



ΓΕΩΠΟΝΙΚΟ ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΑΘΗΝΩΝ
ΤΜΗΜΑ ΕΠΙΣΤΗΜΗΣ ΤΡΟΦΙΜΩΝ ΚΑΙ ΔΙΑΤΡΟΦΗΣ ΤΟΥ
ΑΝΘΡΩΠΟΥ
ΕΡΓΑΣΤΗΡΙΟ ΜΗΧΑΝΙΚΗΣ ΤΡΟΦΙΜΩΝ
ΠΡΟΓΡΑΜΜΑ ΜΕΤΑΠΤΥΧΙΑΚΩΝ ΣΠΟΥΔΩΝ:
«ΕΠΙΣΤΗΜΗ ΚΑΙ ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΑ ΤΡΟΦΙΜΩΝ ΚΑΙ ΔΙΑΤΡΟΦΗΣ ΤΟΥ
ΑΝΘΡΩΠΟΥ»

ΜΕΤΑΠΤΥΧΙΑΚΗ ΕΡΕΥΝΗΤΙΚΗ ΜΕΛΕΤΗ

*«Επίδραση της κοκκομετρίας χαρουπάλευρου στις
θερμορεολογικές ιδιότητες εναιωρημάτων με ρυζάλευρο και στις
φυσικές ιδιότητες αρτοσκευασμάτων ελευθέρων γλουτένης»*



ΘΕΟΔΩΡΑ Σ. ΚΑΡΑ

ΕΠΙΒΛΕΠΟΥΣΑ ΚΑΘΗΓΗΤΡΙΑ:

ΜΑΝΤΑΛΑ Ι., Επίκουρος Καθηγήτρια Γ.Π.Α.

ΑΘΗΝΑ 2015

ΜΕΤΑΠΤΥΧΙΑΚΗ ΕΡΕΥΝΗΤΙΚΗ ΜΕΛΕΤΗ

***«Επίδραση της κοκκομετρίας χαρουπάλευρου στις
θερμορεολογικές ιδιότητες εναιωρημάτων με ρυζάλευρο και στις
φυσικές ιδιότητες αρτοσκευασμάτων ελευθέρων γλουτένης»***

ΘΕΟΔΩΡΑ Σ. ΚΑΡΑ

ΕΞΕΤΑΣΤΙΚΗ ΕΠΙΤΡΟΠΗ:

ΜΑΝΤΑΛΑ Ι., Επίκουρος Καθηγήτρια Γ.Π.Α. (επιβλέπουσα)

ΣΤΟΦΟΡΟΣ Ν., Αναπληρωτής Καθηγητής Γ.Π.Α.

ΣΚΑΝΔΑΜΗΣ Π., Επίκουρος Καθηγητής Γ.Π.Α.

Περίληψη

Τα τελευταία χρόνια τα προϊόντα ελεύθερα γλουτένης έχουν γνωρίσει ιδιαίτερη άνθηση, δεδομένης της αύξησης των κρουσμάτων των ασθενών που πάσχουν από τη νόσο κοιλιοκάκη. Στα πλαίσια της έρευνας αναφορικά με νέες μεθόδους για την αντικατάσταση της γλουτένης, το αλεύρι από χαρούπι δύναται να χρησιμοποιηθεί στην παρασκευή άρτων ελεύθερων γλουτένης.

Στόχος της παρούσας μελέτης είναι η επίδραση της κοκκομετρίας του χαρουπάλευρου στις θερμορρολογικές ιδιότητες εναιωρημάτων με ρυζάλευρο και στις φυσικές ιδιότητες άρτων ελευθέρων γλουτένης. Επιπλέον πραγματοποιήθηκε συγκριτική μελέτη των φυσικών ιδιοτήτων και της οργανοληπτικής αποδοχής των άρτων με χαρουπάλευρο με εμπορικά διαθέσιμα αρτοσκευάσματα ελεύθερα γλουτένης.

Οι σπόροι χαρουπιού, αλέστηκαν σε τέσσερα διαφορετικής κοκκομετρίας κλάσματα χαρουπάλευρου A ($d_{50}= 258.55 \mu\text{m}$), B ($d_{50}= 174.73 \mu\text{m}$), C ($d_{50}= 126.37 \mu\text{m}$) και D ($d_{50}= 80.36 \mu\text{m}$). Στα κλάσματα αυτά, έγιναν χημικές αναλύσεις, μελετήθηκαν οι θερμορρολογικές τους ιδιότητες αφού πρώτα αναμίχθηκαν με ρυζάλευρο και έπειτα, χρησιμοποιήθηκαν ως πρώτη ύλη για την παρασκευή αρτοσκευασμάτων ελεύθερων γλουτένης.

Οι άρτοι παρασκευάστηκαν με προσθήκη χαρουπάλευρου σε ποσοστό 15% επί του βάρους του αλεύρου. Η ενσωμάτωση των κλασμάτων A, D αύξησε τον ειδικό όγκο των άρτων, σε σύγκριση με τον άρτο αναφοράς (μόνο ρυζάλευρο) και τους άρτους με χαρουπάλευρο των κλασμάτων B, C. Ωστόσο, ο υψηλότερος ειδικός όγκος παρατηρήθηκε στα εμπορικά δείγματα. Οι άρτοι με προσθήκη χαρουπάλευρου εμφάνισαν μειωμένους ρυθμούς παλαιώσης σε σύγκριση με τα εμπορικά δείγματα και τον άρτο αναφοράς.

Από την οργανοληπτική αξιολόγηση των άρτων από χαρουπάλευρο και των εμπορικών προέκυψε πως την πιο συνεκτική μορφή διέθετε ο άρτος από το κλάσμα B. Οι άρτοι από το εμπορικό αλεύρι Valpiform και από το κλάσμα D είχαν την υψηλότερη συνολική αποδοχή του καταναλωτικού κοινού.

Λέξεις κλειδιά: θερμορρολογικές ιδιότητες, κοκκομετρία, χαρούπι, άρτος ελεύθερος γλουτένης

Αθήνα, 2015

Abstract

During the recent years, gluten-free products have flourished in the market, due to the increment of people suffering from celiac disease or people being allergic to gluten. Under the frame of researching new methods to substitute gluten, locust bean flour could be implemented in the preparation of gluten-free breads.

The objective of the present study is to elucidate the impact of the particle size of carob flour on thermoreological properties of suspension with rice flour as well as the physical properties of gluten-free breads. Furthermore, a comparative study of the physical properties and sensory acceptability of the bread with carob was conducted compared with commercial available gluten-free pastries.

Seeds of locust bean, were grounded in four different particle sizes fractions A ($d_{50}= 258.55 \mu\text{m}$), B ($d_{50}= 174.73 \mu\text{m}$), C ($d_{50}= 126.37 \mu\text{m}$) and D ($d_{50}= 80.36 \mu\text{m}$). In these fractions, chemical analyses were performed, after mixing with rice flour. Subsequently, they were employed as feedstock in the preparation of gluten-free bread products.

Breads were prepared by adding locust bean 15% by weight of the total flour. The incorporation of the fractions A, D increased the specific volume of the bread compared to the reference bread (only rice flour) and loaves with carob fractions B, C. However, higher specific volume was observed in the commercial samples. Breads from carob presented decreasing staling rate compared to commercial samples and reference bread.

The sensory evaluation of loaves of carob and commercial demonstrated that the most coherent form occurred from bread from fraction B. Breads from the commercial Valpiform flour and the fraction D exhibited the highest overall acceptance of consumers.

Keywords: rheological properties, particle size, carob, gluten free bread

Athens, 2015

ΕΥΧΑΡΙΣΤΙΕΣ

Η παρούσα μεταπτυχιακή μελέτη πραγματοποιήθηκε στο Εργαστήριο Μηχανικής Τροφίμων, Επεξεργασίας & Συντήρησης Γεωργικών Προϊόντων του τμήματος Επιστήμης Τροφίμων και Διατροφής του Ανθρώπου του Γεωπονικού Πανεπιστημίου Αθηνών, υπό την επίβλεψη της Επίκουρου Καθηγήτριας Μαντάλα Ιωάννας. Ορισμένα πειράματα έλαβαν χώρα στο Institute of Agrochemistry and Food Technology της Βαλένθια (Ισπανία), υπό την επίβλεψη της Καθηγήτριας M. Cristina Molina Rosell.

Αρχικά, θα ήθελα να εκφράσω τη θερμή μου ευγνωμοσύνη στην επιβλέπουσα καθηγήτριά μου Μαντάλα Ιωάννα, η οποία με τις γνώσεις της, την συμπαράστασή της και την καθοδήγησή της συνέβαλε καθοριστικά ώστε ολοκληρωθεί με επιτυχία η μεταπτυχιακή μου μελέτη.

Επιπλέον, ευχαριστώ θερμά την επιβλέπουσα ερευνήτρια μου, Professor Cristina M. Rosell, η οποία, κατά την τρίμηνη παραμονή μου στην Ισπανία, με βοήθησε να προσαρμοστώ γρήγορα και να αποδώσω τα μέγιστα, προσφέροντας μου ένα ευχάριστο περιβάλλον εργασίας και χτίζοντας μια πολύ καλή συνεργασία.

Ένα ακόμα μεγάλο ευχαριστώ θα ήθελα να απευθύνω στην υποψήφια διδάκτορα Κλεοπάτρα Τσατσαράγκου, για τον πολύτιμο χρόνο που μου αφιέρωσε και την βοήθεια της που απλόχερα μου πρόσφερε με στόχο της ολοκλήρωσης της πειραματικής μου έρευνας και τη συγγραφή της μελέτης αυτής.

Τέλος, θα ήθελα να ευχαριστήσω την οικογένειά μου και ιδιαίτερα τους γονείς μου, Σπήλιο και Αριάννα, γιατί, χάρη στην αμέριστη συμπαράσταση και της αγάπη τους, κατόρθωσα να πραγματοποιήσω και να ολοκληρώσω με επιτυχία τις σπουδές μου.

Πίνακας περιεχομένων

Περίληψη	3
Abstract.....	4
1. ΕΙΣΑΓΩΓΗ.....	9
1.1 Η γλουτένη στην αρτοποιία	9
1.2 Επίδραση της γλουτένης στον άνθρωπο	10
1.3 Προϊόντα ελεύθερα γλουτένης.....	12
1.4 Βιβλιογραφική ανασκόπηση.....	14
1.4.1 Άλευρα και άμυλα ελεύθερα γλουτένης	15
1.4.2 Υλικά για τη βελτίωση της διατροφής και της βιοδραστικότητας.....	18
1.4.3 Πρόσθετα για τη βελτίωση της ζύμης και του ψωμιού	19
1.4.4 Τεχνολογίες για βελτίωση της ποιότητας και της διάρκειας ζωής.....	23
1.5 Codex Alimentarius	24
1.6 Χαρουπιά.....	27
1.6.1 Παραγωγή Χαρουπιού	28
1.6.2 Κόμμι χαρουπιού (LBG)	28
1.6.3 Χρήσεις χαρουπιού.....	30
1.6.4 Χαρουπόμελο-Χαρουπάλευρο	30
1.6.5 Χρήσεις Χαρουπάλευρου	31
1.7 Ρύζι	32
1.7.1 Παραγωγή Ρυζιού.....	35
1.7.2 Χρήσεις ρυζιού	35
1.7.3 Ρυζάλευρο	36
1.8 Παρασκευή ψωμιού.....	36
1.9 Παρασκευή ψωμιού ελεύθερου γλουτένης.....	42
1.10 Ο ρόλος των υπόλοιπων συστατικών κατά την παραγωγή άρτου.....	42
1.10.1 Αλάτι	42
1.10.2 Ζάχαρη	43
1.10.3 Λίπος (Βιτάμ)	44
1.10.4 Μαγιά	44

1.10.5 Πρωτεΐνη Γάλακτος	45
1.10.6 DATEM	46
1.10.7 Νερό.....	46
1.10.8 Αλβουμίνη	48
1.10.9 Φυτικές ίνες.....	48
1.11 Μπαγιάτεμα	49
1.12 Σκοπός της Μελέτης.....	51
2. ΥΛΙΚΑ ΚΑΙ ΜΕΘΟΔΟΙ	53
2.1 Διαδικασία παρασκευής ψωμιού ελεύθερο γλουτένης.....	54
2.2 Μέθοδοι	55
2.2.1 Προσδιορισμός Απόδοσης	55
2.2.2 Προσδιορισμός Ικανότητας Συγκράτησης Ύδατος (Water Holding Capacity)	56
2.2.3 Προσδιορισμός Υγρασίας.....	56
2.2.4 Προσδιορισμός Ειδικού Όγκου	57
2.2.5 Προσδιορισμός Χρώματος	57
2.2.6 Προσδιορισμός Υφής.....	58
2.2.7 Προσδιορισμός Πρωτεϊνών.....	59
2.2.8 Προσδιορισμός Τέφρας.....	59
2.2.9 Προσδιορισμός Αδιάλυτων και Συνολικών Ινών.....	60
2.2.10 Προσδιορισμός Γλυκαιμικού Δείκτη	60
2.2.11 Προσδιορισμός Εύπεπτου Αμύλου και Ανθεκτικού Αμύλου	61
2.2.12 Εκτίμηση Των Οργανοληπτικών Χαρακτηριστικών.....	62
2.2.13 Θερμορρολογικές ιδιότητες μιγμάτων αλεύρων	62
2.3 Στατιστική Ανάλυση	64
3. ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ	66
3.1 Ρεολογικά Χαρακτηριστικά	66
3.2 Χημική Ανάλυση-Λειτουργικές Ιδιότητες	68
3.2.1 Προσδιορισμός Ικανότητας Συγκράτησης Νερού.....	68
3.2.2 Προσδιορισμός Υγρασίας.....	69
3.2.3 Προσδιορισμός Πρωτεϊνών-Τέφρας-Ινών.....	70

3.2.4 Προσδιορισμός Γλυκαιμικού Δείκτη-Εύπεπτου αμύλου-Ανθεκτικού αμύλου	72
3.3 Σκληρότητα.....	74
3.4 Ελαστικότητα.....	75
3.5 Ειδικός όγκος.....	76
3.6 Υγρασία	77
3.7 Χρώμα.....	79
3.8 Διάμετρος πόρων	80
3.9 Πυκνότητα πόρων	81
3.10 Οργανοληπτικός έλεγχος	82
4. ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ-ΜΕΛΛΟΝΤΙΚΗ ΕΡΕΥΝΑ	85
5. ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ ΦΩΤΟΓΡΑΦΙΩΝ.....	87
6. ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ.....	91

1. ΕΙΣΑΓΩΓΗ

1.1 Η γλουτένη στην αρτοποιία

Η γλουτένη είναι μία σύνθεση πρωτεϊνών του ενδοσπερμίου του σιταριού και αποτελείται από δύο ομάδες μονομερών, που διαφέρουν λειτουργικά: οι μονομερείς γλοιαδίνες και οι πολυμερείς γλουτενίνες. Τα υπόλοιπα γνωστά δημητριακά περιέχουν άλλες πρωτεΐνες, οι οποίες παρουσιάζουν μεγάλο ποσοστό ομολογίας με τη γλουτένη. Αυτές είναι η σικαλίνη στην σίκαλη και η χορδεΐνη στο κριθάρι. Η βρώμη αποτελεί εξαίρεση από τα υπόλοιπα δημητριακά, καθώς περιέχει την αβενίνη, η οποία έχει μικρή ομολογία με τη γλουτένη. Από την άλλη μεριά όμως, το δημητριακό αυτό διατρέχει τον κίνδυνο να μολυνθεί με γλουτένη από τα άλλα δημητριακά κατά τη διάρκεια της συγκομιδής, της μεταφοράς της άλεσης ή της μεταποίησης του. Γι' αυτό το λόγο, ο χαρακτηρισμός του αλευριού της βρώμης ως ελεύθερο γλουτένης είναι αμφιλεγόμενος.

Η γλουτένη αποτελεί βασικό συστατικό της αρτοποιίας, καθώς σε αυτήν οφείλεται ο σχηματισμός της ιξωδοελαστικότητας του ζυμαριού. Πιο αναλυτικά, η γλιαδίνη παρέχει ιξώδες και επεκτασιμότητα στη ζύμη, ενώ η γλουτενίνη είναι υπεύθυνη για την ελαστικότητα και την συνεκτικότητα της ζύμης (Gujral και Rossel, 2004). Είναι προφανές πως η αναλογία γλιαδίνης/γλουτελίνης πρέπει να βρίσκεται στα επιθυμητά επίπεδα έτσι ώστε να διατηρείται η κατάλληλη ισορροπία ανάμεσα στο ιξώδες και την ελαστικότητα του ζυμαριού (Wieser H. 2007).

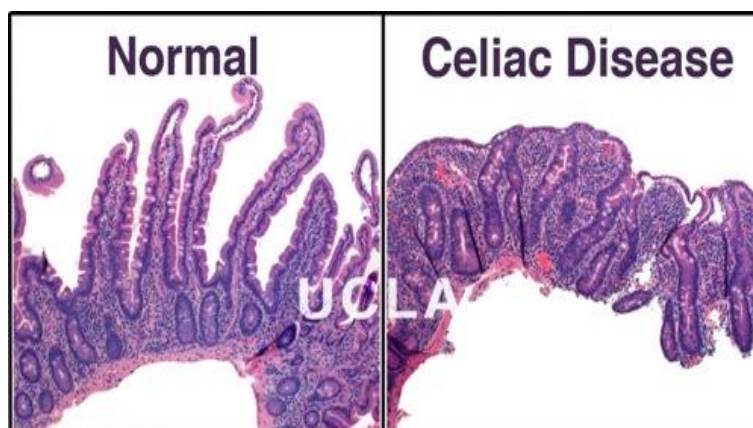
Η γλουτένη των σιτηρών είναι σημαντική όχι μόνο για την εμφάνιση αλλά και για την δομή της ψίχας των προϊόντων που παρασκευάζονται από δημητριακά. Επιπλέον, λόγω της μοναδικής της δομής και των λειτουργικών ιδιοτήτων της, είναι τεχνολογικά εξαιρετικά δύσκολο να βρεθούν εναλλακτικά συστατικά που να μιμούνται αυτές τις ιδιότητες στην αρτοποιία.

1.2 Επίδραση της γλουτένης στον άνθρωπο

Για τους περισσότερους ανθρώπους η γλουτένη είναι μια κανονική πρωτεΐνη η οποία αφομοιώνεται εύκολα από το γαστρεντερικό σωλήνα. Παρόλα αυτά ένα μέρος του πληθυσμού δεν μπορεί να την αφομοιώσει. Αυτοί οι άνθρωποι έχουν δυσανεξία στη γλουτένη, η οποία συνήθως αναφέρεται, ως ασθένεια, κοιλιοκάκη.

Πρόκειται για μία εφ' όρου ζωής πάθηση, με πιθανές επιδράσεις σε ολόκληρο το σώμα. Ωστόσο, δεν είναι μία μεταδοτική ασθένεια αλλά είναι σε μεγάλο βαθμό κληρονομική, καθώς παρουσιάζεται συχνά σε άτομα της ίδιας οικογένειας.

Η γλιαδίνη φαίνεται να παίζει σημαντικό ρόλο στην ασθένεια αυτή. Όταν άτομα με αυτή την κοιλιακή πάθηση καταναλώνουν τρόφιμα που περιέχουν γλουτένη, παρατηρούνται αλλοιώσεις στον βλεννογόνο του λεπτού εντέρου, προκαλώντας μεταξύ άλλων και μερική ή ολική ατροφία (επιπέδωση) των λαχνών (Εικόνα 1), εμποδίζοντας τη φυσιολογική πέψη και απορρόφηση του φαγητού. Εξαιτίας του γεγονότος, ότι το ανοσοποιητικό σύστημα του ίδιου του οργανισμού προκαλεί βλάβες, η κοιλιοκάκη θεωρείται αυτοάνοσο νόσημα (Cosnes J., 2008), αλλά, επιπλέον, συγκαταλέγεται και στις ασθένειες δυσαπορρόφησης επειδή δεν απορροφάται η γλουτένη από τον οργανισμό (Rujner J., 2004).



Εικόνα 1: Λάχνες σε υγιές άτομο (αριστερά). Λάχνες σε άτομο με κοιλιοκάκη (δεξιά).

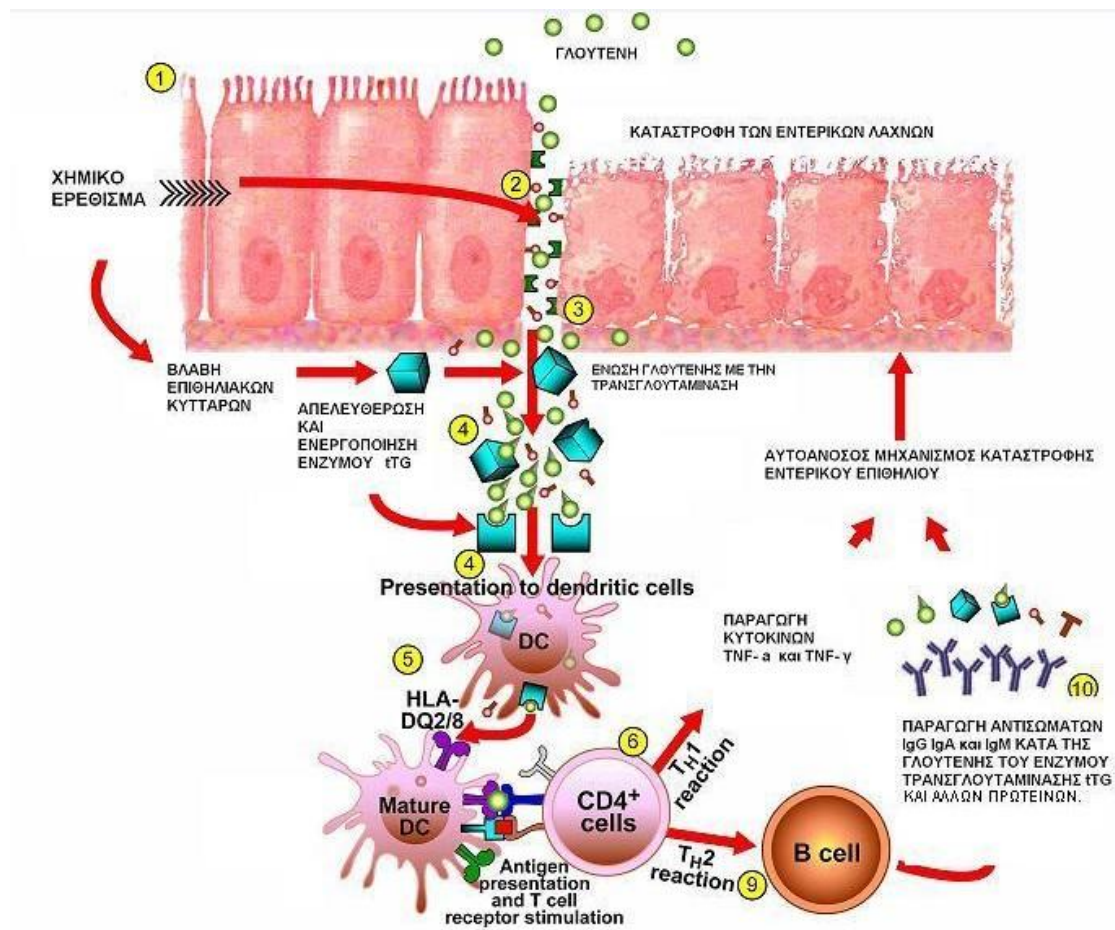
Από έρευνες που έχουν διεξαχθεί σε διάφορα ιδρύματα των χωρών της Ευρώπης, αλλά και της Αυστραλίας και των Ηνωμένων Πολιτειών, υποστηρίζουν ότι 1 στα 100 άτομα νοσούν από την συγκεκριμένη ασθένεια (AOECS).

Η ασθένεια μπορεί να εμφανιστεί έως και με 300 διαφορετικά συμπτώματα στους ασθενείς, αρκετά εκ των οποίων είναι δυσδιάκριτα ή φαινομενικά άσχετα μεταξύ τους και είναι πιθανόν να μην εμφανιστούν στο πεπτικό σύστημα. Επίσης, άτομα που πάσχουν από κοιλιοκάκη μπορούν να το καταλάβουν από την παιδική τους ηλικία ενώ άλλα αργότερα, ως ενήλικες.

Τα πιο συχνά συμπτώματα που εμφανίζουν οι ασθενείς είναι το συνεχές πρήξιμο και οι πόνοι στην κοιλία, χρόνια διάρροια/δυσκοιλιότητα, εμετοί και απώλεια βάρους. Σε ορισμένες περιπτώσεις μπορεί να παρατηρηθεί μη σωματική ανάπτυξη, καθυστερημένη εφηβεία, σιδηροπενική αναιμία που δεν ανταποκρίνεται στη θεραπεία με σίδηρο καθώς και δερματικά εξανθήματα. Επίσης, η ασθένεια αυτή μπορεί να προκαλέσει ψυχιατρικές διαταραχές, όπως είναι το άγχος και η κατάθλιψη (AOECS).

Θεραπεία της πάθησης αυτής δεν είναι τα φάρμακα ή οι ιατρικές επεμβάσεις αλλά η αυστηρή δια βίου δίαιτα χωρίς γλουτένη που έχει ως συνέπεια την επαναφορά του τοιχώματος του λεπτού εντέρου σε κανονική κατάσταση. Επομένως, οι κίνδυνοι για την υγεία του ασθενούς μηδενίζονται. Σε περίπτωση, όμως, που δεν διαγνωσθεί έγκαιρα, είναι δυνατόν να προκαλέσει μακροχρόνιες επιπτώσεις στην υγεία του, καθώς ο κίνδυνος εμφάνισης οστεοπόρωσης, παιδικού διαβήτη ή καρκίνου του εντέρου είναι αυξημένος.

Ιδιαίτερη προσοχή θα πρέπει να δοθεί όμως, στη δίαιτα από προϊόντα ελεύθερα γλουτένης επειδή συχνά είναι φτωχά σε βιταμίνες Β, ασβέστιο, βιταμίνη D, σίδηρο, ψευδάργυρο, μαγνήσιο και ίνες. Μόνο ελάχιστα τρόφιμα έχουν ενισχυθεί προκειμένου να περιορίζεται ο κίνδυνος ανεπαρκής πρόσληψης βιταμινών. Επομένως, αν οι ασθενείς ακολουθούν μία αυστηρή, μη ισορροπημένη δίαιτα εμφανίζουν χαμηλή οστική πυκνότητα, χαμηλή πρόσληψη ινών, ανεπάρκειες μικροθρεπτικών και μακροθρεπτικών συστατικών. Για την αποφυγή αυτών των ανεπιθύμητων αποτελεσμάτων, είναι απαραίτητο ο ασθενής να παρακολουθείται από εξειδικευμένο διαιτολόγο πάνω στην κοιλιοκάκη.



Εικόνα 2: Μηχανισμός παραγωγής αντισωμάτων και καταστροφή του εντερικού επιθηλίου και των εντερικών λαχνών σε ασθενή με κοιλιοκάκη.

1.3 Προϊόντα ελεύθερα γλουτένης

Τα τελευταία χρόνια έχει αυξηθεί η ζήτηση για προϊόντα χωρίς γλουτένη, όχι μόνο εξαιτίας της αύξησης των κρουσμάτων της ασθένειας κοιλιοκάκη αλλά και λόγω της ύπαρξης ατόμων που ακολουθούν ισορροπημένο διαιτολόγιο και αποφεύγουν την κατανάλωση αλλεργικών συστατικών, όπως είναι το σιτάρι. Είναι προφανές ότι, αυτοί οι καταναλωτές απαιτούν μεγάλη ποικιλία προϊόντων με διαφορετικές και ασυνήθιστες γεύσεις.

Ωστόσο, η λειτουργικότητα των πρωτεϊνών γλουτένης είναι σημαντική για τη ποιότητα των προϊόντων. Όταν αναμιγνύεται το άλευρο με νερό οι πρωτεΐνες γλουτένης επιτρέπουν τον σχηματισμό συνεκτικής ιξωδοελαστικής ζύμης ικανής να συγκρατεί αέρα κατά τη ζύμωση με αποτέλεσμα τη χαρακτηριστική αφρώδη δομή του προϊόντος. Επομένως, απουσία γλουτένης, η δομή αυτή δεν αναπτύσσεται και δημιουργείται μια κολλώδης ζύμη με αυξημένα ποσοστά υγρασίας, η οποία δεν διαθέτει τον απαραίτητο όγκο, το χρώμα της είναι υποβαθμισμένο και θρυμματίζεται εύκολα.

