπου του όγκου της, ώστε να εξασφαλιστεί μεγαλύτερη ακρίβεια στη μέτρηση. (Krokida, Karathanos and Maroulis 1998)

Ο χειρισμός του πυκνόμετρου μετά την εισαγωγή της κυψελίδας με το δείγμα σε αυτό αναφέρεται αναλυτικά στο κεφάλαιο 1.4.1 της εργασίας.



Εικόνα 9: Στερεοπυκνόμετρο ηλίου MVP-1 της Quantachrome.

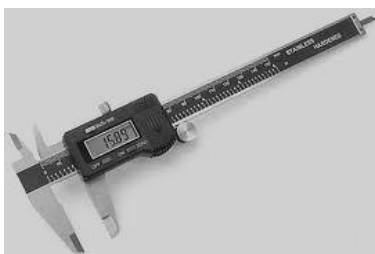
Η πραγματική πυκνότητα υπολογίστηκε από τη σχέση:

$$\rho_{ts} = \frac{m_s}{V_s} \quad (12)$$

ΠΕΙΡΑΜΑΤΙΚΟ ΜΕΡΟΣ: Ανάπτυξη καινοτόμων βιομηχανικών προϊόντων εκβολής με προσθήκη πρεβιοτικών ινών- φυτικών και ζωικών τροφίμων. Μελέτη των ιδιοτήτων τους.

όπου ρ_{ts} (kg/m^3) η πραγματική πυκνότητα, m_s (kg) η μάζα του υλικού και V_s (m^3) ο όγκος του υλικού.

Ο φαινόμενος όγκος των υλικών υπολογίστηκε μετρώντας τις ακριβείς διαστάσεις των τεμαχίων (διάμετρος, μήκος) με ψηφιακό παχύμετρο ακριβείας 0.001 cm (Lazou and Krokida 2010).



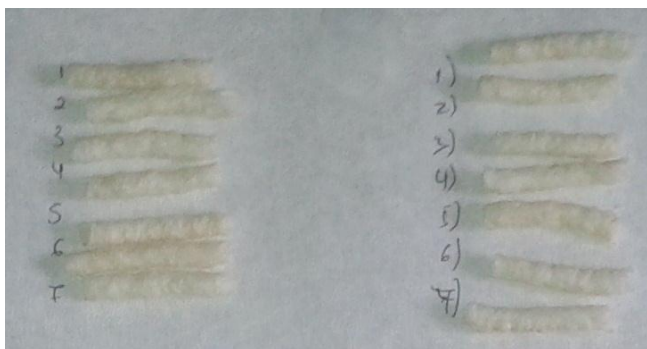
Εικόνα 10: Ψηφιακό παχύμετρο.

Τα δοκίμια θεωρήθηκαν κυλινδρικά και ο ολικός όγκος υπολογίστηκε από τη σχέση:

$$V_{ap} = \frac{\pi \cdot d^2 \cdot h}{4} \quad (13)$$

όπου V_{ap} (m^3) ο ολικός όγκος του προϊόντος εκβολής, h (m) το μήκος, d (m) η διάμετρος κάθε δείγματος.

Πραγματοποιήθηκαν επτά επαναλήψεις για κάθε δείγμα. Το μήκος και η διάμετρος των προϊόντων εκβολής υπολογίστηκαν ως ο μέσος όρος τριών μετρήσεων σε διαφορετικά σημεία κάθε δείγματος. Το μήκος των προϊόντων εκβολής καθορίστηκε στα 4cm περίπου.



Εικόνα 11: Δείγματα μήκους 4cm για τον υπολογισμό της φαινόμενης πυκνότητας.

Η φαινόμενη πυκνότητα υπολογίστηκε από τη σχέση:

$$\rho_{ap} = \frac{m_s}{V_{ap}} \quad (14)$$

ΠΕΙΡΑΜΑΤΙΚΟ ΜΕΡΟΣ: Ανάπτυξη καινοτόμων βιομηχανικών προϊόντων εκβολής με προσθήκη πρεβιοτικών ινών- φυτικών και ζωικών τροφίμων. Μελέτη των ιδιοτήτων τους.

όπου ρ_{ap} (kg/m^3) η φαινόμενη πυκνότητα και m_s (kg) η μάζα του υλικού.

Το πορώδες ε υπολογίστηκε με βάση τη σχέση:

$$\varepsilon = 1 - \frac{\rho_{ap}}{\rho_{ts}} \quad (15)$$

Ο συντελεστής διόγκωσης υπολογίστηκε με διαίρεσή της διαμέτρου των υλικών ως προς τη διάμετρο της οπής της μήτρας του εκβολέα (Ahmed 1999).

$$E = \frac{d}{d_o} \quad (16)$$

όπου d (m) η διάμετρος του δείγματος, d_o (m) η διάμετρος της οπής της μήτρας του εκβολέα.

2.4.1.1 ΗΛΕΚΤΡΟΝΙΚΗ ΜΙΚΡΟΣΚΟΠΙΑ ΣΑΡΩΣΗΣ

Η απεικόνιση της δομής των προϊόντων εκβολής πραγματοποιήθηκε με ηλεκτρονικό μικροσκόπιο σάρωσης (SEM). Εξετάστηκαν οι κάθετες διατομές των δειγμάτων. Τα υλικά κόπηκαν σε πάχος 1-2 mm και επιμεταλλώθηκαν με χρυσό για 90 sec χρησιμοποιώντας τον επιμεταλλωτή SC7620 Mini Sputter Coater (Quorum Technologies). Η διαδικασία αυτή είναι απαραίτητη, για να καταστήσει αγωγίμο τα δείγματα. Τα δοκίμια φωτογραφήθηκαν χρησιμοποιώντας ηλεκτρονικό μικροσκόπιο σάρωσης (Quanta 200 FEI (2004), χρησιμοποιώντας LFD ανιχνευτή στα 25kV.



Εικόνα 12: Ηλεκτρονικό μικροσκόπιο σάρωσης (Quanta 200 FEI (2004)).

2.4.2 ΙΔΙΟΤΗΤΕΣ ΥΦΗΣ- ΜΗΧΑΝΙΚΕΣ ΙΔΙΟΤΗΤΕΣ

Οι ιδιότητες υφής, ή αλλιώς και μηχανικές ιδιότητες μελετώνται με δοκιμές συμπίεσης. Τα δείγματα τεμαχίζονται και μετρώνται οι διαστάσεις τους. Οι μηχανικές δοκιμές μονό-αξονικής συμπίεσης έγιναν στη συσκευή δοκιμών Zwick Z2.5/TN1S (Germany). Τα πειράματα πραγματοποιήθηκαν σε θερμοκρασία δωματίου (25°C) με σταθερή ταχύτητα 5 mm/min. Οι καμπύλες δύναμης-παραμόρφωσης ($F-D$) οι οποίες καταγράφονται ηλεκτρονικά, λαμβάνονται από τη συσκευή και επεξεργάζονται ώστε να προκύψουν οι καμπύλες τάσης παραμόρφωσης

ΠΕΙΡΑΜΑΤΙΚΟ ΜΕΡΟΣ: Ανάπτυξη καινοτόμων βιομηχανικών προϊόντων εκβολής με προσθήκη πρεβιοτικών ινών- φυτικών και ζωικών τροφίμων. Μελέτη των ιδιοτήτων τους.

(σ-ε). Στη συνέχεια επεξεργάζονται περαιτέρω ώστε να προκύψουν η μέγιστη τάση, η μέγιστη παραμόρφωση, το μέτρο Ελαστικότητας και ο αριθμός των θραύσεων.



Εικόνα 13. Συσκευή μηχανικών δοκιμών Zwick Z2.5/TN1S (Germany).



Εικόνα 14: Τρόφιμο εκβολής τύπου σνακ έτοιμο προς μηχανική συμπίεση.

ΠΕΙΡΑΜΑΤΙΚΟ ΜΕΡΟΣ: Ανάπτυξη καινοτόμων βιομηχανικών προϊόντων εκβολής με προσθήκη πρεβιοτικών ινών- φυτικών και ζωικών τροφίμων. Μελέτη των ιδιοτήτων τους.

2.4.3 ΛΕΙΤΟΥΡΓΙΚΕΣ ΙΔΙΟΤΗΤΕΣ

2.4.3.1 ΙΚΑΝΟΤΗΤΑ ΑΠΟΡΡΟΦΗΣΗΣ ΝΕΡΟΥ ΚΑΙ ΙΚΑΝΟΤΗΤΑ ΔΙΑΛΥΤΟΤΗΤΑΣ ΣΕ ΝΕΡΟ

Η ικανότητα απορρόφησης νερού (*IAN*) καθορίστηκε από τη μέθοδο Anderson, Conway, Peplinski (1970) (R.A. Anderson, H.F. Conway and Peplinski 1970): απιονισμένο νερό (5 mL) προστέθηκε σε δείγμα το οποίο είχε πρώτα λειοτριβηθεί (0.2 g) μέσα σε προζυγισμένο δοκιμαστικό σωλήνα των 15 mL. Ο δοκιμαστικός σωλήνας αναδεύτηκε σε συσκευή Vortex για 2 min και στη συνέχεια φυγοκεντρήθηκε για 20 min στα 3000 rpm. Μετά τη φυγοκέντρηση το υπερκείμενο υγρό αποχύθηκε σε προζυγισμένο φιαλίδιο ζύγισης.



Εικόνα 15: Φυγόκεντρος Nuve, NF400 (Turkey).

Το υπόλειμμα ζυγίσθηκε και υπολογίσθηκε ο δείκτης απορρόφησης νερού (*IAN*) ως εξής:

$$IAN = m_g / m_s \quad (17)$$

όπου το m_g αντιστοιχεί στη μάζα του υπολείμματος γέλης (g) ενώ το m_s αναφέρεται στη μάζα του δείγματος (g).

Η ικανότητα διαλυτότητας σε νερό (*IDN*) υπολογίσθηκε με βάση το ποσό των ξηρών στερεών τα οποία καταγράφηκαν μετά την εξάτμιση του υπερκείμενου υγρού που προέκυψε από τη δοκιμή υπολογισμού της απορρόφησης νερού:

$$IDN = (m_{ds} / m_s) 100 \quad (18)$$

όπου το m_{ds} αντιστοιχεί στη μάζα των ξηρών στερεών από το υπερκείμενο υγρό (g) και το m_s αντιστοιχεί στη μάζα του δείγματος (g).

2.4.3.2 ΙΚΑΝΟΤΗΤΑ ΑΠΟΡΡΟΦΗΣΗΣ ΛΑΔΙΟΥ

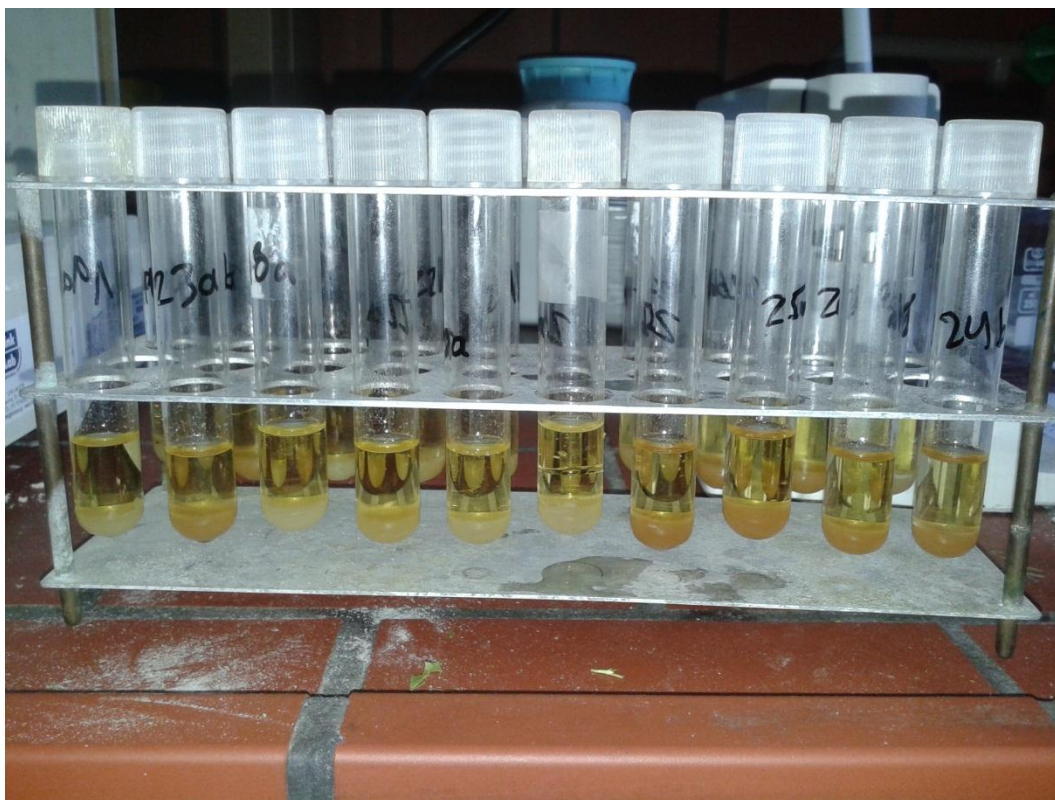
Ο δείκτης απορρόφησης λαδιού (*IAE*) καθορίστηκε βάσει της μεθόδου (Liadakis, Floridis, Tzia and Oreorouliou 1993): καλαμποκέλαιο (3 mL) προστέθηκε σε λειοτριβημένο δείγμα (0.5 g) σε προζυγισμένο βαθμονομημένο δοκιμαστικό σωλήνα 15 mL. Ο δοκιμαστικός σωλήνας

ΠΕΙΡΑΜΑΤΙΚΟ ΜΕΡΟΣ: Ανάπτυξη καινοτόμων βιομηχανικών προϊόντων εκβολής με προσθήκη πρεβιοτικών ινών- φυτικών και ζωικών τροφίμων. Μελέτη των ιδιοτήτων τους.

αναδεύτηκε σε συσκευή Vortex για 1 min, ακολούθησε ένα στάδιο επώασης εντός του δοκιμαστικού σωλήνα για 30 min και στη συνέχεια φυγοκέντρωση για 20 min στα 3000 rpm. Μετά τη φυγοκέντρωση τα δείγματα τοποθετήθηκαν ανάποδα πάνω σε απορροφητικό χαρτί ώστε να φύγει και η τελευταία σταγόνα ελαίου. Έπειτα τα δείγματα ζυγίστηκαν εκ νέου και υπολογίστηκε ο δείκτης απορρόφησης λαδιού ως εξής:

$$IAE = V_{oil}/m_s \quad (19)$$

όπου V_{oil} είναι ο όγκος του ελαίου που απορροφήθηκε από το δείγμα (mL) και m_s είναι η μάζα του δείγματος (g).



Εικόνα 16: Δοκιμαστικοί σωλήνες κατά τη μέτρηση της ικανότητας απορρόφησης λαδιού.

2.4.4 ΟΠΤΙΚΕΣ ΙΔΙΟΤΗΤΕΣ

Οι μεταβολές του χρώματος μετρήθηκαν με χρήση φωτόμετρου MiniScan XE (Hunter Associates Laboratory Inc, Reston, Virginia), με διάφραγμα κεφαλής μέτρησης διαμέτρου 4 mm. Το φωτόμετρο βαθμονομήθηκε σύμφωνα με τις υποδείξεις του κατασκευαστή, με χρήση πρότυπου λευκού και μαύρου πλακιδίου.

ΠΕΙΡΑΜΑΤΙΚΟ ΜΕΡΟΣ: Ανάπτυξη καινοτόμων βιομηχανικών προϊόντων εκβολής με προσθήκη πρεβιοτικών ινών- φυτικών και ζωικών τροφίμων. Μελέτη των ιδιοτήτων τους.



Εικόνα 17: Φωτόμετρο MiniScan XE (Hunter Associates Laboratory Inc, Reston, Virginia).



Εικόνα 18: Βαθμονόμηση φωτόμετρου MiniScan XE (Hunter Associates Laboratory Inc, Reston, Virginia).

Για κάθε δείγμα, λήφθηκαν τέσσερις επαναληπτικές μετρήσεις ώστε να υπολογιστούν οι τιμές των L , a , b . Οι τιμές υπολογίστηκαν με βάση το σύστημα μέτρησης χρώματος CIELAB. Το συγκεκριμένο σύστημα χρησιμοποιεί τρεις αδιάστατες παραμέτρους χρώματος, τα L , a και b όπου το " L " αντιστοιχεί στη φωτεινότητα, το " a " αντιστοιχεί στις αποκλίσεις του κόκκινου και πράσινου και το " b " στις αποκλίσεις του κίτρινου και του μπλε. Ως δείγματα αναφοράς χρησιμοποιήθηκαν οι σκόνες των μιγμάτων πριν αυτά τοποθετηθούν στον εκβολέα για παραλαβή των τελικών προϊόντων. Η μεταβολή του χρώματος (ΔE) υπολογίστηκε σύμφωνα με τη σχέση (20):

$$\Delta E = [(\Delta L)^2 + (\Delta a)^2 + (\Delta b)^2]^{1/2} \quad (20)$$

όπου ΔL , Δa και Δb είναι οι μεταβολές του L , a και b , αντίστοιχα, μεταξύ των συγκεκριμένων αποκλίσεων και του προτύπου αναφοράς, ενώ ΔE είναι η μεταβολή του χρώματος.

2.4.5 ΟΡΓΑΝΟΛΗΠΤΙΚΑ ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΤΙΚΑ ΚΑΙ ΟΛΙΚΗ ΑΠΟΔΟΧΗ

Για την περιγραφική ανάλυση των οργανοληπτικών χαρακτηριστικών των τροφίμων εκβολής χρησιμοποιήθηκε εξαμελής ομάδα εκπαιδευμένων δοκιμαστών. Όλοι οι δοκιμαστές είχαν εμπειρία στην εκτίμηση των τροφίμων εκβολής. Οι δοκιμές διεξήχθησαν στον διαπιστευμένο

ΠΕΙΡΑΜΑΤΙΚΟ ΜΕΡΟΣ: Ανάπτυξη καινοτόμων βιομηχανικών προϊόντων εκβολής με προσθήκη πρεβιοτικών ινών- φυτικών και ζωικών τροφίμων. Μελέτη των ιδιοτήτων τους.

χώρο οργανοληπτικών δοκιμών του εργαστηρίου Χημείας και Τεχνολογίας Τροφίμων της Σχολής Χημικών Μηχανικών ΕΜΠ. Οι δοκιμαστές αξιολόγησαν τα προϊόντα εκβολής σε ξεχωριστούς φωτισμένους θαλάμους. Για να εξασφαλισθούν σταθερές συνθήκες μεταξύ των οργανοληπτικών ελέγχων, η θερμοκρασία του χώρου παρέμενε σταθερή ($25\pm 1^\circ\text{C}$) και τα αναλώσιμα (πλαστικά πιάτα, ποτήρια, εμφιαλωμένο νερό για την έκλυση του στόματος κ.α.) που χρησιμοποιούνταν είχαν σταθερά χαρακτηριστικά.

Η διαδικασία προετοιμασίας των δειγμάτων περιλάμβανε τον τεμαχισμό των κυλινδρικών τροφίμων εκβολής σε κομμάτια περίπου 4 cm και την τοποθέτηση 2 τεμαχίων σε λευκά πλαστικά πιάτα. Τα δείγματα εμφανιζόταν στους δοκιμαστές με τυχαία σειρά. Σε κάθε πιάτο αναγραφόταν ο κωδικός του αντίστοιχου δείγματος, ο οποίος ήταν τυχαίος τριψήφιος αριθμός. Μεταξύ των διαδοχικών δοκιμών οι δοκιμαστές ξέπλεναν το στόμα τους με εμφιαλωμένο νερό, προκειμένου να ουδετεροποιήσουν τους υποδοχείς της γλώσσας.

Οι περιγραφικοί όροι που χρησιμοποιήθηκαν για την εκτίμηση των διαφόρων οργανοληπτικών χαρακτηριστικών των τροφίμων εκβολής, καθώς και οι ορισμοί και οι άξονες βαθμολογίας, αναλύονται στον Πίνακα 5 (Liu, Hsieh, Heymann and Huff 2000; Dijksterhuis, Luyten, de Wijk and Mojet 2007). Η εκτίμηση και βαθμολόγηση των περιγραφικών όρων της υφής έγινε με χρήση 9-βάθμιας κλίμακας όπου: 1 = ανεπαίσθητο/μη αντιληπτό χαρακτηριστικό, 5 = αρκετά αντιληπτό και 9 = εξαιρετικά αντιληπτό/πολύ έντονο. Τα πειράματα σχεδιάστηκαν έτσι ώστε να λαμβάνονται 2 επαναλήψεις για κάθε τρόφιμο εκβολής. Σε κάθε δοκιμή σερβιρόταν 3-4 δείγματα.

Πίνακας 5: Χαρακτηριστικά, ορισμοί και άξονες που χρησιμοποιήθηκαν στην περιγραφική ανάλυση των τροφίμων εκβολής.

	Χαρακτηριστικό	Ορισμός	Άξονας
Εμφάνιση	Εμφάνιση	Ομογενής δομή	Χαμηλό έως υψηλό
	Πορώδες	Ποσοστό των πόρων αέρα στην κάθετη διατομή του δείγματος	Λίγοι μέχρι πολλοί
	Διάμετρος	Μέγεθος της κάθετης διατομής του δείγματος	Χαμηλό έως υψηλό
	Χρώμα	Από σκούρο καφέ έως ανοικτό κίτρινο	Σκούρο έως ανοικτό

ΠΕΙΡΑΜΑΤΙΚΟ ΜΕΡΟΣ: Ανάπτυξη καινοτόμων βιομηχανικών προϊόντων εκβολής με προσθήκη πρεβιοτικών ινών- φυτικών και ζωικών τροφίμων. Μελέτη των ιδιοτήτων τους.

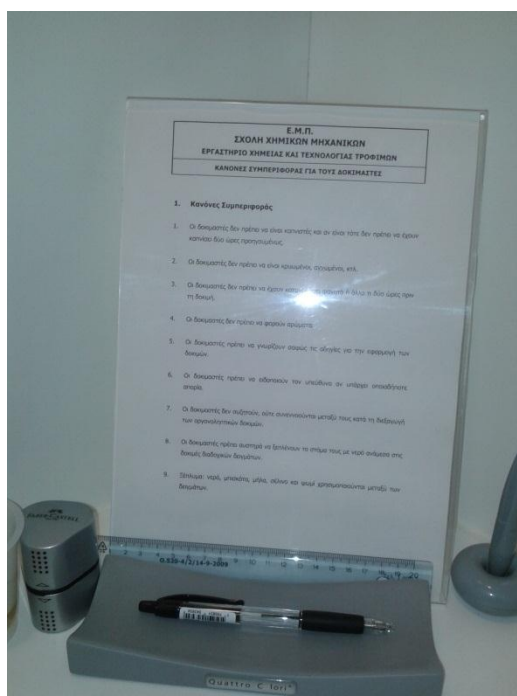
Γεύση-Οσμή	Αλευρώδες	Άψητο αλεύρι	Χαμηλό έως υψηλό
	Καμένο και πικρό	Καμένο δείγμα	Χαμηλό έως υψηλό
Υφή	Τραχανότητα	Βαθμός του θορύβου που ελευθερώνεται κατά τη μάσηση με τους γομφίους	Χαμηλό έως υψηλό
	Αφρώδες	Θραύση του προϊόντος: η δύναμη που ασκείται από τα δόντια στο δείγμα είναι πιο ελαφριά, και πιο «αεράτη» από ότι όταν σπάει με θόρυβο ένα προϊόν	Χαμηλό έως υψηλό
	Σκληρότητα	Η δύναμη που ασκείται κατά το δάγκωμα του δείγματος	Χαμηλό έως υψηλό
	Συγκολλητικότητα	Βαθμός με τον οποίο τα σωματίδια του δείγματος συγκολλούνται μεταξύ τους	Χαμηλό έως υψηλό
	Ενυδάτωση και διάλυση	Ποσοστό που διαλύεται	Χαμηλό έως υψηλό

Επίσης έγινε αποτίμηση της ολικής αποδοχής των προϊόντων εκβολής. Οι δοκιμές διεξήχθησαν στο διαπιστευμένο χώρο οργανοληπτικών δομικών του Εργαστηρίου Χημείας και Τεχνολογίας Τροφίμων της Σχολής Χημικών Μηχανικών του ΕΜΠ. Οι συνθήκες και η κωδικοποίηση των δειγμάτων έγινε κατά όμοιο τρόπο με την περιγραφική ανάλυση των τροφίμων. Τα τρόφιμα εκτιμήθηκαν για την ολική τους αποδοχή χρησιμοποιώντας της 9-βάθμια κλίμακα με εύρος από 1 (ανεπιθύμητο προϊόν) μέχρι 9 (πολύ επιθυμητό προϊόν). Τα προϊόντα θεωρήθηκαν αποδεκτά αν η μέση βαθμολογία τους ήταν πάνω από 6 (λίγο αρεστό) (Waje, Jun, Lee, Moon et al. 2009)

ΠΕΙΡΑΜΑΤΙΚΟ ΜΕΡΟΣ: Ανάπτυξη καινοτόμων βιομηχανικών προϊόντων εκβολής με προσθήκη πρεβιοτικών ινών- φυτικών και ζωικών τροφίμων. Μελέτη των ιδιοτήτων τους.



Εικόνα 19: Χώρος δομικών του Εργαστηρίου Χημείας και Τεχνολογίας Τροφίμων της Σχολής Χημικών Μηχανικών του ΕΜΠ.



Εικόνα 20: Κανόνες οργανοληπτικής αξιολόγησης του Εργαστηρίου Χημείας και Τεχνολογίας Τροφίμων της Σχολής Χημικών Μηχανικών του ΕΜΠ.

ΠΕΙΡΑΜΑΤΙΚΟ ΜΕΡΟΣ: Ανάπτυξη καινοτόμων βιομηχανικών προϊόντων εκβολής με προσθήκη πρεβιοτικών ινών- φυτικών και ζωικών τροφίμων. Μελέτη των ιδιοτήτων τους.



Εικόνα 21: Πλαστικό πιάτου οργανοληπτικής αξιολόγησης με την κωδικοποίηση των δειγμάτων.

2.4.6 ΘΕΡΜΙΚΕΣ ΙΔΙΟΤΗΤΕΣ- ΜΕΤΡΗΣΗ ΘΕΡΜΟΚΡΑΣΙΑΣ ΥΑΛΩΔΟΥΣ ΜΕΤΑΠΤΩΣΗΣ ΜΕ ΧΡΗΣΗ DSC

Για τον προσδιορισμό της θερμοκρασίας υαλώδους μετάπτωσης (T_g) των προϊόντων εκβολής χρησιμοποιήθηκε Διαφορική Θερμιδομετρία Σάρωσης (DSC 6 Thermal Analysis System, Perkin Elmer Inc, USA) (Εικόνα 22) και το λογισμικό Pyris. Όλες οι θερμιδομετρικές μετρήσεις πραγματοποιήθηκαν σε λειοτριβημένα δείγματα. Για τη δημιουργία αδρανούς ατμόσφαιρας χρησιμοποιήθηκε αέριο άζωτο με ρυθμό ροής 30 mL/min. Μετά την εξισορρόπηση των δειγμάτων σε σταθερές τιμές a_w (0.11, 0.53, 0.94) 10 mg κάθε δείγματος σφραγίσθηκαν ερμητικά σε ειδικά καψύλλια αλουμινίου (50 μ L, Perkin–Elmer), με την βοήθεια της κατάλληλης πρέσας, και τοποθετήθηκαν στο DSC. Τα δείγματα σαρώθηκαν από τους -15°C μέχρι τους 150°C με ρυθμό $5^\circ\text{C}/\text{min}$ και συνολικά πραγματοποιήθηκαν δύο επαναλήψεις.

Τα δείγματα που προκύπτουν από τις τρεις ενεργότητες, με την διαδικασία που αναφέρθηκε παραπάνω, επεξεργάστηκαν με τη χρήση του λογισμικού (Pyris 6) και τελικώς λαμβάνεται η θερμοκρασία υαλώδους μετάπτωσης (T_g) για κάθε ένα από αυτά.

ΠΕΙΡΑΜΑΤΙΚΟ ΜΕΡΟΣ: Ανάπτυξη καινοτόμων βιομηχανικών προϊόντων εκβολής με προσθήκη πρεβιοτικών ινών- φυτικών και ζωικών τροφίμων. Μελέτη των ιδιοτήτων τους.



Εικόνα 22: Συσκευή διαφορικής θερμιδομετρίας σάρωσης Perkin Elmer DSC 6 (USA).



Εικόνα 23: Πρέσα Perkin Elmer.

ΠΕΙΡΑΜΑΤΙΚΟ ΜΕΡΟΣ: Ανάπτυξη καινοτόμων βιομηχανικών προϊόντων εκβολής με προσθήκη πρεβιοτικών ινών- φυτικών και ζωικών τροφίμων. Μελέτη των ιδιοτήτων τους.



Εικόνα 24: Ειδικά καψύλλια αλουμινίου (50 µL, Perkin–Elmer). α) Καψύλλιο άδειο β) Καψύλλιο σφραγισμένο μετά από τη χρήση της πρέσας.



Εικόνα 25: Καψύλλιο αλουμινίου σφραγισμένο τοποθετείται στη Συσκευή διαφορικής θερμιδομετρίας σάρωσης Perkin Elmer DSC 6 (USA).

ΠΕΙΡΑΜΑΤΙΚΟ ΜΕΡΟΣ: Ανάπτυξη καινοτόμων βιομηχανικών προϊόντων εκβολής με προσθήκη πρεβιοτικών ινών- φυτικών και ζωικών τροφίμων. Μελέτη των ιδιοτήτων τους.

2.3.7 ΦΥΣΙΚΟΧΗΜΙΚΕΣ ΙΔΙΟΤΗΤΕΣ- ΙΣΟΘΕΡΜΕΣ ΡΟΦΗΣΗΣ ΥΔΑΤΟΣ

Για την δημιουργία των ισόθερμων ρόφησης ύδατος τα προϊόντα λειοτριβούνται και τοποθετούνται σε ξηραντήρα για διάστημα 3 εβδομάδων ώστε να αποκτήσουν σταθερό βάρος και να καταστούν ξηρά. Εν συνεχεία, τοποθετούνται σε κορεσμένα διαλύματα αλάτων (LiCl , MgCl_2 , $\text{Mg}(\text{NO}_3)_2$, NaCl , KNO_3) συγκεκριμένης ενεργότητας ύδατος (0.11, 0.53, 0.94) σε θερμοκρασία περιβάλλοντος. Η ισορροπία επιτεύχθηκε όταν τρεις συνεχόμενες μετρήσεις δεν διέφεραν περισσότερο από 0.001 g (διάστημα 3 εβδομάδων). Η περιεχόμενη υγρασία μετρήθηκε σε φούρνο κενού στους 70°C έως σταθερού βάρους.



Εικόνα 26. Θάλαμοι συγκεκριμένης ενεργότητας ύδατος

ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ: Ανάπτυξη καινοτόμων βιομηχανικών προϊόντων εκβολής με προσθήκη πρεβιοτικών ινών- φυτικών και ζωικών τροφίμων. Μελέτη των ιδιοτήτων τους.

3. ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ

Στο παρόν μέρος της διπλωματικής εργασίας 'Αποτελέσματα' παρατίθενται όλα τα διαγράμματα των αποτελεσμάτων των μετρήσεων για κάθε προαναφερθείσα ιδιότητα των τελικών προϊόντων εκβολής, καθώς και ο σχολιασμός πάνω σε αυτά.

3.1 ΔΟΜΙΚΕΣ ΙΔΙΟΤΗΤΕΣ ΠΡΟΪΟΝΤΩΝ ΕΚΒΟΛΗΣ

Σκοπός της συγκεκριμένης ενότητας αποτελεί η μελέτη της επίδρασης των παραμέτρων της διεργασίας (θερμοκρασία εκβολής και ταχύτητα περιστροφής κοχλιών) και των χαρακτηριστικών των πρώτων υλών (αναλογία υλικών τροφοδοσίας και περιεχόμενη υγρασία) στις δομικές ιδιότητες (φαινόμενη πυκνότητα, πραγματική πυκνότητα, πορώδες και συντελεστής διόγκωσης) διογκωμένων προϊόντων εκβολής ρυζάλευρου με προσθήκη ινουλίνης και διογκωμένων προϊόντων εκβολής ρυζάλευρου με προσθήκη, μέσω ξήρανσης υπό κατάψυξη, σκόνης φυσικών προσθέτων φυτικής και ζωικής προέλευσης, όπως η φράουλα, το μήλο, μήλο με κανέλα, η πάπρικα, η πιπεριά, το μπέικον και ο παστουρμάς. Επίσης στο τελευταίο υποκεφάλαιο των δομικών ιδιοτήτων μελετάται το πορώδες των προϊόντων εκβολής με προσθήκη ινουλίνης μέσω φωτογραφιών που παρελήφθησαν από την Ηλεκτρονική Μικροσκοπία Σάρωσης (SEM) καθώς και η παρουσία αμύλου στα προϊόντα αυτά. Παρακάτω παρατίθενται τα διαγράμματα των αποτελεσμάτων της εκάστοτε πειραματικής διαδικασίας.

3.1.1 ΠΡΑΓΜΑΤΙΚΗ ΠΥΚΝΟΤΗΤΑ ΠΡΟΪΟΝΤΩΝ ΕΚΒΟΛΗΣ ΜΕ ΠΡΟΣΘΕΤΟ ΤΗΝ ΙΝΟΥΛΙΝΗ

Η μέση πραγματική πυκνότητα των προϊόντων εκβολής με πρόσθετο την ινουλίνη βρέθηκε σταθερή και ίση με $1,489 \text{ g/cm}^3$. Το γεγονός αυτό είναι αναμενόμενο, καθώς η πραγματική πυκνότητα εξαρτάται από την πυκνότητα του νερού και την πυκνότητα των ξηρών στερεών. Τα προϊόντα εκβολής είναι πολύ χαμηλής περιεκτικότητας σε υγρασία, επομένως η πραγματική τους πυκνότητα πλησιάζει την τιμή της πυκνότητας της ινουλίνης. (Lazou and Krokida 2010; Λάζου 2011)

3.1.2 ΠΡΑΓΜΑΤΙΚΗ ΠΥΚΝΟΤΗΤΑ ΠΡΟΪΟΝΤΩΝ ΕΚΒΟΛΗΣ ΜΕ ΠΡΟΣΘΕΤΑ ΦΥΤΙΚΗΣ ΚΑΙ ΖΩΙΚΗΣ ΠΡΟΕΛΕΥΣΗΣ.

