



**ΤΜΗΜΑ ΕΠΙΣΤΗΜΗΣ ΚΑΙ
ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΑΣ ΤΡΟΦΙΜΩΝ**
ΣΧΟΛΗ ΓΕΩΤΕΧΝΙΚΩΝ ΕΠΙΣΤΗΜΩΝ
ΔΙΕΘΝΕΣ ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΤΗΣ ΕΛΛΑΔΟΣ



ΠΡΟΓΡΑΜΜΑ ΜΕΤΑΠΤΥΧΙΑΚΩΝ ΣΠΟΥΔΩΝ
«ΣΥΣΤΗΜΑΤΑ ΔΙΑΧΕΙΡΙΣΗΣ ΠΟΙΟΤΗΤΑΣ ΚΑΙ ΟΡΓΑΝΩΣΗΣ
ΠΑΡΑΓΩΓΗΣ ΣΤΗ ΒΙΟΜΗΧΑΝΙΑ ΤΡΟΦΙΜΩΝ»

«Διερεύνηση της αξιοποίησης αρσενικών ατόμων του γένους
Aris σε προϊόντα αρτοποιίας»

Μεταπτυχιακή Διατριβή
Καγιόγλου Γεωργία

ΘΕΣΣΑΛΟΝΙΚΗ 2021

**ΔΙΕΡΕΥΝΗΣΗ ΤΗΣ ΑΞΙΟΠΟΙΗΣΗΣ ΑΡΣΕΝΙΚΩΝ ΑΤΟΜΩΝ ΤΟΥ
ΓΕΝΟΥΣ ARIS ΣΕ ΠΡΟΪΟΝΤΑ ΑΡΤΟΠΟΙΑΣ**

ΚΑΓΙΟΓΛΟΥ ΓΕΩΡΓΙΑ

**Διεθνές Πανεπιστήμιο της Ελλάδος,
Τμήμα Επιστήμης και Τεχνολογίας Τροφίμων,
Σχολή Γεωτεχνικών Επιστημών**

**Υποβολή Μεταπτυχιακής Διατριβής που αποτελεί μέρος των απαιτήσεων για την
απονομή του Μεταπτυχιακού τίτλου «Συστήματα Διαχείρισης Ποιότητας και
Οργάνωσης Παραγωγής στην Βιομηχανία Τροφίμων»**

ΘΕΣΣΑΛΟΝΙΚΗ 2021

ΕΙΣΗΓΗΤΡΙΑ: ΠΑΠΑΓΕΩΡΓΙΟΥ ΜΑΡΙΑ

**«RESEARCH FOR THE UTILIZATION OF MALE INDIVIDUALS GENUS
APIS IN BAKERY PRODUCTS»**

GEORGIA KAGIOGLOU

**International Hellenic University,
Department of Food Science and Technology,
School of Geosciences**

**Submission of Postgraduate Thesis as a part of requirements for the award of
the Postgraduate Degree «Systems of Quality Management and Planning in
Production in Food Industry»**

THESSALONIKI 2021

SUPERVISOR: PAPAGEORGIU MARIA

Εσμι Σέση και του Γιώργη μου

Ευχαριστίες

Θα ήθελα να ευχαριστήσω θερμά την επιβλέπουσα Καθηγήτρια του τμήματος Τεχνολογίας Τροφίμων ΔΠΠΑΕ κα. Παπαγεωργίου Μαρία για τη συμβολή της στη διεκπεραίωση της μελέτης, την υπομονή και επιμονή της για την ολοκλήρωση αυτού του εγχειρήματος.

Παράλληλα θα ήθελα να ευχαριστήσω τον Ομότιμο Καθηγητή του τμήματος Τεχνολογίας Τροφίμων ΔΠΠΑΕ Δρ. Ραφαηλίδη Στέλιο για την βοήθεια του σε όλη τη διάρκεια των σπουδών μου. Τον καθηγητή του τμήματος Τεχνολογίας Τροφίμων Δρ. Θωμάρεϊ Απόστολο για την καλή και δημιουργική συνεργασία.

Επίσης, καθοριστική ήταν η βοήθεια της Δρος Μαρινοπούλου Άννας, την ευχαριστώ θερμά για το χρόνο που αφιέρωσε τόσο κατά τη διάρκεια των αναλύσεων όσο και για την αποτελεσματική συνεργασία και υποστήριξη για την ολοκλήρωση της παρούσας διατριβής. Επιπλέον, τον κ. Κόκκαλη Αθανάσιο για την τεχνική υποστήριξη και τις γνώσεις κατά την αρτοποιήση. Τον μελισσοκόμο-Τεχνολόγο τροφίμων κ. Βαχαράκη Νίκο για την προσφορά των κηφώνων.

Τέλος, θα ήθελα να ευχαριστήσω την οικογένειά μου, τους γονείς μου Αποστόλη και Μάλαμα για την διαχρονική υλική και ηθική τους στήριξη. Τον σύζυγο μου Στέλιο για την αμέριστη συμπαράστασή του, την υπομονή, την υλική και ηθική στήριξη των επιλογών μου όλα αυτά τα χρόνια. Δεν θα μπορούσα να παραλείψω τα παιδιά μου Σέτη και Γεώργιο ακούσιοι συνοδοιπόροι και υποστηρικτές σε αυτό μου το εγχείρημα.

ΠΕΡΙΛΗΨΗ

Σκοπός της διπλωματικής διατριβής ήταν η παρασκευή εμπλουτισμένων αρτοσκευασμάτων με σκόνη κηφήνα σε δύο επίπεδα προσθήκης(5 και 10%) και η αξιολόγηση των προϊόντων ως προς τα φυσικοχημικά και μηχανικά του χαρακτηριστικά. Επιμέρους στόχοι της διπλωματικής διατριβής ήταν η μελέτη της χημικής σύστασης των πρώτων υλών και των τελικών προϊόντων. Η επίδραση της προσθήκης σκόνης κηφήνα στα ρεολογικά χαρακτηριστικά των ζυμαριών. Η εξέταση της συμπεριφοράς των εμπλουτισμένων ζυμών κατά τη διαδικασία της αρτοποιίας. Η συγκριτική μελέτη των μηχανικών χαρακτηριστικών των τελικών προϊόντων και η μελέτη του ρυθμού παλαίωσης στα τελικά προϊόντα

Η υποκατάσταση αλεύρου σίτου τύπου 70% με σκόνη κηφήνα είχε ως σκοπό τον εμπλουτισμό του με επιπλέον μακροθρεπτικά συστατικά όπως οι διαιτητικές ίνες και η ζωικής προέλευσης πλήρη πρωτεΐνη. Αρχικά, εξετάστηκε η χημική σύσταση του αλέσματος κηφήνα και προσδιορίστηκαν τα φυσικοχημικά του χαρακτηριστικά συγκριτικά με τα συστατικά του αλεύρου σίτου τύπου 70%. Η περιεκτικότητά του σε μακροθρεπτικά συστατικά όπως πρωτεΐνες, λίπος και διαιτητικές ίνες βρέθηκε σαφώς μεγαλύτερη συγκριτικά με το άλευρο τύπου 70%. Ακολούθησε αρτοποιία με άλευρο σίτου τύπου 70% σε μίγματα με σκόνη κηφήνα σε συγκεντρώσεις 5% και 10% με σκοπό την παρασκευή προϊόντος με τα επιθυμητά χαρακτηριστικά. Τα ζυμάρια που παράχθηκαν με τις διαφορετικές συγκεντρώσεις υποκατάστασης(5%, 10%) του αλεύρου εξετάστηκαν ως προς τις ρεολογικές τους ιδιότητες με φαρινογραφία, εξτενσιογραφία και πειράματα λιπαινόμενης συμπιεστής ροής συγκριτικά με αυτή του μάρτυρα. Στη δοκιμή φαρινογραφίας βρέθηκε πως δεν υπάρχει σημαντική διαφοροποίηση της απορρόφησης νερού στα δείγματα ζύμης. Στη δοκιμή εξτενσιογραφίας διαπιστώθηκε πως όσο αυξάνεται η προσθήκη σκόνης κηφήνα αυξάνεται η αντίσταση κατά την επιμήκυνση, μειώνεται η εκτατότητα με αποτέλεσμα να εξασθενεί το πλέγμα της γλουτένης πιθανώς ως αποτέλεσμα της

προσθήκης επιπλέον διαιτητικών ινών. Επίσης, στο πείραμα της λιπαινόμενης συμπιεστής ροής διαπιστώθηκε αύξηση της καμπύλης ιξώδους με την αύξηση της συγκέντρωσης σκόνης κηφήνα ενώ η καμπύλη ροής παρέμεινε αμετάβλητη και ανεξάρτητη της συγκέντρωσης της σκόνης κηφήνα. Τέλος, τα αρτοσκευάσματα που προέκυψαν μετά το ψήσιμο εξετάστηκαν ως προς τα φυσικοχημικά τους χαρακτηριστικά, τις μηχανικές τους ιδιότητες και τα χαρακτηριστικά της υφής τους. Τα αρτοσκευάσματα που παρήχθησαν με τα υποκατεστημένα άλευρα δεν παρουσίασαν διαφοροποίηση στον ειδικό όγκο. Σημαντικά ήταν τα αποτελέσματα του προσδιορισμού τέφρας και διαιτητικών ινών που ουσιαστικά κατέδειξαν πως το ψήσιμο επηρέασε την ποσότητά τους συγκριτικά με τη συγκέντρωση που προϋπήρχε στις α' ύλες. Τα αρτοσκευάσματα υπέστησαν παλαίωση και αποθήκευση στους 4° C και εξετάστηκαν την 1^η, 4^η και 6^η ημέρα από την ημερομηνία παραγωγής τους ως προς το ποσοστό υγρασίας σε ψίχα και κόρα. Η μελέτη των αρτοσκευασμάτων συνεχίστηκε με δοκιμές συμπίεσης σε συνθήκες μεγάλων παραμορφώσεων με αναλυτή υφής (texture analyser). Τα δείγματα των αρτοσκευασμάτων εξετάστηκαν ως προς τη σκληρότητα, τη συνεκτικότητα και την κομμώδη υφή. Το αποτέλεσμα της δοκιμής ουσιαστικά διαφοροποίησε τα δύο δείγματα με εμπλουτισμένο άλευρο τόσο με τον μάρτυρα όσο και μεταξύ τους. Τέλος, πραγματοποιήθηκε εξέταση των δειγμάτων με διαφορική θερμιδομετρία σάρωσης (DSC) ώστε να μελετηθεί το σύνθετο φαινόμενο της παλαίωσης με αξιολόγηση της μεταβολής ενθαλπίας και της θερμοκρασίας κορύφωσης. Η μεταβολή ενθαλπίας βρέθηκε αυξανόμενη με αύξηση της συγκέντρωσης του κηφήνα στο δείγμα.

ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ

1. ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΚΗ ΑΝΑΣΚΟΠΗΣΗ	14
1.1 ΓΕΝΙΚΑ ΓΙΑ ΤΟ ΨΩΜΙ	14
1.1.1 Διατροφική σημασία	14
1.1.2 Μακροσκοπικά μέρη του ψωμιού	15
1.2 ΣΥΣΤΑΤΙΚΑ ΨΩΜΙΟΥ	17
1.2.1 Αλεύρι.....	17
1.2.2 Νερό	26
1.2.3 Μαγιά	27
1.2.4 Αλάτι.....	28
1.3 ΠΑΡΑΓΩΓΙΚΗ ΔΙΑΔΙΚΑΣΙΑ ΑΡΤΟΠΟΙΗΣΗΣ	29
1.3.1 Ζύμωμα.....	29
1.3.2 Φούσκωμα ζυμαριού-στοφάρισμα.....	31
1.3.3 Ψήσιμο	34
1.3.4 Τελικό προϊόν	36
1.3.5 Παλαίωση-μπαγιάτεμα του ψωμιού	37
1.4 ΝΕΕΣ ΤΑΣΕΙΣ ΓΙΑ ΕΜΠΛΟΥΤΙΣΜΟ ΤΡΟΦΙΜΩΝ	39
1.4.1 Εμπλουτισμός προϊόντων διατροφής με στόχο τη δημιουργία καλύτερων διατροφικών χαρακτηριστικών	39
1.4.2 Τι είναι τα Νέα Τρόφιμα;.....	39
1.4.3 ΣΥΛΛΟΓΗ ΚΑΙ ΠΑΡΑΓΩΓΗ ΣΚΟΝΗΣ ΚΗΦΗΝΑ	47
2. ΣΚΟΠΟΣ ΤΗΣ ΕΡΓΑΣΙΑΣ.....	49
3. ΥΛΙΚΑ ΚΑΙ ΜΕΘΟΔΟΙ.....	50
ΠΕΙΡΑΜΑΤΙΚΟ ΜΕΡΟΣ.....	50
3.1. Αναλύσεις αλεύρων	50
3.1.1. Προσδιορισμός υγρασίας.....	50
3.1.2. Ικανότητα συγκράτησης νερού	51
3.1.3. Ικανότητα διόγκωσης αλεύρου	52
3.1.4. Προσδιορισμός ανόργανων συστατικών(τέφρας)	53
3.1.5. Προσδιορισμός πυκνότητας ενυδατωμένου αλεύρου(hydrated density)	54
3.1.6. Προσδιορισμός ολικών λιπαρών.....	55
3.1.7. Προσδιορισμός ολικών πρωτεϊνών κατά Kjeldahl	55

3.1.8. Προσδιορισμός διαιτητικών ινών	56
3.2. Ρεολογικές αναλύσεις ζύμης.....	57
3.2.1. Φαρινογραφία (Φαρινογράφος ICC 115/1)	58
3.2.2. Εξτενσιογραφία (Εξτενσιογράφος ICC 114/1).....	59
3.2.3. Πειράματα λιπαινόμενης συμπιεστής ροής	62
3.3. Αναλύσεις στο ψωμί	63
ΑΡΤΟΠΟΙΗΣΗ	63
3.3.1. Μέτρηση ειδικού όγκου ψωμιού	64
3.3.2. Ανάλυση υφής δείγματος (TPA).....	65
3.3.3. Τεχνική Θερμικής Ανάλυσης- Διαφορική θερμιδομετρία σάρωσης (DSC).....	68
4. ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ ΚΑΙ ΣΥΖΗΤΗΣΗ.....	70
4.1. Αποτελέσματα αναλύσεων αλεύρου και σκόνης κηφήνα.....	70
4.1.1. Η σύσταση του αλεύρου και της σκόνης κηφήνα.....	70
4.2. Αποτελέσματα αναλύσεων ζύμης.....	72
4.2.1. Φαρινογραφία/ Εξτενσιογραφία	72
4.2.2. Ανάλυση πειραμάτων λιπαινόμενης συμπιεστής ροής.....	75
4.3. Αποτελέσματα αναλύσεων αρτοσκευασμάτων.....	81
4.3.1. Ανάλυση βάρους, όγκου και ειδικού όγκου αρτοσκευασμάτων.....	81
4.3.2. Ανάλυση υγρασίας αρτοσκευασμάτων	82
4.3.3. Ανάλυση τέφρας στη ψίχα των αρτοσκευασμάτων	85
4.3.4. Ανάλυση ολικών διαιτητικών ινών στη ψίχα των αρτοσκευασμάτων	85
4.3.5. Ανάλυση υφής δείγματος (TPA).....	87
4.3.6. Διαφορική θερμιδομετρία σάρωσης (DSC).....	90
5. ΣΥΖΗΤΗΣΗ.....	92
6. ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ.....	97
7. ΠΡΟΤΑΣΕΙΣ ΓΙΑ ΜΕΛΛΟΝΤΙΚΗ ΕΡΕΥΝΑ	99
ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ.....	100
ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ.....	115

Ευρετήριο Πινάκων

ΠΙΝΑΚΑΣ 1. Διατροφική αξία του ψωμιού.....	15
ΠΙΝΑΚΑΣ 2. Διατροφική αξία διάφορων ειδών ψωμιού.....	27
ΠΙΝΑΚΑΣ 3. Σύσταση αλευρου τύπου 70% και σκόνης κηφήνα.....	70
ΠΙΝΑΚΑΣ 4. Εξτενσιογραφικά χαρακτηριστικά των μιγμάτων με άλευρο 70% και σκόνης κηφήνα σε συγκέντρωση 5% και 10%.....	74
ΠΙΝΑΚΑΣ 5. Βάρος, όγκος και ειδικό βάρος αρτοσκευασμάτων.....	82
ΠΙΝΑΚΑΣ 6. Αδιάλυτες, διαλυτές και συνολικές διαιτητικές ίνες αρτοσκευασμάτων.....	86
ΠΙΝΑΚΑΣ 7. Μεταβολή της ενθαλπίας (ΔΗ) και θερμοκρασία κορυφής κατά τη θέρμανση από τους 25 στους 100 °C δειγμάτων ψίχας ψωμιών μετά από αποθήκευση για 1, 3 και 6 ημέρες στους 4°C.....	91

Ευρετήριο Σχημάτων

Σχήμα 1. Φαρινογράφημα (Blokman 1971).....	58
Σχήμα 2. Εξτενσιογράφημα (Blokman 1971).....	60
Σχήμα 3. Σχηματική απεικόνιση Two bite test.....	67
Σχήμα 4. Ενυδατωμένη πυκνότητα αλεύρου. Μέσοι όροι με το ίδιο γράμμα δεν διαφέρουν σημαντικά σύμφωνα με τον έλεγχο πολλαπλών συγκρίσεων μέσω των όρων (Tukey test).....	71
Σχήμα 5. Εξτενσιογράφημα μίγματος με άλευρο τύπου 70% . Με μπλε χρώμα, δίνονται οι καμπύλες που παίρνουμε στα 45 πρώτα λεπτά, με πράσινο, αυτές στα 90 λεπτά.....	72
Σχήμα 6. Εξτενσιογράφημα μίγματος αλεύρου τύπου 70% και σκόνης κηφήνα σε συγκέντρωση 5% . Με μπλε χρώμα, δίνονται οι καμπύλες που παίρνουμε στα 45 πρώτα λεπτά, με πράσινο, αυτές στα 90 λεπτά και με κόκκινο, εκείνες στα 135 λεπτά.....	73
Σχήμα 7. Εξτενσιογράφημα μίγματος αλεύρου τύπου 70% και σκόνης κηφήνα σε συγκέντρωση 10% . Με μπλε χρώμα, δίνονται οι καμπύλες που παίρνουμε στα 45 πρώτα λεπτά, με πράσινο, αυτές στα 90 λεπτά και με κόκκινο, εκείνες στα 135 λεπτά.....	73
Σχήμα 8. Καμπύλες δύναμης -απόστασης αρτοσκευασμάτων χωρίς τη προσθήκη σκόνης κηφήνα (0%) σε συνθήκες λιπαινόμενης συμπιεστής ροής με τιμές σταθερού ρυθμού παραμόρφωσης 1%, 4%, 7 % & 10%.....	76
Σχήμα 9. Καμπύλες δύναμης -απόστασης αρτοσκευασμάτων με τη προσθήκη σκόνης κηφήνα (5%) σε συνθήκες λιπαινόμενης συμπιεστής ροής με τιμές σταθερού ρυθμού παραμόρφωσης 1%, 4%, 7 % & 10%.....	77
Σχήμα 10. Καμπύλες δύναμης -απόστασης αρτοσκευασμάτων με τη προσθήκη σκόνης κηφήνα (10%) σε συνθήκες λιπαινόμενης συμπιεστής ροής με τιμές σταθερού ρυθμού παραμόρφωσης 1%, 4%, 7 % & 10%.....	77

Σχήμα 11. Καμπύλες ροής εκτατού ιξώδους αρτοσκευασμάτων χωρίς τη προσθήκη σκόνης κηφήνα (0%) ως συνάρτηση διαφορετικών ρυθμών παραμορφώσεων 1%, 4%, 7 % & 10%.....	78
Σχήμα 12. Καμπύλες ροής εκτατού ιξώδους αρτοσκευασμάτων με τη προσθήκη σκόνης κηφήνα (5%) ως συνάρτηση διαφορετικών ρυθμών παραμορφώσεων (1%, 4%, 7 % & 10%).....	79
Σχήμα 13. Καμπύλες ροής εκτατού ιξώδους αρτοσκευασμάτων με τη προσθήκη σκόνης κηφήνα (10%) ως συνάρτηση διαφορετικών ρυθμών παραμορφώσεων (1%, 4%, 7 % & 10%).....	79
Σχήμα 14. Καμπύλες ροής εκτατού ιξώδους αρτοσκευασμάτων ως συνάρτηση του ρυθμού διαξονικής παραμόρφωσης (1%, 4%, 7 % & 10%).....	80
Σχήμα 15. Περιεκτικότητα σε υγρασία της ψίχας των αρτοσκευασμάτων που αποθηκευτήκαν για 1, 4 & 6 ημέρες στους 4 °C. Διαφορετικά γράμματα εντός της ομάδας της ίδιας ημέρας ή αριθμοί για την ίδια συνταγή (σε διαφορετικές ημέρες) υποδεικνύουν στατιστικές σημαντικές διαφορές ($p < 0.05$) μεταξύ των μέσων όρων, όπως καθορίζεται από τον έλεγχο πολλαπλών συγκρίσεων (Tukey test).....	83
Σχήμα 16. Περιεκτικότητα σε υγρασία της κόρας των αρτοσκευασμάτων που αποθηκευτήκαν για 1, 4 & 6 ημέρες στους 4 °C. Διαφορετικά γράμματα εντός της ομάδας της ίδιας ημέρας ή αριθμοί για την ίδια συνταγή (σε διαφορετικές ημέρες) υποδεικνύουν στατιστικές σημαντικές διαφορές ($p < 0.05$) μεταξύ των μέσων όρων, όπως καθορίζεται από τον έλεγχο πολλαπλών συγκρίσεων (Tukey test).....	84
Σχήμα 17. Τέφρα ψίχας αρτοσκευασμάτων.....	85
Σχήμα 18. Σκληρότητα αρτοσκευασμάτων που αποθηκευτήκαν για 1, 4 & 6 ημέρες στους 4 °C. Διαφορετικά γράμματα εντός της ομάδας της ίδιας ημέρας ή αριθμοί για την ίδια συνταγή (σε διαφορετικές ημέρες) υποδεικνύουν στατιστικές σημαντικές διαφορές ($p < 0.05$) μεταξύ των μέσων όρων, όπως καθορίζεται από τον έλεγχο πολλαπλών συγκρίσεων (Tukey test).....	87

Σχήμα 19. Συνεκτικότητα αρτοσκευασμάτων που αποθηκευτήκαν για 1, 4 & 6 ημέρες στους 4 °C. Διαφορετικά γράμματα εντός της ομάδας της ίδιας ημέρας ή αριθμοί για την ίδια συνταγή (σε διαφορετικές ημέρες) υποδεικνύουν στατιστικές σημαντικές διαφορές ($p < 0.05$) μεταξύ των μέσων όρων, όπως καθορίζεται από τον έλεγχο πολλαπλών συγκρίσεων (Tukey test).....88

Σχήμα 20. Κομμιώδης υφή αρτοσκευασμάτων που αποθηκευτήκαν για 1, 4 & 6 ημέρες στους 4 °C. Διαφορετικά γράμματα εντός της ομάδας της ίδιας ημέρας ή αριθμοί για την ίδια συνταγή (σε διαφορετικές ημέρες) υποδεικνύουν στατιστικές σημαντικές διαφορές ($p < 0.05$) μεταξύ των μέσων όρων, όπως καθορίζεται από τον έλεγχο πολλαπλών συγκρίσεων (Tukey test).....89

1. ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΚΗ ΑΝΑΣΚΟΠΗΣΗ

1.1 ΓΕΝΙΚΑ ΓΙΑ ΤΟ ΨΩΜΙ

Το ψωμί είναι ένα βασικό τρόφιμο παρασκευασμένο από μια ζύμη από αλεύρι και νερό, που παίρνει τη γεύση του συνήθως με το ψήσιμο. Καθ' όλη τη διάρκεια της ιστορίας του ανθρώπου, υπήρξε ένα σημαντικό τρόφιμο για τη διαβίωση του ανθρώπου σε πολλές περιοχές του κόσμου. Είναι ένα από τα παλαιότερα τρόφιμα που δημιούργησε ο άνθρωπος και έχει την κυριότερη θέση στη διατροφή του ανθρώπου από την εποχή που ο άνθρωπος έγινε γεωργός. Το ψωμί μπορεί να διογκωθεί με μεθόδους όπως η διοχέτευση φυσικών μικροοργανισμών στη μαγιά, με χημικά, με βιομηχανοποιημένη ζύμη ή με αερισμό υψηλής πίεσης. Στο ψωμί του εμπορίου, περιέχονται συνήθως πρόσθετα για τη βελτίωση της γεύσης, της υφής, του χρώματος, της διάρκειας ζωής όσον αφορά τη βρώση του, της διατροφής και της ευκολίας κατασκευής. Το ψωμί διαδραματίζει ουσιαστικό ρόλο στις θρησκευτικές τελετές και στον πολιτισμό. Το ψωμί ήταν το βασικό τρόφιμο στους πολιτισμούς της Μέσης Ανατολής, της Κεντρικής Ασίας, της Βόρειας Αφρικής, της Ευρώπης και σε πολιτισμούς που προέρχονται από την Ευρώπη, όπως στην Αμερική, την Αυστραλία και τη Νότια Αφρική, σε αντίθεση με τμήματα της Νότιας και Ανατολικής Ασίας, είναι το βασικό. Το ψωμί συνήθως παρασκευάζεται από ζύμη αλεύρου σίτου που καλλιεργείται με μαγιά, που αφήνεται να ανέβει και τελικά ψήνεται σε φούρνο. Λόγω των υψηλών επιπέδων γλουτένης το μαλακό σιτάρι είναι ο συνηθέστερος κόκκος που χρησιμοποιείται για την παρασκευή του ψωμιού, γεγονός που το καθιστά τη μεγαλύτερη ενιαία συνεισφορά στον παγκόσμιο εφοδιασμό με τρόφιμα (Δημόπουλος, 1987). Άλλα δημητριακά περιλαμβανομένης της σίκαλης, του κριθαριού, του καλαμποκιού, της βρώμης, του σόργου, του κεχριού και του ρυζιού έχουν επίσης χρησιμοποιηθεί για την παρασκευή ψωμιού, αλλά με εξαίρεση τη σίκαλη, συνήθως σε συνδυασμό με αλεύρι σίτου, καθώς έχουν λιγότερη γλουτένη (Sandstel, 1961).

1.1.1 Διατροφική σημασία

Διατροφικά, το ψωμί βρίσκεται στη βάση της διατροφικής πυραμίδας και αποτελεί καλή πηγή υδατανθράκων και θρεπτικών ουσιών όπως μαγνήσιο, σίδηρο, σελήνιο,

βιταμίνες Β και διαιτητικών ινών ιδιαίτερα στην περίπτωση του ψωμιού ολικής άλεσης, όπως βλέπουμε και στον παρακάτω πίνακα (ΠΙΝΑΚΑΣ 1.) .

ΠΙΝΑΚΑΣ 1. Διατροφική αξία του ψωμιού ανά 100gr.(U.S. Department of Agriculture- Nutrient Database for Standard Reference)

	Ψωμί σίτου	Ψωμί σίτου ολικής άλεσης	Ψωμί σίκαλης	Ψωμί σίκαλης ολικής άλεσης
Υδατάνθρακες, g (% της ενέργειας)	49 (82)	41 (81)	41 (83)	(80)
Πρωτεΐνες, g (% της ενέργειας)	8 (14)	8 (15)	5 (11)	7 (15)
Λίπος, g (% της ενέργειας)	1 (4)	1 (4)	1 (6)	1 (5)
Διαιτητικές ίνες, g	3	7	7	8
Βιταμίνες				
Βιταμίνη Β ₁ (Θειαμίνη), μg	86	250	180	180
Βιταμίνη Β ₂ (Ριβοφλαβίνη), μg	60	150	51	150
Βιταμίνη Β ₃ (Νιασίνη), mg	2,2	5,0	1,8	1,6
Βιταμίνη Β ₆ (Πυριδοξίνη), μg	17	79	80	150
Βιταμίνη Β ₉ (Φυλλικό οξύ), μg	22	29	16	14
Ανόργανα στοιχεία				
Σίδηρος, mg	0,7	2,0	1,6	2,0
Ψευδάργυρος, mg	0,7	1,5	1,5	1,5
Μαγνήσιο, mg	24	60	46	55
Νάτριο (αλάτι), g	0,5 (1,4)	0,5 (1,2)	0,5 (1,1)	0,5 (1,3)

1.1.2 Μακροσκοπικά μέρη του ψωμιού

1. Κρούστα ή κόρα

Η κρούστα του ψωμιού σχηματίζεται στην επιφάνεια του ζυμαριού κατά τη διάρκεια της διαδικασίας ψησίματος. Έχει αποκτήσει σκληρότητα με το ψήσιμο και αποκτά χαρακτηριστικό χρώμα μέσω αντιδράσεων Maillard χρησιμοποιώντας τα σάκχαρα και τα αμινοξέα και την έντονη θερμότητα στην επιφάνεια του ψωμιού. Η κρούστα των

περισσότερων ψωμιών είναι πιο σκληρή και πιο πολύπλοκη και έντονα αρωματισμένη σε σύγκριση με το υπόλοιπο μέρος του ψωμιού. Ορισμένες μελέτες έχουν δείξει ότι η κόρα είναι πιο υγιεινή από το υπόλοιπο ψωμί καθώς η κρούστα έχει περισσότερα αντιοξειδωτικά όπως η προνυλ-λυσίνη (Ranken et al., 1997). Η πρόσφατα διερευνώμενη αυτή τροποποιημένη πρωτεΐνη, που ονομάζεται προνυλ-λυσίνη (Pronyl-lysine) είναι ένα αντιοξειδωτικό που σχηματίζεται στην κρούστα ψωμιού κατά το στάδιο του ψησίματος. Δημιουργείται όταν το άμυλο και τα σάκχαρα αντιδρούν με το αμινοξύ L-λυσίνη κι έχει ερευνηθεί για τις πιθανές ιδιότητες αναστολής του καρκίνου του παχέος εντέρου (Lindenmeier et al,2002).

II. Ψίχα

Η φρεσκάδα της ψίχας σχετίζεται με την ειδική της δομή και ειδικότερα με τις μηχανικές ιδιότητες των κυψελιδικών τοιχωμάτων που σχηματίζουν οι θύλακες αερίου στο ψωμί (Angioloni & Collar, 2009). Για την αξιολόγηση της ψίχας του ψωμιού χρησιμοποιούνται οι παράμετροι της υφής και του κόκκου. Με τους όρους αυτούς περιγράφεται η δομή της ψίχας σε μια επιφάνεια κοπής όταν τεμαχίζεται ένα καρβέλι. Συνηθέστερα, ο όρος υφή αναφέρεται σε αισθητηριακές αντιλήψεις που σχετίζονται με τις μηχανικές ιδιότητες των τροφίμων, επομένως χρησιμοποιείται αποκλειστικά για να περιγράψει την ομοιομορφία της ψίχας και το μέγεθος των κυψελιδικών χώρων. Από την άλλη μεριά, η δομή των κυψελίδων της ψίχας είναι ένα σημαντικό κριτήριο ποιότητας που χρησιμοποιείται για να αξιολογηθεί η ποιότητα του ψωμιού παράλληλα με τη γεύση, το χρώμα και τη φυσική υφή της ψίχας. Τέλος, η οπτική υφή του ψωμιού αντιπροσωπεύει περίπου το 20% της στάθμησης που χρησιμοποιείται για την συνολική αξιολόγηση της ποιότητας του ψωμιού. Σε γενικές γραμμές πιστεύεται ότι η αξιολόγηση της δομής των κυψελίδων της ψίχας έχει την μεγαλύτερη σημασία στον καθορισμό της ποιότητας του ψωμιού. Όταν αποθηκεύονται σε θερμοκρασία δωματίου, τα περισσότερα ψωμιά ή προϊόντα αρτοποιίας με σπογγώδη ψίχα, υφίστανται προοδευτική και συχνά ταχεία αλλοίωση της ποιότητας, που είναι ευρύτερη γνωστή ως μπαγιάτεμα (staling) και παρατηρείται ιδιαίτερος σε δείγματα υψηλής υγρασίας (Angioloni & Collar, 2009).

1.2 ΣΥΣΤΑΤΙΚΑ ΨΩΜΙΟΥ

1.2.1 Αλεύρι

Το αλεύρι σίτου είναι το προϊόν που παράγεται αποκλειστικά από την άλεση των σπόρων *Triticum aestivum*. Το αλεύρι πρέπει να είναι διαθέσιμο για κατανάλωση σε καθαρή μορφή. Απαγορεύεται να αναμειγνύεται γενικά αλλοιωμένο αλεύρι με κανονικό αλεύρι για σκοπούς κάλυψης αυτών των ελλείψεων (Hui et al, 2006, JTI 2009). Τα κύρια συστατικά του αλεύρου σιταριού είναι το άμυλο (65-75%) και οι πρωτεΐνες (7-16%). Το άμυλο αποτελείται κυρίως από αμυλόζη και αμυλοπηκτίνη.

Το άμυλο που υπάρχει στη ζύμη υπό τη μορφή ημι-κρυσταλλικών κόκκων που απορροφούν μια σημαντική ποσότητα νερού, ενεργεί ως αδρανές πληρωτικό υλικό στη συνεχή πρωτεϊνική μήτρα της ζύμης (Hui et al, 2007). Οι Eliasson & Larsson (1993) περιέγραψαν τη ζύμη ως ένα ασυνεχές δίκτυο αμύλου σε πρωτεΐνη, ενώ σε επόμενες μελέτες των ίδιων ερευνητών αναφέρθηκε ότι η ρεολογική συμπεριφορά της ζύμης από άλευρο σίτου επηρεάζεται από τις συγκεκριμένες ιδιότητες της επιφάνειας των κόκκων του αμύλου και από την παρουσία αμυλολυτικών ενζύμων (Larsson & Eliasson, 1997).

1. Αλεύρι σίτου

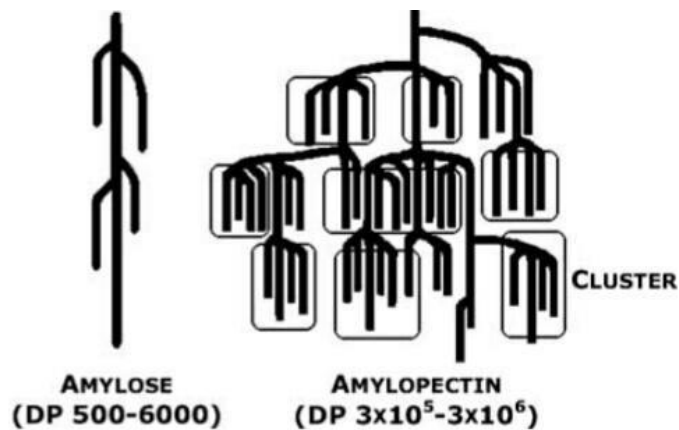
Γενικά, ο σίτος είναι το πιο ευρέως χρησιμοποιούμενο δημητριακό στη διαδικασία παραγωγής ψωμιού παγκοσμίως. Το ενδοσπέρμιο του σίτου περιέχει διάφορες αποθηκευτικές πρωτεΐνες με συγκεκριμένη σύνθεση, δομή και ιδιότητες που τους επιτρέπουν να σχηματίσουν σύνθετες ιξωδοελαστικές δομές (τρισδιάστατο δίκτυο) κατά την ανάμιξη του ζυμαριού (Slukoná et al., 2017). Τα συστατικά του αλεύρου σίτου είναι τα παρακάτω:

Άμυλο

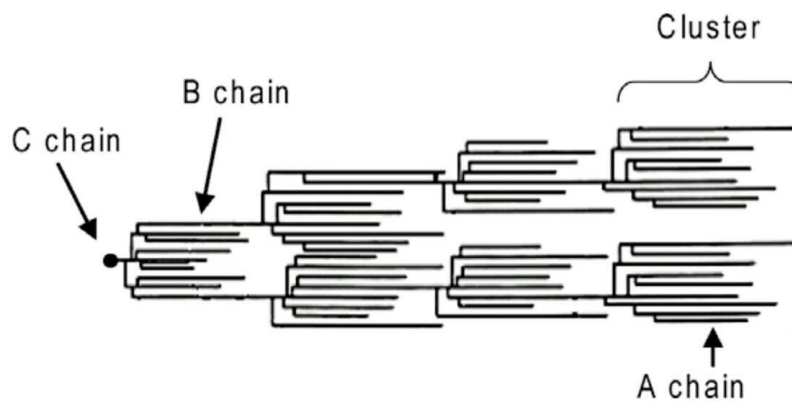
Το άμυλο είναι το πιο άφθονο κλάσμα του αλεύρου σίτου. Η ποσότητα αμύλου (και των σακχάρων) στο αλεύρι σίτου κυμαίνεται από περίπου 64% (ξηρή βάση) για το

αλεύρι τύπου 100% έως 71% (ξηρή βάση) σε αλεύρι τύπου 70% (Delcour & Hosenev, 2009). Η αναλυτική πολυπλοκότητα που διέπει την κατανόηση της δομής και των λειτουργικών ιδιοτήτων του αμύλου είναι μεγάλη και αναδεικνύεται από την διαρκώς αναπτυσσόμενη βιβλιογραφία. Ωστόσο, τα εργαλεία μοριακής βιολογίας έχουν καταστήσει δυνατή την εις βάθος διερεύνηση της βιοσύνθεσης του αμύλου και των ενζυμικών διεργασιών που εμπλέκονται (Tester et al., 2004).