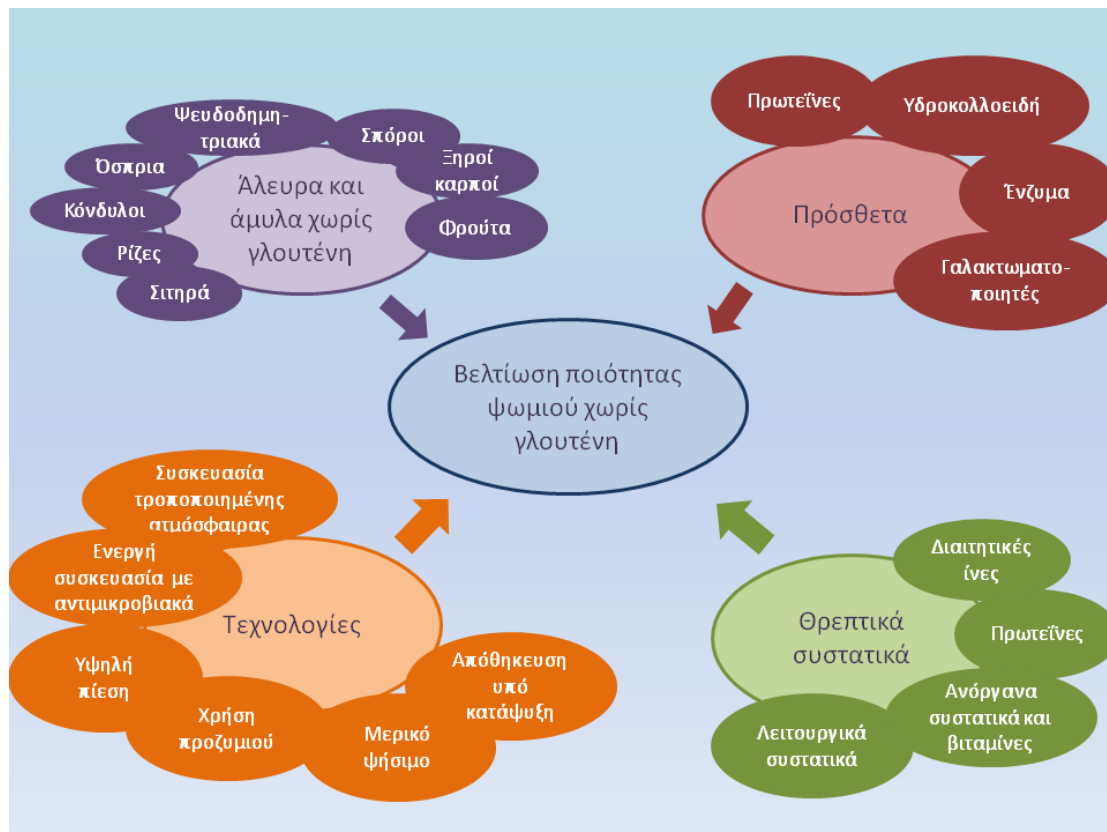
Γνωρίζοντας ότι ο πιο σημαντικός παράγοντας αποδοχής ενός προϊόντος είναι τα οργανοληπτικά χαρακτηριστικά του, οι βιομηχανίες αλλά και οι τεχνολόγοι τροφίμων ήρθαν αντιμέτωποι με μία μεγάλη τεχνολογική πρόκληση, την αναζήτηση συστατικών που λειτουργούν ως υποκατάστατα της γλουτένης. Τα αποτελέσματα πολλών ερευνών παγκοσμίως έδειξαν ότι μπορούν να χρησιμοποιηθούν, ως εναλλακτική λύση, διάφορα συστατικά που βελτιώνουν το χρόνο ζωής, την αίσθηση στο στόμα και την αποδοχή των τελικών προϊόντων, όπως είναι διάφορα άμυλα, πρωτεΐνες γάλακτος (καζεΐνη, πρωτεΐνες ορού), πρωτεΐνες σόγιας και αυγού και υδροκολλοειδή.

Όσον αφορά τα άλευρα που χρησιμοποιούνται για τη δημιουργία προϊόντων χωρίς γλουτένη, από τα κοινά σιτηρά, τα πιο διαδεδομένα είναι το καλαμποκάλευρο και το ρυζάλευρο καθώς σπάνια προκαλούν προβλήματα σε οποιονδήποτε τα καταναλώσει. Εκτός όμως από το καλαμπόκι και το ρύζι, υπάρχει και μια ευρεία ποικιλία άλλων φυτών που χρησιμοποιούνται στην παρασκευή πρώτων υλών για προϊόντα αρτοποιίας χωρίς γλουτένη. Αυτά τα άλευρα προέρχονται από αμάρανθο, φαγόπυρο, ρεβίθια, φακές, κεχρί, χαρούπι, μπιζέλι, σόργο, σόγια, ταπιόκα. Ωστόσο, όσον αφορά το ρυζάλευρο, δεν διαθέτει την ικανότητα να δημιουργήσει τον απαιτούμενο όγκο του προϊόντος όπως το αλεύρι σίτου, λόγω της αδυναμίας συγκράτησης των ίδιων ποσοτήτων CO₂. Για την αντιμετώπιση αυτού του προβλήματος, γίνεται προσθήκη υδροκολλοειδών όπως είναι η ξανθίνη, κόμμα χαρουπιού, μεθυλοκυτταρίνη, όπου φαίνεται να βελτιώνουν την ικανότητα συγκράτησης αερίων και σταθεροποιούν την δομή του ζυμαριού.

Ένα ακόμα μειονέκτημα των προϊόντων χωρίς γλουτένη είναι ότι στερούνται σημαντικά θρεπτικά συστατικά όπως είναι οι πρωτεΐνες, οι βιταμίνες, τα

ιχνοστοιχεία και οι φυτικές ίνες. Για την αύξηση της διατροφικής τους αξίας προστίθενται πρωτεΐνες από διάφορες πηγές, όπως σόγια και γαλακτοκομικά προϊόντα (Marco and Rosell, 2008).

1.4 Βιβλιογραφική ανασκόπηση



Εικόνα 3: Προσεγγίσεις για τη βελτίωση της ποιότητας των ψωμιών ελεύθερων γλουτένης (Capriles V. and Areas J., 2014)

Τα τελευταία χρόνια, οι μελετητές διεκπεραίωσαν πολλές έρευνες με πολλούς και διάφορους συνδυασμούς των εναλλακτικών συστατικών με στόχο τη βελτίωση της ποιότητας των προϊόντων ελεύθερων γλουτένης.

1.4.1 Άλευρα και άμυλα ελεύθερα γλουτένης

Η ύπαρξη διάφορων αλεύρων και αμύλων χωρίς γλουτένη αυξάνουν την ποικιλία των προϊόντων χωρίς γλουτένη και ταυτόχρονα βελτιώνουν τη διατροφική τους ποιότητα.

Πίνακας 1: Άλευρα και άμυλα που χρησιμοποιούνται στην παρασκευή προϊόντων ελεύθερων γλουτένης (Capriles V. and Areas J., 2014)

Συμβατικά άλευρα	Εναλλακτικά άλευρα			
	Άλευρα Ψευδοδημητριακών	Άλευρα Ριζών και Κονδύλων	Άλευρα Ψυχανθών	Άλλα άλευρα
Άλευρο και άμυλο ρυζιού	Αμάρανθος	Κασάβα	Σόγια	Σπόροι κίας
Άλευρο και άμυλο αραβόσιτου	Φαγόπυρο	Γλυκοπατάτα	Ρεβίθι	Σπόροι λιναρόσπορου
Άμυλο πατάτας	Κινόα		Χαρούπι	Άλευρο κάστανου
Άμυλο κασάβας			Φασόλια	Σόργο
Άμυλο σίτου*			Φακές Μπιζέλια	Κεχρί Βρώμη*

* Η ενσωμάτωση αμύλου σίτου και βρώμης στην παρασκευή αρτοσκευασμάτων ελεύθερων γλουτένης πρέπει να εξασφαλίζει το όριο των 20 ppm γλουτένης στο τελικό προϊόν

Οι Lopez A. και άλλοι χρησιμοποίησαν αλεύρι από ρύζι και καλαμπόκι σε συνδυασμό με άμυλο από πατάτα ή μανιόκα για τη δημιουργία προϊόντων ελεύθερων γλουτένης, προσθέτοντας όμως πρωτεΐνες και υδροκολλοειδή που λειτούργησαν ως μέσα συνδετικοί παράγοντες (Lopez A., 2004). Έχει προταθεί η χρήση αλεύρου χαρουπιού σε συνδυασμό με το ρυζάλευρο για την παρασκευή προϊόντων ελεύθερα γλουτένης, με αποδεκτά οργανοληπτικά χαρακτηριστικά (δομή, γεύση, χρώμα, όγκος), ενισχύοντας την ποσότητα τους σε ίνες και την επιβράδυνση του μπαγιατέματος (Tsatsaragkou K., 2012).

Η χρήση αλευριού βρώμης δεν συνιστάται ευρέως, ωστόσο, υποστηρίζεται ότι η παρουσία της βελτιώνει την ποικιλία και τη θρεπτική ποιότητα της διαίτας χωρίς γλουτένη. Μελέτη των Kim και Yokoyama το 2011, έδωσε ελπιδοφόρα αποτελέσματα σε ψωμιά από βρώμη με προσθήκη υδροκολλοειδούς υδροξυπροπυλομεθυλοκυτταρίνης (HPMC). Το προϊόν είχε αποδεκτό όγκο, εμφάνιση και υφή, σκούρο χρώμα αλλά αμφιλεγόμενη αίσθηση γεύσης (Kim Y., 2011).

Ικανοποιητικό όγκο, υφή, χρώμα, κόκκους ψίχας και γεύση έδωσαν προσαρμοσμένα μίγματα αμύλου, από πατάτα, καλαμπόκι, ρύζι, ταπιόκα, σε προϊόντα που κατασκευάστηκαν με βάση το σιτάρι (Pszczola DE. 2011).

Την τελευταία δεκαετία, για την βελτίωση της θρεπτικής αξίας και της διαφοροποίησης των προϊόντων ελεύθερων γλουτένης αλλά και για την αύξηση της ποικιλίας αυτών, γίνεται χρήση διάφορων εναλλακτικών άλευρων που προέρχονται από δημητριακά, φρούτα, όσπρια κ.ά.. Οι Onyango και άλλοι χρησιμοποίησαν ως πρώτη ύλη για την κατασκευή προϊόντων ελεύθερα γλουτένης, σόργο (*Sorghum*). Το σόργο είναι δημητριακό προερχόμενο από την Αφρική, το οποίο λόγω της γενετικής του ποικιλομορφίας, οι κόκκοι του παρουσιάζουν μεγάλη ποικιλομορφία σε μέγεθος, σχήμα και χρώμα (λευκό, κίτρινο ή κόκκινο). Το 2011, οι ερευνητές αυτοί, συνδύασαν άλευρο σόργου (50%) με άμυλο μανιόκας (50%) και πήραν καλύτερα αποτελέσματα σε ψίχα και υφή από τον συνδυασμό αλευριού σόργου με 10% έως 40% άμυλο μανιόκας ή 10% έως 50% άμυλα αραβόσιτου, ρυζιού ή πατάτας. Το αποτέλεσμα αυτό, πιθανότατα οφείλεται στην ικανότητα της μανιόκας να δίνει σκληρή ελαστική μάζα κατά τη ζελατινοποίηση με μεγαλύτερη συνοχή (Onyango C, 2011). Αξίζει να σημειωθεί, ότι η πλειοψηφία των μελετητών χρησιμοποιούν

κόκκινο σόργο για τη δημιουργία προϊόντων χωρίς γλουτένη, αλλά και το λευκό σόργο παρουσιάζει επίσης καλό δυναμικό (Velazquez N, 2012).

Τα ψευδοδημητρικά είναι δικοτυλήδωνα φυτά σε αντίθεση με τα δημητριακά που είναι μονοκοτυλήδωνα και είναι γνωστά για την υψηλή διατροφική σύνθεση τους, την υψηλή πρωτεϊνική τους αξία, την περιεκτικότητα σε απαραίτητα αμινοξέα και λιπαρά οξέα αλλά και σε ανόργανα άλατα και βιοενεργά συστατικά. Τα συνηθέστερα ψευδοδημητριακά είναι ο φαγόπυρος (*Fagopyrum esculentum*), ο αμάρανθος (*Amaranthus caudatus*) και η κινόα (*Chenopodium quinoa*). Σύμφωνα με τη βιβλιογραφία, το φαγόπυρο είναι το πιο διαδεδομένο ψευδοδημητριακό στα προϊόντα ελεύθερα γλουτένης, κάτι το οποίο οφείλεται στο γεγονός ότι το αλεύρι του διαθέτει πιο ευχάριστο χρώμα και γεύση. Λόγω του μικρού μεγέθους τους, ο αμάρανθος και η κινόα αλέθονται σε αλεύρι ολικής άλεσης (Alvarez-Jubete L., 2009a). Οι μελετητές Alvarez-Jubete και άλλοι αντικατέστησαν άμυλο πατάτας με αμάρανθο, φαγόπυρο ή κινόα σε προϊόν ελεύθερο γλουτένης με 50% αλεύρι ρυζιού και 50% άμυλο πατάτας και διαπίστωσαν αυξημένη περιεκτικότητα σε πρωτεΐνες, φυτικές ίνες, ασβέστιο, σίδηρο, βιταμίνη Ε και πολυφαινόλες (Alvarez-Jubete L., 2010a).

Άλλα εναλλακτικά αλεύρα έχουν μελετηθεί και έχουν φέρει χρήσιμα και ενδιαφέροντα αποτελέσματα. Έχουν ερευνηθεί αλεύρα από ρίζες και κονδύλους (μανιόκα, *Manihot esculenta*), από σπόρους (λιναρόσπορος, *Linus usitatissimus*), όσπρια (σόγια *Glycine max*, χαρούπι *Ceratonia siliqua*). Ενδιαφέροντα αποτελέσματα προέκυψαν από την έρευνα των Smith και άλλων (2012), όπου η ανάμειξη αλευριού χαρουπιάς με άμυλο και νερό, οδήγησε στον σχηματισμό ιξωδοελαστικής ζύμης λόγω της παρουσίας της πρωτεΐνης καρουβίνης, που έχει την ικανότητα να μιμείται τις ιδιότητες της γλουτένης (Smith B., 2012).

Από όλες τις παραπάνω μελέτες, είναι εμφανές, ότι παρά τα πολλά πλεονεκτήματα και τα διατροφικά οφέλη που έχουν οι εναλλακτικές πηγές πρώτων υλών στα τελικά προϊόντα, παρουσιάζονται, επιπλέον, και ορισμένοι τεχνολογικοί περιορισμοί. Η χρήση αυτών των συστατικών οδηγεί σε αλλαγές κατά την εμφάνιση, τη γεύση, το χρώμα, την υφή και το άρωμα τους, κάνοντας τα προϊόντα μη επιθυμητά από τους καταναλωτές. Επιπλέον, επηρεάζεται η ρεολογική

συμπεριφορά τους και η ικανότητα συγκράτησης αέρα, επομένως επηρεάζεται και η ποιότητα τους.

1.4.2 Υλικά για τη βελτίωση της διατροφής και της βιοδραστηκότητας

Πίνακας 2: Θρεπτικά συστατικά που χρησιμοποιούνται για την Παρασκευή ψωμιού ελεύθερο γλουτένης (Capriles V. and Areas J., 2014)

Διαιτητικές ίνες	Λειτουργικά συστατικά	Ιχνοστοιχεία	Συστατικά με βάση φρούτα και λαχανικά
Ίνες δημητριακών	Φρουκτάνες τύπου ινουλίνης	Μέταλλα: Σίδηρο, ασβέστιο	Άλευρα
Ίνες με πηκτικές ιδιότητες	Βρώμη β-γλυκάνη	Βιταμίνες: φυλλικό οξύ, βιταμίνη D	Εκχυλίσματα
	Ψύλλιο		Υποπροϊόντα
	Ανθεκτικό άμυλο		
	Ισοφλαβόνες		
	Ωμέγα-3 λιπαρά οξέα		
	Προβιοτικά		

Η μειωμένη θρεπτική ποιότητα των προϊόντων ελεύθερων γλουτένης μπορεί να βελτιωθεί με την ενσωμάτωση θρεπτικών εναλλακτικών αλευριών ή των συστατικών τους, όπως φαίνονται στο Πίνακα 2.

Οι ίνες είναι τα πιο ευρέως διαδεδομένα θρεπτικά συστατικά, καθώς βελτιώνουν την ποιότητα, τις οργανοληπτικές ιδιότητες αλλά και τη διάρκεια ζωής των τελικών προϊόντων. Ο Sabanis και άλλοι (2009) μελέτησαν την προσθήκη διαφορετικών ινών από δημητριακά (κριθή, αραβόσιτος, βρώμη, σιτάρι) σε συγκεντρώσεις 3, 6 και 9 gr / 100 gr σε προϊόντα από ρυζάλευρο και άμυλο καλαμποκιού. Τα αποτελέσματα έδειξαν ότι οι ίνες από αραβόσιτο και βρώμη

ενισχύουν τον όγκο και την απαλότητα της ψίχας, και τα προϊόντα με 3% αραβόσιτο υπερίσχυαν σε χρώμα, υφή, εμφάνιση, γεύση και στην γενική αποδοχή (Sabanis D., 2009).

Οι φρουκτάνες τύπου ινουλίνης (Inulin-type fructans, ITFs) και η ολιγοφρουκτόζη είναι οι περισσότερο μελετημένες λειτουργικές διαιτητικές ίνες σε προϊόντα ελεύθερα γλουτένης. Οι ερευνητές παρατήρησαν ότι η προσθήκη IFT έδωσε συνοχή στην ζύμη και ικανότητα διατήρησης του αέρα κατά τη διάρκεια του ψησίματος, βελτιώνοντας έτσι την ποιότητα των τελικών προϊόντων, τα οποία χαρακτηρίζονταν από καλύτερο όγκο, μαλακή ψίχα, βελτιωμένη κρούστα και καλές οργανοληπτικές ιδιότητες (Kogus J., 2006).

Για τα ιχνοστοιχεία δεν υπάρχουν πολλές μελέτες που αναφέρονται ως θρεπτικά συστατικά στα προϊόντα ελεύθερα γλουτένης. Οι μελετητές Kiskini και άλλοι (2007) χρησιμοποίησαν διαφορετικές ενώσεις σιδήρου (πυροφωσφορικός σίδηρος, πυροφωσφορικός σίδηρος με γαλακτωματοποιητές, NaFeEDTA, ηλεκτρολυτικός σίδηρος, γλυκονικός σίδηρος, γαλακτικός σίδηρος και θειικός σίδηρος) για να ενισχύσουν τον αμάρανθο στα τελικά προϊόντα. Παρατηρήθηκε ότι τα πιο αποδεκτά προϊόντα ήταν αυτά που εμπλουτίστηκαν με πυροφωσφορικό σίδηρο και γαλακτοματοποιητές και με πυροφωσφορικό σίδηρο (Kiskini A., 2007).

Με την ενσωμάτωση συστατικών προερχόμενων από φρούτα και λαχανικά έχουν επιτευχθεί ελπιδοφόρα αποτελέσματα, καθώς αυξάνονται οι ποσότητες των θρεπτικών συστατικών των προϊόντων. Έχουν χρησιμοποιηθεί αλεύρι άγουρης μπανάνας (Siqueira MP, 2013), χυμός σταφίδας (Sabanis D., 2008), εκχυλίσματα από πράσινα ακτινίδια κ. ά. (Sun-Waterhouse D., 2009).

1.4.3 Πρόσθετα για τη βελτίωση της ζύμης και του ψωμιού

Η χρήση πρόσθετων κατά την παρασκευή προϊόντων ελεύθερων γλουτένης στοχεύουν στη βελτίωση των ιδιοτήτων και της ποιότητας της ζύμης και επεκτείνουν τη διάρκεια ζωής των ψωμιών. Αυτά είναι τα υδροκολλοειδή, οι πρωτεΐνες, τα ένζυμα, τα αντιοξειδωτικά, οι γαλακτωματοποιητές και τα συντηρητικά.

1.4.3.1 Υδροκολλοειδή

Τα υδροκολλοειδή ή κόμμεα είναι μακρομοριακές οργανικές ενώσεις, που έχουν την ικανότητα να δεσμεύουν πολλά μόρια νερού, με αποτέλεσμα την αύξηση του ιξώδους. Λόγω αυτής της ιδιότητας, πολλές φορές χαρακτηρίζονται σαν πηκτικά. Επίσης, χαρακτηρίζονται ως σταθεροποιητές, επειδή η αύξηση του ιξώδους παίζει σταθεροποιητικό ρόλο στη δομή, την υφή και στη γενικότερη μορφή των προϊόντων. Επομένως, η παρουσία τους στα προϊόντα ελεύθερα γλουτένης οδηγεί στην αλλαγή των χαρακτηριστικών της ζύμης και στη βελτίωση της υφής, της δομής της, της αποδοχής και της διάρκειας ζωής των προϊόντων (Lazaridou A., 2007). Ο ρόλος του όμως, δεν περιορίζεται μόνο εκεί, αλλά ενεργούν ως συνδετικό του νερού, ως υποκατάστατο της γλουτένης και ως υποκατάστατο του λίπους.

Συνήθως είναι φυτικής προέλευσης και σπανιότερα ζωικής ή μικροβιακής. Οι κυριότερες ομάδες είναι τα φυτικά εκχυλίσματα (αραβικό κόμμι), κόμμεα σπόρων (κόμμι χαρουπιών), εκχυλίσματα από φύκια (άγαρ), παράγωγα κυτταρίνης, μικροβιακά κόμμεα και ζωικές πρωτεΐνες.

Η ποσότητα υδροκολλοειδών στα αρτοσκευάσματα σπάνια είναι μεγαλύτερη από 1%, αλλά αυτό δεν τα εμποδίζει να έχουν καθοριστική επίδραση στην υφή και τις οργανοληπτικές ιδιότητες αυτών. Η επίδραση αυτή, εξαρτάται από τη χημική τους δομή, την ποσότητα τους, τις αλληλεπιδράσεις με άλλα συστατικά του ψωμιού και ,τέλος, από τις παραμέτρους της διαδικασίας παρασκευής (Lazaridou A., 2007). Σύμφωνα με τους Anton και Artfield, ανάμεσα στα διάφορα υδροκολλοειδή, ξεχωρίζουν για τα προϊόντα ελεύθερα γλουτένης, το κόμμι ξανθάνης και το HPMC, καθώς παρουσίασαν θετικές επιπτώσεις στον όγκο και την σκληρότητα της ψίχας στα τελικά προϊόντα (Anton A., 2008).

1.4.3.2 Πρωτεΐνες

Ο στόχος των πρωτεϊνών στη σύνθεση των προϊόντων ελεύθερων γλουτένης είναι διπλός. Η παρουσία τους ενισχύει τις οργανοληπτικές αλλά και τις διατροφικές ιδιότητες αυτών, αυξάνοντας το περιεχόμενο των πρωτεϊνών, προμηθεύοντας τα απαραίτητα αμινοξέα και δημιουργώντας ένα δίκτυο, ικανό να μιμηθεί τις ιδιότητες της γλουτένης βελτιώνοντας, επομένως, και τις ρεολογικές ιδιότητες τους. Οι πηγές πρωτεϊνών είναι τα γαλακτοκομικά, το αυγό, τα όσπρια και τα δημητριακά.

Με τη χρήση αυγού έχει παρατηρηθεί καλύτερη δομή ψίχας και βελτιωμένο σχήμα, που οφείλεται στη δημιουργία αφρού και στις γαλακτοματοποιητικές τους ικανότητες (Houben A., 2012). Η πρωτεΐνη σόγιας προστίθεται είτε με τη μορφή αλευριού σόγιας είτε σαν πρωτεΐνη σόγιας και επιδρά στη βελτίωση των ιδιοτήτων ζύμης και ψωμιού (Ribotta P., 2004). Οι Gallagher και άλλοι δημιούργησαν ένα καλής ποιότητας σιτάρι με βάση άμυλο ελεύθερο γλουτένης, 6% γλυκό ορό γάλακτος, νωπά στερεά γάλακτος, πρωτεΐνη γάλακτος και νερό. Το αποτέλεσμα ήταν η παρασκευή ψωμιών με σκούρα κρούστα, λευκή και μαλακή ψίχα και υψηλό όγκο (Gallagher E., 2003). Μελέτες των Smith και άλλων έδειξαν ότι ο συνδυασμός καρουβίνης, πρωτεΐνη χαρουπιού, και ζεΐνης, προλαμίνη του αραβόσιτου, μαζί με άμυλο και νερό είναι ικανά να δημιουργήσουν συνεκτική, ιξωδοελαστική ζύμη (Smith B., 2012).

1.4.3.2 Ένζυμα

Η προσθήκη ενζύμων στοχεύει στη βελτίωση των ιδιοτήτων της ζύμης αλλά και στην καλύτερη ποιότητα και την αύξηση της διάρκειας ζωής των ψωμιών. Τα συνηθέστερα ένζυμα που χρησιμοποιούνται για την παρασκευή προϊόντων ελεύθερων γλουτένης είναι τα ένζυμα τροποποιημένου αμύλου (αμυλάση και γλυκοζυλοτρανσφεράση κυκλοδεξτρίνης, CGT), τα ένζυμα που ενώνουν πρωτεΐνες (TG και οξειδάση γλυκόζης, GO) και οι πρωτεάσες.

Οι Moore και άλλοι αξιολόγησαν τον αντίκτυπο της TG στην ποιότητα των προϊόντων χωρίς γλουτένη σε διάφορα επίπεδα και με διαφορετικές πηγές

πρωτεϊνών (αποβουτυρωμένο γάλα σε σκόνη, αλεύρι σόγιας και σκόνη αυγού). Τα αποτελέσματα έδειξαν ότι ο βαθμός σχηματισμού του δικτύου πρωτεΐνης καθορίζεται από την πηγή πρωτεΐνης και από τη δοσολογία (Moore M., 2006).

Ο Storck και άλλοι, πρόσφατα, με εφαρμογή RSM διερεύνησαν την επίδραση της καζεΐνης και της αλβουμίνης σε μίγματα πρωτεΐνης, καθώς και τη TG σε ένα ελεύθερο γλουτένης προϊόν με βάση το ρύζι. Τη βέλτιστη σύνθεση, με υψηλότερο όγκο και λιγότερο σκληρή ψίχα, έδωσε ο συνδυασμός TG (1,35 U ενζύμου/ g πρωτεΐνης του ρυζάλευρου), αλβουμίνης (0,67 g / 100 g αλεύρου) και καζεΐνη (0,67 g / 100 g αλεύρου). Επίσης, παρατηρήθηκε ότι το GO καταλύει την οξείδωση της γλυκόζης σε γλυκονικό οξύ και υπεροξειδίο του υδρογόνου (Storck C., 2013).

Οι Kawamura-Konishi και άλλοι παρατήρησαν βελτίωση του όγκου, της εμφάνισης της ψίχας και της υφής σε προϊόντα ελεύθερα γλουτένης με βάση το ρυζάλευρο, ανάλογα με την ποσότητα πρωτεΐνης που προστίθεται (Kawamura-Konishi Y., 2013).

1.4.3.3 Γαλακτωματοποιητές

Οι γαλακτωματοποιητές είναι μία ομάδα πρόσθετων που χρησιμοποιούνται για να βελτιώσουν τις ιδιότητες της ζύμης, της δομής και του όγκου του ψωμιού αλλά και για να μειώσουν την σκληρότητα της ψίχας και την ταχύτητα του μπαγιατέματος στα ψημένα αγαθά (Gray J., 2003). Έχουν την ικανότητα να αυξάνουν την απορρόφηση του φυσικού αερίου της ζύμης, να μειώνουν την ταχύτητα της υποβάθμισης του αμύλου και να βελτιώνουν την κατακράτηση του νερού (Purhagen J., 2012).

Το 2009 οι Nunes και άλλοι και οι Onyango και άλλοι, αξιολόγησαν τις συνέπειες των διαφόρων γαλακτοποιητών σε διάφορα προϊόντα χωρίς γλουτένη. Παρατηρήθηκε ότι η ποιότητα των προϊόντων αυτών, δηλαδή ο όγκος, η εμφάνιση και η υφή, ενισχύονται σημαντικά με την προσθήκη του σωστού γαλακτοματοποιητή αλλά και με την κατάλληλη ποσότητα αυτού (Nunes M., 2009).

Οι Sciarini και άλλοι αξιολόγησαν την επίδραση διάφορων προσθέτων (γαλακτοματοποιητές, υδροκολλοειδή και ένζυμα) στις ιδιότητες της ζύμης των

προϊόντων ελεύθερων γλουτένης. Οι ερευνητές κατέληξαν στο συμπέρασμα ότι τα πρόσθετα έδωσαν ψωμιά με διαφορετικά χαρακτηριστικά αλλά χωρίς αυτό να σημαίνει ότι είχαν καλύτερες παραμέτρους ποιότητας σε σύγκριση με τα ψωμιά που δεν δέχτηκαν καμία προσθήκη (ψωμιά ελέγχου). Επομένως, το αποτέλεσμα ήταν ότι τα πρόσθετα δεν είναι απαραίτητα για την παραγωγή αυτών των προϊόντων (Sciarini L., 2012).

1.4.4 Τεχνολογίες για βελτίωση της ποιότητας και της διάρκειας ζωής

Για τη βελτίωση της ποιότητας των ελεύθερων γλουτένης προϊόντων υπάρχουν διάφορες τεχνολογικές μέθοδοι όπως είναι η ζύμωση του προζυμιού, η επεξεργασία με υψηλή πίεση, η κατάψυξη, το μερικό ψήσιμο, η συσκευασία τροποποιημένης ατμόσφαιρας και η ενεργό αντιμικροβιακή συσκευασία.

1.4.4.1 Ζύμωση του προζυμιού

Το προζύμι είναι ένα μείγμα από άλευρα, νερό και άλλα συστατικά, το οποίο ζυμώνεται από τα βακτήρια του γαλακτικού οξέος και τις ζύμες. Είναι ικανό να βελτιώσει την υφή, το άρωμα, τη γεύση, τη θρεπτική αξία και τη διάρκεια ζωής του ψωμιού.

Πολλοί ερευνητές έχουν καταλήξει στο συμπέρασμα ότι η ζύμωση του προζυμιού βελτιώνει την ποιότητα των προϊόντων αυτών, όπως αυτοί που χρησιμοποίησαν ως βάση το σόργο (Galle S., 2012), το αλεύρι από καλαμπόκι, άμυλο καλαμποκιού, ρυζάλευρο και αλεύρι από φαγόπυρο (Pruska-Kedzior A., 2008).

Οι Coda και άλλοι το 2010, έκανα μία ενδιαφέρουσα προσέγγιση για τη δημιουργία προζύμι ελεύθερο γλουτένης με τη χρήση βακτηρίων γαλακτικού οξέος που είναι ικανό να συνθέτει γ-αμινοβουτυρικό οξύ (GABA). Η έρευνα βασίστηκε σε ένα μείγμα από φαγόπυρο, αμάρνατο, ρεβίθι και αλεύρι από κινόα, και το

αποτέλεσμα ήταν η δημιουργία ψωμιού με αρκετά υψηλή αποδοχή (7/10) (Coda R., 2010).

1.4.4.2 Επεξεργασία με υψηλή πίεση

Πρόκειται για μία μη θερμική επεξεργασία που μελετάται τα τελευταία χρόνια και υποβάλλει τα τρόφιμα σε υψηλές πιέσεις, οι οποίες είναι υπεύθυνες για τη δημιουργία νέων δομών και υφών επάγοντας τη ζελατινοποίηση του αμύλου και τον πολυμερισμό της πρωτεΐνης (Vallons K., 2011).