Παρακάτω παρατίθεται ο πίνακας 6 με τη μέση πραγματική πυκνότητα των προϊόντων εκβολής με πρόσθετα φυτικής και ζωικής προέλευσης. Έτσι, αντίστοιχα με την προϊόντα με πρόσθετο ινουλίνη, η πραγματική τους πυκνότητα πλησιάζει την τιμή της πυκνότητας των εκάστοτε ξηρών φυτικών και ζωικών προσθέτων.

ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ: Ανάπτυξη καινοτόμων βιομηχανικών προϊόντων εκβολής με προσθήκη πρεβιοτικών ινών- φυτικών και ζωικών τροφίμων. Μελέτη των ιδιοτήτων τους.

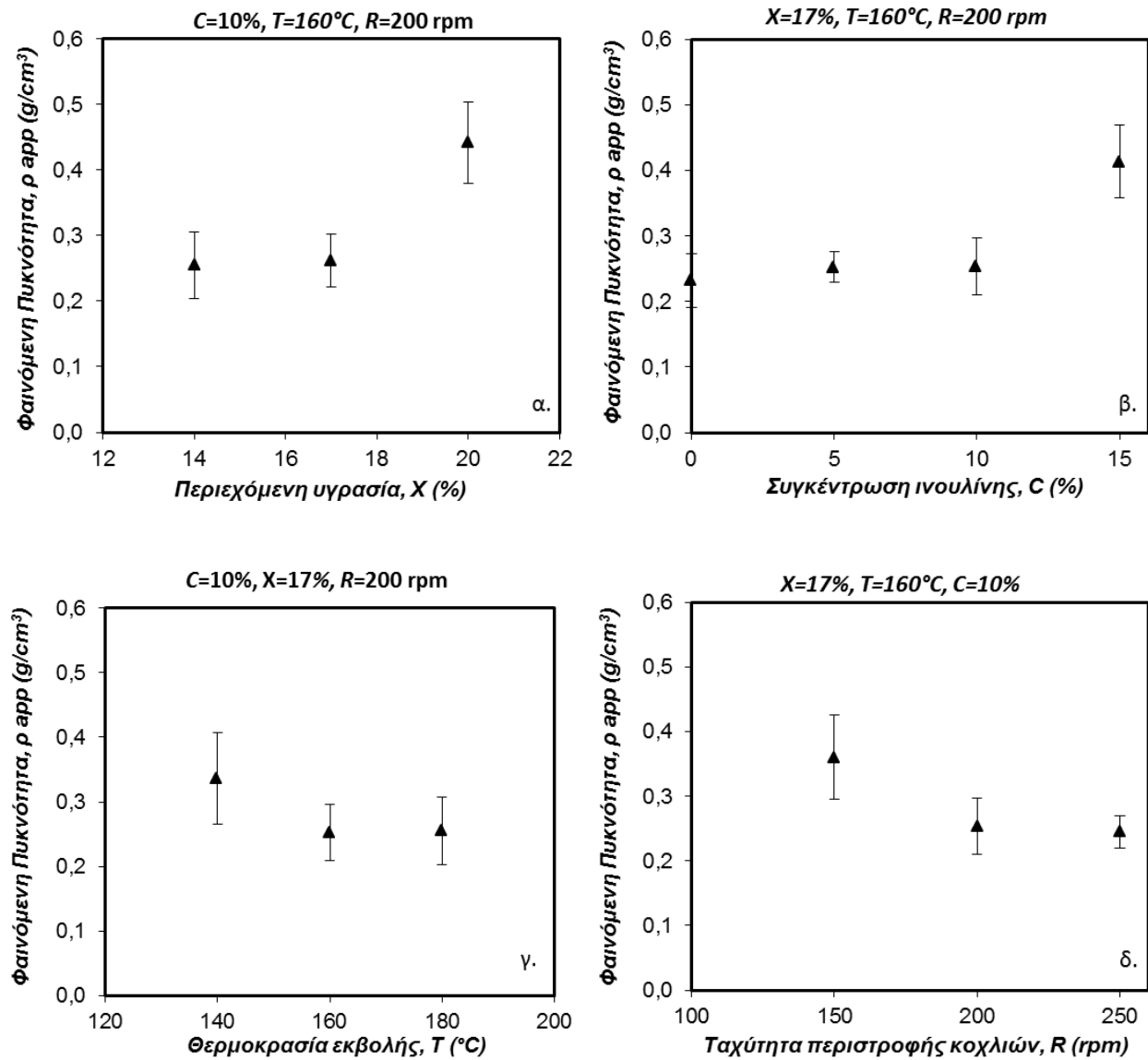
Πίνακας 6: Η πραγματική πυκνότητα προϊόντων με πρόσθετα φυτικής και ζωικής προέλευσης.

Πρόσθετο υλικό	Πραγματική πυκνότητα, ρ_{true} (g/cm ³)
Μήλο	1,513
Μήλο- Κανέλα	1,504
Φράουλα	1,503
Πιπεριά	1,543
Πάπρικα	1,498
Παστουρμάς	1,485
Μπέικον	1,471

Παρατηρούμε ότι η πραγματική πυκνότητα όλων των παραπάνω προϊόντων είναι σταθερή και η τιμή της των προϊόντων εκβολής με ζωικά πρόσθετα είναι μικρότερη από εκείνη των προϊόντων με φυτικά πρόσθετα. Η πραγματική πυκνότητα στα προϊόντα με φυτικά πρόσθετα είναι παρόμοια στα φρούτα (φράουλα- μήλο) και αυξάνεται στη μέγιστη τιμή της 1,543 g/cm³ στην πιπεριά, η οποία ανήκει στην οικογένεια των λαχανικών.

ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ: Ανάπτυξη καινοτόμων βιομηχανικών προϊόντων εκβολής με προσθήκη πρεβιοτικών ινών- φυτικών και ζωικών τροφίμων. Μελέτη των ιδιοτήτων τους.

3.1.3 ΦΑΙΝΟΜΕΝΗ ΠΥΚΝΟΤΗΤΑ ΠΡΟΪΟΝΤΩΝ ΕΚΒΟΛΗΣ ΜΕ ΠΡΟΣΘΕΤΟ ΤΗΝ ΙΝΟΥΛΙΝΗ



Σχήμα 3-1: Διαγράμματα μεταβολής της φαινόμενης πυκνότητας, ρ_{app} συναρτήσει α) της περιεχόμενης υγρασίας, X , β) της συγκέντρωσης του προσθέτου ινουλίνη, C , γ) της θερμοκρασίας εκβολής, T και δ) της ταχύτητας περιστροφής των κοχλιών, R .

Από τα Διαγράμματα του σχήματος 3-1 παρατηρείται, ότι η φαινόμενη πυκνότητα των προϊόντων εκβολής αυξήθηκε με την αύξηση της περιεχόμενης υγρασίας και της συγκέντρωσης της ινουλίνης, ενώ μειώθηκε με την αύξηση της θερμοκρασίας και της ταχύτητας περιστροφής των κοχλιών του εκβολέα.

ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ: Ανάπτυξη καινοτόμων βιομηχανικών προϊόντων εκβολής με προσθήκη πρεβιοτικών ινών- φυτικών και ζωικών τροφίμων. Μελέτη των ιδιοτήτων τους.

Η αυξημένη περιεκτικότητα σε υγρασία των προϊόντων εκβολής αλλάζει τη μοριακή δομή της αμυλοπηκτικής που περιέχεται στο άμυλο του ρυζάλευρου, μειώνοντας το ιξώδες και προκαλώντας κατ' επέκταση την αύξηση της φαινόμενης πυκνότητας.

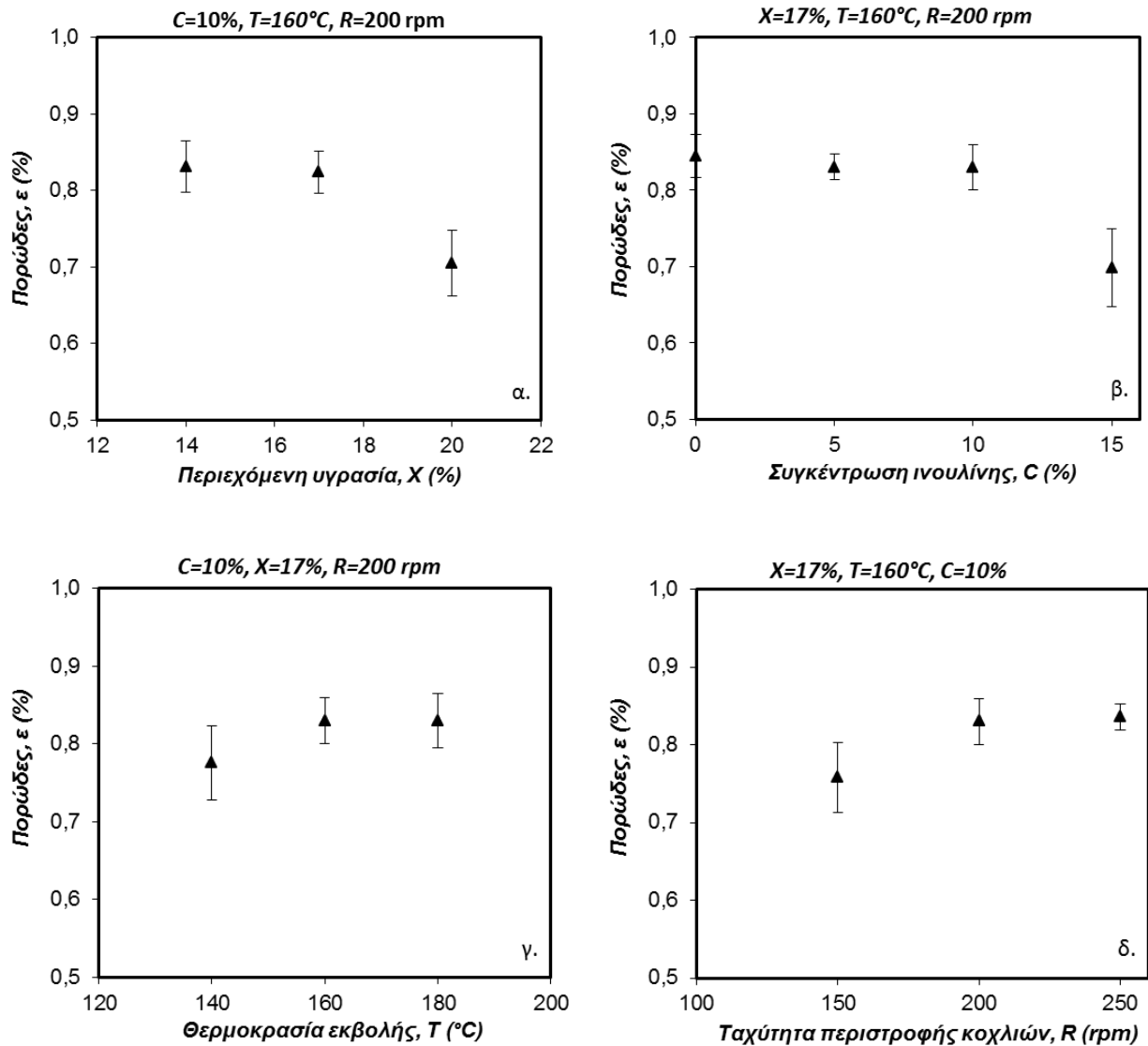
Η αύξηση της συγκέντρωσης της ινουλίνης οδήγησε στην παραγωγή προϊόντων με αυξημένη πυκνότητα. Η ινουλίνη, εφόσον δεν απορροφάται από τον γαστρεντερικό σωλήνα, θεωρείται ως φυτική ίνα. (Donovan 2007). Όταν προστίθενται σε αμυλούχα προϊόντα, υλικά που περιέχουν υψηλά ποσοστά φυτικών ινών, προκαλούν αύξηση της πυκνότητας, όπως αναφέρεται και βιβλιογραφικά (Pastor-Cavada; Sacchetti 2004; Obatolu Veronica 2006; Anton 2009).

Η αύξηση της θερμοκρασίας εκβολής μειώνει την πυκνότητα των παραγόμενων προϊόντων εκβολής. Η αύξηση της θερμοκρασίας μειώνει το ιξώδες του μείγματος, με αποτέλεσμα να ευνοείται η ανάπτυξη φυσαλίδων κατά τη διάρκεια της εκβολής και η δημιουργία λιγότερο πυκνής δομής. Επίσης, η αύξηση της πίεσης σε υψηλότερες θερμοκρασίες οδηγεί σε αυξημένη εκτόνωση και διόγκωση. Το αποτέλεσμα αυτό είναι σύμφωνο με βιβλιογραφικές αναφορές (Suvendu 1997; Ding 2005; Lazou and Krokida 2010).

Η αύξηση της ταχύτητας περιστροφής των κοχλιών προκάλεσε τη μείωση της πυκνότητας των προϊόντων εκβολής. Το φαινόμενο αυτό αποδίδεται στο μειωμένο ιξώδες, την αύξηση της ελαστικότητας της ζύμης όταν αυξάνεται η ταχύτητα περιστροφής και στη ζελατινοποίηση του αμύλου. Όσο αυξάνεται η ζελατινοποίηση, ο όγκος των διογκωμένων προϊόντων αυξάνει και η πυκνότητα μειώνεται (Sacchetti 2004; Hagenimana 2006).

ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ: Ανάπτυξη καινοτόμων βιομηχανικών προϊόντων εκβολής με προσθήκη πρεβιοτικών ινών- φυτικών και ζωικών τροφίμων. Μελέτη των ιδιοτήτων τους.

3.1.4 ΠΟΡΩΔΕΣ ΠΡΟΪΟΝΤΩΝ ΕΚΒΟΛΗΣ ΜΕ ΠΡΟΣΘΕΤΟ ΤΗΝ ΙΝΟΥΛΙΝΗ



Σχήμα 3-2: Διαγράμματα μεταβολής του πορώδους, ε , συναρτήσει α) της περιεχόμενης υγρασίας, X , β) της συγκέντρωσης του προσθέτου ινουλίνη, C , γ) της θερμοκρασίας εκβολής, T και δ) της ταχύτητας περιστροφής των κοχλιών, R .

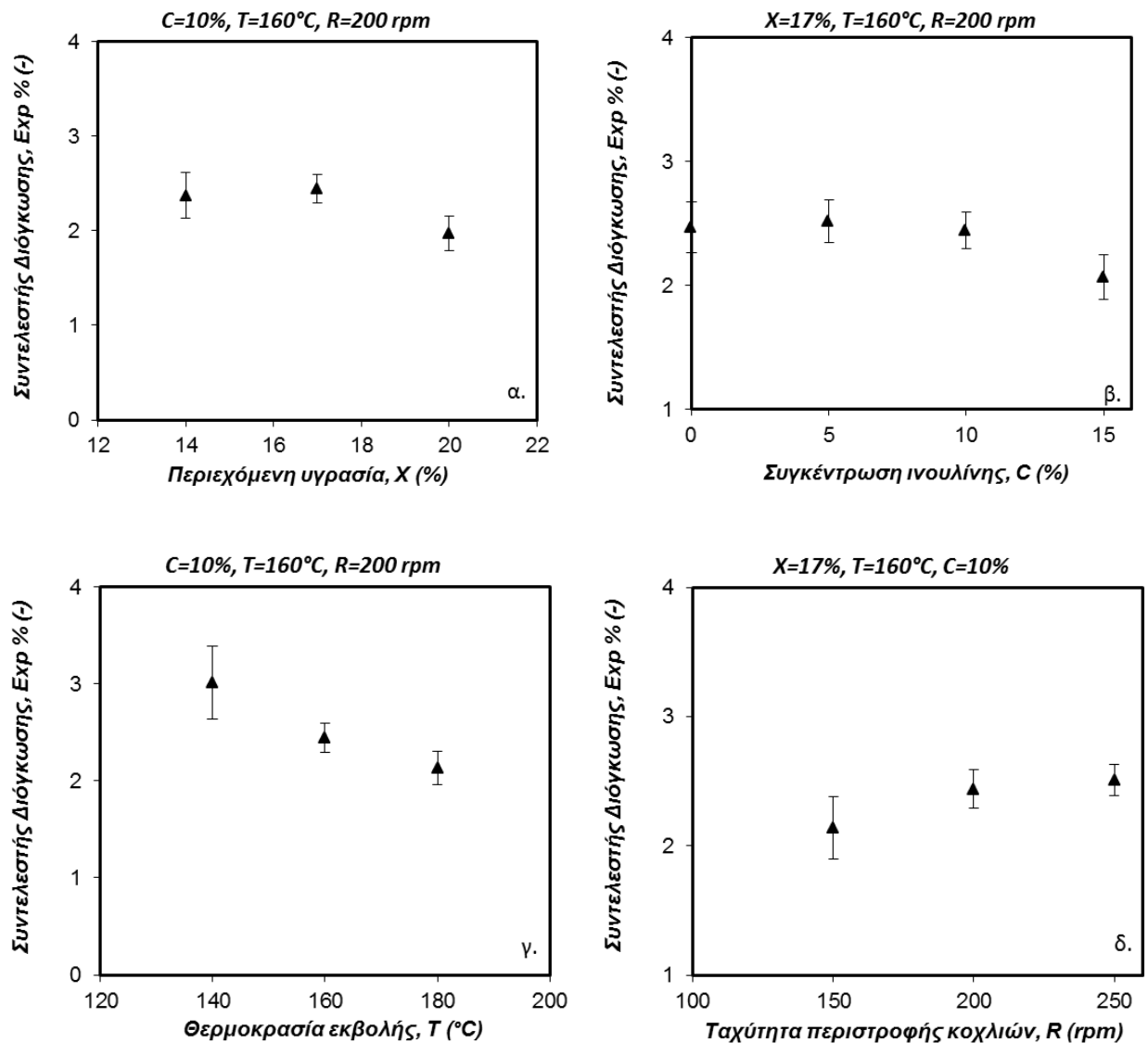
Από τα Διαγράμματα του σχήματος 3-2, παρατηρείται ότι το πορώδες των προϊόντων εκβολής με πρόσθετο την ινουλίνη, μειώθηκε με την αύξηση της περιεχόμενης υγρασίας και της συγκέντρωσης της ινουλίνης, ενώ αυξήθηκε με την αύξηση της θερμοκρασίας και της ταχύτητας περιστροφής των κοχλιών του εκβολέα, όπως αναμένεται από την εξίσωση 15:

$$\varepsilon = 1 - \frac{\rho_a}{\rho_t}$$

ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ: Ανάπτυξη καινοτόμων βιομηχανικών προϊόντων εκβολής με προσθήκη πρεβιοτικών ινών- φυτικών και ζωικών τροφίμων. Μελέτη των ιδιοτήτων τους.

Παρατηρήθηκε ότι η ινουλίνη για συγκεντρώσεις έως 10% κρατάει το πορώδες σταθερό και σε υψηλά επίπεδα, το οποίο σημαίνει ότι η ινουλίνη δεν επηρεάζει τη δομή του προϊόντος εκβολής. Για συγκέντρωση 15% παρατηρείται η απότομη μείωση του πορώδους, κάτι το οποίο δεν είναι επιθυμητό γιατί μειώνεται η τραγανότητα του προϊόντος. Συνεπώς οι βέλτιστες τιμές της συγκέντρωσης της ινουλίνης στο μείγμα είναι 5 και 10% όσων αφορά το πορώδες, ώστε να την επιτευχθεί σταθερή δομή.

3.1.5 ΣΥΝΤΕΛΕΣΤΗΣ ΔΙΟΓΚΩΣΗΣ ΠΡΟΪΟΝΤΩΝ ΕΚΒΟΛΗΣ ΜΕ ΠΡΟΣΘΕΤΟ ΤΗΝ ΙΝΟΥΛΙΝΗ



Σχήμα 3-3: Διαγράμματα μεταβολής του συντελεστή διόγκωσης, E_{xp} , συναρτήσει α) της περιεχόμενης υγρασίας, X , β) της συγκέντρωσης του προσθέτου ινουλίνης, C , γ) της θερμοκρασίας εκβολής, T και δ) της ταχύτητας περιστροφής των κοχλιών, R .

ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ: Ανάπτυξη καινοτόμων βιομηχανικών προϊόντων εκβολής με προσθήκη πρεβιοτικών ινών- φυτικών και ζωικών τροφίμων. Μελέτη των ιδιοτήτων τους.

Από τα Διαγράμματα του σχήματος 3-3, παρατηρείται ότι ο συντελεστής διόγκωσης των προϊόντων εκβολής μειώθηκε με την αύξηση της περιεχόμενης υγρασίας, της συγκέντρωσης της ινουλίνης και της θερμοκρασίας, ενώ αυξήθηκε με την αύξηση της ταχύτητας περιστροφής των κοχλιών του εκβολέα.

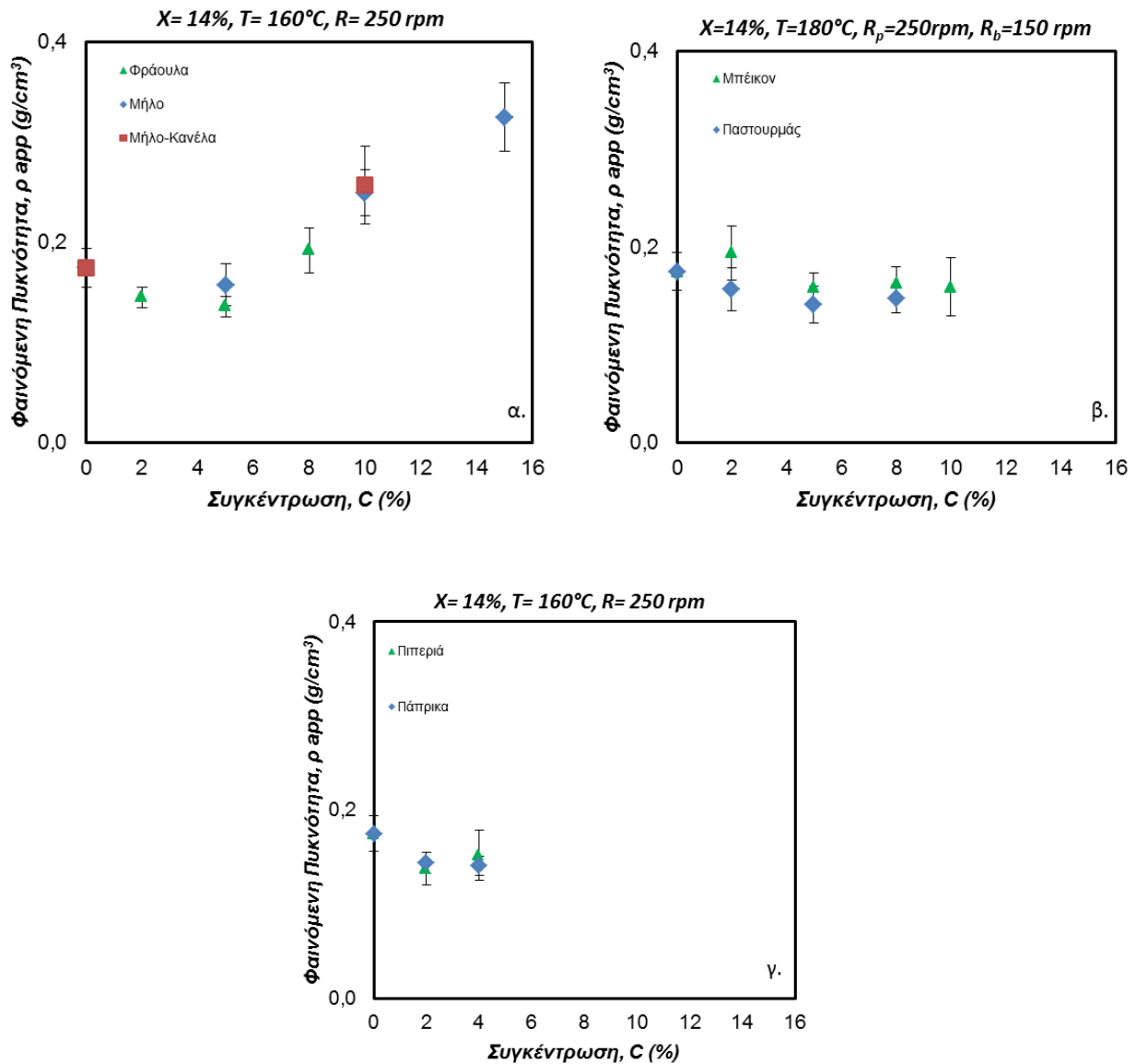
Η αυξημένη περιεκτικότητα σε υγρασία των προϊόντων εκβολής αλλάζει τη μοριακή δομή της αμυλοπηκτίνης που περιέχεται στο άμυλο του ρυζάλευρου, μειώνοντας το ιξώδες και προκαλώντας κατ' επέκταση τη μείωση του συντελεστή διόγκωσης και τη διαμόρφωση πιο συμπαγών δομών. (Baik 2004). Η αύξηση της συγκέντρωσης της ινουλίνης στο δείγμα είχε ως αποτέλεσμα τη μείωση του συντελεστή διόγκωσης. Μειώνοντας την ποσότητα του ρυζάλευρου στα μείγματα και αυξάνοντας τη συγκέντρωση των φυτικών ινών μέσω της προσθήκης της ινουλίνης, σχηματίστηκαν λιγότερο διογκωμένα προϊόντα λόγω αλληλεπιδράσεων μεταξύ φυτικών ινών και του αμύλου. Η μικρότερη διόγκωση των προϊόντων μπορεί επίσης να οφείλεται στο γεγονός ότι οι φυτικές ίνες μπορούν να προκαλέσουν ρήξη των κυτταρικών τοιχωμάτων και να αποτρέψουν τις φυσαλίδες αέρα να διογκωθούν στο μέγιστο δυνατό (Lue 1991; Anton 2009).

Στη βιβλιογραφία, υπάρχει η γενικότερη τάση της αύξησης του συντελεστή διόγκωσης με την αύξηση της θερμοκρασίας, λόγω του ότι ο βαθμός της υπερθέρμανσης του νερού κατά τη διάρκεια της εκβολής αυξάνεται σε υψηλότερες θερμοκρασίες, οδηγώντας έτσι σε μεγαλύτερη διόγκωση. Η μείωση του συντελεστή διόγκωσης με την αύξηση της θερμοκρασίας, στη συγκεκριμένη μελέτη, πιθανώς να οφείλεται σε μεγαλύτερο κατακερματισμό του αμύλου λόγω των υψηλών θερμοκρασιών εκβολής (Hagenimana 2006).

Η αύξηση της ταχύτητας περιστροφής των κοχλιών προκάλεσε την αύξηση του συντελεστή διόγκωσης. Το φαινόμενο αυτό αποδίδεται στο μειωμένο ιξώδες και την αύξηση της ελαστικότητας της ζύμης όταν αυξάνεται η ταχύτητα περιστροφής των κοχλιών. Επίσης, η αύξηση της ταχύτητας περιστροφής είχε ως αποτέλεσμα το μικρότερο χρόνο παραμονής και τη μείωση του βαθμού ζελατινοποίησης του αμύλου. Η αλλαγή στην ταχύτητα περιστροφής των κοχλιών μπορεί να επηρεάσει την επίδραση της θερμοκρασίας στο συντελεστή διόγκωσης (Lue 1991).

ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ: Ανάπτυξη καινοτόμων βιομηχανικών προϊόντων εκβολής με προσθήκη πρεβιοτικών ινών- φυτικών και ζωικών τροφίμων. Μελέτη των ιδιοτήτων τους.

3.1.6 ΦΑΙΝΟΜΕΝΗ ΠΥΚΝΟΤΗΤΑ ΠΡΟΪΟΝΤΩΝ ΕΚΒΟΛΗΣ ΜΕ ΠΡΟΣΘΕΤΑ ΦΥΤΙΚΗΣ ΚΑΙ ΖΩΙΚΗΣ ΠΡΟΕΛΕΥΣΗΣ



Σχήμα 3-4: Διαγράμματα μεταβολής της φαινόμενης πυκνότητας, ρ_{app} συναρτήσει της συγκέντρωσης του προσθέτου και συγκεκριμένα: α. φράουλας, μήλου και μήλου-κανέλας, β. μπέικον και παστοურμάς και γ. πιπεριάς και πάπρικας.

Από τα Διαγράμματα του σχήματος 3-4 παρατηρείται, ότι η φαινόμενη πυκνότητα των προϊόντων εκβολής αυξήθηκε με την αύξηση της συγκέντρωσης των φυτικών προσθέτων (φράουλα, μήλο, μήλο-κανέλα, πιπεριά και πάπρικα), ενώ μειώθηκε με την αύξηση της συγκέντρωσης των ζωικών προσθέτων (μπέικον και παστοურμάς).

ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ: Ανάπτυξη καινοτόμων βιομηχανικών προϊόντων εκβολής με προσθήκη πρεβιοτικών ινών- φυτικών και ζωικών τροφίμων. Μελέτη των ιδιοτήτων τους.

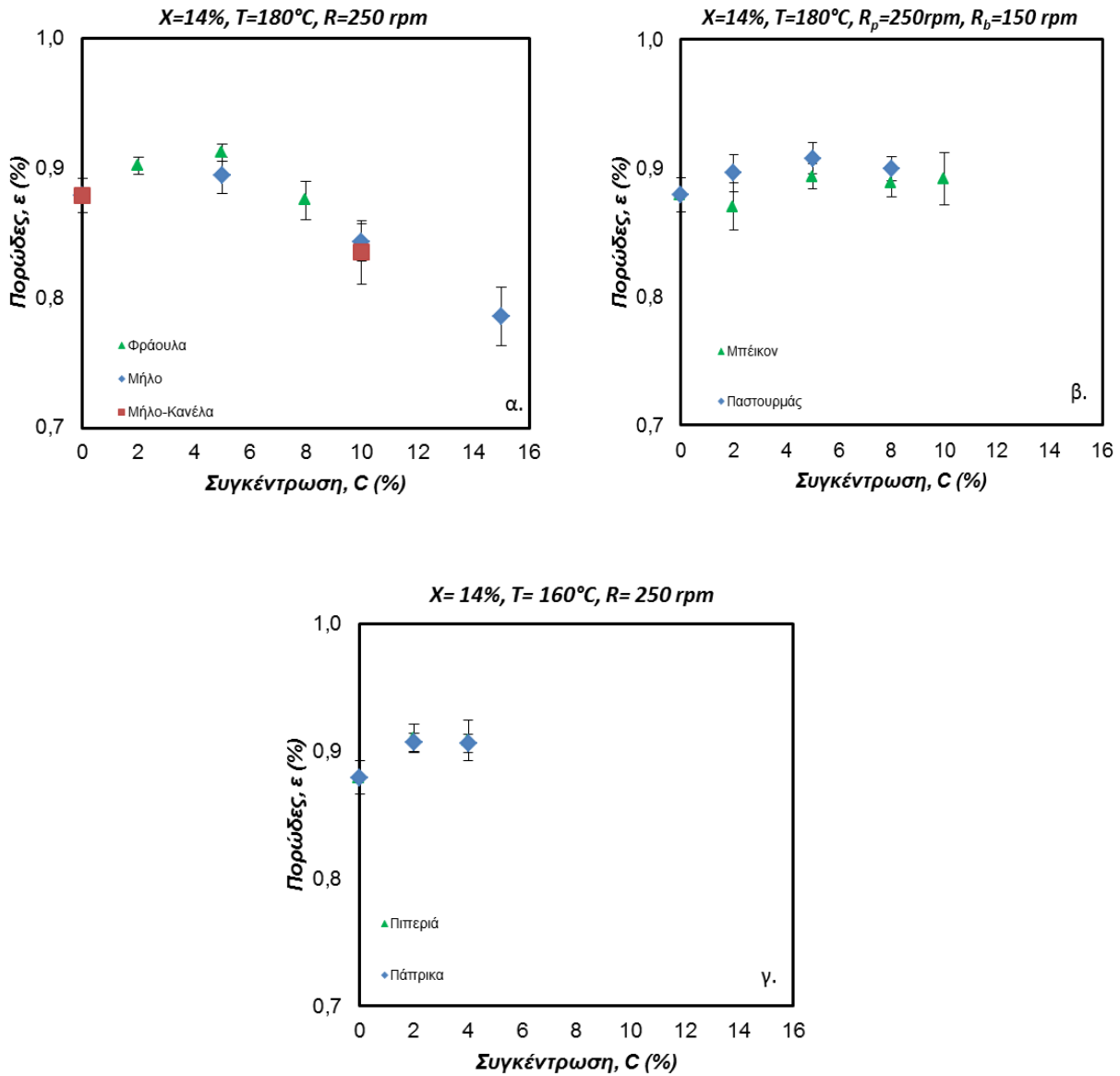
Στα προϊόντα με φυτικά πρόσθετα μήλο και φράουλα παρατηρήθηκε μια κοινή συμπεριφορά. Αρχικά η φαινόμενη πυκνότητα μειώνεται μέχρις ότου φτάσει σε μια ελάχιστη τιμή, η οποία κυμαίνεται στο 6% , ενώ στη συνέχεια αυξάνεται με την αύξηση της συγκέντρωσης των προσθέτων. Αυτό συμβαίνει, διότι δεν λαμβάνει χώρα έντονα το φαινόμενο της καραμελοποίησης των σακχάρων που περιέχουν τα εν λόγω τρόφιμα. Για τιμές συγκεντρώσεων άνω του 8% αυξάνεται απότομα η φαινόμενη πυκνότητα με αποτέλεσμα να χάνεται η τραγανότητα του προϊόντος. Συνεπώς οι βέλτιστες τιμές συγκέντρωσης της φράουλας και του μήλου στα μείγματα κυμαίνονται περίπου στο 6%- 8%.

Στα προϊόντα με πρόσθετο την πάπρικα και την πιπεριά παρατηρούμε μόνο την μείωση της φαινόμενης πυκνότητας. Λόγο του ότι πραγματοποιήθηκαν μετρήσεις μόνο για συγκεντρώσεις 2% και 4% δεν μπορούμε να αποφανθούμε για τις βέλτιστες τιμές τους. Η πάπρικα αποτελείται από φυτικές ίνες, λόγω του ότι είναι προϊόν που παρασκευάζεται από τους καρπούς συγκεκριμένων ποικιλιών πιπεριάς (Κάπικον το ετήσιον, *Capsicum annuum*). Όταν προστίθενται σε αμυλούχα προϊόντα, υλικά που περιέχουν υψηλά ποσοστά φυτικών ινών, προκαλούν αύξηση της πυκνότητας, όπως αναφέρεται και στη βιβλιογραφία (Pastor-Cavada; wikipedia; Sacchetti 2004; Obatolu Veronica 2006; Anton 2009). Επίσης η πάπρικα περιέχει την χημική ουσία καψοκαΐνη, η οποία έχει την τάση να αυξάνει το ιξώδες. Η αύξηση του ιξώδους οδηγεί στην αύξηση του πορώδους των τροφίμων και κατά συνέπεια τη μείωση της φαινόμενης πυκνότητας.