Τα κύρια συστατικά του αμύλου είναι τα πολυμερή της γλυκόζης, η αμυλόζη και η αμυλοπηκτίνη. Η αμυλόζη είναι ουσιαστικά ένα γραμμικό μόριο, αποτελούμενο από μόρια γλυκόζης ενωμένα με α -1,4 γλυκοζιτικούς δεσμούς με βαθμό πολυμερισμού στην περιοχή των 500-6000 μονάδων γλυκόζης. Είναι πλέον καλά αναγνωρισμένο ότι ένα κλάσμα των μορίων αμυλόζης διακλαδίζεται ελαφρώς στις περιοχές σύνδεσης 1,6. Αντίθετα, η αμυλοπηκτίνη είναι ένας πολύ μεγάλος και πολύ διακλαδισμένος πολυσακχαρίτης με βαθμό πολυμερισμού που κυμαίνεται από $3 \cdot 10^5$ έως $3 \cdot 10^6$ μονάδες γλυκόζης. Αποτελείται από αλυσίδες D- συνδεδεμένης γλυκοπυρανόζης (1,4) τα τελικά άκρα των οποίων συνδέονται μεταξύ τους με δεσμούς (1,6) (Εικόνα 1). Αυτές οι αλυσίδες μπορούν να ταξινομηθούν είτε ως μη διακλαδισμένες εξωτερικές αλυσίδες (A) είτε ως διακλαδισμένες εσωτερικές αλυσίδες (B), εκ των οποίων οι τελευταίες διακρίνονται περαιτέρω σε αλυσίδες B1, B2, B3 και B4. Επιπλέον, στο μόριο της αμυλοπηκτίνης υπάρχει μία μόνο αλυσίδα C που περιέχει το μοναδικό αναγωγικό άκρο (Εικόνα 2). Το μοντέλο συστάδας της δομής της αμυλοπηκτίνης (Εικόνα 2) στο οποίο οι κοντές αλυσίδες (A και B1) σχηματίζουν διπλές έλικες, οι οποίες είναι οργανωμένες σε διακριτές συστάδες, ενώ οι μεγαλύτερες αλυσίδες B2, B3 και B4 εκτείνονται σε 2, 3 ή 4 συστάδες, αντίστοιχα είναι ευρέως αποδεκτό (Goesaert et al., 2005).



Εικόνα 1. Σχηματική αναπαράσταση της αμυλόζης και της αμυλοπηκτίνης (Goesaert et al., 2005)



Εικόνα 2. Μοντέλο συστάδας της δομής αμυλοπηκτίνης όπου απεικονίζεται η οργάνωση των αλυσίδων (το μοναδικό αναγωγικό άκρο κάθε μονάδας αμυλοπηκτίνης συμβολίζεται με μια μαύρη κουκκίδα) (Dona et al., 2010).

Η συμβολή του αμύλου στην παραγωγή του ψωμιού σχετίζεται με την ιδιότητα απορρόφησης του νερού κατά την ανάπτυξη της ζύμης. Η ζελατινοποίηση (gelatinization) του αμύλου συνιστά μια διαταραχή της μοριακής του τάξης εντός του κόκκου που έχει ως αποτέλεσμα την διόγκωση, την τήξη των κρυστάλλων του, την ανάπτυξη ιξώδους και τελικά διαλυτοποίηση (Liu et al., 2009). Η διόγκωση του αμυλόκοκκου που προκαλείται υπό την επίδραση θερμότητας στο άμυλο, επάγει α)

μετασχηματισμό των κόκκων αμύλου (σε περίσσεια νερού) από διαταγμένη σε διαταραγμένη κατάσταση, β) την εξίδρωση των μοριακών συστατικών του και γ) την τελική ολική ρήξη των κόκκων του (pasting behavior) (Kumar & Khatkar, 2017). Η διόγκωση και η ζελατινοποίηση προκύπτουν κατά το ψήσιμο, ενώ η αναδιάταξη προκύπτει κατά την ψύξη και την αποθήκευση. Η επίδραση του αμύλου στην παρασκευή ψωμιού επηρεάζεται επίσης από άλλα συστατικά του αλευριού, ιδίως από τις πρωτεΐνες, οι οποίες, αν και υπάρχουν σε σχετικά μικρότερη ποσότητα (12-14%, σε ξηρή βάση), διαδραματίζουν σημαντικό λειτουργικό ρόλο στην ανάπτυξη της χαρακτηριστικής υφής του ψωμιού. Άλλα σημαντικά συστατικά της ξηρής μάζας του αλεύρου σίτου είναι οι μη αμυλούχοι πολυσακχαρίτες, τα λιπίδια και η τέφρα (Goesaert et al., 2005).

Πρωτεΐνες

Η περιεκτικότητα του αλεύρου σίτου σε πρωτεΐνες είναι ένα σημαντικό στοιχείο στην παραγωγή του ψωμιού. Ειδικότερα, ο σίτος με υψηλότερη περιεκτικότητα πρωτεϊνών έχει μεγαλύτερη ικανότητα απορρόφησης νερού και μεγαλύτερο όγκο μετά το ψήσιμο του ψωμιού, ενώ συχνά αναφέρεται και η καλύτερη ποιότητα συντήρησης (Carson & Edwards, 2009).

Βάση της διαλυτότητας σε διαφορετικούς διαλύτες, οι κύριοι τύποι πρωτεϊνών του αλεύρου σίτου ταξινομούνται σε αλβουμίνες (ή λευκωματίνες) (διαλυτές στο νερό), γλοβουλίνες (διαλυτές σε διάλυμα χλωριούχου νατρίου), προλαμίνες (διαλυτές σε αιθανόλη 70%) και γλουτελίνες (διαλυτές σε αραιά οξέα ή αλκάλια) (Uthayakumaran Wrigley, 2017). Οι πρωτεΐνες της γλουτένης (γλοιαδίνες και γλουτενίνες) παίζουν σημαντικό ρόλο στον καθορισμό της ποιότητας του ψησίματος του αλεύρου σίτου, καθώς η γλοιαδίνη συμβάλλει κυρίως στο ιξώδες και την εκτατότητα της ζύμης, ενώ η γλουτενίνη συμβάλλει στη συνοχή και την ελαστικότητα της ζύμης (Xue et al., 2019).

Ωστόσο περισσότερο επωφελής είναι η διάκριση των πρωτεϊνών του αλεύρου σίτου από λειτουργικής άποψης. Βάση αυτής, οι παραπάνω πρωτεΐνες ταξινομούνται στις πρωτεΐνες εκτός της γλουτένης (non-gluten proteins), που διαδραματίζουν έναν μικρό ρόλο στην ποιότητα του ψωμιού και οι πρωτεΐνες της γλουτένης (gluten proteins) που

διαδραματίζουν σημαντικό ρόλο. Οι πρωτεΐνες εκτός της γλουτένης (που καταλαμβάνουν περίπου το 15-20% της συνολικής πρωτεΐνης του σίτου) εμφανίζονται κυρίως στα εξωτερικά στρώματα του πιτύρου του σίτου με χαμηλότερες συγκεντρώσεις στο ενδοσπέρμιο. Είναι ως επί το πλείστον μονομερείς μεταβολικές ή δομικές πρωτεΐνες. Οι γλουτενοπρωτεΐνες (που καταλαμβάνουν το 80-85% της συνολικής πρωτεΐνης του σίτου) ανήκουν στην κατηγορία των προλαμινών και των γλουτελινών και βρίσκονται στο ενδοσπέρμιο των ώριμων κόκκων του σίτου όπου φαίνονται να σχηματίζουν μια συνεχή μήτρα γύρω από τους κόκκους του αμύλου. Οι γλουτενοπρωτεΐνες μπορούν να διακριθούν λειτουργικά στις μονομερείς γλοιαδίνες και στις πολυμερείς (εκχυλίσσιμες και μη) γλουτενίνες. Οι γλοιαδίνες αντιπροσωπεύουν μια πολυμορφική ομάδα μονομερών πρωτεϊνών γλουτένης με μοριακά βάρη μεταξύ 30.000 και 80.000 (Uthayakumaran & Wrigley, 2017). Η δομή των γλοιαδινών είναι αυτή ενός μακρομορίου μονής αλυσίδας που αποτελείται από έλικες και τυχαίους βρόγχους (μη συνδεδεμένες περιοχές). Ένας μεγάλος αριθμός δεσμών υδρογόνου σταθεροποιεί την έλικα, ενώ οι ενδομοριακοί δισουλφιδικοί δεσμοί (S-S) συγκρατούν τυχαίες αναδιπλώσεις του μακρομορίου της γλοιαδίνης (Slukoná et al., 2017).

Οι γλουτενίνες είναι ένα ετερογενές μείγμα πολυμερών με τεράστια και πρακτικά απροσδιόριστα μοριακά βάρη που κυμαίνονται από περίπου 80.000 έως αρκετά εκατομμύρια (Uthayakumaran & Wrigley, 2017). Σε αντίθεση με τις γλοιαδίνες, η δομή των γλουτενινών συνίσταται από πολλές διαφορετικές μακριές αλυσίδες που συνδέονται κυρίως με δισουλφιδικούς δεσμούς (Slukoná et al., 2017). Επομένως, οι γλουτενίνες συνίστανται από υπομονάδες γλουτενίνης που συνδέονται μέσω δισουλφιδικών δεσμών. Αυτές οι υπομονάδες μπορούν να απελευθερωθούν με αναγωγή των δισουλφιδικών δεσμών με αναγωγικούς παράγοντες όπως η β-μερκαπταιθανόλη ή η διθειοθρεϊτόλη. Οι υπομονάδες γλουτενίνης σχετίζονται βιοχημικά με τις γλοιαδίνες που είναι διαλυτές σε υδατικά διαλύματα αλκοολών. Μπορούν να διακριθούν σε διαφορετικές ομάδες: τις υψηλού μοριακού βάρους υπομονάδες γλουτενίνης (HMW-GS) και τις υπομονάδες γλουτενίνης χαμηλού μοριακού βάρους (LMW-GS) (Goesaert et al., 2005). Οι πολυπεπτιδικές υπομονάδες γλουτενίνης συμβάλλουν ουσιαστικά στην ποιότητα της ζύμης και η σύνθεσή τους

χρησιμοποιείται ως εργαλείο επιλογής στην αναπαραγωγή και στον διαχωρισμό των σιτηρών με βάση την ποιότητα (Uthayakumaran & Wrigley, 2017).

Η περιεκτικότητα του σίτου σε πρωτεΐνες ποικίλλει ευρέως ανάλογα με τον τύπο ή την κατηγορία του σίτου, τις συνθήκες καλλιέργειας και τις εισροές λιπασμάτων, όπως το άζωτο. Οι ποικιλίες εντός μιας κατηγορίας σίτου συνήθως αναπτύσσονται σε ένα προκαθορισμένο εύρος περιεχομένου πρωτεΐνης, με γνώμονα τη χρήση της αγοράς-στόχου (Carson & Edwards, 2009).

Λιπίδια

Τα λιπίδια διαδραματίζουν σημαντικό ρόλο στον προσδιορισμό της ποιότητας του αλεύρου σίτου και της καταλληλότητάς του για διάφορα προϊόντα αρτοποιίας (Prabhasankar & Rao, 1999). Τα λιπίδια που περιέχονται στους κόκκους του σίτου εμφανίζουν μεγάλη δομική ποικιλότητα και περιλαμβάνουν ουδέτερα (ακυλογλυκερόλες και ελεύθερα λιπαρά οξέα) και πολικά (γλυκολιπίδια και φωσφολιπίδια) συστατικά (Gonzalez-Thuillier et al., 2015). Η περιεκτικότητα σε λιπίδια και η σύνθεση λιπαρών οξέων σε διάφορους τύπου αλεύρου σίτου επιδεικνύει μια αξιοσημείωτη παραλλαγή. Ειδικότερα, η περιεκτικότητα του αλεύρου σίτου σε ελεύθερα λιπίδια κυμαίνεται από 0,1-1,9% (επί ξηρού) και η περιεκτικότητα σε δεσμευμένα λιπίδια από 0,2-2,1% (επί ξηρού). Το παλμιτικό και λινελαϊκό οξέα είναι τα κυρίαρχα λιπαρά οξέα που υπάρχουν τόσο στα ελεύθερα όσο και στα δεσμευμένα λιπίδια (Prabhasankar & Rao, 1999).

Όπως στους περισσότερους ιστούς σπόρων, οι τριακυλογλυκερόλες είναι τα κύρια αποθηκευτικά λιπίδια και περιέχονται σε υποκυτταρικά οργανίδια που ονομάζονται ελαιωσώματα. Αν και τα λιπίδια είναι δευτερεύοντα συστατικά του αλευριού σίτου (περίπου 2,5% της ξηρής μάζας), θεωρείται ότι επιδρούν σημαντικά στο αλεύρι και την λειτουργικότητα της ζύμης, αλληλεπιδρώντας με τις πρωτεΐνες της γλουτένης και το άμυλο και σταθεροποιώντας το παραγόμενο από τους ζυμομύκητες αέριο που φουσκώνει τη ζύμη (Gonzalez-Thuillier et al., 2015).

Το αλεύρι σίτου περιέχει μια σειρά λιπιδίων τα οποία είναι ικανά να προσροφηθούν στην επιφάνεια της φυσαλίδας αερίου, αν και μερικά διασυνδέονται σε διαφορετικές

δομές εντός του κόκκου και του αλευριού και ουσιαστικά δεν είναι διαθέσιμα. Οι διαφορές στις μοριακές δομές των περιεχόμενων λιπιδίων καθορίζουν τη συνολική σταθερότητα των φυσαλίδων, καθιστώντας τη σύνθεση λιπιδίων του αλευριού κρίσιμη για τη σταθερότητα της ζύμης. Έχουν αποδειχθεί σημαντικοί συσχετισμοί μεταξύ του όγκου του ψωμιού και του λόγου των ουδέτερων λιπιδίων προς τα πολικά λιπίδια και ειδικότερα των ουδέτερων λιπιδίων προς τα γλυκολιπίδια. Έχει επίσης προταθεί ότι τα φωσφολιπίδια και τα γλυκολιπίδια μπορούν να προωθήσουν το σχηματισμό πρωτεϊνών κατά την παραγωγή ζύμης, μέσω δεσμών υδρογόνου και υδρόφοβων αλληλεπιδράσεων με μόρια γλοιαδίνης και γλουτενίνης (Dobraszczyk & Morgenstern, 2003). Αυτές οι αλληλεπιδράσεις με τη σειρά τους θα οδηγήσουν σε αυξημένη αντοχή της ζύμης και ικανότητα συγκράτησης του αερίου και, ως εκ τούτου σε υψηλότερο όγκο καρβελιού και καλύτερη δομή της ψίχας. Τα πολικά λιπίδια, μπορεί να υπάρχουν ενδογενώς στο άμυλο του σίτου ή μπορεί να προστίθενται ως συστατικό του ψησίματος (Goesaert et al., 2005). Ένας ρόλος της προσθήκης των γλυκολιπιδίων στη ζύμη για τη βελτίωση της σταθερότητας των φυσαλίδων έχει προταθεί από τους Chung et al. (1982), λόγω της δομικής τους ομοιότητας με τα βελτιωτικά ψωμιού (σαπωνοποιητές) και τα διάφορα επιφανειοδραστικά που συνήθως προστίθενται. Άλλες μελέτες επιβεβαίωσαν ότι η περιεκτικότητα της ζύμης σε πολικά λιπίδια έχει σημαντική επίδραση στη σταθερότητα της ζύμης και στον όγκο του καρβελιού και ότι το λιπιδικό συστατικό κυριαρχεί στην διαμόρφωση των επιφανειακών ιδιοτήτων της ημίρυστης ζύμης (Saltet et al., 2018).

Ανόργανα συστατικά-τέφρα

Το ανόργανο μέρος της τροφής που παραμένει μετά το ψήσιμο σε υψηλές θερμοκρασίες ονομάζεται τέφρα. Η περιεκτικότητα σε τέφρα αντιπροσωπεύει την περιεκτικότητα σε μέταλλα της τροφής και αποτελείται από σημαντικά στοιχεία όπως Na, K, Ca και Mg και ιχνοστοιχεία όπως Fe, Zn, Cu. Αν και η μέση περιεκτικότητα διαφόρων ομάδων τροφίμων σε τέφρα κυμαίνεται από 0,1-2,5% σε υγρό βάρος, παίζει σημαντικό ρόλο καθώς επηρεάζει τις ρεολογικές ιδιότητες, την ποιότητα ψησίματος και τη θρεπτική ποιότητα των τροφίμων. Έτσι, η τέφρα χρησιμοποιείται ευρέως ως δείκτης για τα ποιοτικά χαρακτηριστικά τροφίμων όπως το αλεύρι σίτου (Bilge et al., 2016).

Η τέφρα είναι ένας από τους σημαντικότερους δείκτες της υπάρχουσας ή της βελτιωμένης ποιότητας και χρήσης του αλεύρου σίτου. Αποτελείται από ανόργανες ενώσεις φωσφόρου, καλίου, ασβεστίου, μαγνησίου, σιδήρου, ψευδαργύρου και χαλκού. Ο φωσφόρος (περίπου 45%), το κάλιο (περίπου 38%), το μαγνήσιο και το ασβέστιο (περίπου 13% και 3%, αντίστοιχα) είναι τα κύρια στοιχεία που υπάρχουν στην τέφρα, ενώ τα υπόλοιπα στοιχεία ανέρχονται μόνο στο 1%. Ολόκληρος ο σπόρος σιταριού περιέχει το 1,17-2,96% των μεταλλικών συστατικών και η διακύμανση αυτή προκύπτει από τον γονότυπο, την κατηγορία και την ποικιλία σιταριού καθώς και από την τοποθεσία και το έτος καλλιέργειας (Moroi et al., 2011).

Τα ανόργανα συστατικά κατανέμονται άνισα στον σπόρο του σίτου. Το στρώμα της αλευρώνης και το περικάρπιο περιέχουν περίπου το 68%, το άμυλο του ενδοσπερμίου το 20% και το έμβρυο το 12% των συνολικών ανόργανων συστατικών (Czaja et al., 2020). Λόγω της εικοσαπλάσιας περιεκτικότητας του πίτουρου σε τέφρα από το ενδοσπέρμιο, η τέφρα του αλεύρου συνιστά έναν αξιόπιστο δείκτη για την κατανόηση της διάκρισης του πίτουρου κατά την άλεση. Επιπλέον, στην παρουσία μετάλλων σε τρόφιμα που υφίστανται σε μορφή σκόνης, αποδίδεται η αύξηση της υγροσκοπικότητας έμμεσα μέσω δεσμών νερού-μετάλλων και αλληλεπιδράσεων μετάλλων-υδατανθράκων (Bilge et al., 2016). Αξίζει να σημειωθεί ότι το αλεύρι σίτου υψηλού βαθμού τραβήγματος περιέχει τέφρα σε υψηλότερη συγκέντρωση σε σχέση με τον άλευρο χαμηλότερου τραβήγματος από το ενδοσπέρμιο το οποίο είναι φτωχότερο σε ανόργανες ουσίες (Moroi et al., 2011).

Από θρεπτική άποψη, είναι επιθυμητή η αύξηση της περιεκτικότητας της τέφρας στο αλεύρι σε συνδυασμό με την αύξηση της περιεκτικότητας σε φυτικές ίνες, βιταμίνες και πρωτεΐνες εκτός της γλουτένης. Ωστόσο, η τεχνολογική ποιότητα του αλευριού υψηλής τέφρας είναι χαμηλότερη, καθώς χαρακτηρίζεται από ένα πιο σκούρο χρώμα και μεγαλύτερη δραστηριότητα πρωτεολυτικών και αμυλολυτικών ενζύμων. Επομένως, η περιεκτικότητα σε τέφρα στο αλεύρι είναι μια σημαντική παράμετρος αξιολόγησης της ποιότητας του αλευριού (Czaja et al., 2020).

Διαιτητικές ίνες

Οι διαιτητικές ίνες μέχρι πρόσφατα ορίζονταν ως μη εύπεπτοι υδατάνθρακες ≥ 3 μονομερών μονάδων που βρίσκονται εγγενώς στα τρόφιμα και επίσης περιλαμβάνουν απομονωμένες ή συνθετικές ίνες με αποδεδειγμένα φυσιολογικά οφέλη, όπως το ανθεκτικό άμυλο (resistant starches)(Mitchell & Shewry, 2015). Χαρακτηρίζονται συχνά από υψηλή θρεπτική ποιότητα, καθώς είναι σε θέση να θεραπεύσουν πολλές χρόνιες ασθένειες και να βελτιώσουν την υφή, τα οργανοληπτικά χαρακτηριστικά και τη διάρκεια ζωής των τροφίμων(Han et al., 2017). Παρόλο που οι διαιτητικές ίνες δεν πέμπονται στην άνω γαστρεντερική οδό, πολλά από τα ευεργετικά αποτελέσματα προκύπτουν από τη ζύμωσή τους στο παχύ έντερο. Τα αποτελέσματα, είναι εμφανή κατά μήκος ολόκληρου του γαστρεντερικού σωλήνα, με τις αδιάλυτες ίνες να παρέχουν δίοδο στα κόπρανα για να επιταχύνουν τη διέλευση, ενώ οι διαλυτές ίνες μπορεί να αυξήσουν το ιξώδες του χωνεύματος για να μειώσουν τους ρυθμούς πέψης και της πρόσληψης θρεπτικών ουσιών στο λεπτό έντερο, και ως εκ τούτου να χαμηλώνουν το γλυκαιμικό φορτίο (Mitchell & Shewry, 2015).

Οι διαιτητικές ίνες μπορούν να ταξινομηθούν ανάλογα με τη διαλυτότητά τους στο νερό ως διαλυτές διαιτητικές ίνες, συμπεριλαμβανομένης της ινουλίνης, των β-γλυκανών και άλλων μη αμυλικών πολυσακχαριτών και αδιάλυτες διαιτητικές ίνες στις οποίες συνήθως συμπεριλαμβάνεται η λιγνίνη, η κυτταρίνη και μερικές ημικυτταρίνες (Mitchell & Shewry, 2015). Άλλος ένας ορισμός που προέρχεται από την επιτροπή Codex για τη διατροφή και τα τρόφιμα για ειδικές διαιτητικές χρήσεις, βασίζεται στη λειτουργικότητά τους κατά την πέψη, και ορίζει τις διαιτητικές ίνες ως πολυμερή υδατανθράκων με δέκα ή περισσότερες μονομερείς μονάδες που δεν υδρολύονται από τα ενδογενή ένζυμα στο ανθρώπινο λεπτό έντερο. Οι φυτικές ίνες περιλαμβάνουν τις ακόλουθες κατηγορίες: α) βρώσιμα πολυμερή υδατανθράκων που απαντώνται φυσικά στα τρόφιμα κατά την κατανάλωση, β) πολυμερή υδατανθράκων που έχουν ληφθεί από πρώτες ύλες τροφίμων με φυσικά, ενζυματικά ή χημικά μέσα και έχουν αποδειχθεί ότι έχουν φυσιολογικό ευεργετικό αποτέλεσμα για την υγεία όπως αποδεικνύεται στις αρμόδιες αρχές με γενικά αποδεκτά επιστημονικά στοιχεία και γ) συνθετικά πολυμερή υδατανθράκων που έχει αποδειχθεί ότι έχουν φυσιολογική ευεργετική επίδραση στην

υγεία όπως αποδεικνύεται στις αρμόδιες αρχές με γενικά αποδεκτά επιστημονικά στοιχεία. Σε κάθε περίπτωση, η απόφαση για το εάν θα συμπεριληφθούν υδατάνθρακες από τρεις έως εννέα μονομερείς μονάδες επαφίεται στις εθνικές αρχές(Codex Alimentarius Commission, 2009).Όπως αποδεικνύεται από την ύπαρξη διαφόρων ορισμών, οι διαιτητικές ίνες παλαιότερα θεωρούνταν μη θρεπτικές ουσίες. Ωστόσο, οι εξελίξεις στη διατροφή και την ιατρική επιστήμη αποκάλυψαν ένα πολλά υποσχόμενο δυναμικό των διαιτητικών ινών στη μείωση του κινδύνου τόσο των κοινών όσο και των χρόνιων ασθενειών. Λόγω του σημαντικού ρόλου που διαδραματίζουν οι διαιτητικές ίνες στη διατήρηση της ανθρώπινης υγείας, αυτές πλέον αναγνωρίζονται ως η έβδομη μεγαλύτερη ομάδα θρεπτικών ουσιών στο ανθρώπινο σώμα, μετά τις πρωτεΐνες, τα λίπη, τους υδατάνθρακες, τις βιταμίνες, τα μέταλλα και το νερό (Han et al., 2017).

Οι διαιτητικές ίνες έχουν αποδειχθεί ότι αποτελούν ζωτικό συστατικό της διατροφής για την ανθρώπινη υγεία, μειώνοντας τον κίνδυνο καρδιαγγειακών παθήσεων, διαβήτη τύπου II και ενδεχομένως του καρκίνου του εντέρου. Οι διαιτητικές ίνες στον άλευρο σίτου τύπου 70% προέρχονται από τα κυτταρικά τοιχώματα του αμύλου του ενδοσπερμίου, το οποίο αποτελείται κυρίως (~ 70%) από τον πολυσακχαρίτη αραβινοξυλάνη (AX) (Mitchell & Shewry, 2015).

1.2.2 Νερό

Το νερό είναι ένα από τα πιο σημαντικά συστατικά των προϊόντων αρτοποιίας και πολλά άλλα συστατικά των προϊόντων αρτοποιίας περιέχουν νερό, αν και η ποσότητα του νερού σε άλλα προϊόντα είναι πολύ χαμηλή. Στην παραγωγή ψωμιού και γενικά στην παραγωγή των προϊόντων αρτοποιίας, όλα τα συστατικά αλληλεπιδρούν μεταξύ τους για να δοθεί η τελική υφή, γεύση και άρωμα στο προϊόν. Συγκεκριμένα, όταν η ποσότητα νερού είναι σχετικά μικρή, δεν μπορεί να επιτευχθεί η απαραίτητη μετατροπή του αμύλου σε ζελατινοποιημένο άμυλο, με αποτέλεσμα να μην υπάρχει συνοχή στη ζύμη ψίχα να στεγνώνει εύκολα και να τρίβεται. Όταν το νερό που χρησιμοποιείται είναι περισσότερο από το απαραίτητο, δεν δεσμεύεται όλο, υφίσταται διαδικασία ζελατινοποίησης και παραμένει ελεύθερο. Αυτό το ελεύθερο νερό καθιστά

την ψίχα υγρή και κολλώδη. Το νερό που χρησιμοποιείται στη βιομηχανία αρτοποιίας πρέπει γενικά να πληροί τις προδιαγραφές του πόσιμου νερού (Hui et al, 2006). Στον παρακάτω πίνακα (Πίνακας 2) φαίνεται η διατροφική αξία των ειδών αρτοποιίας.

ΠΙΝΑΚΑΣ 2. Διατροφική αξία διάφορων ειδών ψωμιού (Μετασχεδίαση από Serog & Cohen, 2004)

Προϊόν (100g)	Kcal	Πρωτεΐνες (g)	Λιπαρά (g)	Υδατάνθρακες (g)	Ίνες (g)
Άσπρο ψωμί	274	8	1	58	3,5
Ψωμί σίκαλης	239	7	1	51	5,5
Ψωμί ολική άλεσης	244	8	2	49	8,5
Πιτυρούχο ψωμί	254	11	2	48	8

1.2..3 Μαγιά

Πολλά ψωμιά ζυμώνονται με μαγιά. Η ζύμη που χρησιμοποιείται συνήθως για το φούσκωμα του ψωμιού είναι το *Saccharomyces cerevisiae*, το ίδιο είδος που χρησιμοποιείται για την παρασκευή αλκοολούχων ποτών. Αυτή η ζύμη ενεργοποιεί μερικούς από τους υδατάνθρακες στο αλεύρι, συμπεριλαμβανομένης οποιαδήποτε είδους ζάχαρης, παράγοντας διοξείδιο του άνθρακα. Οι εμπορικοί αρτοποιοί συχνά ζυμώνουν τη ζύμη τους με εμπορικά παραχθείσα ζύμη αρτοποιίας. Η ζύμη του αρτοποιού έχει το πλεονέκτημα να παράγει ομοιόμορφα, γρήγορα και αξιόπιστα αποτελέσματα, επειδή προέρχεται από μια καθαρή διαδικασία. Πολλοί αρτοποιοί παράγουν τη δική τους ζύμη. Εάν διατηρείται υπό τις κατάλληλες συνθήκες, παραμένει ενεργή για πολλά χρόνια (Meuser et al., 1986).

Οι μέθοδοι μαγιάς στην αρτοποιία ακολουθούν το ίδιο μοτίβο. Το νερό αναμιγνύεται με το αλεύρι, το αλάτι και τον διογκωτικό παράγοντα. Άλλες προσθήκες (μπαχαρικά, βότανα, λίπη, σπόροι, φρούτα κ.λπ.) δεν είναι απαραίτητοι για την παρασκευή του ψωμιού, αλλά χρησιμοποιούνται συχνά. Η αναμεμειγμένη ζύμη αφήνεται στη συνέχεια να φουσκώσει (μεγαλύτερος χρόνος φουσκώματος οδηγεί σε εντονότερη γεύση) και στη συνέχεια οδηγείται στον φούρνο προκειμένου να ψηθεί και να μετατραπεί σε τελικό προϊόν έτοιμο προς κατανάλωση (Μποσδίκος, 2005).

Πολλά ψωμιά παρασκευάζονται από μια «απλή ζύμη», πράγμα που σημαίνει ότι όλα τα συστατικά συνδυάζονται σε ένα βήμα και η ζύμη μπορεί να ψηθεί μετά το στάδιο της ανόδου ενώ άλλα παρασκευάζονται από μια «προ-ζύμωση» στην οποία ο διογκωτικός παράγοντας συνδυάζεται με μερικά στοιχεία από το αλεύρι και το νερό μια ημέρα πριν από το ψήσιμο και αφήνεται να ζυμωθεί μία νύκτα. Την ημέρα του ψησίματος, τα υπόλοιπα συστατικά προστίθενται και η διαδικασία συνεχίζεται όπως και με την απλή ζύμη. Αυτό παράγει ένα πιο γευστικό ψωμί με καλύτερη υφή. Πολλοί αρτοποιοί βλέπουν τη μέθοδο εκκίνησης ως συμβιβασμό μεταξύ των αξιόπιστων αποτελεσμάτων της ζύμης του αρτοποιού, της γεύσης και της πολυπλοκότητας μεγαλύτερου χρόνου ζύμωσης. Επίσης, επιτρέπει στον αρτοποιό να χρησιμοποιεί μόνο μια ελάχιστη ποσότητα ζύμης αρτοποιίας, η οποία είναι σπάνια και δαπανηρή όταν χρησιμοποιείται για πρώτη φορά. Οι περισσότερες προ-ζυμώσεις εμπίπτουν σε μία από τις τρεις κατηγορίες: "poolish" ή "rouliche", ένα μίγμα χαλαρής υφής που αποτελείται από περίπου ίσες ποσότητες αλεύρου και νερού (κατά βάρος), "biga", ένα σκληρό μείγμα με μεγαλύτερο ποσοστό αλεύρου, και "râtefermentée", το οποίο είναι απλά ένα μέρος της ζύμης που έχει δεσμευτεί από προηγούμενη παρτίδα (Zobel et al., 1996).

1.2.4 Αλάτι

Η προσθήκη αλατιού (χλωριούχου νατρίου) στο ψωμί αποσκοπεί στην σταθεροποίηση του ρυθμού ζύμωσης, β) στην ενίσχυση της ζύμης και της γεύσης του τελικού προϊόντος και γ) στην αύξηση του χρόνου ανάμιξης της ζύμης. Όπως είναι γνωστό, η παράλειψη προσθήκης αλατιού οδηγεί σε αρκετά άγευστο ψωμί. Στις μικρές ποσότητες που προστίθεται, το αλάτι δεν προσδίδει αλμυρή γεύση στο προϊόν, αλλά αναδεικνύει τις άλλες γεύσεις του μείγματος, αυξάνοντας τη γλυκύτητα και καλύπτοντας τις

μεταλλικές, πικρές ή άλλες γεύσεις. Μια άλλη σημαντική λειτουργία του αλατιού στο ψωμί είναι η σταθεροποιητική του δράση κατά τη διάρκεια της ζύμωσης. Το αλάτι αναστέλλει το ρυθμό ζύμωσης μειώνοντας το ρυθμό παραγωγής αερίου και οδηγώντας σε μεγαλύτερους χρόνους φουσκώματος (Strong, 1969). Αυτό φαίνεται να είναι το αποτέλεσμα της αυξημένης ωσμωτικής πίεσης και της δράσης των ιόντων νατρίου και χλωρίου στη μεμβράνη των κυψελίδων της ζύμης. Αυτό, έχει ιδιαίτερη χρησιμότητα κατά τη διάρκεια των ζεστών καλοκαιρινών μηνών, όταν ο έλεγχος της θερμοκρασίας είναι ένα σημαντικό πρόβλημα στο αρτοποιείο. Από την άλλη μεριά, η αύξηση του χρόνου ανάμιξης της ζύμης μέσω της προσθήκης αλατιού, επιβραδύνει τον ρυθμό παραγωγής αερίου και κατά συνέπεια μειώνει το ενεργειακό κόστος της ανάμιξης. Μια κοινή πρακτική για την αντιμετώπιση αυτού του φαινομένου είναι η προσθήκη αλατιού στη φάση που η ζύμη συνιστά μια συνεχή μάζα και αποκολλάται από τις πλευρές του αναμεικτη. Σε αυτό το στάδιο η ζύμη ενυδατώνεται ουσιαστικά και το προστιθέμενο αλάτι δεν επηρεάζει τον απαιτούμενο χρόνο ολοκλήρωσης της ανάμιξης (Miller Hoseneey, 2008).

1.3 ΠΑΡΑΓΩΓΙΚΗ ΔΙΑΔΙΚΑΣΙΑ ΑΡΤΟΠΟΙΗΣΗΣ

1.3.1 Ζύμωμα

Σε κάθε περίπτωση, υπάρχουν ορισμένα βασικά στάδια που είναι κοινά σε όλα τα προϊόντα ψωμιού και τις διαδικασίες παρασκευής. Σε αυτά συμπεριλαμβάνεται η ανάμιξη του αλεύρου σίτου, του νερού, της μαγιάς και άλλων λειτουργικών συστατικών και η διόγκωση της μάζας της ζύμης μέσω της παραγωγής αερίου διοξειδίου του άνθρακα (Cauvain, 2012). Αναλυτικότερα, στην διαδοχή των διεργασιών που οδηγούν στην παραγωγή του ψωμιού συγκαταλέγεται η ανάμιξη, το ζύμωμα, το φούσκωμα, η σχηματοποίηση και το ψήσιμο.

Η ανάμιξη είναι ένα σημαντικό βήμα στην επεξεργασία της ζύμης του ψωμιού. Σκοπός της ανάμιξης είναι η ομογενοποίηση των συστατικών της ζύμης και η πλήρης ενυδάτωσή τους. Κατά τη διάρκεια της ανάμιξης, το αλεύρι και άλλα συστατικά

συνταγής ενυδατώνονται και υπάρχει είσοδος μηχανικής ενέργειας (Sluková et al., 2017). Η ανάμιξη της ζύμης είναι η διαδικασία που πυροδοτεί τον αερισμό της ζύμης καθώς η γλουτένη σχηματίζει ένα δίκτυο που παγιδεύει και συγκρατεί τις φυσαλίδες του αέρα. Ακολουθεί η διόγκωσή τους από το διοξείδιο του άνθρακα που παράγεται από τον ζυμομύκητα και από το γαλακτικό οξύ αλλά και άλλους τύπους βακτηρίων(Cauvain, 2012).Με άλλα λόγια, οι χαρακτηριστικές ρεολογικές ιδιότητες της ζύμης οφείλονται στη δομή της γλουτένης, και ειδικότερα στο διασυνδεδεμένο δίκτυο που σχηματίζεται από τις πρωτεΐνες του σίτου και τα λιπίδια. Αυτό επιτρέπει στην ελαστικότητα της ζύμης να συγκρατεί το αέριο που επάγεται από τη δράση του ζυμομύκητα και επιπλέον να διογκώνεται (Deák,2003). Το δίκτυο της γλουτένης συγκρατεί το αέριο της ζύμωσης, διατηρεί τη σταθερότητα των κυψελών του αερίου κατά τη διάρκεια της διόγκωσης, συμβάλλει στην διαμόρφωση μιας μαλακής(σπογγώδους) και εύκαμπτης (ελαστικής) ψίχας και επηρεάζει τη χαρακτηριστική εμφάνιση του ψωμιού, όπως και όλων των προϊόντων με βάση το σιτάρι (Sluková et al., 2017).