Κατά τη μελέτη των Huttner και άλλων έγινε αντικατάσταση 10%, 20% και 40% του μη επεξεργασμένου αλευριού βρώμης σε προϊόντα ελεύθερα γλουτένης με βάση τη βρώμη, με ζύμη βρώμης, η οποία υπέστη επεξεργασία υψηλής πίεσης επί 10 λεπτά στα 200, 300 και 500 MPa. Η προσθήκη 10% ζύμη βρώμης ύστερα από επεξεργασία στα 200 MPa έδωσε τα βέλτιστα αποτελέσματα, με επιθυμητό όγκο ψίχας, δομή, εμφάνιση και μειωμένο ρυθμό μπαγιατέματος. Παρατηρήθηκε, επίσης, ότι οποιαδήποτε επεξεργασία άνω των 350 MPa οδηγούσε σε μειωμένη ποιότητα του προϊόντος (Huttner E., 2010).

Οι Vallons και άλλοι αντικατέστησαν σε ζύμη που περιείχε μη επεξεργασμένο άλευρο σόργου το 2% και το 10% με επεξεργασμένο άλευρο στα 200 και 600 MPa. Τα αποτελέσματα έδειξαν ότι τα προϊόντα που περιείχαν 2% επεξεργασμένο σόργο στα 600 MPa είχαν μεγαλύτερη διάρκεια ζωής, ενώ σε αυτά που έγινε προσθήκη 10% είχαν χαμηλότερο ειδικό όγκο και κακή ποιότητα. Ωστόσο, δεν παρατηρήθηκε σημαντική διαφορά μεταξύ των ψωμιών ελέγχου και αυτών που περιείχαν επεξεργασμένο άλευρο στα 200 MPa (Vallons K., 2010).

1.5 Codex Alimentarius

Ο οργανισμός Codex Alimentarius Commission το 2008 έδωσε συγκεκριμένες κατευθύνσεις και οδηγίες για το νομοθετικό πλαίσιο που αφορά τα τρόφιμα

ελεύθερα γλουτένης. Σύμφωνα με το πρότυπο του Codex Alimentarius, ως τρόφιμα GF χαρακτηρίζονται «τα διαιτητικά τρόφιμα α) που αποτελούνται από ή είναι κατασκευασμένα μόνο από 1 ή περισσότερα συστατικά τα οποία δεν περιέχουν σιτάρι, σίκαλη, κριθάρι, βρώμη, ή διασταυρωμένες ποικιλίες τους, και το επίπεδο της γλουτένης δεν υπερβαίνει τα 20 mg / kg συνολικά, με βάση τα τρόφιμα, όπως πωλούνται ή διανέμονται στον καταναλωτή, ή / και β) που αποτελούνται από 1 ή περισσότερα συστατικά από σιτάρι, σίκαλη, κριθάρι, βρώμη, ή διασταυρωμένες ποικιλίες τους, τα οποία έχουν υποβληθεί σε ειδική επεξεργασία για να γίνει απομάκρυνση της γλουτένης και το επίπεδο της γλουτένης δεν υπερβαίνει τα 20 mg / kg συνολικά, με βάση τα τρόφιμα, όπως πωλούνται ή διανέμονται στον καταναλωτή».

Επίσης, με βάση το πρότυπο υπάρχουν και τα τρόφιμα που έχουν υποστεί ειδική επεξεργασία για την μείωση της περιεκτικότητας της γλουτένης σε ένα επίπεδο από 20 έως 100 mg/kg. Τα τρόφιμα αυτά αποτελούνται από 1 ή περισσότερα συστατικά από σιτάρι, σίκαλη, κριθάρι, βρώμη, ή διασταυρωμένες ποικιλίες τους, τα οποία έχουν υποβληθεί σε ειδική επεξεργασία για να μειωθεί η περιεκτικότητα της γλουτένης σε ένα επίπεδο πάνω από 20 έως 100 mg / kg συνολικά, με βάση τα τρόφιμα, όπως πωλούνται ή διανέμονται στον καταναλωτή. Οι αποφάσεις για την εμπορία των συγκεκριμένων προϊόντων μπορούν να προσδιορισθούν ανά εθνικό επίπεδο.

Επιπλέον, τα προϊόντα που καλύπτονται από αυτό το πρότυπο και αντικαθιστούν σημαντικές βασικές τροφές, υποχρεούνται να περιέχουν περίπου την ίδια ποσότητα βιταμινών και ανόργανων ουσιών, όπως τα αρχικά τρόφιμα, και να παρασκευάζονται με ιδιαίτερη φροντίδα με στόχο την αποφυγή μόλυνσης από γλουτένη.

Οι ακόλουθες διατάξεις καθορίστηκαν για την επισήμανση των «προϊόντων ελεύθερων γλουτένης» όπου υποχρεωτικά ο όρος «χωρίς γλουτένη» πρέπει να τυπώνεται σε άμεση γειτνίαση με το όνομα του προϊόντος. Στην περίπτωση των προϊόντων που έχουν μειωμένα επίπεδα γλουτένης, η επισήμανση θα πρέπει να καθορίζεται σε εθνικό επίπεδο. Ωστόσο, τα προϊόντα αυτά, δεν θα πρέπει να ονομάζονται χωρίς γλουτένη. Για τα τρόφιμα, τα οποία από τη φύση τους είναι κατάλληλα για χρήση σε μία δίαιτα ελεύθερη γλουτένης, δεν θα πρέπει να ορίζονται

ως «ειδικά διαιτητικά» ή με οποιονδήποτε άλλο ισοδύναμο όρο. Ωστόσο, αυτή η κατηγορία των τροφίμων μπορεί να φέρει ένδειξη στην επισήμανση ότι « αυτό το προϊόν είναι από τη φύση του ελεύθερο γλουτένης» εφόσον δεν παραπλανά τον καταναλωτή με μία τέτοια δήλωση. Περισσότερες λεπτομέρειες προσδιορίζονται σε εθνικό επίπεδο.

Τέλος, ο ποσοτικός προσδιορισμός της γλουτένης στα τρόφιμα και τα συστατικά ια πρέπει να βασίζεται σε μία ανοσολογική μέθοδο και η μέθοδος αυτή, θα πρέπει να επικυρώνεται και να βαθμονομείται έναντι ενός πιστοποιημένου υλικού αναφοράς, εάν είναι διαθέσιμο. Η ποιοτική ανάλυση που υποδεικνύει την παρουσία γλουτένης πρέπει να βασίζεται στις σχετικές μεθόδους (π.χ. ELISA, μεθόδους που βασίζονται στο DNA) (Codex Standard For Foods For Special Dietary Use For Persons Intolerant to Gluten).

1.6 Χαρουπιά



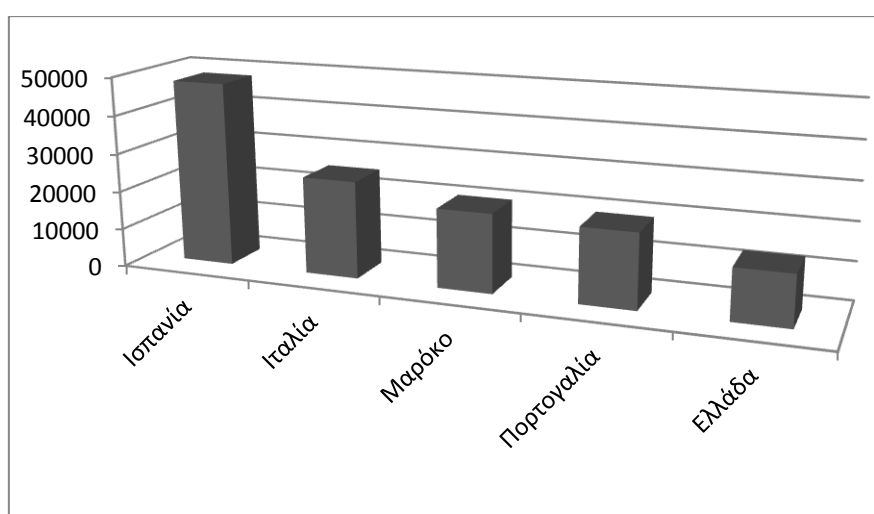
Εικόνα 4: Φύλλα, άνθη και καρποί της χαρουπιάς

Η χαρουπιά (επιστημονικό όνομα Κερατονία ή Κερατέα, λατινικό όνομα *Ceratonía siliqua*) είναι δέντρο αείφυλλο, μόνικο ή δίικο. Είναι γνωστή με το όνομα ξυλοκερατιά, ενώ στην Κύπρο ως «τερατσιά», από την αρχαιοελληνική λέξη κεράτιον, για το χαρούπι. Καλλιεργείται εύκολα και ευδοκμεί σε όλα τα εδάφη, εκτός από τα υγρά και τα άπορα. Η καρποφορία της αρχίζει συνήθως το 6-7 έτος και η ωρίμανση του καρπού διαρκεί σχεδόν ένα χρόνο από το Φθινόπωρο που γίνεται η ανθοφορία μέχρι τα τέλη Αυγούστου που θα αρχίσουν να πέφτουν οι ώριμοι καρποί. Ο καρπός της είναι λοβός πεπλατυσμένος, πράσινου χρώματος όταν είναι άγουρος και ξυλώδης εξωτερικά, καστανού χρώματος όταν είναι ώριμος. Μπορεί να καταναλωθεί κάποιες φορές αποξηραμένος σαν ένα τραγανό, γλυκό σνακ. Η σάρκα του καρπού περιβάλλει μέχρι και είκοσι καστανόχρωμα και πολύ σκληρά φακοειδή σπέρματα, διατεταγμένα κατά μήκος του. Είναι σακχαρώδης και έχει ευχάριστη, γλυκιά γεύση και περιέχει 40-50% διαλυτά σάκχαρα, χαμηλά ποσοστά πρωτεΐνης (8%) και λιπιδίων (0,4-0,8%), ασβέστιο, φώσφορο, σίδηρο και βιταμίνες.

Η χαρουπιά είναι ένα δέντρο που ευδοκμεί κυρίως στην Μεσόγειο και απ ότι φαίνεται από την ιστορία έρχεται στην επικαιρότητα σε περιόδους πολέμων και

λιμών, που η τροφή είναι λειψή και δυσεύρετη. Στην Ελλάδα βρίσκεται αυτοφυής σε πολλές νησιωτικές περιοχές και κυρίως στην Κρήτη αλλά καλλιεργείται και σε φυτώρια για τον καλλωπισμό δρόμων και πάρκων. Στην Κύπρο καλλιεργείται εδώ και χιλιάδες χρόνια, και το 90% της παραγωγής εξάγεται σε διάφορες μορφές (χαρουπάλευρο, ολόκληρος καρπός, χαρουποπυρήνας, αλεσμένα, γόμα σε Ιταλία, Αγγλία, Αμερική, Ισπανία, Αυστραλία, Ιαπωνία, και Αίγυπτο).

1.6.1 Παραγωγή Χαρουπιού



Εικόνα 5: Η παγκόσμια παραγωγή χαρουπιών σε τόνους το 2010 σύμφωνα με δεδομένα της FAO (Πηγή: <http://el.wikipedia.org/wiki>)

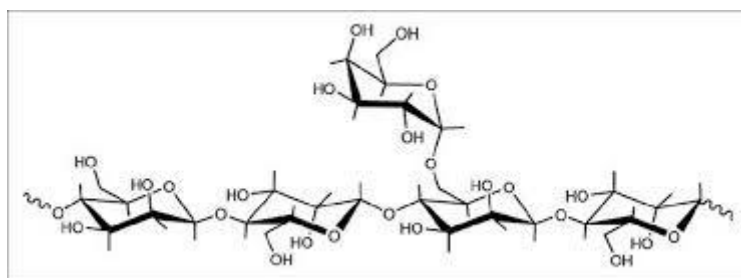
1.6.2 Κόμμα χαρουπιού (LBG)

Οι σπόροι του χαρουπιού αποτελούν περίπου το 10-20% του καρπού. Μπορούν να βρουν χρήση ως υποκατάστατα του καφέ αλλά κυρίως χρησιμοποιούνται σε βιομηχανική κλίμακα για την απομόνωση, από το ενδοσπέρμιο, του σταθεροποιητή κόμμα χαρουπιάς (locust bean gum, LBG) ή γαλακτομαννάνη. Στην ομάδα των πρόσθετων τροφίμων, είναι γνωστός με την ονομασία E 410. Πρόκειται για μία άοσμη σκόνη, λευκού έως υποκίτρινου χρώματος και από άποψη δομής, είναι ένα μακρομόριο που αποτελείται από

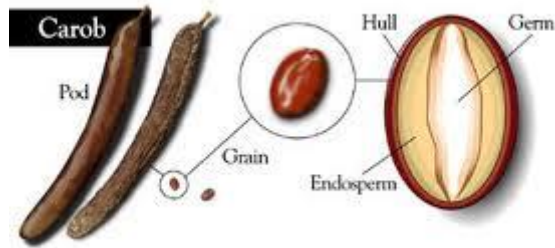
μονάδες μαννόζης ενωμένες μεταξύ τους με (1->4) δεσμό και έχει διακλαδώσεις λόγω σχηματισμού (1->6) δεσμού με μονάδες β-D-γαλακτόζης. Η αναλογία μαννόζη/ γαλακτόζη (M/G), η οποία παίζει πολύ σημαντικό ρόλο στις ρεολογικές ιδιότητες της γαλακτομαννάνης κυμαίνεται από 1 – 4.

Ο σταθεροποιητής αυτός έχει την ικανότητα δημιουργίας διαλυμάτων, ακόμα και σε χαμηλές συγκεντρώσεις, υψηλού ιξώδους και πηγμάτων συνεργιστικά με άλλα κόμμεα. Είναι σχετικά αδιάλυτος σε χαμηλές θερμοκρασίες αλλά αυξάνεται η διαλυτότητα του με θέρμανση. Έχει αξιολογηθεί από τον FDA (Οργανισμός Τροφίμων και Φαρμάκων) ασφαλές για την ανθρώπινη υγεία και βρίσκει χρήση ως πυκνωτικό μέσο σε διάφορα τρόφιμα όπως προϊόντα αρτοποιίας, παγωτά, σάλτσες κ.ά. αλλά βρίσκει εφαρμογή και σε βιομηχανίες υφασμάτων, καλλυντικών ή φαρμάκων.

Κατά την παραλαβή του κόμμεος, προκύπτουν σημαντικές ποσότητες φύτρου (εμβρύου) και θεωρούνται παραπροϊόν. Όμως, το φύτρο του χαρουπιού περιέχει υψηλή συγκέντρωση πρωτεΐνης, γνωστή ως καρουβίνη, όπως την ονόμασαν οι Feillet και Roulland το 1998. Η καρουβίνη αποτελεί ένα μίγμα πρωτεϊνών διαφορετικού μεγέθους και βαθμού πολυμερισμού (Wang et al., 2001). Είναι αδιάλυτη στο νερό και έχει αναφερθεί ότι διαθέτει παρόμοιες ρεολογικές ιδιότητες με τη γλουτένη, αν και η καρουβίνη έχει πιο οργανωμένη δομή. Επιπλέον, η πρωτεΐνη αυτή, μπορεί να αποτελέσει αντικαταστάτη των πρωτεϊνών γάλακτος και σόγιας και εξαιτίας της περιεκτικότητας της σε αμινοξέα αργινίνη και γλουταμίνη, καθίσταται ελκυστική για κατανάλωση από άτομα με αυξημένες διατροφικές ανάγκες, όπως είναι οι αθλητές.



Εικόνα 6: Μακρομόριο κόμμι χαρουπιάς (locust bean gum, LBG) ή γαλακτομαννάνη



Εικόνα 7: Σπόροι χαρουπιάς

1.6.3 Χρήσεις χαρουπιού

Πρόκειται για ένα είδος δασικό, γεωργικό, βιομηχανικό και καλλωπιστικό.

- Το ξύλο της δίνει ξυλάνθρακες αρίστης ποιότητας
- το καρδιόξυλό της χρησιμοποιείται στην επιπλοοία, την ξυλογλυπτική, την τορνευτική και τη βαρελοποία
- ο φλοιός και τα φύλλα της χρησιμοποιούνται στη βυρσοδεψία και τη βαφική
- Τα χαρούπια χρησιμοποιούνται ως ζωτροφή και στη παρασκευή οينوπνευματωδών ποτών
- Τα χαρούπια αλευροποιούνται και χρησιμοποιούνται στη παρασκευή ενός θρεπτικού αλευριού κατάλληλου για βρεφικούς κοιλόπονους και παιδικές γαστρεντερίτιδες
- Από τα σπόρια τους εξάγεται μία κολλώδης ουσία (κόμμι) χρήσιμη στη χαρτοβιομηχανία καθώς και ως στερεωτικό σε διάφορα τρόφιμα.
- Το ξύλο της χαρουπιάς χρησιμοποιείται σε ξύλινες διακοσμήσεις
- Ύστερα από άλεση το αλεύρο της σάρκας μπορεί να χρησιμοποιηθεί και ως υποκατάστατο του κακάο.

1.6.4 Χαρουπόμελο-Χαρουπάλευρο

Βράζοντας τα χαρούπια παρασκευάζεται, από το μέλι που υπάρχει στο εσωτερικό τους, ένα παχύρευστο υγρό, το «χαρουπόμελο», η γεύση του οποίου

θυμίζει σοκολάτα. Το χαρουπόμελο όμως είναι υψηλότερης διατροφικής αξίας σε σχέση με τη σοκολάτα γιατί περιέχει 52 φορές λιγότερο λίπος, δεν έχει οξαλικά οξέα, δεν περιέχει αλλεργιογόνα και καφεΐνη και η γλυκύτητά του οφείλεται σε φυσικά σάκχαρα. Το χαρουπόμελο αποτελεί πλούσια πηγή υδατανθράκων, ασβεστίου, σιδήρου, μαγνησίου, καλίου και ριβοφλαβίνης και έχει χαμηλή περιεκτικότητα σε νάτριο.

Αν αποξηράνουν τους λοβούς του χαρουπιού, αφού αφαιρεθούν οι σπόροι, τους αλέσουν και τους ψήσουν, παράγεται το χαρουπάλευρο (carob flour) ή σκόνη από χαρούπι (carob powder), ένα αλεύρι με ευχάριστη, γλυκιά γεύση που χρησιμοποιείται για την παρασκευή ψωμιού, μπισκότων, κέικ και παξιμαδιών. Το αλεύρι αυτό μπορεί να χρησιμοποιηθεί είτε ως γλυκαντικό μέσο, δηλαδή όπου η συνταγή ζητάει σοκολάτα ή κακάο, το οποίο αντικαθιστάται με την ίδια ακριβώς ποσότητα χαρουπάλευρου ή αντί για ζάχαρη σε ζύμες για κέικ ή κουλούρια, είτε για την παρασκευή αντιδιαρροιακών αντιεμετικών προϊόντων.



Εικόνα 8: Λοβοί χαρουπιού

1.6.5 Χρήσεις Χαρουπάλευρου

Ο δημοφιλέστερος συνδυασμός του χαρουπάλευρου είναι με ταχίνι, μέλι ή σοκολάτα. Ωστόσο, υπάρχουν διάφορες σάλτσες και σιρόπια που περιέχουν χαρουπάλευρο και χρησιμοποιούνται είτε σε αλμυρές πίτες, κρέας, είτε σε γλυκές πίτες, παγωτά αντίστοιχα. Επίσης, κυκλοφορούν τραγανά chips που περιέχουν

χαρουπάλευρο. Επομένως, είναι εύκολο να διαπιστωθεί ότι η χρήση του ποικίλλει και ταιριάζει σε όλες τις διατροφικές συνήθειες.

Επιπλέον, αλεύρι από σπόρους χαρουπιού, μπορεί να χρησιμοποιηθεί και για παρασκευή προϊόντων ελεύθερων γλουτένης. Τα προϊόντα ελεύθερα γλουτένης θεωρούνται μειωμένης διατροφικής αξίας, καθώς στερούνται σημαντικά θρεπτικά συστατικά, όπως βιταμίνες, πρωτεΐνες, μέταλλα και διαιτητικές ίνες, αλλά και είναι λιγότερο γευστικά. Είναι ωφέλιμα, ωστόσο, για ανθρώπους που πάσχουν από διάφορες αλλεργίες καθώς και για αυτούς που ακολουθούν ισορροπημένο διαιτολόγιο. Επομένως, η επιθυμία των καταναλωτών τέτοιων προϊόντων για διαφορετικές, πιο εύγεστες δημιουργίες είναι το κίνητρο για την δημιουργία νέων προϊόντων τα οποία θα περιέχουν χαρουπάλευρο και θα απευθύνονται σε όλους τους καταναλωτές.

1.7 Ρύζι

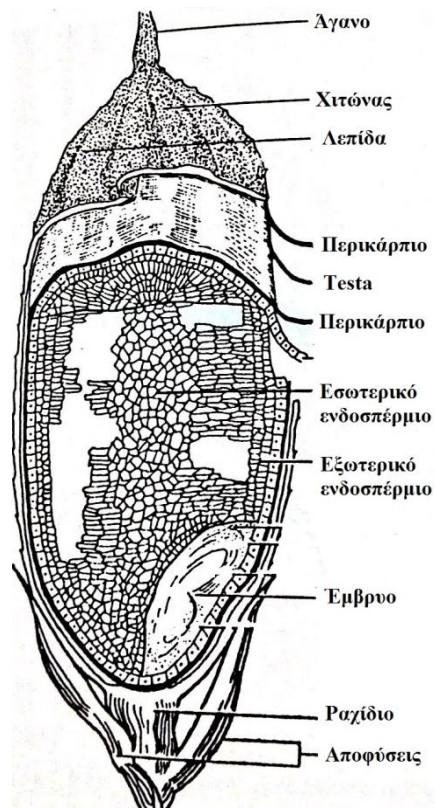


Εικόνα 9: Φύλλα, άνθη και καρποί του ρυζιού

Το ρύζι, με επιστημονικό όνομα *Oryza sativa*, είναι μονοκοτυλήδονο φυτό και ανήκει στην οικογένεια *Gramineae*. Η πρώτη καλλιέργεια του ρυζιού

χρονολογείται γύρω στο 10.000 π.Χ. και εντοπίζεται στις υγρές περιοχές της τροπικής και υποτροπικής Ασίας, πιθανότατα στις Ινδίες, όπου υπάρχει αφθονία άγριων συγγενών ειδών. Από πλευράς καλλιεργούμενων εκτάσεων, το ρύζι αποτελεί το δεύτερο σε σπουδαιότητα σιτηρό μετά το σιτάρι. Από διαιτολογική πλευρά, ωστόσο, είναι το σπουδαιότερο σιτηρό, δεδομένου ότι αποτελεί το κύριο μέσο διατροφής για το 40% περίπου του πληθυσμού της γης. Το 90% των καλλιεργούμενων εκτάσεων βρίσκονται στην Ασία. Κυρίως στη Ν. και ΝΑ. Ασία και την Απω Ανατολή.

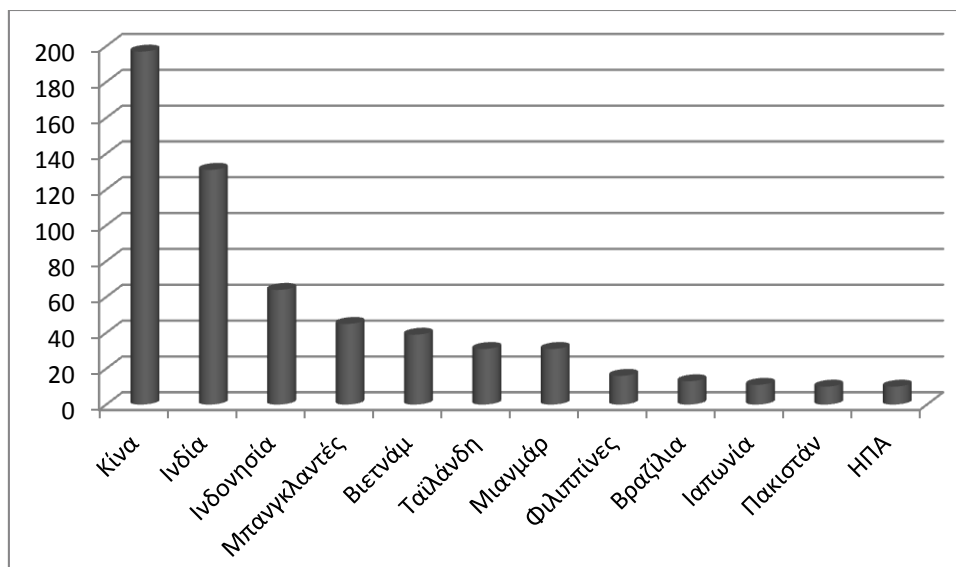
Ο καρπός του ρυζιού περιβάλλεται από τα λεπυρίδια, κάτω από τα οποία υπάρχουν τα περιβλήματα του καρπού που έχουν καστανό χρωματισμό. Στο εσωτερικό του καρπού υπάρχει το στρώμα της αλευρώνης, το αμυλώδες ενδοσπέρμιο και το έμβρυο (Καραμάνος, 1999). Ο καρπός υστερεί σημαντικά σε πρωτεϊνικό περιεχόμενο κάτι που δεν ισχύει στην λιποπερικτικότητα και τα ανόργανα άλατα σε σύγκριση με άλλα δημητριακά. Είναι πλούσιος στις πρωτεΐνες πυριδοξίνη και νιασίνη και οι βιταμίνες Β βρίσκονται στο μεγαλύτερο ποσοστό τους στα πίτυρα. Κατά την κατεργασία του αποφλοιωμένου καρπού, όπου απομακρύνονται τα πίτυρα, μειώνεται το 60-80% των βιταμινών του καρπού. Για τη μείωση της απώλειας αυτής, βρίσκει εφαρμογή μία ειδική τεχνική, κατά την οποία επιτρέπεται η διάχυση μέρους των βιταμινών από τα πίτυρα στο ενδοσπέρμιο. Η κατεργασία αυτή ονομάζεται υδροθερμική κατεργασία. (Καραμάνος, 1999)



Εικόνα 10: Δομή του καρπού του ρυζιού (Καραμάνος, 1999)

Το ρύζι, συνήθως, καλλιεργείται ως ετήσιο φυτό και μπορεί να φτάσει 1-1,8 μέτρα ύψος, ανάλογα την ποικιλία και τη γονιμότητα του εδάφους. Κατάλληλες περιοχές για καλλιέργεια του ρυζιού είναι αυτές με υψηλές βροχοπτώσεις, καθώς απαιτεί άφθονο νερό για να αναπτυχθεί.

1.7.1 Παραγωγή Ρυζιού



Εικόνα 11: Παραγωγή ρυζιού ανά χώρα το 2009 (σε εκατομμύρια μετρικούς τόνους) [Πηγή: Food and Agriculture Organization]

1.7.2 Χρήσεις ρυζιού

Το ρύζι καλλιεργείται αποκλειστικά για παραγωγή καρπού για ανθρώπινη κατανάλωση, ενώ τα υποπροϊόντα της επεξεργασίας του και τα υπολείμματα της καλλιέργειας χρησιμοποιούνται για βιομηχανικές και άλλες χρήσεις. Οι ακέραιοι επεξεργασμένοι καρποί καταναλώνονται με διάφορους τρόπους, είτε μαγειρεμένοι είτε χρησιμοποιούνται για παρασκευή κόκκων, νιφάδων ή άλλων επεξεργασμένων τροφών. Οι σπασμένοι καρποί χρησιμοποιούνται για εξαγωγή αμύλου και για παρασκευή αλκοολούχων ποτών.



Εικόνα 12: Μίξη κόκκινου, άσπρου και καφέ ρυζιού

1.7.3 Ρυζάλευρο

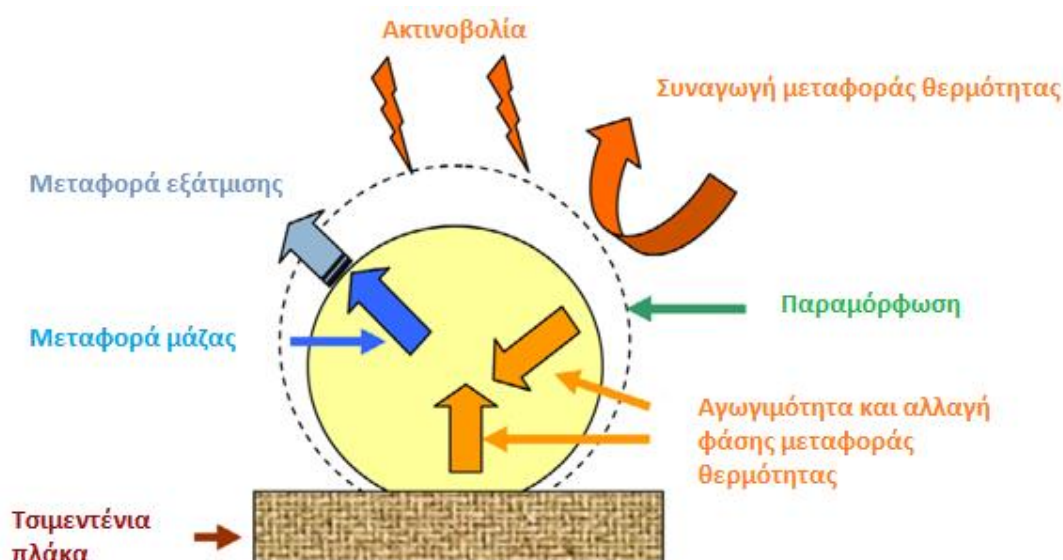
Το αλεύρι του ρυζιού χρησιμοποιείται ευρέως στη ζαχαροπλαστική και γενικότερα στη βιομηχανία τροφίμων. Μπορεί να γίνει είτε από λευκό ή καστανό ρύζι, όπου απομακρύνεται ο φλοιός, λαμβάνεται το ακατέργαστο ρύζι, το οποίο, εν συνεχεία, αλέθεται σε αλεύρι. Παρουσιάζει ήπια γεύση, έχει λευκό χρώμα, διευκολύνει την πέψη και έχει υποαλλεργικές ιδιότητες. Το ρυζάλευρο μπορεί να χρησιμοποιηθεί είτε αποφλοιωμένο είτε αναποφλοιώτο δηλ. με το πίτυρο. Παρά τις θετικές επιδράσεις, κατά την ανάμειξη ρυζάλευρου με νερό, δημιουργείται μια ιξωδοελαστική ζύμη με χαμηλό ειδικό όγκο. Το γεγονός αυτό οφείλεται στο ότι οι κύριες πρωτεΐνες του ρυζιού είναι οι γλουτελίνες (65-85%) ενώ οι προλαμίνες αποτελούν μόνο το 2,5-3,5%, επομένως δεν μπορούν να συγκρατήσουν τα αέρια που δημιουργούνται κατά την ζύμωση. Για το λόγο αυτό, είναι απαραίτητη η παρουσία κάποιου είδους γαλακτωματοποιητή ή ενζύμου για να παραχθεί ζυμάρι με την επιθυμητή ιξωδοελαστικότητα.