Στα προϊόντα με ζωικά πρόσθετα παρατηρήθηκε επίσης μια κοινή συμπεριφορά. Η φαινόμενη πυκνότητα αρχικά είναι σε μια τιμή πλησίον του $0,2 \text{ g/cm}^3$ για συγκεντρώσεις έως 2% και έπειτα μειώνεται σταδιακά και τείνει να σταθεροποιηθεί η τιμή της. Κάτι αναμενόμενο, διότι το λιπαρό λειτουργεί ως λιπαντικό κατά τη διάρκεια της εκβολής και λόγω της οξειδωσης των λιπαρών που επιτυγχάνεται, οδηγείται το προϊόν σε ελαφριά αύξηση του πορώδους και κατά συνέπεια την ελαφριά μείωση της φαινόμενης πυκνότητας.

ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ: Ανάπτυξη καινοτόμων βιομηχανικών προϊόντων εκβολής με προσθήκη πρεβιοτικών ινών- φυτικών και ζωικών τροφίμων. Μελέτη των ιδιοτήτων τους.

3.1.7 ΠΟΡΩΔΕΣ ΠΡΟΪΟΝΤΩΝ ΕΚΒΟΛΗΣ ΜΕ ΠΡΟΣΘΕΤΑ ΦΥΤΙΚΗΣ ΚΑΙ ΖΩΙΚΗΣ ΠΡΟΕΛΕΥΣΗΣ



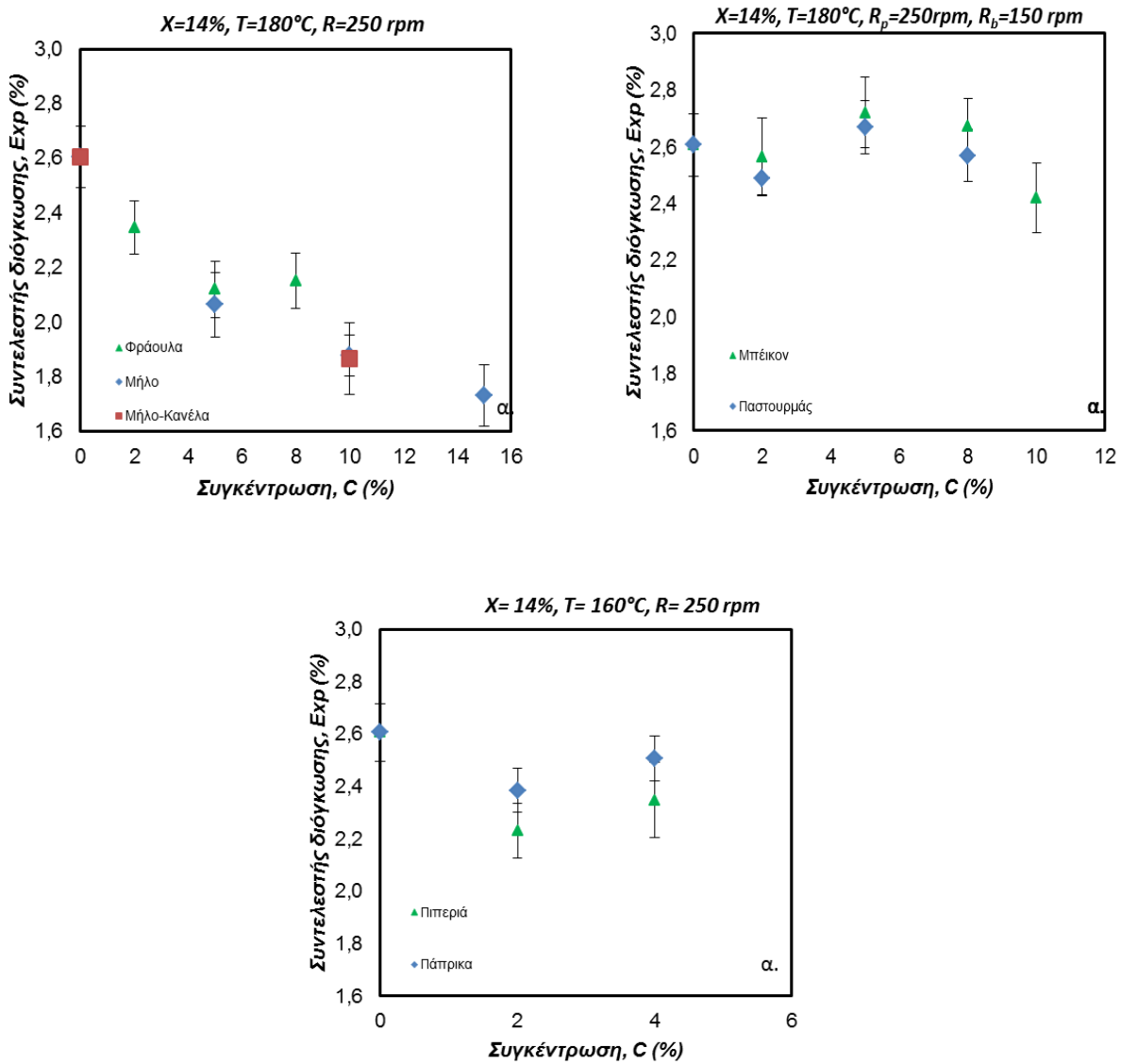
Σχήμα 3-5: Διαγράμματα μεταβολής του πορώδους, ϵ , συναρτήσει της συγκέντρωσης του προσθέτου και συγκεκριμένα: α. φράουλας, μήλου και μήλου-κανέλας, β. μπέικον και παστοურμά και γ. πιπεριάς και πάπρικας.

Από τα Διαγράμματα του σχήματος 3-5, παρατηρείται ότι το πορώδες των προϊόντων εκβολής, μειώθηκε με την αύξηση της συγκέντρωσης των φυτικών προσθέτων, ενώ αυξήθηκε με την αύξηση της συγκέντρωσης των ζωικών προσθέτων, όπως αναμένεται από την εξίσωση 15:

$$\epsilon = 1 - \frac{\rho_{\alpha}}{\rho_{\tau}}$$

ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ: Ανάπτυξη καινοτόμων βιομηχανικών προϊόντων εκβολής με προσθήκη πρεβιοτικών ινών- φυτικών και ζωικών τροφίμων. Μελέτη των ιδιοτήτων τους.

3.1.8 ΣΥΝΤΕΛΕΣΤΗΣ ΔΙΟΓΚΩΣΗΣ ΠΡΟΪΟΝΤΩΝ ΕΚΒΟΛΗΣ ΜΕ ΠΡΟΣΘΕΤΑ ΦΥΤΙΚΗΣ ΚΑΙ ΖΩΙΚΗΣ ΠΡΟΕΛΕΥΣΗΣ



Σχήμα 3-6: Διαγράμματα μεταβολής του συντελεστή διόγκωσης, *Exp*, συναρτήσει της συγκέντρωσης του προσθέτου και συγκεκριμένα: α. φράουλας, μήλου και μήλου-κανέλας, β. μπέικον και παστοურμά και γ. πιπεριάς και πάπρικας.

Από τα Διαγράμματα του σχήματος 3-6, παρατηρείται ότι ο συντελεστής διόγκωσης των προϊόντων εκβολής μειώθηκε με την αύξηση της συγκέντρωσης τόσο των φυτικών όσο και των ζωικών προσθέτων.

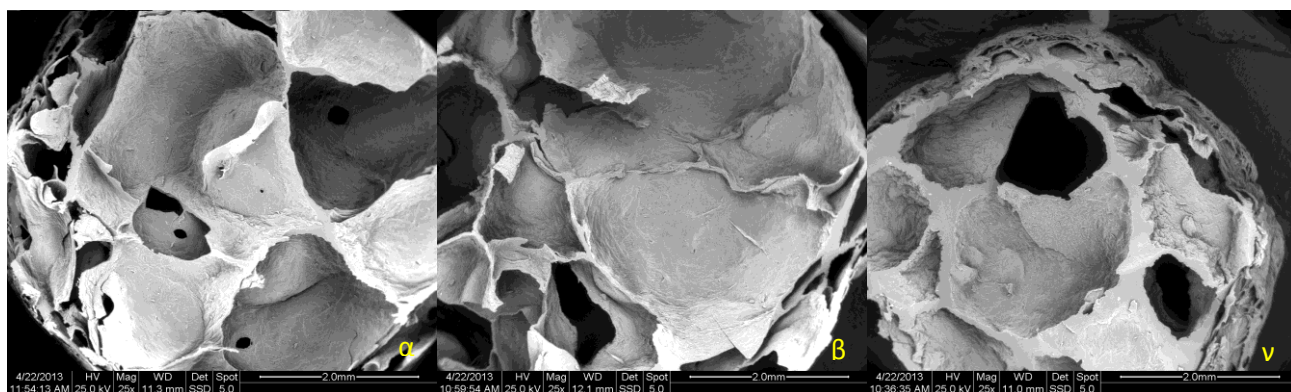
ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ: Ανάπτυξη καινοτόμων βιομηχανικών προϊόντων εκβολής με προσθήκη πρεβιοτικών ινών- φυτικών και ζωικών τροφίμων. Μελέτη των ιδιοτήτων τους.

Η αύξηση της συγκέντρωσης των φυτικών προσθέτων στο δείγμα είχε ως αποτέλεσμα τη μείωση του συντελεστή διόγκωσης. Μειώνοντας την ποσότητα του ρυζάλευρου στα μείγματα και αυξάνοντας τη συγκέντρωση των φυτικών ινών μέσω της προσθήκης των αποξηραμένων φρούτων, λαχανικών και καρυκευμάτων, σχηματίστηκαν λιγότερο διογκωμένα προϊόντα λόγω αλληλεπιδράσεων μεταξύ φυτικών ινών και του αμύλου. Η μικρότερη διόγκωση των προϊόντων μπορεί επίσης να οφείλεται στο γεγονός ότι οι φυτικές ίνες μπορούν να προκαλέσουν ρήξη των κυτταρικών τοιχωμάτων και να αποτρέψουν τις φυσαλίδες αέρα να διογκωθούν στο μέγιστο δυνατό (Lue 1991; Anton 2009).

Η αύξηση της συγκέντρωσης του μπέικον και αντίστοιχα του παστουρμά στο μείγμα οδήγησε σε αύξηση του συντελεστή διόγκωσης για συγκεντρώσεις 2-8% και έπειτα τη μείωση του. Το μπέικον και ο παστουρμάς είναι τρόφιμα υψηλής περιεκτικότητας λίπους. Τα μείγματα αλευριού- λιπαρών προϊόντων σε υψηλές συγκεντρώσεις μειώνουν το συντελεστή διόγκωσης, διότι η παρουσία του λίπους παρεμποδίζει τη συνεχή και ομαλή ροή του μείγματος στον εκβολέα. (Park, Rhee, Kim and Rhee 1993)

3.1.9 ΗΛΕΚΤΡΟΝΙΚΗ ΜΙΚΡΟΣΚΟΠΙΑ ΣΑΡΩΣΗΣ

Στα παρακάτω σχήματα παρατίθενται οι φωτογραφίες που ελήφθησαν από το Ηλεκτρονικό Μικροσκόπιο Σάρωσης. Στις φωτογραφίες αυτές παρατηρείται η μεταβολή του πορώδους συναρτήσε των συνθηκών επεξεργασίας για τα προϊόντα εκβολής που παρασκευάστηκαν με πρόσθετο την ινουλίνη. Επίσης παρατίθενται και κάποιες φωτογραφίες που απεικονίζουν το άμυλο.



Εικόνα 23: Δομή προϊόντων εκβολής με πρόσθετο την ινουλίνη με $C=10\%$, $T=160^{\circ}\text{C}$, $R=200\text{ rpm}$ και περιεχόμενη υγρασία α) $X=14\%$, β) $X=17\%$, και γ) $X=20\%$.

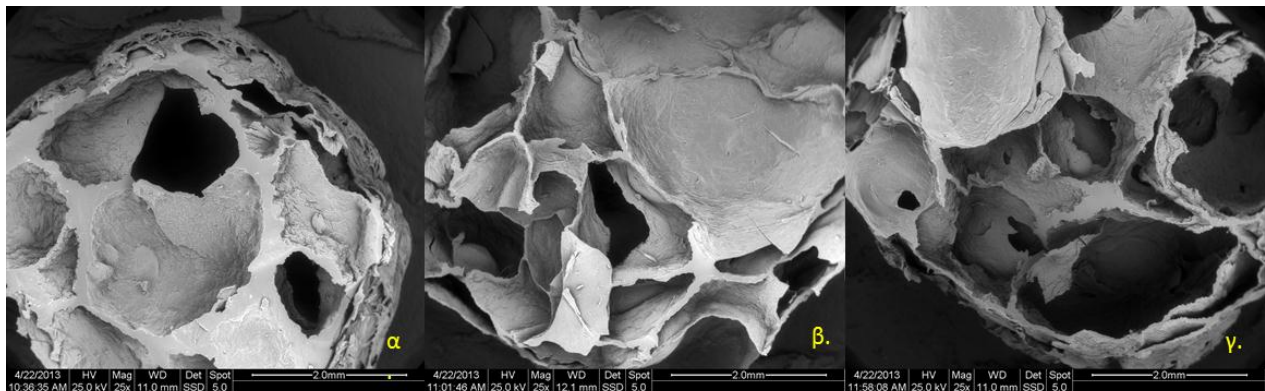
Στην εικόνα 23 παρατηρήθηκε, ότι όσο αυξάνεται η περιεχόμενη υγρασία του προϊόντος εκβολής, τόσο μεγαλύτεροι γίνονται οι πόροι του προϊόντος, δηλαδή το πορώδες μειώνεται. Κάτι αναμενόμενο, όπως αναφέρθηκε και στο κεφάλαιο 3.1.4.

ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ: Ανάπτυξη καινοτόμων βιομηχανικών προϊόντων εκβολής με προσθήκη πρεβιοτικών ινών- φυτικών και ζωικών τροφίμων. Μελέτη των ιδιοτήτων τους.



Εικόνα 24: Δομή προϊόντων εκβολής με πρόσθετο την ινουλίνη με $X=17\%$, $T=160^{\circ}\text{C}$, $R=200\text{ rpm}$ και συγκέντρωση της ινουλίνης α) $C=0\%$, β) $C=5\%$, γ) $C=10\%$ και δ) $C=15\%$.

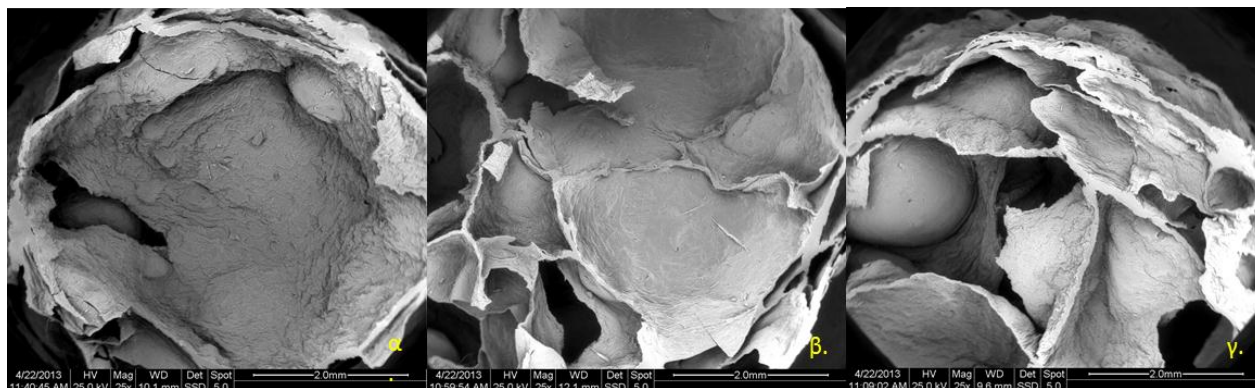
Στην εικόνα 24 παρατηρήθηκε, ότι όσο αυξάνεται η συγκέντρωση της ινουλίνης, τόσο μεγαλύτεροι γίνονται οι πόροι του προϊόντος, δηλαδή το πορώδες μειώνεται. Κάτι αναμενόμενο, όπως αναφέρθηκε και στο κεφάλαιο 3.1.4.



Εικόνα 25: Δομή προϊόντων εκβολής με πρόσθετο την ινουλίνη με $X=14\%$, $C=10\%$, $R=200\text{ rpm}$ και θερμοκρασία εκβολής α) $T=140^{\circ}\text{C}$, β) $T=160^{\circ}\text{C}$ και γ) $T=180^{\circ}\text{C}$.

Στην εικόνα 25 παρατηρήθηκε, ότι όσο αυξάνεται η θερμοκρασία εκβολής, τόσο μικρότεροι γίνονται οι πόροι του προϊόντος, δηλαδή το πορώδες αυξάνεται.

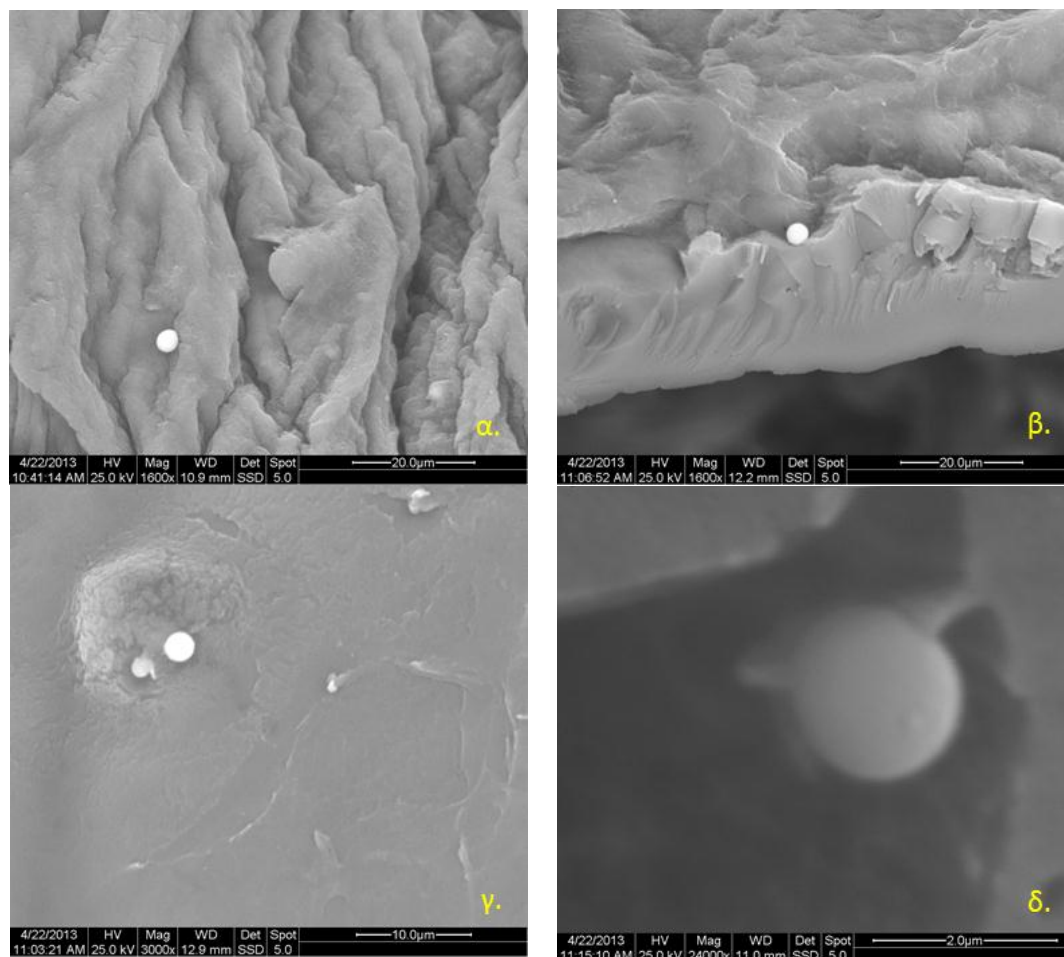
ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ: Ανάπτυξη καινοτόμων βιομηχανικών προϊόντων εκβολής με προσθήκη πρεβιοτικών ινών- φυτικών και ζωικών τροφίμων. Μελέτη των ιδιοτήτων τους.



Εικόνα 26: Δομή προϊόντων εκβολής με πρόσθετο την ινουλίνη με $X=14\%$, $C=10\%$, $T=160^{\circ}\text{C}$ και ταχύτητα περιστροφής των κοχλιών α) $R=150\text{ rpm}$, β) $R=200\text{ rpm}$ και γ) $R=250\text{ rpm}$.

Στην εικόνα 26 παρατηρήθηκε, ότι όσο αυξάνεται η ταχύτητα περιστροφής των κοχλιών, τόσο μικρότεροι γίνονται οι πόροι του προϊόντος, δηλαδή το πορώδες αυξάνεται. Κάτι αναμενόμενο, όπως αναφέρθηκε και στο κεφάλαιο 3.1.4.

ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ: Ανάπτυξη καινοτόμων βιομηχανικών προϊόντων εκβολής με προσθήκη πρεβιοτικών ινών- φυτικών και ζωικών τροφίμων. Μελέτη των ιδιοτήτων τους.



Εικόνα 27: Άμυλο μέσα στο προϊόν εκβολής σε μεγέθυνση α), β) 1600x, γ)3000x και δ)24000x.

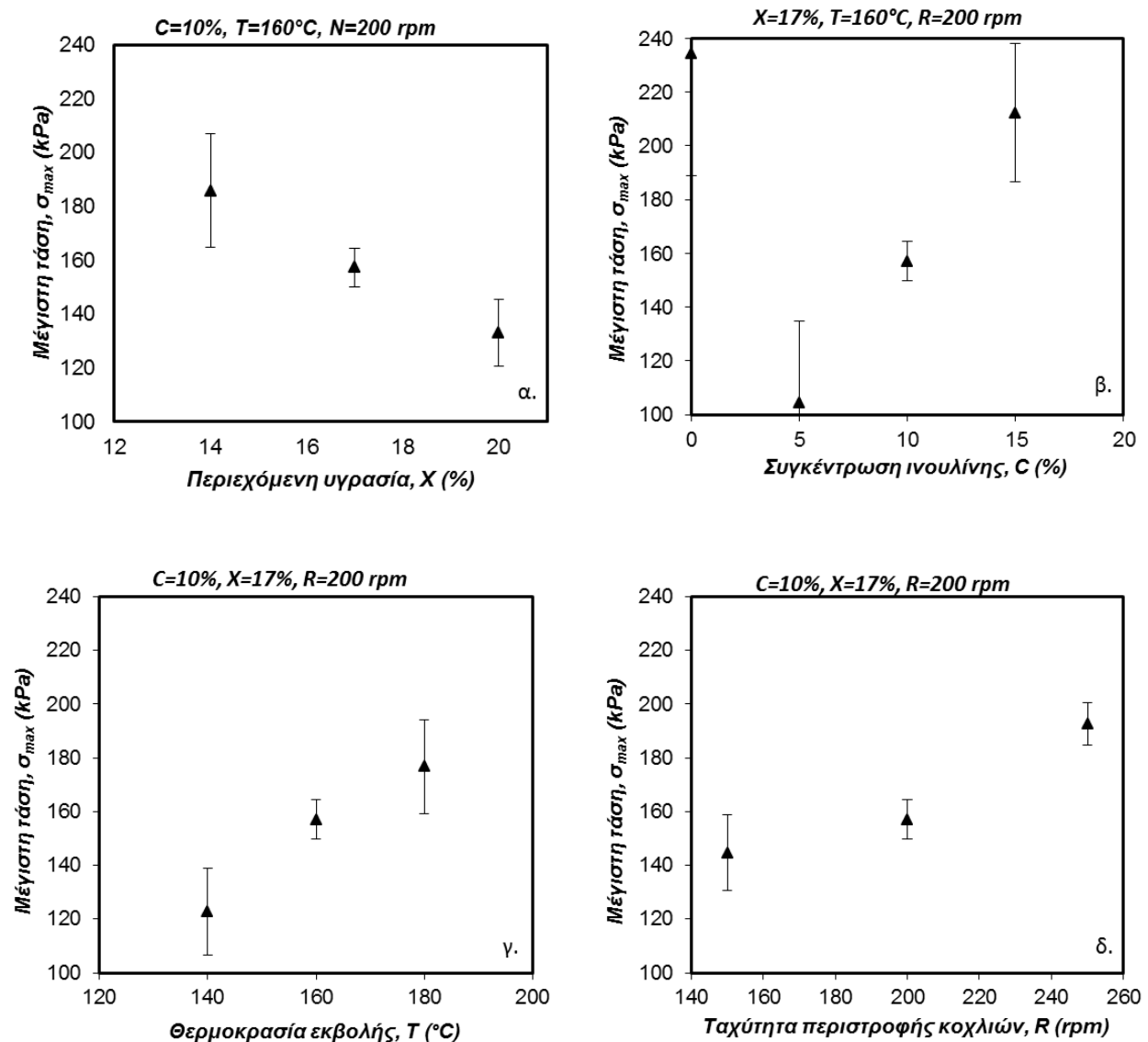
Όπως φαίνεται στην εικόνα 27, το άμυλο έχει σφαιρική μορφή και είναι προσκολλημένο στα εσωτερικά τοιχώματα του προϊόντος εκβολής.

3.2 ΙΔΙΟΤΗΤΕΣ ΥΦΗΣ- ΜΗΧΑΝΙΚΕΣ ΙΔΙΟΤΗΤΕΣ ΠΡΟΪΟΝΤΩΝ ΕΚΒΟΛΗΣ

Σκοπός της παρούσας ενότητας είναι η μελέτη της επίδρασης των παραμέτρων της διεργασίας (θερμοκρασία εκβολής και ταχύτητα περιστροφής κοχλιών) και των χαρακτηριστικών των πρώτων υλών (αναλογία υλικών τροφοδοσίας και περιεχόμενη υγρασία) στις ιδιότητες υφής (της μέγιστη τάσης, σ_{max} , της μέγιστης παραμόρφωσης ϵ_{max} , του μέτρου Ελαστικότητας, E , και του αριθμού των θραύσεων, N_c) των προϊόντων εκβολής ρυζάλευρου με προσθήκη ινουλίνης και των προϊόντων εκβολής ρυζάλευρου με προσθήκη σκόνης φυτικών και ζωικών τροφίμων, όπως η φράουλα, το μήλο, μήλο με κανέλα, η πάπρικα, η πιπεριά, το μπέικον και ο παστουρμάς. Παρακάτω παρατίθενται τα διαγράμματα των αποτελέσματα.

ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ: Ανάπτυξη καινοτόμων βιομηχανικών προϊόντων εκβολής με προσθήκη πρεβιοτικών ινών- φυτικών και ζωικών τροφίμων. Μελέτη των ιδιοτήτων τους.

3.2.1 ΙΔΙΟΤΗΤΕΣ ΥΦΗΣ- ΜΗΧΑΝΙΚΕΣ ΙΔΙΟΤΗΤΕΣ ΠΡΟΣΘΕΤΟΥ ΙΝΟΥΛΙΝΗΣ

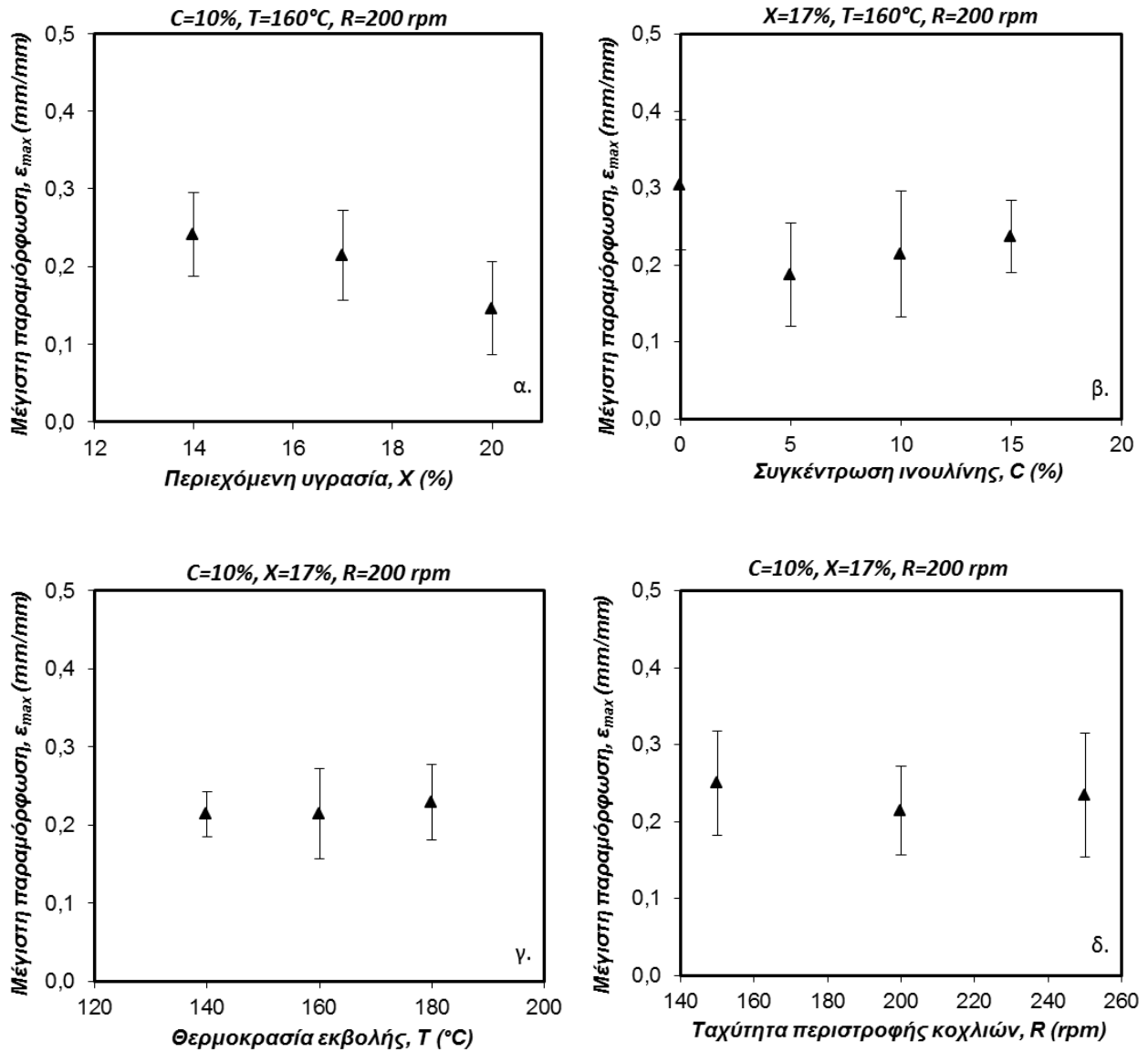


Σχήμα 3-7: Διαγράμματα μεταβολής της μέγιστης τάσης, σ_{max} συναρτήσει α) της περιεχόμενης υγρασίας, X , β) της συγκέντρωσης του προσθέτου ινουλίνης, C , γ) της θερμοκρασίας εκβολής, T και δ) της ταχύτητας περιστροφής των κοχλιών, R .

Όπως παρουσιάζεται στα διαγράμματα του σχήματος 3-7 η αύξηση της περιεχόμενης υγρασίας της τροφοδοσίας των μιγμάτων προκαλεί μείωση στη μέγιστη τάση. Η μέγιστη τάση εμφανίζει αύξηση με την αύξηση της συγκέντρωσης της ινουλίνης, της θερμοκρασίας εκβολής, καθώς και με την αύξηση της ταχύτητας περιστροφής των κοχλιών. Η μέγιστη τάση, όταν αυξάνεται, οδηγεί σε πιο εύθραυστα προϊόντα. Η βιομηχανία τροφίμων θέλει τραγανά προϊόντα και χαμηλό βαθμό επίθεσης στην οδοντοστοιχεία κατά τη διάρκεια της μάσησης.

ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ: Ανάπτυξη καινοτόμων βιομηχανικών προϊόντων εκβολής με προσθήκη πρεβιοτικών ινών- φυτικών και ζωικών τροφίμων. Μελέτη των ιδιοτήτων τους.

Κατά συνέπεια η βέλτιστη τιμή της συγκέντρωσης της ινουλίνης στο μείγμα, ώστε να παραχθεί ένα βιομηχανικά αποδεκτό προϊόν εκβολής 15%.

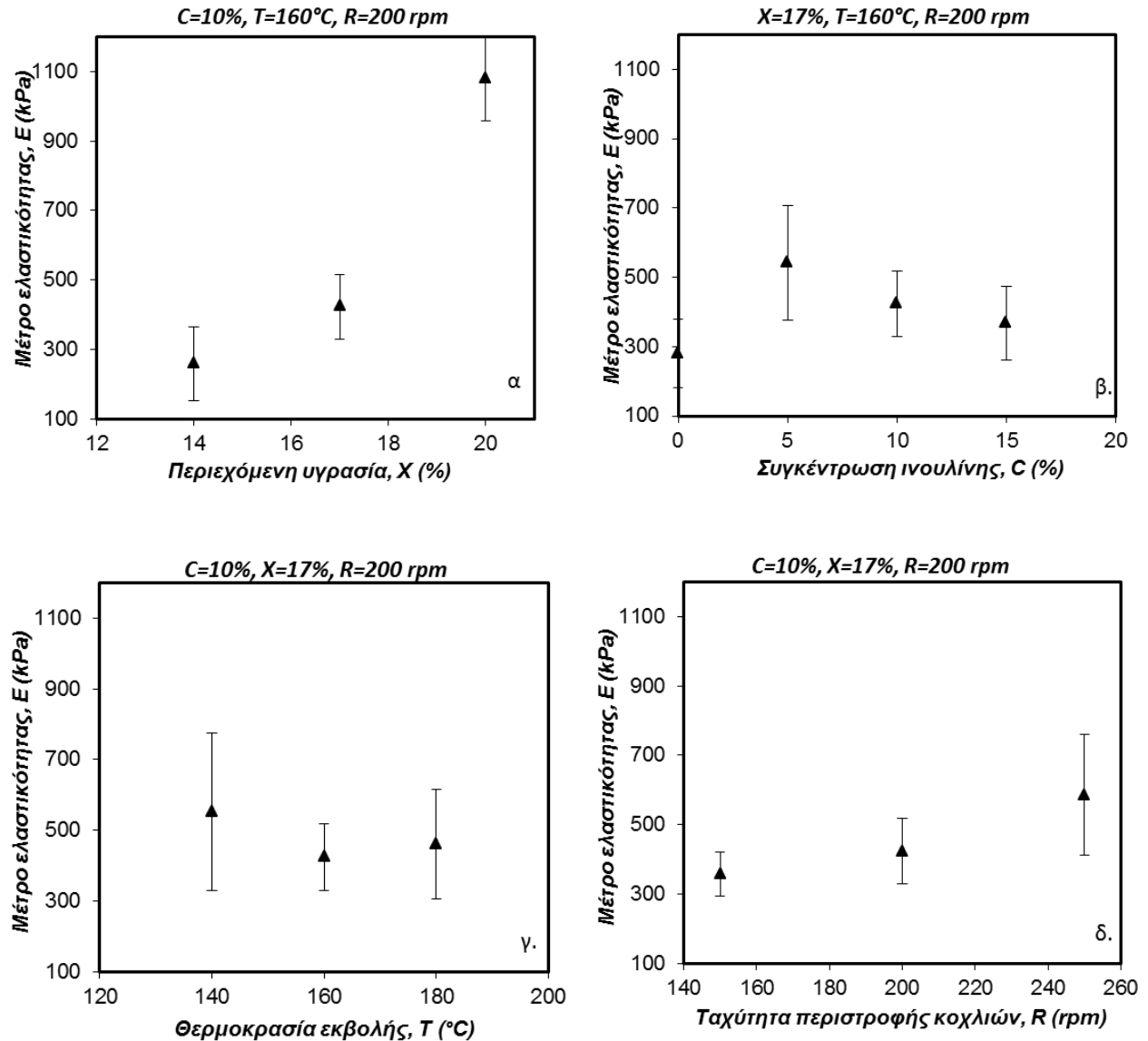


Σχήμα 3-8: Διαγράμματα μεταβολής της μέγιστης παραμόρφωσης, ϵ_{max} συναρτήσει α) της περιεχόμενης υγρασίας, X , β) της συγκέντρωσης του προσθέτου ινουλίνης, C , γ) της θερμοκρασίας εκβολής, T και δ) της ταχύτητας περιστροφής των κοχλιών, R .