Η μηχανική ενέργεια που παρέχεται κατά την ανάμειξη προκαλεί αλλαγές στη διάταξη των πρωτεϊνών γλουτένης και μαζί με την οξειδωση από το ατμοσφαιρικό οξυγόνο, τροποποιείται ουσιαστικά η δομή και η λειτουργικότητα (ιξώδοελαστικότητα) της γλουτένης (Sluková et al., 2017).Όλα τα παραπάνω υποδεικνύουν ότι το ζύμμα είναι ουσιαστικά, μια από τις σημαντικότερες διαδικασίες στην παραγωγή του ψωμιού.

Ο κύριος σκοπός των εργασιών ζύμωσης είναι να ληφθεί ένα ομοιογενές μείγμα των ακατέργαστων και βοηθητικών υλικών και ταυτόχρονα να παραχθεί ζύμη με ιξώδο-ελαστική δομή και ιδιότητες. Επιπλέον, κατά την ανάμειξη εγκλωβίζεται στη ζύμη μια ποσότητα αέρα, η οποία είναι πολύ σημαντική για τις ρεολογικές ιδιότητες της ζύμης και για την ποιότητα του τελικού προϊόντος. Κατά τη ζύμωση, η θερμότητα τριβής προκαλεί την αύξηση της θερμοκρασίας της ζύμης. Για τον έλεγχο της επιθυμητής θερμοκρασίας ζύμης πρέπει να ρυθμιστεί η θερμοκρασία του νερού. Όταν τα συστατικά είναι καλά αναμεμειγμένα και το δίκτυο της γλουτένης είναι αρκετά ελαστικό και επεκτάσιμο η ζύμη θεωρείται έτοιμη. Όταν ένα κομμάτι ζύμης τεντώνεται σε ένα λεπτό φιλμ χωρίς να αποκόπτεται, η ζύμη είναι έτοιμη για τις επόμενες διεργασίες(Banu et al., 2000).

Η σειρά με την οποία προστίθενται τα συστατικά είναι εξίσου σημαντική. Πρέπει να εξασφαλίζεται η καλή ενυδάτωση των συστατικών της ζύμης, κυρίως της πρωτεΐνης του αλεύρου. Ο σχηματισμός της ζύμης με τη συγκεκριμένη δομή και τις χαρακτηριστικές ρεολογικές ιδιότητες συμβαίνει λόγω πολλών φυσικών, κολλοειδών και βιοχημικών διαδικασιών με κρισιμότερες τις φυσικές και κολλοειδείς διαδικασίες (Canja et al., 2014). Η ανάμιξη μπορεί να θεωρηθεί ως μια σειρά διαδικασιών κατάτμησης και ανασυγκρότησης (συσσωμάτωση). Η συγκέντρωση των πρωτεϊνών και ο αριθμός των αλληλεπιδράσεων καθορίζουν την έκταση και την ταχύτητα της συσσωμάτωσης. Ο σχηματισμός δισουλφιδικών (S-S) δεσμών χρησιμεύει για τη σταθεροποίηση της συσσωματωμένης μορφής. Είναι σαφές από πολλές μελέτες ότι οι αντιδράσεις που περιλαμβάνουν ομάδες σουλφυδρυλίου (SH) και S-S λαμβάνουν χώρα κατά τη διάρκεια της ανάμιξης. Κατά τη διάρκεια της ανάμιξης, δισουλφιδικοί δεσμοί σχηματίζονται με οξείδωση των ομάδων σουλφυδρυλίου των πρωτεϊνών. Αυτοί είναι οι ισχυρότεροι δεσμοί που σχηματίζουν τη δομή γλουτένης. Ο αριθμός αυτών των δεσμών δεν είναι υψηλός, αλλά συμβάλλουν σημαντικά στη δομή του δικτύου της γλουτένης (Sluková et al., 2017).

Είναι κοινώς αποδεκτό ότι περίπου το 90% της τελικής ποιότητας ψωμιού εξαρτάται από τις επιλογές μίξης. Αυτή η πτυχή της ποιότητας περιλαμβάνει την επιλογή των πρώτων υλών και της σύνθεσης, καθώς και αποφάσεις σχετικά με τον τρόπο ανάμιξης και ανάπτυξης της δομής της γλουτένης στη ζύμη (Cauvain, 2012). Η ανάμιξη είναι μια πολύπλοκη διαδικασία που εξαρτάται από την γεωμετρία της κίνησης και την ταχύτητα του μίκτη. Η διάρκεια της ανάμιξης, η θερμοκρασία του νερού, ο τύπος και το σχήμα του μίκτη, οι τάσεις διάτμησης και η είσοδος ενέργειας είναι μερικές από τις σημαντικές παραμέτρους της ανάμιξης (Sluková et al., 2017).

1.3.2 Φούσκωμα ζυμαριού-στοφάρισμα

Το φούσκωμα της ζύμης (Dough proofing) είναι επίσης ένα σημαντικό βήμα κατά την παραγωγή ενός καλής ποιότητας ψωμιού. Με τον όρο proofing αποδίδεται το στάδιο που ακολουθεί το στάδιο της ανάμιξης, το οποίο προϋποθέτει τη διατήρηση της ζύμης

του ψωμιού σε ανάπαυση με σκοπό την ανεμπόδιστη ζύμωση. Στη φάση αυτή, τα αναμειγμένα συστατικά της αρτοποιίας μετατρέπονται, υπό ελεγχόμενη θερμοκρασία, χρόνο και υγρασία σε μια μαλακή και διογκωμένη ζύμη με σημαντικές αλλαγές τόσο στις δομικές όσο και στις ρεολογικές ιδιότητες. Σημαντικές πτυχές του σταδίου αυτού είναι η παραγωγή και η συγκράτηση του αερίου και η ωρίμανση της ζύμης. Κατά τη διάρκεια της ζύμωσης, η δράση των ενζύμων α-αμυλάσης και β-αμυλάσης οδηγεί στην μετατροπή του άμυλου σε δεξτρίνες και σάκχαρα. Αυτά τα ένζυμα υπάρχουν σε μεταβλητές ποσότητες στον άλευρο σίτου, ή μπορεί να προστίθενται ως μέρος ενός βελτιωτικού μίγματος. Η δράση της μαγιάς σε αυτούς τους υδατάνθρακες χαμηλού μοριακού βάρους οδηγεί στην παραγωγή διοξειδίου του άνθρακα, η οποία αυξάνει τον όγκο της ζύμης και συμβάλλει στη συνολική ανάπτυξη του σχήματος και της υφής του μείγματος. Η μερική υδρόλυση των ενδογενών ή προστιθέμενων πρωτεϊνών του σίτου από ένζυμα πρωτεάσης, τροποποιεί το μόριο της γλουτένης, τροποποιώντας τις ρεολογικές ιδιότητες της ζύμης. Η απόδοση της ζύμης στο στάδιο αυτό, επηρεάζεται και από τη σύνθεση (προσθήκη ζάχαρης, λίπους και γαλακτωματοποιητών (Sinelli et al., 2008).

Κατά τη διάρκεια της ζύμωσης (fermentation), η διόγκωση της ζύμης προκύπτει από τη δράση του ζυμομύκητα. Αυτή, ευθύνεται για την αύξηση του πορώδους και την αλλαγή της σταθερότητας της κυψελιδικής δομής. Το CO₂ που παράγεται ως αποτέλεσμα της δράσης της μαγιάς, πρώτα διαλύεται στην υγρή φάση και στη συνέχεια γεμίζει τους κυψελιδικούς χώρους που δημιουργούνται κατά την ανάμιξη. Όταν επιτευχθεί κορεσμός του διαλύματος, το διοξείδιο του άνθρακα εξατμίζεται στις κυψελίδες του αερίου, αναγκάζοντάς τες να διογκωθούν. Η σταθερότητα της ζύμης ορίζεται ως η ικανότητά της να διατηρεί το σχήμα της κατά τη διάρκεια του φουσκώματος. Αντικατοπτρίζει την ικανότητα των κυψελίδων αερίου να διατηρούν το σχήμα και τον όγκο τους κατά τη διάρκεια της διόγκωσης, προκειμένου να αποφευχθεί η κατάρρευση ή η ρήξη της δομής της ζύμης. Η αυξημένη σταθερότητα της ζύμης συμβάλλει επίσης στην διατήρηση της μορφής και του σχήματος του ψωμιού κατά την επεξεργασία του ή κατά τη διάρκεια του ψησίματος. Παρά τη σημαντική σημασία του στην πράξη για τους χειριστές και τους αρτοποιούς, η σταθερότητα της ζύμης που έχει υποστεί ζύμωση δεν έχει μελετηθεί επιστημονικά (Shehzad et al., 2010).

Οι ανεπαρκείς χρόνοι φουσκώματος έχει αποδειχθεί ότι παράγουν καρβέλια μειωμένου όγκου και κακής κυτταρικής δομής ενώ ο υπερβάλλον χρόνος φουσκώματος έχει ως αποτέλεσμα ζύμες χαμηλού ιξώδους που παρουσιάζουν δυσκολίες στην κατεργασία (Sinelli et al., 2008).

Η μαγιά είναι ένας παράγοντας έναρξης που καταναλώνοντας τα σάκχαρα που υπάρχουν στη ζύμη, παράγει την αλκοολική ζύμωση με παραγόμενο παραπροϊόν το διοξείδιο του άνθρακα(CO₂).Μέσω της απελευθέρωσης του διοξειδίου του άνθρακα, η πυκνή μάζα της ζύμης μετατρέπεται σε πορώδη ζύμη με συγκεκριμένο όγκο και γεύση. Κατά τη ζύμωση, δεν δημιουργούνται νέες φυσαλίδες, παρά μόνο αυξάνεται ο όγκος των ήδη υπάρχοντων φυσαλίδων λόγω της παραγωγής CO₂, και ως εκ τούτου αυξάνοντας τον όγκο της ζύμης. Κατά συνέπεια, προκύπτει ότι η ζύμωση είναι ιδιαίτερα σημαντική όσον αφορά στον αριθμό των πόρων που δημιουργούνται σε αυτό το στάδιο. Για να αυξηθεί ο όγκος της ζύμης, η θερμοκρασία πρέπει να κυμαίνεται μεταξύ 25-30°C, να υπάρχει επαρκής ποσότητα ζάχαρης και αμύλου στη σύνθεση της ζύμης και το νερό που χρησιμοποιείται να μην έχει ακραίες θερμοκρασίες (να μην είναι πολύ κρύο ή πολύ ζεστό). Ο ρυθμός ζύμωσης των ζυμώσιμων υδατανθράκων σχετίζεται στενά με την πιθανότητα παροχής γλυκόζης και την ικανότητα υδρολύσεως της μαλτόζης που σχηματίζεται από τη δραστηριότητα των αμυλολυτικών ενζύμων στο άμυλο. Η ποσότητα του ζυμομύκητα που απαιτείται για την αύξηση του όγκου της ζύμης ψωμιού εξαρτάται από τον τύπο της μαγιάς που χρησιμοποιείται, από τη θερμοκρασία της ζύμης και τη διάρκεια του χρόνου ζύμωσης. Εάν η διαδικασία ζύμωσης καθυστερήσει, το οξύ που παράγεται από την οξείδωση της αλκοόλης οδηγεί στην παραγωγή προϊόντων με ξινή γεύση. Η μαγιά είναι ένας πολύ μικρός φυτικός οργανισμός που μπορεί να παρατηρηθεί στο μικροσκόπιο. Ο ευρύτερα χρησιμοποιούμενος τύπος μαγιάς στη βιομηχανία αρτοποιίας ανήκει στο είδος *Saccharomyces cerevisiae* και διατίθεται σε πολλές μορφές: φρέσκια μαγιά (συμπιεσμένη), στιγμιαία μαγιά, ενεργή μαγιά και υγρή μαγιά(Munteanu et al., 2019).

1.3.3 Ψήσιμο

Το ψήσιμο είναι το τελευταίο αλλά το πιο σημαντικό βήμα στη διαδικασία παρασκευής ψωμιού. Μια σειρά φυσικών, χημικών και βιολογικών αλλαγών όπως η εξάτμιση του νερού, ο σχηματισμός της πορώδους δομής, η ογκομετρική διαστολή, η μετουσίωση των πρωτεϊνών, η ζελατινοποίηση του αμύλου, ο σχηματισμός κρούστας κ.λπ. λαμβάνουν χώρα κατά τη διάρκεια του ψησίματος του ψωμιού (Mondal & Datta, 2008).

Κατά τη διάρκεια του ψησίματος, η ζύμη θερμαίνεται στους περίπου 230°C για 90 λεπτά. Η θερμότητα διογκώνει τις φυσαλίδες του αερίου αδρανοποιώντας τον ζυμομύκητα και επάγοντας τη σκλήρυνση του εξωτερικού μέρους της ζύμης μέσω σύντηξης των πρωτεϊνών. Επίσης, το άμυλο μεταπίπτει σε διαλυτό άμυλο και δεξτρίνες και έτσι σχηματίζεται η κρούστα. Η καφέ χροιά της ψημένης κρούστας, οφείλεται στη μετατροπή της γλυκόζης σε καραμέλα υπό τη δράση της θερμότητας (Jain et al., 2020).

Η τυπική διαδικασία ψησίματος του ψωμιού μπορεί να διακριθεί σε 3 στάδια. Το πρώτο στάδιο καταλαμβάνει το 1/4 του συνολικού χρόνου ψησίματος. Η θερμοκρασία του εξωτερικού αυξάνεται με μέσο ρυθμό 4,7°C / λεπτό έως τους 60°C. Η αύξηση της θερμοκρασίας αυξάνει την ενζυματική δραστηριότητα και την ανάπτυξη της μαγιάς. Στο σημείο αυτό, ο αρχικός όγκος αυξάνεται κατά το ένα τρίτο. Επιπλέον, η επιφανειακή περιοχή το καρβελιού χάνει την ελαστικότητα της, πυκνώνει και αρχίζει να εμφανίζεται το χαρακτηριστικό καφέ χρώμα. Στο δεύτερο στάδιο, η θερμοκρασία της ψίχας αυξάνεται με ρυθμό 5,4°C / λεπτό έως τους 98,4-98,9°C έως ότου παραμείνει σταθερή. Σε αυτήν τη θερμοκρασία, όλες οι αντιδράσεις μεγιστοποιούνται, συμπεριλαμβανομένης της εξάτμισης της υγρασίας, της ζελατινοποίησης του αμύλου και της πήξης των πρωτεϊνών. Η ζύμη δομικά μετατρέπεται σε ψίχα με μια διαδοχή που ξεκινάει από την εξωτερική έως την εσωτερική επιφάνεια του ψωμιού μέσω διεύδυσης της θερμότητας. Μια τυπική καφέ κρούστα μπορεί να παρατηρηθεί όταν η θερμοκρασία της εξωτερικής επιφάνειας προσεγγίσει τους 150-205°C. Τέλος, παρατηρείται κι η πητικοποίηση των οργανικών ουσιών που διαρκεί επίσης το ένα τέταρτο του συνολικού χρόνου ψησίματος (Swortfiguer, 1968).

Οι κυριότεροι μετασχηματισμοί που επάγονται κατά τη διάρκεια του ψήσιματος του ψωμιού είναι :

- Καθώς η θερμοκρασία του παγιδευμένου αερίου στους κυψελιδικούς χώρους αυξάνεται, αυξάνεται ο συνολικός όγκος του ψωμιού (δεδομένου ότι υπάρχει ένας ορισμένος αριθμός μορίων αερίου παγιδευμένων στη φυσαλίδα αερίου)
- Ο ζυμομύκητας αδρανοποιείται (έτσι δεν μπορεί να δημιουργηθεί περισσότερο CO₂)
- Το νερό εξατμίζεται από το δίκτυο γλουτένης με αποτέλεσμα η γλουτένη να χάνει την ελαστικότητά της
- Η αιθυλική αλκοόλη που παράγεται από τον ζυμομύκητα επίσης εξατμίζεται
- Οι κόκκοι αμύλου διογκώνονται και εκρήγνυνται (έκρηξη αμύλου)
- Η αφυδατωμένη γλουτένη γίνεται άκαμπτη, αποτρέποντας την κατάρρευση των θυλάκων αέρα κατά την αργή ψύξη του ψωμιού
- Το ψωμί είναι έτοιμο, όταν η εσωτερική του θερμοκρασία φτάσει στο σημείο που όλο το νερό έχει εξατμιστεί. Εάν η εσωτερική θερμοκρασία είναι πολύ χαμηλή, το εσωτερικό θα παραμείνει ζυμώδες.
- Η εξωτερική επιφάνεια του ψωμιού γίνεται πολύ πιο σκληρή από την εσωτερική
- Η θερμότητα διεισδύει από έξω προς τα μέσα (δηλαδή το εξωτερικό θερμαίνεται πρώτα)
- Το νερό εξατμίζεται πρώτα από το εξωτερικό του ψωμιού
- Το εξωτερικό του ψωμιού προσεγγίζει την ίδια θερμοκρασία με το περιβάλλον (φούρνος). Στεγνώνει πολύ και αποκτά μια καφέ απόχρωση. Το καφέ χρώμα προέρχεται από την αντίδραση Maillard. Βασικά, επισυμβαίνουν διάφοροι μετασχηματισμοί μαζί με την παραγωγή ειδικών σακχάρων από τη θέρμανση και την αντίδραση του αμύλου με τις πρωτεΐνες. Όλα τα παραπάνω συμβαίνουν σε θερμοκρασίες άνω των 160 ° C.

Η θερμοκρασία είναι ο κυρίαρχος παράγοντας των διαφόρων φυσικοχημικών αλλαγών κατά το ψήσιμο. Για τη μείωση της κατανάλωσης ενέργειας και τη βελτίωση της ποιότητας του προϊόντος, απαιτείται βελτιστοποίηση της κατάστασης λειτουργίας του φούρνου. Για να επιτευχθεί το βέλτιστο ψήσιμο, η κοινή βιομηχανική πρακτική είναι

το ψήσιμο ψωμιού στο φούρνο που ελέγχεται σε σταθερή θερμοκρασία. Ο όγκος του ψωμιού είναι μια από τις πιο σημαντικές μετρήσεις της ποιότητας του σίτου, ενώ η περιεχόμενη πρωτεΐνη και τα λιπίδια είναι επίσης πολύ σημαντικοί παράγοντες για τις ιδιότητες ψησίματος (Mondal & Datta, 2008).

Στην παραγωγή του ψωμιού, το ψήσιμο είναι ένα βασικό βήμα στο οποίο το ακατέργαστο κομμάτι ζύμης μετατρέπεται σε ένα ελαφρύ, πορώδες, εύπεπτο και αρωματικό προϊόν, υπό την επίδραση της θερμότητας. Με τα απαιτούμενα χαρακτηριστικά ποιότητας, η παραγωγή ψωμιού προϋποθέτει μια προσεκτικά ελεγχόμενη διαδικασία ψησίματος. Η ζωτική επιρροή στην ποιότητα του τελικού προϊόντος περιλαμβάνει το ρυθμό και την ποσότητα εφαρμογής θερμότητας, το επίπεδο υγρασίας στο θάλαμο ψησίματος και το χρόνο ψησίματος (Therdthai et al., 2002).

Η δομή της ψίχας είναι ένας πολύ σημαντικός παράγοντας που καθορίζει την οργανοληπτική ποιότητα και μπορεί να ποσοτικοποιηθεί ως παρατηρούμενη υφή ή τραγανότητα. Εκτός από το συνολικό πορώδες, το οποίο μπορεί να μετρηθεί με μεθόδους πυκνομετρίας, η κατανομή μεγέθους πόρων παίζει εξέχοντα ρόλο. Μαζί με τη γεωμετρική διάταξη των πόρων, καθορίζει επίσης την αναλογία επιφάνειας προς όγκο καθώς και τη συνδεσιμότητα των πόρων, και οι δύο επηρεάζουν έντονα την ταχύτητα (ανεπιθύμητων) αλλαγών κατά τη διάρκεια της αποθήκευσης, ενώ η κατανομή του μεγέθους των πόρων μπορεί να εκτιμηθεί με ανάλυση 2-διαστάσεων (2D) εικόνες με οπτική σάρωση, απεικόνιση μαγνητικού συντονισμού και προσομοίωση Monte Carlo (Regier et al., 2007). Παρόμοιες προσπάθειες μπορούν να γίνουν και σε ψωμιά που ψήνονται σε διάφορους συνδυασμούς θερμοκρασιών, διάρκειας και υγρασίας.

1.3.4 Τελικό προϊόν

Όπως προαναφέρθηκε, η φυσική και η μηχανική ανάμιξη, οι χημικές αντιδράσεις (συμπεριλαμβανομένων των αντιδράσεων που καταλύονται από ένζυμα) και οι

θερμικές επιδράσεις (χρόνος ψησίματος και θερμοκρασία) είναι παράγοντες που επηρεάζουν τη φύση και τις ιδιότητες του τελικού προϊόντος (Gray & Bemiller, 2003).

Εφόσον η ζύμη ψηθεί σωστά, προκύπτει ένα προϊόν αρτοποιίας με ανώτερη ποιότητα και αισθητηριακά χαρακτηριστικά. Το φρέσκο ψωμί διαθέτει συνήθως μια ελκυστική καφέ τραγανή κρούστα, ευχάριστο άρωμα, απαλή και ελαστική υφή της ψύχας και μια υγρή αίσθηση στο στόμα, ενώ δύναται να τεμαχιστεί εύκολα (Giannouet al., 2003).

1.3.5 Παλαίωση-μπαγιατέμα του ψωμιού

Η παλαίωση (staling) του ψωμιού είναι μια διεργασία που συμβαίνει με βεβαιότητα, οδηγώντας σε απώλεια σημαντικών αισθητηριακών παραμέτρων του ψωμιού, όπως η γεύση και η υφή. Ως συνέπεια ενός αριθμού φυσικοχημικών αλλαγών που συμβαίνουν κατά την αποθήκευση του ψωμιού, οδηγούν κυρίως στην αύξηση της σκληρότητας της ψίχας και την απώλεια της αρχικής φρεσκάδας. Παρόλο που ο μηχανισμός παλαίωσης παραμένει έως και σήμερα ανεπαρκώς μελετημένος, οι σημαντικότεροι παράγοντες που φέρονται να σχετίζονται με αυτήν την αλλοίωση είναι η αναδιάταξη του αμύλου, οι αλληλεπιδράσεις μεταξύ αμύλου και γλουτένης και η αναδιανομή της υγρασίας (Fadda et al., 2014). Σχετικά με την πεποίθηση ότι η παλαίωση του ψωμιού συνδέεται στενά με την αναδιάταξη αμύλου, αυτή μπορεί να προκύψει κατά την πρώτη ώρα μετά το ψήσιμο (αναδιάταξη της αμυλόζης και της αμυλοπηκτίνης (σε μεγαλύτερο βαθμό)), ωστόσο μέχρι στιγμής τα πειραματικά στοιχεία για την ποσοτικοποίηση αυτών των ευρημάτων είναι περιορισμένα (Mondal & Datta, 2008).

Η διάρκεια ζωής του ψωμιού χαρακτηρίζεται επίσης από την ταχεία έναρξη του μπαγιατέματος και της ανάπτυξης μούχλας. Κατά τη διάρκεια της αποθήκευσης και με την πάροδο του χρόνου επισυμβαίνουν ανεπιθύμητες αλλαγές συμπεριλαμβανομένης της μετανάστευσης του νερού από την ψίχα στην κρούστα και της σκλήρυνσης της ψίχας. Όπως έχει αποδειχθεί από μελέτες σχετικές με τους υπεύθυνους μοριακούς μηχανισμούς πίσω από το μπαγιατέμα του ψωμιού, το νερό αναδιανέμεται μεταξύ των περιοχών του ψωμιού σε μακροσκοπικό επίπεδο κατά τη διάρκεια της αποθήκευσης, με τα μόρια νερού να μεταναστεύουν από την ψίχα στα εξωτερικά στρώματα, με

αποτέλεσμα τη μείωση του συνολικού νερού στην περιοχή της ψίχας. Επιπλέον, σε μοριακό επίπεδο το νερό παγιδεύεται εντός του αμύλου, σχηματίζοντας ένα άκαμπτο και μερικώς κρυσταλλικό δίκτυο, ενώ το δίκτυο της γλουτένης αφυδατώνεται μερικώς, χάνοντας την πλαστικότητα του, με αποτέλεσμα την ενίσχυση της δομής της ψίχας. Η τελική σκληρότητα που παρατηρείται στο ψωμί σχετίζεται με όλα αυτά τα φαινόμενα και είναι ο πιο συχνά χρησιμοποιούμενος δείκτης παλαίωσης του ψωμιού. Γενικά, η επίδραση της παλαίωσης του ψωμιού στην υφή αξιολογείται χρησιμοποιώντας μεθόδους ανάλυση της υφής, επισημαίνοντας την αύξηση της σκληρότητας και τη μείωση της ελαστικότητας και της συνοχής κατά την αποθήκευση του ψωμιού (Boukid et al., 2019).

Η παλαίωση του ψωμιού είναι αναμφισβήτητα μια πολύπλοκη διαδικασία. Παρόλο που ο μηχανισμός δεν είναι ακόμη κατανοητός, ορισμένες ιδέες έχουν γίνει αποδεκτές, όπως ο σημαντικός ρόλος της αναδιάταξης του αμύλου και πιο συγκεκριμένα της αναδιάταξης της αμυλοπηκτίνης. Ακόμα κι έτσι, γίνεται ολοένα και πιο εμφανές ότι η αναδιάταξη της αμυλοπηκτίνης από μόνη της δεν ευθύνεται για την παλαίωση του ψωμιού, με τα επιμέρους συστατικά και διεργασίες που συμμετέχουν στο φαινόμενο να παραμένουν συγκεκριμένα. Άλλα στοιχεία αναφέρουν ότι οι πρωτεΐνες γλουτένης διαδραματίζουν έναν εξίσου σημαντικό ρόλο όπως επίσης κι οι αλληλεπιδράσεις μεταξύ γλουτένης και αμύλου. Η μετανάστευση της υγρασίας φαίνεται επίσης να εμπλέκεται στο μπαγιάτεμα του ψωμιού. Συμπερασματικά, είναι πιθανό ότι πολλοί παράγοντες παίζουν ρόλο στη διαδικασία σκλήρυνσης του ψωμιού, αλλά μέσω ενός μεγάλου όγκου δεδομένων υποδεικνύεται η αναδιάταξη της αμυλοπηκτίνης ως βασικότερος παράγοντας, ενώ οι πληροφορίες που εμπλέκουν τη γλουτένη επίσης δεν μπορούν να αγνοηθούν.

1.4 ΝΕΕΣ ΤΑΣΕΙΣ ΓΙΑ ΕΜΠΛΟΥΤΙΣΜΟ ΤΡΟΦΙΜΩΝ

1.4.1 Εμπλουτισμός προϊόντων διατροφής με στόχο τη δημιουργία καλύτερων διατροφικών χαρακτηριστικών

Την τελευταία δεκαετία, έχει σημειωθεί μεγάλη πρόοδος στην δημιουργία διατροφικά βελτιωμένων καλλιεργειών τροφίμων με την βοήθεια της βιοτεχνολογίας. Διάφορες βασικές καλλιέργειες όπως το ρύζι, ο αραβόσιτος και ο σίτος που διαθέτουν βασικά μικροθρεπτικά συστατικά τείνουν ολοένα και περισσότερο να ενισχύονται διατροφικά, με στόχο την κοινή ωφέλεια κυριότερα των πληθυσμών των αναπτυσσόμενων χωρών του κόσμου για τους οποίους η πρόσληψη θρεπτικών στοιχείων δυσχεραίνεται αισθητά. Για αυτούς τους πληθυσμούς, μια ισορροπημένη διαίτα με επαρκή επίπεδα πρωτεϊνών, βιταμινών και μετάλλων μπορεί να είναι δύσκολο να επιτευχθεί και να διατηρηθεί. Ευτυχώς, λόγω των πρόσφατων εξελίξεων στη γεωργική βιοτεχνολογία, είναι πλέον δυνατή η παραγωγή καλλιεργειών τροφίμων που ενισχύονται διατροφικά για τη βελτίωση του διατροφικού περιεχομένου και της βιοδιαθεσιμότητας των βασικών θρεπτικών συστατικών (Hefferon, 2015). Μεταξύ αυτών, ένα παράδειγμα εμπλουτισμού των βασικών τροφίμων με πρωτεϊνικό περιεχόμενο είναι η προσθήκη βρώσιμων εντόμων σε προϊόντα ευρείας και καθημερινής κατανάλωσης όπως το αλεύρι σίτου.

1.4.2 Τι είναι τα Νέα Τρόφιμα;

Ως *νέο τρόφιμο (Novelfood)* ορίζεται «το τρόφιμο που δεν καταναλώθηκε σε σημαντικό βαθμό από τους ανθρώπους στην ΕΕ πριν από τις 15 Μαΐου 1997», όταν τέθηκε σε ισχύ ο πρώτος κανονισμός για τα νέα τρόφιμα (European Council, 1997). Αυτό σημαίνει ότι τα τρόφιμα δεν έχουν «ιστορικό κατανάλωσης». Το νέο τρόφιμο μπορεί να είναι πρόσφατα αναπτυγμένο, καινοτόμο τρόφιμο, τρόφιμο που παράγεται με τη χρήση νέων τεχνολογιών και διαδικασιών παραγωγής, καθώς και τρόφιμα που καταναλώνονται ή έχουν παραδοσιακά καταναλωθεί εκτός της ΕΕ (FAO, 2009).

Παραδείγματα νέων τροφίμων συνιστούν ορισμένες νέες πηγές βιταμίνης Κ (μενακινόνη) ή εκχυλίσματα από υπάρχοντα τρόφιμα (έλαιο Krill, πλούσιο σε φωσφολιπίδια με προέλευση από την *Euphausia superba*), γεωργικά προϊόντα από τρίτες χώρες (σπόροι chi, χυμοί φρούτων noni), το φρούτο μπαομπάμπ (baobab) (FAO, 2004), φυτοστερόλες και φυτοστανόλες που χρησιμοποιούνται σε μια προσπάθεια μείωσης της προσλαμβανόμενης χοληστερόλης (η Benecol, που περιέχει φυτοστανόλες και η FloraProActiv, που περιέχει φυτοστερόλες είναι εμπορικά επιτυχημένα προϊόντα που συμβάλλουν στη μείωση των επιπέδων χοληστερόλης), άλλα τρόφιμα που παράγονται με νέες διεργασίες (π.χ. ψωμί που έχει υποστεί επεξεργασία με υπεριώδες φως με στόχο την αύξηση των επιπέδων της υπάρχουσας βιταμίνης D) κ.ά. (FAO, 2010).

Ο σχεδιασμός νέων τροφίμων περιλαμβάνει την εισαγωγή ενός νέου τύπου βρώσιμου προϊόντος που δεν υπήρχε σε καμία περιφερειακή ή παγκόσμια καταναλωτική αγορά μέχρι πρότινος. Το νέο τρόφιμο σχεδιάζεται μέσω εφαρμογών βιοτεχνολογίας (π.χ. γενετικώς τροποποιημένο τρόφιμο) ή «ενισχυμένο» με τη χρήση προσθέτων. Μερικά παραδείγματα τέτοιων τροφίμων είναι τα προβιοτικά και τα εμπλουτισμένα με μικρο- και μακρο-θρεπτικά συστατικά των τροφίμων (Demiralp et al., 2000).

Η ΕΕ είναι υπεύθυνη για τη διασφάλιση ότι τα νέα τρόφιμα που κυκλοφορούν στην αγορά είναι ασφαλή για τους καταναλωτές. Ο κανονισμός για τα νέα τρόφιμα που ισχύει έως και σήμερα, είναι ο κανονισμός (ΕΕ) αριθ. 2015/2283, που εγκρίθηκε τον Νοέμβριο του 2015. Στις βασικές διατάξεις του συμπεριλαμβάνονται οι αρχές που πρέπει να διέπουν το νέο τρόφιμο στην Ευρωπαϊκή Ένωση στις οποίες συμπεριλαμβάνονται οι προϋποθέσεις α) μέγιστης ασφάλειας για τους καταναλωτές και β) ορθής και ακριβούς επισήμανσης, έτσι ώστε να μην παραπλανώνται οι καταναλωτές. Ακόμη, τα νέα τρόφιμα προς αντικατάσταση ενός ήδη υπάρχοντος τροφίμου, δεν πρέπει να διαφέρουν από το τελευταίο (ή τα συστατικά του) σε τέτοιο βαθμό ώστε η κανονική τους κατανάλωση να είναι δυσμενής για τον καταναλωτή από άποψη διατροφής (Gill et al., 2002). Επιπλέον, το νέο τρόφιμο πρέπει α) να αποτελείται από συστατικά τροφίμων με νέα ή σκόπιμα τροποποιημένη πρωτοταγή μοριακή δομή μικροοργανισμών, μυκήτων, ή κυτταροκαλλιέργειας φυτών ή ζώων ή β) να συνιστά τρόφιμο που παράγεται με νέα παραγωγική διαδικασία που μεταβάλλει σημαντικά το

προϊόν διατροφικά. Ας σημειωθεί ότι τα πρόσθετα τροφίμων, τα αρτύματα και οι διαλύτες εκχύλισης που χρησιμοποιούνται στην παραγωγή τροφίμων δεν εμπίπτουν στο πεδίο εφαρμογής της νομοθεσίας για τα νέα τρόφιμα (Del Prato et al., 1994).

I. Έντομα

Δεδομένου ότι τα βρώσιμα έντομα είναι πλούσια σε πρωτεΐνες και ποικιλία μικροθρεπτικών συστατικών, ενώ παράλληλα θεωρούνται δυνητικοί συνεισφέροντες στην επισιτιστική διαδικασία, ένα παράδειγμα εμπλουτισμού των βασικών τροφίμων με πρωτεϊνικό περιεχόμενο είναι η προσθήκη βρώσιμων εντόμων σε προϊόντα ευρείας και καθημερινής κατανάλωσης όπως ο άλευρος σίτου. Η δυνατότητα απόκτησης ικανοποιητικής ενέργειας και πρόσληψης πρωτεϊνών μέσω της κατανάλωσης ορισμένων βρώσιμων εντόμων δεν είναι άγνωστη, αν και τα δεδομένα υπόκεινται σε μεγάλη παραλλαγή. Θα μπορούσε να συναχθεί το συμπέρασμα ότι πολλά βρώσιμα έντομα πληρούν τις απαιτήσεις αμινοξέων που χρειάζεται να προσλαμβάνει ο άνθρωπος, έχουν υψηλή περιεκτικότητα σε μονοακόρεστα λιπαρά οξέα (Monounsaturated fatty acids – MUFA) και / ή πολυακόρεστα λιπαρά οξέα Polyunsaturated fatty acids - PUFAs) και είναι πλούσια σε πολλά μικροθρεπτικά συστατικά όπως ο χαλκός, ο σίδηρος, το μαγνήσιο, το μαγγάνιο, ο φώσφορος, το σελήνιο και ο ψευδάργυρος καθώς και η ριβοφλαβίνη, το παντοθενικό οξύ, η βιοτίνη και σε ορισμένες περιπτώσεις το φολικό οξύ (Rumpold & Schluter, 2013). Μέσω αναλυτικών στοιχείων που παρέχονται από την βάση δεδομένων του International Network of Food Data Systems (INFOODS) προκύπτουν βάσιμα συμπεράσματα ότι τα τρόφιμα που συνίστανται από βρώσιμα έντομα (σε διαφορετικά αναπτυξιακά στάδια) περιέχουν αυξημένη συγκέντρωση σημαντικών μετάλλων και ιχνοστοιχείων (34,8%), αμινοξέων (15,3%) και (προ) βιταμινών (9,1%) (Bukkens, 2005). Μέσω της ανάλυσης των παραπάνω δεδομένων επιβεβαιώνεται η υπόθεση της θρεπτικής σημαντικότητας των βρώσιμων εντόμων ως συστατικών βασικών τροφίμων που μπορούν να συνεισφέρουν στην καταπολέμηση του υποσιτισμού (Bukkens, 1997). Τα έντομα θεωρούνται τρόφιμα με ικανοποιητική περιεκτικότητα σε πρωτεΐνη, απαραίτητα για τον μεταβολισμό αμινοξέα, λιπαρά οξέα και υψηλή συγκέντρωση ποικίλων

μικροθρεπτικών συστατικών συμπεριλαμβανομένου του χαλκού, του σιδήρου, του μαγνησίου, του μαγγανίου, του φωσφόρου, του σεληνίου, του ψευδάργυρου και των βιταμινών (ριβοφλαβίνη, παντοθενικό οξύ, βιοτίνη και σε ορισμένες περιπτώσεις φολικό οξύ) (Zielinska et al., 2015). Άλλωστε, τα βρώσιμα έντομα αποτελούν μέρος της ανθρώπινης διατροφής, ειδικά στις τροπικές χώρες, εδώ και χιλιάδες χρόνια (Bodenheimer, 1951). Στα πιο καταναλώσιμα έντομα συμπεριλαμβάνονται τα μυρμήγκια, οι μέλισσες, τα σκαθάρια, τα τζιτζίκια, διάφορα έντομα-αποικιστές του καλαμποκάλευρου και του βολβοειδούς βαμβακιού, οι γρύλοι, οι μύγες, οι ακρίδες. Δεδομένης της μεγάλης βιοδιαθεσιμότητας των εντόμων και της αρχής για την ανακύκλωση της οργανικής ύλης (Nowak et al., 2014), εκτός από την ήδη επιβεβαιωμένη συμβολή της εκμετάλλευσης των εντόμων για φαρμακευτικούς (κερί μέλισσας, πρόπολη, βασιλικός πολτός) και βιομηχανικούς σκοπούς (μετάξι, βαφές κλπ.), επιβεβαιώνεται και η ωφέλεια μέσω της κατανάλωσης εντόμων για διατροφή.