1.8 Παρασκευή ψωμιού

Το ψήσιμο είναι το τελευταίο και το πιο σημαντικό βήμα για την παραγωγή του ψωμιού. Ορίζεται ως η διαδικασία που μετασχηματίζεται η ζύμη, που προέρχεται από αλεύρι, νερό και μαγιά, σε ένα τρόφιμο με μοναδικά

οργανοληπτικά χαρακτηριστικά με τη βοήθεια της θερμότητας μέσα στο φούρνο. Κατά τη διάρκεια του ψησίματος πραγματοποιείται μία σειρά από φυσικές και χημικές μεταβολές που παράγονται από την ταυτόχρονη μεταφορά θερμότητας και μάζας.

Ως αντιδράσεις αναφορά, μεταξύ όλων των φυσικών και χημικών μεταβολών που λαμβάνουν χώρα κατά τη διάρκεια του ψησίματος και καθορίζουν την ποιότητα του τελικού προϊόντος, είναι η ζελατινοποίηση του αμύλου και το ρόδισμα.



Εικόνα 13: Διάγραμμα της συσκευής και των μεταφορών που εμφανίζονται κατά τη διάρκεια του ψησίματος.

Αρχικά, κατά τη δημιουργία της ζύμης, αναμιγνύονται το αλεύρι με το νερό, και ενεργοποιούνται οι πρωτεΐνες και το άμυλο του αλευριού, τα οποία αποτελούν τα υγροσκοπικά συστατικά του. Με την ενεργοποίηση αυτή, ξεκινάει η ζύμη να υφίσταται μακροσκοπικές αλλαγές. Η σκόνη του αλευριού που είναι μία κολλώδη υγρή πάστα, εάν το ζύμωμα γίνει σωστά, αποκτά σταδιακά μία λαστιχένια υφή.

Μόλις η ζύμη είναι έτοιμη για ψήσιμο, εισέρχεται στο φούρνο. Εκεί μέσα λαμβάνει χώρα το πιο κρίσιμο σημείο της διαδικασίας, το φούσκωμα της ζύμης. Όσο αυξάνεται η θερμοκρασία, τόσο αυξάνεται ο όγκος του αερίου της ζύμης. Αυτή η τεράστια αύξηση του όγκου, προκαλείται από τις αλλαγές που παρατηρούνται στη

δραστηριότητα της ζύμης, στη διαλυτότητα των αερίων της και στη διαστολή του όγκου των εξατμιζόμενων αερίων. Από την ξαφνική άνοδο της θερμοκρασίας επηρεάζονται και τα συστατικά του αλευριού, δηλαδή μεταβάλλεται η σύνθεση του. Παρατηρούνται αλλαγές στις ρεολογικές ιδιότητες της γλουτένης, αλλά και στις πρωτεΐνες της.

Στα πρώτα στάδια του ψησίματος, ο όγκος του αερίου αποτελείται σχεδόν εξ' ολοκλήρου από CO₂, ενώ το κλάσμα του νερού αυξάνεται με τη θερμοκρασία. Η μεταφορά θερμότητας του αερίου σχετίζεται με τον όγκο του αερίου της αρχικής ζύμης. Αυτό σημαίνει ότι όσο περισσότερο αέριο περιλαμβάνει η ζύμη, τόσο μικρότερος είναι ο χρόνος ψησίματος και τόσο ταχύτερα θα φτάσει τους 100°C το κέντρο της ζύμης. Το διοξείδιο του άνθρακα που βρίσκεται σε διαλυτή μορφή μέσα στη ζύμη, πρέπει να μετατραπεί σε αέριο για να διογκωθεί η ζύμη και να δημιουργηθεί πορώδες. Για να επιτευχθεί αυτή η μετατροπή, πρέπει το διαλυτό διοξείδιο του άνθρακα να διαχέεται στις ήδη υπάρχουσες κυψέλες αέρα της ζύμης, οι οποίες είναι πυρήνες για όλα τα αέρια που θα παραχθούν. Το πορώδες επηρεάζεται με διάφορους τρόπους. Εάν η ζύμη είναι διάτρητη ή γίνει περαιτέρω ανάμειξη, τα μεγάλα κύτταρα αέρα διασπώνται σε μικρότερα. Επίσης, ανάμειξη υπό ελαττωμένη πίεση οδηγεί στο σχηματισμό κυψελών αέρα που μπορούν να διαιρεθούν σε πολλές μικρότερες.

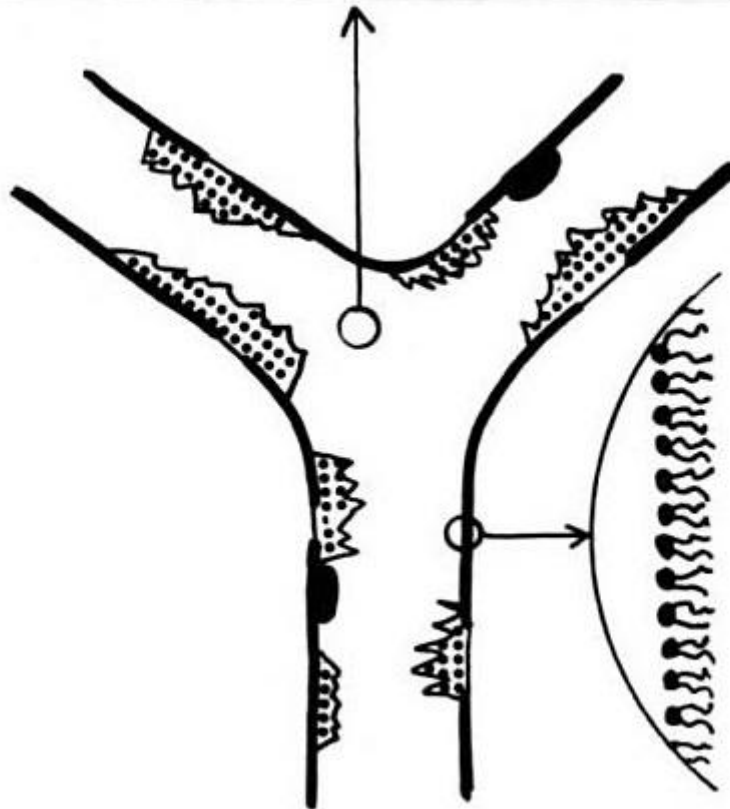
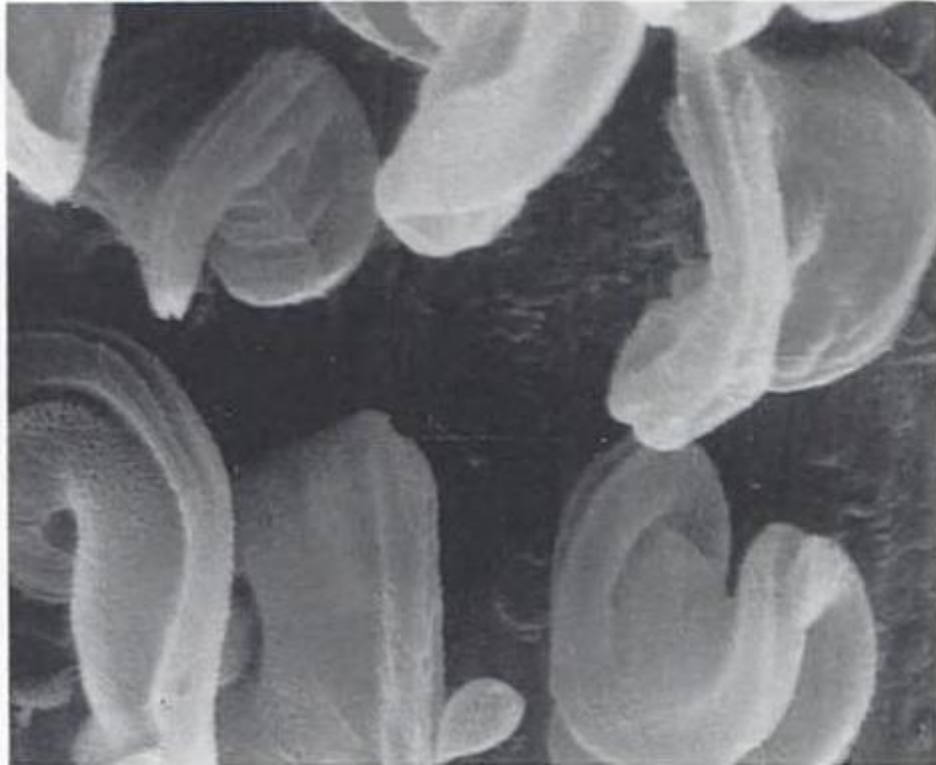
Η εξάτμιση υποτίθεται ότι είναι ο μοναδικός μηχανισμός μεταφοράς μάζας (νερού). Οι διαφορές είναι εμφανείς στην περιεκτικότητα νερού μεταξύ ψίχας και κόρας, με 44,2% νερό στη ψίχα και 15,5% νερό στην κόρα μετά από μία ώρα ψησίματος.

Όταν η θερμοκρασία φτάσει στους 20-40°C, παρατηρείται υψηλή δραστηριότητα της μαγιάς. Περίπου στους 60°C, η δραστηριότητα αυτή σταματά διότι τα κύτταρα της μαγιάς έχουν θανατωθεί από τη θερμότητα. Η παρουσία ζυμώσιμων σακχάρων είναι απαραίτητη για την υποστήριξη της δραστηριότητας της μαγιάς. Στη ζύμη υπάρχουν αυτά τα σάκχαρα, επομένως, η ζύμωση ξεκινάει. Κατά τη διάσπαση του αμύλου με τη βοήθεια ενζύμων, τις αμυλάσες, παράγονται και άλλα σάκχαρα. Ωστόσο, η δραστηριότητα των αμυλασών εξαρτάται από την θερμοκρασία. Οι βέλτιστες θερμοκρασίες για τις α-αμυλάσες είναι 60-66°C και για τις β-αμυλάσες είναι 48-51°C. Οι α-αμυλάσες δρουν κατά την διαδικασία ζελατινοποίησης του

αμύλου όπου λαμβάνει χώρα όταν η θερμοκρασία αυξάνεται στους 60-70°C. Ο χρόνος υδρόλυσης του αμύλου εξαρτάται από το τύπο του αλευριού και το μέγεθος της φραντζόλας.

Η επιβράδυνση του ρυθμού διαστολής του όγκου κυμαίνεται στις θερμοκρασίες 68-80°C, όπου τότε ξεκινάει η ζελατινοποίηση του αμύλου. Κατά τη διάρκεια της διαδικασίας αυτής, εξασφαλίζεται η οργανοληπτική αποδοχή του προϊόντος, καθώς καθορίζει το σχηματισμό της ψίχας. Οι κόκκοι του αμύλου απορροφούν νερό και διογκώνονται με αποτέλεσμα την απότομη αύξηση του ιξώδους, όσο τους επιτρέπει η διαθεσιμότητα του νερού. Με άλλα λόγια, η απώλεια διαστολής οφείλεται στη μεταφορά νερού από την φάση της γλουτένης στη φάση αμύλου-ύδατος. Όταν το ζελατινοποιημένο άμυλο αποθηκευτεί σε χαμηλή θερμοκρασία υφίσταται μπαγιάτεμα, το οποίο προκαλεί κρυστάλλωση της πολυμερούς αλυσίδας. Αυτό οδηγεί στην μειωμένη αποδοχή των προϊόντων αυτών από τους καταναλωτές. Για την αποφυγή την υποβάθμισης της ποιότητας του τελικού προϊόντος έχουν αναπτυχθεί διάφοροι τύποι τροποποιημένων αμύλων, στα οποία μεταβάλλονται οι λειτουργικές τους ιδιότητες για να ικανοποιούν ιδιαίτερες τεχνολογικές απαιτήσεις (σταθερότητα σε έντονες θερμικές επεξεργασίες, αντοχή σε κατάψυξη-απόψυξη, μείωση θερμοκρασίας ζελατινοποίησης κ.ά.). Τα άμυλα αυτά, προκύπτουν από τροποποίηση του πρωτογενούς αμύλου με χημικές ή φυσικές μεθόδους και δεν θα πρέπει να συγχέονται με τα γενετικώς τροποποιημένα συστατικά και τις τεχνολογίες γενετικής τροποποίησης. Παρόλα αυτά, τα φυσικά άμυλα είναι αυτά τα οποία έχουν την μεγαλύτερη απήχηση.

Όταν το ψωμί είναι έτοιμο να βγει από το φούρνο, αποτελείται από την κόρα και τη ψίχα. Η ποσότητα της κόρας που σχηματίζεται εξαρτάται από το χρόνο που παραμένει το ψωμί μέσα στο φούρνο και μπορεί να ανέλθει σε 59% ή και περισσότερο του συνολικού βάρους. Η κύρια διαφορά μεταξύ της ψίχας και της κόρας είναι η διαφορά μεταξύ των θερμοκρασιών που θα επιτευχθούν κατά τη διάρκεια του ψησίματος. Η υψηλή θερμοκρασία στην κόρα προκαλείται από την εξάτμιση του νερού, επομένως η περιεκτικότητα νερού στην κόρα είναι πολύ χαμηλή σε σχέση με εκείνη στην ψίχα.



Εικόνα 14: Τα δομικά στοιχεία των τοιχωμάτων των πόρων που αποτελούν την ψίχα ψωμιού. Το συνεχές πήκτωμα αμύλου απεικονίζεται από ένα μικρογράφημα σάρωσης ηλεκτρονίου (Ann- Charlotte Eliasson, Kare Larsson, 1993).

Το νερό που περιέχεται στην κόρα επηρεάζεται από την απορρόφηση κατά το ψήσιμο. Αν προστεθεί λιγότερο νερό από το βέλτιστο, τότε η περιεκτικότητα του νερού στην κόρα θα είναι μικρή, και αν προστεθεί περισσότερο νερό θα είναι μεγαλύτερη. Επίσης, εξαρτάται και από άλλους παράγοντες όπως είναι το αλάτι, η ζάχαρη ή άλλα συστατικά που θα προστεθούν κατά την παρασκευή της ζύμης. Η υψηλή θερμότητα στην κόρα οδηγεί στην εμφάνιση διάφορων αντιδράσεων, τις οποίες δεν συναντάμε στην ψίχα. Αυτές οι αντιδράσεις όπως είναι οι αντιδράσεις Maillard και οι αντιδράσεις καραμελοποίησης, είναι υπεύθυνες για το χρώμα της κόρας. Η αντίδραση Maillard απαιτεί την παρουσία ενός αναγωγικού σακχάρου (φρουκτόζη, γλυκόζη) και μίας αμινο-ομάδας (λυσίνη). Η αμαύρωση βελτιώνεται με την προσθήκη γάλακτος καθώς οι πρωτεΐνες του σιταριού έχουν χαμηλή περιεκτικότητα σε λυσίνη. Η αντίδραση της καραμελοποίησης περιλαμβάνει τον πολυμερισμό των σακχάρων. Η αυξημένη θερμοκρασία στην περιοχή της κόρας προκαλεί δεξτρίνοποίηση του αμύλου και οι δεξτρίνες που σχηματίζονται, λαμβάνουν μέρος σε άλλες αντιδράσεις. Για την ολοκλήρωση αυτών των αντιδράσεων καταναλώνεται άμυλο. Επομένως, η κόρα έχει χαμηλότερη περιεκτικότητα αμύλου (74,4%) σε σύγκριση με τη ψίχα (75,1%).

Το ρόδισμα, δηλαδή το χρώμα της επιφάνειας του ψωμιού, αποτελεί σημαντικό παράγοντα στην εκτίμηση του καταναλωτή, επομένως χρησιμοποιείται συχνά ως μέτρο για την ολοκλήρωση του ψησίματος. Ωστόσο, διαπιστώθηκε ότι όταν το χρώμα της επιφάνειας χρησιμοποιείται ως σημείο αναφοράς για το τερματισμό της διαδικασίας, υπάρχουν αυξημένες πιθανότητες να μην έχει επιτευχθεί πλήρως το ψήσιμο λόγω ελλιπούς ζελατινοποίησης του αμύλου. Αυτό συμβαίνει επειδή η αμαύρωση και η ζελατινοποίηση του αμύλου έχουν διαφορετικούς ρυθμούς αντίδρασης, γεγονός το οποίο οφείλεται στην αξιολόγηση διαφορετικών θέσεων που υποβάλλονται σε διαδικασίες μεταφοράς μάζας και θερμότητας.

Γενικά, το τελικό στάδιο του ψησίματος καθορίζεται με την αξιολόγηση των οργανοληπτικών χαρακτηριστικών των προϊόντων, δηλαδή με βάση το χρώμα τους στην επιφάνεια, την υφή και τη γεύση τους. Οι παράγοντες αυτοί, διαδραματίζουν βασικό ρόλο της αποδοχής του προϊόντος από τους καταναλωτές αλλά δεν είναι

αντικειμενικοί καθώς επηρεάζονται από τον τύπο αλευριού που χρησιμοποιήθηκε, τα ειδικά πρόσθετα, καθώς και από την τεχνολογία του ψησίματος. Επομένως, είναι δύσκολο να υπάρξει μία συγκεκριμένη μεθοδολογία για τη βελτιστοποίηση και τον έλεγχο της διαδικασίας του ψησίματος (Ann- Charlotte Eliasson, Kare Larsson, 1993).

1.9 Παρασκευή ψωμιού ελεύθερου γλουτένης

Για την παρασκευή ψωμιού ελεύθερου γλουτένης χρησιμοποιούνται άλευρα που δεν περιέχουν γλουτένη, επομένως το αποτέλεσμα είναι η δημιουργία μίας μη αποδεκτής ζύμης. Για να αποτραπεί αυτό, απαιτούνται υψηλότερες ποσότητες νερού. Και με αυτή τη τεχνική όμως, το ζυμάρι που θα παραχθεί θα είναι λιγότερο ελαστικό από το ζυμάρι που θα έδινε το αλεύρι σίτου. Για αυτό το λόγο, κατά το ψήσιμο της ζύμης, χρησιμοποιείται ένα ειδικό σκεύος, με το οποίο ελέγχεται το σχήμα και η εμφάνιση του ψωμιού (Calvin O., 2011). Αυτό είναι απαραίτητο, διότι η απουσία της γλουτένης δημιουργεί μία ζύμη, στην οποία το διοξείδιο του άνθρακα δεν θα παγιδευτεί, λόγω των μη συνεκτικών δομών της και έτσι δεν θα μπορέσει να επεκταθεί.

Το τελικό προϊόν διαφέρει κατά πολύ ποιοτικά από το ψωμί από σίτο. Έχει μειωμένο όγκο, είναι στεγνό και εύθρυπτο, έχει κοκκώδη υφή και χωρίς συνεκτικότητα κρούστα. Επίσης, δεν δίνει ευχάριστη αίσθηση στο στόμα και μπαγιατεύει σε μικρό χρονικό διάστημα.

1.10 Ο ρόλος των υπόλοιπων συστατικών κατά την παραγωγή άρτου

1.10.1 Αλάτι

Το αλάτι διαδραματίζει σημαντικό ρόλο στη διαδικασία παρασκευής άρτου. Αρχικά, καθυστερεί την ενζυμική αποικοδόμηση της γλουτένης, δίνοντας μία ζύμη σφιχτή, με μεγάλο όγκο και μεγαλύτερο χρόνο ζωής. Παράλληλα όμως την ενισχύει,

μειώνοντας τη διαλυτότητα της αλλά αυξάνοντας την συνεκτικότητα και την ελαστικότητά της. Επίσης, το αλάτι συμβάλλει σε μεγάλο βαθμό στην εξαιρετικά επιθυμητή αλμυρή γεύση του ψωμιού και βελτιώνει την συνολική του γεύση, ενισχύοντας τη γεύση των άλλων συστατικών. Γι' αυτό το λόγο, είναι πολύ δύσκολο να αντικατασταθεί.

Εν συνεχεία, ελέγχει τη διαδικασία της ζύμωσης καθώς δρα ανταγωνιστικά ως προς τη μαγιά, και παρεμποδίζει την ανάπτυξη ανεπιθύμητων μικροοργανισμών. Η δράση του σχετίζεται με την ιδιότητα που έχει να απορροφά νερό από τα κύτταρα της μαγιάς, αδρανοποιώντας την εν μέρει, αφήνοντας όμως ανέπαφα τα ένζυμά της. Αποτέλεσμα του περιορισμού της δράσης της μαγιάς είναι η δημιουργία καλύτερου χρώματος κόρας.

Μικρή ποσότητα αλατιού περιέχουν τα περισσότερα αρτοσκευάσματα, ακόμα και αν έχουν γλυκιά γεύση. Ωστόσο, η ποσότητα του πρέπει να είναι συγκεκριμένη γιατί έλλειψη αυτού ή περίσσεια οδηγεί στην παρασκευή προϊόντος με μη επιθυμητά χαρακτηριστικά, τα οποία δεν είναι ελκυστικά από τους καταναλωτές. Η βέλτιστη ποσότητα είναι 2-2,5%.

1.10.2 Ζάχαρη

Η προσθήκη ζάχαρης στο ψωμί επιφέρει πολλά πλεονεκτήματα στα χαρακτηριστικά του τελικού προϊόντος. Αυξάνεται η γλυκύτητα του, βελτιώνεται η υφή του, έχει λευκότερο χρώμα στη ψίχα και διατηρεί την υγρασία του. Επιπλέον, μέσω της αντίδρασης Maillard επιτυγχάνεται καλύτερος χρωματισμός της κόρας αυξάνοντας την αποδοχή από τους καταναλωτές (Cauvain et al., 2003).

Με την παρουσία ζάχαρης παράγεται εύκολα ένα διαθέσιμο υπόστρωμα για τη ζύμωση, καθώς υδρολύεται άμεσα από την εξωτερική ιμβερτάση που παράγουν ζύμες σε δεξτρόζη και φρουκτόζη, δύο σάκχαρα που εν συνεχεία καταναλώνονται από τις ζύμες. Εκτός αυτού, η ζάχαρη έχει άμεση επίδραση στη ζελατινοποίηση του αμύλου και εμποδίζει το σχηματισμό της γλουτένης κατά την ανάμιξη.

Τέλος, επηρεάζει αρνητικά την ενεργότητα του νερού, γεγονός που οδηγεί στην αύξηση της διάρκειας ζωής του προϊόντος και στον περιορισμό ανάπτυξης παθογόνων μικροοργανισμών.

1.10.3 Λίπος (Βιτάμ)

Κατά την παρασκευή της ζύμης είναι απαραίτητη η προσθήκη διάφορων λιπών και ελαίων. Ο ρόλος αυτών των συστατικών είναι η δράση τους ως μονωτικές ουσίες ανάμεσα στη γλουτένη και το νερό, με σκοπό την δημιουργία ελαστικής ζύμης, η οποία είναι εύκολη στο κόψιμο και διατηρείται περισσότερο χρονικό διάστημα. Ακόμα, επιδρούν στη δομή των τελικών προϊόντων με τη δέσμευση αερίων, βοηθώντας στο φούσκωμα και την αύξηση του όγκου του ψωμιού (Cauvain et al., 2003).

Στην αρτοποιία συναντώνται συχνότερα ζωικά λίπη σε αντίθεση με τα φυτικά, λόγω των ιδιαίτερων οργανοληπτικών χαρακτηριστικών που προσδίδουν στα προϊόντα. Το βούτυρο, είναι ένα ζωικό λίπος, που παρ' όλες τις δυσκολίες χρήσεις του, χρησιμοποιείται ευρύτατα στην αρτοποιία.

1.10.4 Μαγιά

Μετά το αλεύρι, η μαγιά είναι από τις σημαντικότερες πρώτες ύλες στην παραγωγή αρτοποιημάτων. Πρόκειται για ένα διογκωτικό μέσο, με το οποίο επιτυγχάνεται με φυσικό τρόπο η διόγκωση της ζύμης. Πιο συγκεκριμένα, η μαγιά είναι ένα είδος μικροοργανισμού με επιστημονική ονομασία *Saccharomyces cerevisiae*, και είναι ο ίδιος που χρησιμοποιείται κατά την παρασκευή των περισσότερων ειδών μπίρας.

Η δράση της μαγιάς είναι να πολλαπλασιάζεται με το οξυγόνο που υπάρχει μέσα στη ζύμη και μόλις αυτό καταναλωθεί, ξεκινάει η ζύμωση. Κατά τη διαδικασία αυτή, είναι απαραίτητη η παρουσία ζυμώσιμων σακχάρων, δηλαδή μονοσακχαρίτες (γλυκόζη και φρουκτόζη) και δισακχαρίτες (σουκρόζη και μαλτόζη), τα οποία βρίσκονται άφθονα στο ζυμάρι. Τα κύτταρα της μαγιάς αυτά τα σάκχαρα και

παράγουν διοξείδιο του άνθρακα και αλκοόλη. Το διοξείδιο του άνθρακα, επειδή δεν μπορεί να απομακρυνθεί από τη μάζα του ζυμαριού, προκαλεί τη διόγκωση αυτού.

Η παρουσία της στη ζύμη του ψωμιού είναι ιδιαίτερα σημαντική γιατί, όπως προαναφέρθηκε, οδηγεί στη διόγκωση του ζυμαριού, αλλά επίσης, βοηθάει στην ανάπτυξη της δομής και της υφής του κατά τη διάρκεια του φουσκώματος. Εκτός αυτού, η γεύση, το άρωμα και η θρεπτική αξία του προϊόντος επηρεάζονται θετικά από τη μαγιά δίνοντας ιδιαίτερα χαρακτηριστικά στο ψωμί.

Η λειτουργικότητα της μαγιάς εξαρτάται άμεσα από τη διάρκεια και τη θερμοκρασία της ωρίμανσης του ζυμαριού, αλλά και το τύπο του ψωμιού. Η ποσότητα της κυμαίνεται περίπου σε 1-2% επί του αλεύρου.

1.10.5 Πρωτεΐνη Γάλακτος

Οι πρωτεΐνες γάλακτος, χάρη στις μοναδικές τους τεχνολογικές ιδιότητες χρησιμοποιούνται ευρύτατα στην επεξεργασία τροφίμων, σε διάφορους κλάδους όπως είναι η αρτοποιία, η ζαχαροπλαστική κ.ά.. Χαρακτηρίζονται από υψηλή διατροφική αξία, καθώς περιέχουν όλα τα απαραίτητα αμινοξέα και έχουν υψηλή λειτουργικότητα. Οι ιδιότητες που προσδίδουν είναι η εξαιρετική διαλυτότητα, η ζελατινοποίηση, η ικανότητα συγκράτησης νερού, η αύξηση ιξώδους και η γαλακτωματοποιητική δράση. Ωστόσο, παρουσιάζονται μεγάλες διαφορές μεταξύ των ιδιοτήτων, όχι μόνο λόγω της σύνθεσης τους αλλά και του τρόπου που γίνεται η επεξεργασία τους (Arendt et al., 2008).

Στα προϊόντα ελεύθερα γλουτένης χρησιμοποιούνται ευρέως, καθώς αντικαθιστούν τη γλουτένη. Η παρουσία τους συντελεί στην αύξηση της περιεκτικότητας των τελικών προϊόντων σε ασβέστιο, πρωτεΐνες και σημαντικά αμινοξέα, όπως είναι η λυσίνη, η μεθιονίνη κ.ά.. Επιπλέον, με την προσθήκη τους, αυξάνεται η ικανότητα απορρόφησης νερού, με αποτέλεσμα να διευκολύνεται ο χειρισμός της ζύμης, περιορίζεται ο ρυθμός μπαγιατέματος και βελτιώνεται το χρώμα της κόρας.

1.10.6 DATEM

Το DATEM είναι ένας γαλακτωματοποιητής που είναι χρήσιμος, κυρίως, στο ψήσιμο των αρτοσκευασμάτων. Αποτελείται από τρυγικό οξύ, μονογλυκερίδια και διγλυκερίδια και χαρακτηρίζεται ως επιφανειοδραστικός παράγοντας.

Έχει την ικανότητα να ενισχύει τη ζύμη αλληλεπιδρώντας με τη γλουτένη ή να συμπλοκοποιεί ζελατινοποιημένα άμυλα. Συγκεκριμένα, σταθεροποιεί την αναμεμιγμένη διεπαφή πρωτεΐνης – λιπιδίων καλύπτοντας εσωτερικά τα κελιά αέρα είτε άμεσα διαμορφώνοντας την επιφανειακή τάση είτε έμμεσα απομονώνοντας ορισμένα συστατικά (π.χ. πρωτεΐνες ή λιπίδια), μετατρέποντας την αναμεμιγμένη διεπαφή σε μια πιο ομογενοποιημένα σταθερή.

Με την παρουσία του, η ζύμη έχει τη δυνατότητα να αντιστέκεται στο υπερβολικό ζύμωμα και τα τελικά προϊόντα εμφανίζουν καλύτερη υφή, αυξημένο όγκο και βελτιωμένη δομή της ψίχας. Χρησιμοποιείται σε ποσότητες περίπου 0,3-1%.

Είναι αναγνωρισμένο ως ασφαλές συστατικό από τον Οργανισμό Τροφίμων και Φαρμάκων (FDA) και έχει πάρει έγκριση από την Ευρωπαϊκή Αρχή για την Ασφάλεια των Τροφίμων για χρήση ως πρόσθετο τροφίμων με την ονομασία E472e.