Όπως παρουσιάζεται στα διαγράμματα του σχήματος 3-8 η μέγιστη παραμόρφωση παρουσιάζει μείωση με την αύξηση της περιεχόμενης υγρασίας των μιγμάτων, γεγονός λογικό αφού μειώνεται και το πορώδες, καθώς και με την αύξηση της ταχύτητας περιστροφής των

ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ: Ανάπτυξη καινοτόμων βιομηχανικών προϊόντων εκβολής με προσθήκη πρεβιοτικών ινών- φυτικών και ζωικών τροφίμων. Μελέτη των ιδιοτήτων τους.

κοχλιών. Αντίθετα αποτελέσματα, παρουσιάζονται με την αύξηση της συγκέντρωσης της ινουλίνης στο μείγμα και με την αύξηση της θερμοκρασίας εκβολής.

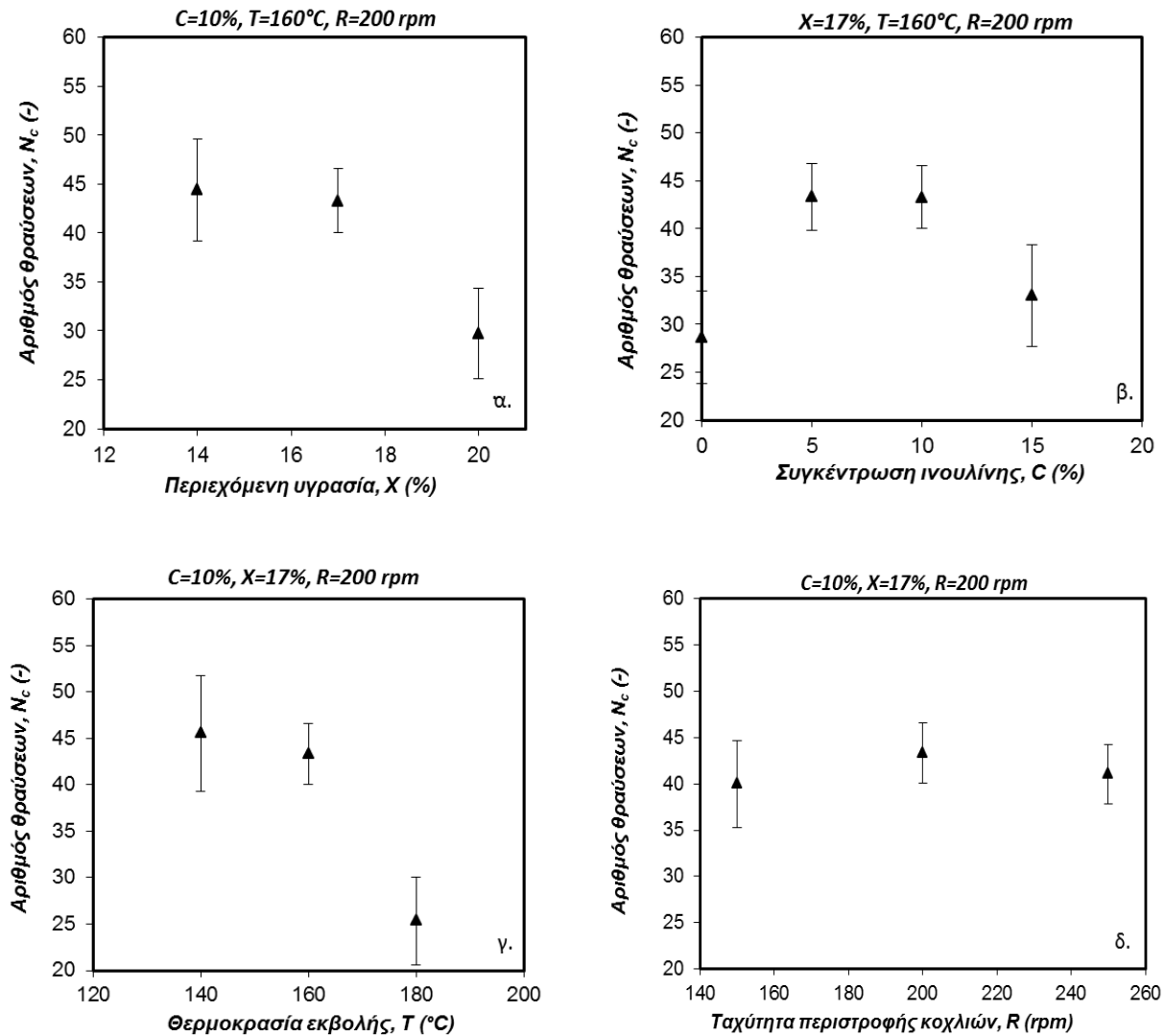


Σχήμα 3-9: Διαγράμματα μεταβολής του μέτρου ελαστικότητας, E_{max} , συναρτήσει α) της περιεχόμενης υγρασίας, X , β) της συγκέντρωσης του προσθέτου ινουλίνης, C , γ) της θερμοκρασίας εκβολής, T και δ) της ταχύτητας περιστροφής των κοχλιών, R .

Όπως παρουσιάζεται στα διαγράμματα του σχήματος 3-9 το μέτρο ελαστικότητας παρουσιάζει ανάλογη συμπεριφορά συνήθως με την πυκνότητα των δειγμάτων (Hutchinson, Siodlak and Smith 1987). Το μέτρο ελαστικότητας είναι ενδεικτικό της σκληρότητας των δειγμάτων. Κατά

ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ: Ανάπτυξη καινοτόμων βιομηχανικών προϊόντων εκβολής με προσθήκη πρεβιοτικών ινών- φυτικών και ζωικών τροφίμων. Μελέτη των ιδιοτήτων τους.

την αύξηση της περιεχόμενης υγρασίας των μιγμάτων παρατηρείται αύξηση της πυκνότητας των δειγμάτων που δικαιολογεί την αύξηση του μέτρου Ελαστικότητας. Αύξηση του μέτρου ελαστικότητας παρατηρείται επίσης κατά την αύξηση της ταχύτητας περιστροφής των κοχλιών, ενώ με την αύξηση της συγκέντρωσης της ινουλίνης και της θερμοκρασίας εκβολής παρατηρείται η μείωση του μέτρου Ελαστικότητας.



Σχήμα 3-10: Διαγράμματα μεταβολής του αριθμού θραύσεων, N_c , συναρτήσει α) της περιεχόμενης υγρασίας, X , β) της συγκέντρωσης του προσθέτου ινουλίνης, C , γ) της θερμοκρασίας εκβολής, T και δ) της ταχύτητας περιστροφής των κοχλιών, R .

Όπως παρουσιάζεται στα διαγράμματα του σχήματος 3-10 ο αριθμός των θραύσεων κατά την συμπίεση παρουσιάζει μείωση με την αύξηση της περιεχόμενης υγρασίας των μειγμάτων, της

ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ: Ανάπτυξη καινοτόμων βιομηχανικών προϊόντων εκβολής με προσθήκη πρεβιοτικών ινών- φυτικών και ζωικών τροφίμων. Μελέτη των ιδιοτήτων τους.

συγκέντρωσης της ινουλίνης, καθώς και της θερμοκρασίας εκβολής. Η ταχύτητα της περιστροφής των κοχλιών προκαλεί αύξηση του αριθμού θραύσεων στα δείγματα.

Οι παράμετροι της συμπίεσης των προϊόντων εκβολής συνδέονται τόσο με την πυκνότητα των δειγμάτων όσο και με το πάχος των τοιχωμάτων και την διόγκωσή τους (Hutchinson, Siodlak and Smith 1987; Agbisit, Alavi, Cheng, Herald et al. 2007) και έτσι εξηγούνται οι μεταβολές τους με τις διαφορετικές συνθήκες εκβολής και σύστασης των μιγμάτων.

Η αύξηση της περιεχόμενης υγρασίας των μιγμάτων τροφοδοσίας προκαλεί αύξηση στο μέτρο ελαστικότητας και μείωση στον αριθμό των θραύσεων κατά την συμπίεση. Αυτή η συμπεριφορά είναι απολύτως συμβατή με την αύξηση της πυκνότητας η οποία παρατηρείται. Επίσης η παρουσία του νερού, το οποίο δρα ως πλαστικοποιητής, σε χαμηλές θερμοκρασίες εκβολής έχει ως αποτέλεσμα την μείωση του ιξώδους και κατ' επέκταση τη μείωση του βαθμού ζελατινοποίησης του αμύλου και της ανάπτυξης φυσαλίδων που προκαλούν πιο πυκνές δομές πλέγματος, και λιγότερο τραγανά προϊόντα με μικρότερη διόγκωση όπως παρατηρήθηκε και στα δείγματα (Ferreira, Chang and Steel 2011).

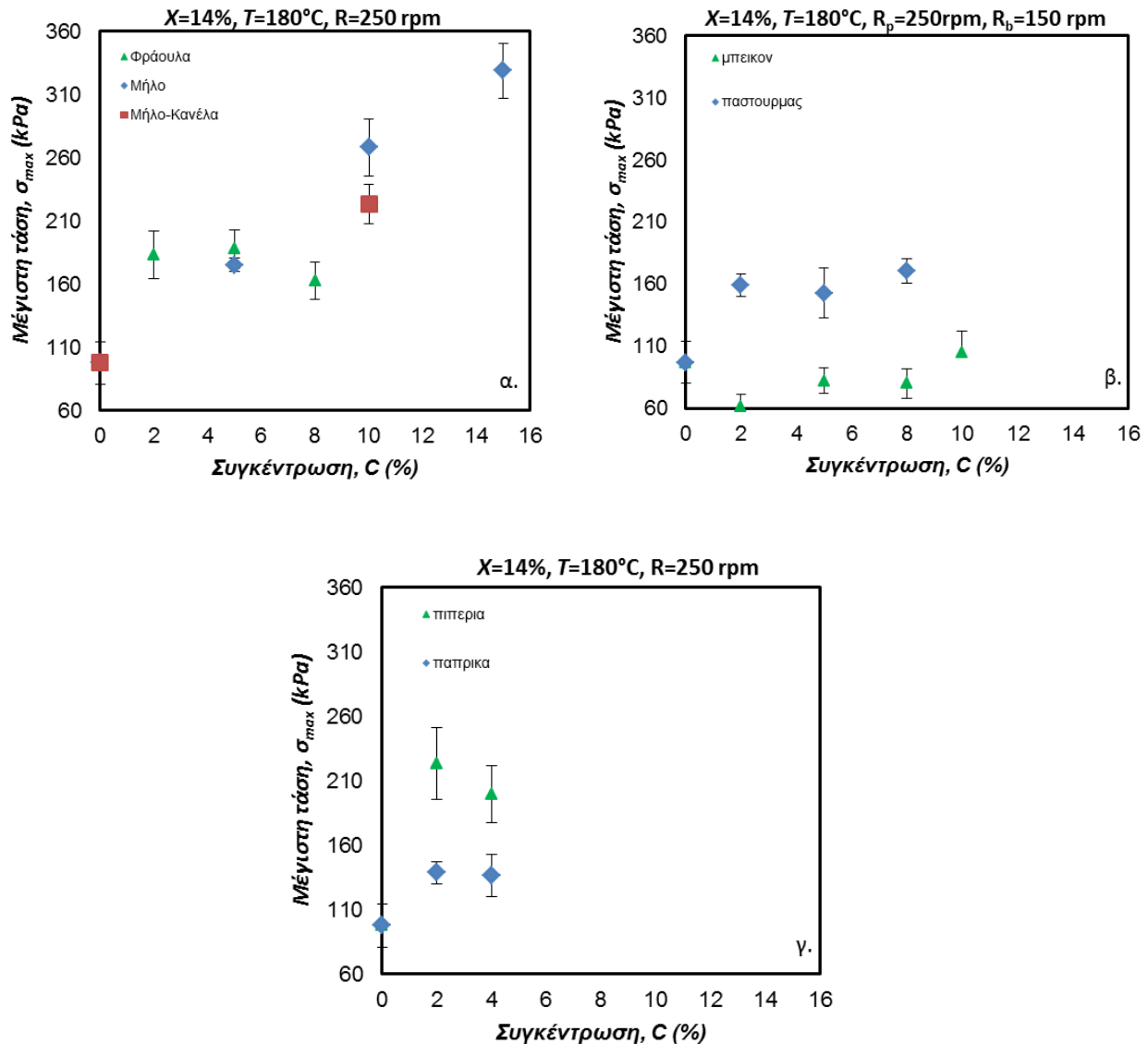
Αντίστοιχη συμπεριφορά, σε χαμηλές συγκεντρώσεις (5%) παρουσιάζουν τα δείγματα με την αύξηση της συγκέντρωσης της ινουλίνης. Η αύξηση της συγκέντρωσης επίσης προκάλεσε αύξηση της πυκνότητας των δειγμάτων και μείωση της διόγκωσής τους. Η ινουλίνη αποτελεί, μεταξύ άλλων, φυτική ίνα. Τα προϊόντα εκβολής που περιέχουν ίνες, σε υψηλές συγκεντρώσεις είναι συνήθως συμπαγή, σκληρά, όχι τραγανά, και με υφή ανεπιθύμητη λόγω της χαμηλής διόγκωσής τους. Οι φυτικές ίνες προκαλούν μείωση της διόγκωσης με θραύση των κυτταρικών τοιχωμάτων πριν από την πλήρη διόγκωση των φυσαλίδων αέρα (Liu, Hsieh, Heymann and Huff 2000; Steel, Leoro, Schmiele, Ferreira et al. 2012).

Όπως έχει αναφερθεί σε αρκετές εργασίες (Agbisit, Alavi, Cheng, Herald et al. 2007; Allen, Carpenter and Walsh 2007), ο συντελεστής διόγκωσης επηρεάζει σημαντικά τη σκληρότητα των δειγμάτων, και σε αρκετές περιπτώσεις παρουσιάζει αύξηση με την αύξηση της ταχύτητας περιστροφής των κοχλιών και αυτό θα μπορούσε να εξηγήσει την αύξηση στο μέτρο ελαστικότητας, και την αύξηση στον αριθμό των θραύσεων, η οποία παρατηρήθηκε στα δείγματα που έγιναν λιγότερο σκληρά και πιο τραγανά.

Τα δείγματα με πρόσθετο την ινουλίνη παρουσίασαν μείωση της πυκνότητάς τους και αύξηση της διόγκωσής τους με την αύξηση της θερμοκρασίας εκβολής και έτσι τα δείγματα φαίνεται να έγιναν πιο μαλακά και τραγανά. (Ferreira, Chang and Steel 2011)

ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ: Ανάπτυξη καινοτόμων βιομηχανικών προϊόντων εκβολής με προσθήκη πρεβιοτικών ινών- φυτικών και ζωικών τροφίμων. Μελέτη των ιδιοτήτων τους.

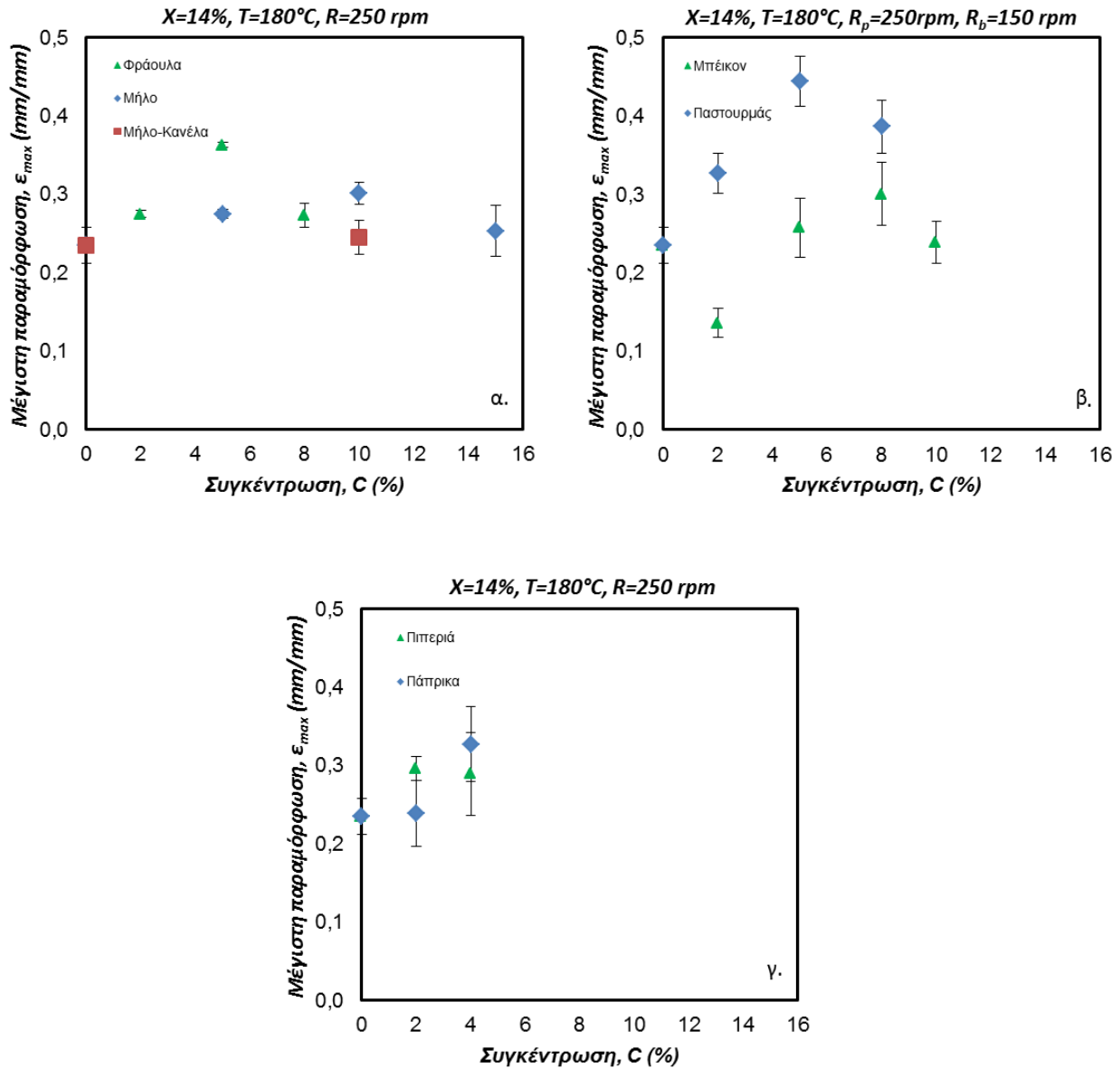
3.2.2 ΙΔΙΟΤΗΤΕΣ ΥΦΗΣ- ΜΗΧΑΝΙΚΕΣ ΙΔΙΟΤΗΤΕΣ ΦΥΤΙΚΩΝ ΚΑΙ ΖΩΙΚΩΝ ΠΡΟΣΘΕΤΩΝ



Σχήμα 3-11: Διαγράμματα μεταβολής της μέγιστης τάσης, σ_{max} συναρτήσει της συγκέντρωσης του προσθέτου και συγκεκριμένα: α. φράουλας, μήλου και μήλου-κανέλας, β. μπείκον και παστοურμά και γ. πιπεριάς και πάπρικας.

Όπως παρουσιάζεται στα διαγράμματα του σχήματος 3-11 η αύξηση της συγκέντρωσης της φράουλας, της πιπεριάς και της πάπρικας προκαλεί την μείωση της μέγιστης τάσης, ενώ η αύξηση της συγκέντρωσης του μήλου, καθώς και η αύξηση της συγκέντρωσης των ζωικών προσθέτων, μπείκον και παστοურμά προκαλεί τη μείωση της μέγιστης τάσης.

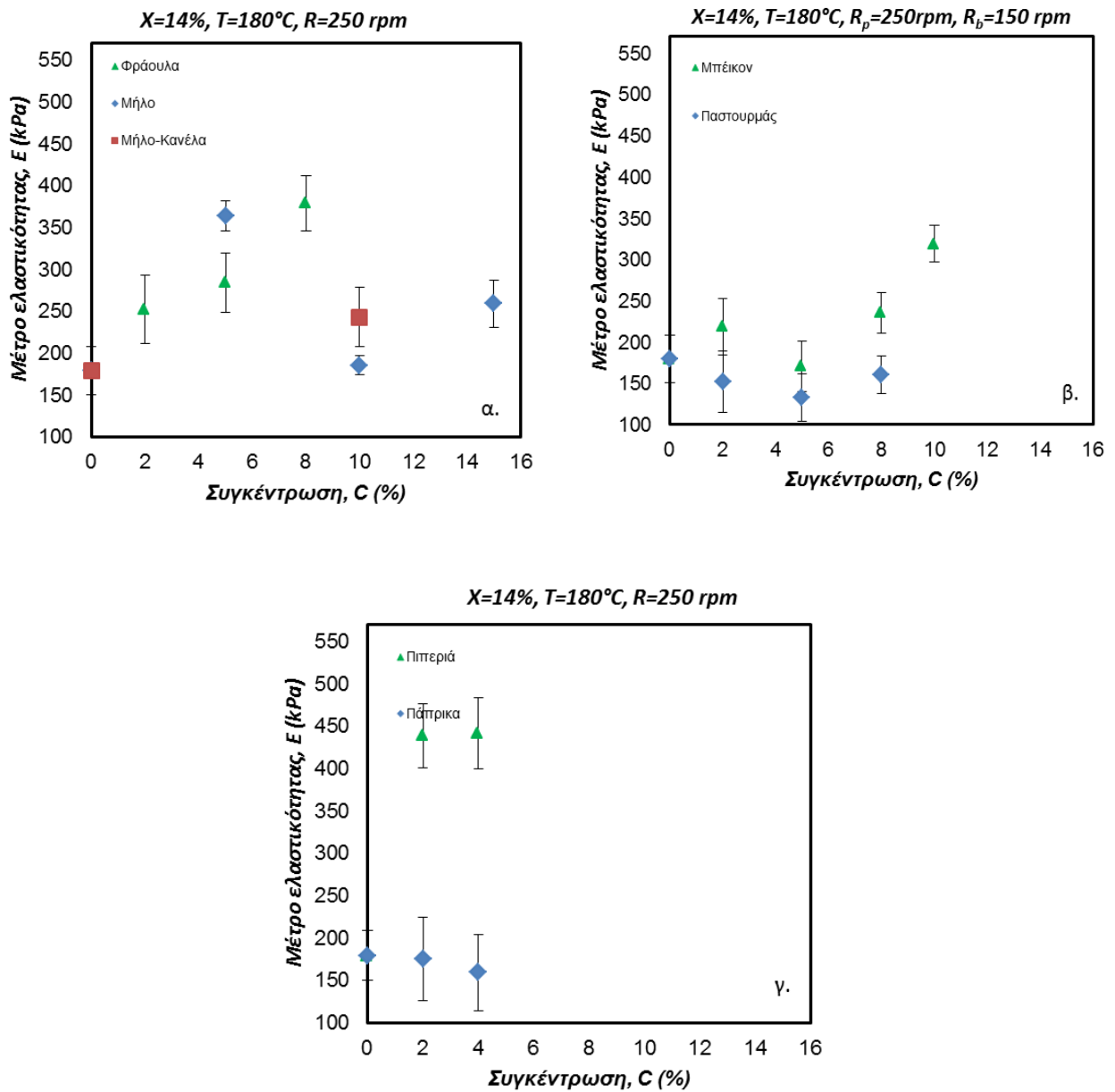
ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ: Ανάπτυξη καινοτόμων βιομηχανικών προϊόντων εκβολής με προσθήκη πρεβιοτικών ινών- φυτικών και ζωικών τροφίμων. Μελέτη των ιδιοτήτων τους.



Σχήμα 3-12: Διαγράμματα μεταβολής της μέγιστης παραμόρφωσης, ϵ_{max} συναρτήσει της συγκέντρωσης του προσθέτου και συγκεκριμένα: α. φράουλας, μήλου και μήλου-κανέλας, β. μπέικον και παστουρμά και γ. πιπεριάς και πάπρικας

Η μέγιστη παραμόρφωση παρουσιάζει αύξηση με την αύξηση της συγκέντρωσης όλων των προσθέτων στο μείγμα για χαμηλές συγκεντρώσεις (0-6%) και σε μεγαλύτερες συγκεντρώσεις παρουσιάζει μείωση.

ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ: Ανάπτυξη καινοτόμων βιομηχανικών προϊόντων εκβολής με προσθήκη πρεβιοτικών ινών- φυτικών και ζωικών τροφίμων. Μελέτη των ιδιοτήτων τους.



Σχήμα 3-13: Διαγράμματα μεταβολής του μέτρου ελαστικότητας, E_{max} συναρτήσει της συγκέντρωσης του προσθέτου και συγκεκριμένα: α. φράουλας, μήλου και μήλου-κανέλας, β. μπέικον και παστοურμάς και γ. πιπεριάς και πάπρικας

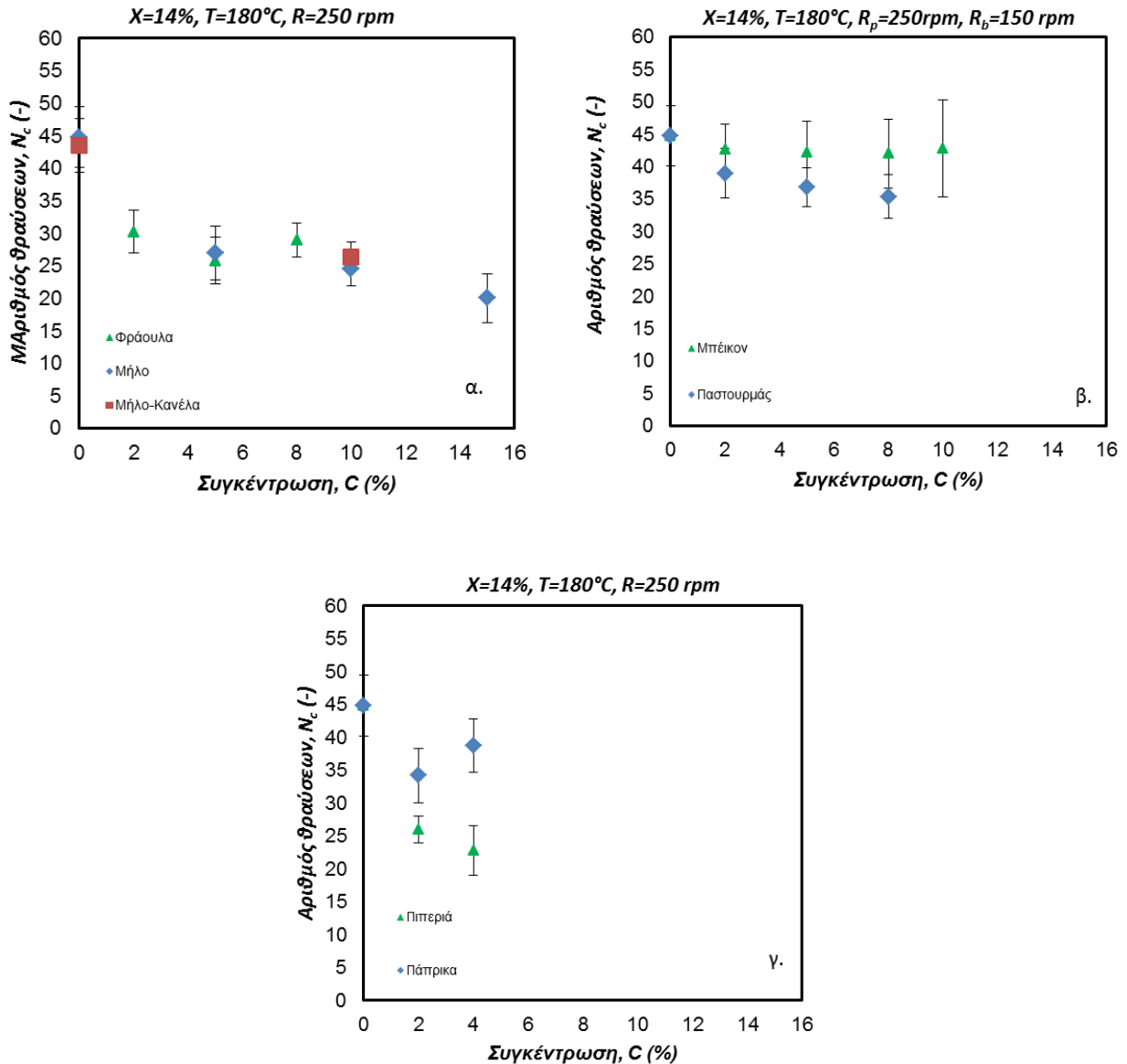
Το μέτρο ελαστικότητας παρουσιάζει ανάλογη συμπεριφορά με τη μέγιστη τάση για τα προϊόντα εκβολής με ζωικά πρόσθετα και με πάπρικα.

ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ: Ανάπτυξη καινοτόμων βιομηχανικών προϊόντων εκβολής με προσθήκη πρεβιοτικών ινών- φυτικών και ζωικών τροφίμων. Μελέτη των ιδιοτήτων τους.

Συγκεκριμένα, παρατηρείται αύξηση του μέτρου ελαστικότητας κατά την αύξηση της συγκέντρωσης της πιπεριάς και της φράουλας, καθώς και του μήλου για συγκέντρωση 4%. Αντίθετη συμπεριφορά παρατηρούμε στην αύξηση της συγκέντρωσης του μήλου για συγκεντρώσεις άνω του 4%. Η αύξηση της συγκέντρωσης του μπέικον και του παστοურμά παρουσιάζει αρχικά μείωση του μέτρου ελαστικότητας, μέχρις ότου εμφανιστεί ελάχιστο για συγκέντρωση 5% και περαιτέρω αύξηση του για υψηλότερες τιμές συγκέντρωσης και η αύξηση της συγκέντρωσης της πάπρικας παρουσιάζει μια σταθερή μείωση του.

Η αύξηση της συγκέντρωσης των φυτικών προσθέτων, πιπεριάς φράουλας και μήλου προκάλεσε αύξηση της πυκνότητας των δειγμάτων και μείωση της διόγκωσής τους. Τα προϊόντα αυτά αποτελούνται από φυτικές ίνες. Τα προϊόντα εκβολής που περιέχουν ίνες, σε υψηλές συγκεντρώσεις είναι συνήθως συμπαγή, σκληρά, όχι τραγανά, και με υφή ανεπιθύμητη λόγω της χαμηλής διόγκωσής τους. Οι φυτικές ίνες προκαλούν μείωση της διόγκωσης με θραύση των κυτταρικών τοιχωμάτων πριν από την πλήρη διόγκωση των φυσαλίδων αέρα (Liu, Hsieh, Heymann and Huff 2000; Steel, Leoro, Schmiele, Ferreira et al. 2012). Η αύξηση της συγκέντρωσης της πάπρικας προκάλεσε τη μείωση του μέτρου ελαστικότητας, ενώ θα έπρεπε, λόγω των φυτικών ινών που περιέχει, να ακολουθεί την παραπάνω συμπεριφορά. Χρήζει περαιτέρω διερεύνησης σε υψηλότερες συγκεντρώσεις για να αποφανθούμε για την συνολική συμπεριφορά της. Η αύξηση της συγκέντρωσης του μπέικον και του παστοურμά προκάλεσε γενικότερα την αύξηση του συντελεστή διόγκωσης, ιδιαίτερα για υψηλές συγκεντρώσεις, λόγω της παρουσίας των λιπών, η οποία επηρεάζει σημαντικά την διόγκωση, και συγκεκριμένα προκαλεί μείωση λόγω της ολίσθησης του τήγματος στο εσωτερικό του εκβολέα (Mian 2005; Steel, Leoro, Schmiele, Ferreira et al. 2012) με αποτέλεσμα την αύξηση της σκληρότητας των υλικών και την μείωση της τραγανότητάς τους (Colonna 1984)

ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ: Ανάπτυξη καινοτόμων βιομηχανικών προϊόντων εκβολής με προσθήκη πρεβιοτικών ινών- φυτικών και ζωικών τροφίμων. Μελέτη των ιδιοτήτων τους.



Σχήμα 3-14: Διαγράμματα μεταβολής του αριθμού θραύσεων, N_c , συναρτήσει της συγκέντρωσης του προσθέτου και συγκεκριμένα: α. φράουλας, μήλου και μήλου-κανέλας, β. μπέικον και παστοურμά και γ. πιπεριάς και πάπρικας.