Αναφορικά με τις περιβαλλοντικές ανησυχίες της εκτροφής ζώων με σκοπό την διατροφή, αξίζει να αναφερθεί ότι τα έντομα είναι σε θέση να μετατρέψουν τις φυτικές πρωτεΐνες σε πρωτεΐνες των εντόμων πολύ αποτελεσματικότερα και οικονομικότερα (περιβαλλοντικό αποτύπωμα) σε σύγκριση με τα θηλαστικά (όπως τα βοοειδή) (Duran et al., 2002). Τα έντομα μάλιστα, σε αντίθεση με τα υπόλοιπα ζώα, μπορούν να παράγουν υψηλότερα επίπεδα πρωτεϊνών ποιότητας (~50-85%) και σημαντικές ποσότητες άλλων θρεπτικών συστατικών όπως τα λιπίδια, οι βιταμίνες και τα ανόργανα συστατικά συμπεριλαμβανομένων και των n-3 και η-6 λιπαρών οξέων σε ευνοϊκές αναλογίες (π.χ. 1:17). Κατά συνέπεια, τα βρώσιμα έντομα αναμένεται να εμφανιστούν ως δυναμικά λειτουργικά συστατικά / υλικά με προστιθέμενη αξία στο γρήγορο αναπτυσσόμενο τομέα τροφίμων ευεξίας (Nowak et al., 2014).

Συνοψίζοντας, τα έντομα είναι αποδοτικοί παραγωγοί πρωτεϊνών, ακόρεστων λιπαρών και άλλων σημαντικών βιοδραστικών ουσιών (υδατάνθρακες, μέταλλα, αντιοξειδωτικά και βιταμίνες) (Finke, 2002. Finke & Oonincx, 2014). Επιπλέον, τα διατροφικά και βιοδραστικά προφίλ των βρώσιμων εντόμων είναι υψηλά και εξαρτώνται από παράγοντες όπως το είδος του εντόμου, τη φάση ή το στάδιο μεταμόρφωσης, την εποχή της συλλογής, τη γεωγραφική θέση του οικότοπου, τη διατροφή των εντόμων, καθώς και τις μεθόδους προετοιμασίας, επεξεργασίας και χειρισμού που εφαρμόστηκαν πριν

από την κατανάλωση. Όλα αυτά επιτρέπουν την προσαρμοσμένη χρήση και τον χειρισμό τροφίμων από έντομα για κατανάλωση από τον άνθρωπο με στόχο την ευεξία.

Εν ολίγοις, αν και η κατανάλωση εντόμων έχει πολλά πλεονεκτήματα, η χαμηλή αποδοχή των καταναλωτών στις χώρες που συνήθως δεν τρώνε έντομα παραμένουν εμπόδιο στην ευρεία υιοθέτησή τους. Σε αυτές τις περιπτώσεις, ενδεχομένως η καλύτερη μέθοδος για την αξιοποίηση των πλεονεκτημάτων της εντομοφαγίας είναι η χρήση εντόμων ως πρωτεϊνικό συμπλήρωμα ή/και συστατικά τροφίμων ανάλογα με τις φυσικοχημικές τους ιδιότητες όπως η διαλυτότητα, η σταθερότητα γαλακτωματοποίησης ή η δραστικότητα σχηματισμού πηκτώματος. Πρόσφατες μελέτες καταναλωτών δείχνουν ότι η εισαγωγή «αόρατων εντόμων» σε τρόφιμα μπορεί να ενισχύσει την ευαισθητοποίηση των καταναλωτών και να καταστήσει την ιδέα πιο ευχάριστη. Με τον καιρό, σε ορισμένα μέρη του κόσμου, τα έντομα αποτελούν συστατικό διαφόρων παρασκευών σε εκλεπτυσμένα γκουρμέ πιάτα, που προσφέρονται σε εστιατόρια, διαθέτοντας ελκυστική παρουσίαση (Zielinska et al., 2015).

Ωστόσο, τα νέα τρόφιμα γενικά και τα έντομα ειδικότερα μπορεί να συνδέονται με μια σειρά από δυνητικούς (βιολογικούς, χημικούς και αλλεργιογόνους) κινδύνους για την ανθρώπινη υγεία, οι οποίοι πρέπει να αξιολογούνται και να ελαχιστοποιούνται μέσω της δημιουργίας κανονιστικών πλαισίων. Ο εν ισχύ κανονισμός για τα νέα τρόφιμα, τέθηκε σε ισχύ την 31η Δεκεμβρίου 2015, ενώ οι αιτήσεις έγκρισης κάθε νέου είδους τροφίμων πλέον αξιολογούνται κεντρικά από την Ευρωπαϊκή Αρχή για την Ασφάλεια των Τροφίμων (ΕΑΑΤ).

Αναφορικά με την επαγόμενη μέσω της κατανάλωσης βρώσιμων εντόμων αλλεργιογένεια, έχει αναφερθεί αυξημένος επιπολασμός σε άτομα που είναι αλλεργικά σε καρκινοειδή ή ακάρεα οικιακής σκόνης, μάλιστα η πρωτοπαθής ευαισθητοποίηση μπορεί να προκύψει κατά την διάρκεια της από του στόματος κατανάλωσης (Zielinska et al., 2015). Σε κάθε περίπτωση, το αλλεργιογόνο κάθε διαφορετικού εντόμου πρέπει να αξιολογείται μεμονωμένα. Επί του παρόντος, ούτε η γνώση για τη διασταυρούμενη αντιδραστικότητα ούτε η πρωτογενής η δευτερογενής ευαισθητοποίηση λόγω της κατανάλωσης εντόμων είναι εκτενώς διερευνημένη.

Ένα άλλο ζήτημα που εγείρεται μέσω της συζήτησης για την ασφάλεια κατανάλωσης βρώσιμων εντόμων, σχετίζεται με την σταθερή μαζική εκτροφή τους για την οποία πρέπει να προεξοφλείται ένα υψηλό επίπεδο υγιεινής. Σε αντίθετη περίπτωση, η ενδεχόμενη ιογενής, βακτηριακή ή μυκητιακή επιμόλυνση μπορεί να πλήξει την ανερχόμενη αυτή βιομηχανία (Stauffer, 2000). Οι απαιτήσεις υγιεινής πρέπει να διέπονται από εξειδικευμένα πρότυπα ποιότητας, με εφιστάμενη προσοχή στην εκτροφή εντόμων από αυγό σε ενήλικα.

Ειδικές οδηγίες για την προστασία των ζώων επισημαίνουν ότι τα έντομα, όπως και κάθε άλλο ζώο, δεν πρέπει να εκτρέφονται ή να χειρίζονται με τρόπο που να τους προκαλεί περιττό πόνο, αγωνία ή βλάβη. Ωστόσο, παρά τις περιορισμένες ενδείξεις που υποστηρίζουν την πιθανότητα κάποιας εμπειρίας πόνου σε ορισμένα είδη εντόμων, ακόμη δεν έχει απαντηθεί το ερώτημα σχετικά με το κατά πόσο τα έντομα είναι σε θέση να αισθανθούν πόνο (Waterhouse et al., 2016).

Συμπερασματικά, μπορούμε να συμπεράνουμε ότι τα βρώσιμα έντομα συνιστούν μια πολλά υποσχόμενη πηγή πρωτεΐνης. Έχουν ένα καλά ισορροπημένο θρεπτικό προφίλ, πληρούν τις απαιτήσεις αμινοξέων για τον άνθρωπο και είναι υψηλά σε μονοακόρεστα και πολυακόρεστα λιπαρά οξέα. Είναι πλούσια σε πολλά μικροθρεπτικά συστατικά μεταξύ των οποίων το μαγνήσιο, ο χαλκός, ο σίδηρος και ο ψευδάργυρος. Ωστόσο, είναι απαραίτητη η προώθηση της δημιουργίας κατάλληλων διεθνών και εθνικών προτύπων και νομικού πλαισίου για τη διευκόλυνση της χρήσης των εντόμων στην ανθρώπινη διατροφή. Η εντομοφαγία (Entomophagy) μπορεί να αποδειχθεί μια πολύ αποδοτική και ωφέλιμη πρωτοβουλία επίλυσης των μείζονων ζητημάτων σίτισης παγκοσμίως (υποσιτισμός, ακραία ένδεια). Επιπλέον, τα βρώσιμα έντομα και τρόφιμα εμπλουτισμένα με έντομα ενδέχεται να αποτρέψουν την παχυσαρκία ή άλλες διαταραχές που μαστίζουν την υφήλιο.

Κηφήνες

Η μέλισσα είναι ένα έντομο-κλειδί, δεδομένης της σπουδαιότητάς της στην επικονίαση, καθώς και των προϊόντων άμεσης κατανάλωσης που προέρχονται απ’

αυτήν, όπως το μέλι, η γύρη και τα αυγά ή οι προνύμφες (Jensen et al., 2016). Όπως ορίζεται, το γένος *Apis mellifera* είναι ένα είδος εντόμου Hymenoptera που ανήκει στην οικογένεια *Apidae*. Το είδος χρησιμοποιείται στην πρακτική της μελισσοκομίας στην ΕΕ και σε όλο τον κόσμο. Ο (αρσενικός) κηφήνας (drone) βρίσκεται φυσικά στις κυψέλες των μελισσών κατά τη διάρκεια της περιόδου παραγωγής μελιού (το καλοκαίρι για την Ευρώπη). Το κύριο καθήκον των κηφήνων στην αποικία των μελισσών είναι να ζευγαρώσουν με νεαρές βασίλισσες διασφαλίζοντας έτσι τη φυσική αναπαραγωγή των αποικιών των μελισσών. Επομένως, οι κηφήνες προκύπτουν από την αναπαραγωγή της βασίλισσας του μελισσιού μετά το ζευγάρωμα (με περισσότερα από 10 αρσενικά). Μετά τη γέννησή τους, οι αρσενικοί γαμέτες αποθηκεύονται στην κυψέλη για διάστημα έως και πέντε ετών. Οι κηφήνες του γένους *Apis mellifera*, όπως ταυτοποιείται (μέσω φασματομετρίας μάζας υψηλής ανάλυσης και ακρίβειας) είναι δυνατόν να περιέχουν 50 διαφορετικές πρωτεΐνες συνολικά. Οι ταυτοποιημένες πρωτεΐνες διενεργούν μια ευρεία ποικιλία βιολογικών λειτουργιών (όπως η προστασία, η παραγωγή ενέργειας, η διατήρηση ομοιόστασης κλπ.) (Nowak et al., 2014). Εκτός από τις πρωτεΐνες, στο σώμα του κηφήνα περιέχονται διάφορα λιπαρά οξέα (συμπεριλαμβανομένου του μονοακόρεστου ελαϊκού οξέος), βιταμίνες B3 και B5 και μια σειρά από ανόργανα συστατικά, προσφέροντας μια εναλλακτική πηγή πρωτεΐνης για ανθρώπινη κατανάλωση. Απευθείας ή έμμεσα (ως ζωοτροφή), οι πρωτεΐνες των εντόμων όπως οι κηφήνες, θα μπορούσαν να χρησιμοποιηθούν ως συμπλήρωμα ζωικών πρωτεϊνών ως απόκριση τη πρόκληση σίτισης των 9 δισεκατομμυρίων ανθρώπων το 2050 (Rumpold & Schlüter, 2014. Bukkens, 2005).

Βάση των παραπάνω, οι κηφήνες μπορεί να είναι ένας ιδιαίτερα ελπιδοφόρος βρώσιμος πόρος, καθώς πολλοί μελισσοκόμοι τους απορρίπτουν τακτικά για να ελαχιστοποιήσουν τις καταστροφικές επιδράσεις των ακάρεων του γένους *Varroa* (Ulmer et al., 2020). Δεδομένου ότι η έρευνα για τα βρώσιμα έντομα είναι ένας αναδυόμενος τομέας που βασίζεται σε μεθόδους και τεχνικές από συναφή πεδία και εν όψει των ολοένα και αυξανόμενων περιβαλλοντικών ανησυχιών που εγείρονται από την γιγαντωμένη ζήτηση σε πρωτεΐνες που προέρχονται από ζώα, μια πιθανή λύση θα μπορούσε να είναι η αύξηση της ελκυστικότητας των εντόμων ως συστατικών

τροφίμων στις δυτικές χώρες. Εξίσου καθοριστικής σημασίας θα μπορούσε να είναι η χρήση κηφήνων από το ευρέως διαδεδομένο γένος *Apis mellifera*. (Jensen et al., 2016).

Η παραγωγή και η συγκομιδή αυγών και προνυμφών μελισσών-εργατριών και κηφήνων με σκοπό την κατανάλωση από τον άνθρωπο υπόκεινται σε ειδικές συστάσεις και πρωτόκολλα (συμπεριλαμβανομένων υγειονομικών θεμάτων), ωστόσο δεν είναι ανέφικτες (Jensen et al., 2016). Σε κάθε περίπτωση, το βρώσιμο δυναμικό των κηφήνων χρήζει αποσαφήνισης στο παρόν αλλά πολύ περισσότερο στο μέλλον.

Επί του παρόντος οι κηφήνες δεν εμπεριέχονται στον κατάλογο των νέων τροφίμων. Ωστόσο έχει γίνει αίτηση συμπερίληψης στον Κατάλογο Νέων Τροφίμων από την ένωση Νορβηγών μελισσοκόμων "Finnish beekeepers' association" ('Finnish beekeepers' association Summary of the application submitted within the meaning of Article 10(1) of Regulation (EU) 2015/2283 regarding Honey bee drone brood (*Apis mellifera* male pupae).

Ωστόσο, πρέπει να τηρούνται οι απαιτήσεις ιχνηλασιμότητας και επισήμανσης. Λόγω της πιθανότητας αλλεργικής αντίδρασης, τα άτομα που είναι αλλεργικά στα οστρακοειδή, τα μαλακόστρακα και τα ακάρεα θα πρέπει να αποφεύγουν την κατανάλωση κηφήνων. Αυτή η προειδοποίηση πρέπει να παρουσιάζεται με σαφήνεια στις ετικέτες των προϊόντων που περιέχουν αυγά κηφήνων.

Μέχρι τώρα, στην Φινλανδία έχει εγκριθεί η εμπορία βρώσιμων κηφήνων ως τροφή υπό συγκεκριμένες συνθήκες και σε εθνικό επίπεδο. Κατά τη διάρκεια της περιόδου έγκρισης, δεν έχουν αναφερθεί αρνητικές επιπτώσεις στην υγεία του ανθρώπου μετά την βρώση. Επιπλέον, η βιβλιογραφική ανασκόπηση δεν αποκάλυψε αναφερόμενες ανησυχίες σχετικά με την απορρόφηση, την πέψη ή τον μεταβολισμό των κηφήνων. Μέσα από την παραπάνω θέση, η Ευρωπαϊκή Ένωση καταλήγει στο συμπέρασμα ότι οι κηφήνες του γένους *Apis mellifera* είναι ασφαλείς τόσο ως τρόφιμο όσο και ως συστατικό τροφίμων. Μπορεί δε να θεωρηθεί ως πολύτιμο, πλούσιο σε πρωτεΐνες εναλλακτικό προϊόν του κρέατος (European Commission, 2015). Όπως αναδεικνύεται μέσα από την πλέον πρόσφατη βιβλιογραφία, μέσω των εντόμων μπορούν να αντιμετωπιστούν τεράστια ζητήματα ασφάλειας τροφίμων και διατροφής.

1.4.3 ΣΥΛΛΟΓΗ ΚΑΙ ΠΑΡΑΓΩΓΗ ΣΚΟΝΗΣ ΚΗΦΗΝΑ

Η παραγωγή και η συλλογή των κηφήνων μέχρι στιγμής έχει αναλυθεί στην διαθέσιμη βιβλιογραφία αποκλειστικά σε πειραματικό επίπεδο. Όπως αναφέρεται στην μελέτη των Jensen et al. (2016), η παραγωγή των κηφήνων μπορεί να περιοριστεί από τον αριθμό των κυψελίδων που υπάρχουν στην αποικία των μελισσών. Η έφεση των εργατριών μελισσών να σχηματίζουν νέες κυψελίδες, κατά την περίοδο επώασης των νέων κηφήνων, οδηγεί στην μεγαλύτερη παραγωγή κηφήνων. Ωστόσο, η απομάκρυνση των κηφήνων από τις κυψελίδες είναι μια ανθρωπογενής πρακτική που σε συνδυασμό με χημικές μεθόδους στοχεύει στον έλεγχο της προσβολής της κυψέλης από ακάρεα του γένους *Varroa spp* (Calderone, 2005). Τυπικά, η περισυλλογή των κηφήνων γίνεται την περίοδο επώασης των κηφήνων (Άνοιξη) και ειδικότερα 11 ημέρες μετά την εισαγωγή τους στις κυψελίδες (επομένως χρειάζεται στενή παρακολούθηση). Οι κηφήνες περισυλλέγονται από τις αποικίες σε διαφορετικά στάδια της ανάπτυξής τους από το στάδιο της προνύμφης μέχρι και την ενηλικίωση. Ωστόσο, με σκοπό τη μεγιστοποίηση της συλλεχθείσας βιομάζας, οι κηφήνες δεν πρέπει να περισυλλέγονται πριν σταματήσουν να τροφοδοτούνται. Καθώς οι κηφήνες αναπτύσσονται, αναμένεται μια αύξηση της ποσότητας χιτίνης που περιέχουν που μπορεί να τους καταστήσει λιγότερο εύγευστους. Επιπλέον, αναμένεται μια μικρή απώλεια βάρους των κηφήνων κατά τη διάρκεια της περιόδου αναπαραγωγής, επομένως θα πρέπει να περισυλλέγονται κατά προσέγγιση 0–160 ώρες μετά την αρχική τοποθέτηση. Οι κηφήνες παραμένουν ζωντανοί σε θερμοκρασία δωματίου για μερικές ώρες μετά την περισυλλογή, επιτρέποντας την μεταφορά από μελισσοκομεία σε εγκαταστάσεις επεξεργασίας ή αποθήκευσης. Πρέπει να προσεχθεί ιδιαίτερος η τοποθέτηση των κηφήνων σε καθαρές πλαστικές σακούλες ή δοχεία και η συντήρησή τους σε χαμηλές θερμοκρασίες, προκειμένου να αποφευχθεί η διαρροή του θρεπτικού υγρού του γένους (Jensen et al., 2016). Προτείνεται επίσης η ψύξη του περιεχομένου στους $-20\text{ }^{\circ}\text{C}$ ιδανικά εντός 4-6 ωρών μετά τη συγκομιδή, έτσι ώστε να εξασφαλίζεται η φρεσκάδα του προϊόντος. Τέλος, για τη δημιουργία ξηρής βιομάζας από τους κηφήνες, προτείνεται η αποξήρανση του αποθηκευμένου σε χαμηλές θερμοκρασίες

περιεχομένου για 48 ώρες σε έναν αφυγραντήρα (freeze-drier), ακολουθώντας μια διαδικασία σύνθλιψης σε ένα λεπτό μίξερ, έτσι ώστε να προκύψει μια λεπτόκοκκη σκόνη. Το πλεονέκτημα της παραπάνω διαδικασίας συνοψίζεται στη διατήρηση της θρεπτικής και αισθητηριακής ποιότητας του αρχικού υλικού (Jonas-Levi et al., 2015).

Τα θερμικά αφυδατωμένα αυγά και οι προνύμφες που μπορούν να μετασχηματιστούν σε λεπτή σκόνη με την βοήθεια ενός ηλεκτρικού μπλέντερ, μπορούν να χρησιμοποιηθούν απευθείας ή να αναμειχθούν με άλλα είδη αλεύρου και να χρησιμοποιηθούν ως προσθετικό συστατικό στο ψωμί, σε διάφορα γεύματα και σούπες (Jensen et al., 2016). Οι κηφήνες του γένους *Apis mellifera* αποτιμώνται για την πλούσια θρεπτική σύνθεση τους και ειδικότερα την μεγάλη περιεκτικότητα των πρωτεϊνών, των λιπαρών οξέων, των βιταμινών και των μετάλλων (Rumpold & Schluter, 2013) τους, καθώς και για την ευχάριστη γεύση και ευελιξία τους στα μαγειρικά σκευάσματα (Evans, 2013). Ο κηφήνας είτε στην μαγειρεμένη είτε στην αποξηραμένη του μορφή, έχει μια ελαφρώς ξινή γεύση και επίγευση ξηρού καρπού (Jensen et al., 2016). Σε κάθε περίπτωση, τα στοιχεία που προέρχονται από μελέτες διερεύνησης των χαρακτηριστικών γεύσης και υφής των βρώσιμων εντόμων είναι εξαιρετικά περιορισμένα.

2. ΣΚΟΠΟΣ ΤΗΣ ΕΡΓΑΣΙΑΣ

Σκοπός της εργασίας ήταν η παρασκευή εμπλουτισμένων αρτοσκευασμάτων με σκόνη κηφήνα σε δύο επίπεδα προσθήκης (5% και 10%) και η αξιολόγηση των τελικών προϊόντων ως προς τα φυσικοχημικά και μηχανικά τους χαρακτηριστικά σε σχέση με μάρτυρα. Η εκπόνηση του πειραματικού μέρους πραγματοποιήθηκε στο Εργαστήριο Τεχνολογίας και Ελέγχου Ποιότητας Σιτηρών του Τμήματος Τεχνολογίας Τροφίμων του Διεθνούς Πανεπιστημίου Ελλάδος.

Επιμέρους στόχοι

- Η μελέτη της χημικής σύστασης των πρώτων υλών και των τελικών προϊόντων.
- Η επίδραση της προσθήκης σκόνης κηφήνα στα ρεολογικά χαρακτηριστικά των ζυμαριών
- Η εξέταση της συμπεριφοράς των εμπλουτισμένων ζυμών κατά τη διαδικασία της αρτοποιίας.
- Η συγκριτική μελέτη των μηχανικών χαρακτηριστικών των τελικών προϊόντων
- Η μελέτη του ρυθμού παλαίωσης στα τελικά προϊόντα

3. ΥΛΙΚΑ ΚΑΙ ΜΕΘΟΔΟΙ

ΠΕΙΡΑΜΑΤΙΚΟ ΜΕΡΟΣ

Πειραματικός σχεδιασμός

Δείγματα αλεσμένης σκόνης κηφήνα εξετάστηκαν συγκριτικά με μάρτυρα άλευρο τύπου 70% για τα παρακάτω φυσικοχημικά τους χαρακτηριστικά : υγρασία, ικανότητα συγκράτησης νερού, διόγκωση, πυκνότητα αλεύρου, τέφρα, ολικά λιπαρά, πρωτεΐνες, διαιτητικές ίνες και . Ζύμες ψωμιού από μάρτυρα και σκόνη κηφήνα σε συγκέντρωση 5% και 10% κατά βάρος εξετάστηκαν ως προς τα ρεολογικά χαρακτηριστικά της ζύμης με φαρινογραφία, εξτενσιογραφία και Αναλυτή Υφής. Τα προκύπτοντα ψωμιά εξετάστηκαν διαχρονικά για 6 μέρες ως προς τα φυσικοχημικά και μηχανικά χαρακτηριστικά .

Οι κηφίνες συλλέχθηκαν και παραλήφθηκαν από μελισσοκόμο στην περιοχή της Αριδαίας. Το σώμα των κηφίνων προετοιμάστηκε για επεξεργασία καθώς αφαιρέθηκαν οι κεραίες, τα φτερά και τα πόδια. Ακολούθησε λυοφιλίωση ((freeze drier) CHRIST GAMMA 1-20 LMC) και κατόπιν λειοτρίβιση με γουδί.

3.1. Αναλύσεις αλεύρων

3.1.1. Προσδιορισμός υγρασίας

Σκοπός

Σκοπός του πειράματος είναι ο ποσοτικός προσδιορισμός της υγρασίας σε δείγμα αλεύρου τύπου 70% και σε σκόνης κηφήνα.

Υλικά και όργανα

Γυάλινα τριβλία, ζυγός OHAUS (ακρίβειας 4 δεκαδικών ψηφίων)

ANDelectronicbalance ακρίβειας 0,1 g , πυριαντήριο Memmert της Edelstahl (Germany) ($105\pm 2^{\circ}\text{C}$) , λαβίδα πύρωσης, ξηραντήριο με υλικό αφυδάτωσης CaCl_2 .

Μεθοδολογία

Η υγρασία δείγματος (5g) προσδιορίστηκε με υπολογισμό της διαφοράς βάρους πριν και μετά τη ξήρανση σε πυριαντήριο στους $130\text{-}135^{\circ}\text{C}$ για χρονική διάρκεια δύο ωρών. Έπειτα, αφέθηκε να κρυσώσει σε ξηραντήριο με αποτελεσματικό υλικό αφυδάτωσης. Τέλος, ζυγίστηκε με ζυγό ακριβείας, προσδιορίστηκε η απώλεια βάρους του και η περιεχόμενη υγρασία (AACC Method 44-15.02).

Η περιεχόμενη υγρασία (%) υπολογίστηκε από τον τύπο: $\% \text{Υγρασία} = [(W2 - W3) / (W2 - W1)] * 100\%$, όπου W1: το βάρος του περιέκτη (g), W2: το βάρος του δείγματος και του περιέκτη (πριν την ξήρανση) (g), και W3: το βάρος του δείγματος και του περιέκτη (μετά την ξήρανση) (g). Πραγματοποιήθηκαν 3 επαναλήψεις ($n=3$).

3.1.2. Ικανότητα συγκράτησης νερού

Σκοπός

Σκοπός του πειράματος είναι ο ποσοτικός προσδιορισμός της υγρασίας που μπορεί να απορροφήσει άλευρο τύπου 70% και σκόνη κηφήνα στην παραμονή τους για συγκεκριμένο χρονικό διάστημα σε ορισμένη ποσότητα νερού.

Υλικά και όργανα

Ζυγός OHAUS (ακρίβειας 4 δεκαδικών ψηφίων) ANDelectronicbalance ακρίβειας 0,1 g, δοκιμαστικοί σωλήνες, αναδευτήρας, φυγόκεντροςcenturionscientificK3 series.

Μεθοδολογία

Δείγματα αλεύρου τύπου 70% και σκόνης κηφήνα (5 g) ζυγίστηκαν σε δοκιμαστικό σωλήνα και προστέθηκαν 5 ml απιονισμένου νερού. Ακολούθησε ανάδευση για 1 min και αφέθηκαν σε ηρεμία για 30 min. Στο μίγμα εφαρμόστηκε φυγοκέντριση, απόχυση του αιωρήματος και τέλος ζύγιση. Το απορροφούμενο νερό προσδιορίστηκε με υπολογισμό της διαφοράς του βάρους δείγματος πριν και μετά την διαδικασία (AACCI Method 56-30.01).

Η Ικανότητα συγκράτησης υγρασίας (%) υπολογίστηκε από τον τύπο: %Υγρασία = $[(W2 - W3) / (W2 - W1)] * 100\%$, όπου W1: το βάρος του περιέκτη (g), W2: το βάρος του δείγματος και του περιέκτη (αρχικά) (g), και W3: το βάρος του δείγματος και του περιέκτη (τελικά) (g). Πραγματοποιήθηκαν 2 επαναλήψεις (n=2).

3.1.3. Ικανότητα διόγκωσης αλεύρου

Σκοπός

Σκοπός του πειράματος είναι ο ποσοτικός προσδιορισμός της διόγκωσης αλεύρου τύπου 70% και σκόνης κηφήνα μετά την παραμονή σε ποσότητα νερού για συγκεκριμένο χρονικό διάστημα.

Υλικά και όργανα

Ζυγός OHAUS (ακρίβειας 4 δεκαδικών ψηφίων) AND electronic balance ακρίβειας 0,1 g, ογκομετρικοί κύλινδροι

Μεθοδολογία

Δείγματα αλεύρου τύπου 70% και σκόνης κηφήνα (1 g) τοποθετήθηκαν σε ογκομετρικούς κυλίνδρους χωρητικότητας 50 mL, κατόπιν προστέθηκαν 30 ml νερού και αφέθηκαν σε ηρεμία για 24 ώρες (AACC Method 56-21.01).

Ο όγκος του διογκωμένου αλεύρου δηλαδή ο όγκος του βυθιζόμενου αλεύρου κάτω από την επιφάνεια του νερού εκφράστηκε ως όγκος διαλύματος / γραμμάριο καθαρής ουσίας και υπολογίστηκε από τον τύπο: Διόγκωση= $V(\text{ml}) / W(\text{g})$. Πραγματοποιήθηκαν 2 επαναλήψεις(n=2).

3.1.4. Προσδιορισμός ανόργανων συστατικών(τέφρας)

Σκοπός

Σκοπός του πειράματος είναι ο ποσοτικός προσδιορισμός των ανόργανων συστατικών, τέφρας αλεύρου τύπου 70% και σκόνης κηφήνα.

Υλικά και όργανα

Ζυγός ακριβείας OHAUS (ακρίβεια 4 δεκαδικών ψηφίων) ANDelectronicbalance ακριβείας 0,1 g, χωνευτήρια, φούρνος Heraeus MR 260 (Germany), αλκοόλη(C₂H₅OH της Riedel -deHaen 99,8%).

Μεθοδολογία

Δείγματα αλεύρου τύπου 70% και σκόνης κηφήνα (5 g) τοποθετήθηκαν σε χωνευτήρια. Στα δείγματα προστέθηκαν σταγόνες αλκοόλης ώστε να βοηθήσουν την καύση. Τα χωνευτήρια τοποθετήθηκαν σε φούρνο στους 500 °C για 5 ώρες. Η ποσότητα δείγματος που απέμεινε στο χωνευτήριο μετά την καύση είναι ίση με τα ανόργανα συστατικά- τέφρα του δείγματος(ICC 104/1).

Πραγματοποιήθηκαν 5 επαναλήψεις(n=5).

3.1.5. Προσδιορισμός πυκνότητας ενυδατωμένου αλεύρου(hydrated density)

Σκοπός

Σκοπός του πειράματος είναι ο ποσοτικός προσδιορισμός της πυκνότητας αλεύρου τύπου 70% και σκόνης κηφήνα.

Υλικά και όργανα

Ζυγός ακριβείας OHAUS (ακρίβεια 4 δεκαδικών ψηφίων) ANDelectronicbalance ακρίβειας 0,1 g, ογκομετρικοί κύλινδροι

Μεθοδολογία

Δείγματα αλεύρου τύπου 70% και σκόνης κηφήνα (1g) τοποθετήθηκαν στην επιφάνεια 10 mL απιονισμένου νερού σε ογκομετρικούς κυλίνδρους των 50 mL και αφέθηκαν σε ηρεμία ελέγχοντας τον όγκο του βυθιζόμενου αλεύρου ανά 5 min. Πάρθηκαν 4 μετρήσεις και το πείραμα ολοκληρώθηκε στο 15^ο λεπτό όπου όλη η ποσότητα αλεύρου βυθίστηκε στον όγκο του νερού(Rana et al.2015). Η μέθοδος εφαρμόστηκε με ορισμένες τροποποιήσεις).Τα αποτελέσματα εκφράστηκαν ως όγκος διαλύματος / γραμμάριο καθαρής ουσίας και υπολογίστηκαν από τον τύπο $W \times V / 10$ όπου V εκφράζει το 1/10 της ένδειξης του όγκου στον ογκομετρικό κύλινδρο του βυθιζόμενου αλεύρου στο νερό. Πραγματοποιήθηκαν 4 επαναλήψεις(n=4).

3.1.6. Προσδιορισμός ολικών λιπαρών

Σκοπός

Σκοπός του πειράματος είναι ο ποσοτικός προσδιορισμός των ολικών λιπαρών αλεύρου τύπου 70% και σκόνης κηφήνα.

Υλικά και όργανα

Ζυγός ακριβείας OHAUS (ακρίβεια 4 δεκαδικών ψηφίων) ANDelectronicbalance ακρίβειας 0,1 g, φούρνος Heraeus MR 260 (Germany), κωνικές φιάλες, C₂H₅OH(Riedel -de Haen 99,8%), HCl(1N και 0,1N της Merck), CH₂O₂(99% v/v της J.T.Baker),

Μεθοδολογία

Δείγματα αλεύρου τύπου 70% και σκόνης κηφήνα (1 g) υδρολύεται με υδροχλωρικό οξύ, παρουσία αιθανόλης και μυρμηγκικού οξέος ελευθερώνοντας τα δεσμευμένα σε πρωτεΐνες και σάκχαρα λιπίδια. Ακολούθησε εκχύλιση των λιπαρών ουσιών, απομάκρυνση του διαλύτη και ζύγιση του υπολείμματος (AOAC 948.22). : %Λίπος = $[(W2- W3)/(W2- W1)] * 100\%$, όπου W1: το βάρος του περιέκτη (g), W2: το βάρος του δείγματος και του περιέκτη (αρχικά) (g), και W3: το βάρος του δείγματος και του περιέκτη (τελικά) (g). Πραγματοποιήθηκαν 2 επαναλήψεις(n=2).

3.1.7. Προσδιορισμός ολικών πρωτεϊνών κατά Kjeldahl

Σκοπός

Σκοπός του πειράματος είναι ο ποσοτικός προσδιορισμός των ολικών πρωτεϊνών αλεύρου τύπου 70% και σκόνης κηφήνα.

Υλικά και όργανα

Ζυγός OHAUS (ακρίβειας 4 δεκαδικών ψηφίων) ANDelectronicbalance ακρίβειας 0,1 g, φούρνος Heraeus MR 260 (Germany), κωνικές φιάλες. Ο ποσοτικός προσδιορισμός των πρωτεϊνών έγινε με συσκευή Gerhardt (Germany), ανακινούμενο υδατόλουτρο Kotterman (Germany), Πεχάμετρο Inolab wtw series, H₂SO₄ J.T.Baker (95-98 %), K₂SO₄ σε μορφή ταμπλέτας της C.Gerhardt., CuSO₄.5H₂O σε μορφή ταμπλέτας της C.Gerhardt., NaOH1N, 0,1 N και 0,275 N της Merck, H₃BO₃, Celite C-211 της Fluka

Μεθοδολογία

Κατάλληλη ποσότητα προετοιμασμένων δειγμάτων αλεύρου τύπου 70% και σκόνης κηφήνα, υποβλήθηκαν σε υγρή καύση με πυκνό θειικό οξύ παρουσία θειικού καλίου και θειικού χαλκού σε μορφή ταμπλέτας και εν συνεχεία οδηγήθηκαν σε συσκευή απόσταξης. Κατόπιν, το προϊόν της αντίδρασης (NH₄)₂SO₄ κατεργάστηκε με NaOH και η ελεύθερη αμμωνία που απελευθερώθηκε, απόσταξε και δεσμεύθηκε σε καθορισμένο όγκο πρότυπου διαλύματος H₃BO₃. Υπολογίστηκε η εκατοστιαία περιεκτικότητα του δείγματος σε οργανικό άζωτο, που ανάχθηκε σε πρωτεΐνες με συντελεστή 5,8 για το αλεύρι σίτου και 6,25 για την σκόνη κηφήνα(Ghosh. etal,2016) (ICC 105/2). Πραγματοποιήθηκαν 2 επαναλήψεις(n=2).

3.1.8. Προσδιορισμός διαιτητικών ινών

Σκοπός

Σκοπός του πειράματος είναι ο ποσοτικός προσδιορισμός των διαιτητικών ινών αλεύρου τύπου 70% και σκόνης κηφήνα.