1.10.7 Νερό

Βασικό συστατικό της συνταγής για την παρασκευή άρτου είναι το νερό, η σημασία του οποίου συχνά παραβλέπεται. Μία ζύμη αποτελείται περίπου από 40% νερό. Το ποσοστό αυτό, όμως, δεν είναι αντικειμενικό, γιατί μεταξύ των διαφορετικών τύπων αλευριών, διαφέρει η αναγκαία ποσότητα του νερού που να είναι ικανή να δημιουργήσει ζύμη με μία καθορισμένη συνοχή.

Το νερό παίζει κυρίαρχο ρόλο σε όλες τις αλληλεπιδράσεις και τις αντιδράσεις που λαμβάνουν χώρα κατά τη διαδικασία του ψήσιματος του ψωμιού, και επιπλέον, επηρεάζει άμεσα τη ρεολογική συμπεριφορά της ζύμης. Συμβάλλει στην ενυδάτωση και τη ζελατινοποίηση του αμύλου, βελτιώνοντας της πέψη του ψωμιού. Επίσης, ευθύνεται για διάλυση της μαγιάς και των άλλων συστατικών,

όπως είναι οι κόκκοι αλατιού, η ζάχαρη, δημιουργώντας ένα ομογενοποιημένο μείγμα. Δημιουργεί ένα υγρό περιβάλλον κατάλληλο για την ανάπτυξη της ενζυματικής δραστηριότητας και της ζύμωσης.

Επειδή το νερό είναι το ευκολότερο συστατικό κατά την αλλαγή της θερμοκρασίας, ο αρτοποιός οφείλει να το χρησιμοποιεί για τον έλεγχο της θερμοκρασίας της ζύμης. Και κατά τη διάρκεια της ανάμιξης, το νερό είναι σημαντικός παράγοντας. Μία ζύμη με καλή συνοχή θα δώσει ένα προϊόν με καλά χαρακτηριστικά, ενώ μία ζύμη αρκετά σκληρή ή μαλακή θα απαιτήσει, κατά τη διάρκεια του ψησίματος, κάποιες ιδιαίτερες προσαρμογές και πιθανώς να θέσει σε κίνδυνο την τελική ποιότητα του προϊόντος.

Στόχος του αρτοποιού είναι να μπορεί να ελέγξει τις κινήσεις του νερού για να κρατήσει τη ζύμη σε καλή κατάσταση. Περίσσεια νερού θα δημιουργήσει κολλώδη ζύμη ενώ απώλεια νερού θα δώσει ξηρή ζύμη, αποτέλεσμα της εξάτμισης του νερού από την επιφάνεια του ζυμαριού.

Σημαντικό ρόλο παίζει και η ποιότητα του νερού που χρησιμοποιείται, επειδή είναι το μέσο που αλληλεπιδρά με όλα τα συστατικά της συνταγής, επηρεάζοντας την τελική υφή, το άρωμα, τη γεύση και τη δομή. Προτιμάται νερό με ήπια σκληρότητα, καθώς τα μεταλλικά του άλατα ενισχύουν τη γλουτένη. Επιπλέον, το pH του νερού είναι σημαντικός παράγοντας για το άρωμα και τη γεύση του ψωμιού. Από μικροβιολογικής άποψης, το νερό δεν πρέπει να περιέχει μικροβιακό φορτίο και να τηρούνται οι προδιαγραφές του πόσιμου νερού.

Τέλος, κατά τη διάρκεια του ψησίματος, από το νερό παράγονται ατμοί που εξασφαλίζουν πιο λαμπερό χρώμα κόρας και καλύτερη τραγανότητα. Επίσης, συμβάλλει στην ζελατινοποίηση του αμύλου, πιο συγκεκριμένα στο μετασχηματισμό της ζύμης σε ψίχα, καθώς μεταναστεύει το νερό από το εξωτερικό των σωματιδίων του αμύλου στο εσωτερικό τους. Η πήξη της γλουτένης οφείλεται στην ξήρανση των αλυσίδων αυτής και, τέλος, κατά την αφυδάτωση της επιφάνειας της ζύμης σχηματίζεται η κόρα.

1.10.8 Αλβουμίνη

Η σκόνη αυγού χρησιμοποιείται σε πολλά τρόφιμα, κυρίως, λόγω της αλβουμίνης που περιέχει, μία πρωτεΐνη που έχει την ικανότητα να ενσωματώνει και να συγκρατεί αέρα βελτιώνοντας το πορώδες. Τα αυγά έχουν μία ιδιαίτερη διατροφική αξία εξαιτίας της ιδανικής ισορροπίας των απαραίτητων αμινοξέων που διαθέτουν. Επομένως, η προσθήκη τους σε τρόφιμα φτωχά σε θρεπτικά συστατικά, όπως τα προϊόντα ελεύθερα γλουτένης, είναι απαραίτητη. Εμπλουτίζουν τα τρόφιμα αυτά, με πρωτεΐνες, με τις απαραίτητες βιταμίνες, με λιπίδια και μέταλλα.

1.10.9 Φυτικές ίνες

Αρκετές μελέτες έχουν δείξει ότι η κατανάλωση φυτικών ινών επιδρά θετικά στην ανθρώπινη υγεία. Αυτό έχει ως συνέπεια, τον εμπλουτισμό αρκετών τροφίμων με φυτικές ίνες, οι οποίες είναι γνωστές και ως κόμμεα. Αποτελούνται από αλυσίδες πολυσακχαριδίων με πολυάριθμες πλευρικές αλυσίδες σακχάρων ή ολιγοσακχαριδίων. Οι φυτικές ίνες αποτελούν τα βρώσιμα τμήματα των φυτών, τα οποία διατηρούνται ύστερα από την απομάκρυνση της πρωτεΐνης, του λίπους και των μη εκχυλίσιμων υλών κατά την χημική ανάλυση των τροφίμων. Η κυτταρίνη, οι ημικυτταρίνες και άλλα συστατικά των κυτταρικών τοιχωμάτων ανήκουν στην ομάδα των φυτικών ινών.

Διακρίνονται στις διαλυτές φυτικές ίνες και στις μη διαλυτές. Οι πρώτες επηρεάζουν την πέψη και την απορρόφηση διάφορων ουσιών στο λεπτό έντρο και συναντώνται στα φρούτα, τα λαχανικά, το κριθάρι, τη βρώμη και τα ξερά φασόλια. Η δεύτερη κατηγορία, έχει πιο ανθεκτικές ίνες στην επίδραση βακτηριδίων με αποτέλεσμα τη δέσμευση νερού στο παχύ έντερο και βρίσκονται στις μη επεξεργασμένες τροφές, όπως είναι το ψωμί ολικής αλέσεως, το πίτουρο του σιταριού και άλλα.

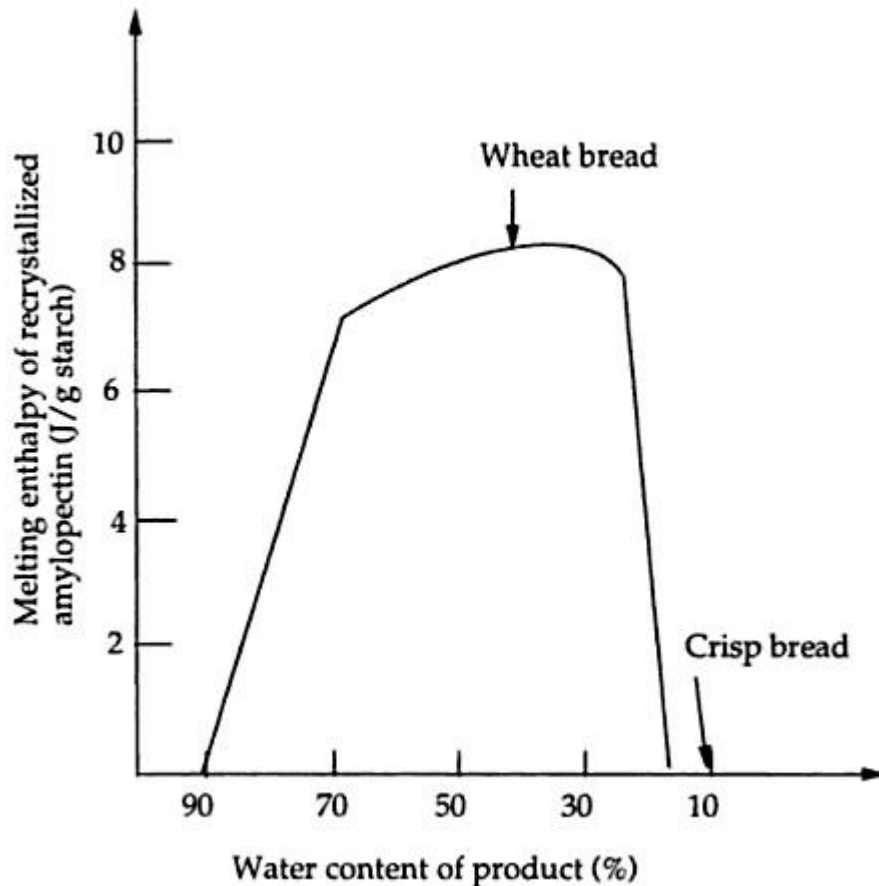
Η καθημερινή τους κατανάλωση κυμαίνεται σε 25-30 gr. Τα θετικά αποτελέσματα στην υγεία του ανθρώπου είναι ότι μειώνουν την εμφάνιση της ασθένειας της χοληδόχου κύστης αλλά και διάφορων καρδιοαναπνευστικών

ασθενειών, ελέγχουν το διαβήτη και προστατεύουν από το καρκίνο του παχέος εντέρου.

Στην αρτοποιία, η κυριότερη πηγή ινών είναι τα πίτουρα δημητριακών. Ωστόσο, χρειάζονται μεγάλες ποσότητες στα προϊόντα για να γίνει εμφανής η ιδιαιτερότητα τους, γεγονός το οποίο επηρεάζει αρνητικά την ποιότητα του ψωμιού. Δημιουργείται υγρή, ανελαστική, μη επιθυμητή ζύμη, η οποία διαθέτει μειωμένη αντοχή και μικρό όγκο. Η ψίχα είναι σκληρή, με μειωμένη ελαστικότητα και παρατηρούνται αλλαγές στη γεύση, που εξαρτώνται από το τύπο ίνας που θα χρησιμοποιηθεί.

1.11 Μπαγιάτεμα

Πολλές έρευνες έχουν οδηγήσει στο συμπέρασμα ότι τα εμπορικά ψωμιά ελεύθερα γλουτένης χαρακτηρίζονται από χαμηλή ποιότητα εξαιτίας της ταχείας έναρξης του μπαγιάτεματος που παρατηρείται. Αυτό το γεγονός φαίνεται να προκαλείται από δύο διαφορετικούς μηχανισμούς. Ο πρώτος είναι η επαναφορά (ανακρυστάλλωση) του αμύλου και ο δεύτερος η μη σωστή κατανομή νερού μεταξύ του αμύλου και της γλουτένης. Οι μελέτες μέχρι σήμερα που αφορούν την υποβάθμιση των ψωμιών εξαιτίας του πρώτου μηχανισμού πλεονεκτούν σε σύγκριση με τη μεταφορά νερού. Έχει παρατηρηθεί ότι η ανακρυστάλλωση του αμύλου επηρεάζεται από την περιεκτικότητα του νερού στο πήκτωμα του αμύλου. Η βέλτιστη περιεκτικότητα σε νερό κυμαίνεται στα 40-50%, όπως φαίνεται στο παρακάτω διάγραμμα. Όσον αφορά τη μεταφορά του νερού, για χρόνια ήταν γνωστό ότι οι αλλαγές που παρατηρούνταν κατά το μπαγιάτεμα του ψωμιού δεν προκαλούνταν από τις απώλειες νερού. Ωστόσο, το μπαγιάτεμα μπορεί να προκληθεί και να αυξηθεί από τις απώλειες νερού κατά την αποθήκευση.



Εικόνα 15: Η επίδραση της περιεκτικότητας νερού κατά την αναδιαμόρφωση της αμυλοπηκτικής. (Longton, J., 1981)

Εκτός από τους δύο προαναφερθέντες μηχανισμούς, υπάρχουν και άλλα αίτια που οδηγούν στο μαγιατέμα του ψωμιού. Λόγω της παρουσίας διαφορετικών ποσοτήτων πρωτεϊνών παρατηρείται αλλαγή στην σταθερότητα του πηγματος της γλουτένης σε σχέση με το χρόνο, και επομένως μειώνεται η ανακρυστάλλωση του αμύλου. Επίσης, οι αλληλεπιδράσεις μεταξύ των συστατικών φαίνεται να επηρεάζουν το μαγιατέμα.

Για την αποφυγή του γρήγορου μαγιατέματος σημαντικό ρόλο έχει η δυνατότητα διατήρησης του ψωμιού σε σωστές θερμοκρασίες αποθήκευσης. Προτιμάται η θερμοκρασία δωματίου ή θερμοκρασία κατάψυξης αντί της θερμοκρασίας ψυγείου. Επιπλέον, η προσθήκη διάφορων συστατικών μπορούν να επηρεάσουν τη διατήρηση του ψωμιού, όπως είναι τα ένζυμα, οι γαλακτωματοποιητές και τα λίπη.

Η χρήση ενζύμων για την επιβράδυνση του μπαγιατέματος είναι κάπως επικίνδυνη, επειδή εάν η ποσότητα είναι υψηλή, η ψίχα του ψωμιού γίνεται κολλώδης λόγω της δημιουργίας δεξτρινών. Η επιρροή των προστιθέμενων ενζύμων σχετίζεται με τη θερμική σταθερότητα τους η οποία αυξάνεται μυκητιακές αμυλάσες < δημητριακά < (βύνη) αμυλάσες < βακτηριακές αμυλάσες. Τα λίπη, από την άλλη μεριά, επιβραδύνουν την ανάπτυξη σκληρότητας κατά τη διάρκεια του μπαγιατέματος. Η προσθήκη 3% λίπους οδηγεί σε επιθυμητά αποτελέσματα αλλά η προσθήκη 0,5% μονογλυκεριδίων μειώνει το μπαγιατέμα περαιτέρω. Επομένως, τα λίπη και τα πολικά λιπίδια επηρεάζουν το μπαγιατέμα με διαφορετικούς μηχανισμούς.

Ορισμένα λιπίδια (π.χ. γαλακτωματοποιητές) προστίθενται στη ζύμη του ψωμιού και επιβραδύνουν το μπαγιατέμα. Όμως, δεν είναι όλα το ίδιο αποτελεσματικά, για παράδειγμα τα μονογλυκερίδια είναι πιο αποτελεσματικά από το DATEM. Και επίσης, για την ολοκληρωμένη επίδραση τους ιδιαίτερη σημασία έχει η φυσική τους κατάσταση. Από μία μελέτη, έχει παρατηρηθεί ότι η μονοπαλμιτική (monopalmitate) έχει τη μεγαλύτερη επίδραση στη βελτίωση του όγκου του καρβελιού και την απαλότητα της ψίχας (Cereals in Breadmaking: A Molecular Colloidal Approach).

1.12 Σκοπός της Μελέτης

Στόχος της παρούσας μελέτης ήταν η επίδραση της κοκκομετρίας του χαρουπάλευρου στις θερμορολογικές ιδιότητες εναιωρημάτων με ρυζάλευρο και στα ποιοτικά χαρακτηριστικά αρτοσκευασμάτων ελεύθερων γλουτένης. Οι θερμορολογικές ιδιότητες του ρυζάλευρου και των μιγμάτων ρυζάλευρου – χαρουπάλευρου προσδιορίστηκαν με χρήση ρεομέτρου. Έπειτα, παρασκευάστηκαν ψωμιά ελεύθερα γλουτένης με μερική υποκατάσταση του ρυζάλευρου με χαρουπάλευρο και προσδιορίστηκαν οι φυσικές τους ιδιότητες με στόχο την επιλογή των καλύτερων άρτων. Οι δύο συνταγές που έδωσαν τα καλύτερα αποτελέσματα, συγκρίθηκαν με εμπορικά ψωμιά μέσω οργανοληπτικού ελέγχου. Σκοπός του οργανοληπτικού ελέγχου ήταν να η εκτίμηση των καταναλωτών για το

εάν τα αρτοσκευάσματα με χαρούπι έχουν την ικανότητα να ανταπεξέλθουν στις προσδοκίες του καταναλωτικού κοινού και της αγοράς.

2. ΥΛΙΚΑ ΚΑΙ ΜΕΘΟΔΟΙ

Οι πρώτες ύλες που χρησιμοποιήθηκαν σε αυτή τη μελέτη ήταν οι εξής:

- Ρυζάλευρο (Μύλοι Καπλανίδη Α. Ε., Σέρρες, Ελλάδα)
- Χαρουπάλευρο (Κύπριοι τοπικοί παραγωγοί)
- Υγρή μαγιά (L'hirondelle, SI Lesaffre, Γαλλία)
- Λίπος (Βιτάμ, Unilever A.E., Αθήνα, Ελλάδα)
- Ζάχαρη
- Αλάτι (Ιωδιούχο αλάτι της θάλασσας, Κάλλας, Ελλάδα)
- Ασπράδι αυγού σε σκόνη (Laffort A.E., Μπορντό, Γαλλία)
- Συμπύκνωμα πρωτεΐνης ορού γάλακτος (Nutrilac®DR-7015, Arla Foods Συστατικά Αμβα-Δανία) με 65g / 100g ελάχιστη περιεκτικότητα σε πρωτεΐνες
 - Γαλακτωματοποιητής (DATEM: Diacetyl-tartaric esters of mono- and diglycerides, Danisco, Κοπεγχάγη)
 - Κόμμι χαρουπιού (LBG) (Sigma-Aldrich Chemie GmbH, Γερμανία)
 - Ένζυμο α-αμυλάσης (VERON CLX AB ένζυμα, Darmstadt, Γερμανία)
 - Νερό βρύσης

Τα άλευρα ελεύθερα γλουτένης που χρησιμοποιήθηκαν για τη δημιουργία εμπορικών ψωμιών ήταν τα εξής:

- Μύλοι Αγίου Γεωργίου (μείγμα από ρυζάλευρο, καλαμποκάλευρο και άμυλο πατάτας)
- Glutanfin (άμυλο σίτου, ίνες ζαχαρότευτλου, κυτταρίνη ΗΡΜC, κόμμι γκουαρ)
- Valriform (Φίτρο καλαμποκιού, ίνες φαγόπυρου, δεξτρόζη καλαμποκιού, αλεύρι, γκουάρ και χαρουπιού)

Οι σπόροι του χαρουπιού ελήφθησαν από Κύπριους τοπικούς παραγωγούς, αλέστηκαν σε εργαστηριακό μύλο και το χαρουπάλευρο που παρασκευάστηκε κοσκινίστηκε. Τα κλάσματα πάνω από 500 μm απορρίφθηκαν. Παρασκευάστηκε το

κλάσμα A ($d_{50}=258,55 \mu\text{m}$), το κλάσμα B ($d_{50}=174,73 \mu\text{m}$) και το κλάσμα C ($d_{50}=126,37 \mu\text{m}$). Τα κλάσματα κάτω των 500 μm πέρασαν από Jet-O-Mizer αλέσματος με πίεση αέρα 8 bar, με σκοπό να επιτευχθεί το εξαιρετικά λεπτό αλεύρι σκόνη (κλάσμα D, $d_{50}=80,36 \mu\text{m}$) (Model 0101S, Fluid Energy Processing and Equipment Company, Telford, Pennsylvania, USA).

Για την παρασκευή των ψωμιών ελεύθερων γλουτένης χρησιμοποιήθηκαν τα εξής όργανα και συσκευές:

- Ηλεκτρονικός ζυγός ακριβείας τεσσάρων δεκαδικών ψηφίων (KERN 770)
- Ηλεκτρονικός ζυγός (Persica 6100 SuperBal-Servis)
- Μηχάνημα ανάδευσης (Hobart N50, Hobart Co., Troy, OH, USA)
- Θάλαμος ελεγχόμενης θερμοκρασίας (Heraeus)
- Φούρνος (Memert)
- Μηχάνημα μέτρησης αντοχής (Universal Testing Machine Instron 1011)
- Scanner (HP scanjet 4370, Hewlett-Packard)
- Ρεόμετρο (DHR3, TA Instruments, USA)
- Μηχάνημα υγρασίας (Gibertini Eurotherm, Italy)

2.1 Διαδικασία παρασκευής ψωμιού ελεύθερο γλουτένης

Η συνταγή που ακολουθήθηκε για τη ζύμη, με βάση το βάρος του αλεύρου, ήταν 6% μαγιά, 4% ασπράδι αυγού σε σκόνη, 4% πρωτεΐνη ορού γάλακτος, 3,5% λίπος, 3% ζάχαρη, 2% αλάτι, 0,5% Datem, 0,5% LBG και 90 mg ενζύμου. Χρησιμοποιήθηκε 15% χαρουπάλευρο και η περιεκτικότητα του νερού που προστέθηκε στη ζύμη υπολογίστηκε από προκαταρκτικά πειράματα και οι διάφορες τιμές για τα 4 κλάσματα του χαρουπιού αναφέρονται στον πίνακα 3. Το αλεύρι του χαρουπιού είναι πλούσιο σε διαιτητικές ίνες και δημιουργεί σφιχτή δομή, η οποία δεν είναι εύκολο να χειριστεί. Γι αυτό το λόγο, κατά την προσθήκη του απαιτείται

μεγάλη ποσότητα νερού, για να είναι πλήρως ενυδατωμένο και να σχηματίζεται ψωμί με αποδεκτή ποιότητα.

Η ανάμειξη όλων των συστατικών πραγματοποιείται στον αναμικτή Hobart, εκτός του λίπους και της μαγιάς. Το λίπος λιώνεται και προστίθενται. Η μαγιά αναμιγνύεται σταδιακά με την ποσότητα του νερού και προστίθεται στο τελικό μείγμα. Στο μίξερ όλα τα συστατικά αναμίχθηκαν για 3 λεπτά σε ταχύτητα 475 rpm. Μικρές φόρμες (20*10*6 cm) επικαλύφθηκαν με ελαιόλαδο και ζυγίστηκαν. Στη συνέχεια, προστέθηκε η ζύμη, ζυγίστηκαν ξανά και καταγράφηκε το αρχικό καθαρό βάρος. Σε προθερμασμένο θάλαμο ελεγχόμενης θερμοκρασίας τοποθετούνται οι φόρμες για 50 λεπτά στους 38°C και ακολουθεί το ψήσιμο σε προθερμασμένο φούρνο στους 180°C για 30 λεπτά. Αφού ολοκληρωθεί το ψήσιμο, αφαιρούνται οι φόρμες. Αφού αποκτήσουν θερμοκρασία δωματίου, ζυγίζονται τα ψωμιά και γίνεται καταγραφή του τελικού βάρους. Έπειτα, τοποθετούνται τα ψωμιά σε σακούλες πολυαιθυλενίου για 24 ώρες πριν γίνει ο προσδιορισμός των φυσικών ιδιοτήτων τους.

Πίνακας 3: Περιεκτικότητα νερού στα κλάσματα του χαρουπιού

Κλάσμα Χαρουπιού	Περιεκτικότητα Νερού (%)
A	150%
B	140%
C	120%
D	130%

2.2 Μέθοδοι

Παρακάτω παρουσιάζονται αναλυτικά οι μέθοδοι και οι μετρήσεις που διεξήχθησαν κατά τη διάρκεια της παρούσας μελέτης.

2.2.1 Προσδιορισμός Απόδοσης

Ως απόδοση ορίζεται η απώλεια υγρασίας (%) κατά το ψήσιμο και ο προσδιορισμός της γίνεται από την εξίσωση:

$$\text{Απόδοση (\%)} = \text{Βάρος ψωμιού (g)} / \text{Βάρος μίγματος (g)} * 100$$

2.2.2 Προσδιορισμός Ικανότητας Συγκράτησης Ύδατος (Water Holding Capacity)

Για τον προσδιορισμό της ικανότητας συγκράτησης νερού των αλεύρων, αρχικά ζυγίστηκαν 0,5 gr αλεύρου μέσα σε δοκιμαστικό σωλήνα και καταγράφεται το βάρος του δείγματος (W_0) και το βάρος τους δείγματος μαζί με το δοκιμαστικό σωλήνα (W_1). Στην συνέχεια, προστίθενται 5 ml απιονισμένου νερού σε κάθε δοκιμαστικό σωλήνα και αναδεύονται στο Vortex για 2' στα 4 Hz. Αφήνονται σε ηρεμία για 30' και έπειτα, φυγοκεντρούνται στις 3500 rpm (90%) για 30'. Αφού ολοκληρωθεί η φυγοκέντρηση, απομακρύνεται το υπερκείμενο υγρό και ζυγίζονται οι σωλήνες με την ενυδατωμένη στερεή μάζα (W_2). Για κάθε δείγμα έγιναν 3 επαναλήψεις.

Ο προσδιορισμός γίνεται με βάση τον παρακάτω τύπο και τα αποτελέσματα εκφράζονται ως g νερού/g στερεού:

$$WHC(\%) = \frac{W_2 - W_1}{W_0} \cdot 100$$

2.2.3 Προσδιορισμός Υγρασίας

Ο προσδιορισμός της υγρασίας των ψωμιών έγινε ξεχωριστά για τη ψίχα και την κόρα. Αρχικά τοποθετήθηκαν γυάλινα φιαλίδια ξήρανσης σε κλίβανο στους 100°C για 5' με σκοπό την απομάκρυνση της υπάρχουσας υγρασίας. Εν συνέχεια, τοποθετήθηκαν σε ξηραντήριο με αφυγραντικό μέσο (P_2O_5) για να κρυσώσουν και σε ένα ζυγό ακριβείας 0,001 ζυγίζονται ώστε να προσδιοριστεί το απόβαρο τους. Κατόπιν, ζυγίζονται 1 g κόρας και ψίχας, αφήνονται για 24 ώρες για να

απομακρυνθεί η περίσσεια υγρασία και μετά ξαναζυγίζονται, αλέθονται σε γουδί και τοποθετούνται στον κλίβανο για ξήρανση μέσα σε γυάλινα φιαλίδια. Αφού περάσουν 5 ώρες αφήνονται τα φιαλίδια να κρυώσουν με αφυγραντικό μέσο (P_2O_5) σε ξηραντήριο και μετέπειτα ζυγίζονται. Η περιεχόμενη υγρασία τους υπολογίζεται από την απώλεια βάρους τους και εκφράζεται % σε ξηρή βάση. Για κάθε δείγμα πραγματοποιούνται 3 επαναλήψεις.

2.2.4 Προσδιορισμός Ειδικού Όγκου

Ο προσδιορισμός του ειδικού όγκου των καρβελιών έγινε με βάση την εμπειρική μέθοδο εκτόπισης μικρών σφαιριδίων. Αρχικά σε δοχείο πλήρως συμπληρωμένο με σφαιρίδια, αφαιρείται κάποια ποσότητα σφαιρών, τοποθετείται το δείγμα στο εσωτερικό και καλύπτεται με όσες σφαίρες χρειαστούν. Ο όγκος του καρβελιού (V_A) προκύπτει από τη διαίρεση του βάρους των σφαιρών που εκτοπίζονται προς την πυκνότητα των σφαιρών. Στη συνέχεια ο όγκος αυτού διαιρείται με το βάρος του κλιβανισμένου δείγματος (B_A) και υπολογίζεται ο ειδικός όγκος (SV) του ψωμιού, όπου εκφράζεται σε cm^3/g προϊόντος.

$$SV = \frac{V_A}{B_A}$$

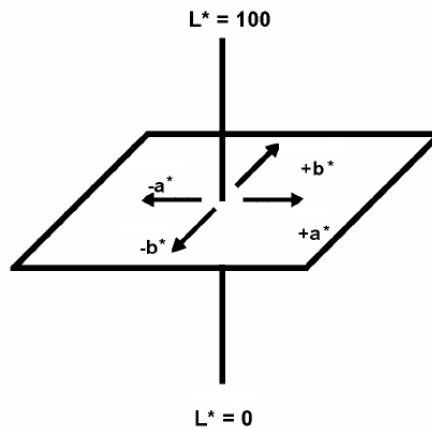
2.2.5 Προσδιορισμός Χρώματος

Ο προσδιορισμός του χρώματος των δειγμάτων γίνεται με τη βοήθεια του χρωματόμετρου “Minolta CR/200” (Minolta Company, Chuo-ku, Osaka, Japan), με το οποίο αποδίδονται οι τιμές των χρωματικών παραμέτρων L^* , a^* , b^* βάσει του συστήματος CIELAB. Η μέτρηση γίνεται σε δύο παρόμοια δείγματα. Η τιμή του χρώματος προκύπτει από τις παρακάτω εξισώσεις:

$$E^* = \sqrt{L^{*2} + a^{*2} + b^{*2}}$$

$$C^* = \sqrt{a^{*2} + b^{*2}}$$

Η φωτεινότητα του χρώματος εκφράζεται με το L^* και τα a^* , b^* είναι οι ορθογώνιες συντεταγμένες του χρώματος. Η θετική τιμή για το a^* υποδεικνύει το κόκκινο χρώμα, ενώ η αρνητική το πράσινο. Η θετική τιμή για το b^* υποδεικνύει το κίτρινο χρώμα, ενώ η αρνητική τιμή το μπλε.



Εικόνα 16: Ανάλυση χρωματικών παραμέτρων συστήματος CIELAB

2.2.6 Προσδιορισμός Υφής

Για τον προσδιορισμό της υφής μετρήθηκε η σκληρότητα και η ελαστικότητα των ψωμιών με τη βοήθεια του οργάνου Instron (American Association of Cereal Chemists, 2000). Τα δείγματα ήταν μεγέθους $2 \times 2 \times 2$ cm.