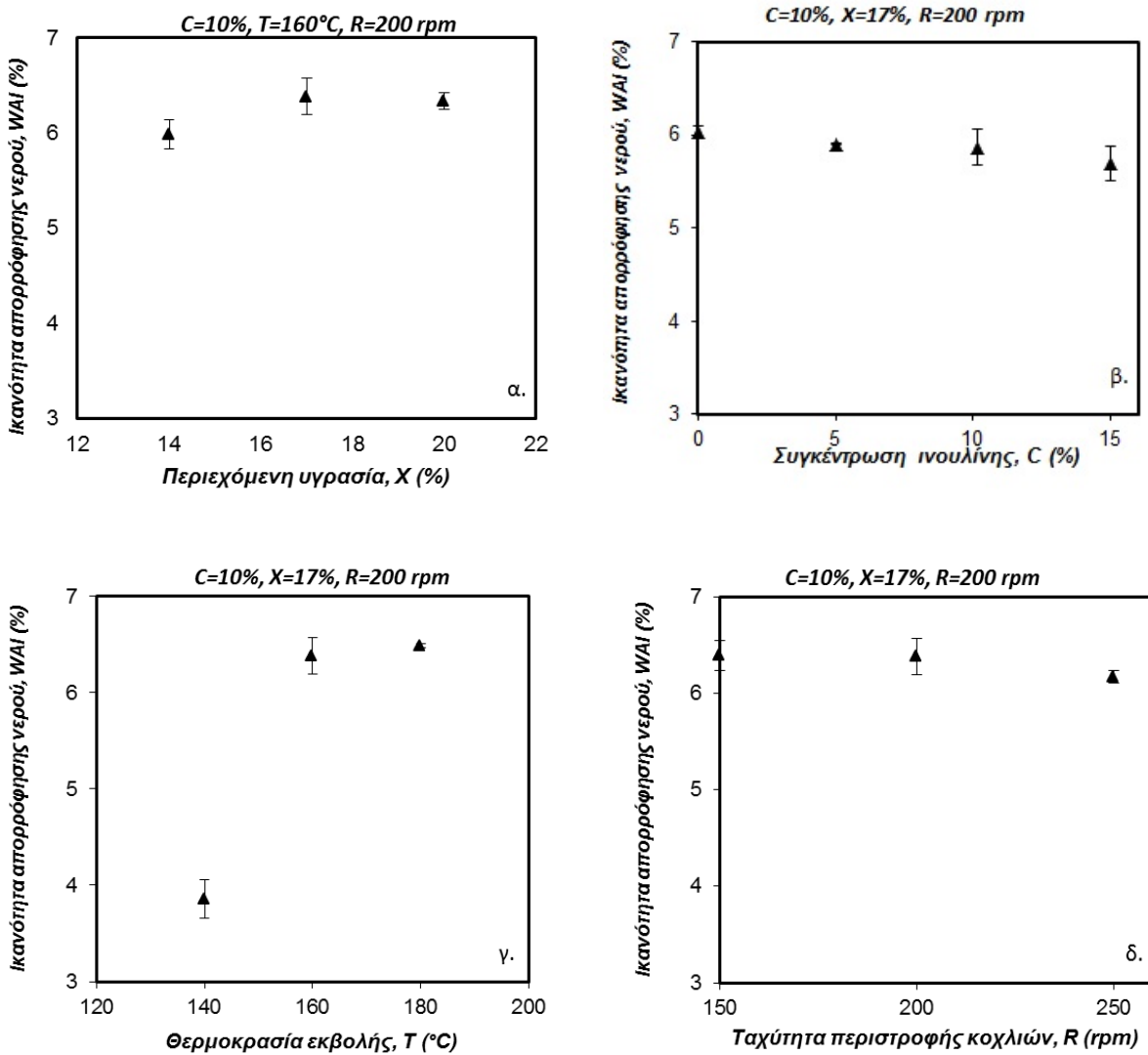
Ο αριθμός των θραύσεων κατά την συμπίεση παρουσιάζει μείωση με την αύξηση της συγκέντρωσης όλων των φυτικών και ζωικών προσθέτων, πλην της πάπρικας, η οποία αυξάνει τον αριθμό θραύσεων και του μπέικον που παρουσιάζει μια σταθερή συμπεριφορά και κυμαίνεται περίπου στην τιμή των 43 θραύσεων σε όλες τις υπολογισμένες συγκεντρώσεις.

ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ: Ανάπτυξη καινοτόμων βιομηχανικών προϊόντων εκβολής με προσθήκη πρεβιοτικών ινών- φυτικών και ζωικών τροφίμων. Μελέτη των ιδιοτήτων τους.

3.3 ΛΕΙΤΟΥΡΓΙΚΕΣ ΙΔΙΟΤΗΤΕΣ ΤΡΟΦΙΜΩΝ ΕΚΒΟΛΗΣ

Παρακάτω παρουσιάζονται τα διαγράμματα που συσχετίζουν τις λειτουργικές ιδιότητες, δηλαδή την ικανότητα απορρόφησης νερού, *IAN* (WAI = Water Absorption Index), την ικανότητα διαλυτότητας σε νερό, *IAN* (WSI = Water Solubility Index) και την ικανότητα απορρόφησης ελαίου, *IAE* (OAI = Oil Absorption Index) με τις παραμέτρους της διεργασίας και τα χαρακτηριστικά των πρώτων υλών στα προϊόντα με πρόσθετο την ινουλίνη.

3.3.1 ΙΚΑΝΟΤΗΤΑ ΑΠΟΡΡΟΦΗΣΗΣ ΝΕΡΟΥ *IAN*



Σχήμα 3-15: Διαγράμματα μεταβολής της ικανότητας απορρόφησης νερού, *IAN*, συναρτήσει α) της περιεχόμενης υγρασίας, X , β) της συγκέντρωσης του προσθέτου ινουλίνη, C , γ) της θερμοκρασίας εκβολής, T και δ) της ταχύτητας περιστροφής των κοχλιών, R .

ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ: Ανάπτυξη καινοτόμων βιομηχανικών προϊόντων εκβολής με προσθήκη πρεβιοτικών ινών- φυτικών και ζωικών τροφίμων. Μελέτη των ιδιοτήτων τους.

Από τα διαγράμματα του σχήματος 3-15 παρατηρείται ότι η *IAN* των προϊόντων εκβολής, αυξήθηκε με την αύξηση της θερμοκρασίας εκβολής και της περιεχόμενης υγρασίας, αντίθετα μειώθηκε με αύξηση της συγκέντρωσης της ινουλίνης, ενώ με την αύξηση της ταχύτητας περιστροφής των κοχλιών, η *IAN* μειώνεται και μένει σχεδόν ανεπηρέαστη.

Η *IAN* αποτελεί μέτρο του ποσοστού του νερού που μπορεί να απορροφηθεί από το άμυλο και μπορεί να χρησιμοποιηθεί ως δείκτης ζελατινοποίησης, αφού το φυσικό άμυλο δεν απορροφά νερό σε θερμοκρασία δωματίου (Anderson, Conway and Peplinski 1970; Colonna 1984; Ding 2006). Η θερμοκρασία εκβολής και η υγρασία τροφοδοσίας είναι γνωστό ότι επηρεάζουν τη ζελατινοποίηση κατά τη διάρκεια της εκβολής και κατά συνέπεια θα επηρεάζουν την *IAN*.

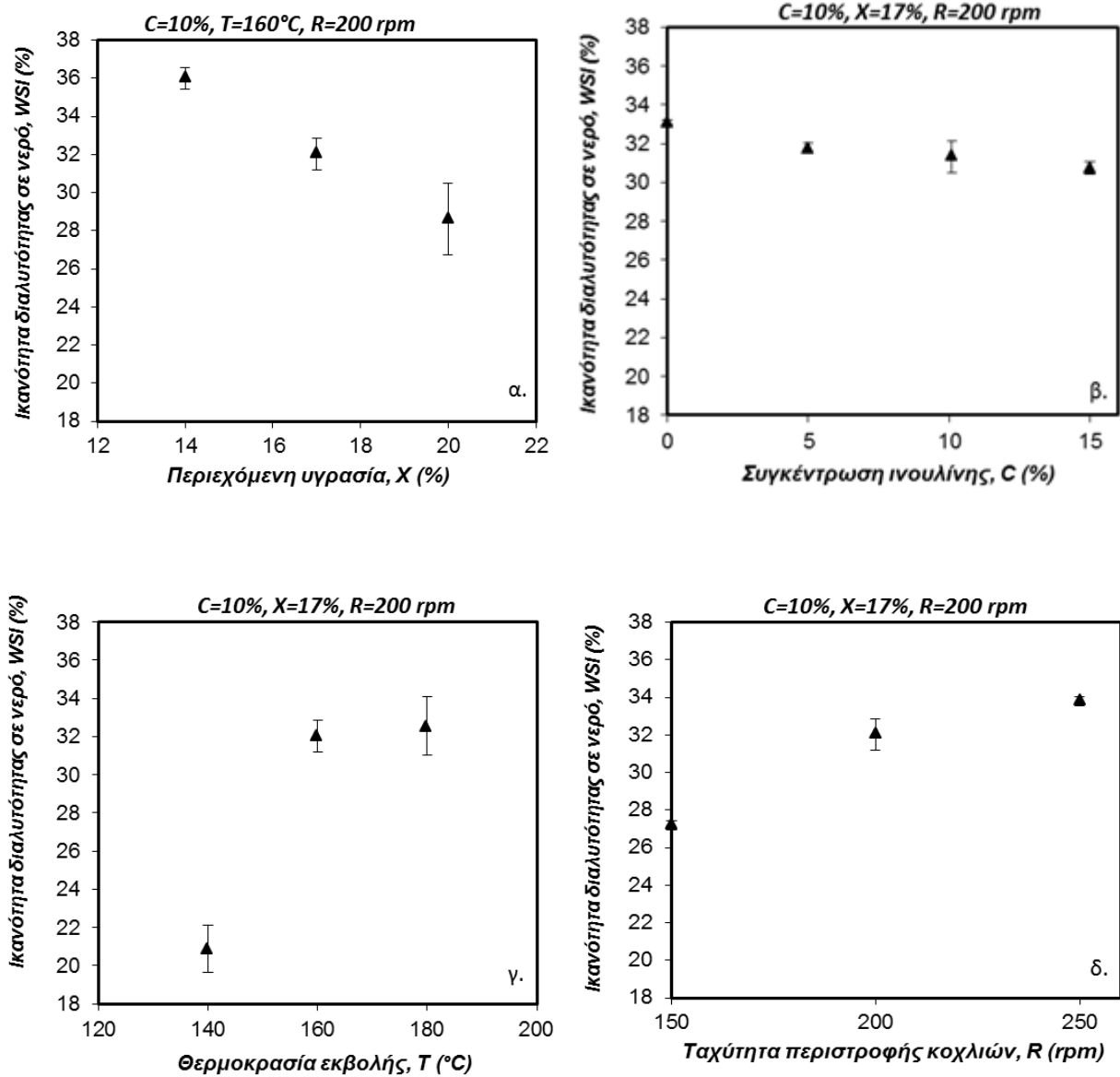
Συνεπώς, με την αύξηση της θερμοκρασίας εκβολής και της περιεχομένης υγρασίας η *IAN* αναμένεται να αυξάνεται κάτι που επαληθεύεται και από τα πειραματικά δεδομένα. Στο παρελθόν οι Lit et al. (Lin 2002) είχαν αντίστοιχα αποτελέσματα όπου σε υψηλής υγρασίας προϊόν από σόγια είχε βρεθεί ότι η *IAN* αυξήθηκε με την αύξηση της θερμοκρασίας εκβολής και της υγρασίας.

Η αύξηση της συγκέντρωσης της ινουλίνης στο μείγμα των προϊόντων εκβολής αυξάνει το περιεχόμενο των τροφίμων εκβολής σε φυτικές ίνες. Η *IAN* εξαρτάται από τη διαθεσιμότητα των υδρόφιλων ομάδων, στις οποίες προσδένονται τα μόρια του νερού και στην ικανότητα σχηματισμού πηκτών των μακρομορίων (Gomez 1983). Οι φυτικές ίνες έχουν υδρόφιλες ομάδες, οι οποίες κατά τη διάρκεια της εκβολής χάνουν την ικανότητας ενυδάτωσής τους. Η μειωμένη ικανότητα ενυδάτωσης ευνοείται από το σχηματισμό διαμοριακών δεσμών μεταξύ των φυτικών ινών με τα μόρια της αμυλόζης και της αμυλοπηκτικής. Αυτό οδηγεί στη μείωση της *IAN* όσο αυξάνεται η συγκέντρωση του πρόσθετου ινουλίνης.

Η ταχύτητα περιστροφής των κοχλιών φαίνεται να μην επηρεάζει σχεδόν καθόλου την τιμή της *IAN*. Παρόλα αυτά, από τις 150 μέχρι τις 200 rpm παρατηρείται μια ελάχιστη μείωση της, η οποία ίσως να οφείλεται στις διαφορετικές μοριακές μετατροπές των πλεγμάτων του αμύλου λόγω των διαφορετικών συνθηκών επεξεργασίας αφού αυξήθηκε η ταχύτητα περιστροφής των κοχλιών του εκβολέα.

ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ: Ανάπτυξη καινοτόμων βιομηχανικών προϊόντων εκβολής με προσθήκη πρεβιοτικών ινών- φυτικών και ζωικών τροφίμων. Μελέτη των ιδιοτήτων τους.

3.3.2 ΙΚΑΝΟΤΗΤΑ ΔΙΑΛΥΤΟΤΗΤΑΣ ΣΕ ΝΕΡΟ ΙΔΝ



Σχήμα 3-16: Διαγράμματα μεταβολής της ικανότητας διαλυτότητας σε νερό, $ΙΔΝ$, συναρτήσει α) της περιεχόμενης υγρασίας, X , β) της συγκέντρωσης του προσθέτου ινουλίνης, C , γ) της θερμοκρασίας εκβολής, T και δ) της ταχύτητας περιστροφής των κοχλιών, R .

Από τα διαγράμματα του σχήματος 3-16 μπορεί να παρατηρηθεί ότι η $ΙΔΝ$ των προϊόντων εκβολής, μειώθηκε σημαντικά με την αύξηση της περιεχόμενης υγρασίας. Επιπλέον, πολύ μικρή μείωση στην $ΙΔΝ$ παρατηρείται με την αύξηση της συγκέντρωσης της ινουλίνης κυρίως όμως όταν η συγκέντρωση ξεπεράσει το 10%. Αντίθετα, παρατηρείται αύξηση της $ΙΔΝ$ όταν

ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ: Ανάπτυξη καινοτόμων βιομηχανικών προϊόντων εκβολής με προσθήκη πρεβιοτικών ινών- φυτικών και ζωικών τροφίμων. Μελέτη των ιδιοτήτων τους.

αυξάνεται η ταχύτητα περιστροφής των κοχλιών και σε μικρότερο βαθμό όσο αυξάνεται η θερμοκρασία εκβολής.

Η *IDN* συνδέεται με την ποσότητα των διαλυτών μορίων του τροφίμου, η οποία συνδέεται με τη δεξτρίνοποίηση. Κατά συνέπεια η *IDN* μπορεί να χρησιμοποιηθεί ως δείκτης της υποβάθμισης των μορίων και προσδιορίζει το βαθμό μετατροπής του αμύλου κατά τη διάρκεια της εκβολής (Colonna 1984). Πρόσφατα η *IDN* έχει χρησιμοποιηθεί ως δείκτης για την εκτίμηση του βαθμού ψησίματος (degree of cooking) για τρόφιμα εκβολής από φασόλια (Drago 2007).

Η αύξηση της θερμοκρασίας αυξάνει την ένταση της θερμικής κατεργασίας στον εκβολέα, η οποία με τη σειρά της είναι υπεύθυνη για την αύξηση της *IDN* των δειγμάτων. Οι παρατηρήσεις αυτές είναι παρόμοιες με τις μεταβολές που έχουν παρατηρηθεί στην *WSI* προϊόντων εκβολής με βάση το άμυλο, επεξεργασμένα με εκβολέα μονού ή και διπλού κοχλία (Colonna 1984; Chauhan 1988; Ding 2006). Επιπρόσθετα έχει βρεθεί ότι η δεξτρίνοποίηση του αμύλου είναι ο κύριος μηχανισμός μετατροπής του κατά τη διάρκεια της εκβολής του σε χαμηλή υγρασία. Κατά συνέπεια η μείωση της *IDN* με την υγρασία τροφοδοσίας είναι αναμενόμενη και βρίσκεται σε συμφωνία με προηγούμενες αναφορές (Ding 2005; Hernandez-Diaz, Quintero-Ramos, Barnard and Quintana 2007).

Η αύξηση της ταχύτητας περιστροφής των κοχλιών προκαλεί αύξηση της *IDN*. Η αύξηση ταχύτητας περιστροφής των κοχλιών προκαλεί μείωση στο μέσο χρόνο παραμονής και στην ειδική μηχανική ενέργεια. Αυτές οι παράμετροι του συστήματος έχουν μεγάλη επίδραση στη μοριακή αποδόμηση του αμύλου. Το τήγμα που υφίσταται εκβολή με υψηλή ταχύτητα περιστροφής των κοχλιών υπόκειται σε μεγαλύτερες διατμητικές δυνάμεις, οι οποίες προκαλούν μεγαλύτερη μοριακή υποβάθμιση. Συνεπώς, εκεί αποδίδεται η αύξηση της *WSI* με την αύξηση της ταχύτητας περιστροφής των κοχλιών.

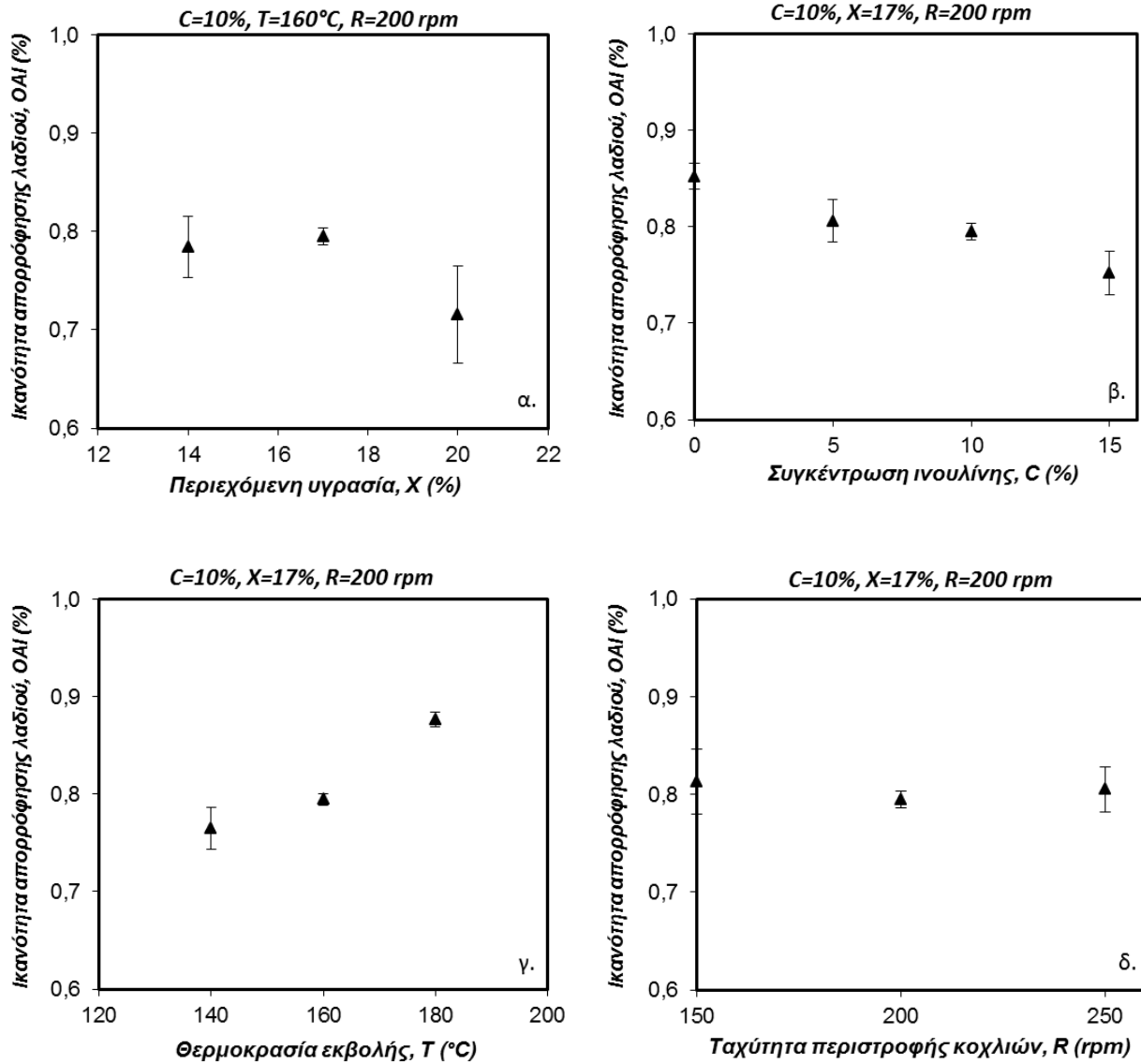
Επίσης, η αύξηση της συγκέντρωσης της ινουλίνης στο μείγμα τροφοδοσίας φαίνεται να μην επηρεάζει ιδιαίτερα την τιμή της *IDN*. Μόνο σε συγκεντρώσεις άνω του 10% παρατηρείται μια ελάχιστη μείωση της *IDN*. Η μείωση αυτή πιθανότατα οφείλεται στο γεγονός ότι αυξάνοντας τη συγκέντρωση της ινουλίνης αυξάνεται και το περιεχόμενο του προϊόντος σε φυτικές ίνες. Κατά τη διάρκεια της εκβολής η ικανότητα διαλυτότητας των φυτικών ινών χάνεται λόγω της θερμικής επεξεργασίας του υλικού. Αυτό έχει σαν αποτέλεσμα δομικές μεταβολές που επιτρέπουν στις υδρόφιλες ομάδες, όπως $-OH$, $-NH_2$, $-COOH$ και $-SH$, να σχηματίζουν συνδέσεις (γέφυρες) με το άμυλο (Fernandez-Gutierrez 2004). Έτσι, η προσθήκη φυτικών ινών στα τρόφιμα εκβολής αναμένεται να μειώνει την *IDN*.

Τέλος πρέπει να επισημανθεί, ότι η *IDN* σχετίζεται με το χρόνο υδατοαπορρόφησης και διάχυσης υγρασίας και με την επίδραση στα δομικά χαρακτηριστικά του προϊόντος, αφού

ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ: Ανάπτυξη καινοτόμων βιομηχανικών προϊόντων εκβολής με προσθήκη πρεβιοτικών ινών- φυτικών και ζωικών τροφίμων. Μελέτη των ιδιοτήτων τους.

πραγματοποιηθεί η εν λόγω απορρόφηση, κατά τη διάρκεια μάσησης του προϊόντος (πχ. κατά τη μάσηση δημητριακών, αφότου έχουν απορροφήσει γάλα.

3.3.3 ΙΚΑΝΟΤΗΤΑ ΑΠΟΡΡΟΦΗΣΗΣ ΕΛΑΙΟΥ ΙΑΕ



Σχήμα 3-17: Διαγράμματα μεταβολής της ικανότητας απορρόφησης λαδιού, ΙΑΕ, συναρτήσεσι α) της περιεχόμενης υγρασίας, X , β) της συγκέντρωσης του προσθέτου ινουλίνη, C , γ) της θερμοκρασίας εκβολής, T και δ) της ταχύτητας περιστροφής των κοχλιών, R .

ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ: Ανάπτυξη καινοτόμων βιομηχανικών προϊόντων εκβολής με προσθήκη πρεβιοτικών ινών- φυτικών και ζωικών τροφίμων. Μελέτη των ιδιοτήτων τους.

Από τα διαγράμματα του σχήματος 3-17 παρατηρείται ότι η *IAE* των προϊόντων εκβολής μειώθηκε με αύξηση της περιεχόμενης υγρασίας και της συγκέντρωσης της ινουλίνης, αντίθετα αυξήθηκε με την αύξηση της θερμοκρασίας εκβολής, ενώ με την αύξηση της ταχύτητας περιστροφής των κοχλιών η *IAE* φαίνεται να παραμένει σταθερή.

Η αύξηση της θερμοκρασίας εκβολής αυξάνει το βαθμό ψησίματος των τροφίμων εκβολής (Drago 2007), έχοντας σαν αποτέλεσμα το σχηματισμό μικρότερων μορίων λόγω της δεξτρίνοποίησης του αμύλου. Η παρουσία των μορίων αυτών μπορεί να είναι υπεύθυνη για την αύξηση της *IAE*. Γενικά η *IAE* μπορεί να χρησιμοποιηθεί ως δείκτης της υδροφοβικής φύσης των τροφίμων εκβολής. Τα ληφθέντα αποτελέσματα για τις μεταβολές βρίσκονται σε συμφωνία με αυτά για την *IAE* τροφίμων εκβολής από ρύζι.

Η αύξηση της υγρασίας τροφοδοσίας μειώνει το βαθμό ψησίματος έχοντας ως αποτέλεσμα το σχηματισμό μεγαλύτερων μορίων, συνεπώς η *IAE* αναμένεται να μειώνεται. Το γεγονός αυτό επιβεβαιώνεται και από τα πειραματικά αποτελέσματα.

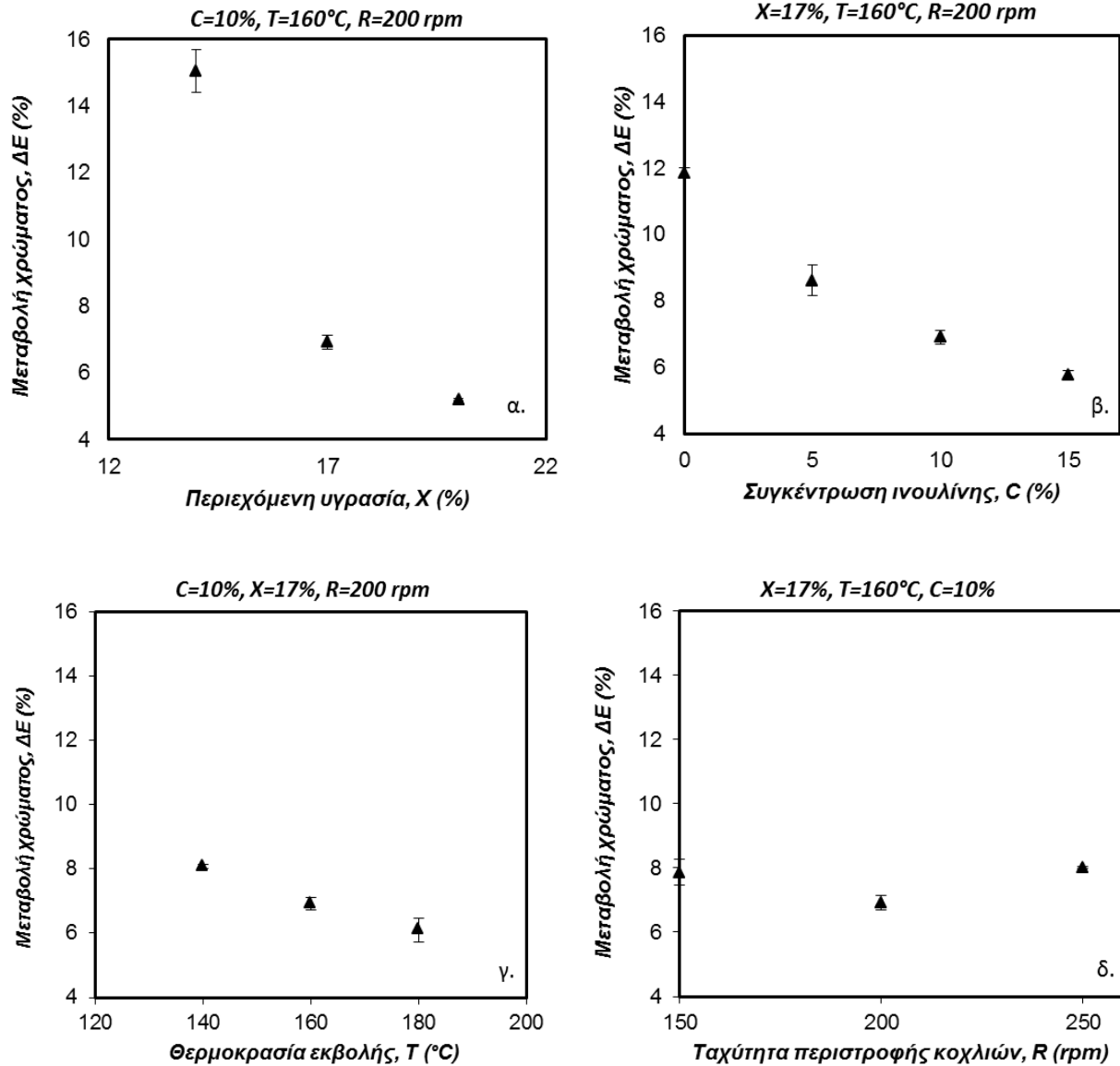
Η αύξηση της συγκέντρωσης της ινουλίνης στο μείγμα του προϊόντος εκβολής προκαλεί τη μείωση της *IAE*. Η μεταβολή αυτή πιθανόν να οφείλεται στις φυτικές ίνες που περιέχει η ινουλίνη που εμποδίζουν τον μηχανισμό απορρόφησης και εγκλεισμού του ελαίου.

Η αύξηση της ταχύτητας περιστροφής των κοχλιών φαίνεται να έχει σχετικά μικρή επίδραση στην *IAE*. Παρατηρείται η μικρή μείωση της, η οποία πιθανότατα οφείλεται στη μείωση του βαθμού δεξτρίνοποίησης του αμύλου. Λόγω αύξησης της ταχύτητας των κοχλιών μειώνεται ο μέσος χρόνος παραμονής του υλικού στον εκβολέα κάτι που έχει ως συνέπεια μείωση του βαθμού δεξτρίνοποίησης.

3.4 ΟΠΤΙΚΕΣ ΙΔΙΟΤΗΤΕΣ

Σε αυτό το κεφάλαιο της παρούσας διπλωματικής εργασίας παρουσιάζονται τα διαγράμματα που προκύπτουν από την επεξεργασία των πειραματικών δεδομένων και συσχετίζουν τη μεταβολή του χρώματος ΔE με τις παραμέτρους της διεργασίας (θερμοκρασία εκβολής και ταχύτητα περιστροφής κοχλιών) και των χαρακτηριστικών των πρώτων υλών (αναλογία υλικών τροφοδοσίας και περιεχόμενη υγρασία).

ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ: Ανάπτυξη καινοτόμων βιομηχανικών προϊόντων εκβολής με προσθήκη πρεβιοτικών ινών- φυτικών και ζωικών τροφίμων. Μελέτη των ιδιοτήτων τους.



Σχήμα 3-18: Διαγράμματα μεταβολής του χρώματος, ΔΕ, συναρτήσει α) της περιεχόμενης υγρασίας, X, β) της συγκέντρωσης του προσθέτου ινουλίνη, C, γ) της θερμοκρασίας εκβολής, T και δ) της ταχύτητας περιστροφής των κοχλιών, R.

Το χρώμα είναι ένα από τα πιο σημαντικά χαρακτηριστικά οποιουδήποτε προϊόντος τροφίμων λόγω της επίδρασής του στη συνολική αποδοχή του προϊόντος από τον καταναλωτή. Αλλαγές στο χρώμα των τροφίμων συμβαίνουν κυρίως λόγω:

1. της αποσύνθεσης των χρωματισμένων συστατικών.
2. της διόγκωσης του προϊόντος, η οποία οδηγεί σε περισσότερο ανοιχτόχρωμα προϊόντα.

ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ: Ανάπτυξη καινοτόμων βιομηχανικών προϊόντων εκβολής με προσθήκη πρεβιοτικών ινών- φυτικών και ζωικών τροφίμων. Μελέτη των ιδιοτήτων τους.

3. της αύξησης του χρώματος λόγω των χημικών αντιδράσεων που λαμβάνουν χώρα, όπως οι αντιδράσεις Maillard ή η καραμελοποίηση (Yuliani, Torley, D' Arcy, Nicholson et al. 2006).

Όπως φαίνεται στο σχήμα 3-18, η μεταβολή του χρώματος (ΔE) μειώνεται με τη θερμοκρασία, όπως έχει καταγραφεί και σε άλλες μελέτες, οι οποίες αναφέρονται στη συνολική μεταβολή χρώματος των προϊόντων. (Ma, Pan, Li, Atungulu et al. 2012)

Όταν αυξάνεται η περιεχόμενη υγρασία η ΔE μειώνεται. Η καραμελοποίηση που λαμβάνει χώρα είναι γνωστό ότι επηρεάζεται από το περιεχόμενο νερού κατά την αποικοδόμηση του αμύλου λόγω της διατμητικής τάσης που ασκείται (Ma, Pan, Li, Atungulu et al. 2012). Όταν η περιεκτικότητα σε νερό είναι χαμηλή, τότε στα δείγματα λαμβάνουν χώρα αντιδράσεις Maillard, που οδηγούν σε μεγαλύτερες αλλαγές χρώματος. Ίδια τάση παρατηρήθηκε για την επίδραση της συγκέντρωσης του προσθέτου ινουλίνη, η οποία προκαλεί μείωση στο ΔE .

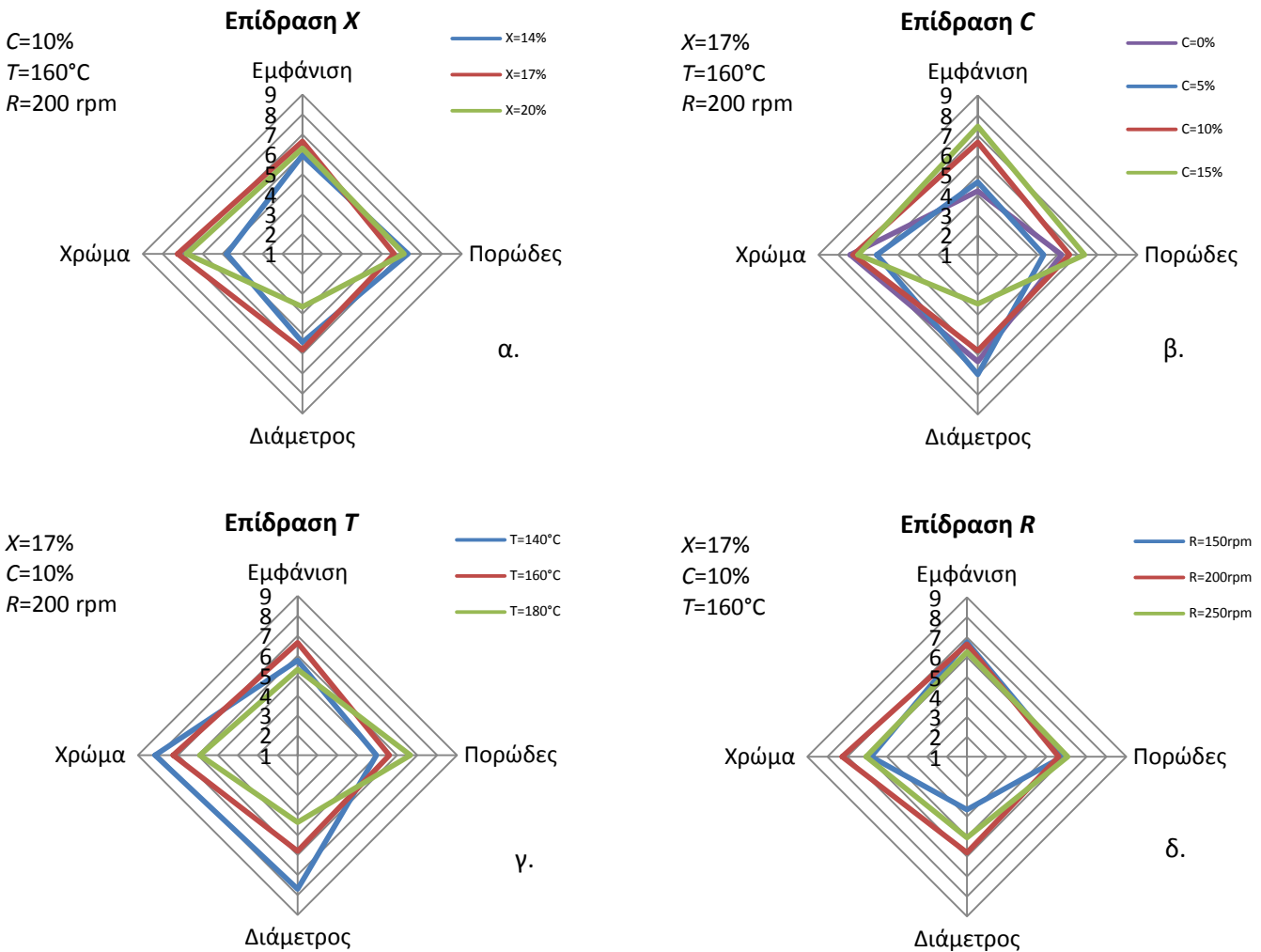
Η ταχύτητα της περιστροφής των κοχλιών δεν φαίνεται να επηρεάζει ιδιαίτερα τη ΔE . Με την αύξηση της ταχύτητας περιστροφής των κοχλιών, αρχικά παρουσιάζει πτωτική τάση μέχρι την μεσαία ταχύτητα περιστροφής ενώ στη συνέχεια αυξάνεται μέχρι την υψηλότερη ταχύτητα. Παρουσιάζεται δηλαδή ένα τοπικό ελάχιστο στις μεσαίες στροφές.

ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ: Ανάπτυξη καινοτόμων βιομηχανικών προϊόντων εκβολής με προσθήκη πρεβιοτικών ινών- φυτικών και ζωικών τροφίμων. Μελέτη των ιδιοτήτων τους.

3.5 ΟΡΓΑΝΟΛΗΠΤΙΚΗ ΑΞΙΟΛΟΓΗΣΗ ΤΩΝ ΠΡΟΪΟΝΤΩΝ ΕΚΒΟΛΗΣ

Η επίδραση των παραμέτρων της διεργασίας και των χαρακτηριστικών των πρώτων υλών στα οργανοληπτικά χαρακτηριστικά των προϊόντων εκβολής, όπως αυτά εκτιμήθηκαν από τους δοκιμαστές, παρουσιάζονται στα παρακάτω διαγράμματα.

3.5.1 ΟΡΓΑΝΟΛΗΠΤΙΚΗ ΑΞΙΟΛΟΓΗΣΗ ΤΩΝ ΠΡΟΪΟΝΤΩΝ ΕΚΒΟΛΗΣ ΜΕ ΠΡΟΣΘΕΤΟ ΤΗΝ ΙΝΟΥΛΙΝΗ



Σχήμα 3-19: Οργανοληπτική αξιολόγηση εμφάνισης, χρώματος, πορώδους και διαμέτρου, συναρτήσει α) της περιεχόμενης υγρασίας, X, β) της συγκέντρωσης του προσθέτου ινουλίνης, C, γ) της θερμοκρασίας εκβολής, T και δ) της ταχύτητας περιστροφής των κοχλιών, R.

Στο σχήμα 3-19 παρατηρήθηκε, ότι η εμφάνιση των προϊόντων εκβολής επηρεάστηκε από τις συνθήκες εκβολής, καθώς επίσης και από τα χαρακτηριστικά των πρώτων υλών. Η αξιολόγηση

ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ: Ανάπτυξη καινοτόμων βιομηχανικών προϊόντων εκβολής με προσθήκη πρεβιοτικών ινών- φυτικών και ζωικών τροφίμων. Μελέτη των ιδιοτήτων τους.

των αποτελεσμάτων των δοκιμασιών δείχνει, ότι όσο αυξάνεται η περιεχόμενη υγρασία, τόσο πιο αποδεκτή εμφάνιση έχει το προϊόν εκβολής, με την καλύτερη βαθμολογία να είναι 6,65 για $X= 17\%$. Με την αύξηση της συγκέντρωσης της ινουλίνης, παρατηρήθηκε αύξηση της βαθμολογίας της εμφάνισης. Η αύξηση της θερμοκρασίας εκβολής επηρέασε θετικά την εμφάνιση, αλλά στη μέγιστη θερμοκρασία εκβολής $T=180^{\circ}\text{C}$ παρατηρήθηκε μείωση της βαθμολογίας. Κάτι το αναμενόμενο, αφού σε υψηλή θερμοκρασία η επιφάνεια των δειγμάτων εμφανίζεται τραχεία και το χρώμα πιο σκούρο. Η αύξηση της ταχύτητας περιστροφής των κοχλιών φαίνεται πως δεν επηρέασε την εμφάνιση, μιας και οι αξιολογήσεις των δοκιμασιών παρουσιάζουν παρόμοια αποτελέσματα.

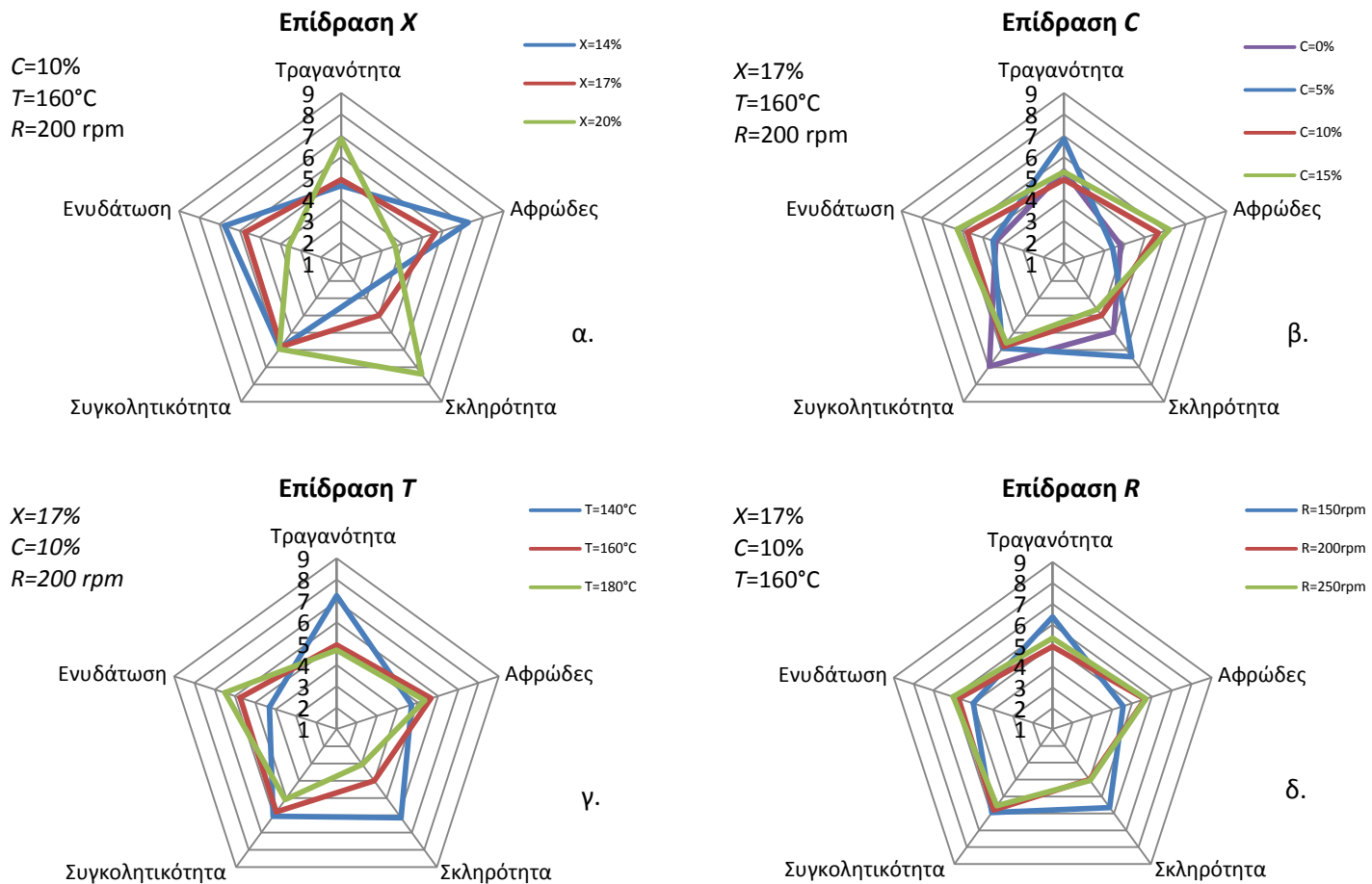
Παρατηρείται ότι ο αριθμός των πόρων (οργανοληπτικό πορώδες) της κάθετης διατομής των τροφίμων εκβολής μειώνεται με την υγρασία τροφοδοσίας και αυξάνεται με τη θερμοκρασία εκβολής και την αύξηση της συγκέντρωσης της ινουλίνης στο μείγμα. Το οργανοληπτικό πορώδες δεν φαίνεται να επηρεάζεται από την ταχύτητα περιστροφής των κοχλιών του εκβολέα, όπου η τιμή του είναι παρόμοια για όλο το φάσμα των στροφών με μια μικρή μείωση του στις μεσαίες στροφές. Στα αυξημένα επίπεδα θερμοκρασιών ευνοείται ο σχηματισμός περισσότερων φυσαλίδων αέρα, γεγονός που ευνοεί τη δημιουργία περισσότερων πόρων (Waje, Jun, Lee, Moon et al. 2009). Επίσης η φαινόμενη πυκνότητα των τροφίμων εκβολής αυξάνεται με την αύξηση της υγρασίας τροφοδοσίας, δηλαδή ευνοείται η δημιουργία πυκνότερων δομών με αποτέλεσμα τη μείωση του αριθμού των πόρων στο κυψέλωμα του τροφίμου (Lazou and Krokida 2010).

Η διάμετρος των προϊόντων εκβολής αυξήθηκε με την αύξηση της ταχύτητας περιστροφής των κοχλιών. Αντίθετα μειώθηκε με την αύξηση της συγκέντρωσης της ινουλίνης στο μείγμα, με την αύξηση της περιεχόμενης υγρασίας στην τροφοδοσία και με την αύξηση της θερμοκρασίας εκβολής. Η διάμετρος και ο αριθμός των πόρων μπορεί να συσχετισθεί με τη διόγκωση των προϊόντων (Chen 1991). Η ταχύτητα περιστροφής των κοχλιών είναι γνωστό ότι επηρεάζει το βαθμό πλήρωσης στο χιτώνιο του εκβολέα και κατά συνέπεια επηρεάζει το μέσο χρόνο παραμονής και την ειδική μηχανική ενέργεια (Lazou and Krokida 2010; Yu, Ramaswamy and Boye 2013). Οι παράμετροι αυτές του συστήματος επηρεάζουν πολύ την μοριακή αποδόμηση του αμύλου. Γενικά ο βαθμός ψησίματος των προϊόντων μπορεί να επηρεάσει τη διαδικασία σχηματισμού των πόρων του προϊόντος κατά τη διάρκεια της εκβολής και κατά συνέπεια θα επηρεάζει και το βαθμό διόγκωσης των προϊόντων (Waje, Jun, Lee, Moon et al. 2009).

Το χρώμα είναι πολύ σημαντικό ποιοτικό χαρακτηριστικό στα προϊόντα εκβολής. Κατά τη διάρκεια της εκβολής προκαλούνται μεταβολές στο χρώμα των προϊόντων λόγω: (1) της αποδόμησης των χρωστικών ουσιών, (2) της διόγκωσης του τροφίμου η οποία προκαλεί το ξεθώριασμα του χρώματος (Berset 1989), και (3) του χρώματος που παράγεται από χημικές αντιδράσεις όπως η καραμελοποίηση των υδατανθράκων, η αντίδραση Maillard και η αντίδραση της οξειδωτικής αποδόμησης των λιπιδίων και των πρωτεϊνών (Dworschak 1980).

ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ: Ανάπτυξη καινοτόμων βιομηχανικών προϊόντων εκβολής με προσθήκη πρεβιοτικών ινών- φυτικών και ζωικών τροφίμων. Μελέτη των ιδιοτήτων τους.

Το οργανοληπτικό χρώμα των τροφίμων εκβολής παρατηρήθηκε ότι επηρεάζεται κυρίως από την περιεχόμενη υγρασία και αυξήθηκε με την αύξηση της. Επίσης αυξήθηκε με την αύξηση της συγκέντρωσης της ινουλίνης στο μείγμα τροφοδοσίας. Με την αύξηση της θερμοκρασίας εκβολής η βαθμολογία του χρώματος μειώθηκε. Είναι λογικό, γιατί τα προϊόντα εκβολής ψήθηκαν περισσότερο με συνέπεια να σκουρύνουν. Η ταχύτητα εκβολής φάνηκε να μην επηρεάζει ιδιαίτερα την αλλαγή χρώματος σε χαμηλές στροφές, αλλά για ταχύτητα 250 rpm παρατηρήθηκε αύξηση της βαθμολογίας, δηλαδή πιο ανοιχτό χρωματικό αποτέλεσμα.



Σχήμα 3-20: Οργανοληπτική αξιολόγηση τραγανότητας, αφρώδους γεύσης, σκληρότητας, συγκολλητικότητας και ενυδάτωσης, συναρτήσει α) της περιεχόμενης υγρασίας, X, β) της συγκέντρωσης του προσθέτου ινουλίνης, C, γ) της θερμοκρασίας εκβολής, T και δ) της ταχύτητας περιστροφής των κοχλιών, R.

Στο σχήμα 3-20 παρατηρήθηκε, ότι το αφρώδες των τροφίμων εκβολής αυξήθηκε με την αύξηση της θερμοκρασίας εκβολής, την αύξηση της συγκέντρωσης της ινουλίνης στο μείγμα, καθώς και με την αύξηση της ταχύτητας περιστροφής των κοχλιών. Η αύξηση της

ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ: Ανάπτυξη καινοτόμων βιομηχανικών προϊόντων εκβολής με προσθήκη πρεβιοτικών ινών- φυτικών και ζωικών τροφίμων. Μελέτη των ιδιοτήτων τους.

Θερμοκρασίας αυξάνει το βαθμό υπερθέρμανσης του νερού του τήγματος μέσα στον εκβολέα. Το γεγονός αυτό μπορεί να αυξήσει την ακτίνα των πόρων, η οποία στη συνέχεια προκαλεί αύξηση στην ακτίνα του πλέγματος και μείωση του πάχους των τοιχωμάτων των πόρων (Waje, Jun, Lee, Moon et al. 2009). Τα λεπτότερα τοιχώματα είναι υπεύθυνα για τη βελτίωση της αντίληψης του αφρώδους των προϊόντων εκβολής.

Η υγρασία του υλικού τροφοδοσίας μείωσε το αφρώδες των τροφίμων εκβολής. Η μεταβολή αυτή μπορεί να αποδοθεί στην μείωση της διόγκωσης του υλικού και την αύξηση της φαινόμενης πυκνότητάς του, όταν επεξεργάζεται σε υψηλότερα ποσοστά υγρασίας. Επίσης, θα πρέπει να σημειωθεί ότι το πυκνότερο προϊόν θα έχει παχύτερα τοιχώματα πόρων. Αυτό μπορεί να μειώνει το αφρώδες του.

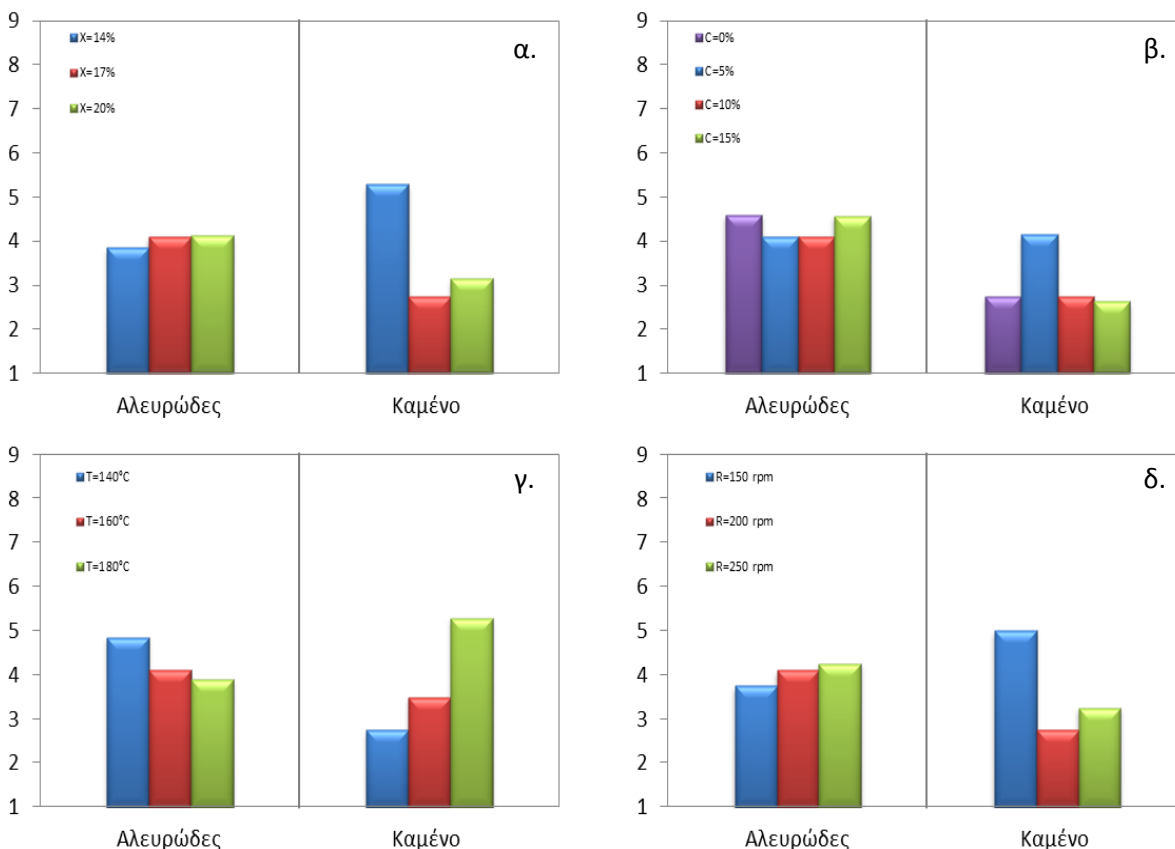
Η τραγανότητα των προϊόντων εκβολής παρουσίασε ακριβώς τα αντίστροφα αποτελέσματα από το αφρώδες. Αναμενόμενο αποτέλεσμα, αφού ένα πολύ τραγανό προϊόν δεν μπορεί να είναι αρκετά αφρώδες.

Η σκληρότητα των δειγμάτων αυξήθηκε με την αύξηση της υγρασία τροφοδοσίας. Η αύξηση της υγρασίας, όπως έχει αποδειχθεί, αυξάνει τη φαινόμενη πυκνότητα των τροφίμων εκβολής. Το πιο πυκνό προϊόν θα εμφανίζει μεγαλύτερη αντίσταση κατά τη θραύση. Η θερμοκρασία εκβολής είχε αντίστροφη επίδραση στην σκληρότητα των προϊόντων από ότι η υγρασία τροφοδοσίας, δηλαδή προκάλεσε μείωση της σκληρότητας. Η αύξηση της θερμοκρασίας προκαλεί αύξηση του πορώδους, δηλαδή βελτιώνει τη δημιουργία κυψελοειδούς δομής. Το γεγονός αυτό καθιστά το προϊόν πιο αφράτο με συνέπεια να είναι πιο μαλακό (Lazou and Krokida 2010). Η αύξηση της συγκέντρωσης της ινουλίνης στο μείγμα, καθώς και η αύξηση της ταχύτητας των κοχλιών μείωσε τη σκληρότητα των προϊόντων εκβολής.

Η συγκολλητικότητα των τροφίμων εκβολής έμεινε σχεδόν αμετάβλητη και μειώθηκε ελάχιστα με την αύξηση της υγρασίας τροφοδοσίας. Μειώθηκε επίσης με την αύξηση της συγκέντρωσης της ινουλίνης στο μείγμα, της θερμοκρασίας εκβολής και της ταχύτητας περιστροφής των κοχλιών.

Η ενυδάτωση των προϊόντων εκβολής μειώθηκε με την αύξηση της υγρασίας τροφοδοσίας. Ο βαθμός διάλυσης των δειγμάτων στο στόμα μπορεί να συσχετισθεί με τη λειτουργικότητα των συστατικών τους. Έχει αποδειχθεί ότι τα υψηλά επίπεδα υγρασίας τροφοδοσίας μειώνουν τις τιμές της ικανότητας διαλυτότητας σε νερό των τροφίμων εκβολής με βάση τον αραβόσιτο (Hernandez-Diaz, Quintero-Ramos, Barnard and Quintana 2007; Lazou and Krokida 2010). Το γεγονός αυτό έχει ως συνέπεια τη μείωση της ενυδάτωσης και της διάλυσης των τροφίμων εκβολής. Σε αντίθεση με την υγρασία, η αύξηση της συγκέντρωσης της ινουλίνης στο μείγμα, της ταχύτητας περιστροφής των κοχλιών και της θερμοκρασίας εκβολής βελτίωσε την αντίληψη της ενυδάτωσης των προϊόντων εκβολής. Η θερμοκρασία εκβολής ειδικά είναι υπεύθυνη για την αύξηση του βαθμού ψησίματος των τροφίμων.

ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ: Ανάπτυξη καινοτόμων βιομηχανικών προϊόντων εκβολής με προσθήκη πρεβιοτικών ινών- φυτικών και ζωικών τροφίμων. Μελέτη των ιδιοτήτων τους.



Σχήμα 3-21: Οργανοληπτική αξιολόγηση αλευρώδους και καμένου, συναρτήσε α) της περιεχόμενης υγρασίας, X, β) της συγκέντρωσης του προσθέτου ινουλίνης, C, γ) της θερμοκρασίας εκβολής, T και δ) της ταχύτητας περιστροφής των κοχλιών, R.

Στο σχήμα 3-21 παρατηρούμε τις μεταβολές της γεύσης- οσμής των προϊόντων εκβολής. Η αλευρώδης γεύση- οσμή των τροφίμων εκβολής παρέμεινε σταθερή με την αύξηση της περιεχόμενης υγρασίας του μείγματος, η οποία προκάλεσε μείωση στη γεύση του καμένου. Παρόμοια συμπεριφορά παρατηρήθηκε με την αύξηση της συγκέντρωσης της ινουλίνης στο μείγμα, με εξαίρεση μια μικρή αύξηση της αίσθησης του καμένου για συγκέντρωση C=5%.

Η αλευρώδης γεύση- οσμή των τροφίμων εκβολής μειώθηκε με τη θερμοκρασία εκβολής και αυξήθηκε με την υγρασία τροφοδοσίας. (Lazou and Krokida 2010).

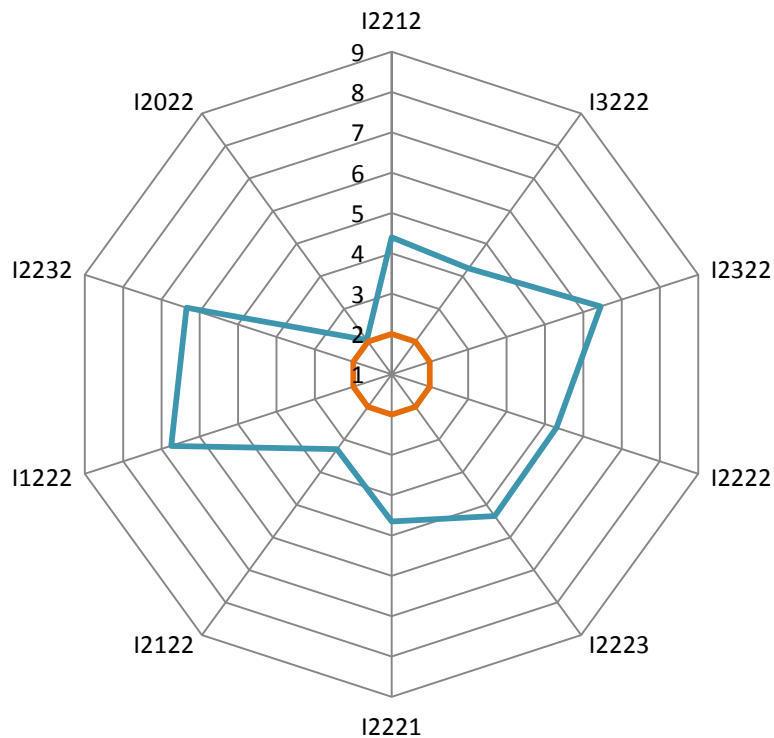
Η καμένη γεύση-οσμή των τροφίμων εκβολής αυξήθηκε με την θερμοκρασία εκβολής. Από το γεγονός αυτό συνάγεται ότι τα αυξημένα επίπεδα θερμοκρασίας ευνοούν τις χημικές αντιδράσεις, οδηγώντας στη δημιουργία της ψημένης γεύσης-οσμής των τροφίμων εκβολής. Η ταχύτητα περιστροφής των κοχλιών μείωσε την καμένη γεύση-οσμή και αύξησε την αλευρώδη γεύση- οσμή των τροφίμων εκβολής. Τα αυξημένα επίπεδα ταχύτητας περιστροφής των

ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ: Ανάπτυξη καινοτόμων βιομηχανικών προϊόντων εκβολής με προσθήκη πρεβιοτικών ινών- φυτικών και ζωικών τροφίμων. Μελέτη των ιδιοτήτων τους.

κοχλιών μειώνουν το μέσο χρόνο παραμονής του υλικού στο χιτώνιο του εκβολέα. Το προς εκβολή ζυμάρι υφίσταται μικρότερες διατμητικές δυνάμεις, οι οποίες θα προκαλέσουν μικρότερη υποβάθμιση και, κατά συνέπεια, μικρότερο βαθμό ψησίματος, ο οποίος μπορεί να είναι υπεύθυνος για αυτές τις μεταβολές της γεύσης-οσμής των τροφίμων εκβολής.

Η ολική αποδοχή των τροφίμων εκβολής παρουσιάζεται στο σχήμα 3-19. Παρατηρείται ότι τα περισσότερα προϊόντα εκβολής ήταν μη αποδεκτά (<6). Εξαίρεση αποτέλεσαν τα προϊόντα εκβολής με κωδική ονομασία:

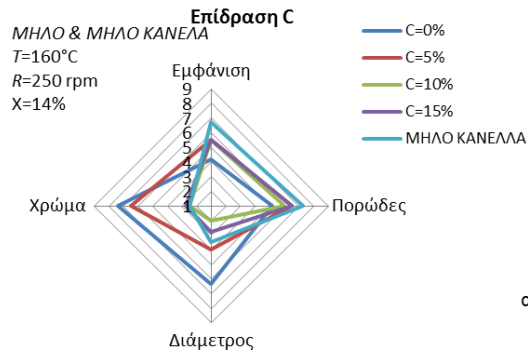
- I2232 ($X=17\%$, $C=10\%$, $T=180^{\circ}\text{C}$ και $R=200\text{grm}$) με συνολική βαθμολογία 6,35
- I2322 ($X=17\%$, $C=15\%$, $T=160^{\circ}\text{C}$ και $R=200\text{grm}$) με συνολική βαθμολογία 6,45 και
- I1222 ($X=14\%$, $C=10\%$, $T=160^{\circ}\text{C}$ και $R=200\text{grm}$) με συνολική βαθμολογία 6,75.



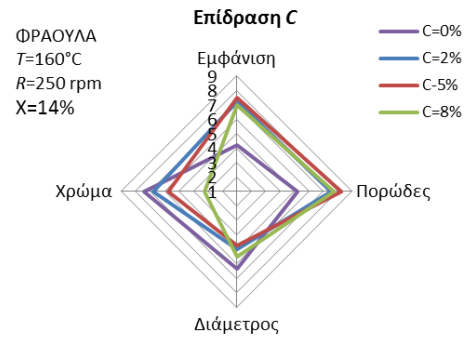
Σχήμα 3-22: Ολική αποδοχή προϊόντων εκβολής με πρόσθετο την ινουλίνη.

ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ: Ανάπτυξη καινοτόμων βιομηχανικών προϊόντων εκβολής με προσθήκη πρεβιοτικών ινών- φυτικών και ζωικών τροφίμων. Μελέτη των ιδιοτήτων τους.

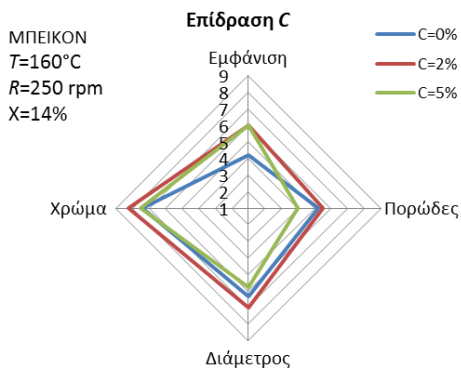
3.5.2 ΟΡΓΑΝΟΛΗΠΤΙΚΗ ΑΞΙΟΛΟΓΗΣΗ ΤΩΝ ΠΡΟΪΟΝΤΩΝ ΕΚΒΟΛΗΣ ΦΥΤΙΚΩΝ ΚΑΙ ΖΩΙΚΩΝ ΠΡΟΣΘΕΤΩΝ



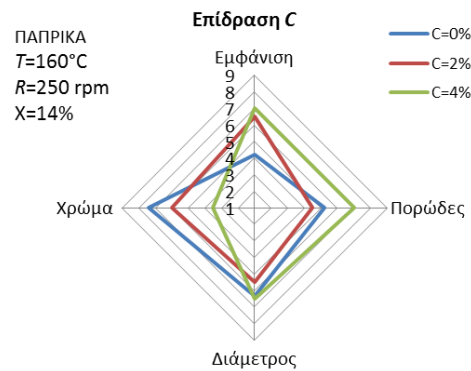
α.



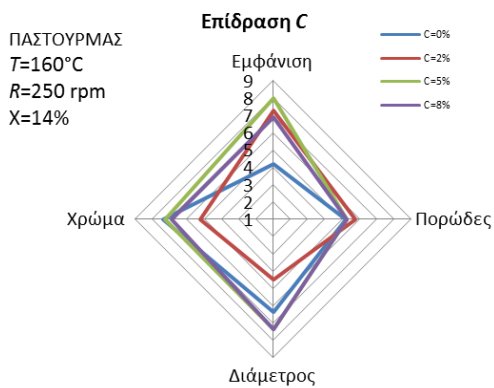
β.



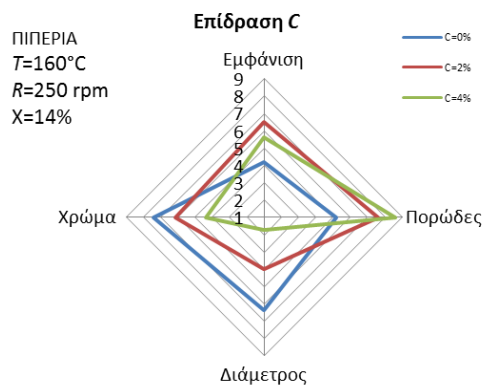
γ.



δ.



ε.



στ.

Σχήμα 3-23: Οργανοληπτική αξιολόγηση εμφάνισης, χρώματος, πορώδους και διαμέτρου, συναρτήσει της συγκέντρωσης, C, του προσθέτου α) του μήλου και μήλου και κανέλα, β) της φράουλας, γ) του μπέικον, δ) της πάπρικας, ε) του παστούρμα και στ) της πιπεριάς.

Στο σχήμα 3-23 παρατηρήθηκαν τα αποτελέσματα της οργανοληπτικής αξιολόγησης των δοκιμαστών για την εμφάνιση, το χρώμα, το πορώδες και τη διάμετρο στα προϊόντα εκβολής, συναρτήσει της συγκέντρωσης των φυτικών και ζωικών πρόσθετων στο μείγμα.

ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ: Ανάπτυξη καινοτόμων βιομηχανικών προϊόντων εκβολής με προσθήκη πρεβιοτικών ινών- φυτικών και ζωικών τροφίμων. Μελέτη των ιδιοτήτων τους.

Παρατηρήθηκε ότι η όσο αυξάνεται η συγκέντρωση των προσθέτων στο μείγμα, τόσο πιο εμφανίσιμα γίνονται τα προϊόντα εκβολής. Μοναδική εξαίρεση αποτέλεσε η πιπεριά, η οποία είναι περισσότερο εμφανίσιμη σε συγκέντρωση 2%.

Το οργανοληπτικό πορώδες αυξήθηκε με την αύξηση της συγκέντρωσης όλων των φυτικών προσθέτων και μειώθηκε με την αύξηση της συγκέντρωσης όλων των ζωικών προσθέτων.

Η διάμετρος μειώθηκε με την αύξηση της συγκέντρωσης όλων των προσθέτων, με εξαίρεση τον παστοურμά, το μπέικον στη συγκέντρωση 2% και την πάπρικα στη συγκέντρωση 4%, όπου παρατηρήθηκε η αύξηση της.

Το οργανοληπτικό χρώμα μειώθηκε σε όλα τα προϊόντα με την αύξηση των συγκεντρώσεων των προσθέτων, πλην του παστοურμά, ο οποίος λόγω του έντονου σκούρου καφέ χρώματος που έχει, σκουραίνει το χρώμα του προϊόντος εκβολής, όσο αυξάνεται η συγκέντρωσή του στο μείγμα.

Στο σχήμα 3-24 παρατηρήθηκαν τα αποτελέσματα της οργανοληπτικής αξιολόγησης των δοκιμαστών για την τραγανότητα, αφρώδη γεύση, σκληρότητα, συγκολλητικότητα και ενυδάτωση, συναρτήσει της συγκέντρωσης των φυτικών και ζωικών πρόσθετων στο μείγμα.

Παρατηρήθηκε ότι όσο αυξάνεται η συγκέντρωση όλων των προσθέτων στο μείγμα, τόσο πιο τραγανά έγιναν τα προϊόντα. Εξαίρεση αποτέλεσαν τα προϊόντα με πρόσθετο την πιπεριά και την πάπρικα.