Υλικά και όργανα

Ζυγός ακριβείας OHAUS (ακρίβεια 4 δεκαδικών ψηφίων) ANDeElectronicbalance ακρίβειας 0,1 g, φούρνος, κωνικές φιάλες, , ανακινούμενο υδατόλουτρο Kotterman (Germany), Πεχάμετρο Inolab wtw series, Κιτ για Ολικές διαιτητικές ίνες της Megazyme:Θερμοάντοχη α-αμυλάση, Πρωτεάση, Αμυλογλυκοσιδάση

Μεθοδολογία

Δείγματα αλεύρου τύπου 70% και σκόνης κηφήνα υπέστησαν διαδοχικές ενζυματικές χωνεύσεις με α-αμυλάση, πρωτεάση και αμυλογλυκοσιδάση. Οι αδιάλυτες διαιτητικές ίνες διηθήθηκαν και πραγματοποιήθηκε πλύση με θερμό νερό. Το παραπάνω διάλυμα διηθήματος και νερού υπέστη κατεργασία με 4 όγκους αιθανόλης 95% για τον προσδιορισμό των διαλυτών διαιτητικών ινών. Το ίζημα παραλήφθηκε με διήθηση και υπέστη ξήρανση. Οι διαλυτές διαιτητικές ίνες υπέστησαν κατεργασία με αιθανόλη και το ίζημα διηθήθηκε, ξηράθηκε και ζυγίστηκε. Οι ολικές διαιτητικές ίνες ισούνται με το βάρος του ξηρού ιζήματος αφαιρώντας την πρωτεΐνη και την τέφρα. (AACC 32-07.01 ή AOAC 991.4). Πραγματοποιήθηκαν 2 επαναλήψεις(n=2).

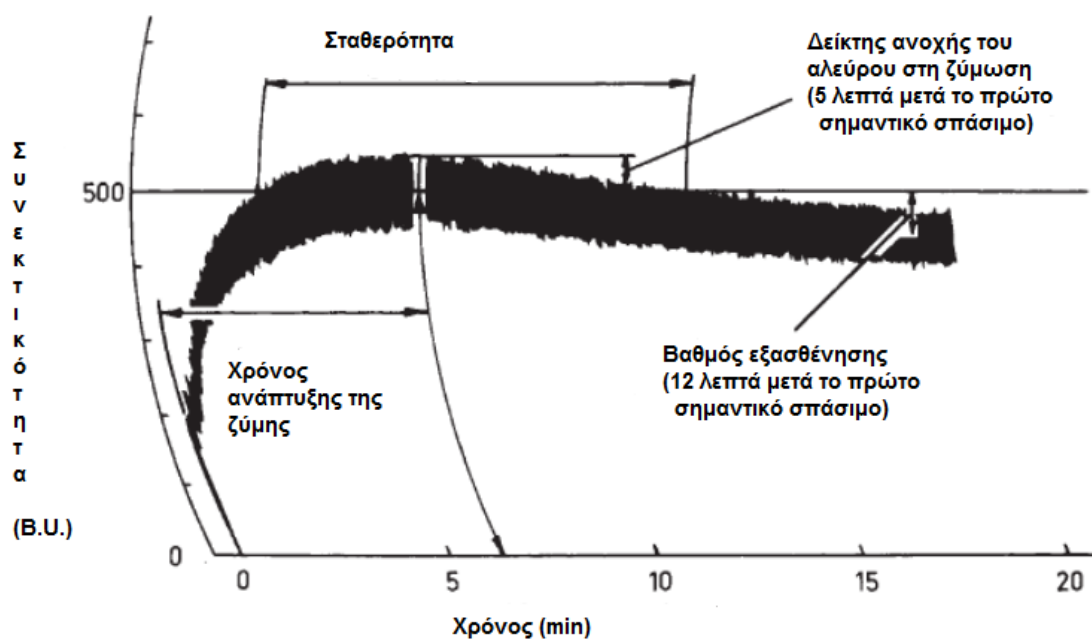
Στο ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ Α παρατίθενται το διάγραμμα της μεθοδολογίας προσδιορισμού των ολικών διαιτητικών ινών.

3.2. Ρεολογικές αναλύσεις ζύμης

Τα ρεολογικά χαρακτηριστικά των μιγμάτων αλεύρου τύπου 70% και σκόνης κηφήνα προσδιορίστηκαν με συσκευές της Brabender (φαρινογράφος, εξτενσιογράφος, θερμοστάτης κυκλοφορητής νερού) και αναλυτή υφής 'TA.XT.plusTextureAnalyser') Πραγματοποιήθηκε 1 επανάληψη(n=1).

3.2.1. Φαρινογραφία (Φαρινογράφος ICC 115/1)

Ο φαρινογράφος μετράει την αντίσταση της ζύμης κατά την ανάμειξη της καθώς δημιουργείται ζύμη από το αλεύρι και το νερό. Προσδιορίζεται η απορρόφηση του νερού από το αλεύρι, δηλαδή η ποσότητα νερού (ml/g αλεύρου με υγρασία 14%) η οποία απαιτείται ώστε να σχηματιστεί ζύμη με μέγιστη συνεκτικότητα 500 B.U. (μονάδες φαρινογράφου). Η μέγιστη συνεκτικότητα της ζύμης προσαρμόζεται σε μια σταθεροποιημένη τιμή, μεταβάλλοντας την προστιθέμενη ποσότητα νερού. Η ποσότητα αυτή χρησιμοποιείται έτσι ώστε να πετύχουμε ολοκληρωμένη καμπύλη κατά το ζύωμα, τα ποικίλα χαρακτηριστικά της οποίας καθορίζουν τη δύναμη του αλεύρου.



Σχήμα 1. Φαρινογράφημα (Blokman 1971)

Έκφραση αποτελεσμάτων

α) Απορρόφηση

Η απορρόφηση νερού για τον φαρινογράφο (ml/100g αλεύρου υγρασίας 14%). Πρόκειται για τον όγκο νερού που απαιτείται για την βέλτιστη συνεκτικότητα του δείγματος και ισούται με:

απορρόφηση=[Vc +(m-300)]/3 για μίξερ 300g

όπου Vc= η μέση τιμή του νερού (ml), η οποία ανταποκρίνεται σε μέγιστη συνεκτικότητα 500BU

και m=η ποσότητα του αλεύρου σε gr

Έγινε εκτέλεση με σκοπό την εύρεση της κατάλληλης ποσότητας νερού για ένα μίγμα αλεύρου τύπου 70% και αλεύρου κηφήνα που θα έδινε τη βέλτιστη συνεκτικότητα ζύμης (500 BU) στο λιγότερο χρόνο.

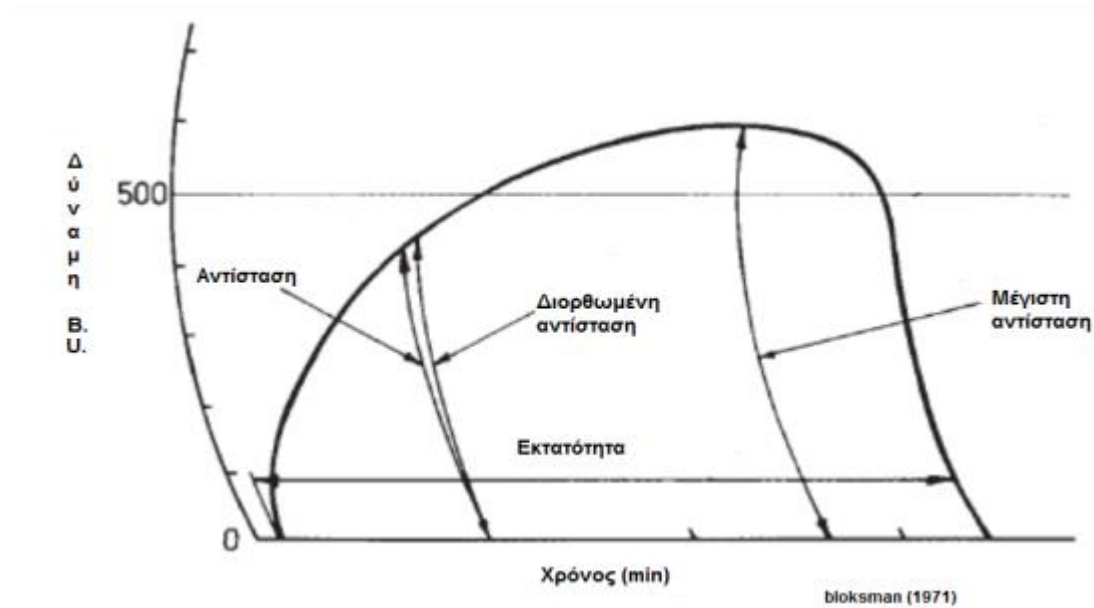


Εικόνα 3. Φαρινογράφος της Brabender (Farinograph-E). Εργαστήριο Σιτηρών, Τμήμα Επιστήμης και Τεχνολογίας Τροφίμων, ΔΙΠΙΑΕ

3.2.2. Εξτενσιογραφία (Εξτενσιογράφος ICC 114/1)

Ο εξτενσιογράφος Brabender είναι το κατάλληλο όργανο ώστε να προσδιορίσουμε τις ρεολογικές ιδιότητες της ζύμης. Οι ρεολογικές ιδιότητες της ζύμης καθορίζονται από την ποσότητα και κυρίως την ποιότητα της γλουτένης. Χαρακτηριστικές ιδιότητες της γλουτένης είναι η εκτατότητα και η αντίσταση στην έκταση. Ειδικότερα με τον

εξτενσιογράφο προσδιορίζουμε τη δύναμη που πρέπει να εφαρμοστεί ώστε να ξεπεραστεί η αντίσταση την οποία εμφανίζει ένα κομμάτι ζύμης μέχρι να κοπεί σε δύο κομμάτια, σε σχέση με το χρόνο. Η καμπύλη που καταγράφεται χρησιμοποιείται για την εκτίμηση της ποιότητας του αλεύρου και την επίδραση των βελτιωτικών παραγόντων σε αυτό.



Σχήμα 2. Εξτενσιογράφημα (Bloksman 1971)

Έκφραση αποτελεσμάτων

α) Αντίσταση κατά την επιμήκυνση (resistance of stretching)

Καταγράφουμε τη μέση τιμή για το R_{max} για τα 45, 90 και 135 λεπτά ανάπαυσης

Αντίσταση στη σταθερή παραμόρφωση (resistance of constant deformation, R_{50})

Μετρίεται το ύψος της καμπύλης σε μια καθορισμένη επιμήκυνση της ζύμης, η οποία ανταποκρίνεται σε έκταση του ζυμαριού κατά 50mm. Καταγράφουμε τη μέση τιμή του R_{50} για 45, 90 και 135 λεπτά ανάπαυσης

β) Εκτατότητα (Extensibility)

Η εκτατότητα (E_x) είναι η απόσταση σε mm που καταγράφεται τη χρονική στιγμή που το άγκιστρο εφάπτεται στο κομμάτι ζύμης μέχρι αυτό να κοπεί. Το κόψιμο της ζύμης φαίνεται πάνω στην καταγραφόμενη καμπύλη από μια ομαλή πτώση της καμπύλης ή από ένα απότομο κόψιμό της. Καταγράφουμε τη μέση τιμή του E_x για τα 45, 90 και 135 ανάπαυσης.

γ) Ενέργεια

Η ενέργεια (E) είναι το εμβαδό της καμπύλης και εκφράζει το έργο που εφαρμόζεται κατά την επιμήκυνση της ζύμης. Δίδεται σε cm^2 .

δ) Λόγος R_{50}/E_x (R_{50}/E_x)

Όσο μεγαλύτερο είναι το πηλίκιο, τόσο δυνατότερη η ζύμη και καθορίζει τον όγκο του αρτοσκευάσματος μετά την ωρίμανση.

Ζύμη από αλεύρι νερό και αλάτι προετοιμάζεται στον φαρινογράφο. Έπειτα εισάγεται ένα κομμάτι ζύμης στο μηχάνημα κυλινδροποίησης το οποίο μετατρέπεται σε σχήμα μπάλας. Μετά από ορισμένο χρόνο ανάπαυσης η ζύμη επιμηκώνεται και καταγράφεται η δύναμη που εφαρμόζεται για την επιμήκυνση αυτή. Αμέσως μετά την πρώτη επιμήκυνση το ζυμάρι μετά από λίγο χρόνο ανάπαυσης πλάθεται και επιμηκώνεται ξανά. Το πλάσιμο, η ανάπαυση και η επιμήκυνση επαναλαμβάνονται ακόμα μια φορά. Το μέγεθος και το σχήμα της καμπύλης που καταγράφεται προσδιορίζουν τις φυσικές ιδιότητες της ζύμης και συνεπώς τα αρτοποιητικά χαρακτηριστικά του αρχικού αλεύρου που χρησιμοποιήθηκε.

Γενικά, μπορούμε να πούμε ότι τα χαρακτηριστικά της ζύμης εκφράζονται από την αντίσταση στην επιμήκυνση, η οποία εκφράζεται σε αυθαίρετες μονάδες (μονάδες εκτατογράφου BU), και το μήκος στο οποίο μπορεί να φτάσει πριν κοπεί το ζυμάρι, το οποίο εκφράζεται σε μετάθεση mm του χαρτογραφήματος στον καταγραφέα, κάτω από συγκεκριμένες συνθήκες.



Εικόνα 4. Εξτενσιογράφος της Brabender (Extensograph-E). Εργαστήριο Σιτηρών, Τμήμα Επιστήμης και Τεχνολογίας Τροφίμων, ΔΙΠΙΑΕ

3.2.3. Πειράματα λιπαινόμενης συμπίεστης ροής

Για την εκτέλεση των πειραμάτων χρησιμοποιήθηκε ο αναλυτής υφής 'TA.XT.plusTextureAnalyser'. Δείγματα ζυμαριού μορφοποιήθηκαν με ειδικά καλούπια κυλινδρικού σχήματος (διάμετρος 5,1cm και πάχος 0,98cm). Στη συνέχεια, στην επιφάνεια των δειγμάτων, στην κάτω πλευρά και στα πλευρικά τοιχώματα του δακτυλίου προστέθηκε παραφινέλαιο. Κατά τη διάρκεια της μέτρησης ο ρυθμός παραμόρφωσης παρέμενε σταθερός και η τελική παραμόρφωση έφτανε το 40% του αρχικού ύψους. Πραγματοποιήθηκαν μετρήσεις σε 4 διαφορετικούς ρυθμούς παραμόρφωσης 1%, 4%, 7% και 10%. Κατά τη διάρκεια της μέτρησης πραγματοποιήθηκε καταγραφή, σε πραγματικό χρόνο, των δεδομένων της δύναμης και του χρόνου συμπίεσης.

3.3. Αναλύσεις στο ψωμί

ΑΡΤΟΠΟΙΗΣΗ

Στην παραγωγή των αρτοπαρασκευασμάτων με άλευρο τύπου 70% και σκόνης κηφήνα σε συγκέντρωση 5% και 10% διακρίνονται 3 βασικά στάδια.

- a. Διάλυση της μαγιάς(2%), του αλατιού(1,5%) και του αλευριού(σύνολο 300g) στο νερό(180mL, $\theta \approx 40^{\circ}\text{C}$). Ανάδευση σε μίξερ για 5 λεπτά
- b. Το μίγμα τοποθετήθηκε για στοφάρισμα ($\theta \approx 30^{\circ}\text{C}$) σε αλευρωμένη φόρμα για 30 λεπτά
- c. Το φουσκωμένο ζυμάρι χωρίστηκε σε 3 ίσα μέρη, πλάσθηκαν σε ομοιόμορφα σφαιρίδια και τοποθετήθηκαν στο φόρμα στο φούρνο($\theta \approx 230^{\circ}\text{C}$) για 45 λεπτά

Τα αρτοσκευάσματα μετά το ψήσιμο αφέθηκαν να ψυχθούν σε θερμοκρασία περιβάλλοντος.



Εικόνα 5. Από αριστερά προς τα δεξιά ανά δύο δείγματα εμπλουτισμένων αρτοσκευασμάτων με 5% σκόνη κηφήνα(σκουρόχρωμα) και δείγματα αρτοσκευασμάτων με αλεύρι τύπου 70%(ανοιχτόχρωμα)



Εικόνα 6. Δεξιά της εικόνας παρουσιάζονται 2 αρτοσκευάσματα με 10% προσθήκη σκόνης κηφήνα. Αριστερά παρουσιάζεται αρτοσκεύασμα με άλευρο τύπου 70%(μάρτυρας)

Τα αρτοσκευάσματα εξετάστηκαν ως προς τον ειδικό όγκο, την ικανότητα συγκράτησης νερού, την υγρασία, τον προσδιορισμό ανόργανων συστατικών(τέφρας), τον προσδιορισμό ολικών διαιτητικών ινών, τον προσδιορισμό ολικών πρωτεϊνών, την πυκνότητα και τον προσδιορισμό των ολικών λιπαρών ακολουθώντας την ίδια μεθοδολογία που αναλύθηκε παραπάνω και κάνοντας χρήση της ψίχας ή της κόρας του κατά περίπτωση.

Επιπλέον, μετρήθηκε ο ειδικός όγκος ψωμιού και προσδιορίστηκαν τα μηχανικά χαρακτηριστικά του αρτοσκευάσματος με αναλυτή υφής δείγματος TPA και θερμιδομετρία διαφορικής σάρωσης DSC.

3.3.1. Μέτρηση ειδικού όγκου ψωμιού

Σκοπός

Σκοπός του πειράματος είναι ο ποσοτικός προσδιορισμός του ειδικού όγκου αρτοσκευάσματος που παρασκευάστηκε με άλευρο τύπου 70% και αρτοσκευάσματος που παρασκευάστηκε με σκόνη κηφήνα σε συγκέντρωση 5% και 10%.

Υλικά και όργανα

Ειδικό δοχείο με σπόρους ελαιοκράμβης,

Μεθοδολογία

Σε ειδικό δοχείο με σπόρους ελαιοκράμβης τοποθετήθηκε το αρτοσκεύασμα, αφού ψύχθηκε σε θερμοκρασία περιβάλλοντος, μετά την έξοδό του από τον κλίβανο, και όποιο κενό καλύφθηκε με σπόρους. Από την ογκομέτρηση των εναπομείναντος σπόρων με ογκομετρικό κύλινδρο προκύπτει και ο όγκος του αρτοσκευάσματος (V_L).

Ο ειδικός όγκος υπολογίστηκε με τον τύπο : $V_s \text{ (ml/g)} = V_L / W$

Όπου V_s είναι ο ειδικός όγκος (ml/g)

V_L είναι ο όγκος του ψωμιού (ml)

W είναι το βάρος του ψωμιού (g)

Πραγματοποιήθηκαν 3 επαναλήψεις ($n=3$).

3.3.2. Ανάλυση υφής δείγματος (TPA)

Σκοπός

Σκοπός του πειράματος είναι ο προσδιορισμός της υφής δειγμάτων ψίχας αρτοσκευάσματος που παρασκευάστηκε με άλευρο τύπου 70% και δείγματα ψίχας αρτοσκευάσματος που παρασκευάστηκε με σκόνη κηφήνα σε συγκέντρωση 5% και 10% κατά την παλαίωση στην 1^η, 4^η και 6^η ημέρα από την ημερομηνία παραγωγής του. Στο πείραμα έγινε χρήση ενός αναλυτή υφής TA – XTPplus Universal Texture Analyser (Texture Technologies Corp., USA) που αποτελεί μια συσκευή προσδιορισμού της υφής τροφίμων αξιολόγησης και μελέτης των ρεολογικών ιδιοτήτων τους.

Υλικά και όργανα

Αναλυτή υφής TA – XTPlus Universal Texture Analyser (Texture Technologies Corp., USA), μεταλλικός σωλήνας διαμέτρου 25mm, μεταλλικό μαχαίρι, ξύλο κοπής, δοκίμιο συμπίεσης των 25 mm (P/25 Cylinder probe)

Μεθοδολογία

Για την **προετοιμασία δειγμάτων** ακολουθήθηκε η εξής διαδικασία:

Από το κεντρικό τμήμα κάθε ψωμιού κόπηκαν, με τη βοήθεια μεταλλικού κυλίνδρου δείγματα διαμέτρου 36 mm και ύψους 25 mm.

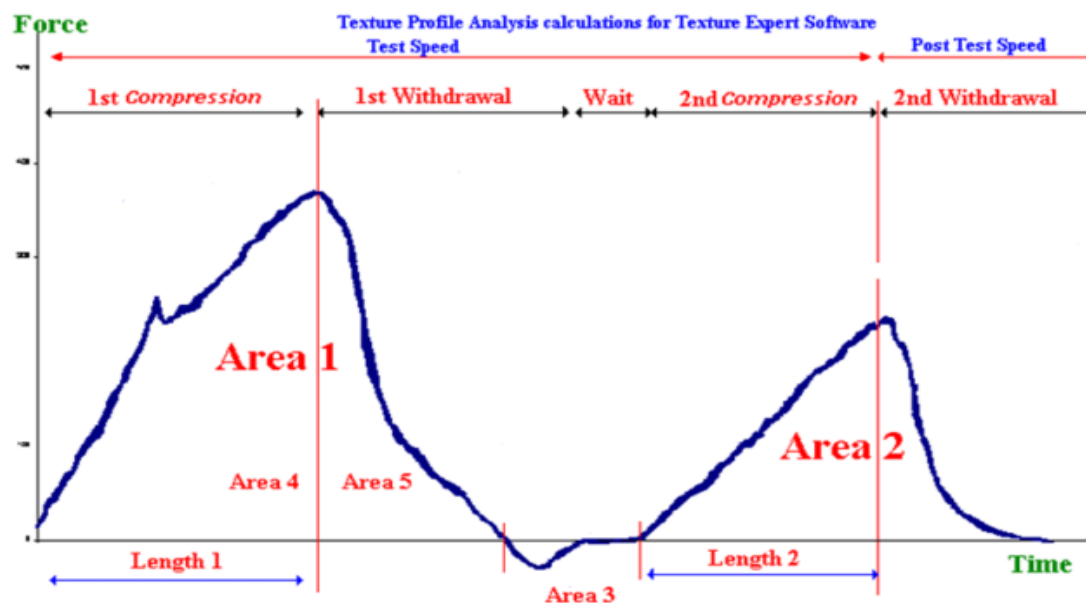
Έπειτα πραγματοποιήθηκε η **βαθμονόμηση του οργάνου** ως εξής: πραγματοποιήθηκε σταντάρισμα του μετρούμενου ύψους (ύψος άνω και κάτω πλάκας συμπίεσης) (height calibration) και της δύναμη αντίστασης που καταγράφει η κεφαλή (Force calibration). Η ταχύτητα κίνησης του εμβόλου ρυθμίστηκε στα 2 mm/sec και το επίπεδο παραμόρφωσης στο 40 %. Μετά την εισαγωγή των απαραίτητων δεδομένων ελέγχου της συσκευής όπως ταχύτητα κίνησης, ποσοστό παραμόρφωσης, χρόνος χαλάρωσης, ταχύτητα λήψεις δεδομένων κ.α. ακολούθησε η ανάλυση. Το δείγμα τοποθετήθηκε στο κέντρο του άξονα της πλάκας συμπίεσης, κάτω από την κινούμενη πλάκα και δίνοντας την έναρξη ξεκίνησε η καταγραφή των μετρήσεων .

Πλεονέκτημα του TA-XTPlus είναι η σύνδεση με υπολογιστή βοηθώντας τον χρήστη στην αντίληψη των ενδείξεων μέτρησης, καθώς στην οθόνη του υπολογιστή καταγράφεται σταδιακά το διάγραμμα της δύναμης αντίστασης συγκριτικά με τον χρόνο στα οποία εφαρμόστηκε παραμόρφωση 40 %(10mm), με συμπίεση μεταξύ των δύο μεταλλικών πλακών. Στην άνω πλάκα ήταν προσαρμοσμένο το σύστημα μέτρησης φορτίου, ενώ η κάτω πλάκα ήταν ακίνητη και αποτελούσε τον υποδοχέα δοκιμίου. Η συμπίεση πραγματοποιήθηκε σε δύο κύκλους, καθένα από τους οποίους στο δείγμα

εφαρμόστηκε δύναμη παραμόρφωσης έως 40 % ακολουθώντας αποφόρτιση με μηδενική παραμόρφωση.

Από την καμπύλη συμπίεσης καθορίστηκαν οι εξής παράμετροι της υφής:

- ✚ Σκληρότητα (Hardness) είναι η αναγκαία δύναμη για την επίτευξη μιας συγκεκριμένης παραμόρφωσης, η τιμή της οποίας καθορίζει τη μέγιστη δύναμη της τιμής του προϊόντος (Scheuer, Lucio κ.α.,2015). Η σκληρότητα 1 (H1), η σκληρότητα 2 (H2)
- ✚ Συνεκτικότητα (Cohesiveness) είναι η αντοχή των εσωτερικών δεσμών που συνθέτουν το σώμα του προϊόντος και καθορίζει το πόσο καλά το προϊόν αντέχει μια δεύτερη παραμόρφωση αφού έχει υποστεί ήδη την πρώτη . Υπολογίζεται $(\frac{Area\ 2}{Area\ 1})$ σύμφωνα με το σχήμα (Scheuer, Lucio κ.α.,2015).
- ✚ Κομμωδής υφή (Gumminess) για ημιστερεά προϊόντα και υπολογίζεται ως $(\frac{Area\ 2}{Area\ 1}) \cdot Hardness$, σύμφωνα με το σχήμα



Σχήμα 3. Σχηματική απεικόνιση Two bite test

Για κάθε μέτρηση χρησιμοποιήθηκαν δείγματα αρτοσκευάσματος από το κέντρο της ψίχας, φέτας ψωμιού συγκεκριμένου πάχους ($n=4$) και οι μετρήσεις έγιναν για τα αρτοσκευάσματα που συντηρήθηκαν για 1, 4 και 6 μέρες στους 4°C .

3.3.3. Τεχνική Θερμικής Ανάλυσης- Διαφορική θερμιδομετρία σάρωσης (DSC)

Σκοπός

Σκοπός του πειράματος ήταν η μελέτη της αναδιάταξης του αμύλου των αρτοσκευασμάτων που παρασκευάστηκαν μετά από 1, 4, και 6 ημέρες συντήρησης στους 4°C . Οι μετρήσεις για την αναδιάταξη του αμύλου έγιναν με τη χρήση της διαφορικής θερμιδομετρίας σάρωσης (Differential Scanning Calorimetry, DSC).

Υλικά και όργανα

Θερμιδόμετρο της εταιρείας Perkin-Elmer (Model DSC 6, Connecticut, USA), αλουμινένια καψύλλια, ζυγός Kern and Sohn με ακρίβεια 0,1 mg.

Μεθοδολογία

Δείγματα ψίχας ψωμιού ($\approx 20\text{mg}$) τοποθετήθηκαν σε προ-ζυγισμένα αλουμινένια καψύλλια χωρητικότητας $\approx 20\mu\text{L}$ και έπειτα τα καψύλλια κλείστηκαν ερμητικά πριν τη μέτρησή τους στο θερμιδόμετρο. Ως μάρτυρας χρησιμοποιήθηκε ένα άδειο καψύλλιο. Τα δείγματα θερμάνθηκαν κάτω από συνεχή ροή αερίου N_2 από τους 20°C έως τους 90°C , με σταθερό ρυθμό $10^{\circ}\text{C}/\text{min}$. Καταγράφηκε η ενδόθερμη ροής θερμότητα ως συνάρτηση της θερμοκρασίας. Από τα θερμογράμματα του DSC προσδιορίστηκαν η θερμοκρασία ανακρυστάλλωσης του αμύλου (ενδόθερμη κορυφή) του αρτοσκευάσματος καθώς και η ενθαλπία. Οι τιμές της ΔH εκφράστηκαν ως J/g ξηρής μάζας του ψωμιού.

Πραγματοποιήθηκε 1 μέτρηση($n=1$).

Στατιστική ανάλυση

Για τη στατιστική ανάλυση των αποτελεσμάτων χρησιμοποιήθηκαν τα προγράμματα Minitab 18 Statistical Software (Minitab Inc., State College, Pa., U.S.A.). Συγκεκριμένα, πραγματοποιήθηκε ανάλυση της διακύμανσης (one way analysis of variance-ANOVA), έλεγχο πολλαπλών συγκρίσεων (Tukey test) και έλεγχος της σύγκρισης δύο δειγμάτων (t-test).

4. ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ ΚΑΙ ΣΥΖΗΤΗΣΗ

4.1. Αποτελέσματα αναλύσεων αλεύρου και σκόνης κηφήνα

4.1.1. Η σύσταση του αλεύρου και της σκόνης κηφήνα

Εξετάστηκε η σύσταση αλεύρου τύπου 70% και σκόνης κηφήνα, στον Πίνακα 3 γίνεται ανάλυση των μέσων όρων των αποτελεσμάτων των χημικών αναλύσεων.

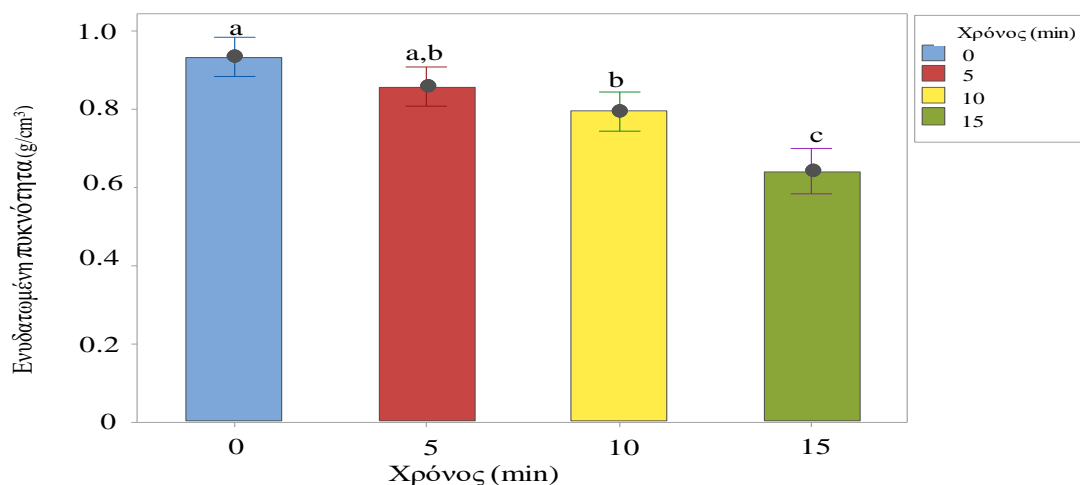
ΠΙΝΑΚΑΣ 3. Σύσταση αλευρου τύπου 70% και σκόνης κηφήνα

Παράμετροι	Αλεύρι *	Σκόνη κηφήνα*
Υγρασία	10,21 ^a (±0,61)	8,40 ^b (±0,87)
Λίπος	1,070 ^a (±0,11)	5,711 ^b (±0,30)
Πρωτεΐνη	11,83 ^b (±0,27)	30,97 ^a (±0,54)
Τέφρα	0,63 ^b (±0,03)	4,70 ^a (±0,37)
Ικανότητα συγκράτησης νερού (%)	32,47 ^b (±5,23)	150,36 ^a (±8,14)
Διόγκωση (mL/g)	2,23 ^b (±0,35)	4,85 ^a (±0,92)
Ενυδατωμένη πυκνότητα (g/cm ³)**	0,64 (±0,04)	- ***
Αδιάλυτες διαιτητικές ίνες (%)	1,82 ^b (±0.17)	14,98 ^a (±0,17)
Διαλυτές διαιτητικές ίνες (%)	0,41 ^a (±0,05)	0.38 ^a (±0,01)
Συνολικές διαιτητικές ίνες (%)	2,23 ^a	15,36 ^b

*Μέσοι όροι με το ίδιο γράμμα στην ίδια σειρά, δεν διαφέρουν σημαντικά σύμφωνα με τον έλεγχο σύγκρισης δειγμάτων (2 sample ttest).

**Η τιμή αναφέρεται στη μετρηση της ενυδατωμένης πυκνότητας στα 15 min

***Στη παράμετρο πυκνότητα ενυδατωμένου αλεύρου δεν αναφέρεται τιμή στη σκόνη κηφήνα διότι ήταν μηδενική η καταβύθιση στα 15 min.



Σχήμα 4. Ενυδατωμένη πυκνότητα αλεύρου. Μέσοι όροι με το ίδιο γράμμα δεν διαφέρουν σημαντικά σύμφωνα με τον έλεγχο πολλαπλών συγκρίσεων μέσων όρων (Tukey test).

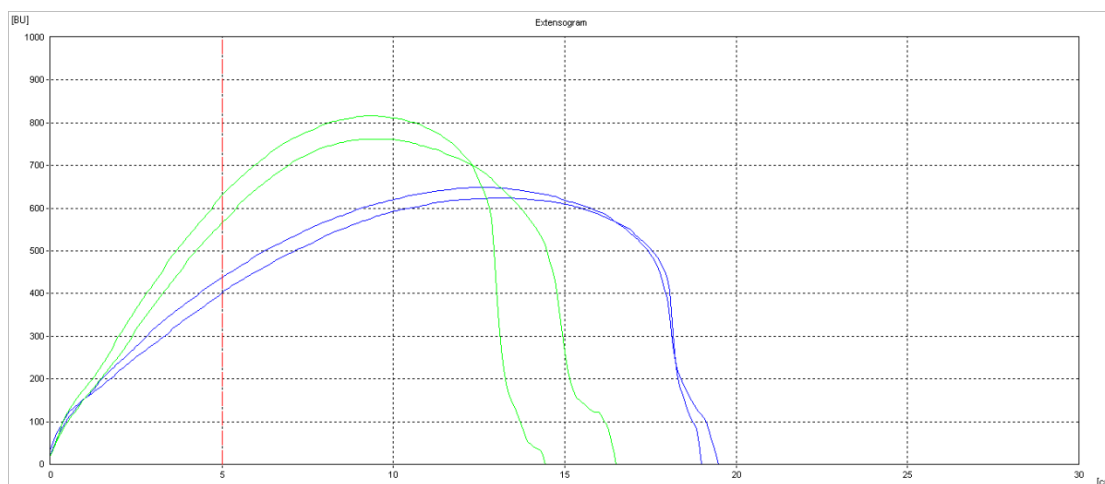
Τα αποτελέσματα των φυσικοχημικών αναλύσεων (Πίνακας 3) κατέδειξαν υψηλότερο ποσοστό υγρασίας στο άλευρο τύπου 70% έναντι της σκόνης κηφήνα. Το ποσοστό λίπους και πρωτεΐνης είναι σημαντικά υψηλότερα στη σκόνη κηφήνα έναντι του αλεύρου τύπου 70%, ειδικά η συγκέντρωση στη πρωτεΐνη αγγίζει το εντυπωσιακό ποσό του 31% έναντι του 11,83% στο άλευρο τύπου 70%. Το ποσοστό τέφρας είναι σαφώς μεγαλύτερο στη σκόνη κηφήνα έναντι του αλεύρου τύπου 70%. Οι ολικές διαιτητικές ίνες βρέθηκαν σε υψηλότερο ποσοστό στη σκόνη κηφήνα, ποσοστό που διαφοροποιήθηκε κυρίως από την ποσοστιαία διαφορά των αδιάλυτων διαιτητικών ινών.

4.2. Αποτελέσματα αναλύσεων ζύμης

4.2.1. Φαρινογραφία/ Εξτενσιογραφία

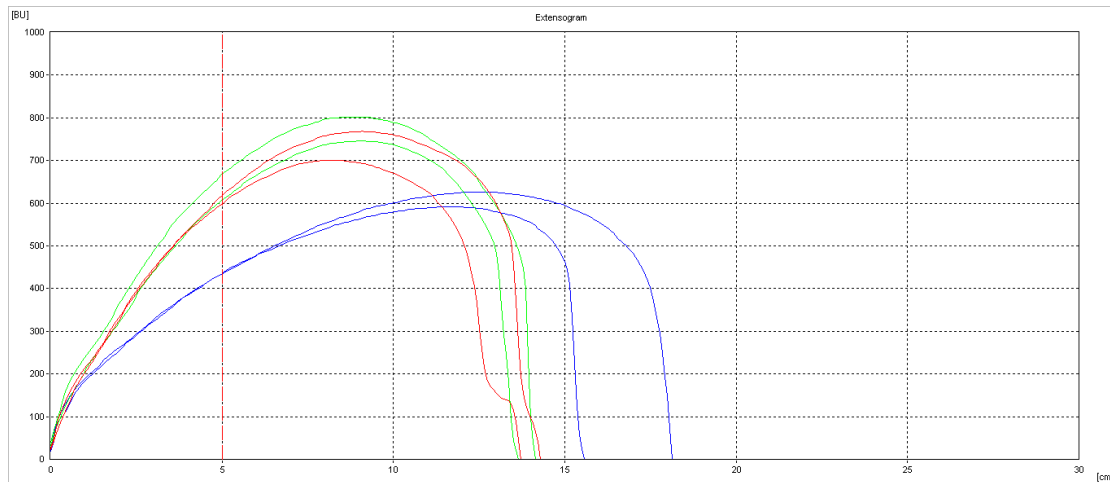
Με την διενέργεια φαρινογραφίας προσδιορίστηκε η παράμετρος της απορρόφησης ένα στοιχείο σημαντικό για την αρτοποιητική ικανότητα και την πορεία της μελέτης της συμπεριφοράς των μιγμάτων κατά την ωρίμανση.