Η σκληρότητα εκτιμήθηκε με τη μέθοδο 74-09, όπου το δείγμα συμπιέστηκε μέχρι το 50% του αρχικού ύψους του, με έμβολο διαμέτρου 4 cm που κατερχόταν με ταχύτητα 101 mm/s. Η ένδειξη δύναμης του οργάνου (Newton= N), η οποία

αντιπροσωπεύει την σκληρότητα, εκφράζει την αντίσταση της ψίχας στη συμπίεση του εμβόλου. Για τον προσδιορισμό των ιξωδοελαστικών ιδιοτήτων των καρβελιών εφαρμόστηκε μια μονοαξονική συμπίεση διαδεχόμενη από μία φάση ανάπαυσης διάρκειας 4'. Η ελαστικότητα υπολογίστηκε στο 25% συμπίεσης της ψίχας. Οι τιμές της σχετικής ελαστικότητας της ψίχας (η δύναμη με την οποία η ψίχα αντιτίθεται σε καθορισμένες μηχανικές καταπονήσεις κατά τη διάρκεια της συμπίεσης) λαμβάνονται από καθορισμένα διαγράμματα δύναμης-χρόνου. Ο υπολογισμός των δύο αυτών παραμέτρων έγινε σύμφωνα με την εξίσωση:

$$REL\% = (F_{res} / F_{max}) \times 100$$

2.2.7 Προσδιορισμός Πρωτεϊνών

Για τον προσδιορισμό των πρωτεϊνών χρησιμοποιήθηκε η μέθοδος προσδιορισμού του οργανικώς δεσμευμένου αζώτου (N%) κατά Kjeldahl, από τη συγκέντρωση του οποίου υπολογίστηκε η περιεκτικότητα των δειγμάτων σε πρωτεΐνες με τη βοήθεια της σχέσης:

$$\text{Πρωτεΐνες \%} = N\% * 6,25,$$

όπου 6,25 ο γενικός συντελεστής μετατροπής σε πρωτεΐνες του οργανικού αζώτου των τροφίμων.

Για κάθε δείγμα έγιναν 2 επαναλήψεις.

2.2.8 Προσδιορισμός Τέφρας

Για τον προσδιορισμό της τέφρας χρησιμοποιήθηκαν αποστειρωμένα καψίδια, στα οποία ζυγίστηκαν 4 γραμμάρια από κάθε δείγμα, τοποθετήθηκαν σε πυραντήριο και παρέμειναν εκεί μέχρι να σταματήσει να βγαίνει καπνός. Στη συνέχεια, ακολούθησε καύση στους 900°C για 4 ώρες μέχρι να αποκτηθεί σταθερό βάρος. Η περιεχόμενη τέφρα τους υπολογίζεται από την απώλεια βάρους τους και

εκφράζεται % σε ξηρή βάση με αφαίρεση της περιεχόμενης υγρασίας. Για κάθε δείγμα πραγματοποιούνται 2 επαναλήψεις.

2.2.9 Προσδιορισμός Αδιάλυτων και Συνολικών Ινών

Για το προσδιορισμό των ινών αρχικά ζυγίστηκαν 0,5 g κάθε δείγματος εις διπλούν, όπου προστέθηκαν 20ml MES/TRIS 0,05M pH 8,2 και 100 μl α-amylase και εν συνεχεία τοποθετήθηκαν στο υδατόλουτρο για 35' για 95°C. Έπειτα, προστέθηκαν 50 μl Alcalase 2,4 FG και ξανατοποθετήθηκαν στο υδατόλουτρο στους 60°C για 30'. Στη συνέχεια, προστέθηκαν 2,5ml HCl 0,561N και με το πεχάμετρο ρυθμίστηκε το pH κάθε διαλύματος να κυμαίνεται μεταξύ 4,1 με 4,8. Προστέθηκαν 150 μl του διαλύματος 1 mg AMG/ 1 ml MES/TRIS και επανατοποθετήθηκαν σε υδατόλουτρο στους 60°C για 30'.

Το ένα δείγμα χρησιμοποιήθηκε για τον προσδιορισμό των αδιάλυτων ινών. Ακολούθησε διήθηση, όπου το δείγμα ξεπλύθηκε με 5 ml ζεστό νερό (70°C), 5 ml αιθανόλης 95% και 5 ml ακετόνης, όλα εις διπλούν. Το άλλο δείγμα χρησιμοποιήθηκε για τον προσδιορισμό των συνολικών ινών, όπου αφού του προστέθηκαν 92,1 ml αιθανόλης 95%, αφέθηκε για καταβύθιση σε θερμοκρασία περιβάλλοντος για μία ώρα. Ακολούθησε διήθηση, όπου ξεπλύθηκε το δείγμα με 7,5 ml αιθανόλη 78%, 7,5 ml αιθανόλη 95% και 7,5 ml ακετόνη, διαδοχικά, εις διπλούν. Για κάθε δείγμα πραγματοποιήθηκαν 2 επαναλήψεις.

2.2.10 Προσδιορισμός Γλυκαιμικού Δείκτη

Για τον προσδιορισμό του γλυκαιμικού δείκτη ζυγίστηκαν 0,1 g δείγματος, στα οποία αφού προστέθηκαν 4 ml AM (0,03gr RS-AM/ 10 ml Maleato for Kinetics), τοποθετήθηκαν σε υδατόλουτρο στους 37°C. Σε μπάφερ, ανά συγκεκριμένες χρονικές στιγμές για τις επόμενες 3 ώρες, τοποθετούνταν 200 μl του διαλύματος και έπειτα γινόταν προσθήκη 200 μl αιθανόλης 96%. Μετά το πέρας των 3 ωρών, τα μπάφερ φυγοκεντρήθηκαν για 5', στους 4°C και σε νέα μπάφερ προστέθηκαν 100 μl δείγματος, 850 μl NaAc pH 4,5 και 50 μl AMG II. Από τα μπάφερ αυτά, αφού πρώτα

παρέμειναν στους 50°C για 30', σε microplates τοποθετήθηκαν 10 μl του διαλύματος τους και εν συνεχεία, προστέθηκαν 250 μl GOPOD. Τα microplates παρέμειναν για 20' στους 50°C και έπειτα πήραμε τα αποτελέσματα από το φωτόμετρο. Για κάθε δείγμα έγιναν 2 επαναλήψεις.

2.2.11 Προσδιορισμός Εύπεπτου Αμύλου και Ανθεκτικού Αμύλου

Για τον προσδιορισμό του εύπεπτου και του ανθεκτικού αμύλου, ζυγίστηκαν 0,1 gr δείγματος, τους προστέθηκαν 2 ml αιθανόλης 80% και παρέμειναν για 5' σε υδατόλουτρο στους 85°C. Εν συνεχεία, φυγοκεντρήθηκαν για 10' στους 4°C, και στο ίζημα που προέκυψε, προστέθηκαν 4 ml AM. Αφού παρέμειναν τα δείγματα στους 37°C για 16 ώρες, τους προστέθηκαν 4 ml αιθανόλης 96%, φυγοκεντρήθηκαν για 5' στους 4 °C. Διαχωρίστηκε υγρό από ίζημα, προστέθηκαν στο ίζημα 4 ml αιθανόλης 50% και πραγματοποιήθηκε ξανά φυγοκέντρηση.

Σε μπάφερ, προστέθηκαν 100 μl του υγρού που προέκυψαν από τη φυγοκέντρηση μαζί με 850 μl NaAc pH 4,5 και 50 μl AMG I. Παρέμειναν στο φούρνο για 30' στους 50 °C και έπειτα, 10μl από το διάλυμα κάθε μπάφερ τοποθετήθηκε σε microplates με 250 μl GOPOD. Τα microplates παρέμειναν για 20' στους 50°C και έπειτα πήραμε τα αποτελέσματα από το φωτόμετρο. Με τη μέθοδο αυτή έγινε προσδιορισμός του εύπεπτου αμύλου. Για κάθε δείγμα έγιναν 2 επαναλήψεις.

Στο ίζημα που προήλθε από την φυγοκέντρηση, προστέθηκαν 2ml KOH, και αφού ομογενοποιήθηκε το διάλυμα, προστέθηκαν 8 ml AcNa pH 3,8 και 0,1 ml AMG. Τα διαλύματα παρέμειναν σε θερμοκρασία 50 °C για 30', έπειτα φυγοκεντρήθηκαν για 10' στους 4°C και μετά τοποθετήθηκαν 10 μl από τα διαλύματα σε microplates με προσθήκη 250 μl GOPOD. Τα microplates παρέμειναν για 20' στους 50°C και έπειτα πήραμε τα αποτελέσματα από το φωτόμετρο. Με τη μέθοδο αυτή έγινε προσδιορισμός του ανθεκτικού αμύλου. Για κάθε δείγμα έγιναν 2 επαναλήψεις.

2.2.12 Εκτίμηση Των Οργανοληπτικών Χαρακτηριστικών

Στις 17.03.2015 έλαβε χώρα ο οργανοληπτικός έλεγχος των ψωμιών ελεύθερων γλουτένης στο εργαστήριο Μηχανικής Τροφίμων, Τμήμα Επιστήμης Τροφίμων & Διατροφής του Ανθρώπου. Ο έλεγχος έγινε μεταξύ πέντε ψωμιών, των εμπορικών και των ψωμιών από χαρουπάλευρο από το κλάσμα Α και D, καθώς είχαν τα καλύτερα χαρακτηριστικά από τις υπόλοιπες μετρήσεις.

Στους καταναλωτές δόθηκαν φέτες πάχους 2 cm από το κέντρο των καρβελιών, οι οποίες είχαν αρχικά κωδικοποιηθεί με τυχαίους τριψήφιους κωδικούς. Μεταξύ των διαδοχικών δοκιμών, οι καταναλωτές ξέπλεναν το στόμα τους με εμφιαλωμένο νερό για να ουδετεροποιήσουν τους υποδοχείς της γλώσσας. Οι 45 καταναλωτές εκτίμησαν και βαθμολόγησαν τα δείγματα με χρήση 9-βάθμιας κλίμακας (1-9) , όπου 1: δεν μου άρεσε καθόλου, 9: μου άρεσε πάρα πολύ, σε ειδικά έντυπα οργανοληπτικού ελέγχου που δημιουργήθηκαν για αυτό το σκοπό. Στο κάτω μέρος των εντύπων αυτών, ο καταναλωτής είχε τη δυνατότητα να γράψει τις προσωπικές του κρίσεις, όπου αυτός έκρινε ότι είναι απαραίτητο και δεν τον κάλυπταν οι αναφερόμενες ερωτήσεις. Οι παράγοντες που μελετήθηκαν ήταν οι εξής:

- Εξωτερική εμφάνιση
- Χρώμα
- Γεύση
- Άρωμα
- Υφή της ψίχας
- Συνολική αποδοχή

2.2.13 Θερμορρολογικές ιδιότητες μιγμάτων αλεύρων

Οι θερμορρολογικές ιδιότητες του ρυζάλευρου και των μιγμάτων ρυζάλευρου – χαρουπάλευρου προσδιορίστηκαν με χρήση ρεομέτρου (DHR3, TA Instruments, Η.Π.Α), εξοπλισμένου με γεωμετρία μέτρησης θερμορρολογικών

ιδιοτήτων (Starch Pasting Cell). Η γεωμετρία μέτρησης των ιδιοτήτων pasting των αλεύρων αποτελείται από ένα έμβολο πτερωτής και ένα κυλινδρικό δοχείο (3.6 cm πλάτος και 6.4 cm ύψος). Το έμβολο είναι σχεδιασμένο να εφαρμόζει πλήρως στο δοχείο αποτρέποντας την απώλεια θερμότητας. Η θέρμανση του δείγματος γίνεται μέσω ηλεκτρικού κυκλώματος, το οποίο περιβάλλει το δοχείο, ενώ η ψύξη μέσω κυκλοφορίας νερού.

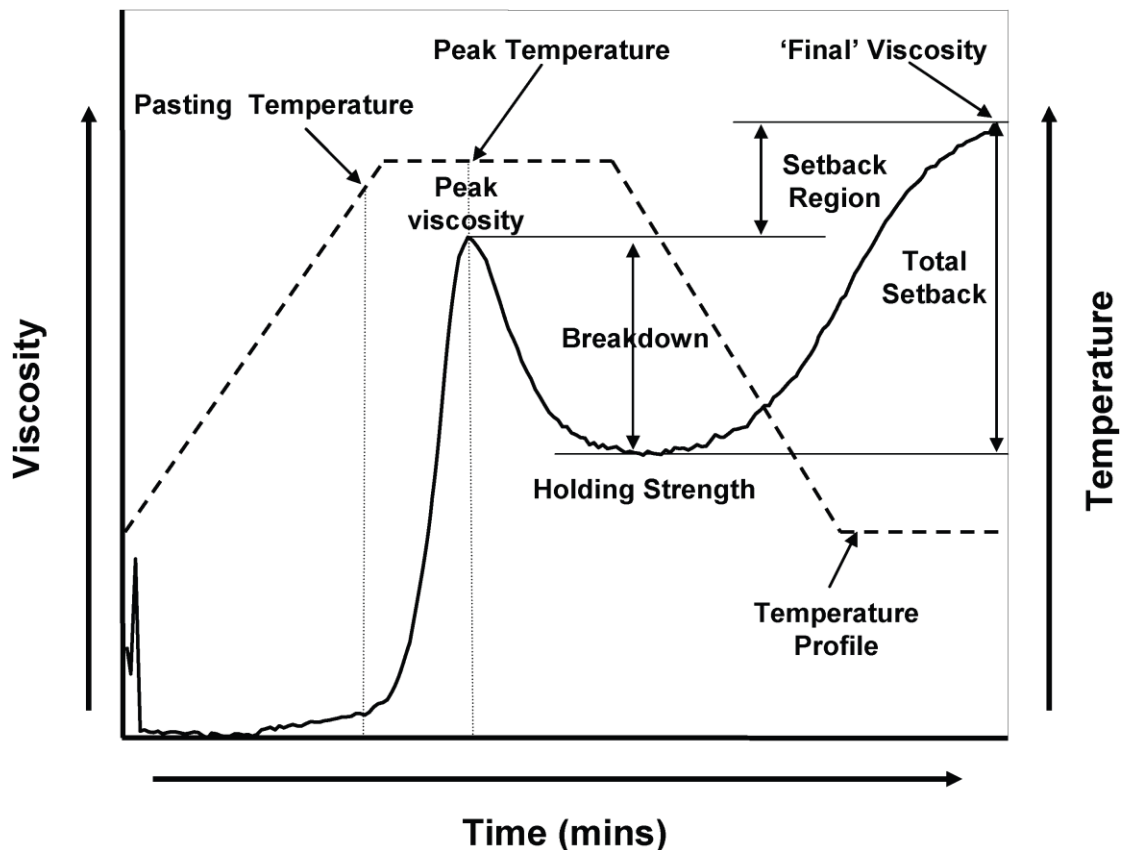
Η πειραματική διαδικασία που ακολουθήθηκε περιλάμβανε την διασπορά των αλεύρων σε νερό (6% w/w), και 25 g διαλύματος τοποθετούνταν στο κυλινδρικό δοχείο σε θερμοκρασία 30 °C. Αρχικά έγινε έντονη ανάδευση του δείγματος (100 s^{-1}) για 10 s, ενώ κατόπιν ο ρυθμός διάτμησης ρυθμίστηκε στα 10 s^{-1} μέχρι το τέλος του πειράματος. Το δείγμα θερμάνθηκε από τους 30° έως τους 95 °C με ρυθμό 10 °C/min, κατόπιν η θερμοκρασία διατηρήθηκε στους 95 °C για 5 min. Ακολούθησε ψύξη του δείγματος στους 30 °C με 10 °C/min και διατήρηση στους 30 °C για 5 min.

Στην εικόνα 14, παρουσιάζεται η τυπική καμπύλη ιξώδους ως προς το χρόνο, όπου αναλύεται η συγκόλληση των προφίλ ιξώδους. Η καμπύλη, αυτή, περιγράφει ένα φαινόμενο που λαμβάνει χώρα μετά τη ζελατινοποίηση, και περιλαμβάνει τη διόγκωση των κόκκων, την έκχυση αμυλόζης και αμυλοπηκτίνης και την συνολική διάσπαση των κόκκων αμύλου. Το φαινόμενο αυτό καλείται συγκόλληση.

Στην παρούσα μελέτη, έγινε καταγραφή των δεδομένων του ιξώδους ως προς το χρόνο και υπολογίστηκαν οι εξής παράμετροι:

- η θερμοκρασία σχηματισμού πάστας (pasting temperature), που είναι το σημείο όπου η θερμοκρασία ανεβαίνει πάνω από τη θερμοκρασία ζελατινοποίησης, οι κόκκοι αμύλου διογκώνονται καταλήγοντας σε αυξημένο ιξώδες
- το μέγιστο ιξώδες-PV (peak viscosity), υποδεικνύει το μέγιστο ιξώδες που επιτεύχθηκε κατά τη διάρκεια της θέρμανσης και είναι ενδεικτική για την ικανότητα της συγκράτησης του νερού του αμύλου
- το ιξώδες θερμής πάστας – HPV, ιξώδες στο τέλος της ισοθερμοκρασιακής περιόδου θέρμανσης των 95 °C,

- το τελικό ιώδες- CPV, ιώδες στο τέλος της ισοθερμοκρασιακής περιόδου θέρμανσης των 30 °C
- ο σχετικός δείκτης αναδιάταξης του αμούλου (setback) (CPV-HPV/HPV).



Εικόνα 17: Τυπική καμπύλη ιώδους ως προς το χρόνο και με μεταβολή της θερμοκρασίας.

2.3 Στατιστική Ανάλυση

Για τον έλεγχο των διαφορών των μέσων όρων των ιδιοτήτων εφαρμόστηκε το κριτήριο Fisher's LSD, όπου στατιστικά σημαντικές διαφορές σημειώνονται για p-value < 0.05. Η στατιστική επεξεργασία των δεδομένων έγινε με το πρόγραμμα

Statgraphics Statistical Graphics System, Centurion XV.II (Statgraphics, Rockville, Md., H.П.A).

3. ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ

Σε αυτό το κεφάλαιο παρουσιάζονται τα αποτελέσματα των μετρήσεων των ποιοτικών χαρακτηριστικών των τελικών προϊόντων ψωμιού χωρίς γλουτένη. Πιο συγκεκριμένα, παρουσιάζονται τα αποτελέσματα της χημικής ανάλυσης και των λειτουργικών ιδιοτήτων των ψωμιών, των μετρήσεων της σκληρότητας, της ελαστικότητας, του ειδικού όγκου, της υγρασίας, του χρώματος και του επιφανειακού πορώδους. Επιπλέον, μελετώνται και τα αποτελέσματα του οργανοληπτικού ελέγχου και των ρεολογικών χαρακτηριστικών των ψωμιών.

Για καλύτερη παρουσίαση των αποτελεσμάτων τα δείγματα που μελετήθηκαν είναι κωδικοποιημένα, όπως φαίνεται στον παρακάτω πίνακα:

Πίνακας 4 : Κωδικοποίηση δειγμάτων

Κωδικός	ΔΕΙΓΜΑ
Rice	Ρυζάλευρο
Carob A	Χαρουπάλευρο ($d_{50}= 258.55 \mu\text{m}$)
Carob B	Χαρουπάλευρο ($d_{50}= 174. 73 \mu\text{m}$)
Carob C	Χαρουπάλευρο ($d_{50}= 126.37 \mu\text{m}$)
Carob D	Χαρουπάλευρο ($d_{50}= 80.36 \mu\text{m}$)
N1	Μύλοι Αγίου Γεωργίου
N2	Glutanfin
N3	Valpiform

3.1 Ρεολογικά Χαρακτηριστικά

Πίνακας 5: Θερμορεολογικά αποτελέσματα.

Δείγματα/Παράμετροι	GT	PV	HPV	CPV	(CPV-HPV)/CVP
Rice	65,05	407,5($\pm 0,03$)e	393,03($\pm 0,03$)d	1008,56($\pm 0,06$)bcd	610,31($\pm 5,08$)c
5% carob a	66,68	414,95($\pm 0,02$)ef	501,96($\pm 0,01$)e	1280,65($\pm 0,02$)def	608,05($\pm 4,28$)c

10% carob a	66,68	444,91($\pm 0,02$)efg	623,74($\pm 0,02$)f	1616,96($\pm 0,02$)f	614,25($\pm 4,33$)c
15% carob a	66,68	507,28($\pm 0,02$)g	789,74($\pm 0,02$)g	2023,6($\pm 0,05$)g	609,73($\pm 2,21$)c
5% carob b	66,69	451,6($\pm 0,02$)efg	482,52($\pm 0,02$)e	1178,26($\pm 0,03$)cde	590,48($\pm 3,40$)b
10% carob b	66,69	476,03($\pm 0,02$)fg	523,03($\pm 0,01$)e	1270,67($\pm 0,03$)def	588,38($\pm 0,77$)ab
15% carob b	65,07	575,15($\pm 0,08$)h	626,95($\pm 0,07$)f	1499,56($\pm 0,03$)ef	581,91($\pm 4,24$)a
5% carob c	75,04	111,01($\pm 0,01$)ab	159,22($\pm 0,01$)a	528,73($\pm 0,02$)a	698,87($\pm 1,82$)e
10% carob c	71,64	156,06($\pm 0,01$)bc	250,66($\pm 0,02$)bc	817,23($\pm 0,05$)abc	693,28($\pm 0,66$)e
15% carob c	68,39	254,36($\pm 0,00$)d	376,45($\pm 0,01$)d	1196,25($\pm 0,03$)cde	685,31($\pm 1,10$)d
5% carob d	73,39	91,88($\pm 0,01$)a	182,83($\pm 0,01$)ab	650,9($\pm 0,04$)ab	719,11($\pm 0,26$)f
10% carob d	68,39	132,17($\pm 0,02$)abc	276,18($\pm 0,04$)c	1024,13($\pm 0,15$)bcd	730,33($\pm 0,90$)g
15% carob d	70,03	176,62($\pm 0,03$)c	364,02($\pm 0,07$)d	1332,35($\pm 0,23$)def	726,78($\pm 6,19$)g

(Μέσος όρος \pm S.E., n=13). Οι μέσοι όροι που ακολουθούνται από το ίδιο γράμμα δεν διαφέρουν σημαντικά ($P \leq 0,05$).

Οι τιμές GT, σύμφωνα με τη βιβλιογραφία, αναμένεται να κυμαίνονται μεταξύ 65-75°C. Παρατηρείται ότι και στα τρία δείγματα του αλευριού με τη μεγαλύτερη κοκκομετρία, η θερμοκρασία κατά την οποία αυξάνεται το ιξώδες, συμπίπτει και είναι στους 66,679°C. Και στις τρεις διαφορετικές συγκεντρώσεις χαρουπάλευρου από το carob B η θερμοκρασία δεν ξεπερνάει τους 66,6°C. Στις μικρότερες κοκκομετρίες χαρουπάλευρου το ιξώδες αυξάνεται σε λίγο υψηλότερες θερμοκρασίες. Επομένως παρατηρείται ότι όσο μειώνεται η κοκκομετρία του αλευριού αυξάνεται η θερμοκρασία κατά την οποία ξεκινά αύξηση του ιξώδους.

Όσον αφορά τη μεγαλύτερη τιμή του ιξώδους κατά τη διάρκεια της θέρμανσης, παρατηρείται ότι όσο αυξάνεται η συγκέντρωση του χαρουπάλευρου τόσο αυξάνεται και η τιμή του ιξώδους και στις 4 διαφορετικές κοκκομετρίες. Μεταξύ των κοκκομετριών, στο carob B με συγκέντρωση 15% παρατηρείται η υψηλότερη τιμή του ιξώδους και γενικά παρουσιάζεται μία αύξηση στα μεγαλόκκοκα άλευρα. Αντίθετα, στα μικρότερης κοκκομετρίας άλευρα, η τιμές του ιξώδους είναι χαμηλές.

Και στο τέλος της ισοθερμικής περιόδου στους 90°C και στους 30°C παρατηρείται αύξηση της τιμής του ιξώδους όσο αυξάνεται η συγκέντρωση του χαρουπιού και στις 4 διαφορετικές κοκκομετρίες. Αυτό μπορεί να ερμηνευτεί ως αποτέλεσμα της υψηλότερης συγκέντρωσης του σταθεροποιητή του χαρουπιού (locust bean gum), που οδηγεί σε αύξηση του ιξώδους. Μεταξύ των διαφορετικών κοκκομετριών, η μεγαλύτερη κοκκομετρία έχει τις υψηλότερες τιμές ιξώδους, οι οποίες μειώνονται συναρτήσει της κοκκομετρίας.

Τέλος, η παράμετρος (CPV-HPV)/CPV, γνωστή και ως δείκτης αναδιαμόρφωσης του αμύλου, είχε υψηλότερες τιμές στα πιο λεπτόκοκκα κλάσματα (C, D). Αυτό πιθανότατα σημαίνει ότι όσο πιο λεπτόκοκκο το αλεύρι τόσο περισσότερο αναδιαμορφώνεται το άμυλο.

3.2 Χημική Ανάλυση-Λειτουργικές Ιδιότητες

3.2.1 Προσδιορισμός Ικανότητας Συγκράτησης Νερού

Από τον πίνακα 6, παρατηρείται ότι την υψηλότερη ικανότητα συγκράτησης νερού την παρουσιάζει το πιο λεπτόκοκκο αλεύρι (κλάσμα D), ακολουθεί το αλεύρι κλάσματος A και τέλος, χωρίς σημαντικές στατιστικές διαφορές το άλλα δύο κλάσματα χαρουπάλευρου. Τα αποτελέσματα αυτά, πιθανότατα οφείλονται στην χημική σύσταση των αλευριών. Όσον αφορά το κλάσμα A, από τις αναλύσεις που ακολουθούν, έχει παρατηρηθεί ότι έχει υψηλότερη περιεκτικότητα σε ίνες από ότι σε πρωτεΐνες. Επομένως, η υψηλή ικανότητα συγκράτησης νερού, οφείλεται στην αυξημένη περιεκτικότητα του κόμματος του χαρουπιού, το οποίο από τη βιβλιογραφία, είναι γνωστό ότι απορροφά έως 10 gr νερό σε αντίθεση με τις πρωτεΐνες που απορροφούν 3 gr νερού. Το λεπτόκοκκο κλάσμα D, που κατέχει την υψηλότερη τιμή (800,72 %), ενδεχομένως οφείλεται στο γεγονός ότι λόγω της άλεσης διαθέτει μεγαλύτερη επιφάνεια έκθεσης με περισσότερες πολικές ομάδες όπου είναι ικανές να δεσμεύσουν μόρια νερού.

Πίνακας 6: Προσδιορισμός ικανότητας συγκράτησης νερού για το ρυζάλευρο και τα τέσσερα κλάσματα χαρουπάλευρου.

Δείγμα αλευριών	Προσδιορισμός ικανότητας συγκράτησης νερού (%)
Rice	203,43 (±20,59)a
Carob A	702,06(±12,53)c
Carob B	561,07(±25,05)b
Carob C	577,7(±17,61)b
Carob D	800,72(±36,01)d

(Μέσος όρος ± S.E., n=5). Οι μέσοι όροι που ακολουθούνται από το ίδιο γράμμα δεν διαφέρουν σημαντικά ($P \leq 0,05$).

3.2.2 Προσδιορισμός Υγρασίας

Το ποσοστό της υγρασίας αποτελεί σπουδαίο παράγοντα για τα άλευρα γιατί συνδέεται άμεσα με τη διατήρηση της ποιότητας τους κατά την αποθήκευση. Από τον πίνακα 7 παρατηρείται ότι τα ποσοστά υγρασίας στις 4 διαφορετικές κοκκομοετρίες δεν έχουν σημαντικές στατιστικές διαφορές. Επίσης, η υγρασία τους δεν είναι αρκετά υψηλή, κάτι το οποίο είναι επιθυμητό, δεδομένου ότι η μεγάλη υγρασία στα άλευρα υποβαθμίζει την ποιότητα τους με την ανάπτυξη μικροοργανισμών.

Πίνακας 7: Προσδιορισμός υγρασίας για το ρυζάλευρο και τα τέσσερα κλάσματα χαρουπάλευρου.

Δείγμα αλευριών	Υγρασία (%)
Rice	11,99(±0,05)c
Carob a	9,39(±0,01)a
Carob b	8,75(±0,05)a
Carob c	9,28(±0,07)a

Carob d	9,82(±0,06)b
----------------	--------------

(Μέσος όρος ± S.E., n=5). Οι μέσοι όροι που ακολουθούνται από το ίδιο γράμμα δεν διαφέρουν σημαντικά ($P \leq 0,05$).

3.2.3 Προσδιορισμός Πρωτεϊνών-Τέφρας-Ινών

Οι σπόροι του χαρουπιού έχουν υψηλή περιεκτικότητα σε πρωτεΐνες, γεγονός που επιβεβαιώνεται από τα αποτελέσματα του προσδιορισμού των πρωτεϊνών του χαρουπάλευρου. Παρατηρείται ότι το αλεύρι αλλά και το ψωμί που παρασκευάστηκε από το κλάσμα C κατέχει την υψηλότερη περιεκτικότητα πρωτεΐνης σε σύγκριση με το κλάσμα A, το οποίο κατέχει τη χαμηλότερη. Κατά συνέπεια, τα άλευρα με του μεσαίου μεγέθους κοκκομετρία είχαν υψηλότερη περιεκτικότητα πρωτεϊνών. Όσον αφορά τα εμπορικά ψωμιά, η περιεκτικότητα των πρωτεϊνών δεν ήταν υψηλή, δεδομένου ότι προέρχονται από ρυζάλευρο και καλαμποκάλευρο (N1: 2.42, N2: 4.74, N3: 3.07).

Η περιεκτικότητα ενός αλευριού σε τέφρα αποτελεί ένδειξη της καθαρότητας του ή του βαθμού άλεσης του. Στην ανάλυση των αλευριών, τα αποτελέσματα έδειξαν ότι το κλάσμα C έχει την υψηλότερη περιεκτικότητα σε ανόργανα συστατικά. Με βάση προηγούμενες μελέτες από τη βιβλιογραφία, οι μικρότεροι κόκκοι παρουσιάζουν υψηλότερη περιεκτικότητα σε τέφρα. Μεταξύ των ψωμιών που παρασκευάστηκαν από τα διάφορα κλάσματα χαρουπάλευρου, τα αποτελέσματα παρουσιάζουν μία παρόμοια τάση. Ωστόσο, παρατηρήθηκε ότι και τα ψωμιά που παρασκευάστηκαν από το μεσαίου μεγέθους κλάσμα C, έδειξαν μεγαλύτερη περιεκτικότητα σε τέφρα. Παρόλ' αυτά, ένα από τα εμπορικά ψωμιά, το N2, έχει την υψηλότερη περιεκτικότητα σε ανόργανα συστατικά.

Το αλεύρι της χαρουπιάς ανήκει στα συστατικά με υψηλή περιεκτικότητα σε ίνες, για αυτό το λόγο οι υψηλότερες τιμές στις συνολικές και στις αδιάλυτες ίνες παρουσιάστηκαν στα άλευρα από χαρούπι, αλλά και στους άρτους που παρασκευάστηκαν από αυτά. Μικρότερη περιεκτικότητα σε ίνες εμφάνισε ο άρτος από το κλάσμα D (συνολικές ίνες = 3,53 %). Ωστόσο, τα εμπορικά ψωμιά κατείχαν χαμηλότερες τιμές, εκτός από το δείγμα άρτου N2, το οποίο δεν σημαντική

στατιστική διαφορά από τον άρτο του κλάσματος C. Αυτό πιθανότατα οφείλεται στο γεγονός ότι το N2 περιλαμβάνει ίνες τεύτλου και κόμμα γκουάρ.

Πίνακας 8: Περιεκτικότητα πρωτεϊνών, τέφρας, ινών στα 5 δείγματα αλευριών.

Δείγμα αλευριών	Πρωτεΐνες (%)	Τέφρα (%)	Αδιάλυτες Ινες (%)	Συνολικές Ινες (%)
Rice	9,84(±0,41)a	0,51(±0,00)a	3,75(±2,15)a	2,87(±0,04)a
Carob a	16,48(±0,27)b	2,71(±0,05)b	72,15(±0,00)c	96,22(±1,72)c
Carob b	26,69(±0,82)d	4,06(±0,02)d	40,83(±1,02)b	80,91(±3,43)b
Carob c	28,33(±0,04)e	4,14(±0,03)e	65,23(±1,83)c	84,9(±0,00)bc
Carob d	20,91(±0,10)c	3,23(±0,05)c	61,58(±5,86)c	80,83(±8,58)b

(Μέσος όρος ± S.E., n=5). Οι μέσοι όροι που ακολουθούνται από το ίδιο γράμμα δεν διαφέρουν σημαντικά (P≤0,05).

Πίνακας 9: Περιεκτικότητα πρωτεϊνών, τέφρας, ινών στα 8 δείγματα άρτων.

Δείγμα Ψωμιών	Πρωτεΐνες (%)	Τέφρα (%)	Αδιάλυτες Ινες (%)	Συνολικές Ινες (%)
Rice	9,06(±0,05)e	0,54(±0,02)b	3,28(±0,14)bc	2,78(±1,43)ab
Carob a	7,80(±0,00)d	0,56(±0,03)b	4,58(±1,43)de	6,26(±0,91)b
Carob b	9,79(±0,02)f	0,71(±0,03)c	4,21(±2,02)bcd	5,79(±0,49)b
Carob c	9,99(±0,05)f	0,76(±0,00)c	7,11(±0,00)e	4,69(±2,56)ab
Carob d	9,06(±0,04)e	0,74(±0,05)c	1,76(±2,50)bcd	3,53(±0,00)ab
N1	2,42(±0,13)a	0,44(±0,03)a	1,66(±0,72)ab	2,02(±2,11)a
N2	4,74(±0,03)c	1,34(±0,03)d	0,36(±0,10)a	5,14(±0,69)ab
N3	3,07(±0,23)b	0,73(±0,04)c	3,06(±0,01)bc	3,21(±0,80)ab

(Μέσος όρος ± S.E., n=8). Οι μέσοι όροι που ακολουθούνται από το ίδιο γράμμα δεν διαφέρουν σημαντικά (P≤0,05).

3.2.4 Προσδιορισμός Γλυκαιμικού Δείκτη-Εύπεπτου αμύλου-Ανθεκτικού αμύλου

Ο Γλυκαιμικός Δείκτης (GI) ενός τροφίμου είναι ένα μέτρο που προσδιορίζει τη ταχύτητα και την αύξηση της γλυκόζης στο αίμα, αλλά και το κατά πόσο γρήγορα ανταποκρίνεται το σώμα επαναφέροντας τις τιμές στο φυσιολογικό, μετά την κατάποση των τροφών (Whitney, Hamilton, & Rolfes, 1990). Τα τρόφιμα με χαμηλό γλυκαιμικό δείκτη είναι απαραίτητα για τη διατροφή των ατόμων με μεταβολικές και καρδιαγγειακές παθήσεις (π.χ. διαβήτη, μυοκαρδίτιδα), καθώς αποφεύγονται οι απότομες αυξομειώσεις της γλυκόζης στο αίμα.

Τα προϊόντα ελεύθερα γλουτένης συνήθως έχουν αυξημένο γλυκαιμικό δείκτη. Ωστόσο, οι De Angelis κ.ά. (2007), διαπίστωσαν ότι ο εμπλουτισμός των ψωμιών με ίνες εκτός του ότι είναι θρεπτικά επωφελές, είναι και μία προϋπόθεση για να αποκτήσουν χαμηλή αξία GI. Στον πίνακα 9, παρατηρείται ότι οι άρτοι που παρασκευάστηκαν από το χαρούπι αλλά και τα εμπορικά ψωμιά, που είναι εμπλουτισμένα με ίνες, έχουν χαμηλότερο γλυκαιμικό δείκτη από τον άρτο μάρτυρα (ρουζάλευρο).

Στα πολύ λεπτόκοκκα αλεύρα παρατηρείται μία τάση να μειώνεται ο γλυκαιμικός τους δείκτης. Οι Fardet κ.ά. (2006) πρότειναν ότι θα πρέπει να παράγονται ψωμιά με πιο συμπαγή δομή, έτσι ώστε ο γλυκαιμικός δείκτης να έχει χαμηλές τιμές. Ως εκ τούτου, η δομή των άρτων από τα λεπτόκοκκα κλάσματα C και D, τα οποία παρουσίασαν υψηλή σκληρότητα, αλλά και ο χαμηλός ειδικός όγκος που είχε ο άρτος από το κλάσμα C, θα μπορούσαν να είναι ο λόγος για τις χαμηλές τιμές του GI (C=62.86, D= 47.33).

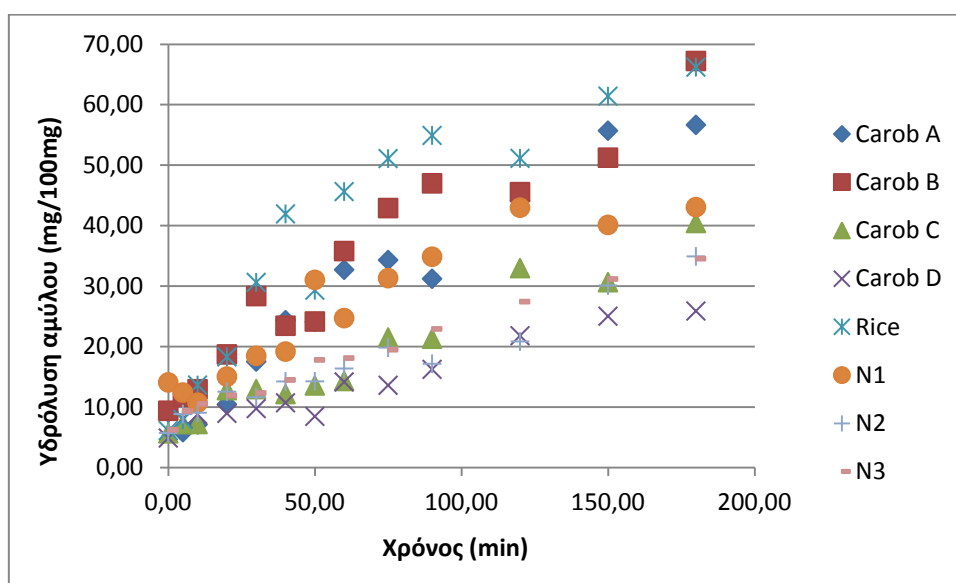
Η παρουσία του ανθεκτικού αμύλου επηρεάζει το γλυκαιμικό δείκτη. Όσο περισσότερο ανθεκτικό άμυλο έχει ένα τρόφιμο, τόσο χαμηλότερες τιμές GI έχει. Η περιεκτικότητα του εύπεπτου αμύλου, από την άλλη, έχει τα αντίθετα αποτελέσματα. Οι χαμηλότερες τιμές GI παρατηρούνται στα τρόφιμα με χαμηλή περιεκτικότητα εύπεπτου αμύλου. Οι βέλτιστες αυτές περιεκτικότητες προκύπτουν από το γεγονός ότι καθυστερούν την πέψη και επομένως, δεν υπάρχουν απότομες αυξομειώσεις της γλυκόζης στο αίμα. Συγκρίνοντας τους άρτους που προέκυψαν από τα τέσσερα κλάσματα χαρουπάλευρου, οι άρτοι από τα λεπτόκοκκα κλάσματα

C και D παρουσιάζουν τις πιο επιθυμητές περιεκτικότητες αμύλου και χαμηλές τιμές γλυκαιμικού δείκτη.

Πίνακας 10: Περιεκτικότητα εύπεπτο αμύλου, ανθεκτικού αμύλου και γλυκαιμικού δείκτη στα 8 δείγματα άρτων.

Δείγμα	Εύπεπτο άμυλο (mg/100mg, as is)	Ανθεκτικό άμυλο (mg/100mg, as is)	eGI
Rice	36,14(±0,99)e	6,36(±0,01)b	119,03(±3,25)e
Carob A	26,99(±1,12)bc	6,74(±0,12)b	92,34(±1,97)cd
Carob B	28,78(±2,45)cd	6,45(±0,17)b	92,07(±2,06)cd
Carob C	20,61(±1,40)a	5,97(±1,03)ab	62,86(±1,87)b
Carob D	25,45(±1,75)bc	4,55(±0,50)a	47,33(±0,10)a
N1	31,11(±1,51)d	8,97(±0,02)c	82,76(±2,64)c
N2	23,3(±2,39)ab	4,57(±1,10)a	55,90(±1,13)ab
N3	26,54(±0,99)bc	6,20(±0,75)b	60,85(±4,38)b

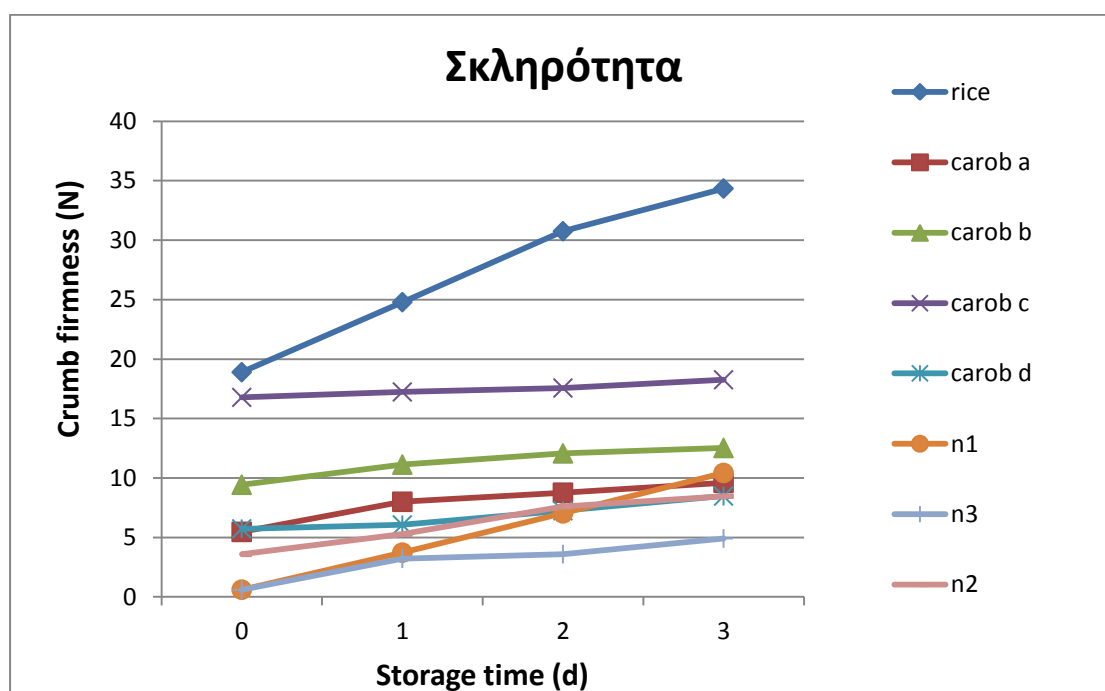
(Μέσος όρος ± S.E., n=8). Οι μέσοι όροι που ακολουθούνται από το ίδιο γράμμα δεν διαφέρουν σημαντικά ($P \leq 0,05$).



Διάγραμμα 1: Σύγκριση των άρτων από χαρουπάλευρο και των εμπορικών άρτων στην *in vitro* πεπτικότητα του αμύλου.

3.3 Σκληρότητα

Με τον υπολογισμό της σκληρότητας, δηλαδή την αντίσταση της ψίχας του ψωμιού στην παραμόρφωση, προσδιορίζουμε το πόσο γρήγορα μπαγιατεύουν τα ψωμιά. Το ιδανικό προϊόν πρέπει να έχει μικρή σκληρότητα έτσι ώστε να διατηρείται όσο το δυνατόν πιο φρέσκο με το πέρασμα των ημερών. Για τον προσδιορισμό του καλύτερου ψωμιού ελέγχουμε το βαθμό μπαγιατέματος (την κλίση της γραμμής τάσης). Από τα αποτελέσματα διαπιστώνουμε ότι ο μάρτυρας (ρυζάλευρο) και το εμπορικό προϊόν N1 μπαγιατεύουν γρηγορότερα. Αντίθετα, τα προϊόντα που προήλθαν από τα πιο λεπτόκοκκα άλευρα από χαρούπι (C,D) έχουν μειωμένο ρυθμό μπαγιατέματος, επομένως διατηρούνται φρέσκα περισσότερες μέρες.



Διάγραμμα 2: Μεταβολή της σκληρότητας της ψίχας των 8 δειγμάτων άρτων κατά την αποθήκευση.

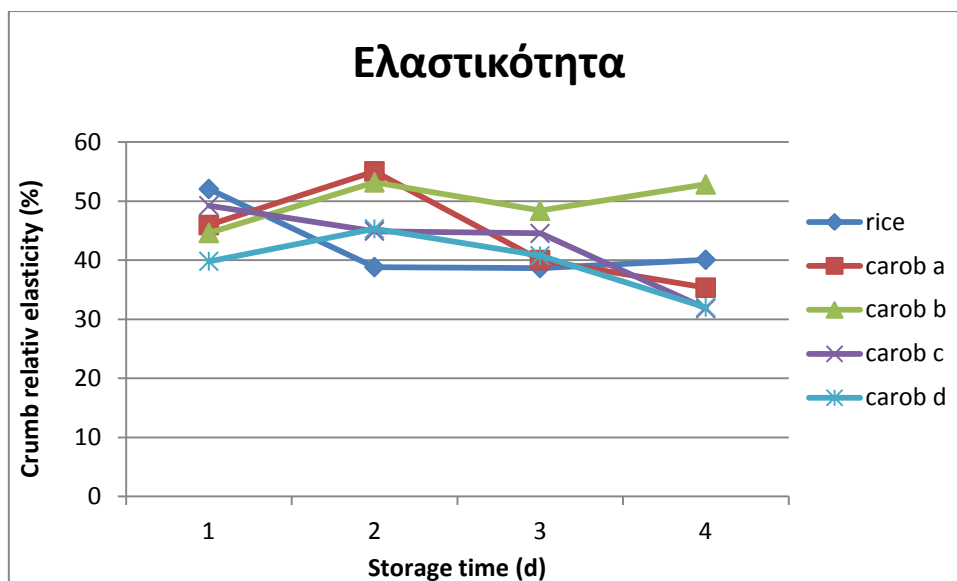
(Μέσος όρος \pm S.E., n=8). Οι μέσοι όροι που ακολουθούνται από το ίδιο γράμμα δεν διαφέρουν σημαντικά ($P \leq 0,05$).

Πίνακας 11: Κλίση γραμμής τάσης κάθε προϊόντος.

Δείγμα	Κλίση a (N/ημέρα)	R²
Rice	5,23	0,99
Carob a	1,32	0,91
Carob b	1,02	0,93
Carob c	0,48	0,98
Carob d	0,94	0,95
N1	3,27	1,00
N2	1,70	0,97
N3	1,33	0,91

3.4 Ελαστικότητα

Σύμφωνα με τα αποτελέσματα του προσδιορισμού της ελαστικότητας συμπεραίνουμε ότι, καθώς περνούν οι μέρες, σε όλα τα δείγματα των ψωμιών υπάρχει μείωση της ελαστικότητας τους. Πιο συγκεκριμένα, στα ψωμιά carob a και carob d, η ελαστικότητα ελαττώνεται πιο γρήγορα από ότι στα υπόλοιπα ψωμιά. Το γεγονός αυτό, οφείλεται στη ξήρανση των ψωμιών, όπου με το πέρασμα των ημερών αυξάνεται και δρα ενάντια στην ελαστικότητα.

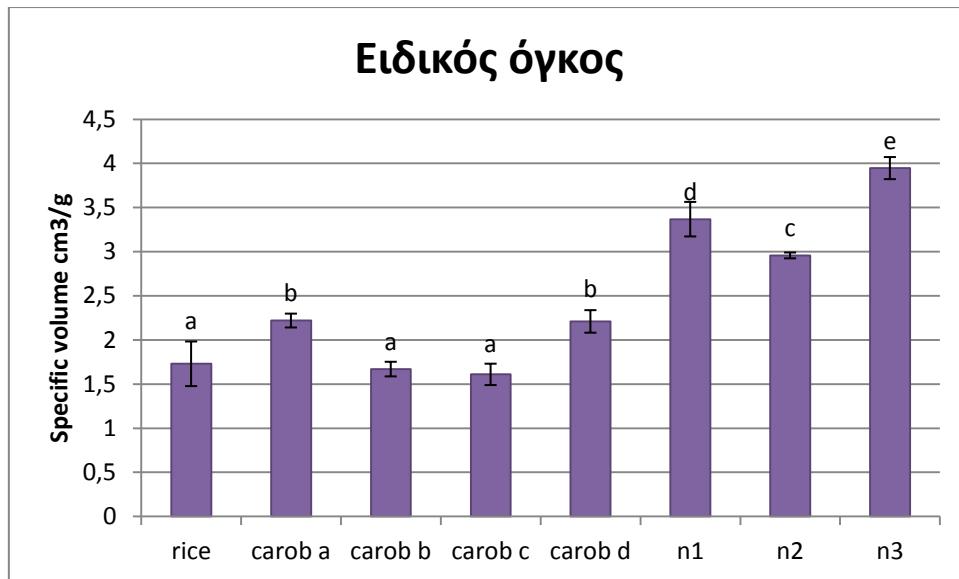


Διάγραμμα 3: Μεταβολή της ελαστικότητας της ψίχας των 5 δειγμάτων άρτων κατά την αποθήκευση.

(Μέσος όρος \pm S.E., n=5). Οι μέσοι όροι που ακολουθούνται από το ίδιο γράμμα δεν διαφέρουν σημαντικά ($P \leq 0,05$).

3.5 Ειδικός όγκος

Στα τελικά προϊόντα είναι επιθυμητός ο μεγάλος ειδικός όγκος, ως αποτέλεσμα της ικανοποιητικής διόγκωσης των ψωμιών. Η διόγκωση των ψωμιών είναι ένας σημαντικός παράγοντας που καθορίζει την αποδοχή των προϊόντων από τους καταναλωτές. Παρατηρείται ότι τα προϊόντα που προήλθαν από το εμπορικό αλεύρι n3 έχουν τον μεγαλύτερο ειδικό όγκο, ενώ τα προϊόντα από τα άλευρα χαρουπιού κλάσματος B, C και ο μάρτυρας έχουν το χαμηλότερο. Όσον αφορά τα υπόλοιπα προϊόντα από χαρούπι A και D έχουν λίγο υψηλότερες τιμές, 2,22 και 2,21 αντίστοιχα. Επομένως, παρατηρείται ότι η κοκκομετρία του αλευριού δεν επηρεάζει ιδιαίτερα τον τελικό ειδικό όγκο των ψωμιών. Ωστόσο, παρατηρείται ότι τον μεγαλύτερο ειδικό όγκο παρουσιάζουν τα εμπορικά ψωμιά. Αυτό το αποτέλεσμα πιθανότατα οφείλεται στο συνδυασμό των υδροκολλοειδών που περιέχουν που δρα συνεργιστικά στην αύξηση του όγκου τους.



Διάγραμμα 4: Διάγραμμα του ειδικού όγκου των 8 δειγμάτων άρτων.

(Μέσος όρος \pm S.E., n=8). Οι μέσοι όροι που ακολουθούνται από το ίδιο γράμμα δεν διαφέρουν σημαντικά ($P \leq 0,05$).

3.6 Υγρασία

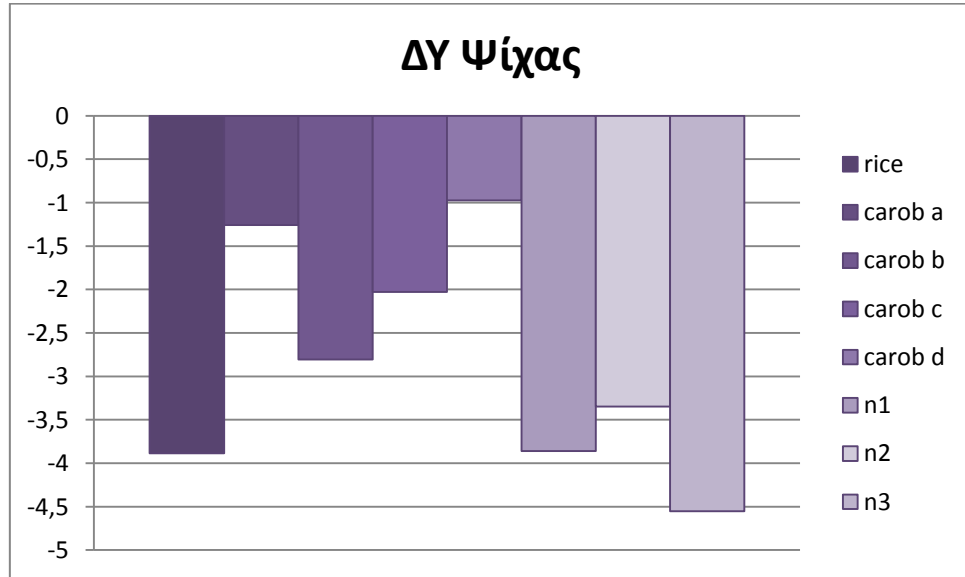
Από τα αποτελέσματα του διαγράμματος παρατηρείται ότι κατά την αποθήκευση το ψωμί που προέρχεται από την μικρότερη κοκκομετρία (κλάσμα D) , χάνει βραδύτερα η ψίχα του την υγρασία της από ότι τα εμπορικά ψωμιά, τα ψωμιά από ρυζάλευρο και το ψωμί του κλάσματος B. Μεταξύ των 4 διαφορετικών κοκκομετριών του αλευριού από χαρούπι η μείωση της υγρασίας της ψίχας δεν είναι σταθερή όσο μικραίνει η κοκκομετρία. Τα μεσαία μεγέθη αλευριού χάνουν πιο γρήγορα υγρασία στη ψίχα.

Όσον αφορά τα αποτελέσματα κατά την αύξηση της υγρασίας της κόρας δεν έχουν ομοιότητες με αυτά της ψίχας. Η κόρα των εμπορικών ψωμιών φαίνεται να λαμβάνει με το πέρασμα 4 ημερών βραδύτερα υγρασία σε αντίθεση με τα ψωμιά από χαρουπάλευρο. Το ψωμί από χαρούπι μεσαίας κοκκομετρίας (C) παρουσιάζει το ταχύτερο ρυθμό αύξησης υγρασίας της κόρας και ακολουθεί το ψωμί από το αλεύρι με τη μικρότερη κοκκομετρία. Επομένως, φαίνεται ότι η σταθερή μείωση των κόκκων του αλευριού δεν δίνει σταθερές διαφορές στην αύξηση υγρασίας της κόρας.

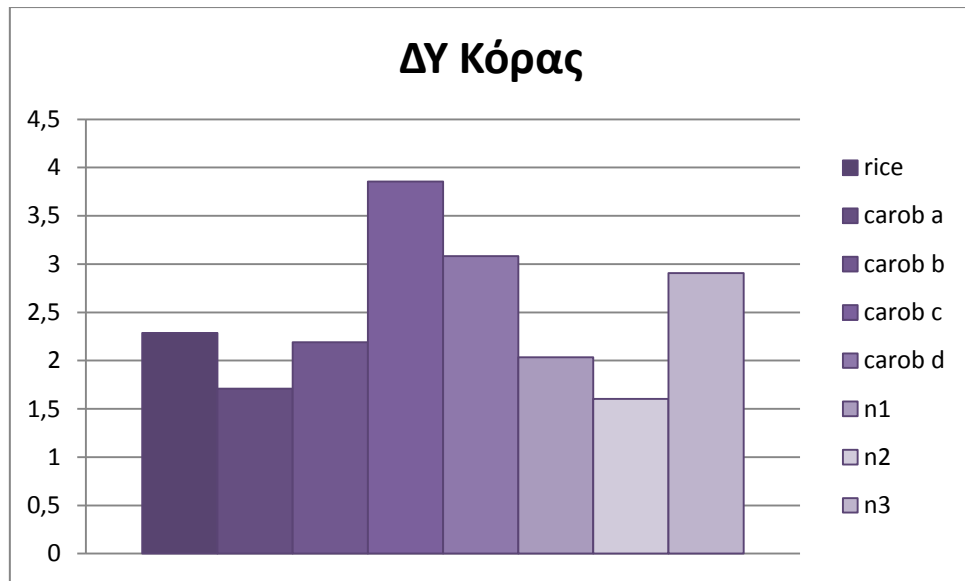
Πίνακας 12: Περιεκτικότητα υγρασίας των 8 δειγμάτων άρτων.

Δείγμα Ψωμιών	Moisture (%)
Rice	6,09(±0,06)e
Carob a	5,29(±0,01)c
Carob b	6,24(±0,06)f
Carob c	4,76(±0,01)a
Carob d	5,54(±0,02)d
N1	5,02(±0,01)b
N2	4,51(±0,03)a
N3	5,03(±0,06)b

(Μέσος όρος ± S.E., n=8). Οι μέσοι όροι που ακολουθούνται από το ίδιο γράμμα δεν διαφέρουν σημαντικά ($P \leq 0,05$).



Διάγραμμα 5: Μεταβολή της υγρασίας της ψίχας κατά την αποθήκευση.



Διάγραμμα 6: Μεταβολή της υγρασίας της κόρας κατά την αποθήκευση.

3.7 Χρώμα

Η φωτεινότητα του χρώματος εκφράζεται με το L^* και τα a^* , b^* είναι οι ορθογώνιες συντεταγμένες του χρώματος. Η θετική τιμή για το a^* υποδεικνύει το κόκκινο χρώμα, ενώ η αρνητική το πράσινο. Η θετική τιμή για το b^* υποδεικνύει το κίτρινο χρώμα, ενώ η αρνητική τιμή το μπλε.

Η μεγαλύτερη φωτεινότητα παρατηρήθηκε στο ψωμί από ρυζάλευρο (81,80), δηλαδή στο μάρτυρα, και ακολούθησαν τα εμπορικά ψωμιά. Το αποτέλεσμα αυτό αιτιολογείται από το γεγονός ότι τα εμπορικά ψωμιά περιέχουν ρύζι, άμυλο σίτου και καλαμποκάλευρο, επομένως αυτά τα συστατικά τους προσδίδουν μεγαλύτερη φωτεινότητα από αυτή των ψωμιών από χαρούπι. Συγκρίνοντας τα ψωμιά από χαρούπι, φαίνεται να μειώνεται η φωτεινότητα όσο μειώνεται η κοκκομετρία του αλευριού.

Όσον αφορά το χρώμα των ψωμιών, τα ψωμιά από χαρούπι έχουν θετικές τιμές στο a , επομένως είναι πιο σκούρα από τα υπόλοιπα δείγματα. Αυτό πιθανότατα οφείλεται στην παρουσία ινών που προσδίδουν ένα σκουρόχρωμο χρώμα στα ψωμιά το οποίο είναι πιο έντονο όσο μειώνεται η κοκκομετρία. Πιο

κίτρινη απόχρωση έχει το ψωμί N1 (29,17), αλλά και τα ψωμιά από χαρούπι έχουν αρκετά υψηλές τιμές. Ωστόσο, πάλι παρατηρείται αύξηση του κίτρινου χρώματος όσο μικραίνει η κοκκομετρία.

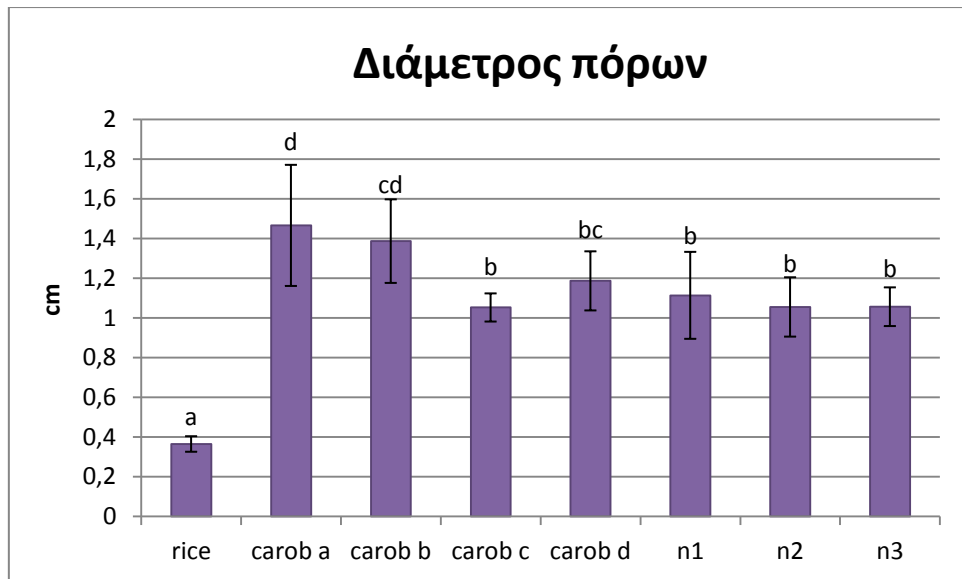
Πίνακας 13: Προσδιορισμός φωτεινότητας και χρώματος των 8 δειγμάτων άρτων.

Δείγματα Ψωμιών	L	a	b
Rice	81,80(±0,93)e	-4,89(±0,28)b	14,79(±0,38)b
Carob a	63,33(±2,39)c	2,37(±0,02)e	15,14(±1,49)b
Carob b	61,75(±1,06)bc	4,43(±0,28)f	19,68(±0,72)c
Carob c	61,07(±2,05)b	4,17(±0,48)f	19,48(±0,66)c
Carob d	56,68(±2,06)a	5,37(±0,36)g	21,53(±0,57)d
N1	74,42(±1,71)d	-9,20(±0,43)a	29,17(±0,87)e
N2	76,38(±1,13)d	-3,06(±0,43)c	21,12(±1,91)d
N3	62,99(±2,66)c	-2,23(±0,15)d	12,52(±0,61)a

(Μέσος όρος ± S.E., n=8). Οι μέσοι όροι που ακολουθούνται από το ίδιο γράμμα δεν διαφέρουν σημαντικά ($P \leq 0,05$).

3.8 Διάμετρος πόρων

Από το παρακάτω διάγραμμα, είναι εμφανές ότι η διάμετρος των πόρων της ψίχας των ψωμιών αυξάνεται με την προσθήκη χαρουπάλευρου σε σύγκριση με το μάρτυρα. Παρατηρείται, επίσης, ότι όσο μειώνεται η κοκκομετρία του αλευριού μειώνεται και η διάμετρος. Η σύγκριση των εμπορικών ψωμιών με τα ψωμιά ελεύθερα γλουτένης δεν έχουν σημαντικές στατιστικές διαφορές.

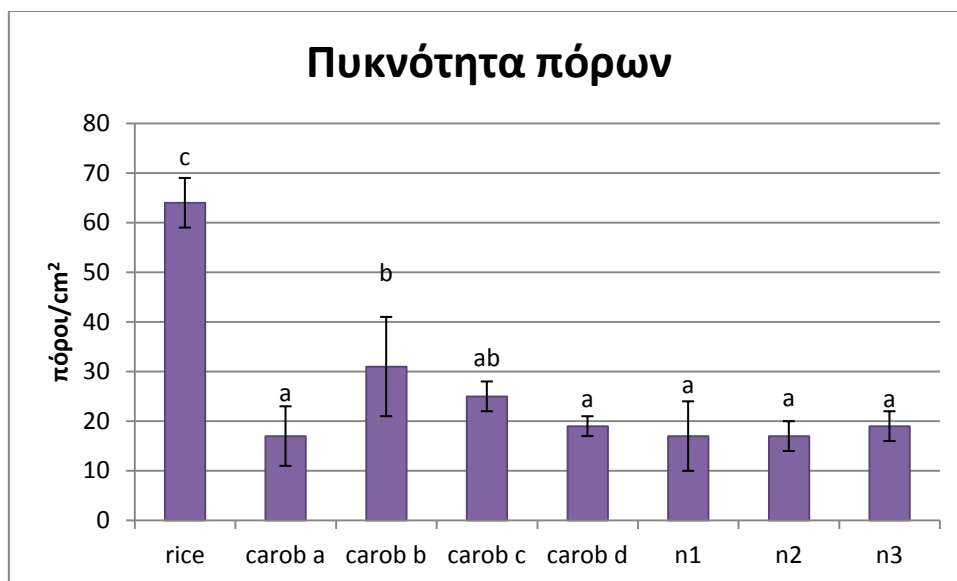


Διάγραμμα 7: Διάγραμμα της διαμέτρου των πόρων της ψίχας των 8 δειγμάτων άρτων.

(Μέσος όρος \pm S.E., n=8). Οι μέσοι όροι που ακολουθούνται από το ίδιο γράμμα δεν διαφέρουν σημαντικά ($P \leq 0,05$).

3.9 Πυκνότητα πόρων

Όσον αφορά την πυκνότητα των πόρων σε 1 cm^2 , παρατηρείται ότι το ψωμί από ρυζάλευρο έχει την πιο συνεκτική μορφή, δηλαδή υπάρχουν πολλοί και μικροί πόροι. Ακολουθεί το ψωμί που παρασκευάστηκε από το κλάσμα Β, ενώ τα υπόλοιπα δείγματα δεν έχουν σημαντικές στατιστικές διαφορές, έχοντας μεγάλους και λίγους πόρους στην ψίχα τους.



Διάγραμμα 8: Διάγραμμα της πυκνότητας των πόρων της ψίχας των 8 δειγμάτων άρτων.

(Μέσος όρος \pm S.E., n=8). Οι μέσοι όροι που ακολουθούνται από το ίδιο γράμμα δεν διαφέρουν σημαντικά ($P \leq 0,05$).

3.10 Οργανοληπτικός έλεγχος

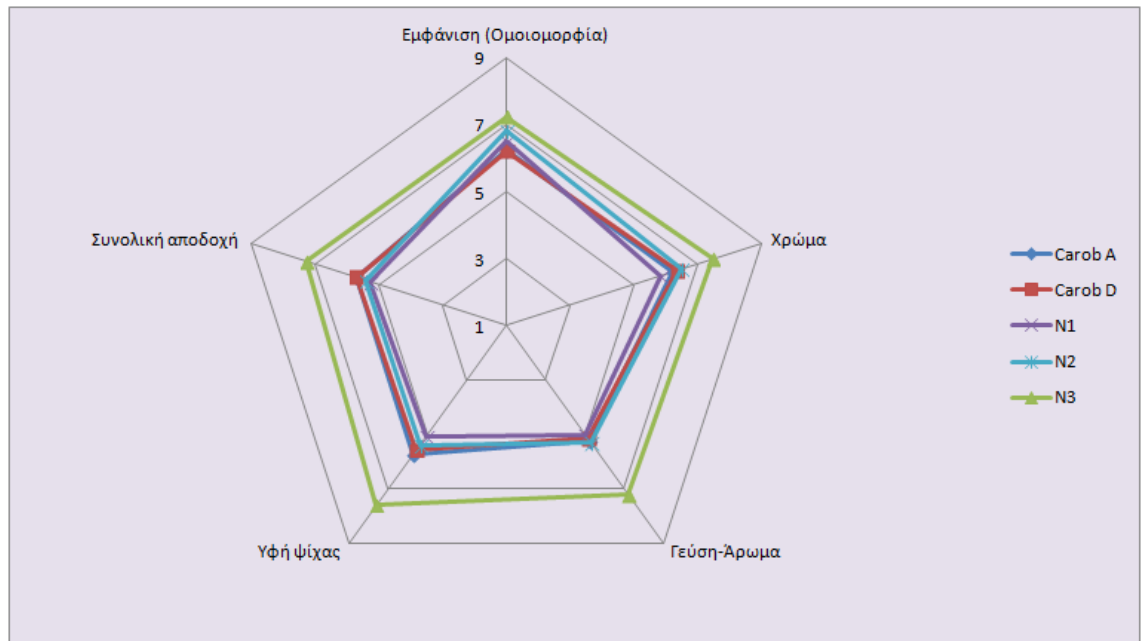
Σκοπός του οργανοληπτικού ελέγχου, που έλαβε χώρα στις 17.03.2015, ήταν να προσδιοριστεί η πιο επιθυμητή συνταγή ψωμιού χωρίς γλουτένη από τους καταναλωτές. Οι καταναλωτές κλήθηκαν να κατηγοριοποιήσουν τα 5 δείγματα (carob A, carob D, N1, N2, N3) που τους δόθηκαν με βάση την εμφάνιση τους, το χρώμα τους, τη γεύση και το άρωμα τους, την υφή της ψίχας και τελικώς να καταλήξουν στην συνολική αποδοχή κάθε προϊόντος. Οι 45 καταναλωτές εκτίμησαν και βαθμολόγησαν τα δείγματα με χρήση 9-βάθμιας κλίμακας (1-9) , όπου 1: δεν μου άρεσε καθόλου, 9: μου άρεσε πάρα πολύ, σε ειδικά έντυπα οργανοληπτικού ελέγχου που δημιουργήθηκαν για αυτό το σκοπό.

Από τα αποτελέσματα φαίνεται μία ιδιαίτερη προτίμηση στο εμπορικό ψωμί N3 με αρκετά εμφανή διαφορά από τα υπόλοιπα προϊόντα. Πιο συγκεκριμένα, όσον αφορά τη εμφάνιση των ψωμιών, το N3 υπερτερεί σε σύγκριση με τα άλλα προϊόντα, το ακολουθεί το N2, ενώ την τελευταία θέση την έχει το carob D. Το carob A και το carob D έχουν καταλάβει τις τελευταίες θέσεις, γεγονός που αποδεικνύει

ότι τα ψωμιά αυτά υστερούν σε διόγκωση, μη έχοντας το επιθυμητό «φούσκωμα» που επιθυμεί ο καταναλωτής. Τα άλλα τρία προϊόντα είναι εμπλουτισμένα με διάφορα συστατικά που οδηγούν στην ικανοποιητική διόγκωση τους, επομένως είναι πιο προσιτά στους καταναλωτές. Στην περίπτωση του χρώματος, το N3 κατέχει πάλι την πρώτη θέση, ωστόσο τα προϊόντα carob D και carob A βρίσκονται στην 3^η και 4^η θέση αντίστοιχα, πράγμα που δείχνει ότι το σκούρο χρώμα τους που οφείλεται στην παρουσία του χαρουπιού δεν απωθεί τους καταναλωτές. Αντιθέτως, τους ελκύει καθώς τους δημιουργεί την εντύπωση του ψωμιού από σίκαλη, το οποίο κερδίζει συνεχώς έδαφος στην αγορά. Στην κατηγορία γεύση-άρωμα, πάλι την πρώτη θέση κατέχει το εμπορικό ψωμί N3, αφήνοντας στη 3^η και 4^η θέση το carob A και carob D, αντίστοιχα. Το αποτέλεσμα αυτό οφείλεται στην ιδιαίτερη γεύση αλλά και στο άρωμα που προσδίδει το χαρούπι στο ψωμί, τα οποία δεν τα έχει συνηθίσει ο καταναλωτής επειδή απέχουν αρκετά από τη γεύση και το άρωμα του συνηθισμένου σταρένιου ψωμιού. Στην υφή της ψίχας, τα αποτελέσματα διαφέρουν παίρνοντας την 2^η και 3^η θέση τα προϊόντα carob A και carob D, αντίστοιχα. Αυτό είναι ένα θετικό γεγονός, καθώς η παρουσία του χαρουπιού δίνει άλλη αίσθηση στην υφή της ψίχας πέρα της συνηθισμένης και φαίνεται να ελκύει τους καταναλωτές. Παρ' όλα αυτά την πρώτη θέση έχει το N3. Τέλος, στην συνολική αποδοχή των ψωμιών από τους καταναλωτές τα αποτελέσματα είναι αρκετά ικανοποιητικά και αφήνουν πολύ καλές προδιαγραφές για τα ψωμιά με χαρούπι, καθώς φαίνεται ότι από την 2^η και 3^η θέση που λαμβάνουν είναι αρκετά ελκυστικά προς το κοινό, το οποίο είναι διαθέσιμο να δοκιμάσει νέες γεύσεις.

Πρέπει να σημειωθεί ότι το προϊόν N1, ενώ κερδίζει σε εμφάνιση καθώς είναι ικανοποιητικά διογκωμένο, χάνει σε όλες τις άλλες κατηγορίες, πιθανότατα λόγω του βασικού του συστατικού που είναι το καλαμπόκι. Επομένως, στο χρώμα έχει τη χαμηλότερη βαθμολογία, λόγω του άσπρου χρώματος του, γεγονός που οδήγησε ορισμένους καταναλωτές στην λανθασμένη εντύπωση ότι είναι άψητο. Και η γεύση και το άρωμα του είναι ιδιαίτερα και δεν είναι αρκετά ελκυστικά προς το καταναλωτικό κοινό. Το N2 είναι πιο προσιτό στους καταναλωτές καθώς τους κερδίζει σε εμφάνιση, χρώμα και γεύση αλλά στην συνολική αποδοχή καταλαμβάνει την 4^η θέση.

Συμπερασματικά, όλα τα δείγματα έχουν βαθμολογία υψηλότερη από 5. Το αποτέλεσμα αυτό είναι ιδιαίτερα ικανοποιητικό, καθώς οι καταναλωτές έκριναν τα ψωμιά από χαρούπι αποδεκτά προς τις επιθυμίες τους. Επομένως θα μπορούσαν να βγουν στο εμπόριο και να ανταγωνιστούν τα εμπορικά ψωμιά, δεδομένου ότι δεν υπερτερούν τα εμπορικά ψωμιά ούτε στη διατροφική τους αξία ούτε στα οργανοληπτικά τους χαρακτηριστικά.



Διάγραμμα 9: Αποτελέσματα οργανοληπτικού ελέγχου.

4. ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ-ΜΕΛΛΟΝΤΙΚΗ ΕΡΕΥΝΑ

Η παρούσα εργασία εστίασε στη μελέτη της επίδρασης της κοκκομετρίας του χαρουπάλευρου στις θερμορρολογικές ιδιότητες των εναιωρημάτων με ρυζάλευρο και στις φυσικές ιδιότητες των αρτοσκευασμάτων. Μελετήθηκαν τα 4 διαφορετικής κοκκομετρίας άλευρα χαρουπιού και συγκρίθηκαν με εμπορικά άλευρα.

Τα αποτελέσματα που ελήφθησαν μπορούν να χρησιμοποιηθούν από την αρτοβιομηχανία για την παρασκευή προϊόντων ελεύθερων γλουτένης με υψηλή διατροφική αξία και βελτιωμένα οργανοληπτικά χαρακτηριστικά.

Τα συμπεράσματα που προέκυψαν από την επίδραση της κοκκομετρίας και της σύγκρισης με τα εμπορικά ψωμιά είναι τα εξής:

- Η περιεκτικότητα 15% χαρούπι έδωσε τις υψηλότερες τιμές του ιξώδους κατά τη θέρμανση των εναιωρημάτων με ρυζάλευρο.
- Οι άρτοι από τα λεπτόκοκκα κλάσματα χαρουπάλευρου (C,D) εμφάνισαν χαμηλότερες τιμές μεταβολής σκληρότητας της ψίχας με το χρόνο αποθήκευσης και τις χαμηλότερες τιμές του γλυκαιμικού δείκτη.
- Η διαφορετική κοκκομετρία δε φαίνεται να επηρεάζει την ελαστικότητα και τη μεταβολή της υγρασίας. Τα εμπορικά ψωμιά παρουσίασαν υψηλότερες τιμές στον ειδικό όγκο και μικρότερη περιεκτικότητα σε υγρασία.
- Η φωτεινότητα και το σκούρο χρώμα των προϊόντων μειώνεται όσο μειώνεται και η κοκκομετρία του χαρουπάλευρου.
- Μείωση της διαμέτρου των πόρων της ψίχας παρατηρήθηκε κατά τη μείωση της κοκκομετρίας.
- Πιο συνεκτική μορφή είχε το ψωμί από ρυζάλευρο και έπειτα το ψωμί από το κλάσμα B.
- Τα δείγματα N3 πήραν την υψηλότερη βαθμολογία από το καταναλωτικό κοινό, αλλά τα δείγματα D και A είχαν την 2^η και 3^η θέση στην συνολική αποδοχή.

Μελέτες που θα μπορούσαν να γίνουν στο μέλλον αφορούν:

- Επίδραση της κοκκομετρίας του χαρουπάλευρου σε άλλα είδη αρτοσκευασμάτων (μπισκότα, κέικ κ.ά.)
- Εναλλακτικές πηγές αλεύρων χωρίς γλουτένη, όπως είναι το αλεύρι αμυγδάλων, αλεύρι φασολιών, αλεύρι πατάτας κ.ά. για δημιουργία προϊόντων ελεύθερων γλουτένης ή και ανάμειξη αυτών με χαρουπάλευρο.
- Ενίσχυση των αρτοσκευασμάτων από ρυζάλευρο - χαρουπάλευρο με φυτικές τροφές πλούσιες σε αντιοξειδωτικά για ενίσχυση της διατροφικής τους αξίας (κανέλα, ρόδι κ.ά.)

5. ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ ΦΩΤΟΓΡΑΦΙΩΝ



Εικόνα 5.1: Άρτος από ρυζάλευρο



Εικόνα 5.2: Άρτος από 85% ρυζάλευρο και 15% χαρουπάλευρο κλάσματος Α (315-500µm)



Εικόνα 5.3: Άρτος από 85% ρυζάλευρο και 15% χαρουπάλευρο κλάσματος Β (250-315μm)



Εικόνα 5.4: Άρτος από 85% ρυζάλευρο και 15% χαρουπάλευρο κλάσματος C (125-250μm)



Εικόνα 5.5: Άρτος από 85% ρυζάλευρο και 15% χαρουπάλευρο κλάσματος D



Εικόνα 5.6: Άρτος από αλεύρι «Μύλοι Αγίου Γεωργίου»



Εικόνα 5.7: Άρτος από αλεύρι «Glutanfin»



Εικόνα 5.8: Άρτος από αλεύρι «Valpiform»

6. ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

Alvarez-Jubete L, Arendt E, Gallagher E. (2009a). Nutritive value and chemical composition of pseudocereals as gluten-free ingredients, *Intl J Food Sci Nutr* 60(Suppl 4):240–57. doi: 10.1080/09637480902950597.

Alvarez-Jubete L, Holse M, Hansen A, Arendt E, Gallagher E. (2009b). Impact of baking on vitamin E content of pseudocereals amaranth, quinoa, and buckwheat, *Cereal Chem* 86(5):511–5.

Alvarez-Jubete L, Arendt E, Gallagher E. (2010a). Nutritive value of pseudocereals and their increasing use as functional gluten-free ingredients, *Trends Food Sci Technol*, 21(2):106–13.

Alvarez-Jubete L, Wijngaard H, Arendt E, Gallagher E. (2010b). Polyphenol composition and in vitro antioxidant activity of amaranth, quinoa buckwheat and wheat as affected by sprouting and baking, *Food Chem*, 119(2):770–8.

Ann- Charlotte Eliasson, Kare Larsson. (1993) *Cereals in breadmaking: a molecular colloidal approach*, Food science and technology (Marcel Dekker, Inc.) ; 55.

Anton A, Artfield S. (2008). Hydrocolloids in gluten-free breads: a review, *Intl J Food Sci Nutr* 59(1):11–23. doi: 10.1080/09637480701625630.

AOECS, Association of European Coeliac Societies

Arendt E.K., Dal Bello F., (2008). Gluten-Free Cereal Products and Beverages, Food Science and Technology International Series, p. 1-22, 47-72, 203-214, 237-256, 289-311.

Calvin Onyango, Christopher Mutungi, Günter Unbehend, Meinolf G. Lindhauer. (2011). Modification of gluten-free sorghum batter and bread using maize, potato, cassava or rice starch. LWT - Food Science and Technology 44 (2011) 681e686

Capriles VD, Arêas JAG. (2013). Effects of prebiotic inulin-type fructans on structure, quality, sensory acceptance and glycemic response of gluten-free breads, Food Funct 4(1):104–10. doi: 10.1039/c2fo10283h.

Cauvain S. P. (2003) Bread Making, Improving Quality, CRC Press, p. 321 – 345, 352 – 363, 453 – 463, 487 – 497

Coda R, Rizzello C, Gobbetti M. (2010). Use of sourdough fermentation and pseudo-cereals and leguminous flours for the making of a functional bread enriched of gamma-aminobutyric acid (GABA). Intl J Food Microbiol 137(2–3):236–45. doi: 10.1016/j.ijfoodmicro.2009.12.010.

Codex Standard For Foods For Special Dietary Use For Persons Intolerant to Gluten, Codex Stan 118-1979.

De Angelis, M., Rizzello, C.G., Alfonsi, G., Arnault, P., Capelle, S., Di Cagno, R., Gobbetti, M., (2007). Use of sourdough lactobacilli and oat fibre to decrease the glycaemic index of white wheat bread. British Journal of Nutrition 98, 1196e1205.

Fardet, A., Leenhardt, F., Lioger, D., Scalbert, A., & Rémésy, C. (2006). Parameters controlling the glycaemic response to breads. *Nutrition Research Reviews*, 19, 18–25.

Gallagher E, Kunkel A, Gormley T, Arendt E. (2003). The effect of dairy and rice powder addition on loaf and crumb characteristics, and on shelf life (intermediate and long-term) of gluten-free breads stored in a modified atmosphere. *Eur Food Res Technol* 218(1):44–8. doi: 10.1007/s00217-003-0818-9

Galle S, Schwab C, Dal Bello F, Coffey A, Ganzle M, Arendt E. (2012). Influence of in-situ synthesized exopolysaccharides on the quality of gluten-free sorghum sourdough bread. *Intl J Food Microbiol* 155(3):105–12. doi: 10.1016/j.ijfoodmicro.2012.01.009.

Gray J, Bemiller J. (2003). Bread staling: molecular basis and control. *Compr Rev Food Sci Food Saf* 2(1):1–21. doi: 10.1111/j.1541-4337.2003.tb00011.x.

Gujral, H. S., & Rosell, C. M. (2004). Functionality of rice flour modified with a microbial 410 transglutaminase. *Journal of Cereal Science*, 39, 225-230

Houben A, Hochstotter A, Becker T. (2012). Possibilities to increase the quality in gluten-free bread production: an overview. *Eur Food Res Technol* 235(2):195–208. doi: 10.1007/s00217-012-1720-0.

Huttner E, Dal Bello F, Arendt E. (2010). Fundamental study on the effect of hydrostatic pressure treatment on the bread-making performance of oat flour. *Eur Food Res Technol* 230(6):827–35. doi: 10.1007/s00217-010-1228-4.

Jacques Cosnes Christophe Cellier Sheila Viola Jean–Frederic Colombel Laurent Michaud Jacques Sarles Jean–Pierre Hugot Jean–Louis Ginies Alain Dabadie Olivier Mouterde Matthieu Allez Isabelle Nion–Larmurier, (2008). Incidence of Autoimmune

Diseases in Celiac Disease Protective Effect of the Gluten-Free Diet , The Groupe D'Etude et de Recherche Sur la Maladie Coeliaque, volume 6, Issue 7, pages 753-758.

Kawamura-Konishi Y, Shoda K, Koga H, Honda Y. (2013). Improvement in gluten-free rice bread quality by protease treatment. *J Cereal Sci* 58(1):45–50.

Kim Y, Yokoyama W. (2011). Physical and sensory properties of all-barley and all-oat breads with additional hydroxypropyl methylcellulose (HPMC) beta-glucan. *J Agric Food Chem*, 59(2):741–6. doi: 10.1021/jf103817h.

Kiskini A, Argiri K, Kalogeropoulos M, Komaitis M, Kostaropoulos A, Mandala I, Kapsokefalou M. (2007). Sensory characteristics and iron dialyzability of gluten free bread fortified with iron, *Food Chem* 102(1):309–16.

Korus J, Grzelak K, Achremowicz K, Sabat R. (2006). Influence of prebiotic additions on the quality of gluten-free bread and on the content of inulin and fructooligosaccharides, *Food Sci Technol Intl* 12(6):489–95. doi: 10.1177/1082013206073072.

Lazaridou A, Duta D, Papageorgiou M, Belc N, Biliaderis C. (2007). Effects of hydrocolloids on dough rheology and bread quality parameters in gluten-free formulations, *J Food Eng* 79(3):1033–47.

Longton, J., and LeGrys, G.A.(1981). Differential scanning calorimetry studies on the crystallization of ageing wheat starch gels, *Starch/Stärke*, 33: 410.

Lopez A. , Pereira A. , Junqueira R. (2004). Flour mixture of rice flour, corn and cassava starch in the production of gluten-free white bread, *Braz Arch Biol Technol*, 47(1):63–70.

Marco, C. and Rosell, C.M. (2008). Effect of different protein isolates and transglutaminase on rice flour properties. *J. Food Eng.* 84:132-139.

Moore M, Heinbockel M, Dockery P, Ulmer H, Arendt E. (2006). Network formation in gluten-free bread with application of transglutaminase. *Cereal Chem* 83(1):28–36.

Nunes M, Moore M, Ryan L, Arendt E. (2009). Impact of emulsifiers on the quality and rheological properties of gluten-free breads and batters. *Eur Food Res Technol* 228(4):633–42. doi: 10.1007/s00217-008-0972-1.

Onyango C, Unbehend G, Lindhauer M. (2009). Effect of cellulose-derivatives and emulsifiers on creep-recovery and crumb properties of gluten-free bread prepared from sorghum and gelatinized cassava starch. *Food Res Intl* 42(8):949–55.

Onyango C, Mutungi C, Unbehend G, Lindhauer M. (2011). Modification of gluten-free sorghum batter and bread using maize, potato, cassava or rice starch, *Food Sci Technol – LEB* 44(3):681–6.

Pruska-Kedzior A, Kedzior Z, Goracy M, Pietrowska K, Przybylska A, Spsychalska K. (2008). Comparison of rheological, fermentative and baking properties of gluten-free dough formulations. *Eur Food Res Technol* 227(5):1523–36. doi: 10.1007/s00217-008-0875-1.

Pszczola DE. (2011). Breads and beyond, *Food Technol*, 65(1):50–65.

Pszczola DE. (2012). The rise of gluten-free, *Food Technol* , 66(12):55–66.

Purhagen J, Sjöo M, Eliasson A. (2012). The anti-staling effect of pre-gelatinized flour and emulsifier in gluten-free bread. *Eur Food Res Technol* 235(2):265–76. doi: 10.1007/s00217-012-1753-4.

Ribotta P, Ausar S, Morcillo M, Perez G, Beltramo D, Leon A. (2004). Production of gluten-free bread using soybean flour. *J Sci Food Agric* 84(14):1969–74. doi: 10.1002/jsfa.1915.

Rujner J, Socha J, Syczewska M, Wojtasik A, Kunachowicz H, Stolarczyk A. (2004), Magnesium status in children and adolescents with coeliac disease without malabsorption symptoms. 23(5):1074-9.

Sabanis D, Tzia C, Papadakis S. (2008). Effect of different raisin juice preparations on selected properties of gluten-free bread, *Food Bioprocess Technol* 1(4):374–83. doi: 10.1007/s11947-007-0027-9.

Sabanis D, Lebesi D, Tzia C. (2009). Effect of dietary fibre enrichment on selected properties of gluten-free bread, *Food Sci Technol – LEB* 42(8):1380–9.

Sciarini L, Ribotta P, Leon A, Perez G. (2012). Incorporation of several additives into gluten free breads: effect on dough properties and bread quality. *J Food Eng* 111(4):590–7.

Siqueira MP, Sandri LTB, Capriles VD. (2013). Optimization of sensory properties of unripe banana flour-based gluten-free bread: a mixture experimental design approach, X Latin American Symposium of Food Science. São Paulo, Brazil. 3–6 November 2013. Campinas. Proceedings of X Latin American Symposium of Food Science.

Smith B, Bean S, Herald T, Aramouni F. (2012). Effect of HPMC on the quality of wheat-free bread made from carob germ flour-starch mixtures, *J Food Sci* 77(6):C684–9. doi: 10.1111/j.1750-3841.2012.02739.x.

Storck C, Zavareze E, Gularte M, Elias M, Rosell C, Dias A. (2013). Protein enrichment and its effects on gluten-free bread characteristics. *Food Sci Technol – LEB* 53(1):346–54.

Sun-Waterhouse D, Chen J, Chuah C, Wibisono R, Melton L, Laing W, Ferguson L, Skinner M. (2009). Kiwifruit-based polyphenols and related antioxidants for functional foods: kiwifruit extract-enhanced gluten-free bread, *Intl J Food Sci Nutr* 60:251–64, doi: 10.1080/09637480903012355.

Tsatsaragkou K., Yiannopoulos S., Kontogiorgi A., Poulli E, Krokida M., Mantala I. (2012). Mathematical approach of structural and textural properties of gluten free bread enriched with carob flour, *Journal of Cereal Science* 56, pp. 603-609.

Vanessa D. Capriles, Jose Alfredo G. Areas. (2014). Novel Approaches in Gluten-Free Breadmaking: Interface between Food Science, Nutrition, and Health, Volume 13, Issue 5, pages 871–890

Vallons K, Ryan L, Koehler P, Arendt E. (2010). High pressure-treated sorghum flour as a functional ingredient in the production of sorghum bread. *Eur Food Res Technol* 231(5):711–7. doi: 10.1007/s00217-010-1316-5.

Vallons K, Ryan L, Arendt E. (2011). Promoting structure formation by high pressure in gluten-free flours. *Food Sci Technol – LEB* 44(7):1672–80.

Velazquez N, Sanchez H, Osella C, Santiago L. (2012). Using white sorghum flour for gluten-free breadmaking, *Intl J Food Sci Nutr* 63(4):491–7, doi: 10.3109/09637486.2011.636734.

Wang, Y., Belton, P. S., Bridon, H., Garanger, E., Wellner, N., Parker, M. L., et al. (2001). Physicochemical studies of caroubin: A gluten-like protein. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 49, 3414– 3419.

Whitney, E. N., Hamilton, E. M. N., & Rolfes, S. R. (1990). Understanding nutrition (5th ed.). New York: West Publishing

Wieser H. (2007). Chemistry of gluten proteins. Food Microbiol, 24 pp. 115-119

Ziobro R, Korus J, Juszczak L, Witczak T. (2013). Influence of inulin on physical characteristics and staling rate of gluten-free bread, J Food Eng 116(1):21–7.