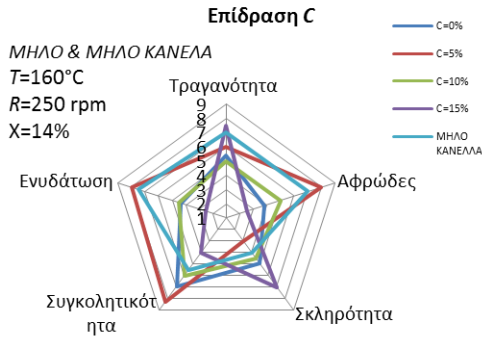
Τα αποτελέσματα της αφρώδους γεύσης εμφανίζονται μοιρασμένα. Τα προϊόντα εκβολής με μήλο, φράουλα και μπέικον εμφανίστηκαν λιγότερο αφρώδη, όταν αυξήθηκε η συγκέντρωσή τους στο μείγμα, ενώ τα προϊόντα με πάπρικα, παστοურμά και πιπεριά είχαν τα αντίστροφα αποτελέσματα.

Παρόμοιο μοτίβο παρατηρήθηκε στο βαθμό σκληρότητας των προϊόντων. Τα προϊόντα εκβολής με πάπρικα, παστοურμά και πιπεριά, εμφανίζονται λιγότερο σκληρά, ενώ τα προϊόντα με μήλο και μπέικον περισσότερο σκληρά, όσο αυξάνεται η συγκέντρωσή τους στο μείγμα. Τα προϊόντα με πρόσθετο τη φράουλα εμφανίζονται το ίδιο σκληρά σε όλο το φάσμα των διαφορετικών συγκεντρώσεων.

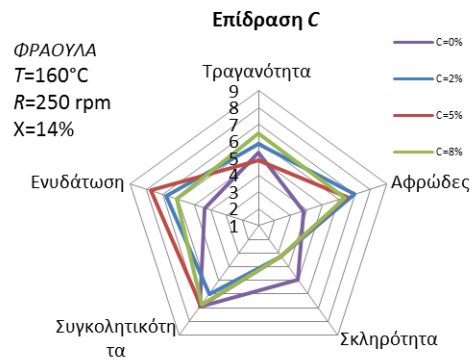
Η συγκολλητικότητα αυξήθηκε με την αύξηση της συγκέντρωσης της πάπρικας και του παστοურμά. Σε όλα τα υπόλοιπα προϊόντα εκβολής, η συγκολλητικότητα μειώθηκε συναρτήσει της αυξανόμενης συγκέντρωσης προσθέτων.

Η ενυδάτωση των προϊόντων εκβολής μειώθηκε με την αύξηση της συγκέντρωσης των πρόσθετων, εκτός των προϊόντων με πρόσθετο τον παστοურμά, όπου και αυξήθηκε, και την πιπεριά, όπου παρέμεινε ίδια σε όλο το φάσμα των συγκεντρώσεων.

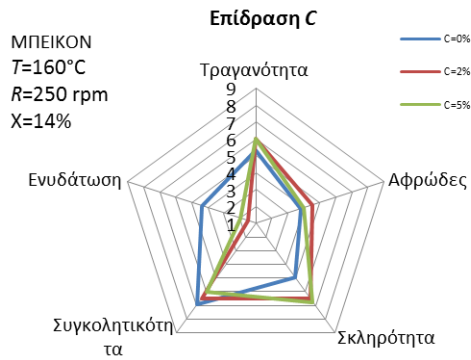
ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ: Ανάπτυξη καινοτόμων βιομηχανικών προϊόντων εκβολής με προσθήκη πρεβιοτικών ινών- φυτικών και ζωικών τροφίμων. Μελέτη των ιδιοτήτων τους.



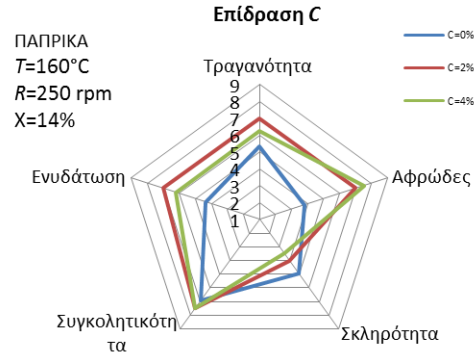
α.



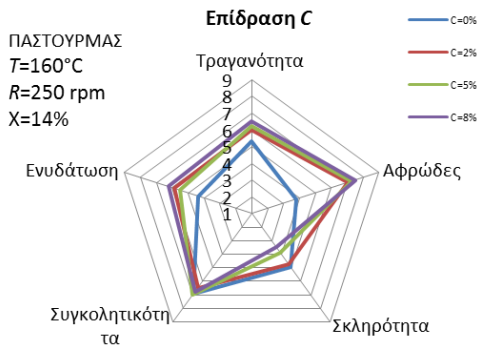
β.



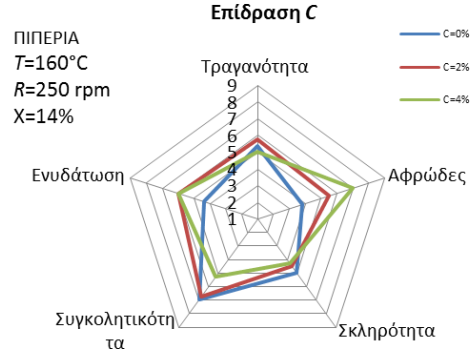
γ.



δ.



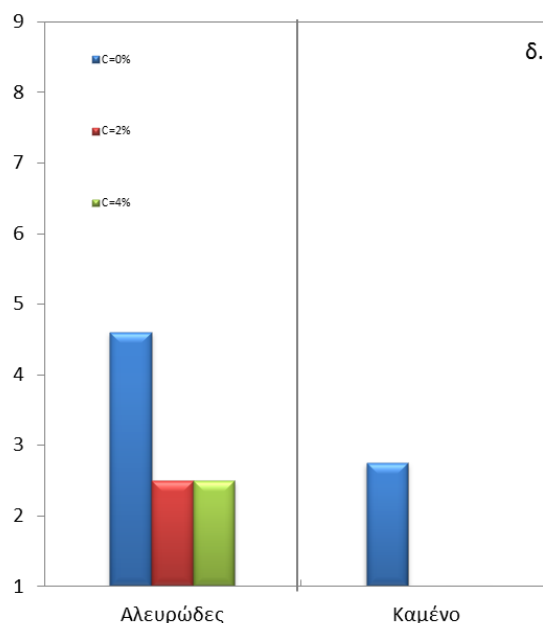
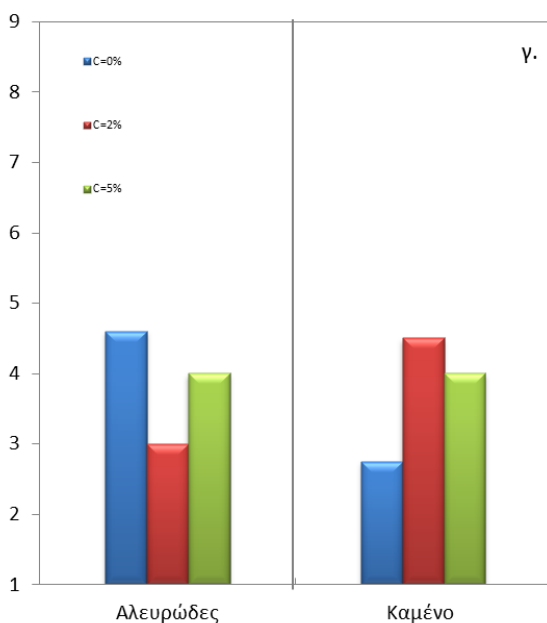
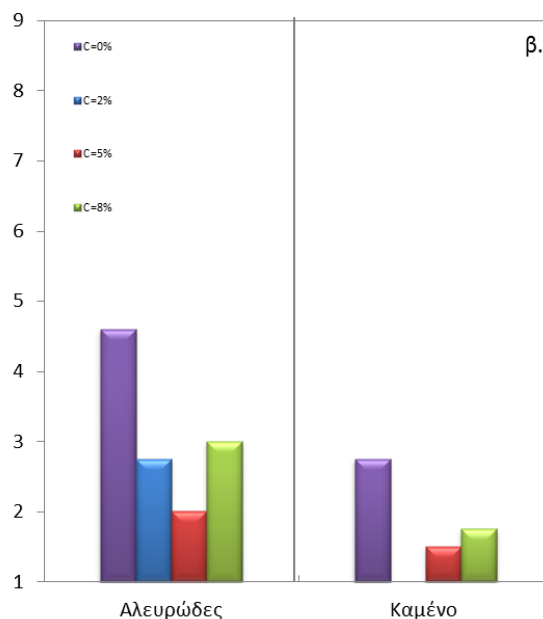
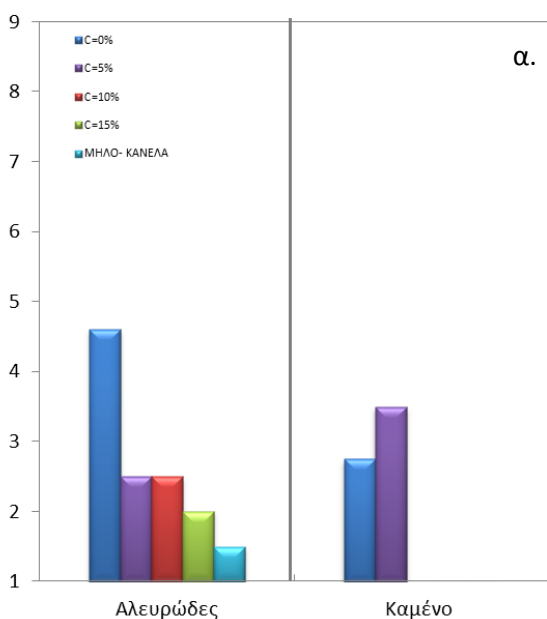
ε.



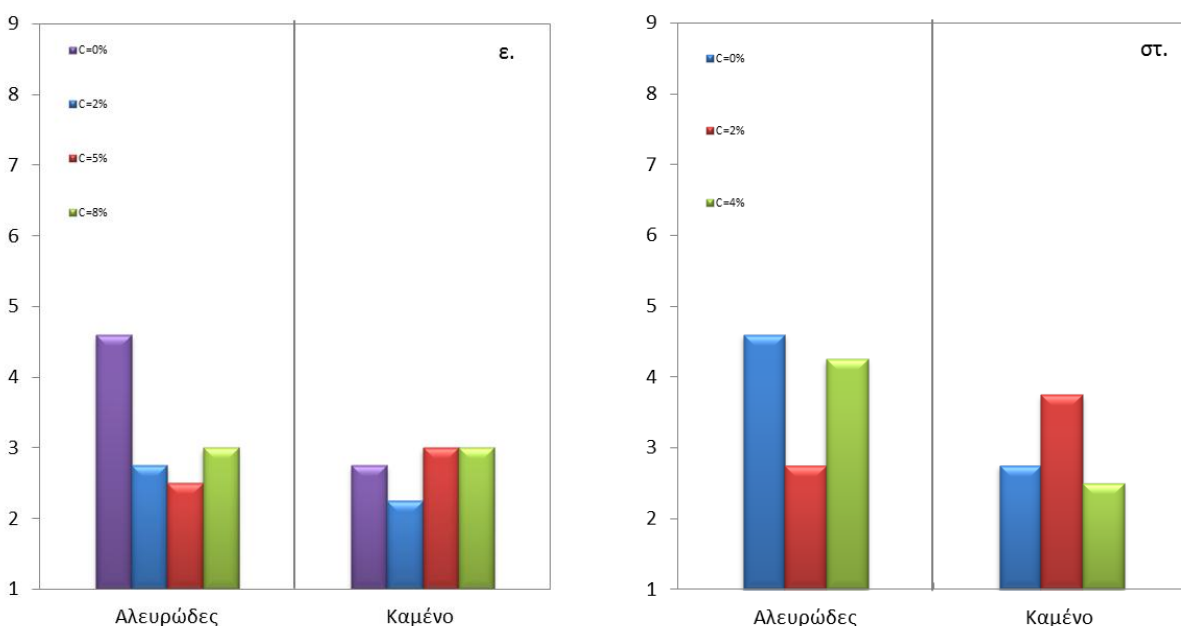
στ.

Σχήμα 3-24 Οργανοληπτική αξιολόγηση τραγανότητας, αφρώδους γεύσης, σκληρότητας, συγκολλητικότητας και ενυδάτωσης, συναρτήσεως της συγκέντρωσης, C, του προσθέτου α) του μήλου και μήλου και κανέλα, β) της φράουλας, γ) του μπέικον, δ) της πάπρικας, ε) του παστοურμά και στ) της πιπεριάς.

ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ: Ανάπτυξη καινοτόμων βιομηχανικών προϊόντων εκβολής με προσθήκη πρεβιοτικών ινών- φυτικών και ζωικών τροφίμων. Μελέτη των ιδιοτήτων τους.



ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ: Ανάπτυξη καινοτόμων βιομηχανικών προϊόντων εκβολής με προσθήκη πρεβιοτικών ινών- φυτικών και ζωικών τροφίμων. Μελέτη των ιδιοτήτων τους.



Σχήμα 3-25 Οργανοληπτική αξιολόγηση αλευρώδους και καμένου, συναρτήσεως της συγκέντρωσης, C, του προσθέτου α) του μήλου και μήλου και κανέλα, β) της φράουλας, γ) του μπέικον, δ) της πάπρικας, ε) του παστοურμά και στ) της πιπεριάς.

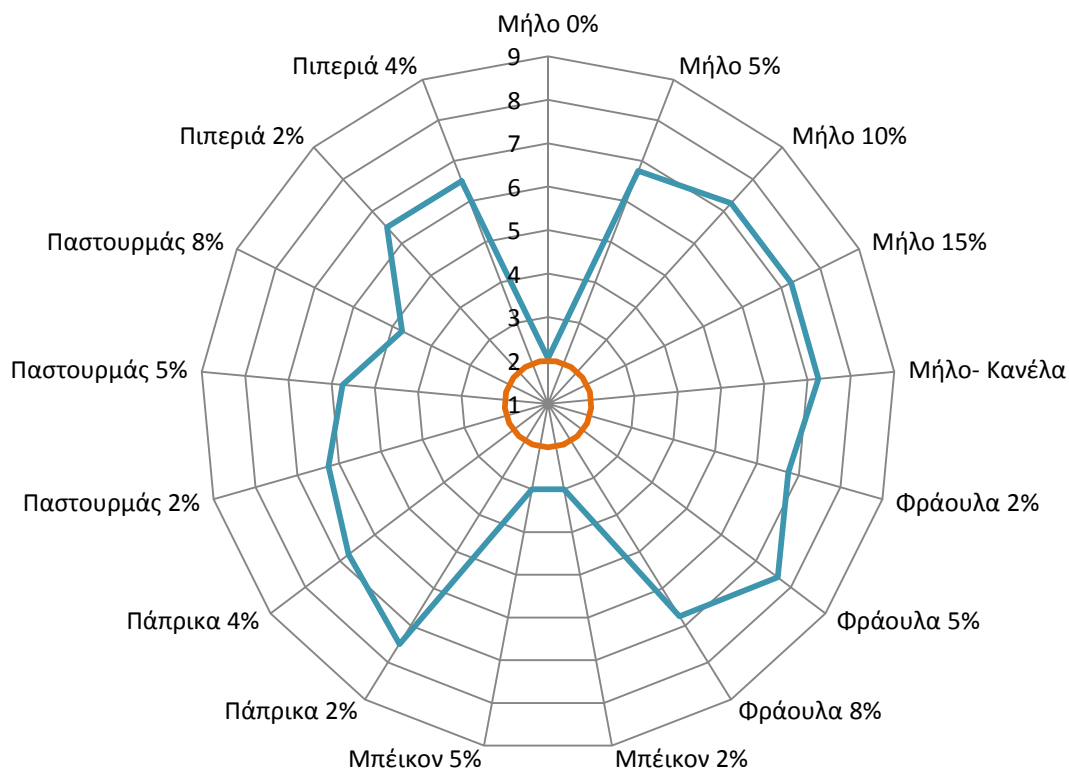
Στο σχήμα 3-25 παρουσιάζονται τα αποτελέσματα της οργανοληπτικής αξιολόγησης της αλευρώδους και καμένης γεύσης- οσμής, συναρτήσεως της συγκέντρωσης των φυτικών και ζωικών προσθέτων.

Παρατηρήθηκε αύξηση της αλευρώδους γεύσης- οσμής για αύξηση της συγκέντρωσης των προσθέτων μπέικον, παστοურμά και πιπεριά και μείωση για το μήλο και τη φράουλα, η οποία όμως για την υψηλότερη τιμή της συγκέντρωσης της παρουσίασε ελάχιστη αύξηση.

Η γεύση - οσμή του καμένου έγινε εντονότερα αντιληπτή από τους οργανολήπτες στην περίπτωση της αύξησης της συγκέντρωσης των προσθέτων στα προϊόντα με φράουλα, πιπεριά και παστοურμά.

Στο επόμενο σχήμα παρουσιάζεται η ολική αποδοχή των εν λόγω προϊόντων εκβολής.

ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ: Ανάπτυξη καινοτόμων βιομηχανικών προϊόντων εκβολής με προσθήκη πρεβιοτικών ινών- φυτικών και ζωικών τροφίμων. Μελέτη των ιδιοτήτων τους.



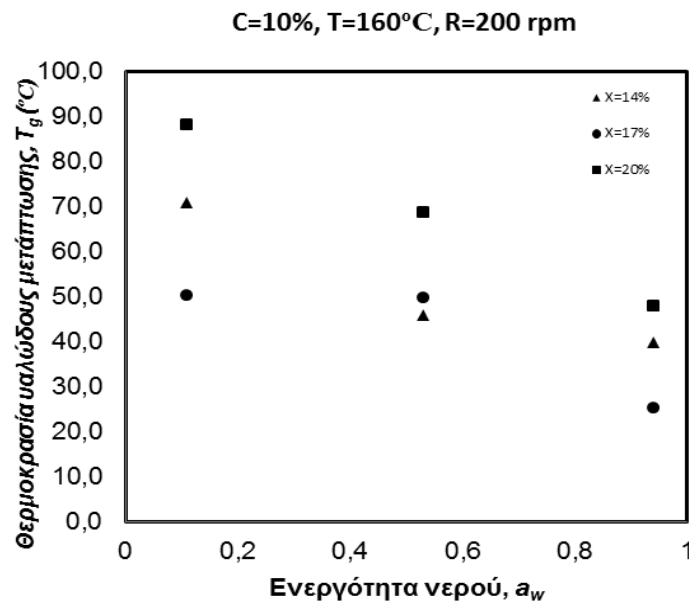
Σχήμα 3-26: Ολική αποδοχή καινοτόμων τελικών προϊόντων εκβολής με πρόσθετα φυτικής και ζωικής προέλευσης.

Από το σχήμα 3-26 παρατηρείται, ότι όλα τα καινοτόμα προϊόντα εκβολής με πρόσθετα φυτικής και ζωικής προέλευσης είναι αποδεκτά(>6), με εξαίρεση το προϊόν εκβολής με μπέικον σε όλες τις συγκεντρώσεις και με παστοურμά για συγκεντρώσεις 5 και 8%. Ιδιαίτερα αρεστά και ευχάριστα στη γεύση, την υφή και την εμφάνιση (>7), ήταν το μήλο σε συγκεντρώσεις αναλογίας με το μείγμα 10 και 15% (βαθμός: 7,25), το μήλο κανέλα (βαθμός 7,25), η πάπρικα σε συγκεντρώσεις αναλογίας με το μείγμα 2% (βαθμός 7,5) και η φράουλα σε συγκεντρώσεις αναλογίας 5%, η οποία συγκέντρωσε και το μεγαλύτερο βαθμό στην αξιολόγηση (βαθμός 7,625).

ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ: Ανάπτυξη καινοτόμων βιομηχανικών προϊόντων εκβολής με προσθήκη πρεβιοτικών ινών- φυτικών και ζωικών τροφίμων. Μελέτη των ιδιοτήτων τους.

3.6 ΘΕΡΜΙΚΕΣ ΙΔΙΟΤΗΤΕΣ- ΜΕΤΡΗΣΗ ΘΕΡΜΟΚΡΑΣΙΑΣ ΥΑΛΩΔΟΥΣ ΜΕΤΑΠΤΩΣΗΣ ΜΕ ΧΡΗΣΗ DSC

Παρακάτω παρουσιάζονται τα διαγράμματα μεταβολής της θερμοκρασίας υαλώδους μετάπτωσης (T_g) των τροφίμων εκβολής με πρόσθετο την ινουλίνη ως συνάρτηση των συνθηκών επεξεργασίας, της σύστασης της τροφοδοσίας και της ενεργότητας νερού (a_w). Η γνώση της θερμοκρασίας υαλώδους μετάπτωσης έχει πολύ μεγάλη σημασία επειδή πάνω από αυτήν την θερμοκρασία η μοριακή κινητικότητα είναι υψηλότερη προκαλώντας επιτάχυνση των ρυθμών αντίδρασης, ενώ κάτω από αυτήν το τρόφιμο παραμένει πιο συμπαγές και σταθερό.

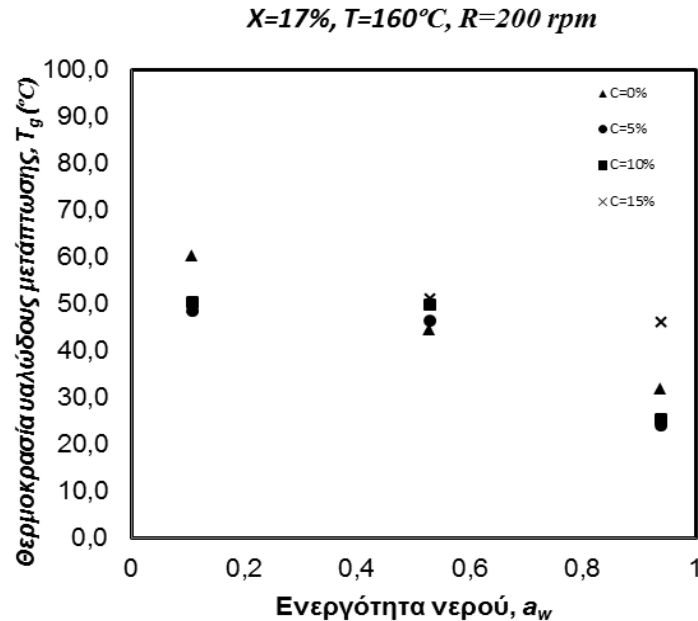


Σχήμα 3-27: Θερμοκρασία υαλώδους μετάπτωσης, T_g , συναρτήσει της ενεργότητας a_w υπό μεταβαλλόμενη περιεχόμενη υγρασία, X .

Στα σχήμα 3-27 παρατηρείται μείωση της θερμοκρασίας υαλώδους μετάπτωσης με την αύξηση της περιεχόμενης υγρασίας των δειγμάτων, το οποίο είναι και το αναμενόμενο δεδομένου ότι το νερό δρα ως πλαστικοποιητής στο τρόφιμο με αποτέλεσμα να μειώνεται η θερμοκρασία υαλώδους μετάπτωσής του (Perdomo, Cova, Sandoval, García et al. 2009). Η γνώση της θερμοκρασίας υαλώδους μετάπτωσης είναι πολύ σημαντική γιατί είναι ενδεικτική του εύρους των θερμοκρασιών που το τρόφιμο έχει επιθυμητές ιδιότητες για βρώση και αποθήκευση, δεδομένου ότι πάνω από αυτή τη θερμοκρασία η κινητικότητα των μορίων είναι μεγαλύτερη και προκαλεί επιτάχυνση στις αντιδράσεις αλλοίωσης, ενώ κάτω από αυτή τη θερμοκρασία τα τρόφιμα είναι σταθερά. (Oikonomopoulou, Krokida and Karathanos 2011; Ma, Pan, Li, Atungulu et al. 2012).

ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ: Ανάπτυξη καινοτόμων βιομηχανικών προϊόντων εκβολής με προσθήκη πρεβιοτικών ινών- φυτικών και ζωικών τροφίμων. Μελέτη των ιδιοτήτων τους.

Στο σχήμα 3-28 απεικονίζεται το διάγραμμα μεταβολής της θερμοκρασίας υαλώδους μετάπτωσης, T_g , συναρτήσει της ενεργότητας a_w υπό μεταβαλλόμενη τη συγκέντρωση του προσθέτου ινουλίνη, C .

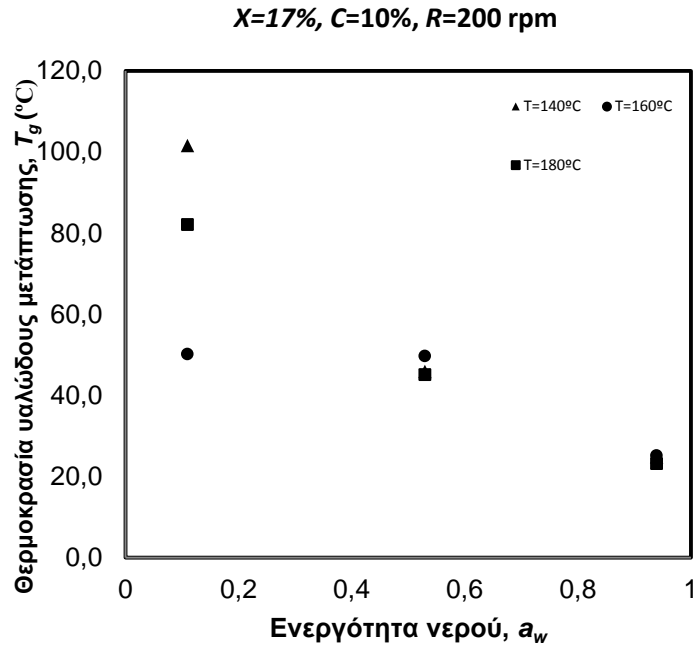


Σχήμα 3-28: Θερμοκρασία υαλώδους μετάπτωσης, T_g , συναρτήσει της ενεργότητας a_w υπό μεταβαλλόμενη τη συγκέντρωση του προσθέτου ινουλίνη, C .

Αύξηση της συγκέντρωσης της ινουλίνης προκαλεί μείωση της T_g . Η προσθήκη ινουλίνης αυξάνει το περιεχόμενο των φυτικών ινών του τροφίμου. Οι φυτικές ίνες ενισχύουν το πλέγμα του τροφίμου που υφίσταται εκβολή και δημιουργούνται έτσι πιο σκληρές δομές και υφές (Lue 1991; Anton 2009) Οι μεταβολές στη μικροδομή λόγω των αλλαγών στη σύνθεση του τροφίμου επηρεάζουν τις μοριακές κινήσεις και κατά συνέπεια τη θερμοκρασία υαλώδους μετάπτωσης των τροφίμων εκβολής.

Στο σχήμα 3-29 απεικονίζεται το διάγραμμα μεταβολής της θερμοκρασίας υαλώδους μετάπτωσης, T_g , συναρτήσει της ενεργότητας a_w υπό μεταβαλλόμενη τη θερμοκρασία εκβολής, T .

ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ: Ανάπτυξη καινοτόμων βιομηχανικών προϊόντων εκβολής με προσθήκη πρεβιοτικών ινών- φυτικών και ζωικών τροφίμων. Μελέτη των ιδιοτήτων τους.

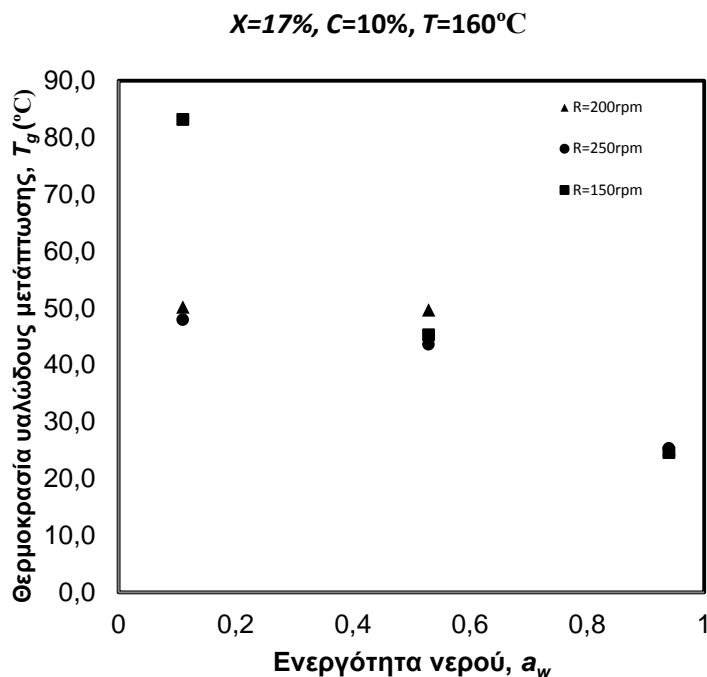


Σχήμα 3-29: Θερμοκρασία υαλώδους μετάπτωσης, T_g , συναρτήσει της ενεργότητας a_w υπό μεταβαλλόμενη τη θερμοκρασία εκβολής, T .

Η τιμές της T_g μειώθηκαν με την αύξηση της θερμοκρασία εκβολής. Η εκβολή είναι μια διεργασία υψηλής θερμοκρασίας - βραχέως χρόνου (HTST). Συνεπώς, η αυξημένη μοριακή υποβάθμιση του τροφίμου λόγω της υψηλής θερμοκρασίας πιθανότατα να ευθύνεται για την μείωση της T_g .

Στο σχήμα 3-30 απεικονίζεται το διάγραμμα μεταβολής της θερμοκρασίας υαλώδους μετάπτωσης, T_g , συναρτήσει της ενεργότητας a_w υπό μεταβαλλόμενη την ταχύτητα περιστροφής των κοχλιών, R .

ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ: Ανάπτυξη καινοτόμων βιομηχανικών προϊόντων εκβολής με προσθήκη πρεβιοτικών ινών- φυτικών και ζωικών τροφίμων. Μελέτη των ιδιοτήτων τους.



Σχήμα 3-30: Θερμοκρασία υαλώδους μετάπτωσης, T_g , συναρτήσει της ενεργότητας a_w υπό μεταβαλλόμενη την ταχύτητα περιστροφής των κοχλιών, R .

Με την αύξηση της ταχύτητας περιστροφής των κοχλιών η T_g μειώνεται για ενεργότητα 0,11, παρουσιάζει μια αύξηση για 200rpm στη μεσαία ενεργότητα και έχει περίπου την ίδια τιμή σε όλο το φάσμα της ταχύτητας περιστροφής του κοχλία στην ενεργότητα 0,94. Αυτό πιθανότατα να οφείλεται στο ότι αυξάνοντας την ταχύτητα περιστροφής των κοχλιών αυξάνεται και η μηχανική καταπόνηση του τροφίμου με αποτέλεσμα την μοριακή υποβάθμιση άρα και την αρχική μείωση της T_g . Γενικότερα, όσο συνεχίζεται η αύξηση της ταχύτητας περιστροφής μειώνεται και ο χρόνος παραμονής του υλικού στον εκβολέα με αποτέλεσμα τη μη ολοκληρωτική διάσπαση των συστατικών του τροφίμου. Συνεπώς, αναμένεται πιο πολλά μεγάλα μόρια να παραμένουν ανέπαφα και στο γεγονός αυτό ίσως να οφείλεται η μετέπειτα αύξηση της T_g που παρατηρείται στις υψηλές στροφές.

ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ: Ανάπτυξη καινοτόμων βιομηχανικών προϊόντων εκβολής με προσθήκη πρεβιοτικών ινών- φυτικών και ζωικών τροφίμων. Μελέτη των ιδιοτήτων τους.

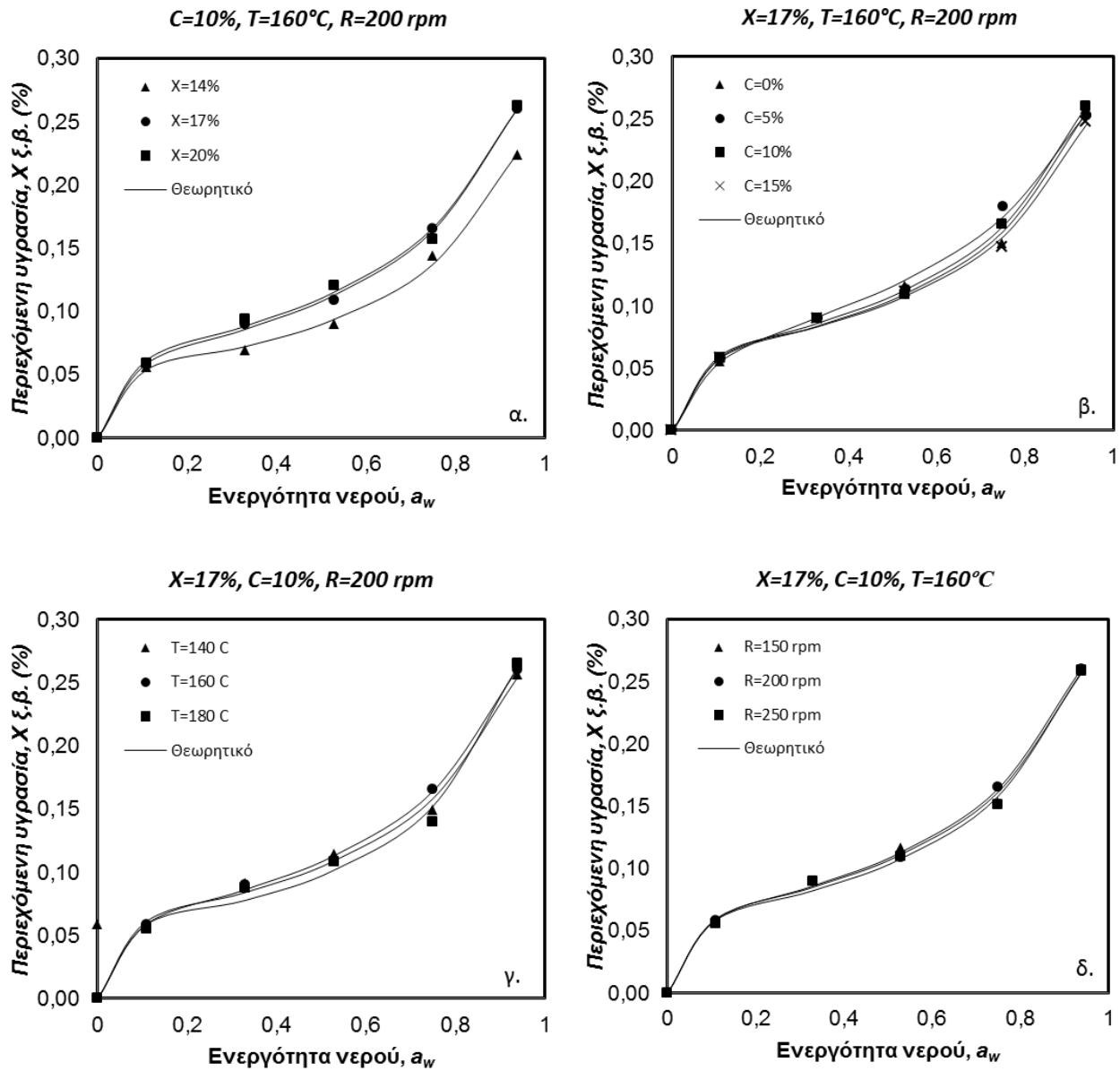
3.7 ΦΥΣΙΚΟΧΗΜΙΚΕΣ ΙΔΙΟΤΗΤΕΣ- ΙΣΟΘΕΡΜΕΣ ΡΟΦΗΣΗΣ

Στο παρών κεφάλαιο παρουσιάζονται τα αποτελέσματα των ισόθερμων ρόφησης νερού ως συνάρτηση των συνθηκών επεξεργασίας και της σύστασης της τροφοδοσίας. Οι καμπύλες απεικονίζουν την προσέγγιση των πειραματικών δεδομένων μέσω του μοντέλου GAB. Επίσης παρατίθενται στον πίνακα 7 οι παράμετροι GAB συναρτήσεως των συνθηκών εκβολής και της σύστασης στην τροφοδοσία.