Τα αποτελέσματα της εξτενσιογραφίας παρουσιάζονται σε διάγραμμα όπου ο οριζόντιος άξονας είναι το μήκος του εκτεινόμενου ζυμαριού(mm), και ο κάθετος άξονας είναι η αντίσταση που προβάλλει το ζυμάρι στη δύναμη που το εκτείνει μέχρι να το κόψει στα δύο (μονάδες Brabender, BU, που αναφέρονται και ως εξτενσιογραφικές μονάδες EU). Στα Σχήματα 5, 6 και 7 περιλαμβάνονται τα εξτενσιογραφήματα για όλα τα δείγματα μετά από 45, 90, και 135 λεπτά στο θάλαμο ελεγχόμενης υγρασίας στους 32°C.



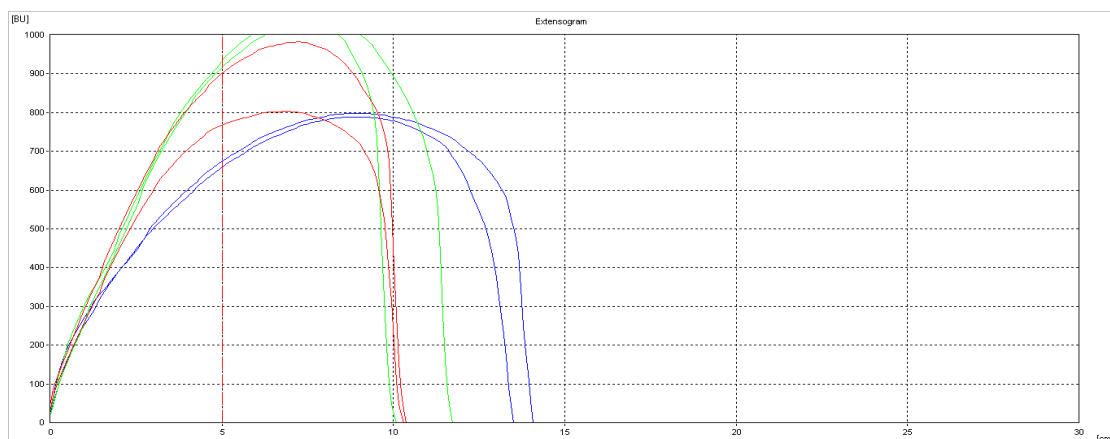
Σχήμα 5. Εξτενσιογράφημα μίγματος με άλευρο τύπου 70% . Με μπλε χρώμα, δίνονται οι καμπύλες που παίρνουμε στα 45 πρώτα λεπτά, με πράσινο, αυτές στα 90 λεπτά.

Παρατηρούμε ότι με την παραμονή της ζύμης (από τα 45 στα 90 λεπτά) η εκτατότητα του μάρτυρα A (καλή αρτοποιητική ικανότητα) μειώνεται ενώ η αντίσταση αυξάνεται.



Σχήμα 6. Εξτενσιογράφημα μίγματος αλεύρου τύπου 70% και σκόνης κηφήνα σε συγκέντρωση 5% . Με μπλε χρώμα, δίνονται οι καμπύλες που παίρνουμε στα 45 πρώτα λεπτά, με πράσινο, αυτές στα 90 λεπτά και με κόκκινο, εκείνες στα 135 λεπτά.

Παρατηρούμε ότι με τη ξεκούραση της ζύμης (από τα 45 στα 90 λεπτά) η εκτατότητα του μίγματος μειώνεται ενώ η αντίσταση αυξάνεται. Αντίθετα, η ξεκούραση της ζύμης (από τα 90 στα 135 λεπτά) φαίνεται πως δεν επηρεάζει την εκτατότητα και την αντίσταση της ζύμης. Μετά από κάθε περίοδο ανάπαυσης, το διάγραμμα γίνεται υψηλότερο υποδεικνύοντας πως το αλεύρι είναι υψηλής ποιότητας με άριστη κατεργασία.



Σχήμα 7. Εξτενσιογράφημα μίγματος αλεύρου τύπου 70% και σκόνης κηφήνα σε συγκέντρωση 10% . Με μπλε χρώμα, δίνονται οι καμπύλες που παίρνουμε στα 45 πρώτα λεπτά, με πράσινο, αυτές στα 90 λεπτά και με κόκκινο, εκείνες στα 135 λεπτά.

Παρατηρούμαι το τρόπο που επηρεάζει η προσθήκη σκόνης κηφήνα την καμπύλη του εξτενσιογραφήματος καθώς με την αύξηση της προσθήκης η καμπύλη στενεύει και ψηλώνει . Παρακάτω στον Πίνακα 4 δίνονται τα αποτελέσματα που προκύπτουν, από την ανάλυση των εξτενσιογραφημάτων για όλα τα δείγματα.

ΠΙΝΑΚΑΣ 4. Εξτενσιογραφικά χαρακτηριστικά των μιγμάτων με άλευρο 70% και σκόνης κηφήνα σε συγκέντρωση 0, 5 και 10%.

Παράμετροι	Απορρόφιση %	45 min			90 min			135 min		
		R _{MAX} (BU)	E (cm ²)	E _x (mm)	R _{MAX} (BU)	E (cm ²)	E _x (mm)	R _{MAX} (BU)	E (cm ²)	E _x (mm)
Control bread drone	61,4	424	158	192	580	153	172	602	147	155
5%	60,4	438	139	169	640	142	139	612	132	140
10%	61,2	670	147	138	931	144	109	838	121	104

Κατά τον προσδιορισμό της απορρόφησης με τη χρήση φαρινογράφου φαίνεται πως η υποκατάσταση αλεύρου τύπου 70% με σκόνη κηφήνα δεν επηρεάζει σημαντικά το ποσοστό απορρόφησης νερού.

Στις τιμές R_{MAX} παρατηρείται αύξηση τόσο με την αύξηση της προσθήκης σκόνης κηφήνα στο αρτοσκεύασμα όσο και με το πέρασμα του χρόνου παρουσιάζοντας κορυφή μετά την ανάπαυση της ζύμης στα 90 λεπτά. Μετά το πέρασ 135 λεπτών οι δύο εμπλουτισμένες ζύμες παρουσιάζουν μείωση της τιμής R_{MAX} γεγονός που οφείλεται στην εξασθένηση του πλέγματος της γλουτένης.

Αντίθετα, παρατηρείται μείωση της εκτατότητας με την αύξηση σκόνης κηφήνα και το πέρασ του χρόνου. Διαφοροποίηση παρουσιάζει το εμπλουτισμένο αρτοσκεύασμα με

10 % σκόνη κηφήνα όπου μετά το πέρας 135 λεπτών παρουσιάζει αύξηση της τιμής εκτατότητας από τη τιμή αυτής στα 90 λεπτά. Αυτό, οφείλεται πιθανότατα στην παρουσία υψηλότερης συγκέντρωσης διαιτητικών ινών και πρωτεϊνών εκτός της γλουτένης που αραιώνουν το πλέγμα γλουτένης της ζύμης συγκριτικά με το άλευρο τύπου 70%(Husseinetal., 2013). Η μεγαλύτερη μείωση, παρατηρείται στο μίγμα με υποκατάσταση του αλεύρου με σκόνη κηφήνα σε ποσοστό 10% και συμπεραίνουμε μεγαλύτερη εξασθένηση του πλέγματος της γλουτένης. Έχει διαπιστωθεί και από άλλους ερευνητές ότι η παρουσία διαιτητικών ινών στις ζύμες, έχει ως αποτέλεσμα μικρότερη εκτατότητα, σε σύγκριση με τον μάρτυρα (Gomez et al., 2003).

Επειδή μειώθηκε η εκτατότητα και αυξήθηκε η αντίσταση παρατηρούμε στην εξτενσιογραφική ανάλυση ότι η ενέργεια επιμήκυνσης της ζύμης μέχρι το κόψιμο αυτής, δεν παρουσιάζει σημαντικές διαφορές ακολουθώντας μικρή προοδευτική μείωση με αύξηση της προσθήκης σκόνης κηφήνα μετά το πέρας 135 λεπτών ξεκούρασης της ζύμης.

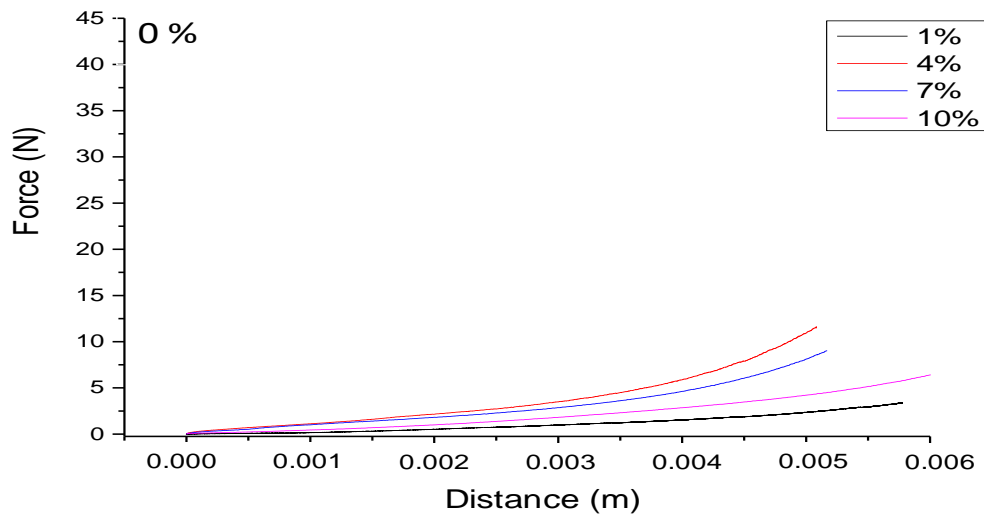
Ο συνδυασμός των φυσικών ιδιοτήτων των ζυμαριών, δηλαδή της ενέργειας, της εκτατότητας και του μεγίστου και η συνέπεια του κάθε συνδυασμού στην ποιότητα του παραγόμενου αρτοσκευάσματος δίνοντας μετά το ψήσιμο προϊόντα ελαφρά αφράτα με καλό όγκο. Βέβαια πρέπει να επισημάνουμε ότι όσο αυξάνει η αντοχή στην έκταση και μειώνεται η εκτατότητα, επηρεάζεται η ελαστικότητα της ζύμης και αναμένεται το τελικό προϊόν να μην έχει πλήρη διόγκωση.

4.2.2. Ανάλυση πειραμάτων λιπαινόμενης συμπίεστης ροής

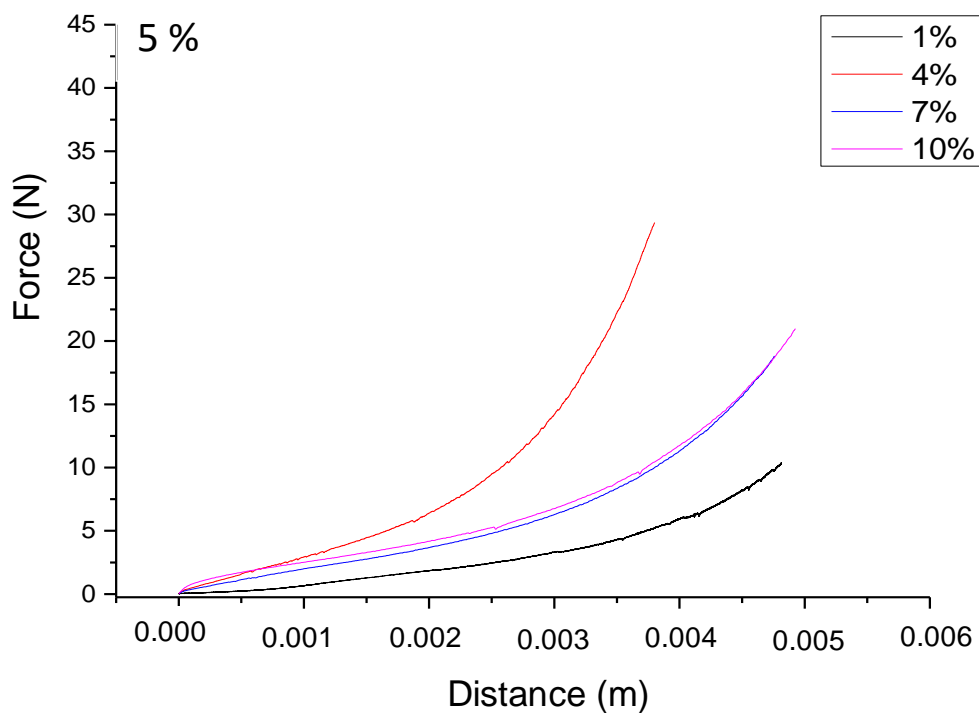
Οι ρεολογικές ιδιότητες της ζύμης επηρεάζουν την ποιότητα ψισίματος του αρτοσκευάσματος. Η κατανόηση της ρεολογικής συμπεριφοράς της ζύμης είναι σημαντική για τον προσδιορισμό των μηχανικών ιδιοτήτων της ζύμης και τον έλεγχο του τελικού αρτοσκευάσματος.

Η ζύμη παρουσιάζει ιξωδοελαστικότητα και έχει χαρακτηριστεί σαν το πιο σύνθετο, όσον αφορά τη ρεολογική συμπεριφορά υλικού. Παρακάτω αναλύονται οι καμπύλες αναφοράς που πάρθηκαν κατά την διενέργεια του πειράματος λιπαινόμενης

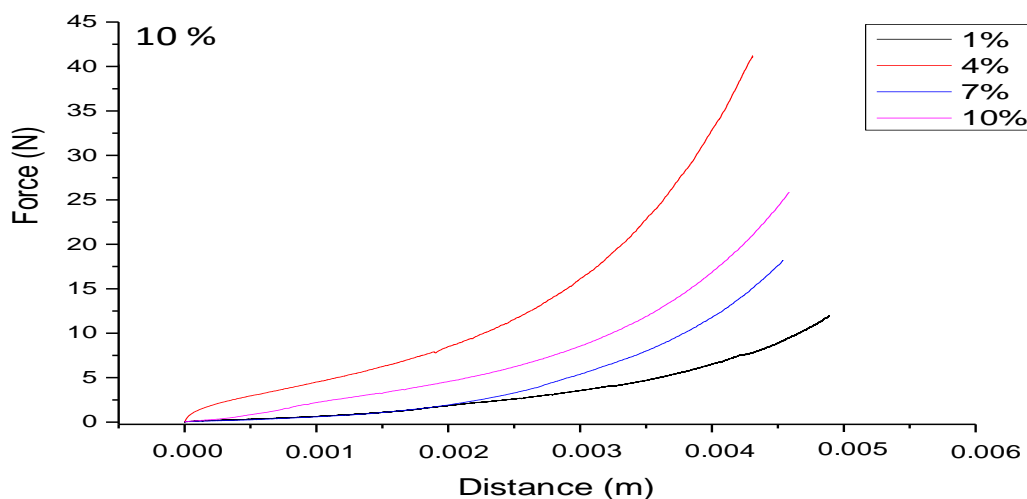
συμπιεστής ροής με τιμές σταθερού ρυθμού παραμόρφωσης 1%, 4%, 7%, 10% σε δείγμα ζύμης που παρασκευάστηκε με αλεύρο τύπου 70% και δείγματα ζύμης που πραγματοποιήθηκε υποκατάσταση του αλεύρου με σκόνη κηφήνα σε ποσοστό 5% και 10%.



Σχήμα 8. Καμπύλες δύναμης -απόστασης ζυμών χωρίς την προσθήκη σκόνης κηφήνα (0%) σε συνθήκες λιπαινόμενης συμπιεστής ροής με τιμές σταθερού ρυθμού παραμόρφωσης 1%, 4%, 7 % & 10%



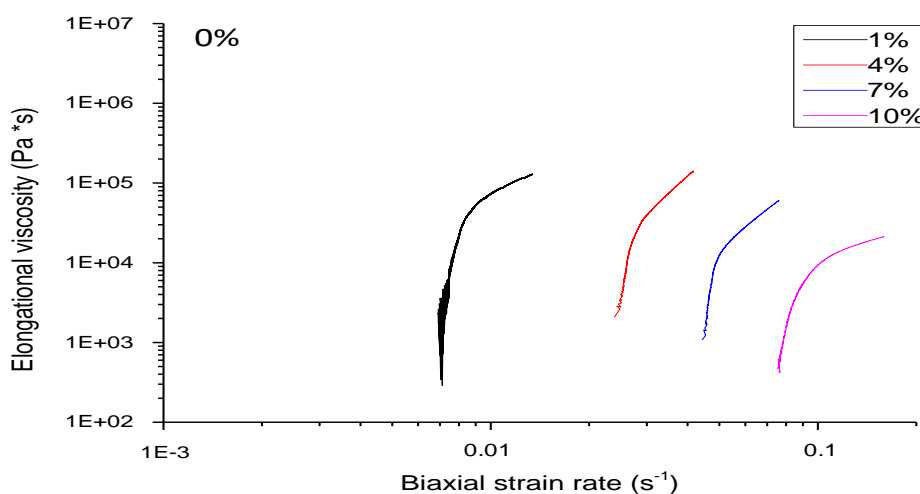
Σχήμα 9. Καμπύλες δύναμης -απόστασης ζυμών με τη προσθήκη σκόνης κηφήνα (5%) σε συνθήκες λιπαινόμενης συμπίεστης ροής με τιμές σταθερού ρυθμού παραμόρφωσης 1%, 4%, 7 % & 10%



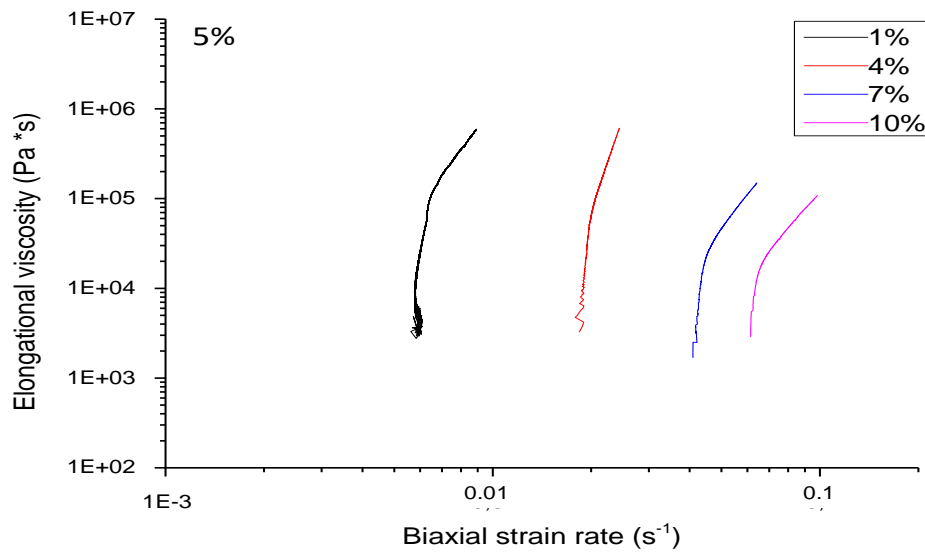
Σχήμα 10. Καμπύλες δύναμης -απόστασης ζυμών με τη προσθήκη σκόνης κηφήνα (10%) σε συνθήκες λιπαινόμενης συμπίεστης ροής με τιμές σταθερού ρυθμού παραμόρφωσης 1%, 4%, 7 % & 10%

Παρατηρούμε πως η αύξηση της προσθήκης σκόνης κηφήνα προκαλεί άνοιγμα της «βεντάλιας» στο διάγραμμα, δηλαδή προοδευτικά χρειάζεται μεγαλύτερη απόκριση δύναμης για παραμόρφωση της ζύμης. Στο σχήμα 9 παρατηρούμε πως παρουσιάζονται ταυτόσημες καμπύλες σε ρυθμό παραμόρφωσης 7% και 10%. Οι εμπλουτισμένες ζύμες παρουσιάζουν καμπύλες μικρότερης δύναμης σε παραμόρφωση πάνω από 4% πιθανόν λόγω εξασθένησης του πλέγματος γλουτένης.

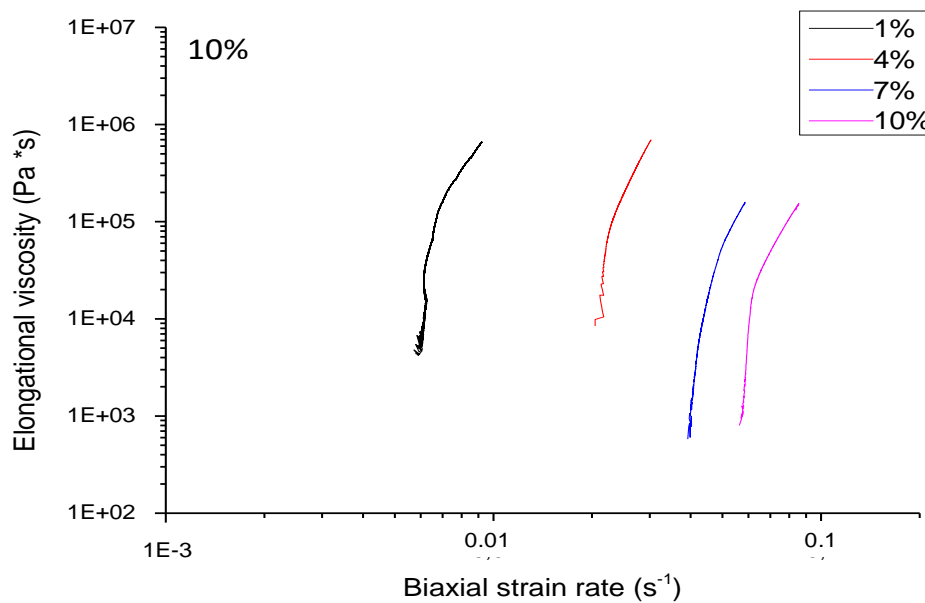
Στα Σχήματα 11, 12, 13 παρουσιάζονται οι τιμές του εκτατού ιξώδους συναρτήσει διαφορετικών ρυθμών παραμόρφωσης.



Σχήμα 11. Καμπύλες ροής εκτατού ιξώδους ζυμών χωρίς τη προσθήκη σκόνης κηφήνα (0%) ως συνάρτηση διαφορετικών ρυθμών παραμορφώσεων 1%, 4%, 7 % & 10%



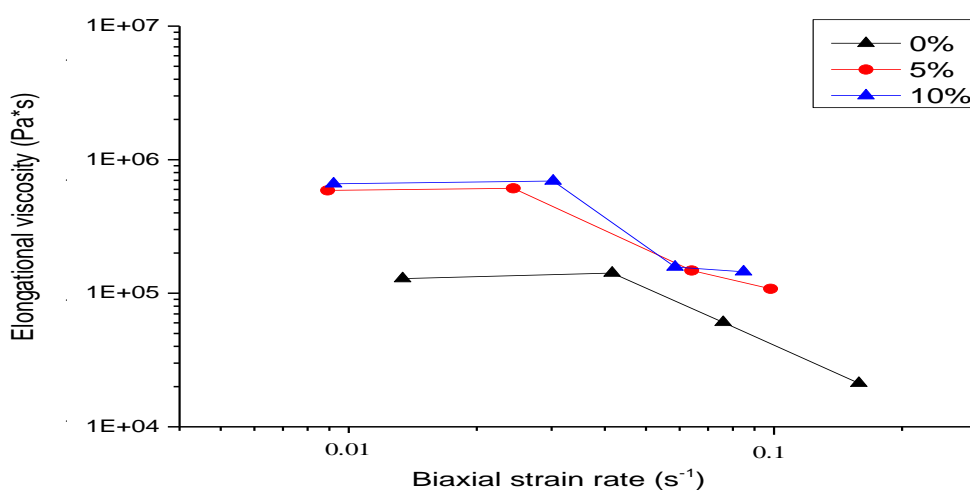
Σχήμα 12 Καμπύλες ροής εκτατού ιξώδους ζυμών με τη προσθήκη σκόνης κηφήνα (5%) ως συνάρτηση διαφορετικών ρυθμών παραμορφώσεων (1%, 4%, 7 % & 10%)



Σχήμα 13. Καμπύλες ροής εκτατού ιξώδους ζυμών με τη προσθήκη σκόνης κηφήνα (10%) ως συνάρτηση διαφορετικών ρυθμών παραμορφώσεων (1%, 4%, 7 % & 10%)

Όπως γίνεται φανερό η υποκατάσταση αλεύρου τύπου 70% με σκόνη κηφήνα σε ποσοστό 5% και 10% οδήγησε σε βαθμιαία αύξηση του εκτατού ιξώδους. Επίσης,

παρατηρείτε ότι τα εμπλουτισμένα δείγματα που περιέχουν διαφορετικό ποσοστό πρωτεΐνης κηφήνα εμφανίζουν ταυτόσημες καμπύλες ροής δηλαδή το ποσοστό πρωτεΐνης κηφήνα δεν επηρεάζει τη ρεολογική συμπεριφορά των δειγμάτων. Ως γνωστό, το εκτατό ιξώδες αποτελεί παράμετρο διεργασίας και όχι ιδιότητα του υλικού. Η φυσική του σημασία έγκειται στη διερεύνηση της ροής του υλικού όπου τα μόρια που το αποτελούν ρέουν ελεύθερα απαλλαγμένα από την επίδραση της τριβής που επηρεάζει το διατμητικό ιξώδες. Οπότε ο προσδιορισμός του εκτατού ιξώδους δίνει σημαντικές πληροφορίες κρίσιμες για τον σχεδιασμό αγωγών μεταφοράς και ακροφυσίων που χρησιμοποιούνται στην παραγωγική διαδικασία.



Σχήμα 14. Καμπύλες ροής εκτατού ιξώδους ζυμών ως συνάρτηση του ρυθμού διαξονικής παραμόρφωσης (1%, 4%, 7 % & 10%)

Όταν αποτυπώνεται το εκτατό ιξώδες σε συνάρτηση με τη διαξονική ροή γίνεται σαφές ότι η προσθήκη της πρωτεΐνης κηφήνα αυξάνει κατά πολύ το ιξώδες του δείγματος σχεδόν κατά μία τάξη μεγέθους. Οι καμπύλες ροής των εμπλουτισμένων δειγμάτων που περιέχουν πρωτεΐνη κηφήνα διαφοροποιούνται από το μάρτυρα και ανεξαρτήτου του ποσοστού προσθήκης έχουν το ίδιο αποτύπωμα, γεγονός πως αποδεικνύει πως το βασικό συστατικό που επηρεάζει το ιξώδες είναι η πρωτεΐνη και η προέλευση αυτής όπως άλλωστε αναμενόταν. Αυτή η θεαματική αύξηση μπορεί πιθανώς να εξηγηθεί εάν θεωρηθεί ότι τα μόρια της πρωτεΐνης κηφήνα επιδεικνύουν

πολύ μεγαλύτερο υδροδυναμικό όγκο από ότι τα μόρια της γλουτένης που αποτελεί την αιτία της αύξησης του ιξώδους και πιθανότατα να σχετίζεται με την ικανότητα δέσμευσης διαθέσιμων μορίων νερού από τα μόρια της πρωτεΐνης κηφήνα. Γεγονός που προκάλεσε την αύξηση του υδροδυναμικού του όγκου. Η αύξηση του υδροδυναμικού όγκου έγινε φανερή και στο πείραμα της διόγκωσης αλεύρου όπου η σκόνη κηφήνα παρουσιάζει σχεδόν διπλάσια τιμή απορρόφησης νερού από το αλεύρι τύπου 70% (Πίνακας 3). Το γιατί δεν αυξάνει περαιτέρω το ιξώδες με την παρουσία επιπλέον μορίων πρωτεΐνης κηφήνα πιθανόν να σχετίζεται με την έλλειψη περισσότερων διαθέσιμων μορίων νερού που θα προκαλούσε αύξηση των μορίων πρωτεΐνης με αυξημένο υδροδυναμικό όγκο. Έτσι το χαμηλότερο ποσοστό πρωτεϊνών κηφήνα να είναι οριακό και η επιπλέον προσθήκη πρωτεΐνης κηφήνα να μη έχει τη δυνατότητα αύξησης του ιξώδους του δείγματος λόγω της απουσίας άλλων διαθέσιμων μορίων νερού. Η πιθανότητα αυτή θα πρέπει να διερευνηθεί με τον μελλοντικό σχεδιασμό καταλλήλων πειραμάτων που θα ρίξουν φως στο τι ακριβώς συμβαίνει. Ένδειξη όμως της διόγκωσης των μορίων με νερό αποτελεί και το γεγονός της εμφάνισης της ψευδοπλαστικότητας στο σύνολο των δειγμάτων που δείχνει ότι τα μεγαλομόρια (πρωτεΐνες) είναι σε θέση να συμπιεστούν σε υψηλούς ρυθμούς ροής και αυτό δείχνει ότι η δομή τους δεν είναι απολύτως συμπαγής αλλά λόγω της παρουσίας των μορίων νερού στο περιβάλλον τους λειτουργούν όπως ένα σφουγγάρι γεμάτο με νερό που είναι σε θέση να συμπιεστεί.

4.3. Αποτελέσματα αναλύσεων αρτοσκευασμάτων

4.3.1. Ανάλυση βάρους, όγκου και ειδικού όγκου αρτοσκευασμάτων

Ο όγκος του αρτοσκευάσματος είναι σημαντικότερο τεχνολογικό χαρακτηριστικό του, διότι επηρεάζει τόσο την εμφάνιση όσο και την οργανοληπτική αποδοχή του. Το βάρος, ο όγκος και ο ειδικός όγκος όλων των αρτοσκευασμάτων που παρασκευάστηκαν παρουσιάζεται στο ΠΙΝΑΚΑ 5.

ΠΙΝΑΚΑΣ 5. Βάρος, όγκος και ειδικός όγκος αρτοσκευασμάτων

Αρτοσκευάσματα	Βάρος (g)*	Όγκος (mL)*	Ειδικός όγκος (mL/g)*
0%	135.30 ^a	406.7 ^a	3.008 ^a
5%	135.53 ^a	390.0 ^a	2.921 ^a
10%	135.90 ^a	386.7 ^a	2.848 ^a

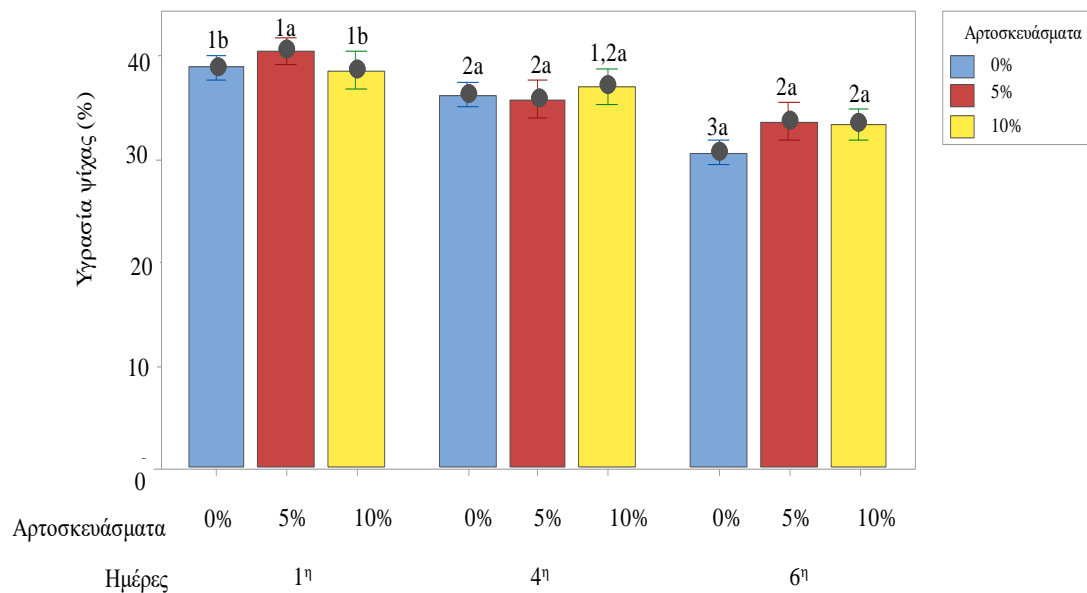
Μέσοι όροι των αρτοσκευασμάτων για κάθε αρτοποιήση με το ίδιο γράμμα στην ίδια στήλη, δεν διαφέρουν σύμφωνα με τον έλεγχο πολλαπλών συγκρίσεων μέσων όρων (Tukey test).

Παρατηρούμε πως υπάρχει μια προοδευτική μείωση του όγκου και του ειδικού όγκου όσο αυξάνεται το ποσοστό προσθήκης σκόνης κηφήνα χωρίς ωστόσο αυτή η μείωση να αποτυπώνεται στατιστικά όπως βλέπουμε και στον πίνακα 5. Η μείωση του όγκου των αρτοσκευασμάτων ενδεχομένως οφείλεται στην αύξηση της αντοχής και στη μείωση της εκτατότητας όπως είδαμε στα εξτενσιογραφικά χαρακτηριστικά (Πίνακας 2). Η διαφοροποίηση των παραμέτρων στις ζύμες οδήγησε σε τελικά προϊόντα μικρότερου όγκου όπως φαίνεται στον Πίνακα 5.

4.3.2. Ανάλυση υγρασίας αρτοσκευασμάτων

4.3.2.1. Ανάλυση υγρασίας ψίχας

Η ανάλυση της διακύμανσης υπέδειξε ύπαρξη στατιστικά σημαντικών διαφορών υγρασίας στα αρτοσκευάσματα όπως απεικονίζεται παρακάτω στο Σχήμα 15.

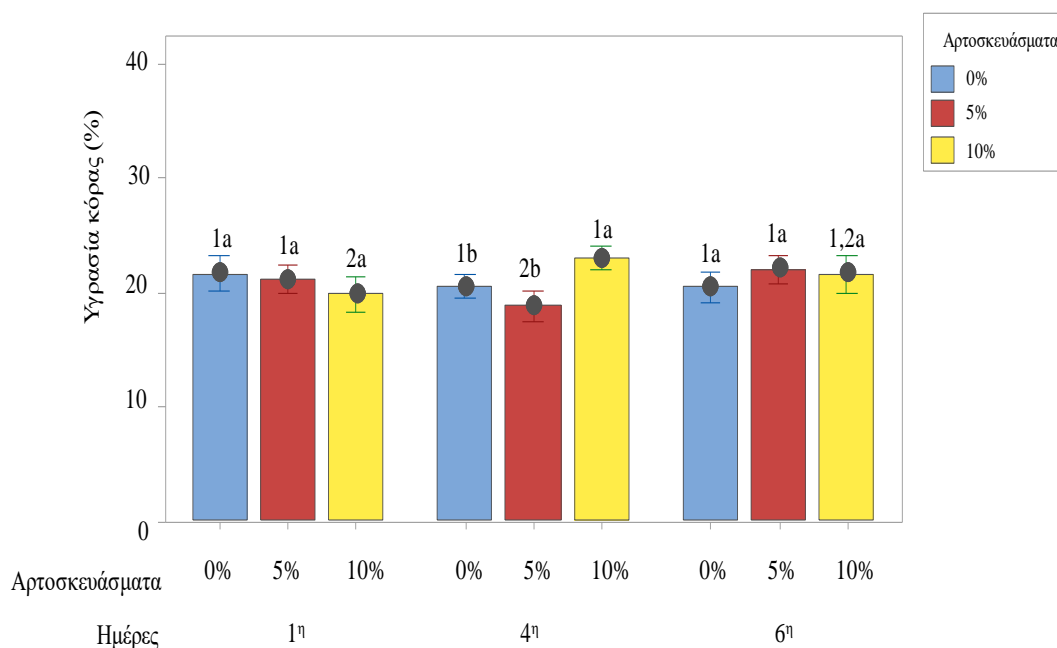


Σχήμα 15. Περιεκτικότητα σε υγρασία της ψίχας των αρτοσκευασμάτων που αποθηκευτήκαν για 1, 4 & 6 ημέρες στους 4 °C. Διαφορετικά γράμματα εντός της ομάδας της ίδιας ημέρας ή αριθμοί για την ίδια συνταγή (σε διαφορετικές ημέρες) υποδεικνύουν στατιστικά σημαντικές διαφορές ($p < 0.05$) μεταξύ των μέσων όρων, όπως καθορίζεται από τον έλεγχο πολλαπλών συγκρίσεων (Tukey test).

Συγκεκριμένα, τα αποτελέσματα των μετρήσεων κατέδειξαν υψηλή υγρασία σε όλα τα αρτοσκευάσματα αναμενόμενο λόγω της φρεσκότητας. Επίσης, παρατηρούμαι βαθμιαία μείωση της υγρασίας σε όλα τα αρτοσκευάσματα με το πέρασ των ημερών. Το αρτοσκεύασμα με άλευρο τύπου 70% παρουσιάζει σημαντική στατιστική μείωση της υγρασίας στη ψίχα με κατώτερη τιμή αυτή της 6^{ης} ημέρας. Τα εμπλουτισμένα αρτοσκευάσματα την 4^η ημέρα παρουσιάζουν μείωση της περιεκτικότητας υγρασίας που έγινε αντιληπτή πειραματικά με την αύξηση της ευθρυπτότητας, συγκριτικά με την 1^η ημέρα ωστόσο την 4^η και 6^η ημέρα δεν υπάρχουν στατιστικά σημαντικές διαφορές. Τα δύο εμπλουτισμένα αρτοσκευάσματα κράτησαν υψηλά ποσοστά υγρασίας περίπου 38-40%. Εν τούτοις, η προσθήκη σκόνης κηφίνα φαίνεται πως επηρεάζει το ρυθμό απώλειας υγρασίας στη ψίχα του αρτοσκευάσματος κρατώντας την υγρασία σε υψηλά ποσοστά, όπως άλλωστε είναι το επιθυμητό.

4.3.2.2. Ανάλυση υγρασίας κόρας

Η ανάλυση της διακύμανσης υπέδειξε αλληλεπίδραση των αρτοσκευασμάτων με διαφορετικά ποσοστά σκόνης κηφήνα και του χρόνου αποθήκευσης.

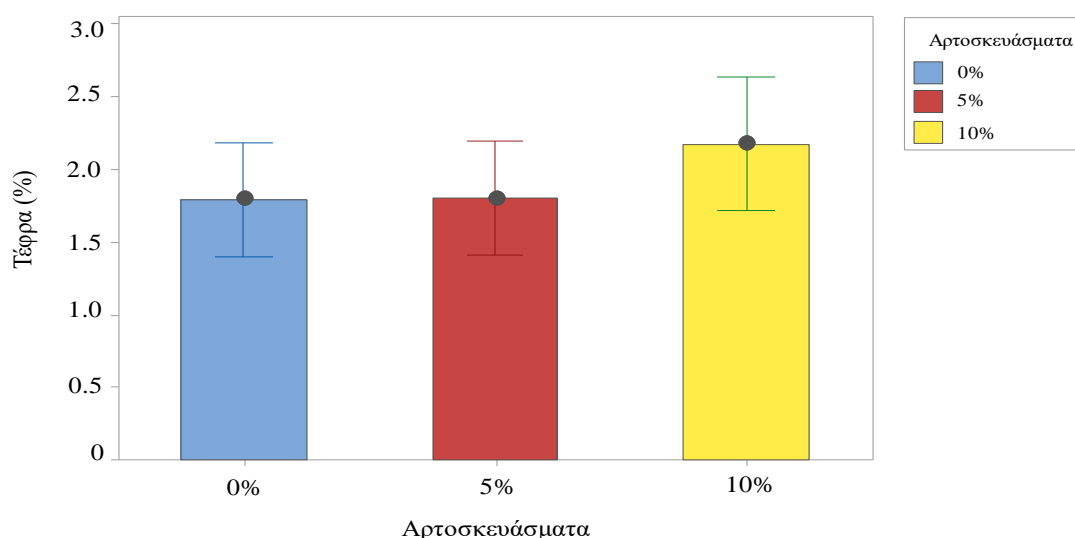


Σχήμα 16. Περιεκτικότητα σε υγρασία της κόρας των αρτοσκευασμάτων που αποθηκευτήκαν για 1, 4 & 6 ημέρες στους 4 °C. Διαφορετικά γράμματα εντός της ομάδας της ίδιας ημέρας ή αριθμοί για την ίδια συνταγή (σε διαφορετικές ημέρες) υποδεικνύουν στατιστικά σημαντικές διαφορές ($p < 0.05$) μεταξύ των μέσων όρων, όπως καθορίζεται από τον έλεγχο πολλαπλών συγκρίσεων (Tukey test).

Παρατηρούμε πως στα 3 δείγματα δεν υπάρχουν στατιστικά σημαντικές διαφορές στην περιεκτικότητα υγρασίας της κόρας. Όπως γνωρίζουμε στη διάρκεια της αποθήκευσης υπάρχει η τάση μετανάστευσης υγρασίας από τη ψίχα στη κόρα. Αυτή τη τάσης αύξησης υγρασίας της κόρας είναι στατιστικά σημαντική και εμφανής μόνο για το αρτοσκεύασμα με 10% σκόνη κηφήνα στη διάρκεια της αποθήκευσης. Τα ποσοστά υγρασίας στην κόρα των δειγμάτων με προσθήκη κηφήνα 0%, 5% και 10% είναι χαμηλά και στα ίδια επίπεδα μεταξύ τους ($\approx 20\%$).

4.3.3. Ανάλυση τέφρας στη ψίχα των αρτοσκευασμάτων

Η ανάλυση της διακύμανσης υπέδειξε διαφοροποίηση της περιεκτικότητας τέφρας και του ποσοστού προσθήκης σκόνης κηφήνα στα εμπλουτισμένα αρτοσκευάσματα.



Σχήμα 17. Τέφρα ψίχας αρτοσκευασμάτων.

Συγκεκριμένα, η ανάλυση της διακύμανσης υπέδειξε πως με υποκατάσταση μέρους του αλεύρου τύπου 70% με σκόνη κηφήνα σε ποσοστό 5% δεν επηρεάζει την περιεκτικότητα σε τέφρα καθώς προσδιορίστηκε 1,79% στη ψίχα αρτοσκευάσματος με άλευρο τύπου 70% και 1,80% στη ψίχα αρτοσκευάσματος με προσθήκη σκόνης κηφήνα 5%. Αντίθετα, με επιπλέον υποκατάσταση του αλεύρου τύπου 70% με σκόνη κηφήνα σε συγκέντρωση 10% παρουσιάζεται αύξηση της περιεκτικότητας της τέφρας σε 2,17% στη ψίχα του αρτοσκευάσματος γεγονός που αναμένονταν λόγω της διαφοράς στην περιεκτικότητα της τέφρας μεταξύ των α' υλών.

4.3.4. Ανάλυση ολικών διαιτητικών ινών στη ψίχα των αρτοσκευασμάτων

Όπως γίνεται φανερό στον Πίνακα 6., η αύξηση της προσθήκης σκόνης κηφήνα προκαλεί αύξηση των συνολικών διαιτητικών ινών στα αρτοσκευάσματα γεγονός που

οφείλεται στην αύξηση της α' ύλης κηφήνα. Αξίζει να σημειωθεί πως παρότι στη σκόνη κηφήνα έναντι του αλεύρου τύπου 70% παρατηρήθηκε μεγάλη διαφοροποίηση των ολικών διαιτητικών ινών (ΟΔΙ)(15,36% έναντι 2,23% στο άλευρο τύπου 70%) η διαφορά αυτή δεν συνεχίζει να υφίσταται στο αρτοσκεύασμα με άλευρο τύπου 70% και στα αρτοσκευάσματα με υποκατάσταση μέρους του αλεύρου. Η διαφορά αυτή των διαιτητικών ινών στα αρτοσκευάσματα επηρεάζεται λόγω του μικρού ποσοστού ενσωμάτωσης σκόνη κηφήνα. Συγκεκριμένα, το ποσοστό των ΟΔΙ συγκριτικά με τον μάρτυρα είναι αυξημένο κατά 52% στο αρτοσκεύασμα με 5% προσθήκη σκόνης κηφήνα και 113% στο αρτοσκεύασμα με 10% σκόνη κηφήνα. Σημαντική είναι διαφορά μεταξύ των δύο εμπλουτισμένων αρτοσκευασμάτων καθώς στο αρτοσκεύασμα με 10% σκόνη κηφήνα το ποσοστό των ΟΔΙ βρέθηκε 61% αυξημένο έναντι του δεύτερου εμπλουτισμένου αρτοσκευάσματος. Επιπρόσθετα, είναι άξιο προσοχής πως παρατηρείται αύξησης της αναλογίας των διαλυτών προς αδιάλυτων διαιτητικών ινών(0,28%) συγκριτικά με την α' ύλη(0,22%). Ομοίως και άλλοι ερευνητές ανέφεραν πως κατά τη διαδικασία της αρτοποιήσης υφίσταται μερική μετατροπή των αδιάλυτων διαιτητικών ινών προς διαλυτές. Αυτό υποδηλώνει πως η διαδικασία της αρτοποιήσης, ειδικότερα το ψήσιμο αυξάνει τη διαλυτότητα των διαιτητικών ινών (Mihhalevski et al.,2013, Koletta et al.,2014,).

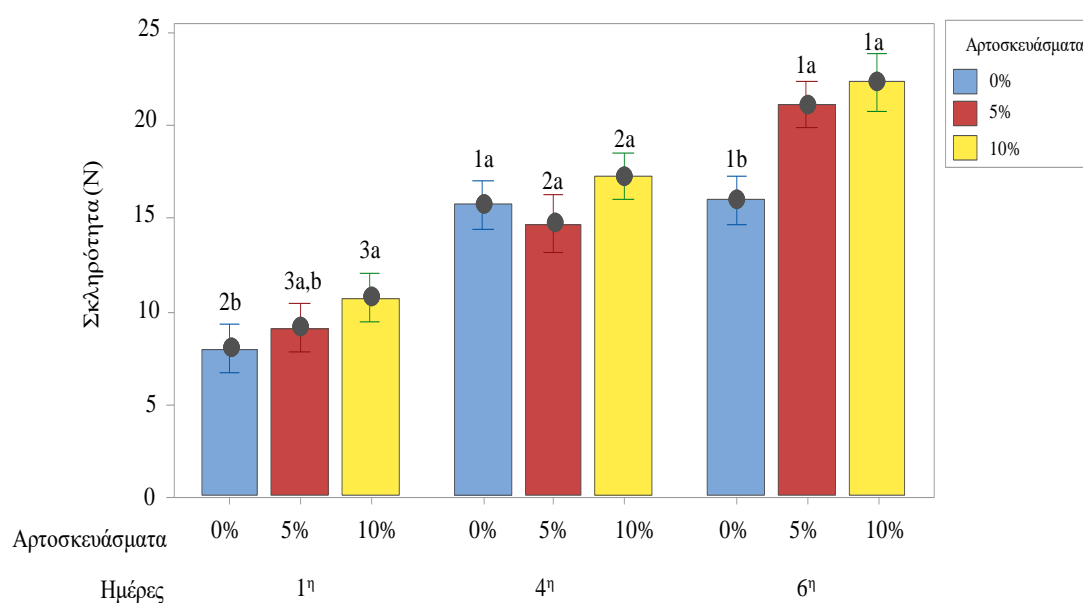
ΠΙΝΑΚΑΣ 6. Αδιάλυτες, διαλυτές και συνολικές διαιτητικές ίνες αρτοσκευασμάτων (% επί ξηρού)

Αρτοσκευάσματα	Αδιάλυτες διαιτητικές ίνες (%)	Διαλυτές διαιτητικές ίνες (%)	Συνολικές διαιτητικές ίνες (%)
0%	3.26 ^c (±0.05)	0.93 ^a (±0.03)	4.19
5%	3.86 ^b (±0.07)	0.86 ^a (±0.03)	4.71
10%	4.44 ^a (±0.14)	0.88 ^a (±0.04)	5.32

*Μέσοι όροι με το ίδιο γράμμα στην ίδια στήλη δεν διαφέρουν σημαντικά σύμφωνα με τον έλεγχο πολλαπλών συγκρίσεων μέσων όρων (Tukey test)

4.3.5.Ανάλυση υφής δείγματος (TPA)

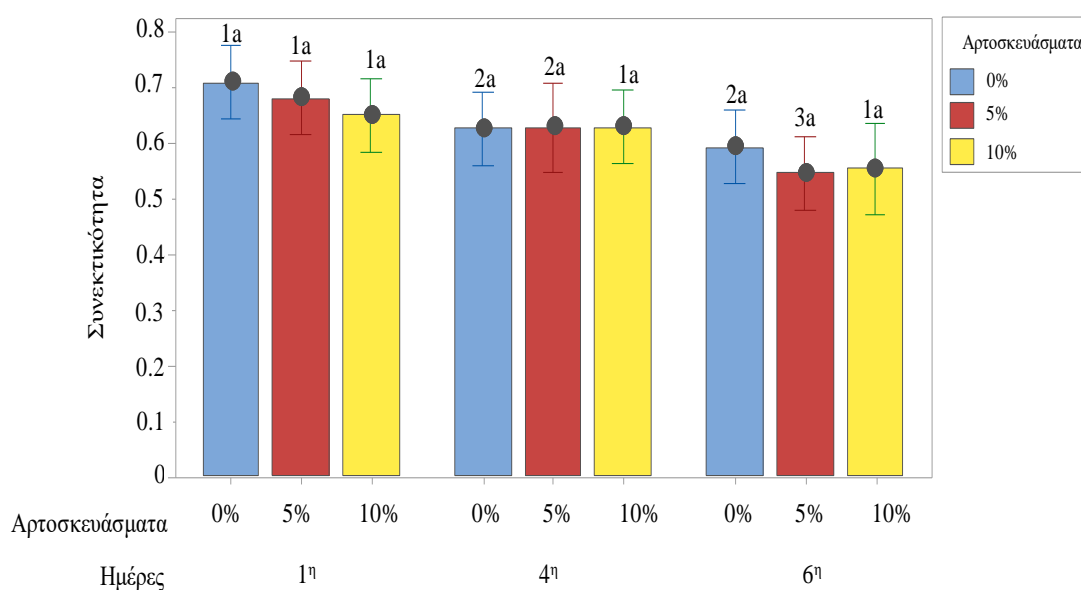
Η σκληρότητα των ψωμιών εκτιμήθηκε με δοκιμές συμπίεσης σε συνθήκες μεγάλων παραμορφώσεων με αναλυτή υφής (texture analyser). Μετρήθηκε η δύναμη που απαιτείται για την συμπίεση ψίχας συγκεκριμένης γεωμετρίας έως 40% παραμόρφωση μέσω της κίνησης ενός εμβόλου. Τα αποτελέσματα των μηχανικών πειραμάτων για το αρτοσκεύασμα με άλευρο τύπου 70% και αρτοσκεύασμα με προσθήκη σκόνης κηφήνα σε συγκέντρωση 5% και 10% την 1η, 4η και 6η μέρα παλαίωσης παρουσιάζονται στο Σχήμα 18. Η δύναμη παραμόρφωσης(έως 40%) που υφίσταται κατά τη συμπίεση το δείγμα από το έμβολο χρησιμοποιήθηκε για να υπολογίσουμε την τιμή της σκληρότητας του ψωμιού. Η σκληρότητα, αποτελεί μέτρο φρεσκότητας και ποιότητας.



Σχήμα 18. Σκληρότητα αρτοσκευασμάτων που αποθηκευτήκαν για 1, 4 & 6 ημέρες στους 4 °C. Διαφορετικά γράμματα εντός της ομάδας της ίδιας ημέρας ή αριθμοί για την ίδια συνταγή (σε διαφορετικές ημέρες) υποδεικνύουν στατιστικά σημαντικές διαφορές ($p < 0.05$) μεταξύ των μέσων όρων, όπως καθορίζεται από τον έλεγχο πολλαπλών συγκρίσεων (Tukey test).

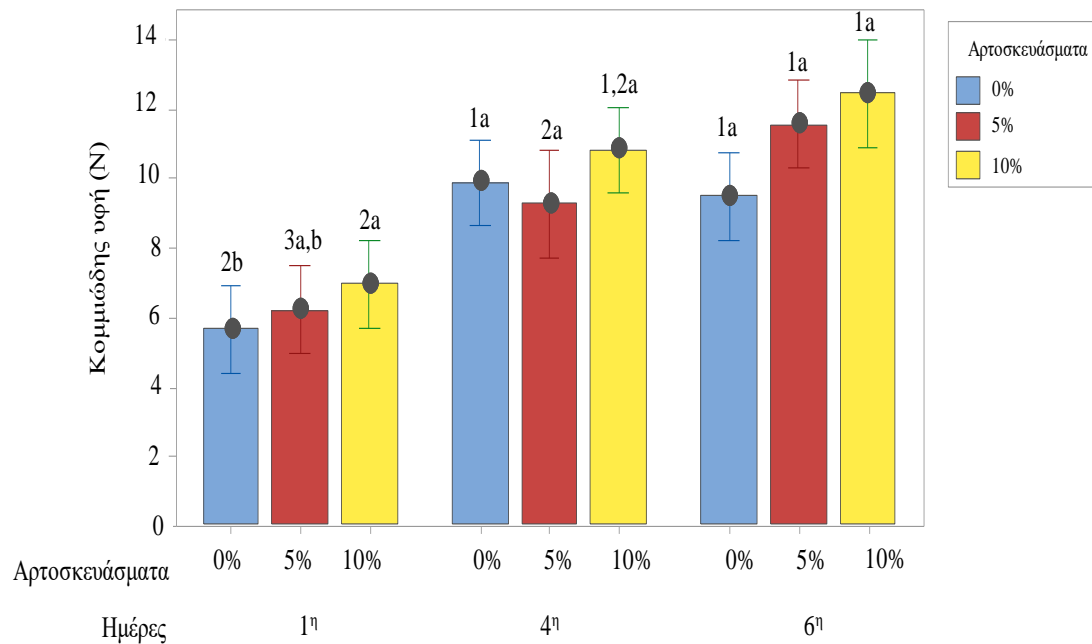
Παρατηρήθηκε προοδευτική αύξηση της σκληρότητας στα δείγματα, ανεξάρτητα του ποσοστού προσθήκης σκόνης κηφήνα που οφείλεται στην παλαίωση των αρτοσκευασμάτων ενώ δεν υπάρχουν σημαντικές στατιστικές διαφορές μεταξύ των δειγμάτων κηφήνα στις ημέρες. Την 1^η ημέρα το αρτοσκεύασμα με 10% σκόνη κηφήνα

είναι πιο σκληρό συγκριτικά με τα άλλα δύο αρτοσκευάσματα . Το αρτοσκεύασμα με 0% σκόνη κηφήνα είναι λιγότερο σκληρό την 1^η ημέρα καθώς έχει μικρότερο ποσοστό υγρασίας. Την 6^η ημέρα κατάφερε να κρατήσει τη σκληρότητα στο επίπεδο της 4^{ης} ημέρας. Την 6^η ημέρα στα εμπλουτισμένα αρτοσκευάσματα παρατηρήθηκαν



Σχήμα 19. Συνεκτικότητα αρτοσκευασμάτων που αποθηκεύτηκαν για 1, 4 & 6 ημέρες στους 4 °C. Διαφορετικά γράμματα εντός της ομάδας της ίδιας ημέρας ή αριθμοί για την ίδια συνταγή (σε διαφορετικές ημέρες) υποδεικνύουν στατιστικά σημαντικές διαφορές ($p < 0.05$) μεταξύ των μέσων όρων, όπως καθορίζεται από τον έλεγχο πολλαπλών συγκρίσεων (Tukey test).

Παρατηρώντας το Σχήμα 19 διαπιστώνουμε μη στατιστικά σημαντική διαφορά στις τιμές της συνεκτικότητας μεταξύ των αρτοσκευασμάτων της ίδιας ημέρας. Υπάρχει όμως προοδευτική μείωση της συνεκτικότητας με το αρτοσκεύασμα με 5% σκόνη κηφήνα να παρουσιάζει την μεγαλύτερη απώλεια συνεκτικότητας γεγονός που έγινε αντιληπτό κατά τη διάρκεια της δειγματοληψίας. Στο αρτοσκεύασμα με 10% σκόνη κηφήνα φαίνεται να μην υπάρχει σημαντική μείωση καθώς η συνεκτικότητα την 4^η και 6^η ημέρα παραμένει στα ίδια επίπεδα με την 1^η ημέρα.



Σχήμα 20. Κοιμιώδης υφή αρτοσκευασμάτων που αποθηκευτήκαν για 1, 4 & 6 ημέρες στους 4 °C. Διαφορετικά γράμματα εντός της ομάδας της ίδιας ημέρας ή αριθμοί για την ίδια συνταγή (σε διαφορετικές ημέρες) υποδεικνύουν στατιστικές σημαντικές διαφορές ($p < 0.05$) μεταξύ των μέσων όρων, όπως καθορίζεται από τον έλεγχο πολλαπλών συγκρίσεων (Tukey test).

Η κοιμιώδης των αρτοσκευασμάτων επηρεάστηκε σημαντικά από την αλληλεπίδραση των αρτοσκευασμάτων με διαφορετικά ποσοστά σκόνης κηφήνα και του χρόνου αποθήκευσης ($p < 0.05$). Τα αποτελέσματα που ελήφθησαν από την ανάλυση της κοιμιώδους υφής των δειγμάτων εμφάνισαν παρόμοια τάση με την ανάλυση της σκληρότητας.

4.3.6. Διαφορική θερμιδομετρία σάρωσης (DSC)

Η παλαίωση είναι ένα σύνθετο φαινόμενο, επηρεάζει σημαντικά την διάρκεια ζωής του ψωμιού και είναι γενικά αποδεκτό ότι ένας από τους κύριους λόγους μπαγιατέματος είναι η αναδιάταξη της αμυλοπηκτικής, και, σε μικρότερο βαθμό, της αμυλόζης στο άμυλο. Η θερμιδομετρία σάρωσης (DSC), μας προσφέρει τη δυνατότητα παρακολούθησης της πορείας αναδιάταξης του αμύλου και του υπολογισμού των αντίστοιχων θερμοδυναμικών παραμέτρων: ενθαλπία τήξης και θερμοκρασία της θερμικής μεταβολής από το αντίστοιχο θερμόγραμμα.

Τα θερμογράμματα για τα δείγματα αρτοσκευασμάτων με άλευρο τύπου 70% και υποκατάστασης του αλεύρου με σκόνη κηφήνα σε ποσοστό 5% και 10% παρουσίασαν ευρείες ενδόθερμες κορυφές στην περιοχή θερμοκρασιών μεταξύ 64,2-67,5 °C. Από το εμβαδόν των κορυφών υπολογίστηκε η συνολική μεταβολή της ενθαλπίας (ΔH), ενώ ως θερμοκρασία όπου συμβαίνει η αναδιάταξη της αμυλοπηκτικής αποτυπώθηκε το μέγιστο της κορυφής. Η μεταβολή της ενθαλπίας (ΔH), εκφράζεται ως J/g ξηρού ψωμιού με ολοκλήρωση των θερμογραμμάτων με χρήση λογισμικού που παρέχεται από το όργανο. Οι τιμές παρουσιάζονται στον πίνακα 7.

ΠΙΝΑΚΑΣ 7. Μεταβολή της ενθαλπίας (ΔH) και θερμοκρασία κορυφής κατά τη θέρμανση από τους 25 στους 100 °C δειγμάτων ψίχας ψωμιών μετά από αποθήκευση για 1, 4 και 6 ημέρες στους 4°C.

Αρτοσκευάσματα	T (oC)	ΔH (J/g)
<i>1^η ημέρα</i>		
0%	64.2	0.58
5%	67.1	0.55
10%	67.2	1.04
<i>4^η ημέρα</i>		
0%	68.6	1.28
5%	67.1	1.15
10%	67.7	1.74
<i>6^η ημέρα</i>		
0%	66.8	1.78
5%	67.1	1.94
10%	67.5	2.01

Οι θερμοκρασίες της κορυφής αυξήθηκαν με υποκατάσταση αλεύρου τύπου 70% με σκόνη κηφήνα κατά την 1^η και 6^η μέρα της εξέτασης. Οι Kim and D'Appolonia (1977^a,1977^b) κατέληξαν στο συμπέρασμα ότι οι διαιτητικές ίνες παρεμβάλλονται στα διαμοριακά συστήματα αμυλοπηκτικής και αμυλόζης. Θεωρητικά η μείωση στο διαθέσιμο νερό θα μπορούσε να επιβραδύνει την αναδιάταξη (Meuser, F. and Suckow 1986), παρατηρήθηκε αυξημένη αναδιάταξη σε ψωμιά με διαιτητικές ίνες (Biliaderis et al 1995, Michniewicz et al 1992, Gudmundsson et al 1991). Αυτό θα μπορούσε να αποδοθεί στην υψηλότερη υγρασία στα αρτοσκευάσματα με κηφήνα την 6^η ημέρα σε σχέση με το μάρτυρα.

Οι τιμές ΔΗ των φρέσκων (1^η μέρα μετά το ψήσιμο) και των παλαιωμένων ψωμιών (3^η και 6^η μέρα μετά το ψήσιμο), βαίνουν αυξανόμενες, με την τιμή των τελευταίων να είναι σημαντικά μεγαλύτερη από αυτή των πρώτων για όλα τα αρτοσκευάσματα. Την 3^η και 6^η ημέρα δηλαδή, έχουμε αυξημένο σχηματισμό κρυστάλλων αμυλοπηκτικής με το αρτοσκευάσμα με 10% σκόνη κηφήνα να εμφανίζει τις υψηλότερες τιμές ενθαλπίας. Η περιεκτικότητα σε υγρασία μπορεί να επηρεάσει την αναδιάταξη συνεπώς να προκαλέσει αλλαγές στη δομή της ψίχας κατά την παλαίωση. Κατά τη διάρκεια της αποθήκευσης μειώθηκε σημαντικά η υγρασία των δειγμάτων και επομένως παρατηρούμε αύξηση στις τιμές της ενθαλπίας.

5. ΣΥΖΗΤΗΣΗ

Ο Bednářová (2013) εξέτασε τη συνολική περιεκτικότητα σε πρωτεΐνες επτά ειδών εντόμων. Η συνολική περιεκτικότητα σε πρωτεΐνες ήταν σχετικά η ίδια σε όλους τους μετρούμενους τύπους εντόμων, εκτός από τον σκώρο των κεριών (*G. Mellonella*) του οποίου η περιεκτικότητα σε πρωτεΐνες (βάση της ξηρής μάζας) βρέθηκε 38,4% έναντι 30,97% στον κηφήνα. Το ποσοστό άλλων ειδών κυμαινόταν από 50,7% για τον σκώληκα του αλεύρου (*T. molitor*) έως 62,2% για την αφρικανική αποδημητική ακρίδα (*L. migratoria*).

Επιπλέον, οι Xiaoming, Ying & Hong (2010) επιχείρησαν να εκτιμήσουν πειραματικά την περιεκτικότητα σε πρωτεΐνες 100 διαφορετικών ειδών εντόμων. Η περιεκτικότητα σε πρωτεΐνες κυμαινόταν από 13 έως 77% (σε ξηρή μάζα), αντανακλώντας τη μεγάλη μεταβλητότητα των εξεταζόμενων ειδών. Ογδόντα επτά είδη βρώσιμων εντόμων ερευνήθηκαν στο Μεξικό και η μέση περιεκτικότητα σε πρωτεΐνες κυμαίνονταν από 15% έως 81%. Ακόμη, στην ίδια μελέτη εξετάστηκε και η πεπτικότητα των πρωτεϊνών των εντόμων, και βρέθηκε μεταξύ 76-96%. Αξίζει να σημειωθεί ότι αυτές οι τιμές πεπτικότητας είναι κατά μέσο όρο μικρότερες από εκείνη της πρωτεΐνης των

αυγών (95%) ή του βόειου κρέατος (98%) και πολύ υψηλότερες σε σχέση με τις φυτικές πρωτεΐνες.

Ο στόχος της μελέτης των Haber et al. (2019) ήταν η μελέτη των ρεολογικών ιδιοτήτων, της θρεπτικής αξίας και της οργανοληπτικής ποιότητας του ψωμιού που εμπλουτίστηκε πειραματικά με 100, 200 g / kg σκόνης ακρίδας (*Schistocerca gregaria*) και 200 g / kg απολιπανθείσας σκόνης του ίδιου γένους ακρίδας. Η σκόνη ακρίδας περιέχει 350 g / kg πρωτεΐνης και 130 g / kg λίπους και έχει υψηλότερες τιμές ικανότητας συγκράτησης νερού και ελαίου σε σύγκριση με το αλεύρι σίτου. Η προσθήκη της σκόνης του εντόμου μείωσε τον ειδικό όγκο του παραγόμενου ψωμιού και είχε ως αποτέλεσμα πιο απαλή υφή. Αντιθέτως, η προσθήκη σκόνης κηφήνα στις ζύμες δεν επηρέασε τον ειδικό όγκο των αρτοποιημάτων. Επιπλέον, η συμπερίληψη 20%σκόνης ακρίδας στο μείγμα του ψωμιού αύξησε την περιεκτικότητα σε πρωτεΐνες έως και 60%. Κατά αντιστοιχία η προσθήκη 5% σκόνης κηφήνα αύξησε την περιεκτικότητα σε πρωτεΐνες κατά 52% ενώ η προσθήκη 10% κατά 113% έναντι του μάρτυρα. Η οργανοληπτική ανάλυση ποιότητας του κατά10% εμπλουτισμένου ψωμιού ακρίδας έδειξε παρόμοια αποτελέσματα με το ψωμί σίτου, ενώ το κατά 20%εμπλουτισμένο ψωμί έλαβε χαμηλότερη βαθμολογία κυρίως λόγω της οσμής του. Όλα τα παραπάνω, οδήγησαν τους ερευνητές στο συμπέρασμα ότι ο τύπος αυτός εμπλουτισμένου ψωμιού μπορεί να χρησιμεύσει ως συμπλήρωμα ψωμιού μέσω βέλτιστης προσθήκης10% προκειμένου να αποφεύγονται οι αλλοιώσεις στις αισθητηριακές πτυχές του τελικού προϊόντος.

Στόχος της έρευνας των González, Garzón& Rosell (2019)ήταν η διερεύνηση της χρήσης αλεύρου εντόμων ως πλούσιο σε πρωτεΐνη συστατικό για προϊόντα αρτοποιίας. Μεταξύ των υπό εξέταση ειδών συμπεριλήφθηκαν η μαύρη στρατιωτόμυγα (*Hermetia illucens*), το τριζόνι (*Acheta domestica*) και ο αλευροσκώληκας(*Tenebrio molitor*). Και τα τρία είδη εντόμων αλέστηκαν και χρησιμοποιήθηκαν για να αντικαταστήσουν το αλεύρι σίτου (σε ποσοστό 5%) σε ζύμες και ψωμιά. Η ανάλυση έδειξε ότι η τελική περιεκτικότητα σε πρωτεΐνες των αλεύρων εντόμων κυμάνθηκε από 45% έως 57% και η περιεκτικότητα σε λιπαρά από 27% έως 36%. Η χρησιμοποίηση μέρους αλεύρου εντόμων στη ζύμη βρέθηκε να επηρεάζει τις ρεολογικές ιδιότητες (απορρόφηση νερού και σταθερότητα) της ζύμης κατά τη διάρκεια της ανάμειξης, προκαλώντας λιγότερη απορρόφηση νερού. Σε αντιπαράβολή οι εμπλουτισμένες ζύμες με σκόνη κηφήνα δεν

παρουσίασαν μεταβολή της απορρόφησης νερού. Μάλιστα, τα ψωμιά που περιείχαν άλευρο *mecheta Domestica* παρουσίασαν παρόμοιες ειδικές παραμέτρους όγκου και υφής με το ψωμί σίτου, αλλά και θεαματικά υψηλότερη περιεκτικότητα σε πρωτεΐνες και διαιτητικές ίνες. Επίσης, τα εμπλουτισμένα αρτοσκευάσματα με σκόνη κηφήνα βρέθηκαν με υψηλότερη περιεκτικότητα σε διαιτητικές ίνες έναντι αρτοσκευάσματος με άλευρο τύπου 70%.

Στη μελέτη των Osimani et al. (2017), προστέθηκε σκόνη τριζονιού (*Acheta domestica*) στο αλεύρι σίτου, με στόχο την παραγωγή ψωμιού με βελτιωμένη θρεπτική αξία. Οι ζύμες παρήχθησαν χρησιμοποιώντας διαφορετικά μίγματα αλεύρου σίτου και σκόνης τριζονιού που προστέθηκαν σε ποσότητες 10 ή 30% (ποσοστό επίσης συγκέντρωσης αλεύρου σίτου). Οι πρώτες ύλες, η ζύμη και τα ψωμιά υποβλήθηκαν σε τεχνολογικές, μικροβιολογικές, χημικές και οργανοληπτικές αναλύσεις. Συνολικά, παρατηρήθηκε αρνητικός γραμμικός συσχετισμός μεταξύ της ποσότητας προστιθέμενης σκόνης τριζονιού και των τεχνολογικών παραμέτρων ζύμης. Ωστόσο, σε σύγκριση με τα ψωμιά μάρτυρες που παράγονται με το αλεύρι σίτου, τα ψωμιά που περιέχουν σκόνη τριζονιού επέδειξαν υψηλότερο θρεπτικό προφίλ όσον αφορά τη σύνθεση λιπαρών οξέων, την υψηλή περιεκτικότητα σε πρωτεΐνες και την παρουσία των απαραίτητων για τη διατροφή αμινοξέων. Αξίζει να σημειωθεί ότι και σε αυτήν την μελέτη, παρατηρήθηκαν (μικροσκοπικά) διάφορα επικίνδυνα βακτήρια που δύνανται να σχηματίζουν σπόρια στο παραγόμενο ψωμί που εμπλουτίστηκε με άλευρο από τριζόνι, επισημαίνοντας έτσι πιθανά ζητήματα ασφάλειας που πρέπει να προσεχθούν.

Αντίστοιχα, στόχος της μελέτης των de Oliveira et al. (2017) ήταν η σύνθεση αλεύρου από το είδος της κατσαρίδας *Cinereous (Nauphoeta cinerea)* για τον εμπλουτισμό του ψωμιού σίτου σε πρωτεΐνες. Για την παρασκευή του αλεύρου, τα αφυδατωμένα έντομα θρυμματίστηκαν και κοσκινίστηκαν για να μειωθεί η κοκκομετρία σε μέγεθος σωματιδίων 1,18 mm. Το αλεύρι αναλύθηκε μικροβιολογικά και στη συνέχεια προστέθηκε σε τρεις διαφορετικές ποσότητες (5, 10 και 15% επί της συγκέντρωσης του αλεύρου σίτου) με σκοπό την δημιουργία και καθιέρωση μιας νέας σύνθεσης ψωμιού. Η ανάλυση επί της χημικής σύνθεσης, του χρώματος, της σταθερότητας και του όγκου του νεοσυντιθέμενου ψωμιού συγκρίθηκε με το ψωμί λευκού σίτου αλλά και το ψωμί

ολικής αλέσεως. Όπως αποκαλύφθηκε μέσω της οργανοληπτικής αξιολόγησης του εμπλουτισμένου με κατσαρίδα ψωμιού(10%), αυτό παρουσίαζε καλύτερα θρεπτικά χαρακτηριστικά, που διαφέρουν ελάχιστα από το λευκό και ολικής άλεσης ψωμί. Έτσι, οι ερευνητές συμπέραναν ότι η χρήση αλεύρου από κατσαρίδα (*Nauphoeta cinerea*)είναι ένας αποτελεσματικός τρόπος εμπλουτισμού του ψωμιού σίτου χωρίς αλλοιώσεις στην οργανοληπτική ποιότητα.

Ομοίως, στην πρόσφατη μελέτη των García-Segovia, Igual & Martínez-Monzó (2020) εξετάστηκε πειραματικά η ενσωμάτωση νέων πηγών πρωτεΐνης βάση της προσθήκης σκόνης εντόμων αλευροσκώληκα (*Tenebrio molitor L.*) και προνύμφες του σκαθαριού (*Alphitobius diaperinus*)σε τρόφιμα με βάση το σιτάρι, μεταξύ των οποίων και το ψωμί. Ειδικότερα, αναλύθηκαν οι ιδιότητες όγκου της ζύμης και οι επιδράσεις της προσθήκης στα φυσικοχημικά και αισθητήρια χαρακτηριστικά του ψωμιού. Όπως αναδείχθηκε, η ενσωμάτωση της πρωτεΐνης από τη σκόνη του σώματος του εντόμου α) βελτίωσε τη θρεπτική αξία, αυξάνοντας την περιεκτικότητα σε πρωτεΐνες, ενώ επιπλέον) επηρέασε θετικά τις ιδιότητες της ζύμης και του ψωμιού, αυξάνοντας σημαντικά την εκτατότητα της ζύμης, την αντοχή και την αναλογία τους στη ζύμη σε αντίθεση με την ομάδα ελέγχου. Σε αντίθεση με την προσθήκη σκόνης κηφήνα όπου παρατηρήθηκε μείωση της εκτατότητας στις ζύμες. Ακόμη, οι ιδιότητες της υφής του ψωμιού επηρεάστηκαν σημαντικά, αλλά αρνητικά με την προσθήκη αλεύρου εντόμου. Πιο συγκεκριμένα, αυξήθηκαν οι τιμές σκληρότητας και παρατηρήθηκε μια μικρότερη μέση περιοχή κυψελίδων από το ψωμί ελέγχου. Ομοίως παρατηρήθηκε αύξηση της σκληρότητας του εμπλουτισμένου αρτοσκευάσματος με προσθήκη σκόνης κηφήνα έναντι του μάρτυρα.

Όπως συμπεραίνεται από την πρόσφατη βιβλιογραφία, τα τελευταία χρόνια το ενδιαφέρον στρέφεται έντονα προς την εντομοφαγία λόγω της υψηλής θρεπτικότητας και του περισσότερο περιβαλλοντικά φιλικού τρόπου εκβιομηχάνισης των νέων πηγών πρωτεΐνης (βιωσιμότητα) των πρώτων υλών. Ωστόσο, απαιτούνται περισσότερες και πληρέστερες μεθοδολογικά μελέτες προκειμένου να παγιωθούν τα σχετικά ενθαρρυντικά συμπεράσματα.

Μια πολύ ενδιαφέρουσα και πρόσφατη μελέτη από τους Ghosh et al. (2020) προχώρησε στη σύγκριση του θρεπτικού περιεχομένου των κηφήνων του γένους *Apis*

mellifera σε διαφορετικά στάδια ανάπτυξης δύο διαφορετικών πληθυσμών (ιταλική μέλισσα που εκτρέφεται στην Κορέα και την μέλισσα Buckfast από τη Δανία). Μεταξύ των αναλύσεων περιλαμβανόταν η ανάλυση της περιεκτικότητας των κηφίνων σε αμινοξέα, λιπαρά οξέα και ανόργανα άλατα καθώς και η αξιολόγηση των αντιοξειδωτικών τους ιδιοτήτων. Όπως παρατηρήθηκε, η περιεκτικότητα των εντόμων σε πρωτεΐνες, βρέθηκε να αυξάνεται ανάλογα με το αναπτυξιακό στάδιο του κηφήνα. Μια παρόμοια τάση παρατηρήθηκε για τα ανόργανα συστατικά, ενώ αντίθετα οι συνολικές ποσότητες λιπαρών οξέων βρέθηκαν να μειώνονται με την ανάπτυξη. Συνολικά, προσδιορίστηκαν δεκαεπτά αμινοξέα, συμπεριλαμβανομένων όλων των απαραίτητων, εκτός από την τρυπτοφάνη. Τα κορεσμένα λιπαρά οξέα βρέθηκαν να κυριαρχούν στα μονοακόρεστα λιπαρά οξέα των αυγών των κηφίνων, αλλά όχι και για τους ενήλικες. Οι κηφίνες βρέθηκαν να είναι πλούσιοι σε μέταλλα και η ιδιαίτερα υψηλή περιεκτικότητα σε σίδηρο καθώς και K / Na ήταν ενδεικτική της διατροφικής αξίας αυτών των εντόμων. Δυστυχώς, μέχρι στιγμής δεν έχουν δημοσιευθεί άλλες μελέτες αναλύσεων περιεκτικότητας πρωτεϊνών ή φυσικοχημικές και οργανοληπτικές αναλύσεις ψωμιού που παράγεται από σκόνη κηφήνα σε κυμαινόμενες συγκεντρώσεις. Δεδομένου ότι τα προϊόντα αρτοποιίας -με κυρίαρχο το καθημερινής κατανάλωσης ψωμί- συνιστούν τα δημοφιλέστερα τρόφιμα των ανθρώπων από την αρχαιότητα μέχρι και σήμερα, ενδεχομένως η παρούσα μελέτη να σηματοδοτήσει την αρχή μιας πολύπλευρης σειράς μελετών και αποδοχής μιας νέας γενιάς τροφίμων που παράγονται βάση των θεσπισμένων στόχων περιβαλλοντικής βιωσιμότητας και περιέχουν ένα πρωτεϊνικό υποκατάστατο υψηλής διατροφικής αξίας για το ανθρώπινο είδος.

6. ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ

➤ Αναλύσεις α' υλών

1. Η διόγκωση αλεύρου(mL/g) είναι αυξημένη στη σκόνη κηφήνα(4,85) συγκριτικά με το άλευρο τύπου 70%(2,23).
2. Η σκόνη κηφήνα εμφάνισε υψηλότερα ποσοστά συγκριτικά με το αλεύρι τύπου 70%(1,070) ως προς το λίπος (5,711 %) και την πρωτεΐνη (30,97%) με το άλευρο τύπου 70%(11,83%). Το σύνολο των διαιτητικών ινών διαλυτών και αδιάλυτων υπολογίστηκε σημαντικά αυξημένο στη σκόνη κηφήνα (15,36%) σε σύγκριση με το άλευρο τύπου 70% (2,23%), κυρίως λόγω των αδιάλυτων διαιτητικών ινών 14,98% στη σκόνη κηφήνα έναντι 1,82% στο άλευρο τύπου 70%.

➤ Αναλύσεις ζύμης

1. Στη δοκιμή της φαρινογραφίας η απορρόφηση του νερού δεν παρουσίασε σημαντική μεταβολή στα εμπλουτισμένα μίγματα.
2. Στη δοκιμή της εξτενσιογραφίας η αύξηση της προσθήκης σκόνης κηφήνα οδήγησε σε μείωση της εκτατότητας συγκριτικά με τον μάρτυρα και παράλληλη αύξηση στην αντίσταση στην έκταση που μπορεί να αποδοθεί στην παρουσία διαιτητικών ινών λόγω της παρουσίας σκόνης κηφήνα.
3. Στο πείραμα της λιπαινόμενης συμπιεστής ροής έγινε φανερό πως η αύξηση συγκέντρωσης πρωτεΐνης στα μίγματα ζύμης προκάλεσε αύξηση του εκτατού ιξώδους.

➤ Αναλύσεις αρτοσκευασμάτων

1. Δεν υπάρχει σημαντική στατιστική διαφορά του ειδικού όγκου των εμπλουτισμένων αρτοσκευασμάτων συγκριτικά με το μάρτυρα
2. Η προσθήκη σκόνης κηφήνα επιβραδύνει το ρυθμό απώλειας υγρασίας στη ψίχα των αρτοσκευασμάτων
3. Η αναλογία των ολικών διαιτητικών ινών επηρεάστηκε κατά την αρτοποιήση. Η αύξηση του ποσοστού προσθήκης σκόνης κηφήνα προκαλεί αύξηση των ΟΔΙ στα εμπλουτισμένα δείγματα έναντι του μάρτυρα.

4. Παρατηρήθηκε προοδευτική αύξηση της σκληρότητας στα δείγματα, ανεξάρτητα του ποσοστού προσθήκης σκόνης κηφήνα που οφείλεται στην παλαίωση των αρτοσκευασμάτων. Την 6^η ημέρα τα εμπλουτισμένα δείγματα παρουσιάζουν πιο έντονη σκληρότητα της υφής τους συγκριτικά με το μάρτυρα, με το δείγμα με 10% σκόνη κηφήνα να έχει την υψηλότερη σκληρότητα.
5. Διαπιστώθηκε μη στατιστικά σημαντική διαφορά της συνεκτικότητας μεταξύ των αρτοσκευασμάτων της ίδιας ημέρας. Υπάρχει όμως προοδευτική μείωση με τις ημέρες αποθήκευσης.
6. Η ΔΗ που εμφανίζεται κυρίως λόγω της αναδιάταξης της αμυλοπηκτικής εμφανίζει βαθμιαία αύξηση με το πέρας των ημερών για όλα τα δείγματα όπως αναμένονταν. Φαίνεται ότι η προσθήκη κηφήνα εντείνει την παλαίωση.

Συμπερασματικά θεωρούμε πως υπάρχουν ενδείξεις ενός επιτυχημένου πειράματος παρασκευής αρτοσκευάσματος υψηλής διατροφικής αξίας με εμπλουτισμό πρωτεϊνικού υποκατάστατου σκόνης κηφήνα σε άλευρο τύπου 70% αποτελεσματικά χωρίς σημαντική υποβάθμιση της ποιότητας έναντι ενός αρτοσκευάσματος με άλευρο τύπου 70%, απομένει όμως να ελεγχθεί και οργανοληπτικά.

7. ΠΡΟΤΑΣΕΙΣ ΓΙΑ ΜΕΛΛΟΝΤΙΚΗ ΕΡΕΥΝΑ

- Διερεύνηση της συμπεριφοράς του ιξώδους χαρακτήρα ζύμης με υποκατάσταση αλεύρου τύπου 70% με πρωτεΐνη από σκόνη κηφήνα σε ποσοστά υψηλότερα του 10%.
- Διερεύνηση αξιοποίησης αρτοσκευασμάτων με σκόνη κηφήνα με αποδεκτά οργανοληπτικά χαρακτηριστικά με σκοπό την βρώση ως βάση ενός υγιεινού διατροφολόγιου.
- Διερεύνηση αξιοποίησης γλυκίσματος ή τύπου κέικ με προσθήκη σκόνης κηφήνα και πρόσθετων super foods για την συνεισφορά σε διατροφολόγιου με υψηλή πρόσληψη πρωτεΐνης.
- Διερεύνηση της αξιοποίησης αρτοσκευασμάτων με πρωτεϊνικά υποκατάστατα άλλου είδους εντόμων.

ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

Ελληνόγλωσση

- Δημόπουλος Σ. Ιωάννης. (1987) .Τεχνολογία σιτηρών Ι, Οργανισμός Εκδόσεως Διδακτικών Βιβλίων, Αθήνα
- Μποσδίκος, Δ. (2005). Από το στάρι στο ψωμί, τεχνολογία αρτοποιήσης, Κορμος Ειδικές Εκδόσεις, Αθήνα
- Τσιάρας, Ν. (1984). Ποιοτικός έλεγχος τροφίμων Φ/Π. Ο.Ε.Δ.Β, Αθήνα, Ελλάδα

Ξενόγλωσση

- Adler-Nissen, J. (1979). Determination of the degree of hydrolysis of food protein hydrolysates with trinitro benzenesulfonic acid. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 27, 1256–1262.
- Angioloni, A., & Collar, C. (2009). Bread crumb quality assessment: A plural physical approach. *European Food Research and Technology*. 229. 21-30.
- Banu, C., Alexe, P., Butu, N., Rasmerita, D. & Lungu, C. (2000). Additives and ingredients for the food industry. Technical Publishing House, Bucharest, 234-236.
- Barbana, C. & Boye, I. (2011). Angiotensin I-converting enzyme inhibitory properties of lentil protein hydrolysates: determination of the kinetics of inhibition. *Food Chemistry*, 127, 94–101.
- Bilge, G., Sezer, B., Eseller, K.E., Berberoglu, H., Koxsel, K., Boyaci, H. I. (2016). Ash analysis of flour sample by using laser-induced breakdown spectroscopy, *Spectrochimica Acta Part B: Atomic Spectroscopy*, 124, 74-78.

- Biliaderis, C.G., and Zawistowski, J. (1990). Viscoelastic behavior of ageing starch gels: effects of concentration, temperature and starch hydrolysates on network properties. *Cereal Chem.* 67(7):240-246
- Boukid, F., Carini, E., Curti, E. (2019). Bread staling: understanding the effects of transglutaminase and vital gluten supplementation on crumb moisture and texture using multivariate analysis. *Eur Food Res Technol*, 245, 1337–1345.
- Bukkens, S. G. F. (1997). The nutritional value of edible insects. *Ecology of Food and Nutrition*, 36, 287–319.
- Bukkens, S. G. F. (2005). Insects in the human diet: nutritional aspects. In M. G. Paoletti (Ed.), *Ecological implications of minilivestock; role of rodents, frogs, snails, and insects for sustainable development* (pp. 545–577). Science Publishers: New Hampshire
- Calderone, N. W. (2005). Evaluation of drone brood removal for management of *Varroa destructor* (Acari: Varroidae) in colonies of *Apis mellifera* (Hymenoptera: Apidae) in the Northeastern United States. *Journal of Economic Entomology*, 98, 645–650.
- Canja, C., Mirabela, L. & Tăulea, G. (2014). The influence of kneading time on bread dough quality. *Agricultural Food Engineering*, 7(56), 79-84.
- Carson, G. R. Edwards, N.M. (2009). Criteria of Wheat and Flour Quality, CHAPTER In *Wheat* (Fourth Edition), American Associate of Cereal Chemists International Press, 97-118.
- Cauvain, S. (2012). Introduction to breadmaking, Chapter in *Breadmaking* (Second Edition), Woodhead Publishing, 4, 1-8.
- Codex Alimentarius Commission (2009). Report of the 30th session of the Codex committee on nutrition and foods for special dietary uses. Cape Town, South Africa, Nov. 2008. ALINORM 09/32/26.

- Curti, E. Carini, A. Diantom, E. & Vittadini, E. (2016). The use of potato fibre to improve bread physico-chemical properties during storage. *Food Chemistry*, 195, 64–70.
- Czaja, T., Sobota, A. & Szostak, R. (2020). Quantification of Ash and Moisture in Wheat Flour by Raman Spectroscopy. *Foods*, 9, 280, 1-7.
- Deák, T. (2003). YEASTS, Chapter in *Encyclopedia of Food Sciences and Nutrition* (Second Edition), Academic Press, 6233-6239.
- Delcour, J.A. & Hosney, R.C. (2009). *Principles of Cereal Science and Technology*. AACC Int. Inc. Minnesota, 239-256.
- Del Prato, S., Leonetti, F., Simonson, D. C., Sheehan, P., Matsuda, M., and DeFronzo, R. A. 1994. Effect of sustained physiologic hyperinsulinaemia and hyperglycaemia on insulin secretion and insulin sensitivity in man. *Diabetologia*, 37, 1025-1035.
- Demiralp, H., Celik S. & Koksel H. (2000). effects of oxidizing agents and deffating on the electrophoretic patterns of flour proteins during dough mixing. *European Food Research and Technology*, 211, 322-325.
- Denli, E. and Ercan, R. (2001). Effect of added arabinoxylans isolated from wheat and rye grain on some properties of bread. *European Food Research and Technology* 212, 374–376.
- Denli, R. Ercan. (2000). Effect of added pentosans isolated from wheat and rye grains on some properties of bread *European Food Research and Technology*.
- Dhingra, S., Jood, S. (2004). Effect of flour blending on functional, baking, and organoleptic characteristics of bread. *International Journal of Food Science and Technology* 39(2), 213-222.
- Dobraszczyk, B. J. & Morgenstern, M.P. (2003). Rheology and the Bread Making Process. *Journal of Cereal Science*, 38, 229-245.

- Dona, A., Pagès, G., & Kuchel, P. (2010). Digestion of starch: In vivo and in vitro kinetic models used to characterise oligosaccharide or glucose release. *Carbohydrate Polymers*, 80, 599-617.
- Duran, L. & Benedito de Barber, E. (1997). Firming of starch gels and amylopectin retrogradation as related to dextrin production by α -amylase, *Z Lebensm Unters Forsch A*, 205, 131-134.
- Duran, L., Benedito de Barber, E. (2002). Utilization of enzyme mixtures to retard bread crumb firming. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 50:1416-1419.
- Eliasson, A.C., & Larsson, K. (1993). *Cereals in breadmaking. A molecular colloidal approach*. New York, NY: Marcel Dekker.
- Eshak, N. (2016). Sensory evaluation and nutritional value of balady flat bread supplemented with banana peels as a natural source of dietary fiber. *Annals of Agricultural Sciences*, 61(2), 229–235.
- European Commission (2015). Summary of the applications submitted within the meaning of Article 10(1) of Regulation (EU) 2015/2283. https://ec.europa.eu/food/sites/food/files/safety/docs/novel-food_sum_ongoing-app_2018-0754.pdf
- European Commission (1997). Novel Food lists products of animal and plant origin and other substances subject to the Novel Food Regulation https://ec.europa.eu/food/safety/novel_food/catalogue_en
- European Council (1997). Regulation (EC) No 258/97 of the European Parliament and of the Council of 27 January 1997 concerning novel foods and novel food ingredients. <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/EN/TXT/PDF/?uri=CELEX:31997R0258&from=EN>
- Evans, J. (2013). Insect gastronomy. *Cereal Magazine.*, 3, 62–71.

- Fadda, C., Sanguinetti, A. M., Del Caro, A., Collar, C. & Piga, A. (2014). Bread Staling: Updating the View. *Comprehensive Reviews in Food Science and Food Safety*, 13, 473-492.
- FAO (2004). Vitamin and mineral requirements in human nutrition: report of a joint FAO/ WHO expert consultation, Bangkok, Thailand, 21–30 September 1998.
- FAO (2009). Food and Agriculture Organization of the United Nations, How to feed the World in 2050. http://www.fao.org/fileadmin/templates/wsfs/docs/expert_paper/How_to_Feed_the_World_in_2050.pdf (Accessed 10.03.15)
- FAO (2010). Fats and fatty acids in human nutrition: report of an expert consultation, Geneva, 10-14 November 2008.
- FAO (2012). Assessing the potential of insects as food and feed in assuring food security. In P. Vantomme, E. Mertens, A. van Huis, & H. Klunder (Eds.), *Summary Report of Technical Consultation Meeting (Rome, Italy)*.
- Finke, M. D. (2002). Complete nutrient composition of commercially raised invertebrates used as food for insectivores. *Zoo Biology*, 21, 269–285.
- Giannou, V., Kessoglou, V. Tzia, C. (2003). Quality and safety characteristics of bread made from frozen dough. *Trends in Food Science & Technology*, 14, 99-108.
- Gill, S., Vasanthan, T., Ooraikul, B., Rosnagel, B. (2002). Wheat bread quality as influenced by the substitution of waxy and regular barley flours in their native and extruded forms. *Journal of Cereal Science* 36(2), 219-237.
- Glits, L. V., and Bach Knudsen, K. E. (1999). Milling of whole grain rye to obtain fractions with different dietary fibre characteristics. *Journal of Cereal Science*, 29, 89–97
- Goesaert, H., Brijs, K., Veraverbeke, W.S., Courtin, C.M., Gebruers, K. & Delcour, J.A. (2005). Wheat flour constituents: how they impact bread quality, and how to impact their Functionality. *Trends in Food Science & Technology*, 16,12–30.

- Gomez, M., Ronda, F., Blanco, C.A., Caballero, P.A. & Apesteguia, A. (2003). Effects of dietary fibre on dough rheology and bread quality *European Food Research Technology*, 216, 51–56.
- Gonzalez-Thuillier, I., Salt, L., Choje, G., Penson, S., Skeggs, P., Tosi, P., Powers, S. J., Ward, J. L., Wilde, P., Shewry, P. R. and Haslam, R. P. (2015). Distribution of lipids in the grain of wheat (cv Hereward) determined by lipidomic analysis of milling and pearling fractions. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 63(49), 10705-10716.
- Gormley, T.R. & Morrissey, A. (1993). A note on the evaluation of wheaten breads containing oat flour or oat flakes. *Irish Journal of Agricultural and Food Research*, 32(2), 205–209.
- Gray, J. & Bemiller, J. (2003). Bread Staling: Molecular Basis and Control. *Comprehensive Reviews in Food Science and Food Safety*, 2, 1-21.
- Grosch W. & Schieberle, P. (1997). Flavor of cereal products—A review. *Cereal Chemistry*, 74, 91-97.
- Grosch W. & Wieser H. (1999). Redox reactions in wheat dough as affected by ascorbic acid, *Journal of Cereal Science*, 29, 1-16.
- Gross, B. (2018). Drone Brood Removal: A bee-utiful form of Varroa control and source of edible insect protein. Independent Study Thesis. https://www.google.com/url?sa=t&source=web&rct=j&url=https://amp.osu.edu/sites/amp/files/imce/Files/WarnerGrants/Reed%2520Johnson-College%2520of%2520Wooster%2520Independent%2520Study%2520thesis.pdf&ved=2ahUKEwiNj9K6vYztAhUR_aQKHbr7DdEQFjAKegQIBxAB&usg=AOvVaw2RRNG-eKZFPpIYE3psl4_9&cshid=1605715844558
- Gudmundsson, M., Eliasson, A.-C., Bengtson, S. and Aman, P. (1991) The effects of water-soluble arabinoxylan on gelatinization and retrogradation of starch. *Starch/Starke* 43:5–10.

- Han, W., Ma, S., Li, L., Wang, X. & Zheng, X. (2017). Application and Development Prospects of Dietary Fibers in Flour Products. *Journal of Chemistry*, 21(6), 1-8.
- Hefferon K. L. (2015). Nutritionally enhanced food crops; progress and perspectives. *International journal of molecular sciences*, 16(2), 3895–3914.
- Hellman, N.N., Fairchild, B. & Senti, F.R. (1954). The bread staling problem. Molecular organization of starch upon aging of concentrated starch gels at various moisture levels. *Cereal Chem*, 31, 495.
- Holm, J. & Bjorck, I. (1992). Bioavailability of starch in various wheat-based bread products: Evaluation of metabolic responses in healthy subjects and rate and extent of in vitro starch digestion. *Am. J. Clin. Nutr.* 55, 420-9.
- Holtekjølen, A. K., Baevre, A. B., Rødbotten, M., Berg, H., and Knutsen, S. H. (2008). Antioxidant properties and sensory profiles of breads containing barley flour. *Food Chemistry*, 110(2), 414-421.
- House, J. (2016). Consumer acceptance of insect-based foods in the Netherlands: Academic and commercial implications. *Appetite*, 107, 47–58.
- Huang, Q., Guo, C., Wang, H., Ding, H. & Cui, G. (2016). Fenugreek fibre in bread: effects on dough development and bread quality. *LWT—Food Science and Technology*, 71, 274–280.
- Hui., Y. H., Corke, H., De Leyn, I., Nip, W.K. & Nanna, A. (2006). *Cross Bakery Products, Science and Technology*, Blackwell Publishing, 28-39.
- Jain A., Jain R. & Jain S. (2020). Analysis of Bread. In: *Basic Techniques in Biochemistry, Microbiology and Molecular Biology*. Springer Protocols Handbooks. Humana, New York, NY. https://doi.org/10.1007/978-1-4939-9861-6_62
- Jensen, A.B., Evans, J., Jonas-Levi, A., Benjamin, O., Martinez, I., Dahle, B., Roosh, N., Lecocq, A. & Foley, K. (2016). Standard methods for *Apis mellifera* brood as human food. *Journal of Apicultural Research*, 5, 1-29.

- Jonas-Levi, A., Benjamin, O., & Martinez, J. I. (2015). Does a parasite infestation change the nutritional value of an insect? *Varroa* mites on honeybees as a model. *Journal of Insects as Food and Feed*, 1, 141–147.
- Kim, S.K., Weaver, C.M. & Choi, M.K. (2017). Proximate composition and mineral content of five edible insects consumed in Korea. *CyTA J. Food*, 15, 143–146.
- Koletta P., Irakli M., Papageorgiou M., Skendi A., (2014) Physicochemical and technological properties of highly enriched wheat breads with wholegrain non wheat flours
- Kumar, R. & Khatkar, B. S. (2017). Thermal, pasting, and morphological properties of starch granules of wheat (*Triticum aestivum* L.) varieties. *Journal of food science and technology*, 54(8), 2403–2410.
- Larsson, H., & Eliasson, A.C. (1997). Influence of the starch granule surface on the rheological behaviour of wheat flour dough. *Journal of Texture Studies*, 28, 487–501.
- Liatis, S., Tsapogas, P., Chala, E., Dimosthenopoulos, C., Kyriakopoulos, K., Kapantais, E. and Katsilambros, N. (2009). The consumption of bread enriched with beta-glucan reduces LDL-cholesterol and improves insulin resistance in patients with type 2 diabetes. *Diabetes and Metabolism*, 35(2), 115–120.
- Liese, A.D., Schulz, F., Fang, T.M., Wolever, R.B., D' Agostino, K.C., Sparks, K.C & Mayer-Davis, E.J. (2005). Dietary glycemic index and glycemic load, carbohydrate and fiber intake, and measures of insulin sensitivity, secretion, and adiposity in the Insulin Resistance Atherosclerosis Study. *Diabetes Care*. 28, 2832-8.
- Lindenmeier, M., Faist, V., & Hofmann, T. (2002). Structural and functional characterization of Pronyl-lysine, a novel protein modification in bread crust melanoidins showing in vitro antioxidative and phase I/II enzyme modulating activity. *Journal of agricultural and food chemistry*, 50(24), 6997–7006.

- Liu, Q., Donner, E., Tarn, R., Singh, J., Chung, H. (2009). Advanced Analytical Techniques to Evaluate the Quality of Potato and Potato Starch. Chapter in Advances in Potato Chemistry and Technology. Academic Press, 221-248.
- Marquart, L., Jacobs, D.R.Jr., McIntosh, G., Poutanen, K., Reicks, M. (2007). Whole Grains and Health, Blackwell publishing, 234-239.
- Martinez-Anaya, M.A. (1996). Enzymes and bread flavor, Journal of Agricultural and Food Chemistry, 44 (9), 2469-2480.
- Martinez-Anaya, M.A. & Jimenez T. (1997). Functionality of enzymes that hydrolyse starch and non-starch polysaccharide in breadmaking, Z Lebensm Unters Forsh A, 205, 209-214.
- McKechnie, R. (1983). Oat products in bakery foods. Cereal Foods World, 28(10): 635–637.
- McKeown, N.M., Meigs, J.B., Liu, S., Saltzman, E., Wilson, P.W. & Jacques, P.F. (2004). Carbohydrate nutrition, insulin resistance and the prevalence of the metabolic syndrome in the Framingham offspring Cohort. Diabetes Care. 27, 538-46.
- McMurry, J. (2004). Κεφάλαιο 26: Βιομόρια: Υδατάνθρακες Πανεπιστημιακές Εκδόσεις Κρήτης p g 1272-1275
- Mender, E. (1983). "Bewertung van Backwaren aus ernährungsphysiologischer Sicht."
- Mesías M, Morales FJ. Effect of Different Flours on the Formation of Hydroxymethylfurfural, Furfural, and Dicarbonyl Compounds in Heated Glucose/Flour Systems. Foods. 2017;6(2):14. Published 2017 Feb 16. doi:10.3390/foods6020014
- Meuser, F. & Suckow, P. (1986). Non-starch polysaccharides. In Chemistry and Physics of Baking' (J.M.V. Blanshard, P.J. Frazier and T. Galliard, eds.), The Royal Society of Chemistry, London, U.K, 42–61.

- Michniewicz, J., Biliaderis, C. G., and Bushuk, W. (1992). Effect of added pentosans on some properties of wheat bread. *Food Chem.* 43, 251-257.
- Mihhalevski, A., Nisamedtinov, I., Halvin, K., Oseka, A., Paalme, T., (2013). Stability of B-complex vitamins and dietary fiber during rye sourdough bread production. *J. Cereal Sci.* 57, 30-38.
- Miller, J. C. (1994). Importance of glycemic index in diabetes. *American Journal of Clinical Nutrition*, 59, 747e752.
- Miller, S. S., Wood, P.J., Pietrzak, L.N. & Fulcher, R. G. (1993). Mixed linkage beta glucans, protein content, and kernel weight in *Avena* species. *Cereal Chemistry* 75, 133-139.
- Miller, R. A. & Hosenev, R. C. (2008). Role of Salt in Baking. *Cereal Foods World*, 53(1), 4-6.
- Mishyna, M., Martinez, J. J.I., Chen, J. & Benjamin, O. (2019). Extraction, characterization, and functional properties of soluble proteins from edible grasshopper (*Schistocerca gregaria*) and honeybee (*Apis mellifera*). *Food Res. Int*, 116, 697–706.
- Mitchell R.A.C. & Shewry P.R. (2015). Dietary Fibre: Wheat Genes for Enhanced Human Health. In: Ogihara Y., Takumi S., Handa H. (eds) *Advances in Wheat Genetics: From Genome to Field*. Springer, Tokyo. https://doi.org/10.1007/978-4-431-55675-6_46
- Mondal, A. & Datta, A. (2008). Bread baking – A review. *Journal of Food Engineering*. 86. 465-474.
- Moroi, A., Vartolomei, N., Arus, A. V., Nistor, I.D. & Lazar, I. M. (2011). Prediction of the ash content of wheat flours using spectral and chemometric methods. *Food Technology* 35(2) 33-45.
- Munteanu, M., Voicu, G., Ferdes, M., Stefan, E.M., Constantin, G. & Tudor, P. (2019). Dynamics of fermentation process of bread dough prepared with different types

- of yeast. *Scientific Study and Research: Chemistry and Chemical Engineering*, 20, 575-584.
- Prabhasankar, P. & Rao, P.H. (1999). Lipids in Wheat Flour Streams, *Journal of Cereal Science*, 30(3), 315-322.
- Rana, S.; Gupta, S.; Rana, A.; Bhushan, S. Functional properties, phenolic constituents, and antioxidant potential of industrial apple pomace for utilization as active food ingredient. *Food Sci. Hum. Wellness* 2015, 4, 180–187
- Ranken M.D, Christopher G. J. Baker & R.C. Kill. (1997). *Food industries manual.*, Blackie Academic and Professional, 6(8), 191-207.
- Rao, V.K., Mulvaney, S.J., Dexter, J.E., Edwards, N.M. & Peressini, D. (2001). Stress-relaxation properties of mixograph semolina-water doughs from durum wheat cultivars of variable strength in relation to mixing characteristics, bread and pasta making performance. *Journal of Cereal Science* 10, 1-18.
- Regier, M., Hardy, E.H., Knoerzer, K., Leeb, C.V. & Schuchmann, H.P. (2007). Determination of structural and transport properties of cereal products by optical scanning, magnetic resonance imaging and Monte Carlo simulations. *Journal of Food Engineering* 81(2), 485–491.
- Robertson, J.A.; de Monredon, F.D.; Dysseler, P.; Guillon, F.; Amado, R.; Thibault, J.-F. Hydration Properties of Dietary Fibre and Resistant Starch: A European Collaborative Study. *LWT Food Sci. Technol.* 2000, 33, 72–79
- Rosell, C.M. (2012). Nutritionally enhanced wheat flours and breads. Chapter in *Breadmaking (Second Edition)*, Woodhead Publishing, 687-710.
- Rumpold, B. & Schluter, O. (2013). Nutritional composition and safety aspects of edible insects. *Molecular Nutrition and Food Research*, 57, 802–823.
- Sabanis, D., Lebesi, D., Tzia, C. (2009). Effect of dietary fibre enrichment on selected properties of gluten-free bread. Original Research Article *LWT - Food Science and Technology*, 42(8), 1380-1389.

- Salt, L. J., González-Thuillier, I., Chope, G., Penson, S., Tosi, P., Haslam, R. P., Skeggs, P. K., Shewry, P. R., & Wilde, P. J. (2018). Intrinsic wheat lipid composition effects the interfacial and foaming properties of dough liquor. *Food hydrocolloids*, 75, 211–222.
- Sampat G., Chuleui J., Benno Meyer V. -Rochow (2016). Nutritional value and chemical composition of larvae, pupae, and adults of worker honeybee, *Apis mellifera ligustica* as a sustainable food source, 487-495
- Sandstel, R.M. (1961). The function of starch in baking of bread *The Bakers Digest*, 36: 36–44.
- Sanz-Penella, M. Wronkowska, M. Soral-Smietana & Haros, M. (2013). Effect of whole amaranth flour on bread properties and nutritive value,” *LWT—Food Science and Technology*, 50(2), 679–685.
- Scanlon, M.G., & Zghal, M.C. (2001). Bread properties and crumb structure. *Food Research International*, 34(10), 841-864.
- Scheuer, P.M., Luccio, M.D., Zibetti, A.W., de Miranda, M.Z. and de Francisco, A. (2016), Relationship between Instrumental and Sensory Texture Profile of Bread Loaves Made with Whole-Wheat Flour and Fat Replacer. *J Texture Stud*, 47: 14-23. <https://doi.org/10.1111/jtxs.12155><https://doi.org/10.1111/jtxs.12155>
- Schiraldi, A. & Fessas, D. (2001). Mechanism of staling: an overview. In: Chinachoti P, Vodovotz Y, editors. *Bread Staling*. N Shimizu Y., Maeda T., Hidaki Y., Tani H., Morita N, (2003), Identification and effect of ethyl galactoside on the properties and baking quality of dough. *Food Research International*, 36, 373-379.
- Sęczyk, Ł., Świeca, M., Dziki, D., Anders, A. & Gawlik-Dziki, U. (2017). Antioxidant, nutritional and functional characteristics of wheat bread enriched with ground flaxseed hulls. *Food Chemistry*, 214, 32–38.
- Serog, P., & Cohen, J. M. (2004). *Savoir manger, le guide des aliments*. CIQUAL Table (French IT centre on food quality).

- Shehzad, A., Chiron, H., Della, V., Kansou, K., Ndiaye, A. & Reguerre, A.L. (2010). Porosity and stability of bread dough during proofing determined by video image analysis for different compositions and mixing conditions. *Food Research International*, 43, 1999-2005.
- Sinelli, N., Casiraghi, E. & Downey, G. (2008). Studies on Proofing of Yeasted Bread Dough Using Near- and Mid-Infrared Spectroscopy. *J. Agric. Food Chem*, 56(3), 922–931.
- Skendi, A., Papageorgiou, M. & Biliaderis, C. G. (2009). Effect of barley beta-glucan molecular size and level on wheat dough rheological properties. *Journal of Food Engineering* 91(4): New York: CRC press, 1-17.
- Slavin, J.L. (2005). Dietary fiber and body weight. *Nutrition*, 21, 411-8.
- Slavin J. (2004) Whole grains and human health, *Nutr, Res. Rev* 17
- Sluková, M., Levková, J., Michalcová, A., Horáčková, Š. & Skřivan, P. (2017). Effect of the Dough Mixing Process on the Quality of Wheat and Buckwheat Proteins. *Czech J. Food Sci.*, 35(6), 522–531.
- Sogari, G., Menozzi, D. & Mora, C. (2017). Exploring young foodies' knowledge and attitude regarding entomophagy: A qualitative study in Italy. *Int. J. Gastron. Food Sci*, 7, 16–19.
- Sosa, D.A.T. & Fogliano, V. (2017). Potential of insect-derived ingredients for food applications. In *Insect Physiology and Ecology*; Intech Open: London, UK, 12-15.
- Šramková, Z., Gregová, E. & Šturdík, E. (2009). Chemical composition and nutritional quality of wheat grain. *Acta Chimica Slovaca*,
- Stauffer, C.E. (2000). Emulsifiers as antistaling agents. *Cereal Foods World* 45(3), 106-110.
- Strong, L. R. (1969). The functional properties of salt in bakery products. *Baker's Dig.* 43(1):55-57.

- Swortfiguer, M. J. (1968). Dough absorption and moisture retention in bread. *Baker Digest*, 42(4), 42–44.
- Tester, R. F., Karkalas, J. & Qi, X. (2004). Starch—composition, fine structure, and architecture. *Journal of Cereal Science*, 39(2), 151-165.
- Therdthai, N., Zhou, W. & Adamczak, T. (2002). Optimization of the temperature profile in bread baking, *Journal of Food Engineering*, 55(1), 41-48.
- Thondre, Pariyarath, S., Henry, C. & Jeya K. (2009). High-molecular-weight barley β -glucan in chapatis (unleavened Indian flatbread) lowers glycemic index. *Nutrition Research* 29(7),480-486.
- Ulmer, M., Smetana, S. & Heinz, V. (2020). Utilizing honeybee drone brood as a protein source for food products: Life cycle assessment of apiculture in Germany, *Resources, Conservation and Recycling*, 154, 104576.
- U.S. Department of Agriculture- Nutrient Database for Standard Reference
- Uthayakumaran, S. & Wrigley, C. (2017). Wheat: Grain-Quality Characteristics and Management of Quality Requirements. Chapter In *Woodhead Publishing Series in Food Science, Technology and Nutrition, Cereal Grains (Second Edition)*, Woodhead Publishing, 91-134.
- Xue, C., Matros, A., Mock, H. P. & Mühlhling, K. H. (2019). Protein Composition and Baking Quality of Wheat Flour as Affected by Split Nitrogen Application. *Frontiers in Plant Science*, 10, 642.
- Zanoni, B. & Peri, C. (1993). A study of the bread-baking process. A phenomenological model. *Journal of Food Engineering*, 19(4), 389–398.
- Zhang, D.C., Moore, W.R. & Doehlert, D.C. (1998). Effects of oat grain hydrothermal treatments on wheat-oat flour dough properties and breadbaking quality. *Cereal Chemistry*, 75(5), 602–605.

Zhang, H., Wang, H., Cao, X., & Wang, J. (2018). Preparation and modification of high dietary fiber flour: A review. *Food research international* (Ottawa, Ont.), 113, 24–35.

Zobel, H., & Kulp, K. (1996). The staling mechanisms. In: *Baked goods freshness – technology, evaluation, and inhibition of staling*, Hebeda R.E. and Zobel H. (eds.) Marcel Dekker, New York, 1-64.

ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ

A. 2.1.8. Προσδιορισμός διαιτητικών ινών

Διάγραμμα μεθοδολογίας προσδιορισμού ολικών διαιτητικών ινών του Κιτ της Megazyme.