Πίνακας 7: Παράμετροι GAB συναρτήσεως των συνθηκών εκβολής και της σύστασης στην τροφοδοσία.

Συνθήκες εκβολής και σύσταση τροφοδοσίας				Παράμετροι GAB		
X(%κ.β)	C(%)	T(°C)	R(rpm)	C	X _m	K
14	10	160	200	0,054628	99,67522	0,806856
17	10	160	200	0,068268	39,98072	0,787791
20	10	160	200	0,069951	45,37685	0,780729
17	0	160	200	0,0659	44,49041	0,791646
17	5	160	200	0,079237	20,40404	0,740233
17	10	160	200	0,068307	39,79825	0,787634
17	15	160	200	0,064434	64,60029	0,786663
17	10	140	200	0,064395	68,98397	0,795845
17	10	160	200	0,068307	39,79825	0,787634
17	10	180	200	0,057502	131,7023	0,831772
17	10	160	150	0,066711	47,05022	0,789815
17	10	160	200	0,068307	39,80089	0,787635
17	10	160	250	0,063585	54,93752	0,803381

ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ: Ανάπτυξη καινοτόμων βιομηχανικών προϊόντων εκβολής με προσθήκη πρεβιοτικών ινών- φυτικών και ζωικών τροφίμων. Μελέτη των ιδιοτήτων τους.



Σχήμα 3-31 Ισόθερμοι ρόφησης (25°C) των τροφίμων εκβολής με πρόσθετο την ινουλίνη με μεταβαλλόμενη α) την περιεχόμενη υγρασία, X, β) τη συγκέντρωση του προσθέτου ινουλίνη, C, γ) τη θερμοκρασία εκβολής, T και δ) την ταχύτητα περιστροφής των κοχλιών, R.0

Οι ισόθερμες ρόφησης νερού των τροφίμων εκβολής εμφάνισαν τη χαρακτηριστική σιγμοειδή καμπύλη, τυπική για πολλά τρόφιμα. Το μοντέλο GAB προσαρμόσθηκε στα πειραματικά δεδομένα και οι τιμές του, απεικονίζονται μέσω της καμπύλης στα διαγράμματα του σχήματος 3-31 για κάθε δείγμα.

ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ: Ανάπτυξη καινοτόμων βιομηχανικών προϊόντων εκβολής με προσθήκη πρεβιοτικών ινών- φυτικών και ζωικών τροφίμων. Μελέτη των ιδιοτήτων τους.

Οι τιμές των παραμέτρων του προτύπου GAB συνοψίζονται στον Πίνακα 7. Οι παράμετροι του προτύπου GAB έχουν φυσική σημασία. Η παράμετρος C ορίζεται ως ο λόγος της χαρακτηριστικής συνάρτησης του πρώτου μορίου που προσροφάτε σε μία θέση και της χαρακτηριστικής συνάρτησης των μορίων που προσροφώνται πέρα από το πρώτο μόριο στην πολυστιβάδα. Η παράμετρος C αποτελεί μέτρο της δύναμης που συνδέεται το νερό στις αρχικές θέσεις σύνδεσης. Όσο μεγαλύτερο είναι το C , τόσο ισχυρότερα είναι το νερό συνδεδεμένο στη μονομοριακή στιβάδα και τόσο μεγαλύτερη η διαφορά στην ενθαλπία μεταξύ των μορίων της μονομοριακής στιβάδας και αυτών της πολυστιβάδας.

Η παράμετρος K ορίζεται ως ο λόγος της χαρακτηριστικής συνάρτησης των μορίων του κύριου όγκου του νερού και της χαρακτηριστικής συνάρτησης των μορίων που είναι προσροφημένα στην πολυστιβάδα. Το K ονομάζεται παράγοντας διόρθωσης, αφού διορθώνει τις ιδιότητες των μορίων της πολυστιβάδας σε σχέση με αυτές του κύριου όγκου του νερού. Όταν το K προσεγγίζει την τιμή 1, σχεδόν δεν υπάρχει καμία διάκριση μεταξύ των μορίων της πολυστιβάδας και των μορίων του νερού. Σε αυτήν την περίπτωση τα μόρια νερού πάνω από τη μονομοριακή στιβάδα είναι δομημένα στην πολυστιβάδα, αλλά έχουν τα ίδια χαρακτηριστικά με τα μόρια του κύριου όγκου του νερού. Όσο περισσότερο δομημένα είναι τα προσροφημένα μόρια στην πολυστιβάδα, τόσο χαμηλότερη είναι η τιμή του K (Quirijns 2005).

Η τιμή του C των τροφίμων εκβολής ήταν υψηλή. Το γεγονός αυτό υποδεικνύει ότι το νερό στη μονοστιβάδα του προϊόντος είναι ισχυρά συνδεδεμένο με αυτήν και υπάρχουν μεγάλες διαφορές στην ενθαλπία μεταξύ των μορίων της μονοστιβάδας και της πολυστιβάδας. Γενικά, από τις τιμές των παραμέτρων του προτύπου GAB για τα τρόφιμα εκβολής, είναι φανερό ότι η μονοστιβάδα έχει διαφορετικές ιδιότητες από ότι η πολυστιβάδα και ότι η πολυστιβάδα συμπεριφέρεται παρόμοια με τον κύριο όγκο νερού ($C \gg 1$ και $K \approx 1$) (Quirijns 2005).

Η γνώση της περιεχόμενης υγρασίας ισορροπίας του προϊόντων εκβολής είναι πολύ σημαντική αφού είναι ενδεικτική για τον καθορισμό των συνθηκών αποθήκευσης καθώς και της σταθερότητας των προϊόντων. Οι ισόθερμες ρόφησης των προϊόντων εκβολής εμπλουτισμένων με ινουλίνη όπως παρουσιάζονται στα διαγράμματα του σχήματος 3-31 παρουσιάζουν αύξηση της περιεχόμενης υγρασίας με την αύξηση της ενεργότητας του νερού.

4. ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ

Η σύγχρονη βιομηχανία παραγωγής προϊόντων εκβολής τύπου σνακ (πχ. Γαριδάκια, δημητριακά, μπάρες δημητριακών) έχει σκοπό την παραγωγή καινοτόμων προϊόντων συγκεκριμένων οργανοληπτικών χαρακτηριστικών με βελτιωμένες λειτουργικές ιδιότητες, συγκεκριμένα θρεπτικά χαρακτηριστικά και αυξημένο χρόνο ζωής, τα οποία καθορίζονται από την σύγχρονη καταναλωτική τάση.

Καθοριστικό ρόλο στο σχεδιασμό αυτών των προϊόντων αποτελούν οι δομικές ιδιότητες των προϊόντων εκβολής με πρόσθετο την ινουλίνη και με πρόσθετα φυτικής και ζωικής προέλευσης, μιας και συνδέονται άμεσα τόσο με τα οργανοληπτικά χαρακτηριστικά τους κατά τη μάζηση, όσο και με το χρόνο συντήρησής τους. Η σημαντικότερη ιδιότητα είναι το πορώδες, το οποίο καθορίζει τη δομή του προϊόντος εκβολής και είναι ενδεικτικό μέτρο για την αποδοχή του από τους καταναλωτές, αφού καθορίζει την τραγανότητά του. Το πορώδες δεν είναι επιθυμητό να μειώνεται, αλλά να διατηρείται σε σχετικά υψηλά επίπεδα. Παρατηρήθηκε ότι στα προϊόντα εκβολής με πρόσθετο την ινουλίνη, οι δύο βασικοί παράγοντες που καθορίζουν το πορώδες είναι το ποσοστό της περιεχόμενης υγρασίας του προϊόντος και η συγκέντρωση αναλογίας της ινουλίνης στο μείγμα. Τα βέλτιστα προϊόντα είναι εκείνα, τα οποία έχουν τις μεσαίες τιμές υγρασίας 14-17% και τις μεσαίες συγκεντρώσεις ινουλίνης 5-10%. Άλλη μία εξίσου σημαντική ιδιότητα είναι ο συντελεστής διόγκωσης, ο οποίος καθορίζει την διάσταση του προϊόντος και όπως παρατηρήθηκε έχει συνήθως την αντίστροφη τάση από το πορώδες.

Στα προϊόντα εκβολής με φυτικά και ζωικά πρόσθετα οι βέλτιστες τιμές πορώδους εμφανίζονται για χαμηλές συγκεντρώσεις αναλογίας των προσθέτων στο μείγμα με το ρυζάλευρο (έως 8%), αφού για τα φυτικής προέλευσης τρόφιμα που μελετήθηκαν περιέχουν σάκχαρα, τα οποία στις εν λόγω συγκεντρώσεις δεν υφίστανται έντονα την καραμελοποίηση τους (λιώσιμο σακχάρων) και έτσι παραμένουν τραγανά με υψηλό βαθμό συγκολλητικότητας. Επίσης τα τρόφιμα αυτά περιέχουν πολλές φυτικές ίνες, οι οποίες αυξάνουν την πυκνότητα του προϊόντος καθιστώντας το πιο σταθερό και διατηρούν το πορώδες σε υψηλά επίπεδα. Ο συντελεστής διόγκωσης των προαναφερθέντων τροφίμων, είχε αντίστροφη τάση από το πορώδες κυρίως λόγω των φυτικών ινών, οι οποίες μπορούν να προκαλέσουν ρήξη των κυτταρικών τοιχωμάτων και να αποτρέψουν τις φυσαλίδες αέρα να διογκωθούν στο μέγιστο δυνατό. Στα προϊόντα εκβολής με ζωικά πρόσθετα, των οποίων η σύσταση περιέχει λιπαρά, παρατηρήθηκε ότι το πορώδες εμφανίζεται σε ικανοποιητικά επίπεδα για χαμηλές συγκεντρώσεις (έως 8%) και αυτό, διότι τα λιπαρά σε τέτοια ποσοστά συγκεντρώσεων λειτουργούν ως λιπαντικό και βοηθούν στην ομαλή ροή του μείγματος μέσα στον εκβολέα. Ο συντελεστής διόγκωσης των προαναφερθέντων τροφίμων, είχε αντίστροφη τάση από το

ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ: Ανάπτυξη καινοτόμων βιομηχανικών προϊόντων εκβολής με προσθήκη πρεβιοτικών ινών- φυτικών και ζωικών τροφίμων. Μελέτη των ιδιοτήτων τους.

πορώδες κυρίως λόγω του λίπους, το οποίο σε υψηλές συγκεντρώσεις παρεμποδίζει τη συνεχή και ομαλή ροή του μείγματος στον εκβολέα.

Οι ιδιότητες υφής- μηχανικές ιδιότητες δείχνουν την επικείμενη ευθραυστότητα του προϊόντος καθώς και της σκληρότητας. Παρατηρήθηκε πως όλες οι παράμετροι της διεργασίας (θερμοκρασία εκβολής και ταχύτητα περιστροφής κοχλιών) καθώς και τα χαρακτηριστικά των πρώτων υλών (αναλογία υλικών τροφοδοσίας και περιεχόμενη υγρασία) επηρέασαν την τιμή της μέγιστης παραμόρφωσης, η οποία αντιπροσωπεύει την ευθραυστότητα των προϊόντων. Οι μεσαίες και κυρίως οι μεγάλες συγκεντρώσεις αναλογίας της ινουλίνης(10- 15%) στα μείγματα με ρυζάλευρο, η χαμηλή υγρασία (14%), οι υψηλές θερμοκρασίες εκβολής (160-180°C) και η μέγιστη πειραματική τιμή της ταχύτητας περιστροφής των κοχλιών(250m) αυξάνουν τη μέγιστη παραμόρφωση. Το μέτρο ελαστικότητας είναι ενδεικτικό της σκληρότητας των δειγμάτων. Όσο μεγαλύτερο το μέτρο ελαστικότητας τόσο πιο συμπαγές, σκληρό, όχι τραγανό, και με υφή ανεπιθύμητη είναι το προϊόν εκβολής. Κατά την αύξηση της περιεχόμενης υγρασίας των μιγμάτων παρατηρείται αύξηση της πυκνότητας των δειγμάτων που δικαιολογεί την αύξηση του μέτρου Ελαστικότητας. Αύξηση του μέτρου ελαστικότητας παρατηρείται επίσης κατά την αύξηση της ταχύτητας περιστροφής των κοχλιών, ενώ με την αύξηση της συγκέντρωσης της ινουλίνης και της θερμοκρασίας εκβολής παρατηρείται η μείωση του μέτρου Ελαστικότητας. Η αύξηση της συγκέντρωσης προκάλεσε την αύξηση της πυκνότητας των δειγμάτων και μείωση της διόγκωσής τους. Η ινουλίνη αποτελεί, μεταξύ άλλων, φυτική ίνα. Οι φυτικές ίνες προκαλούν μείωση της διόγκωσης με θραύση των κυτταρικών τοιχωμάτων πριν από την πλήρη διόγκωση των φυσαλίδων αέρα. Συνεπώς θέλουμε προϊόντα με χαμηλό μέτρο ελαστικότητας, δηλαδή στην περίπτωση των προϊόντων με πρόσθετο την ινουλίνη, να έχουν χαμηλή υγρασία και μεσαίες συγκεντρώσεις αναλογίας ινουλίνης στο μείγμα.

Στα καινοτόμα προϊόντα εκβολής παρατηρήθηκε ότι η αύξηση της συγκέντρωσης των φυτικών προσθέτων προκάλεσε αύξηση της πυκνότητας των δειγμάτων και μείωση της διόγκωσής τους λόγω των φυτικών ινών, ενώ αντίθετα αποτελέσματα παρατηρήθηκαν στα προϊόντα με ζωικά πρόσθετα, λόγω του λίπους, το οποίο σε υψηλές συγκεντρώσεις λειτουργεί ως παρεμποδιστής της ομαλής ροής του μείγματος στον εκβολέα.

Οι λειτουργικές ιδιότητες που μελετήθηκαν είναι σημαντικές στην υφή και γεύση των προϊόντων, διότι αποτελούν το μέτρο της απορροφητικότητας των δειγμάτων σε νερό και λάδι. Η *IAN* αποτελεί μέτρο του ποσοστού του νερού που μπορεί να απορροφηθεί από το άμυλο και μπορεί να χρησιμοποιηθεί ως δείκτης ζελατινοποίησης, αφού το φυσικό άμυλο δεν απορροφά νερό σε θερμοκρασία δωματίου. Επηρεάζεται κυρίως από τη θερμοκρασία εκβολής και επιθυμητές τιμές παρουσιάστηκαν για υψηλές θερμοκρασίες εκβολής (160-180°C). Η *IDN* αποτελεί το μέτρο ενδεικτικής ενυδάτωσης των τροφίμων. Είναι το προσομοίωμα της απορρόφησης του σάλιου στο στόμα και μελετάται συχνά στη βιομηχανία τροφίμων ιδίως σε προϊόντα σνακ, ώστε να ελεγχθεί η διάλυση του στο σάλιο του στόματος και σε δημητριακά

ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ: Ανάπτυξη καινοτόμων βιομηχανικών προϊόντων εκβολής με προσθήκη πρεβιοτικών ινών- φυτικών και ζωικών τροφίμων. Μελέτη των ιδιοτήτων τους.

για την μέτρηση της ικανότητας απορρόφησης γάλατος. Η ΙΔΝ στα προϊόντα εμπλουτισμένα με ινουλίνη επηρεάστηκε κυρίως από την περιεχόμενη υγρασία του μείγματος και από την ταχύτητα περιστροφής των κοχλιών και παρουσίασε βέλτιστες τιμές για υγρασία 15% και ταχύτητα περιστροφής των κοχλιών 200rpm.

Το χρώμα είναι ένα από τα πιο σημαντικά χαρακτηριστικά οποιουδήποτε προϊόντος τροφίμων λόγω της επίδρασής του στη συνολική αποδοχή του προϊόντος από τον καταναλωτή. Αλλαγές στο χρώμα των τροφίμων συμβαίνουν κυρίως λόγω της αποσύνθεσης των χρωματισμένων συστατικών, της διόγκωσης του προϊόντος, η οποία οδηγεί σε περισσότερο ανοιχτόχρωμα προϊόντα και της αύξησης του χρώματος λόγω των χημικών αντιδράσεων που λαμβάνουν χώρα, όπως οι αντιδράσεις Maillard ή η καραμελοποίηση. Όταν αυξάνεται η περιεχόμενη υγρασία η ΔΕ μειώνεται. Η καραμελοποίηση που λαμβάνει χώρα είναι γνωστό ότι επηρεάζεται από το περιεχόμενο νερού κατά την αποικοδόμησης του αμύλου λόγω της διαμητρικής τάσης που ασκείται (Ma, Pan, Li, Atungulu et al. 2012). Όταν η περιεκτικότητα σε νερό είναι χαμηλή, τότε στα δείγματα λαμβάνουν χώρα αντιδράσεις Maillard, που οδηγούν σε μεγαλύτερες αλλαγές χρώματος. Ίδια τάση παρατηρήθηκε για την επίδραση της συγκέντρωσης του προσθέτου ινουλίνη, η οποία προκαλεί μείωση στο ΔΕ.

Η οργανοληπτική αξιολόγηση αποτελεί την πιο σημαντική παράμετρο στη βιομηχανία τροφίμων καθώς είναι μια αντικειμενική αξιολόγηση, η οποία καθορίζει την ένταξη ή όχι ενός νέου προϊόντος στην παραγωγή. Από τις οργανοληπτικές αξιολογήσεις που μελετήθηκαν, τα πιο αρεστά προϊόντα με πρόσθετο την ινουλίνη είναι τα προϊόντα:

- I2232 (X=17%, C=10%, T=180°C και R= 200rpm) με συνολική βαθμολογία 6,35
- I2322 (X=17%, C=15%, T=160°C και R= 200rpm) με συνολική βαθμολογία 6,45 και
- I1222 (X=14%, C=10%, T=160°C και R= 200rpm) με συνολική βαθμολογία 6,75.

και με πρόσθετα φυτικής και ζωικής προέλευσης:

- το μήλο σε συγκεντρώσεις αναλογίας με το μείγμα 10 και 15% (βαθμός: 7,25),
- το μήλο με κανέλα (βαθμός 7,25),
- η πάπρικα σε συγκεντρώσεις αναλογίας με το μείγμα 2% (βαθμός 7,5)
- η φράουλα σε συγκεντρώσεις αναλογίας 5%, η οποία συγκέντρωσε και το μεγαλύτερο βαθμό στην αξιολόγηση (βαθμός 7,625).

Η γνώση της θερμοκρασίας υαλώδους μετάπτωσης έχει πολύ μεγάλη σημασία επειδή είναι ενδεικτική του εύρους των θερμοκρασιών που το τρόφιμο έχει επιθυμητές ιδιότητες για βρώση και αποθήκευση, δεδομένου ότι πάνω από αυτή τη θερμοκρασία η κινητικότητα των μορίων είναι μεγαλύτερη και προκαλεί επιτάχυνση στις αντιδράσεις αλλοίωσης, ενώ κάτω από αυτή τη θερμοκρασία τα τρόφιμα είναι σταθερά.

ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ: Ανάπτυξη καινοτόμων βιομηχανικών προϊόντων εκβολής με προσθήκη πρεβιοτικών ινών- φυτικών και ζωικών τροφίμων. Μελέτη των ιδιοτήτων τους.

Η γνώση της περιεχόμενης υγρασίας ισορροπίας του προϊόντων εκβολής είναι πολύ σημαντική αφού είναι ενδεικτική για τον καθορισμό των συνθηκών αποθήκευσης καθώς και της σταθερότητας των προϊόντων. Οι ισόθερμες ρόφησης των προϊόντων εκβολής εμπλουτισμένων με ινουλίνη παρουσιάζουν αύξηση της περιεχόμενης υγρασίας με την αύξηση της ενεργότητας του νερού. Επίσης παρουσιάζουν μια αύξηση στην ικανότητα ρόφησης νερού σε υψηλότερη περιεκτικότητα υγρασίας της τροφοδοσίας και χαμηλότερη θερμοκρασία εκβολής, ενώ μικρές διαφορές παρουσιάζονται στις διαφορετικές συγκεντρώσεις και τις ταχύτητες του κοχλίου.

Τέλος φαίνεται ότι σχετίζεται η σύσταση των πρόσθετων τροφίμων με την συγκέντρωση των σακχάρων και λιπαρών. Το επόμενο βήμα είναι η διερεύνηση γενικευμένων μαθηματικών προτύπων, που θα σχετίζουν τις συγκεντρώσεις της σύστασης με τα δομικά χαρακτηριστικά των προϊόντων.

5. ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

Agbisit, R., S. Alavi, E. Cheng, T. Herald, et al. (2007). "Relationships between microstructure and mechanical properties of cellular cornstarch extrudates " Journal of Texture Studies **38**(2): 199-219.

Ahmed, Z. S. (1999). "Physico-chemical, structural and sensory quality of corn-based flax-snack." Food / Nahrung **43**(4): 253-258.

Allen, K. E., C. E. Carpenter and M. K. Walsh (2007). "Influence of protein level and starch type on an extrusion-expanded whey product." International Journal of Food Science & Technology **42**(8): 953-960.

Anderson, R. A., H. F. Conway and A. J. Peplinski (1970). "Gelatinization of Corn Grits by Roll Cooking, Extrusion Cooking and Steaming." Starch - Stärke **22**(4): 130-135.

Andersson, Y., & Hedlund, B. (1990). "Extruded wheat flour: Correlation between processing and product quality parameters." Food Quality and Preference **2**(4): 201-216.

Anton, A. A., R. Gary Fulcher, and S.D. Arntfield (2009). " Physical and nutritional impact of fortification of corn starch-based extruded snacks with common bean (*Phaseolus vulgaris* L.) flour: Effects of bean addition and extrusion cooking." Food Chemistry **113**(4): 989-996.

Artz, W. E., C. Warren and R. Villota (1990). "Twin-Screw Extrusion Modification of a Corn Fiber and Corn Starch Extruded Blend." Journal of Food Science **55**(3): 746-754.

Baik, B.-K., J. Powers, and L.T. Nguyen (2004). "Extrusion of Regular and Waxy Barley Flours for Production of Expanded Cereals." Cereal Chemistry Journal **81**(1): 94-99.

Berset, C. (1989). Color. Extrusion Cooking. C. Mercier, P. Linko and J. M. Harper. St. Paul, Minnesota, USA, American Association of Cereal Chemists, Inc: 247-320.

ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ: Επίδραση των συνθηκών παραγωγής στις ιδιότητες προϊόντων εκβολής με την προσθήκη πρεβιοτικών και προσθέτων φυτικής και ζωικής προέλευσης

Bocek, P., R. Vespalec and R. W. Giese (2000). "Definitions, concepts, and, most important, clear guidelines for optimizing selectivity." Analytical Chemistry **72**(17): 586A-595A.

Chauhan, G. S., & Bains, G. S. (1988). "Effect of some extruder variables on physicochemical properties of extruded rice-legume blends." Food Chemistry **27**(3): 213-224.

Chen, J., Serafin, F. L., Pandya, R. N., & Daun, H. (1991). "Effects of extrusion conditions on sensory properties of corn meal extrudates." Journal of Food Science **56**(1): 84-89.

Colonna, P., Doublier, J. L., Melcion, J. P., de Monredon, F., & Mercier, C (1984). "Extrusion cooking and drum drying of wheat starch. I. Physical and macromolecular modification." Cereal chemistry **61**: 538-543.

Dijksterhuis, G., H. Luyten, R. de Wijk and J. Mojet (2007). "A new sensory vocabulary for crisp and crunchy dry model foods." Food Quality and Preference **18**(1): 37-50.

Ding, Q.-B., Ainsworth, P., Plunkett, A., Tucker, G., & Marson, H (2006). "The effect of extrusion conditions on the functional and physical properties of wheat-based expanded snacks." Journal of Food Engineering **73**(2): 142-148.

Ding, Q.-B., et al. (2005). "The effect of extrusion conditions on the physicochemical properties and sensory characteristics of rice-based expanded snacks. ." Journal of Food Engineering **66**(3): 283-289.

Donovan, P. (2007) Inulin. **Volume**, DOI:

Drago, S., Velasco-González, O., Torres, R., González, R., & Valencia, M. (2007). "Effect of the Extrusion on Functional Properties and Mineral Dialyzability from Phaseolus Vulgaris Bean Flour." Plant Foods for Human Nutrition (Formerly Qualitas Plantarum) **62**(2): 43-48.

Dworschak, E. (1980). "Nonenzyme browning and its effect on protein nutrition." Critical Reviews in Food Science and Nutrition **13**: 1-40.

Edmund W., L., Lloyd W. Rooney (2001). *Snack Foods Processing*.

BIBΛΙΟΓΡΑΦΙΑ: Επίδραση των συνθηκών παραγωγής στις ιδιότητες προϊόντων εκβολής με την προσθήκη πρεβιοτικών και προσθέτων φυτικής και ζωικής προέλευσης

Fernandez-Gutierrez, J. A., Martin-Martinez, E. S., Martinez-Bustos, F., & Cruz-Orea, A. (2004). Physicochemical Properties of Casein-Starch Interaction Obtained by Extrusion Process.

Ferreira, R. E., Y. K. Chang and C. J. Steel (2011). "INFLUENCE OF WHEAT BRAN ADDITION AND OF THERMOPLASTIC EXTRUSION PROCESS PARAMETERS ON PHYSICAL PROPERTIES OF CORN-BASED EXPANDED EXTRUDED SNACKS." Alimentos e Nutrição Araraquara **22**(4): 507-520.

Figura, L. O., Teixeira, A. A. (2007). Food Physics: Physical Properties – Measurement and Application. Berlin, Germany, Springer.

Gomez, M. H. a. J. M. A. (1983). "Changes in the Starch Fraction During Extrusion-cooking of Corn." Journal of Food Science **48**(2): 378-381.

Hagenimana, A., X. Ding, and T. Fang (2006). "Evaluation of rice flour modified by extrusion cooking." Journal of Cereal Science **43**(1): 38-46.

Harper, J. M. (1978). "Food extrusion." CRC critical reviews in food science and nutrition **11**(2): 155-215.

Hernandez-Diaz, J. R., A. Quintero-Ramos, J. Barnard and R. R. Balandrín-Quintana (2007). "Functional properties of extrudates prepared with blends of wheat flour/pinto bean meal with added wheat bran." Food Science and Technology International **13**(4): 301-308.

<http://www.chemeng.ntua.gr/courses/trbio/files/KEF%204>, p.

Hutchinson, R. J., G. D. E. Siodlak and A. C. Smith (1987). "Influence of processing variables on the mechanical properties of extruded maize." Journal of Materials Science **22**(11): 3956-3962.

Kaletunç, G., & Breslauer, K. J. (2003). Calorimetry of pre- and post-extruded cereal flours. New York, USA: Marcel Dekker.

Krokida, M. K., V. T. Karathanos and Z. B. Maroulis (1998). "Effect of freeze-drying conditions on shrinkage and porosity of dehydrated agricultural products." Journal of Food Engineering **35**(4): 369-380.

BIBΛΙΟΓΡΑΦΙΑ: Επίδραση των συνθηκών παραγωγής στις ιδιότητες προϊόντων εκβολής με την προσθήκη πρεβιοτικών και προσθέτων φυτικής και ζωικής προέλευσης

Krokida, M. K. and D. Marinos-Kouris (2003). "Rehydration kinetics of dehydrated products." Journal of Food Engineering **57**(1): 1-7.

Krokida, M. K., Michailidis, P. A., Bisharat, G. I., Marinos-Kouris, D., & Rahman, M. S (2009). Measurement of Density, Shrinkage, and Porosity. New York, CRC Press.

Lazou, A. and M. Krokida (2010). "Functional properties of corn and corn - lentil extrudates." Food Research International **43**(2): 609-616.

Liadakis, G. N., A. Floridis, C. Tzia and V. Oreopoulou (1993). "Protein isolates with reduced gossypol content from screw-pressed cottonseed meal." Journal of Agricultural and Food Chemistry **41**(6): 918-922.

Lin, S., Huff, H. E., & Hsieh, F. (2002). "Extrusion Process Parameters, Sensory Characteristics, and Structural Properties of a High Moisture Soy Protein Meat Analog." Journal of Food Science **67**((3)): 1066-1072.

Liu, Y., F. Hsieh, H. Heymann and H. E. Huff (2000). "Effect of Process Conditions on the Physical and Sensory Properties of Extruded Oat-Corn Puff." Journal of Food Science **65**(7): 1253-1259.

Lue, S. a. H. E. H. (1991). "Extrusion cooking of corn meal and sugar beet fiber: effects on expansion properties, starch gelatinization, and dietary fiber content." Cerealchemistry **68**(3): 227-234.

Ma, H., Z. Pan, B. Li, G. G. Atungulu, et al. (2012). "Properties of extruded expandable breadfruit products." LWT - Food Science and Technology **46**(1): 326-334.

Matthey, F. P., & Hanna, M. A. (1997). "Physical and Functional Properties of Twinscrew Extruded Whey Protein Concentrate-Corn Starch Blends." Lebensmittel-Wissenschaft undTechnologie **30** (4): 359-366.

Mercier, C., Linko, P., & Harper, J. M (1989). Extrusion Cooking. St. Paul, Minnesota, USA.

Meyer, D., S. Bayarri, A. Turriga and E. Costell "Inulin as texture modifier in dairy products." Food Hydrocolloids **25**(8): 1881-1890.

ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ: Επίδραση των συνθηκών παραγωγής στις ιδιότητες προϊόντων εκβολής με την προσθήκη πρεβιοτικών και προσθέτων φυτικής και ζωικής προέλευσης

Mian, R. (2005). Extruded Snacks. Handbook of Food Science, Technology, and Engineering, Volume Four, CRC Press.

Obatolu Veronica, A., O. OmuetiOlusola, and E.A. Adebowale (2006). "QUALITIES OF EXTRUDED PUFFED SNACKS FROM MAIZE/SOYBEAN MIXTURE " Journal of Food Process Engineering **29**(2): 149-161.

Oikonomopoulou, V. P., M. K. Krokida and V. T. Karathanos (2011). "Structural properties of freeze-dried rice." Journal of Food Engineering **107**(3-4): 326-333.

Onwulata, C., & Heymann, (1994). "Sensory properties of extruded corn meal related to the spatial distribution of process conditions." Journal of Sensory Studies **9**(1): 101-112.

Onwulata, C. I., Smith, P. W., Konstance, R. P., & Holsinger, V. H. (2001). "Incorporation of whey products in extruded corn, potato or rice snacks." Food Research International **34**(8): 679-687.

Park, J., K. S. Rhee, B. K. Kim and K. C. Rhee (1993). "Single-screw extrusion of defatted soy flour, corn starch and raw beef blends." Journal of Food Science **58**(1): 9-20.

Pastor-Cavada, E., et al. "Effects of the addition of wild legumes (*Lathyrusannuus* and *Lathyrusclymenum*) on the physical and nutritional properties of extruded products based on whole corn and brown rice." Food Chemistry **128**(4): 961-967.

Perdomo, J., A. Cova, A. J. Sandoval, L. García, et al. (2009). "Glass transition temperatures and water sorption isotherms of cassava starch." Carbohydrate Polymers **76**(2): 305-313.

Quirijns, E. J., van Boxtel, A. J. B., van Loon, W. K. P., & van Straten, G. (2005). "Sorption isotherms, GAB parameters and isosteric heat of sorption." Journal of the Science of Food and Agriculture **85**(11): 1805-1814.

R.A. Anderson, H.F. Conway and A. J. Peplinski (1970). "Gelatinization of corn grits by roll cooking, extrusion cooking and steaming." Starch - Stärke **22** (4): 130-135.

ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ: Επίδραση των συνθηκών παραγωγής στις ιδιότητες προϊόντων εκβολής με την προσθήκη πρεβιοτικών και προσθέτων φυτικής και ζωικής προέλευσης

Sacchetti, G., et al. (2004). "Effects of extrusion temperature and feed composition on the functional, physical and sensory properties of chestnut and rice flour-based snack-like products." Food Research International **37**(5): 527-534.

Steel, C. J., M. G. V. Leoro, M. Schmiele, R. E. Ferreira, et al. (2012). Thermoplastic Extrusion in Food Processing, Thermoplastic Elastomers, Adel Zaki El-Sonbati (Ed.).

Suwendu, B. (1997). "Twin-screw extrusion of rice-green gram blend: Extrusion and extrudate characteristics." Journal of Food Engineering **32**(1): 83-99.

Thymi, S., M. K. Krokida, A. Pappa and Z. B. Maroulis (2005). "Structural properties of extruded corn starch." Journal of Food Engineering **68**(4): 519-526.

Waje, C. K., S.-Y. Jun, Y.-K. Lee, K.-D. Moon, et al. (2009). "Seed Viability and Functional Properties of Broccoli Sprouts during Germination and Postharvest Storage as Affected by Irradiation of Seeds." Journal of Food Science **74**(5): C370-C374.

Wikipedia http://en.wikipedia.org/wiki/Rice_flour.

wikipedia "paprika."

Yu, L., H. S. Ramaswamy and J. Boye (2013). "Protein rich extruded products prepared from soy protein isolate-corn flour blends." LWT - Food Science and Technology **50**(1): 279-289.

Yuliani, S., P. J. Torley, B. D' Arcy, T. Nicholson, et al. (2006). "Extrusion of mixtures of starch and d-limonene encapsulated with β -cyclodextrin: Flavour retention and physical properties." Food Research International **39**(3): 318-331.

Ελληνικό_Ινστιτούτο_Διατροφής. "<http://www.eid.org.gr/index.php/site/article/probiotika-kai-prebiotika>."

Λάζου, Α. Ε. (2011). Μελέτη ιδιοτήτων τροφίμων εκβολής. Εθνικό Μετσόβιο Πολυτεχνείο.

Λάζου, Α. Ε. (2011). Μελέτη ιδιοτήτων τροφίμων εκβολής. ΕΜΠ.

Μ.Κουή, Θ. Λ. (2007) Θ.Λυμπεροπούλου. **Volume**, DOI: