



ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΚΟ ΕΚΠΑΙΔΕΥΤΙΚΟ ΙΔΡΥΜΑ ΠΕΛΟΠΟΝΝΗΣΟΥ

ΤΜΗΜΑ ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΑΣ ΤΡΟΦΙΜΩΝ

**«ΜΕΛΕΤΗ ΑΡΤΟΥ ΕΛΕΥΘΕΡΟΥ ΓΛΟΥΤΕΝΗΣ ΜΕ
ΠΡΟΣΘΗΚΗ ΔΙΑΙΤΗΤΙΚΩΝ ΙΝΩΝ ΑΠΟ ΤΟ ΦΥΤΟ
PLANTAGO OVATA FORSK»**



ΠΤΥΧΙΑΚΗ ΜΕΛΕΤΗ

ΧΑΡΙΤΑΚΗ ΑΙΜΙΛΙΑ-ΜΕΛΕΝΙΑ

ΚΑΛΑΜΑΤΑ, 2016

ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΚΟ ΕΚΠΑΙΔΕΥΤΙΚΟ ΙΔΡΥΜΑ ΠΕΛΟΠΟΝΝΗΣΟΥ

ΤΜΗΜΑ ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΑΣ ΤΡΟΦΙΜΩΝ

**«ΜΕΛΕΤΗ ΑΡΤΟΥ ΕΛΕΥΘΕΡΟΥ ΓΛΟΥΤΕΝΗΣ ΜΕ
ΠΡΟΣΘΗΚΗ ΔΙΑΙΤΗΤΙΚΩΝ ΙΝΩΝ ΑΠΟ ΤΟ ΦΥΤΟ
PLANTAGO OVATA FORSK»**

ΠΤΥΧΙΑΚΗ ΜΕΛΕΤΗ

ΧΑΡΙΤΑΚΗ ΑΙΜΙΛΙΑ-ΜΕΛΕΝΙΑ

Εξεταστική Επιτροπή : (επιβλέπων)

..... (μέλος)

..... (μέλος)

ΚΑΛΑΜΑΤΑ, 2016

ΕΥΧΑΡΙΣΤΙΕΣ

Πριν από όλα θα ήθελα να ευχαριστήσω των επιβλέποντα καθηγητή μου Δρ. Θ. Βαρζάκα για την δυνατότητα που μου έδωσε να πραγματοποιήσω την συγκεκριμένη πτυχιακή εργασία. Ευχαριστώ επίσης θερμά τον καθηγητή του πανεπιστημίου Hohenheim Dr. Bernd Hitzmann, που με την συνεργασία του, δημιουργήθηκε η ιδέα του θέματος και μέσω του πειράματος, έγινε η λήψη των φωτογραφιών των άρτων. Τέλος ιδιαίτερες ευχαριστίες θέλω να εκφράσω προς την οικογένεια μου για όλα όσα μου πρόσφεραν στη διάρκεια των φοιτητικών μου χρόνων και την υποστήριξή τους σε κάθε μου επιλογή.

ΠΕΡΙΛΗΨΗ

Η παραγωγή αρτοπαρασκευασμάτων χωρίς γλουτένη είναι ένα θέμα που ερευνάται τα τελευταία χρόνια με ραγδαία αύξηση και προκαλεί το ενδιαφέρον, όχι μόνο των άμεσα διαγνωσμένων ασθενών με κοιλιοκάκη, αλλά και των απλών καταναλωτών. Οι άνθρωποι που πάσχουν από κοιλιοκάκη και πρέπει να ακολουθούν μια αυστηρή δίαιτα, έχουν μια πρόσληψη διαιτητικών ινών μικρότερη από αυτή που συνίσταται από τους διεθνείς οργανισμούς. Ακόμη και ο υπόλοιπος πληθυσμός, λόγω κατανάλωσης εξευγενισμένου ψωμιού από λευκό αλεύρι, παρουσίασε έλλειψη διαιτητικών ινών στην διατροφή του. Μια σημαντική πηγή διαλυτών και αδιάλυτων διαιτητικών ινών είναι το ψύλλιο. Από τα αρχαία χρόνια χρησιμοποιούταν ως θεραπευτικό φυτό και στην συνέχεια έγιναν γνωστές και οι ιδιότητες του στον τομέα παραγωγής τροφίμων. Το μεγαλύτερο μέρος του ψύλλιου αποτελείται από υδατάνθρακες ($84.98 \pm 4.26\%$).

Σκοπός είναι να μελετηθεί, η παρασκευή άρτου ελεύθερου γλουτένης με προσθήκη φλοιού από ψύλλιο (PSH) και πως επηρεάζονται οι ιξωδοελαστικές ιδιότητες του, λόγω της δυνατότητας του ψύλλιου να λειτουργεί ως παράγοντας πήξης, όταν ενωθεί με το νερό. Η ποιότητα του ψωμιού χαρακτηρίζεται βάσει της υφής του, η οποία προσδιορίζεται με τον αναλυτή υφής. Τα αποτελέσματα δείχνουν ότι η αναλογία νερού/ψύλλιου είναι πολύ σημαντική. Προσθήκη μεγάλης ποσότητας νερού συνεπάγεται μεγάλος όγκος, μεγάλη κυψελίδωση και μαλακή ψίχα, ενώ αντιθέτως μεγάλη ποσότητα ψύλλιου συνεπάγεται ψωμί με μικρό όγκο, μικρή (φυσιολογική) κυψελίδωση αλλά και ψίχα με αυξημένη σκληρότητα. Στην παρούσα πτυχιακή εργασία μελετήθηκαν εκτενέστερα οι έννοιες της κοιλιοκάκης και του μηχανισμού της, η διαδικασία παρασκευής ψωμιού ελεύθερου γλουτένης με την προσθήκη ψύλλιου, η σύσταση του ψύλλιου και η σημαντικότητα των διαιτητικών ινών στο διαιτολόγιο του ανθρώπου, όπως και η έννοια του γλυκαιμικού δείκτη και το πως συσχετίζεται με τις διαιτητικές ίνες.

ABSTRACT

Research efforts on gluten-free bread making have rapidly increased during the last decade not only due to the diagnosed patients, but all consumers in general. Coeliac patients, who must follow a strict gluten-free diet, have a low fiber intake below the recommended levels proposed by international organizations. Even the rest of the population, due to the consumers' preferences for refined bread made from white flour, was accompanied by a decrease in intake of dietary fiber. Psyllium is an excellent source of both soluble and insoluble fibers. It has been in use as a medicinal agent since ancient times, throughout the world and later on its properties became also known in the food industry. The biggest proportion in psyllium husk is carbohydrates ($84.98 \pm 4.26\%$).

The aim of this study was to emphasize and analyze the gluten free bread making process by adding psyllium seed husk (PSH) and how does it influence the viscoelastic properties, due to the ability of psyllium to act as a gelling agent when it binds with water. The quality of the bread is evaluated by its texture and the texture is measured with the texture profile analyser. The final results show that the water/psyllium ratio is very important. A larger bread specific volume was obtained when the hydration of the psyllium was more than the psyllium itself. The crumb texture was softer but the pores were too big. On the other side adding more psyllium gives a bread with very small specific volume, normal pores but bigger crumb hardness. On the next chapters, the meaning of coeliac disease and its mechanism, the steps of gluten free bread making by adding psyllium seed husk will be analysed in detail. Also, the chemical and physical properties of psyllium and the importance of dietary fiber in human nutrition and finally and finally the meaning of glycemic index and how it connects with dietary fibers.

ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ

ΕΥΧΑΡΙΣΤΙΕΣ	3
ΠΕΡΙΛΗΨΗ	4
ABSTRACT	5
ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ	1
ΠΙΝΑΚΑΣ ΣΥΝΤΟΜΟΓΡΑΦΙΩΝ	5
ΠΙΝΑΚΑΣ ΠΙΝΑΚΩΝ	6
ΠΙΝΑΚΑΣ ΕΙΚΟΝΩΝ.....	6
1. ΣΙΤΗΡΑ	9
1.1 Σίτος.....	10
1.2 Δομή	11
1.3 Γλουτένη.....	12
1.4 Αντιδράσεις γλουτένης σίτου στο ζυμάρι	13
1.5 Προσδιορισμός υγρής γλουτένης	14
2. ΑΣΘΕΝΕΙΕΣ ΠΟΥ ΣΥΝΔΕΟΝΤΑΙ ΜΕ ΤΗΝ ΓΛΟΥΤΕΝΗ.....	15
2.1 Γιατί γεννήθηκε η ευαισθησία στην γλουτένη;	16
2.2 Ο Μηχανισμός της κοιλιοκάκης.....	17
2.3 Νομοθεσία	18
2.4 Η διάγνωση της νόσου.....	20

2.5	Θεραπεία.....	20
2.6	Σχετικές Έρευνες	21
3.	ΓΛΥΚΑΙΜΙΚΟΣ ΔΕΙΚΤΗΣ.....	23
3.1	Ταξινόμηση του γλυκαιμικού δείκτη	23
3.2	Τι επηρεάζει τον γλυκαιμικό δείκτη.....	24
3.3	Γλυκαιμικός δείκτης και διαιτητικές ίνες.....	24
4.	ΔΙΑΙΤΗΤΙΚΕΣ ΙΝΕΣ.....	26
4.1	Η “τέλεια” διαιτητική ίνα	26
4.2	Δράσεις στον οργανισμό	27
4.3	Διαιτητικές ίνες και ψωμί χωρίς γλουτένη	28
4.4	Προσθήκη άλλων βελτιωτικών.....	29
4.4.1	Υδροκολλοειδή.....	29
4.4.2	Ιχνοστοιχεία.....	30
4.4.3	Ψευδοδημητριακά	31
4.4.4	Άλευρα ολικής αλέσεως.....	32
4.4.5	Ίνες απο απόβλητα φρούτων και λαχανικών	32
5.	ΨΥΛΛΙΟ.....	34
5.1	Ονομασία και προέλευση	34
5.2	Πρόληψη και διαχείριση ασθενειών.....	35
5.3	Άλλες ιδιότητες.....	36
5.4	Φυσικά χαρακτηριστικά του ψύλλιου	37
5.5	Χημικά χαρακτηριστικά του ψύλλιου	38

6.	ΑΡΤΟΠΟΙΗΣΗ.....	41
6.1	Η ιστορία του άρτου	41
6.2	Παρασκευή άρτου χωρίς γλουτένη.....	41
6.3	Κουρκούτι και Ζύμη.....	42
6.4	Συνταγή.....	43
6.4.1	Άλευρο και ρυζιού.....	46
6.4.2	Άλευρο και άμυλο αραβοσίτου	46
6.4.3	Άμυλο πατάτας.....	47
6.4.4	Μαγιά	47
6.4.5	Σάκχαρα.....	48
6.4.6	Αλάτι	48
6.4.7	Λιπαρά.....	49
6.4.8	Νερό	49
6.5	Στάδια αρτοποιήσης	50
6.5.1	Ανάμιξη συστατικών.....	50
6.5.2	Διαίρεση ζυμαριού	51
6.5.3	Μορφοποίηση ζυμαριού.....	51
6.5.4	Ζύμωση	52
6.5.5	Ωρίμανση – Διόγκωση ζυμαριού	52
6.5.6	Κλιβανισμός	53
6.5.7	Ψύξη	53
6.1.1	Ποιοτικά χαρακτηριστικά ψωμιού	56

6.1.2	Υφή της ψυχας	56
6.1.3	Δομή της ψυχας.....	58
ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ.....		59
ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ.....		60

ΠΙΝΑΚΑΣ ΣΥΝΤΟΜΟΓΡΑΦΙΩΝ

Αλεύρι ολικής αλέσεως (WWF = Whole Wheat Flour)

Αραβινοξυλάνη (AX = Araboxylans)

Αραβοξαλανό-ολιγοσακχαρίτες (AXOS = ArabinoXylan-OligosaccharideS)

Γλυκαιμικός δείκτης (GI = Glycemic Index)

Δευτερόλεπτα (Second = sec)

Ελεύθερο γλουτένης (GF = Gluten Free)

Ιστική τρανσγλουταμινάση (tTG = tissue Trans Glutaminase)

Καρβοξυμεθυλοκυτταρίνη (CMC = Carboxymethyl cellulose)

Κόμμι χαρουπιού (LBG = Locust Bean Gum)

T κυτταρικός υποδοχέας (TCR)

Υδροξυπροπυλομεθυλική κυτταρίνη (MC = methyl cellulose)

Υδροξυπροπυλομεθυλοκυτταρίνη (HPMC = Hydroxypropyl methylcellulose)

Φλοιός του σπόρου ψύλλιο (PSH = Psyllium Seed Husk)

ΠΙΝΑΚΑΣ ΠΙΝΑΚΩΝ

Πίνακας 1: Άρθρα για άρτους ελεύθερων γλουτένης ανά έτος δημοσίευσης.....	22
Πίνακας 2: Φυσικά χαρακτηριστικά του ψύλλιου	38
Πίνακας 3: Χημικά χαρακτηριστικά του ψύλλιου	39
Πίνακας 4: Πρότυπη κι εμπλουτισμένη συνταγή.....	44
Πίνακας 5 :Αναλογίες ψύλλιο/νερό	45

ΠΙΝΑΚΑΣ ΕΙΚΟΝΩΝ

Εικόνα 1: :Καρύωση Σίτου με εγκάρσια τομή	11
Εικόνα 2: Δίκτυο γλουτένης ηλεκτρονικής σάρωσης: Α) Στο αρχικό Β) Στο μεσαίο και Γ) Στο τελικό στάδιο δημιουργίας της ζύμης	13
Εικόνα 3: Ασθένειες που συνδέονται με την γλουτένη.....	15
Εικόνα 4: Στα αριστερά υγιείς λάχνες και δεξιά ατροφικές λάχνες από άτομο που πάσχει από κοιλιοκάκη.....	18
Εικόνα 5: Σήμα προϊόντος ελεύθερου γλουτένης	19
Εικόνα 6: Φυτό Plantago Ovata	34
Εικόνα 7: Σπόροι ψύλλιου	36
Εικόνα 8: Φλοιός του σπόρου ψύλλιο	40
Εικόνα 9: Δείγματα ψωμιού ελεύθερου γλουτένης με διαφορετικές % αναλογίες ψύλλιο/νερό a) 0/0 b) 0,9/15 c) 5/10 d) 2,5/30.....	54
Εικόνα 10: Δείγματα ψωμιού ελεύθερου γλουτένης με διαφορετικές % αναλογίες ψύλλιο/νερό e) 7,5/20 f) 3,4/25 g) 4,3/22,5 h) 5,8/8,75	55

ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Η γλουτένη είναι η πολύπλοκη δομή που σχηματίζεται στο σιτάρι, υπεύθυνη για τις ιξωδοελαστικές ιδιότητες, που χρειάζονται για την παραγωγή καλής ποιότητας ψημένων προϊόντων. Οι αλληλεπιδράσεις των γλοιαδινών και των γλουτενινών μέσω ομοιοπολικών και μη δεσμών για να σχηματίσουν σύμπλοκα γλουτένης οδηγούν σε μια ιξωδοελαστική ζύμη, που έχει την ικανότητα να αντέχει σε καταπονήσεις που εφαρμόζονται κατά την ανάμιξή της και να κατακρατά αέρια κατά τη διάρκεια της ζύμωσης και του ψησίματος, παράγοντας ένα ελαφρύ ψημένο προϊόν (Mariotti *et al.*, 2009).

Η γλουτένη χωρίζεται σε δύο κλάσματα τις γλουτενίνες και γλοιαδίνες. Η γλοιαδίνη είναι ανίκανη να δημιουργήσει δομικό πλέγμα, έχοντας καμία σημαντική επίδραση στην δύναμη της ζύμης, αλλά συνεισφέρει σημαντικά στο ιξώδες και την εκτατότητα της ζύμης. Σε αντίθεση με την γλουτενίνη που χαρακτηρίζεται ως ένα πολύπλοκο πολυμερικό δίκτυο, το οποίο είναι υπεύθυνο για την δύναμη και την ελαστικότητα της ζύμης. Γι' αυτό το λόγο η γλουτενίνη προσδιορίζει τη σχηματική δομή και συνεπώς την ποιότητα του ψωμιού (Kittisuban *et al.*, 2014).

Ένα μεγάλο ποσοστό ανθρώπων πάσχει από αλλεργία στην γλουτένη, ασθένεια κατά την οποία η φυσιολογία του εντέρου διαταράσσεται μετά από την κατανάλωση τροφίμων που περιέχουν γλουτένη. Η ασθένεια αυτή ονομάζεται κοιλιοκάκη και εμφανίζεται στην Ευρώπη συγκεκριμένα, με συχνότητα 0,3% και 2%, ανάλογα με τη γεωγραφική περιοχή (De la Hera *et al.*, 2013). Το ποσοστό αυξάνεται με τα χρόνια όλο και περισσότερο, με αποτέλεσμα η πάθηση αυτή να γίνεται όλο και πιο γνωστή. Επί του παρόντος, η μόνη θεραπεία για την κοιλιοκάκη είναι διαιτητική. Αυτό σημαίνει ότι η πλήρης εξάλειψη όλων των πηγών της γλουτένης είναι αναγκαία, καθιστώντας δύσκολο να επιλέξουν και να προετοιμάσουν τα τρόφιμα οι ασθενείς.

Η δίαιτα ελεύθερη γλουτένης μπορεί να είναι μονότονη, δαπανηρή και χρονοβόρα (Zandonadi *et al.*, 2009). Η αντικατάσταση της γλουτένης σε προϊόντα αρτοποιίας είναι μια μεγάλη τεχνολογική πρόκληση, καθώς είναι η βασική δομή για την οικοδόμηση της πρωτεΐνης. Η απομάκρυνση της μειώνει την ικανότητα της ζύμης να αναπτυχθεί σωστά κατά τη διάρκεια του ζυμώνματος, να διογκωθεί και τελικά να ψηθεί σωστά. Η απουσία της

γλουτένης συχνά καταλήγει σε ένα υγρό κουρκούτι και όχι μια ζύμη, οδηγώντας σε ψωμιά με πολλά ελαττώματα στη ποιότητά τους. (Mariotti *et al.*, 2009). Πιθανοί τρόποι για να δημιουργηθεί μια φυσική δομή παρόμοια με της γλουτένης στη ζύμη και να ενισχυθεί η διατροφική περιεκτικότητα περιλαμβάνει την αντικατάσταση του άμυλου με τη χρήση διαιτητικών ινών, που αποτελούνται από σύνθετους υδατάνθρακες, ανθεκτικό άμυλο και λιγνίνη (Zandonadi *et al.*, 2009; Tsatsaragkou *et al.*, 2014).

Οι διαιτητικές ίνες χαρακτηρίζονται από ποικίλες επιδράσεις, οι οποίες οφείλονται στο γεγονός ότι αποτελούνται από διάφορα συστατικά, το κάθε ένα με τα δικά του ιδιαίτερα χαρακτηριστικά. Για αυτό το λόγο, οι διαιτητικές ίνες δεν μπορούν να θεωρηθούν ως μια ομοιογενή τάξη ενώσεων (Συντώσης, 2007). Το ψύλλιο (*Plantago ovata Forsk*) από την άλλη πλευρά είναι ένα ετήσιο φυτό το οποίο καλλιεργείται κυρίως στην Ινδία (Graeyveld *et al.*, 2009). Το ψύλλιο εκτός του ότι είναι μια εξαιρετική πηγή φυσικής διαλυτής ίνας, χρησιμοποιείται επίσης σε όλο τον κόσμο για τη θεραπεία πολλών γαστρεντερικών διαταραχών (Rao *et al.*, 2016). Ο φλοιός του σπόρου ψύλλιο έχει το υψηλότερο επίπεδο (περίπου 70%) των διαλυτών ινών (Cappa *et al.*, 2013). Ωστόσο, ο σχεδιασμός ενός του εμπλουτισμένου παραδοσιακού αρτοσκευάσματος με διαιτητικές ίνες, όπως το ψωμί, βρίσκει τους καταναλωτές να μην δέχονται ψωμιά με μειωμένο όγκο και σκληρή ψίχα συνοδευόμενη από ιδιαίτερες γεύσεις. Με τις φυσικοχημικές ιδιότητες του ψύλλιου παράγεται ένα ψωμί ελεύθερο γλουτένης (GF) με αυξημένο όγκο, μόνο όταν αυτό χρησιμοποιηθεί στις σωστές αναλογίες.

1. ΣΙΤΗΡΑ

Οι σπόροι δημητριακών αποτελούν σημαντική πηγή ενέργειας σε παγκόσμιο επίπεδο. Το σιτάρι στην Ευρώπη, είναι ο σπόρος με την μεγαλύτερη ζήτηση. Αρχικά το ψωμί και τα ζυμαρικά ήταν στοιχειώδη στην καθημερινή διατροφή. Έπειτα τα μπισκότα, τα δημητριακά πρωινού και σνακ εμφανίστηκαν στο εμπόριο με πολύ μεγάλη κατανάλωση. Τα δημητριακά βασίζονταν, στην αρχή, σε ολικής αλέσεως αλεύρι. Αλεύρι ονομάζουμε το απαλλαγμένο από φλοιούς και φύτρα προϊόν άλεσης των καρπών των δημητριακών. Το αλεύρι περιέχει νερό, ανόργανα συστατικά, λίπος, λευκώματα, άμυλο, ένζυμα, οξέα. Έχει υγρασία 11-68% ενώ τα ανόργανα συστατικά του αποτελούνται κυρίως από φωσφορικές ενώσεις. Το λίπος βρίσκεται στο φύτρο του κόκκου ενώ το κύριο λεύκωμα (πρωτεΐνη) του αλεύρου είναι η γλουτένη. (Βαρζάκας, 2014).

Το 1900, μαζί με την εκβιομηχάνιση ήρθε μαζί και η ανάπτυξη της αλευροποιίας, η οποία οδήγησε σε αύξηση της παραγωγής διυλισμένων λευκών αλεύρων και το διαχωρισμό των εξωτερικών στρωμάτων του πιτύρου από τον πυρήνα, κυρίως για να χρησιμοποιηθεί ως ζωοτροφή ή βιοκαύσιμο (Κεφαλάς, 2009). Αυτός ο εξευγενισμός ο οποίος οδηγείται από υποβοηθούμενη επεξεργασία, η ασφάλεια των τροφίμων και οι προτιμήσεις των καταναλωτών για το άσπρο αλεύρι, είχε ως αποτέλεσμα μια μείωση στην πρόσληψη διαιτητικών ινών και σε θρεπτικές ουσίες που υπάρχουν στο ολικής αλέσεως αλεύρι. Στο δυτικό κόσμο, λόγω της αυξανόμενης ευημερίας και της άφθονης διαθεσιμότητας των τροφίμων, το λευκό αλεύρι σιταριού έγινε το πρότυπο των πρώτων υλών για τη βιομηχανία δημητριακών με βάση το σιτάρι, οδηγώντας σε προϊόντα και σε διαδικασία ανάπτυξης των προϊόντων εξευγενισμένου σιταριού. Εκτός από τη βελτίωση της υγείας, η χρήση των προϊόντων ολικής αλέσεως για την ανθρώπινη διατροφή συμβάλλει επίσης και στην επισιτιστική ασφάλεια και τη βιώσιμη παραγωγή τροφίμων (Heinio *et.al*, 2016).

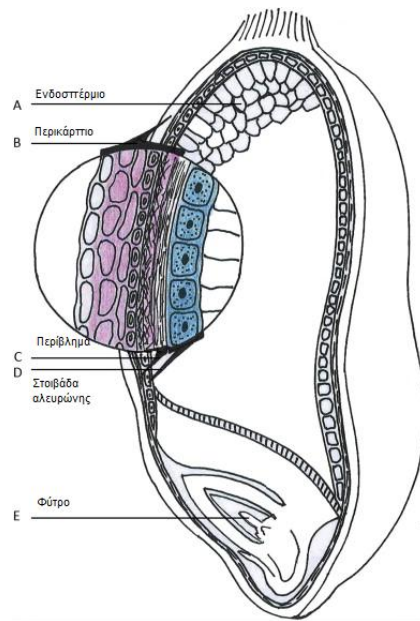
1.1 Σίτος

Όπως προαναφέρθηκε το σιτάρι χρησιμοποιείται συνηθέστερα από τα υπόλοιπα σιτηρά. Αυτό συμβαίνει διότι είναι το σπουδαιότερο, λόγω της ποικιλίας και της σπουδαιότητας των προϊόντων που παράγονται από αυτό. Από το σιτάρι είναι γνωστά 15 είδη, από τα οποία μόνο τα 3 έχουν εμπορική ονομασία:

α)το μαλακό σιτάρι (*Triticum aestivum* ή *Triticum vulgare*) από τις ποικιλίες του οποίου λαμβάνεται το κοινό άσπρο αλεύρι αρτοποιίας. Έχει μαλακή δομή και σε τομή του κόκκου το ενδοσπέρμιο συνήθως είναι αλευρώδες. Ανάλογα με την ποικιλία, το χρώμα του ακέραιου κόκκου, μπορεί να έχει απόχρωση προς το άσπρο ή προς το κόκκινο.

β)το σκληρό σιτάρι (*Triticum durum*) γνωστό διεθνώς ως «durum». Από τις διάφορες ποικιλίες του λαμβάνονται σιμιγδάλια για την παρασκευή ζυμαρικών. Οι κόκκοι του είναι πολύ σκληροί και η τομή του ενδοσπερμίου υαλώδης. Χρησιμοποιούνται οι ποικιλίες των οποίων η απόχρωση των κόκκων είναι προς το άσπρο, ενώ οι ποικιλίες με κόκκινη απόχρωση προορίζονται κυρίως για ζωοτροφές.

γ)το *Triticum compactum*. Έχει μαλακή δομή και χαμηλότερο από τα άλλα πρωτεϊνικό περιεχόμενο. Το αλεύρι χρησιμοποιείται για ορισμένα μόνο παρασκευάσματα για τα οποία απαιτείται πολύ χαμηλό ποσοστό πρωτεΐνης και αδύνατη γλουτένη. Τα χαρακτηριστικά αυτά μπορούν να επιτευχθούν με κατάλληλους χειρισμούς στο αλεύρι από μαλακό σιτάρι και στη συνταγή του παρασκευάσματος, για αυτό η χρήση του είναι περιορισμένη (Σαμπάνης, 2010, Βαρζάκας, 2014).



*Εικόνα 1: :Καρύωση Σίτου με εγκάρσια τομή
(Trojan et al., 2014)*

1.2 Δομή

Με την παρατήρηση ενός σπόρου με εγκάρσια τομή (Εικόνα 1) είναι δυνατόν να γίνει μια πρώτη ταξινόμηση. Το σχήμα του διακρίνεται σε ελλειψοειδές, ελλειπτικό, ωοειδές ανάλογα με την ποικιλία του καρπού, τη θέση του καρπού πάνω στο στάχυ και από τις συνθήκες της περιοχής καλλιέργειας. Από την μορφολογία κόκκου του σιταριού διακρίνονται 3 βασικά μέρη:

- 1) Το πίτυρο: Αποτελεί περίπου το 13-15% του όλου σπόρου και επιμερίζεται σε τρεις στοιβάδες: το περικάρπιο ή φλοιό, το επισπέρμιο και τη στοιβάδα της αλευρόνης. Περιέχει το μεγαλύτερο μέρος της κυτταρίνης και της τέφρας του σπόρου.

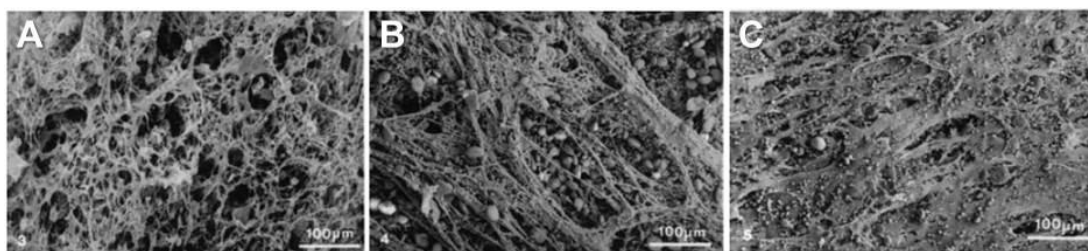
- 2) Το φύτρο: Αποτελεί το 2% του σπόρου των δημητριακών και χωρίζεται από το ενδοσπέρμιο με μία μεμβράνη, που λέγεται "ασπίδιο". Κατά την άλεση, το αποχωριζόμενο φύτρο έχει προσκολλημένο πάνω του το ασπίδιο. Είναι πλούσιο σε έλαιο, πρωτεΐνες, ανόργανα άλατα και βιταμίνες, ενώ δεν περιέχει άμυλο.
- 3) Το ενδοσπέρμιο: Αποτελεί το μεγαλύτερο μέρος του σπόρου (περίπου 84%). Συνιστά το αλευρώδες τμήμα από το οποίο προέρχεται το άλευρο, και περιέχει το μεγαλύτερο ποσοστό του αμύλου (Σαμπάνης, 2010).

1.3 Γλουτένη

Η γλουτένη είναι μια πρωτεΐνη που υπάρχει στο αλεύρι σε ποσοστό 25-30%. Η πρωτεΐνη του σίτου έχει πολύ μεγάλη σημασία στην αρτοποιία και την ζαχαροπλαστική. Η ιδιότητα της πρωτεΐνης του σίτου να προσδίδει στο ζυμάρι συνεκτικότητα και ελαστικότητα αποδίδεται στη γλουτένη, η οποία είναι και η κύρια αποθηκευτική πρωτεΐνη του κόκκου. Έτσι το αλεύρι σίτου μπορεί να αναμειχθεί με νερό και να δώσει ζυμάρι με τις ίδιες ιδιότητες. Η συνεκτικότητα και η ελαστικότητα του ζυμαριού, μας δίνει τη δυνατότητα να το εκτείνουμε σε λεπτό φύλλο ή να το πλάσουμε σε καρβέλι, το οποίο στη συνέχεια μπορεί να διογκωθεί καθώς και να εκταθεί και προς τις τρεις διαστάσεις κάτω από την πίεση του παραγόμενου, μέσα στη μάζα του, CO₂ (Κεφαλάς, 2009). Η γλουτένη αποτελεί περίπου το 80% της πρωτεΐνης του σίτου και αποτελείται από δυο κλάσματα την γλουτενίνη και την γλοιαδίνη. Στις πρωτεΐνες της γλοιαδίνης και ειδικότερα σε εκείνες που περιέχουν θείο, οφείλεται η ελαστικότητα της γλουτένης (και κατά συνέπεια του ζυμαριού). Στη λιγότερο διαλυτή γλουτενίνη και ειδικότερα στις υπομονάδες της γλουτενίνης με μεγάλο μοριακό βάρος, οφείλεται η αντίσταση που προβάλλει η γλουτένη όταν εκτείνεται. Από τις υπομονάδες αυτές εξαρτάται και ο χρόνος ανάμειξης που απαιτείται για να αποκτήσει το ζυμάρι τη μέγιστη συνεκτικότητα. Οι πρωτεΐνες των άλλων σιτηρών δεν έχουν την ικανότητα σχηματισμού συνεκτικού και ελαστικού ζυμαριού που έχει η γλουτένη του σίτου (Kittisuban *et al.*, 2014).

1.4 Αντιδράσεις γλουτένης σίτου στο ζυμάρι

Κατά την ανάμειξη του σιτάλευρου με νερό στο ζυμωτήριο γίνεται στην αρχή εκδίπλωση της πεπτιδικής αλυσίδας της γλουτένης (εικόνα 2), η οποία στην κανονική της μορφή παρουσιάζει αναδιπλώσεις. Οι αναδιπλώσεις αυτές κρατιούνται στη θέση τους με διαφόρων ειδών εγκάρσιους δεσμούς όπως είναι οι ιονικοί δεσμοί, οι δεσμοί υδρογόνου, οι δισουλφιδικοί δεσμοί (Κεφαλάς, 2009). Από αυτούς τους δεσμούς πολύ μεγάλη σημασία για την γλουτένη έχουν οι δισουλφιδικοί δεσμοί ή δισουλφιδικές γέφυρες. Αυτοί σχηματίζονται με απόσπαση δύο ατόμων υδρογόνου από τις σουλφυδρυλικές ομάδες δύο κυστεϊνών. Οι κυστεΐνες αυτές βρίσκονται σε απομακρυσμένες θέσεις στην πεπτιδική αλυσίδα, αλλά καθώς αυτή αναδιπλώνεται βρίσκονται η μια απέναντι από την άλλη. Στη θέση αυτή με την επίδραση οξειδωτικών παραγόντων, απομακρύνονται τα υδρογόνα των απέναντι ευρισκόμενων σουλφυδρυλικών ομάδων και ενώνονται τα δύο άτομα θείου μεταξύ τους συγκρατώντας τις δύο κυστεΐνες με δισουλφιδικό δεσμό. Οι αντιδράσεις αυτές γίνονται στο φυτό και με τους δισουλφιδικούς και τους άλλους εγκάρσιους δεσμούς σταθεροποιείται το σχήμα της πρωτεΐνης. Ειδικά όμως στη γλουτένη οι δισουλφιδικοί δεσμοί έχουν την δυνατότητα να αλλάζουν θέσεις λαμβάνοντας μέρος σε αντιδράσεις ανταλλαγής μεταξύ τους. Οι αντιδράσεις ανταλλαγής είναι υπεύθυνες για τις μοναδικές ιδιότητες της γλουτένης του σίτου που περιεγράφηκαν πιο πάνω (Κεφαλάς, 2009).



Εικόνα 2: Δίκτυο γλουτένης από ηλεκτρονικής σάρωσης μικροσκόπιο: Α) Στο αρχικό Β) Στο μεσαίο και Γ) Στο τελικό στάδιο δημιουργίας της ζύμης

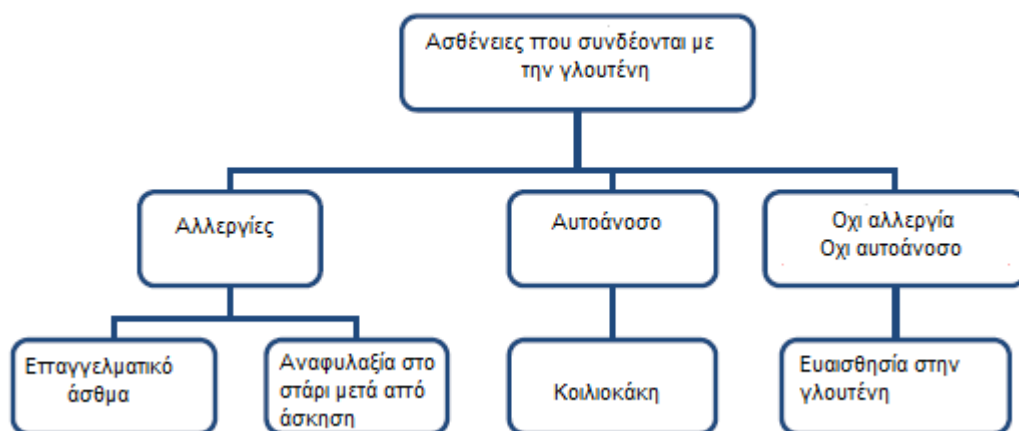
1.5 Προσδιορισμός υγρής γλουτένης

Ο προσδιορισμός της υγρής γλουτένης βασίζεται στον σχηματισμό αδιάλυτης μάζας της ενυδατωμένης γλουτένης, η οποία αποχωρίζεται από τα υπόλοιπα συστατικά του αλεύρου. Η διαδικασία AACCI Method 38-12.02 είναι η εξής: αλεύρι ορισμένης ποσότητας αναμειγνύεται με νερό μέχρι να σχηματισθεί ένα ελαστικό ζυμάρι. Το ζυμάρι αυτό στη συνέχεια εκπλύνεται με τρεχούμενο νερό, ενώ μαλάσσεται συνεχώς με το χέρι, μέχρις ότου εκπλυθεί το άμυλο και τα άλλα υδατοδιαλυτά συστατικά και παραμένει μάζα εύπλαστη ελαστική και κολλώδης. Η μάζα αυτή είναι η υγρή γλουτένη. Η λαμβανόμενη υγρή γλουτένη ζυγίζεται και κατόπιν ελέγχονται οι ιδιότητές της, όπως το χρώμα και η ελαστικότητα. Στη συνέχεια ξηραίνεται και ζυγίζεται οπότε προσδιορίζεται η ξηρή γλουτένη (Βαρζάκας, 2014).

2. ΑΣΘΕΝΕΙΕΣ ΠΟΥ ΣΥΝΔΕΟΝΤΑΙ ΜΕ ΤΗΝ ΓΛΟΥΤΕΝΗ

Τρεις παθολογικές ασθένειες σχετίζονται με την πρόσληψη γλουτένης, οι οποίες δείχνουν να αυξάνονται σε σημαντικότητα με τον καιρό (εικόνα 3): i) οι τροφικές αλλεργίες που επηρεάζουν το 0.2-0.5% του πληθυσμού, αλλά έχουν ισχυρότερες κλινικές επιπτώσεις, ii) η κοιλιοκάκη, η οποία είναι μια αυτοάνοση διαταραχή που προκαλείται από την κατάποση γλουτένης (από 0,1% έως 1,6%), και iii) η ευαισθησία στη γλουτένη, μια παθολογική δυσανεξία στη γλουτένη που έχει πρόσφατα ανακαλυφθεί, η οποία αποκλείει την κοιλιοκάκη και την αλλεργία στο σίτο, με εκτιμώμενο επιπολασμό του 6% για τον πληθυσμό των ΗΠΑ (Rosell *et al.*, 2013; Mancebo *et.al*, 2015).

Τα άτομα που πάσχουν από κοιλιοκάκη, όταν καταναλώσουν γλουτένη αντιδρούν υπερβολικά με εμετό, διάρροια, κολικούς εντέρου και αφόρητους πόνους στην κοιλιακή χώρα. Η χρόνια φλεγμονή του λεπτού εντέρου οδηγεί στην ατροφία των εντερικών λαχνών (εικόνα 3) (Τζιούβας *et al.*, 2008). Τα συμπτώματα, σπάνια μπορεί να οδηγήσουν το άτομο στο νοσοκομείο, αλλά μετά από απλή αγωγή (παυσίπονα) υπάρχει ύφεση των συμπτωμάτων. Ενίοτε μπορεί να απουσιάζουν τα συμπτώματα εντελώς και το άτομο να μην νιώθει απολύτως καμία ενόχληση (Βαρζάκας, 2014).



Εικόνα 3: Ασθένειες που συνδέονται με την γλουτένη(Rosell *et al.*, 2013)

2.1 Γιατί γεννήθηκε η ευαισθησία στην γλουτένη;

Το ερώτημα είναι γιατί ένας πληθυσμός που προηγουμένως δεν αντιμετώπιζε κανένα πρόβλημα με την πρόσληψη γλουτένης, εμφανίζει δυσανεξία στις πρωτεΐνες γλουτένης. Όλα ξεκινάνε από τους γενετικούς και τους περιβαλλοντικούς παράγοντες. Ειδικότερα οι γενετικοί, είναι σταθεροί για μεγάλες χρονικές περιόδους. Οι μολύνσεις και οι διατροφικές συνήθειες ίσως είναι επίσης υπεύθυνες. Οι διατροφικές συνήθειες έχουν αλλάξει δραματικά τις τελευταίες δεκαετίες και επηρεάστηκαν από την τεχνολογία δημητριακών και την επεξεργασία τους. Επομένως τα ποσοστά πρόσληψης γλουτένης αυξήθηκαν λόγω της χρήσης επεξεργασμένων τροφίμων, πιο συγκεκριμένα των “fast food” (Cabrera-Chavez *et al.*, 2010).

Συνεπώς, αναφέρεται ότι το υψηλό ποσοστό πρόσληψης γλουτένης, συνδέεται με την αύξηση της κοιλιοκάκης καθώς η γλουτένη είναι «κρυμμένη» σε διάφορες τροφές. Το ψωμί, τα ζυμαρικά, τα κέικ, τα μπισκότα είναι από τα εμφανή που ο καταναλωτής μπορεί να γνωρίζει. Επίσης, το κακάο, τα κορν-φλέικς, οι σοκολάτες, τα παγωτά, οι σάλτσες, τα αλλαντικά, τα μπιφτέκια, οι γκοφρέτες, οι τσίχλες, οδοντόκρεμες, καλλυντικά, φάρμακα και άλλα είδη καθημερινής χρήσης (Βαρζάκας, 2014).

Για αυτό το λόγο προκειμένου να τροποποιηθούν οι πρωτεΐνες της γλουτένης, έτσι ώστε να παραχθεί ένα προϊόν κατάλληλο για τους ασθενείς της κοιλιοκάκης, είναι απαραίτητο να εξεταστούν οι αλλαγές στην τεχνολογία τροφίμων των τελευταίων δεκαετιών, όπως και οι τρέχουσες γνώσεις για την κοιλιοκάκη (Cabrera-Chavez *et al.*, 2010). Άτομα με δυσανεξία στη γλουτένη πρέπει, για να ανακάμψουν πλήρως, να μην καταναλώνουν γλουτένη, παράγωγα γλουτένης και ίχνη γλουτένης. Ίχνη γλουτένης εννοούμε να μην έχουν χρησιμοποιηθεί τα ίδια σκεύη σε ετοιμασία φαγητών που έχουν γλουτένη (Βαρζάκας, 2014).

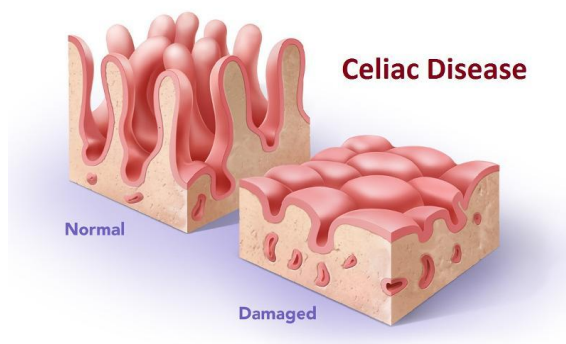
2.2 Ο Μηχανισμός της κοιλιοκάκης

Η γενετική προδιάθεση, αποτελεί απαραίτητη προϋπόθεση για το μηχανισμό της κοιλιοκάκης, και είναι κύρια συνδεδεμένη με μερικά γονίδια του συστήματος HLA και πιο συγκεκριμένα με τους γονοτύπους DQ2 και DQ8. Οι γονότυποι αυτοί είναι παρόντες στο 95-98% των ατόμων με κοιλιοκάκη. Η παρουσία συγκεκριμένων ανοσογονικών πεπτιδίων, που ονομάζονται πεπτίδια γλουτένης, τα οποία προκαλούν αντίσταση στην διαδικασία της πέψης, μεταφέρονται κατά μήκος του επιθηλιακού φραγμού στην υποβλεννογόνο στοιβάδα, λόγω της αυξημένης διαπερατότητας και δυσλειτουργίας των στενών συνδέσεων μεταξύ των εντεροκυττάρων. Όταν έχει προηγηθεί λοίμωξη του εντερικού βλεννογόνου από ιούς ή βακτηρία, η εντερική διαπερατότητα είναι αυξημένη.

Μόλις βρεθούν στο εσωτερικό, τα πεπτίδια γλουτένης απαμιδώνονται με την ιστική τρανσγλουταμινάση (tTG). Η γλοιαδίνη είναι ένα εξαιρετικό υπόστρωμα για το ένζυμο ιστική τρανσγλουταμινάση. Ακολουθεί η διήθηση από φλεγμονώδη κύτταρα, κυρίως CD4+ λεμφοκυττάρων στην υποβλεννογόνο στοιβάδα και CD8+ λεμφοκυττάρων και CD4-CD8- T λεμφοκυττάρων στο εντερικό επιθήλιο. Αυτό δημιουργεί νέα επιτόπια τα οποία είναι αποτελεσματικά δεσμευμένα στο σύστημα HLA-DQ2 ή DQ8. Το HLA-DQ2 προτιμά αρνητικά φορτισμένα αμινοξέα στις P4, P6 και P7 θέσεις στο πεπτίδιο (PQPELPYPQ, PFPQPELPY ή PQQSFPQE), ενώ το HLA-DQ8 προτιμά τα αρνητικά φορτισμένα κατάλοιπα στη θέση P1 ή P9 (EGSFQPSQE).

Το βασικό αντιγονικό πεπτίδιο αποτελείται από μια αλυσίδα 33 αμινοξέων, πλούσια σε γλουταμίνη και προλίνη και δρα σαν ενεργοποιητής των Th1 CD4+ λεμφοκυττάρων. Η απαμίνωση αυτού του πεπτιδίου από την ιστική τρανσγλουταμινάση αυξάνει την συνάφεια του για τον T κυτταρικό υποδοχέα (TCR) και οδηγεί στην ενεργοποίηση των ειδικών λεμφοκυττάρων γλουτένης CD4+. Η ανοσολογική ανταπόκριση κυτταρικής ανοσίας (Th1) και άρα η παραγωγή INF- γ οδηγούν στην παραγωγή μέταλλο-πρωτεΐνών από τους ινοβλάστες και στην ενεργοποίηση των ιστικών μακροφάγων. Αυτά με την σειρά τους καταστρέφουν την εξωκυττάρια αρχιτεκτονική δομή προκαλώντας περαιτέρω είσοδο αντιγόνων και νέκρωση των εντεροκυττάρων. Συγχρόνως, μερικά Th2 CD4+ λεμφοκύτταρα καθοδηγούν την ενεργοποίηση και κλωνική ανάπτυξη συγκεκριμένων B λεμφοκυττάρων και

την παραγωγή αντισωμάτων έναντι της γλοιαδίνης και της ιστικής τρανσγλουταμινάσης. Το αποτέλεσμα, είναι μια φλεγμονώδης διαδικασία με διαφορετικές ιστολογικές εικόνες που φτάνουν έως βλάβες (αναστρέψιμες) στον εντερικό βλεννογόνο, όπως είναι η ατροφία των λαχνών (Εικόνα 4) (Cabrera-Chavez *et al.*, 2010, Τζιούβας *et al.*, 2008).



Εικόνα 4: Στα αριστερά υγιείς λάχνες και δεξιά ατροφικές λάχνες από άτομο που πάσχει από κοιλιοκάκη (Woods, 2015)

2.3 Νομοθεσία

Καθώς η ποσότητα της γλουτένης που μπορεί να αντέξει ένας ασθενής που πάσχει από κοιλιοκάκη ποικίλει δεν είναι ανάγκη να υπάρχει ένα συγκεκριμένο όριο πρόσληψης. Η ημερήσια πρόσληψη, λιγότερο από 10 mg γλουτένης, είναι πιθανό να μην δημιουργήσει κάποιο σημαντικό σύμπτωμα. Η δίαιτα είναι δύσκολο να διατηρηθεί, διότι η διαθεσιμότητα προϊόντων είναι μικρή και το κόστος υψηλό. Επίσης η ποιότητα είναι φτωχή, όσον αφορά τη γεύση και τα οργανοληπτικά χαρακτηριστικά. Ακόμη σε πολλά προϊόντα, όπως έτοιμες σάλτσες, παγωτά και ποτά είναι δύσκολο να αναγνωρισθεί η ύπαρξη γλουτένης και μόνο η σχετική πληροφορία στην ετικέτα της συσκευασίας εξασφαλίζει τον ασθενή. (Βαρζάκας). Ο Codex Alimentarius όπως και η Ευρωπαϊκή Νομοθεσία σύμφωνα με τον εκτελεστικό κανονισμό (ΕΕ) αριθ. 828/2014 της επιτροπής της 30ής Ιουλίου 2014 έχουν θέσει κατώτατο όριο στα 20 mg γλουτένης/kg σε κάθε προϊόν. Προϊόντα 100 mg/kg μπορούν να δηλωθούν ως «χαμηλά σε γλουτένη». Πιο αναλυτικά:

Χωρίς γλουτένη: Η ένδειξη «χωρίς γλουτένη» μπορεί να χρησιμοποιείται μόνον όταν τα τρόφιμα, όπως διατίθενται στον τελικό καταναλωτή, δεν περιέχουν περισσότερο από 20 mg/kg γλουτένη.

Πολύ χαμηλή ποσότητα γλουτένης: Η ένδειξη «πολύ χαμηλή ποσότητα γλουτένης» μπορεί να χρησιμοποιείται μόνον όταν τα τρόφιμα, τα οποία αποτελούνται ή περιέχουν ένα ή περισσότερα συστατικά από σιτάρι, σίκαλη, κριθάρι, βρώμη ή διασταυρωμένες ποικιλίες τους και έχουν υποβληθεί σε ειδική επεξεργασία για τη μείωση της γλουτένης, δεν περιέχουν περισσότερο από 100 mg/kg γλουτένη στα τρόφιμα όπως διατίθενται στον τελικό καταναλωτή.

Τρόφιμα που περιέχουν βρώμη: Η περιεκτικότητα της βρώμης σε γλουτένη δεν πρέπει να υπερβαίνει τα 20 mg/kg. Η προετοιμασία της πρέπει να είναι ειδική, έτσι ώστε να αποφεύγεται η ανάμειξη με σιτάρι, σίκαλη, κριθάρι, ή διασταυρωμένες ποικιλίες τους (Codex Alimentarius, 2014).

Ωστόσο, παρά την αυστηρή νομοθεσία, ασθενείς που πρέπει να ακολουθούν κατά γράμμα την δίαιτα χωρίς γλουτένη, είναι πιθανό να καταναλώσουν μεγαλύτερη ποσότητα από αυτή που μπορεί να αντέξει ο οργανισμός. Αυτό συμβαίνει διότι υπάρχουν μολυσμένα προϊόντα και μικρές ποσότητες γλουτένης κρυμμένες στα τρόφιμα, όπως προαναφέρθηκε σε σάλτσες, παγωτά και ποτά που δεν παρουσιάζονται στην ετικέτα. Μια πολύ καλή λύση στο πρόβλημα αυτό, θα ήταν να πωλούνται τα προϊόντα χωρίς γλουτένη με ένα όριο όσο το δυνατόν μικρότερο και να ελέγχονται καλύτερα κατά την παραγωγή τους. Τα προϊόντα αυτά φέρουν κάποιο λογότυπο όπως της εικόνας 5.



Εικόνα 5: Σήμα προϊόντος ελεύθερου γλουτένης (Eufic, 2012)

2.4 Η διάγνωση της νόσου

Η διάγνωση της νόσου γίνεται αρχικά με την ικανότητα του ιατρού να υποπτευθεί την πιθανότητα ύπαρξης του συνδρόμου και κατόπιν με τη λήψη βιοψιών από τον εντερικό βλεννογόνο του δωδεκαδακτύλου και στην ανεύρεση των χαρακτηριστικών για την νόσο αλλοιώσεων και στην υποχώρηση των συμπτωμάτων με αυστηρή δίαιτα ελεύθερης γλουτένης. Τα ιστολογικά ευρήματα στην βιοψία του βλεννογόνου περιλαμβάνουν μη ειδικά ευρήματα, όπως διήθηση από λεμφοκύτταρα, έως πιο ειδικά όπως υπερπλασία κρυπτών και ατροφία των εντερικών λαχνών (εικόνα 4) (Τζιούβας *et al.*, 2008).

2.5 Θεραπεία

Η μόνη θεραπεία για τα άτομα που πάσχουν από κοιλιοκάκη είναι αυστηρή δίαιτα εφ' όρου ζωής. Τα άτομα που πρέπει να τρέφονται με προϊόντα χωρίς γλουτένη πρέπει να επιλέγουν τα τρόφιμά τους με προσοχή. Θα πρέπει επίσης να καταναλώνουν προϊόντα μόνο όταν είναι απόλυτα σίγουροι ότι δεν περιέχουν γλουτένη. Πρέπει να αποφεύγονται αυστηρώς τα αρτοποιήματα, τα ζυμαρικά, τα γλυκά και άλλα. Ενώ για τα άτομα με ήπιας μορφής δυσανεξία μπορούν με την αποφυγή του σιταριού (και του καμούτ), του κριθαριού και της σίκαλης να βελτιώσουν τα συμπτώματα και ταυτόχρονα την ευεξία τους. Με προσοχή, οργάνωση, ενημέρωση και συνεργασία με το γιατρό, οι ασθενείς μπορούν να έχουν μια κανονική ζωή. Υπάρχει πληθώρα νόστιμων και υγιεινών συνταγών οι οποίες θεωρούνται ασφαλείς (Βαρζάκας, 2014). Με τον καιρό όλο και περισσότερες έρευνες βρίσκουν καινούριους τρόπους αφαίρεσης της γλουτένης, τρόφιμα ελεύθερα γλουτένης και συνταγές με καλύτερες και βελτιωμένες τεχνολογικές ιδιότητες. Λαμβάνοντας όμως υπόψη τις αλλαγές στη διατροφή και την μικρή απορροφητικότητα εντερικής λειτουργίας, κατά τη διάρκεια θεραπείας για την κοιλιοκάκη (αποκλεισμός γλουτένης από την διατροφή) μπορεί να αναμένονται σημαντικές μεταβολές στο δείκτη μάζας σώματος. (De la Hera *et al.*, 2013).

Επί αποτυχίας κλινικής βελτίωσης της νόσου μετά την πιστή εφαρμογή της δίαιτας πρέπει να αναθεωρηθεί την διαγνωστική στρατηγική. Αν και υπάρχει μεγάλο ενδιαφέρον για την ανάπτυξη μη διαιτητικής αγωγής, μέχρι σήμερα δεν υπάρχουν αποτελεσματικές εναλλακτικές θεραπείες. Η χρήση ενζύμων που διασπούν τα τοξικά μόρια γλοιαδίνης πρωτού φτάσουν στο δωδεκαδάκτυλο και η προσπάθεια για αναστολή της απαμίνωσης και πρόσδεσης των πεπτιδίων στα HLA DQ2 και HLA DQ8 δεν είναι άμοιρη ανεπιθύμητων ενεργειών (Τζιούβας *et al.*, 2008).

2.6 Σχετικές Έρευνες

Τις τελευταίες δεκαετίες, η γλουτένη έχει προσελκύσει μεγάλη προσοχή λόγω του αυξανόμενου αριθμού των ασθενών που διαγιγνώσκονται με δυσανεξία σε αυτό το κλάσμα της πρωτεΐνης. Επίσης λόγω των βελτιωμένων μεθόδων ανίχνευσης με μεγαλύτερη ευαισθησία και την αυξανόμενη ενημέρωση και ευαισθητοποίηση της ύπαρξης της νόσου. (Rosell *et al.*, 2013). Ανάλογα έχουν αυξηθεί και οι ερευνητικές προσπάθειες για την παρασκευή ψωμιού χωρίς γλουτένη. Πολλές διαφορετικές προσεγγίσεις χρησιμοποιούνται για την βελτίωση της ποιότητας των προϊόντων αυτών. Οι τεχνικές που χρησιμοποιούνται στην έρευνα αυτή ποικίλλουν ευρέως. Τα σχετικά δεδομένα βρέθηκαν από όλα τα ερευνητικά άρθρα από το Web of Science σχετικά με αρτοπαρασκευάσματα χωρίς γλουτένη που δημοσιεύθηκαν από το 2010 μέχρι σήμερα. Είτε συνδέονται με την κοιλιοκάκη ή λόγω μόδας, οι δίαιτες χωρίς γλουτένη προσελκύουν πολλή προσοχή από τα μέσα ενημέρωσης σήμερα.

Μια αναζήτηση της βιβλιογραφίας σχετικά με το θέμα "ψωμί χωρίς γλουτένη" στο Web of Science τον Απρίλιο του 2015 οδηγούσε σε μια λίστα των 655 άρθρων. Μια κριτική εξέταση των τίτλων και των περιλήψεων έγινε για να αποκλείσει όλα τα έγγραφα σχετικά με την ανίχνευση την ποσοτικοποίηση και την αποτοξίνωση γλουτένης, και εκείνες μόνο που περιγράφουν πειράματα σε προϊόντα σίτου. Μια σταδιακή αύξηση παρατηρήθηκε με περίπου 30 άρθρα που δημοσιεύτηκαν το 2008 και το 2009 και περίπου 50 κάθε χρόνο από το 2010 έως το 2013. Το 2014 μια απότομη αύξηση παρατηρείται με 70 άρθρα που έχουν δημοσιευτεί εκείνο το έτος. Αυτή η απότομη αύξηση φαίνεται να συνεχίζεται μέχρι και το 2015.

Λαμβάνοντας υπόψη ότι όλες οι ερευνητικές εργασίες για το ψωμί από σιτάρι χρησιμοποιούν μόνο ένα αρχικό υλικό, ενώ υπάρχουν ερευνητικές εργασίες για GF ψωμιά με πάνω από 20 διαφορετικά άλευρα και άμυλα, ο αριθμός των εγγράφων για ψωμί ελεύθερου γλουτένης από ένα αλεύρι ή πηγή αμύλου είναι ακόμα πιο περιορισμένη. Τέλος η βιβλιογραφία σε ο,τι αφορά τον εμπλουτισμό GF ψωμιού απο διαιτητικές ίνες περιείχε: την β-γλυκάνη (από κριθάρι ή βρώμη), το ψύλλιο, την πηκτίνη, την ινουλίνη, τις φρουκτάνες, την πολυδεξτρόζη και ίνες από: μπαμπού, πατάτα, αρακά και ζαχαρότευτλα. (Masure *et. al*, 2016). Στην παρούσα εργασία μελετήθηκε το GF ψωμί με προσθήκη διαιτητικών ινών και αλεύρων χωρίς γλουτένη.

Πίνακας 1: Άρθρα για άρτους ελεύθερων γλουτένης ανά έτος δημοσίευσης



Η αύξηση δημοσιεύσεων των άρθρων σχετικά με τα προϊόντα χωρίς γλουτένη από το 2007 μέχρι το 2015 (Masure *et al.*, 2016)

3. ΓΛΥΚΑΙΜΙΚΟΣ ΔΕΙΚΤΗΣ

Ο γλυκαιμικός δείκτης (GI) αποτυπώνει την ευκολία και την ταχύτητα με την οποία ένας υδατάνθρακας διασπάται, 2-3 ώρες μετά την κατανάλωση της τροφής, παρέχοντας μόρια γλυκόζης και ενέργεια στον ανθρώπινο οργανισμό. Η ταξινόμηση των τροφίμων με την βοήθεια του γλυκαιμικού δείκτη έχει χρησιμοποιηθεί ως εργαλείο για την αξιολόγηση στρατηγικής πρόληψης για ασθένειες όπου ο γλυκαιμικός έλεγχος παίζει σημαντικό ρόλο, όπως η παχυσαρκία και ο διαβήτης. Μέχρι στιγμής, οι ασθενείς που πάσχουν από κοιλιοκάκη συμβουλευόνταν να αποφεύγουν τη γλουτένη στη διατροφή τους, αλλά λαμβάνοντας υπόψη μόνο τη διατροφική ποιότητα των προϊόντων χωρίς γλουτένη. Αντ' αυτού μερικές μελέτες δείχνουν μια σημαντική προστατευτική επίδραση έναντι του κινδύνου ανάπτυξης διαβήτη με τη πρόσληψη τροφίμων με χαμηλότερο γλυκαιμικό δείκτη (Eufic, 2006; Σφλώμος, 2011). Επομένως, αφού η κοιλιοκάκη σχετίζεται με την υψηλή συχνότητα εμφάνισης του διαβήτη τύπου I, οι ασθενείς πρέπει να διατηρήσουν καλή γλυκαιμική ρύθμιση, ενώ ταυτόχρονα θα ακολουθούν μια αυστηρή δίαιτα χωρίς γλουτένη (De la Hera *et al.*, 2014).

3.1 Ταξινόμηση του γλυκαιμικού δείκτη

Η πρώτη φορά που αναφέρθηκε ο GI σαν έννοια ήταν τη δεκαετία του '80, όταν έγινε επίσης κατανοητό ότι διαφορετικά τρόφιμα που περιέχουν την ίδια ποσότητα υδατανθράκων δεν έχουν την ίδια επίδραση στα επίπεδα σακχάρου αίματος. Για παράδειγμα, 30 g υδατανθράκων ως ψωμί μπορεί να μην έχουν την ίδια επίδραση με 30 g υδατανθράκων στα φρούτα ή στα ζυμαρικά. Με τον γλυκαιμικό δείκτη κατατάσσονται τα τρόφιμα που περιέχουν υδατάνθρακες, ανάλογα με τον βαθμό στον οποίο αυξάνουν τα επίπεδα σακχάρου αίματος μετά από το φαγητό. Τα φαγητά αυτά ταξινομούνται σε μια κλίμακα από το 0 έως το 100, με το 100 να είναι η τιμή που αντιστοιχεί στα τρόφιμα αναφοράς, όπως η γλυκόζη ή το άσπρο ψωμί. Με το ίδιο επίπεδο υδατανθράκων, τα τρόφιμα με υψηλό GI οδηγούν σε χαρακτηριστικές διακυμάνσεις στα επίπεδα σακχάρου αίματος, ενώ τα τρόφιμα χαμηλού GI προκαλούν μικρότερη αύξηση στο σάκχαρο. (Eufic, 2006)

3.2 Τι επηρεάζει τον γλυκαιμικό δείκτη

Παλιότερα υπήρχε μια θεωρία, ότι οι αμυλούχοι υδατάνθρακες αφομοιώνονταν και απορροφούνταν αργά, ενώ οι σακχαρούχοι υδατάνθρακες αφομοιώνονταν και απορροφούνταν γρήγορα. Αυτό όμως δεν ισχύει στην πραγματικότητα. Για παράδειγμα, τα μη αλκοολούχα ποτά και ο πουρές, έχουν παρόμοιους GI. Έτσι καταλήγουμε στο συμπέρασμα ότι η φυσική μορφή των τροφίμων, ο τρόπος επεξεργασίας τους, ο τύπος των φυτικών ινών, ο τύπος του αμύλου, ο τύπος του σακχάρου και ο τρόπος μαγειρέματος, επιδρούν στον τελικό γλυκαιμικό δείκτη τροφίμων (Eufic, 2006).

Γενικά, όσο σημαντική είναι η δομή του τρόφιμου τόσο σημαντικός είναι και ο τύπος υδατανθράκων που περιέχει. Τα σιτηρά ολικής αλέσεως, για παράδειγμα, είναι σχετικά ανθεκτικά στην πέψη, αλλά αν αλεστούν και ψηθούν, πέπτονται ευκολότερα. Γι' αυτό και τόσο το άσπρο όσο και το εξαιρετικά επεξεργασμένο ψωμί ολικής αλέσεως έχουν υψηλούς GI, ενώ τα πολύσπορα ψωμιά έχουν μέσους GI.

Μετά τις παραπάνω παρατηρήσεις, προκύπτει έστω και έμμεσα η ανάγκη για εξατομικευμένα διαιτολόγια ή τέλος πάντων για πλέον προσεκτικές γενικεύσεις, «αφορισμούς» και «οδηγίες» για υγιεινά και επικίνδυνα τρόφιμα. Η ανάγκη αυτή γίνεται πλέον επιτακτική, όταν εμπλέκονται ειδικές ομάδες ατόμων (διαβητικοί, καρδιοπαθείς, άτομα που πάσχουν από κοιλιοκάκη) (Σφλώμος, 2011).

3.3 Γλυκαιμικός δείκτης και διαιτητικές ίνες

Ο όρος διαιτητικές ίνες περιλαμβάνει μια μεγάλη ομάδα συστατικών με διαφορετικές δομές και λειτουργικές ιδιότητες. Αρχικά ο όρος περιλάμβανε τις ουσίες που βρίσκονται στα τοιχώματα των φυτικών κυττάρων, διέρχονται αναλλοίωτα από τον εντερικό σωλήνα και παρέχουν αύξηση όγκου των περιττωμάτων. Είναι γενικά αποδεκτό, ότι οι διαιτητικές ίνες ρυθμίζουν την πέψη και την απορρόφηση (στο λεπτό έντερο) πολλών διατροφικών

συστατικών, λειτουργούν δε ως υπόστρωμα για πολλές ζυμώσεις που πραγματοποιούνται στο παχύ έντερο (Σφλώμος, 2011).

Μερικά τρόφιμα όπως η βρώμη, τα μήλα και τα φασόλια περιέχουν διαλυτές φυτικές ίνες, οι οποίες αυξάνουν τον όγκο των τροφίμων και επιβραδύνουν τη μετάβασή τους στην πεπτική οδό. Αυτά τα τρόφιμα έχουν χαμηλούς γλυκαιμικούς δείκτες. Ο τύπος του σακχάρου σε ένα τρόφιμο παίζει επίσης σημαντικό ρόλο. Διαφαίνονται στοιχεία ότι οι δίαιτες με χαμηλότερους γενικούς γλυκαιμικούς δείκτες μπορούν να είναι ευεργετικές στην πρόληψη του ύστερου διαβήτη και της στεφανιαίας καρδιακής νόσου, ενδεχομένως επειδή μειώνουν τις απαιτήσεις για ινσουλίνη και βελτιώνουν τα επίπεδα χοληστερόλης του αίματος. Οι έρευνες κατευθύνονται επίσης προς τη χρήση του γλυκαιμικού δείκτη σε σχέση και με την παχυσαρκία. Έχει προταθεί ότι οι δίαιτες χαμηλών GI μπορούν να βοηθήσουν τους ανθρώπους να χάσουν βάρος, επειδή είναι πιο χορταστικές. Εντούτοις, δεν είναι σαφές εάν αυτό οφείλεται στον γλυκαιμικό δείκτη ή σε άλλα χαρακτηριστικά των τροφίμων με χαμηλούς GI. Οι έρευνες πρέπει να συνεχιστούν για να απαντηθεί το ερώτημα αυτό (Eufic, 2006).

4. ΔΙΑΙΤΗΤΙΚΕΣ ΙΝΕΣ

«Σήμερα, ως διαιτητικές ίνες ορίζονται τα εδώδιμα μέρη των φυτών ή ανάλογες των υδατανθράκων ενώσεις, οι οποίες δεν πέπτονται και δεν απορροφώνται από το λεπτό έντερο, ενώ υφίστανται μερική ή ολική ζύμωση στο παχύ έντερο » (Σφλώμος, 2011). Τα κυριότερα συστατικά των διαιτητικών ινών είναι οι μη-αμυλώειδείς πολυσακχαρίτες (NSP), που προέρχονται από τα κυτταρικά τοιχώματα (φυτικά). Σε αυτούς περιλαμβάνονται η κυτταρίνη, οι ημικυτταρίνες (όπως οι β-γλυκάνες), οι πηκτίνες, η ινουλίνη, και διάφορα υδροκολλοειδή (κόμμεα, άγαρ κ.α.), που χρησιμοποιούνται από την τεχνολογία τροφίμων ως γαλακτωματοποιητές, σταθεροποιητές κτλ. Άλλα συστατικά των διαιτητικών ινών είναι και ορισμένοι ολιγοσακχαρίτες (φρουκτόζης - FOS), που ζυμώνονται από την μικροβιακή χλωρίδα του παχέος εντέρου, καθώς και η λιγνίνη, που όμως δεν ανήκει στους υδατάνθρακες και βρίσκεται και αυτή στα κυτταρικά τοιχώματα (Σφλώμος, 2011).

Διακρίνονται σε υδατοδιαλυτές (β-γλυκάνη, πηκτίνη, κόμμεα) και μη υδατοδιαλυτές (κυτταρίνη, ημικυτταρίνη, λιγνίνη), οι ποσότητες των οποίων ποικίλλουν στα διάφορα τρόφιμα. Ενδεικτικά αναφέρεται ότι οι διαλυτές ίνες βρίσκονται σε μεγαλύτερα ποσοστά στο κριθάρι, τη βρώμη, τα φρούτα, τα λαχανικά και τα όσπρια, ενώ τα ολικής άλεσης δημητριακά και το μαύρο ψωμί αποτελούν πλούσιες πηγές αδιάλυτων ινών (Βαρζάκας, 2014).

4.1 Η "τέλεια" διαιτητική ίνα

Κατά τον O'shea *et al.*(2012) η τέλεια διαιτητική ίνα έχει τα παρακάτω χαρακτηριστικά.

1. Δεν πρέπει να περιέχει συστατικά τα οποία είναι διατροφικά επικίνδυνα.
2. Για τη μεγιστοποίηση της χρήσης της, πρέπει να έχει υψηλή συμπύκνωση και να είναι σε μικρή ποσότητα.
3. Θα πρέπει να μην έχει καμία γεύση και καμία αρνητική επίδραση στην οσμή, το χρώμα ή την υφή.

4. Θα πρέπει να περιέχει μια ισορροπία μεταξύ διαλυτών και αδιάλυτων ινών με μια αποδεκτή ποσότητα βιοδραστικών ενώσεων.
5. Επιπλέον δεν πρέπει να επηρεάζει την τροφή με την οποία θα έρθει σε επαφή, αλλά πρέπει επίσης να έχει μεγάλη διάρκεια ζωής.
6. Θα πρέπει να λειτουργεί αρμονικά με την επεξεργασία τροφίμων.
7. Θα πρέπει να έχει μια θετική εικόνα προς τον καταναλωτή.
8. Θα πρέπει να περιέχει τα αναμενόμενα φυσιολογικά αποτελέσματα
9. Θα πρέπει να είναι σε μια προσιτή τιμή

4.2 Δράσεις στον οργανισμό

Οι φυσιολογικές δράσεις των διαιτητικών ινών, που προσλαμβάνονται με τις τροφές μας, είναι κατά κανόνα μόνο θετικές. Πολλές μάλιστα από τις δράσεις αυτές έχουν, κατά καιρούς, υπερεκτιμηθεί. Στις αδιαμφισβήτητες διαπιστώσεις, περιλαμβάνεται η ζωτική σημασία που έχουν οι πλούσιες σε διαιτητικές ίνες τροφές, στην καλή λειτουργία του εντέρου. Γεγονός είναι ότι τα φυσικά χαρακτηριστικά του περιεχομένου του στομάχου και των εντέρων τροποποιούνται με την παρουσία διαφόρων μορφών φυτικών ινών. Μεγαλύτερες ποσότητες, στην τροφή, φυτικών ινών διογκώνουν το περιεχόμενο. Λόγω δε της ικανότητας κατακράτησης νερού που διαθέτουν ορισμένες φυτικές ίνες, ο όγκος του περιεχομένου των εντέρων, μεγαλώνει ακόμη περισσότερο. Μέσα στο έντερο μερικές ίνες διογκώνονται, εγκλωβίζοντας μεταξύ τους μόρια νερού και άλλων διατροφικών συστατικών, ιδιαίτερα αυτών που είναι υδατοδιαλυτά, όπως π.χ. τα σάκχαρα. Οι παραπάνω αλλαγές στα φυσικά χαρακτηριστικά του περιεχομένου του γαστρεντερικού σωλήνα επιδρούν στους χρόνους παραμονής των τροφών στα διάφορα τμήματά του, αραιώνουν (λόγω αύξησης του όγκου) τα διάφορα ένζυμα και ουσίες που δύναται να απορροφηθούν από το έντερο, εμποδίζουν την υδρόλυση του αμύλου στο λεπτό έντερο (όπου κατά κανόνα, γίνεται η πέψη του αμύλου), και μειώνουν την κινητικότητα ενζύμων, υποστρωμάτων και θρεπτικών συστατικών προς την (εσωτερική) επιφάνεια του εντέρου, απ' όπου κανονικά θα απορροφηθούν. Όλα αυτά τα έχουν ως αποτέλεσμα την καθυστέρηση της εμφάνισης στο αίμα ορισμένων διατροφικών συστατικών, όπως είναι η γλυκόζη και μερικά λιπίδια, καθώς και την προώθηση στα κατώτερα τμήματα του εντερικού σωλήνα (παχύ έντερο), υδατανθράκων οι οποίοι δεν πέπτονται εύκολα (Σφλώμος, 2011).

Οι αναλυτικές μέθοδοι που χρησιμοποιούνται για την ποσοτικοποίηση του συνόλου των διαιτητικών ινών δεν είναι συγκεκριμένες και αλλάζουν συνεχώς. (Τσατσαράγκου, 2015) Ένας τρόπος να προσδιοριστούν οι διαιτητικές ίνες στα άλευρα είναι με εκχύλιση του αλεύρου με αιθέρα, βρασμό του για 60 λεπτά σε ουδέτερο διάλυμα τασιενεργών ουσιών (detergent solution), διήθηση του αδιάλυτου υπολείμματος και κατεργασία του με α-αμυλάση για πλήρη χώνευση του αμύλου. Το ξηρό υπόλειμμα αποτελεί τις διαιτητικές ίνες. Τα τελευταία χρόνια η μέθοδος έχει τροποποιηθεί με ταυτόχρονη χρήση αμυλολυτικών και πρωτεολυτικών ενζύμων και καθίζηση με αιθανόλη για παραλαβή των ινών (Wang *et al.*, 2016a.).

4.3 Διαιτητικές ίνες και ψωμί χωρίς γλουτένη

Το ψωμί αποτελεί το προϊόν με την μεγαλύτερη δυσκολία προσομοίωσης όσον αφορά τα τρόφιμα χωρίς γλουτένη (Cappa *et al.*, 2013). Οι διαιτητικές ίνες μπορούν να διαδραματίσουν σημαντικό ρόλο στην ανάπτυξη GF ψωμιού. Πολλές μελέτες σχετικά με τη χρήση των αλεύρων που προέρχονται από δημητριακά χωρίς γλουτένη, όπως άλευρα πλούσια σε φυτικές ίνες ή απομονωμένες ίνες με ένα υψηλό επίπεδο καθαρότητας είναι διαθέσιμα για την παραγωγή GF ψωμιού. Η προσθήκη φυτικών ινών σε τρόφιμα, προτιμάται και έχει εκτιμηθεί από τους καταναλωτές λόγω ελκυστικής γεύσης και καλύτερης σταθερότητας κατά την αποθήκευση (Verma *et al.*, 2015). Επίσης η εκπόνηση του ψωμιού ελεύθερου γλουτένης με άλευρα ψευδοδημητριακών ή άλευρα σπόρων όπως το αλεύρι χαρουπιού και το αλεύρι κάστανου παρουσίασαν αυξημένο συγκεκριμένο όγκο, μια μαλακή και ομοιογενή ψίχα και μειωμένο ποσοστό μπαγιατέματος. Παρόμοια αποτελέσματα αναφέρθηκαν στα GF ψωμιά που περιέχουν καθαρισμένα παρασκευάσματα ινών. Ο Σαμπάνης (2010) έδειξε ότι η προσθήκη διαιτητικών ινών από αραβόσιτο έδωσε GF ψωμιά με σημαντικά υψηλότερο όγκο και μαλακότητα της ψίχας σε σύγκριση με ψωμί GF που δεν περιείχε διαιτητικές ίνες. Ταυτόχρονα, η προσθήκη διαιτητικών ινών σε βάση 3% αλεύρι βελτίωσε την αισθητική αποδοχή του ψωμιού GF σύγκριση με τον μάρτυρα. (Tsatsaragou *et.al*, 2016).

Είναι επίσης πολύ σημαντικό να αναφερθεί ότι η πραγματική πρόσληψη διαιτητικών ινών στις περισσότερες ευρωπαϊκές χώρες είναι χαμηλότερη από το μέσο όρο ημερήσιας πρόσληψης που είναι 30 g όπως αναφέρθηκε στην ευρωπαϊκή έκθεση διατροφής και υγείας

το 2009 (Martinez *et al.*, 2014). Ακόμη διεξήχθησαν έρευνες με τρόφιμα χωρίς γλουτένη, για την εκτίμηση της ημερήσιας πρόσληψης θερμίδων και τα ποσοστά ημερήσιας πρόσληψης θερμίδων απο υδατάνθρακες, φυτικές ίνες, σίδηρο, ασβέστιο και μερίδες δημητριακών, χρησιμοποιώντας 47 εθελοντές που πάσχουν απο κοιλιοκάκη. Το αποτέλεσμα υποδεικνύει ανεπαρκή πρόσληψη ινών, σιδήρου και ασβεστίου σε ποσοστό 50% γυναικών που έλαβαν μέρος στην έρευνα (Orecchio *et al.*, 2014). Εφόσον οι ασθενείς που πάσχουν απο κοιλιοκάκη λαμβάνουν πολύ μικρό ποσοστό φυτικών ινών και άλλων ιχνοστοιχείων, ο εμπλουτισμός των ψωμιών χωρίς γλουτένη είναι ένας τρόπος να αυξηθεί η θρεπτική και η αισθητική ποιότητα του τελικού προϊόντος (Cappa *et al.*, 2013).

4.4 Προσθήκη άλλων βελτιωτικών

Για την βελτίωση του άρτου υπάρχουν πολλά συστατικά που χρησιμοποιούνται όπως: υδροκολλοειδή και ψευδοδημητριακά ως υποκατάστατα της γλουτένης, ίνες απο απόβλητα φρούτων και λαχανικών και άλευρα ολικής άλεσης για το εμπλουτισμό του σε φυτικές ίνες και ιχνοστοιχεία. (Cappa *et al.*, 2013)

4.4.1 Υδροκολλοειδή

Τα υδροκολλοειδή πιο γνωστά ως κόμμεα χρησιμοποιούνται ευρέως στην αρτοποιητική βιομηχανία εφόσον μπορούν να προσφέρουν ιξωδοελαστικές ιδιότητες παρόμοιες της ζύμης. Επίσης ενισχύουν την διατήρηση υγρασίας, υφής και παρατείνουν τη διάρκεια ζωής των αρτοποιημάτων. Οι γαλακτωματοποιητές έχουν την ικανότητα να μειώνουν την επιφανειακή τάση της ζύμης με αποτέλεσμα την υποδιαίρεση του εγκλωβισμένου αέρα σε μικρότερες φυσαλίδες κατά τη διάρκεια της ανάμειξης (Cappa *et al.*, 2013). Μπορούν επίσης να βελτιώσουν την ποιότητα προσφέροντας σταθερότητα στην ζύμη. Έχει αποδειχθεί ότι το όφελος των γαλακτωματοποιητών ως σταθεροποιητές ζύμης μπορεί να προωθηθεί και με την παρουσία επιφανειοδραστικών ουσιών (Demirkesen *et al.*, 2014). Ωστόσο τα τελευταία χρόνια υπάρχει αυξημένο ενδιαφέρον στην χρήση υδροκολλοειδών και γαλακτωματοποιητών ως υποκατάστατα γλουτένης στη παρασκευή ψωμιών χωρίς γλουτένη καθώς είναι ουσίες που

προέρχονται κυρίως από φυτικά προϊόντα, είναι ασφαλείς και δεν προκαλούν επιβλαβείς αντιδράσεις, εκτός και αν καταναλωθούν σε υπερβολικό βαθμό (Σαμπάνης, 2010).

Επιπλέον η βελτίωση ποιότητας του ψωμιού παρουσιάζεται με χαμηλή σκληρότητα, υψηλή ελαστικότητα, και χαμηλού μασήματος μπορεί να προωθηθεί από τη δράση μεταξύ των υδροκολλοειδών και των γαλακτωματοποιητών. Γι' αυτό η παρουσία των κόμμεων - γαλακτωματοποιητών στην δημιουργία ψωμιών χωρίς γλουτένη τα κάνει απαλότερα, περισσότερο ελαστικά και με λιγότερο τσιχλώδη υφή (Demirkesen *et al.*, 2014).

Αν η πηγή των υδροκολλοειδών, η χημική δομή, η συγκέντρωση, οι ιδιότητες του αλεύρου, ο σχηματισμός και η εφαρμοζόμενη τεχνική είναι αποτελεσματικά στις λειτουργικές ιδιότητες της ζύμης και της ποιότητας του ψωμιού, οι διαφορετικές βελτιώσεις στην ποιότητα του ψωμιού εμφανίζονταν όταν προστίθετο άλλο είδος υδροκολλοειδών. Σύμφωνα με την έρευνα οι πιο λειές υφές εμφανίζονταν στους άρτους από xanthane guar, xanthan LBG, HPMC και CMC. Αυτή η εύρεση είναι σύμφωνη και με παλιότερες μελέτες. Ανάμεσα σε όλους τους άρτους που προετοιμάστηκαν με πρόσθετα αυτοί που περιείχαν MC και άγαρ έδιναν αποτελέσματα με σκληρότητα, η οποία έφτανε την μέγιστη τιμή. Όπως ήταν αναμενόμενο ανάμεσα σε όλα τα ψωμιά χωρίς γλουτένη αυτά με την σκληρότερη υφή ήταν τα δείγματα «μάρτυρες». Η συνεκτικότητα υποδηλώνει εσωτερική συνοχή του προϊόντος. Ψωμιά με χαμηλή συνεκτικότητα είναι ευπαθή ως προς την δομή και την ψίχα. Ως εκ τούτου τα ψωμιά με υψηλή συνεκτικότητα είναι επιθυμητά (Demirkesen *et al.*, 2014).

4.4.2 Ιχνοστοιχεία

Η πλειοψηφία των ανόργανων στοιχείων που πρέπει να υπάρχουν σε μια διατροφή είναι πολύ σημαντική και ως εκ τούτου οι αναλυτικές μέθοδοι που τα αναγνωρίζουν πρέπει να είναι υψηλής ευαισθησίας για να μην υπάρχουν ανακριβή αποτελέσματα. Τα συστατικά για ένα προϊόν χωρίς γλουτένη είναι άμυλο και αλεύρι από καλαμπόκι, πατάτα, ταπιόκα, ρύζι κ.α. Τα συστατικά αυτά όμως παρέχουν μια χαμηλή πηγή πολλών στοιχείων όπως χρώμιο, χαλκό, σελήνιο και ψευδάργυρο στον ανθρώπινο οργανισμό. Επίσης έχουν μια τάση να περιέχουν υψηλά ποσοστά λίπους και θερμίδων για την ενίσχυση γεύσης, υφής και εμφάνισης.

Αρκετοί συγγραφείς βρήκαν ότι τα προϊόντα χωρίς γλουτένη σε σύγκριση με προϊόντα απο εμπλουτισμένο σιτάρι περιέχουν μικρότερη περιεκτικότητα σε θειαμίνη, ριβοφλαβίνη, νιασίνη, σίδηρο και φολικό οξύ. Τα ιχνοστοιχεία παίζουν πολύ σημαντικό ρόλο στη βιολογία του ανθρώπινου σώματος διότι δεν συντίθενται απο τον ίδιο τον άνθρωπο. Ίχνη μερικών μετάλλων όπως το μαγγάνιο, ο χαλκός και ο ψευδάργυρος είναι απαραίτητα μικροσυστατικά και έχουν ποικιλία βιοχημικών λειτουργιών σε ζωντανούς οργανισμούς. Όσο αυτά τα στοιχεία είναι απαραίτητα, μπορούν να γίνουν τοξικά όταν λαμβάνονται σε υψηλές ποσότητες. Ακόμη κάποια μέταλλα, όπως ο μόλυβδος, που δεν εμφανίζονται φυσικά στο σώμα, η παρουσία τους συνήθως είναι αποτέλεσμα έκθεσης στο περιβάλλον ή ρύπανσης, και είναι επιβλαβής για τον οργανισμό και ειδικά στα παιδιά. Οι ηλικιωμένοι και οι ασθενείς είναι πιο ευαίσθητοι σε αυτά τα μέταλλα επίσης απο τους ενήλικες. Λαμβάνοντας υπόψιν το υψηλό ποσοστό των ατόμων που πάσχουν από κοιλιοκάκη, απαιτούνται επειγόντως βάσεις δεδομένων με τα ιχνοστοιχεία τα οποία είναι απαραίτητα για αυτούς, καθώς τα επίπεδα πρόσληψης στοιχείων είναι αρχειοθετημένα για τα άτομα που δεν πάσχουν απο κοιλιοκάκη (Orecchio *et al.*, 2014).

4.4.3 Ψευδοδημητριακά

Παρά το γεγονός ότι τα ψευδοδημητριακά είναι σχετικά ασήμαντά σε παγκόσμια κλίμακα παραγωγής σιτηρών, συμβάλλουν σημαντικά στην ανθρώπινη διατροφή σε ορισμένες περιοχές και πολιτισμούς. Επιπλέον, είναι δυνητικά πολύτιμα για άτομα με αλλεργίες στα παραδοσιακά δημητριακά. Πολλά ψευδοδημητριακά μπορούν να αναπτυχθούν σε φτωχά εδάφη και σε καταστάσεις που δεν είναι κατάλληλες για άλλα είδη σιτηρών. Ευρύτερα γνωστό ψευδοδημητριακό είναι ο αμάραντος, η κινόα και το φαγόπυρο (Fletcher, 2016).

Τα ψευδοδημητριακά δεν περιέχουν απο την φύση τους γλουτένη. Για αυτό το λόγο χρησιμοποιούνται συχνά στην παρασκευή άρτου ελεύθερου γλουτένης, διότι έχουν υψηλή διατροφική αξία και υψηλό πρωτεϊνικό περιεχόμενο, όπως επίσης και αμινοξέα απαραίτητα για τον ανθρώπινο οργανισμό, λιπαρά οξέα και υψηλή περιεκτικότητα σε μέταλλα και βιοενεργά συστατικά. Κατά τον Mariotti *et al.* (2013), η ενσωμάτωση αλεύρου φαγόπυρου κατά 40% συνδυασμένη με την χρήση υδροξυλοπροπυλομεθυλοκυτταρίνης βελτίωσε τα ποιοτικά χαρακτηριστικά των άρτων, οδηγώντας σε μαλακότερη ψίχα και πιο αργό ρυθμό

μπαγιατέματος. Ακόμη ο άρτος ελεύθερος γλουτένης με άλευρο αμάρανθου έδειξε αυξημένο όγκο στο τελικό προϊόν και ομοιογενή χαρακτηριστικά ψίχας (de la Barca *et al.*, 2010)

4.4.4 Άλευρα ολικής αλέσεως

Λόγω της υψηλής περιεκτικότητας σε φυτικές ίνες και άλλα πολλά θρεπτικά συστατικά όπως βιταμίνες, μέταλλα και φυτοχημικά, η κατανάλωση δημητριακών ολικής αλέσεως μπορεί να μειώσει τον κίνδυνο πολλών ασθενειών όπως ο καρκίνος του παχέος εντέρου, η καρδιαγγειακή νόσος, ο διαβήτης και η παχυσαρκία. Τα τελευταία χρόνια, η κατανάλωση των προϊόντων απο δημητριακά ολικής αλέσεως προωθείται σε παγκόσμιο επίπεδο από διεθνείς οργανισμούς. Ωστόσο, ανεξάρτητα από αυτές τα οφέλη, η χρήση δημητριακών ολικής αλέσεως ακόμα παραμένει έξω απο τις καθημερινές προτιμήσεις των καταναλωτών. Ως αποτέλεσμα, υπάρχουν προκλήσεις στην παραγωγή προϊόντων ολικής άλεσης για να διατηρήσουν τη λειτουργικότητα και την ποιότητα τους, που είναι ισοδύναμες με τα παραδοσιακά προϊόντα χωρίς την ενσωμάτωση ολόκληρου του κόκκου. Εκτός από τα τελικά χαρακτηριστικά της ποιότητας των προϊόντων, ενσωματώνοντας αλεύρι ολικής αλέσεως (WWF) σε ένα σύστημα παραγωγής τροφίμων επίσης οδηγεί σε πολλές αλλαγές στις ιδιότητες της ζύμης και τις τεχνικές επεξεργασίας. Το μέγεθος των σωματιδίων του WWF είναι ένας σημαντικός παράγοντας που επηρεάζει τις ιδιότητες των προϊόντων ολικής αλέσεως. (Wang *et al.*, 2016b)

4.4.5 Ίνες απο απόβλητα φρούτων και λαχανικών

Επειδή οι καταναλωτές ενδιαφέρονται ολοένα και περισσότερο στη διατήρηση μιας υγιούς διατροφής και ενός τρόπου ζωής, μέσα απο έρευνες που πραγματοποιήθηκαν σε μια κριτική για υποπροϊόντα, περισσότερη προσοχή δόθηκε στις μεγάλες λειτουργικές ενώσεις. Παράδειγμα μεγάλων λειτουργικών ενώσεων είναι τα καροτενοειδή, οι πολυφαινόλες, οι τοκοφερόλες και άλλα. Οι ενώσεις αυτές υπάρχουν σε πληθώρα στα φρούτα και τα λαχανικά. Έτσι χρησιμοποιώντας τα απόβλητα τους για τον εμπλουτισμό τροφίμων και συγκεκριμένα του ψωμιού, μειώνεται το φορτίο απορριμμάτων και ταυτόχρονα ενισχύεται η άμυνα του

οργανισμού. Λόγω της φύσης των ινών που έχουν ταυτόχρονα αδιάλυτες και διαλυτές ιδιότητες, έχουν ένα φάσμα τεχνολογικών χαρακτηριστικών όπως δέσμευση νερού, πηκτωματοποίηση, και δημιουργία δομής .Μπορούν να χρησιμοποιηθούν ακόμη και ως υποκατάστατο λίπους. Ενθαρρυντικά αποτελέσματα έχουν επιτευχθεί με την ενσωμάτωση συστατικών φρούτων και λαχανικών σε αρτοσκευάσματα χωρίς γλουτένη, καθώς τα συστατικά αυτά μπορούν να αυξήσουν τις ποσότητες των θρεπτικών συστατικών των τελικών προϊόντων. Σύμφωνα με τον O'shea *et al.* (2012), η προσθήκη πολτού πορτοκαλιού ως ένα παραπροϊόν της βιομηχανίας τροφίμων μπορεί να ενισχύσει διατροφικά τα προϊόντα χωρίς γλουτένη. Ο βέλτιστος συνδυασμός που προκύπτει περιλαμβάνει 5.5% πολτό πορτοκαλιού και το ποσοστό των διαιτητικών ινών του τελικού προϊόντος ανέρχεται στο 3,9% σε σχέση με το δείγμα αναφοράς χωρίς τον πολτό πορτοκαλιού.

5. ΨΥΛΛΙΟ

5.1 Ονομασία και προέλευση

Η ονομασία του ψύλλιου στην ινδική γλώσσα είναι Isabgol που σημαίνει «το αυτί του αλόγου». Η πηγή έμπνευσης προέρχεται από το σχήμα των σπόρων. (Εικόνα 7) Η Ινδία κυριαρχεί στην παγκόσμια αγορά της παραγωγής και εξαγωγής του σπόρου παράγοντας περίπου 39.000 τόνους κάθε χρόνο και παρέχοντας το 85% στην παγκόσμια αγορά (Guo *et al.*, 2009). Το ψύλλιο θεωρούνταν φαρμακευτικό φυτό (Εικόνα 6) από τους ινδικούς μουσουλμάνους και οι σπόροι του συλλέγονταν αρχικά από ορισμένα άγρια είδη. Οι ξηροί ώριμοι σπόροι (*Plantago psyllium*), *Plantago indica* (*Plantago arenaria*) και *Plantago ovata* (*Plantaginaceae*) χρησιμοποιούνται επίσης σαν φάρμακο (Rao *et al.* 2016) Στο Πακιστάν, καλλιεργούνται αρχικά σε περιοχές όπως το Lahore και το Multan. Ο όρος «ψύλλιο» χρησιμοποιείται για το επικάλυμμα, τον σπόρο και ολόκληρο το φυτό (Verma *et al.*, 2015). Η καλλιέργεια του φυτού διαρκεί 119 - 130 ημέρες και ευδοκιμεί σε δροσερό, ξηρό περιβάλλον. Στην Ινδία είναι γνωστό ότι αναπτύσσεται τις μετά-βροχερές περιόδους από τον Οκτώβριο έως τον Μάρτιο. Κατά τη διάρκεια αυτής της περιόδου, η μέση θερμοκρασία είναι 15 – 30 ° C (59-86 ° F), και η υγρασία είναι ανεπαρκής. Το φυτό αφού συλλεχθεί έχει διάρκεια εμπορικής ζωής μόνο 6 μήνες σε παραδοσιακές και συνηθισμένες συνθήκες. (Verma *et al.*, 2015)



Εικόνα 6: Φυτό Plantago Ovata (FAO, n.d.)

5.2 Πρόληψη και διαχείριση ασθενειών

Το ψύλλιο παράγει μια φυτική κόλλα (υδροκολλοειδές) η οποία προέρχεται από το φλοιό. Από τον φλοιό συλλέγεται μέσω εκχύλισης. Οι πιο διαδεδομένες ιδιότητές του είναι για τη θεραπεία της δυσκοιλιότητας, το σύνδρομο ευερέθιστου εντέρου, την ασθένεια φλεγμονώδους εντέρου, την ελκώδη κολίτιδα, τον καρκίνο του παχέος εντέρου, της υπερχοληστεριναιμίας, της εκκοπλωματίτιδας και των χολόλιθων. Αξιοσημείωτες είναι όμως και οι υπογλυκαιμικές και υπολιπιδαιμικές ιδιότητες των διαλυτών του ινών. Η μείωση του ρυθμού απορρόφησης των υδατανθράκων, μπορεί να βοηθήσει τη ρύθμιση των επιπέδων γλυκόζης στο αίμα σε άτομα με σακχαρώδη διαβήτη. Πρόσφατα έχει αναγνωριστεί, επίσης, ως ένα προϊόν με ιδιότητες μείωσης την χοληστερόλης, και κατ' επέκταση των καρδιαγγειακών νοσημάτων. Λίγα τρόφιμα έχουν αναπτυχθεί χρησιμοποιώντας το ψύλλιο ως βιοδραστικό συστατικό και διατίθενται στο εμπόριο για τη μείωση της χοληστερόλης (Συντώσης, 2007; Farahnaki *et al.*, 2010; Rao *et al.*, 2016). Άλλοι πολυσακχαρίτες, μη-θρεπτικοί και παχύρρευστοι, όπως οι β-γλυκάνες και οι πηκτίνες, έχουν την ικανότητα να μειώσουν τα επίπεδα χοληστερόλης στο αίμα με τον ίδιο μηχανισμό όπως ψύλλιο, αλλά οι ουσίες αυτές έχουν αμελητέα αποτελέσματα επί της λειτουργίας του εντέρου (Fischer *et al.*, 2004). Η επίδραση των διαλυτών ινών από ψύλλιο στα λιπίδια του σώματος και των πρωτεϊνών, σχετίζονται με τη διαδικασία του μεταβολισμού (Verma *et al.*, 2015). Αυτό μπορεί να σημαίνει για κάποια άτομα και απώλεια βάρους. Η κατανάλωση ινών δίνει μια αίσθηση κορεσμού. Δηλαδή, τροφές υψηλής περιεκτικότητας σε ίνες, όπως το ψύλλιο, μπορούν να μειώσουν το αίσθημα της πείνας, που παρατηρείται κατά τη μείωση ενεργειακής πρόσληψης, ενώ παράλληλα μειώνουν τον χρόνο γαστρικής εκκένωσης και τη χρησιμοποίηση των θρεπτικών συστατικών (Συντώσης, 2007). Τα λειτουργικά και φαρμακευτικά τρόφιμα που περιέχουν φυτικές ίνες αναπτύσσονται και μελετώνται για την αποτελεσματικότητά τους, με ιδιαίτερη αναφορά στα προϊόντα αρτοποιίας, το γιαούρτι και τα ποτά (Verma *et al.*, 2015).



Εικόνα 7: Σπόροι ψύλλιου (Hosseini, 2015)

5.3 Άλλες ιδιότητες

Ο φλοιός του ψύλλιου είναι το κύριο προϊόν, που όταν διαχωρίζονται από τους σπόρους, το υπόλοιπο χρησιμοποιείται συνήθως ως ζωοτροφή (Guo *et.al*, 2009). Απο τον διαχωρισμό ανακτάται περίπου 25 με 26% από το σπόρο. Ο φλοιός είναι περίπου το 10-25% των σπόρων ως προς το ξηρό βάρος. Άλλες πιθανές εφαρμογές που μπορεί να έχει ο φλοιός του ψύλλιου, είναι επίσης λόγω της ισχυρής πηκτωματογόνους ιδιότητας του, να δρα ως παράγοντας που απομακρύνει αποτελεσματικά τα στερεά απόβλητα από βυρσοδεψείο και των αστικών λυμάτων (Guo *et.al*, 2009). Πρόσφατα, το ψύλλιο χρησιμοποιήθηκε καινοτόμα στη βιομηχανία τοπίου ως ένα περιβαλλοντικά φιλικό φυσικό συνδετικό υλικό, πιθανόν λόγω της υψηλής περιεκτικότητάς του σε πολυσακχαρίτες (Guo *et.al*, 2008).

Στις τροφές που περιέχουν ψύλλιο και φέρουν τον ισχυρισμό ότι προάγουν την υγεία, απαιτείται να αναγράφεται στην ετικέτα τους ότι το τρόφιμο θα πρέπει να καταναλώνεται με τη συνοδεία τουλάχιστον ενός γεμάτου ποτηριού με υγρό και ότι μπορεί να προκληθεί πνιγμός, εφόσον το προϊόν δε ληφθεί με τον απαιτούμενο όγκο υγρού. Επιπλέον, η ετικέτα θα πρέπει να δηλώνει ότι το τρόφιμο δεν θα πρέπει να καταναλώνεται απο άτομα με δυσκολία στην κατάποση. (Συντώσης, 2007)

Η γνώση, των βασικών χημικών και φυσικών ιδιοτήτων του υδροκολλοειδούς που προέρχεται απο το σπόρο, είναι χρήσιμη στην κατανόηση του μηχανισμού συνένωσης και τη σταθερότητα που προσφέρει το υδροκολλοειδές του ψύλλιου. (Guo *et. al*, 2008)

5.4 Φυσικά χαρακτηριστικά του ψύλλιου

Τα φυσικά χαρακτηριστικά του σπόρου του ψύλλιου παρουσιάζονται στον πίνακα 3 όπως περιεγράφηκαν κατά τους Ahmadi *et al.* (2012). Ο μέσος όρος των σπόρων σε μήκος, το πλάτος και το πάχος ήταν 2.70, 1.33 και 0.72 mm, αντίστοιχα. Οι μέσοι γεωμετρικοί και διαμετρικοί όροι ήταν 1.37 και 1.58 mm, αντίστοιχα. Οι αξονικές διαστάσεις των σπόρων παίζουν σημαντικό ρόλο στον καθορισμό μεγεθών τα οποία χρησιμοποιούνται κατά το σχεδιασμό μηχανημάτων για τον χειρισμό κόκκων ψύλλιου. Με τη σφαιρικότητα παρουσιάζεται ο βαθμός διαφορετικότητας για στερεά σιτηρά με ελλειπώς σφαιρικό σχήμα, σε σύγκριση με ίδια υλικά που έχουν τον ίδιο όγκο και εμφανίζονται με μια πλήρη σφαιρικότητα. Η σφαιρικότητα μετριέται με ποσοστό και το ψύλλιο δείχνει να έχει 51,1% σφαιρικότητα. (Εικόνα 7) Ο όγκος του απο την άλλη μετριέται σε κυβικά मिलीμέτρα και έχει τιμή 1.7 και επιφάνεια του μετριέται σε τετραγωνικά मिलीμέτρα με τιμή 5.02. Η μέση τιμή χιλίων σπόρων έχει μάζα 1.3 g. Τέλος η μέση πραγματική πυκνότητα και πορώδες είναι 1350.6 kg m^{-3} και 52.06%, αντίστοιχα.

Πίνακας 2: Φυσικά χαρακτηριστικά του ψύλλιου

Ιδιότητες	Επανάληψη	Μεσος όρος
Μάκρος (mm)	100	2.7
Πλάτος (mm)	100	1.33
Πάχος (mm)	100	0.72
Dg (mm)	100	1.37
Da (mm)	100	1.58
Σφαιρικότητα (%)	100	51.1
Όγκος (mm ³)	100	1.47
Επιφάνεια (mm ²)	100	5.02
1000 ογκός σπόρου (g)	10	1.3
Πυκνότητα (kg m ⁻³)	10	1350.6
Πορώδες (%)	10	52.06

(Ahmadi *et al.*,2012)

5.5 Χημικά χαρακτηριστικά του ψύλλιου

Όπως παρατηρήθηκε και στον πίνακα 2 κατά τον Guo *et al.*, 2008 το κύριο συστατικό του ψύλλιου είναι οι υδατάνθρακες και το μικρότερο ποσοστό καταλαμβάνουν τα λιπίδια. Η υγρασία, οι πρωτεΐνες, η ολική τέφρα, και τέλος η διαλυτή τέφρα κυμαίνονται στο 6,83, 0,94, 4,07 και 2,62 αντίστοιχα. Τα αποτελέσματα είναι διατυπωμένα με ποσοστό ξηρού βάρους (Guo *et al.*,2008). Επίσης κατά τη μέθοδο κλασμάτωσης Osborne (βάσει διαλυτότητας) το ψύλλιο φαίνεται να περιέχει λευκωματίνη 35,8%, σφαιρίνη 23,9% και 11,7% προλαμίνη. Το λάδι που παραλαμβάνεται από τους σπόρους, είχε ένα υψηλό ποσοστό λινελαϊκού οξέος

(40,6%) και ελαϊκό οξύ (39,1%) και ένα μικρό ποσοστό λινολενικό οξύ (6,9%) (Verma *et al.*, 2015).

Πίνακας 3: Χημικά χαρακτηριστικά του ψύλλιου

Υγρασία (%)	Λιπίδια (%)	Πρωτείνες (%)	Ολική Τέφρα (%)	Διαλυτή Τέφρα (%)	Ολικοί Υδατάνθρακες (%)
6.83±0.04	0.00±0.11	0.94±0.00	4.07±0.02	2.62±0.03	84.98±4.26

(Guo *et al.*, 2008)

Πιο συγκεκριμένα ο φλοιός του σπόρου (Εικόνα 8) είναι ένα συγκρότημα ετεροξυλάνων με κύριους μονοσακχαρίτες, την αραβινόζη και την ξυλόζη, οι οποίες θα αναφέρονται περαιτέρω ως αραβινοξυλάνη (AX) (Craeyveld *et.al*, 2009). Μετά απο ανάλυση της σύνθεσης του ψύλλιου απο τους Fischer *et al.*,(2004), η αραβινόζη κατέχει το 22,6% και η ξυλόζη το 74,6%. Οι AX του φλοιού του ψύλλιου είναι διακλαδισμένοι μη αμυλούχοι πολυσακχαρίτες με μία κύρια αλυσίδα με πυκνή συγκέντρωση απο αλυσίδες υποκατεστημένες β- (1,4) - συνδεδεμένες με υπολείμματα απο ξυλοπυρανόζη. Ξεχωριστά παρατηρούνται και τα υπολείμματα αραβινοφουρανόζη και ξυλοπυρανόζη, ή μικρές πλευρικές αλυσίδες που αποτελούνται από αυτούς τους δυο μονοσακχαρίτες, και είναι προσαρτημένες στις θέσεις 2 ή / και 3 σε κάποιο από τα κύρια κατάλοιπα της αλυσίδας ξυλοπυρανόζη. Επιπλέον, οι αραβοξυλάνες του φλοιού του σπόρου ψύλλιο (PSH AX) περιέχουν πρόσθετα κατάλοιπα όπως ραμνόζη (3-5%) και γαλακτουρονικό οξύ (5-8%). Η υποβάθμιση της PSH AX δίνει αραβοξαλανό-ολιγοσακχαρίτες (AXOS). Η παραγωγή των AXOS από PSH AX απαιτεί γνώση σχετικά με τις βέλτιστες συνθήκες εκχύλισης AX και την υποβάθμιση του PSH AX σε μικρότερα κομμάτια (Craeyveld *et al.*, 2009). Οι πολυσακχαρίτες AX εκχυλίζονται διαδοχικά από τον PSH έτσι ώστε να παραχθεί μια σειρά από κλάσματα κόμμεως ψύλλιου (Guo *et.al*, 2008). Η εκχύλιση μπορεί να γίνει με διάφορες μεθόδους.

Οι Farahnaki *et.al* χρησιμοποίησαν τον πολτό νερού/φλοιού με σταθερή ανάδευση, στη συνέχεια κρατήθηκε το ίζημα και εμβαπτίστηκε σε αιθανόλη με περιστασιακή ήπια ανάδευση. Μετά τη φυγοκέντριση το κόμμι παραλαμβάνεται και ξηραίνεται σε ένα

συμβατικό φούρνο. Μία άλλη μέθοδος η οποία χρησιμοποιήθηκε απο τους Craeyveld *et al.* (2009), είναι ανάδευση με NaOH και φυγοκέντριση. Η θέρμανση μαζί με ανάδευση μπορεί επίσης να χρησιμοποιηθεί για την εκχύλιση της κόλλας του ψύλλιου. Πολλές έρευνες επικεντρώνονταν στην εκχύλιση των AX, για περαιτέρω ανάλυση. Μπορούσαν ακόμη και να χρησιμοποιηθούν μετά απο ξήρανση σε συνταγή GF ψωμιού (για τον εμπλουτισμό του ψωμιού σε φυτικές ίνες). Παραπάνω αναφέρθηκαν κάποιες απο τις μεθόδους εκχύλισης, στην τελική συνταγή όμως χρησιμοποιείται αυτούσιος ο φλοιός απο το ψύλλιο.



Εικόνα 8: Φλοιός του σπόρου ψύλλιο (Grimes, 2015)

6. ΑΡΤΟΠΟΙΗΣΗ

6.1 Η ιστορία του άρτου

Το ψωμί είναι ένα από τα πρώτα επεξεργασθέντα τρόφιμα που παρασκευάστηκαν και καταναλώθηκαν από τον άνθρωπο. Σύμφωνα με αρχαιολογικά ευρήματα, το πρώτο ψωμί που παρασκευάστηκε από τον άνθρωπο ήταν πιθανότατα ένα μείγμα αλεύρου με νερό και ψήσιμο της ζύμης σε θερμές πέτρες. Τα πρώτα ζυμωμένα ψωμιά παρασκευάστηκαν από τους αρχαίους Σουμερίους και Αιγύπτιους πάνω από 5.000 έτη πριν. Ειδικά σχεδιασμένοι φούρνοι για το ψήσιμο ψωμιού χρησιμοποιήθηκαν για πρώτη φορά το 2.500 π.Χ. Υπάρχουν πολλές ποικιλίες ψωμιού με διαφορετικό μέγεθος, μορφή, χρώμα, υφή και γεύση. Αυτό εξαρτάται από τις πρώτες ύλες.

Το ψωμί επίσης μπορεί να ταξινομηθεί σε διογκωμένο και μη διογκωμένο. Το διογκωμένο ψωμί γίνεται από ζύμη που περιέχει διογκωτικούς παράγοντες. Οι διογκωτικοί παράγοντες περιλαμβάνουν τις ζύμες. (συνήθως *Saccharomyces cerevisiae*) και σκόνη ψησίματος που αποτελούνται από το δικαρβονικό νάτριο (σόδα μαγειρέματος), οξέα και αδρανή υλικά πληρώσεως. Το ψωμί διογκώνεται από το διοξείδιο του άνθρακα που παράγεται είτε από τη ζύμωση ή παράγοντες που απελευθερώνουν αέρια, επομένως το ψημένο ψωμί είναι συχνά κατάλληλο και πυκνό και ως εκ τούτου μερικές φορές αποκαλείται “fit bread” (Αρβανιτογιάννης *et al.*, 2011)

6.2 Παρασκευή άρτου χωρίς γλουτένη

Τα αρτοσκευάσματα είναι η κατηγορία τροφίμων με τη μεγαλύτερη κατανάλωση σε παγκόσμια κλίμακα. Ο αποκλεισμός της γλουτένης από το ψωμί αποτελεί το δυσκολότερο εγχείρημα για την τεχνολογία των τροφίμων, τόσο γιατί οι ιδιότητες της γλουτένης κατά την αρτοποιία είναι μοναδικές, όσο και γιατί η δυνατότητα εύρεσης εναλλακτικών της γλουτένης συστατικών είναι περιορισμένη (Cappa *et al.*, 2013, Kittisuban *et al.*, 2014).

Για να παραχθεί άρτος χωρίς γλουτένη, είναι απαραίτητη η χρήση αλεύρων από δημητριακά, που δεν περιέχουν αυτή και ειδικότερα όχι από σιτάρι, που είναι το κατεξοχήν δημητριακό με τα υψηλότερα επίπεδα γλουτένης (Carra *et al.*, 2013).

Ωστόσο, η πλειοψηφία των ψωμιών στην αγορά εξακολουθούν να είναι χαμηλότερης ποιότητας σε σύγκριση με τα προϊόντα ολικής αλέσεως. Τα κύρια ελαττώματα σε ένα ψωμί ελεύθερο γλουτένης (GF) είναι ότι συχνά εμφανίζουν κακή ποιότητα με μια ετοιμόρροπη υφή, ξηρή και εύθρυπτη ψίχα. Έλλειψη γεύσης και την ευχάριστη αίσθηση στο στόμα, όπως και κακό χρώμα, και τέλος ελαττώματα μετά το ψήσιμο. Αυτές είναι κάποιες από τις τεχνολογικές δυσκολίες που αντιμετωπίζουν οι παρασκευαστές (Phimolsiripol *et al.*, 2012).

Οι ερευνητικές προσπάθειες για ψωμί χωρίς γλουτένη επικεντρώνονται κυρίως στην ενσωμάτωση κατάλληλων πρόσθετων συστατικών με ιδιότητες σχηματισμού πηκτής, τα οποία θα μιμηθούν την ιξωδοελαστική συμπεριφορά της γλουτένης στο μίγμα του ζυμαριού και την ενίσχυση της ποιότητας του τελικού προϊόντος (Masure *et al.*, 2016). Το ψύλλιο επιλέχθηκε στην παρούσα μελέτη λόγω της σταθερότητας του σε διάφορα επίπεδα pH και διαφορετικές θερμοκρασίες, όντας ταυτόχρονα παρόμοιο με την γλουτένη στα τρόφιμα. Επίσης όταν ενωθεί με το νερό αποκτά αυτή την ιδιότητα σχηματισμού πηκτής, αλλιώς η σύσταση της ζύμης μοιάζει περισσότερο με αυτή του κουρκουτιού. Αυτές οι ιδιότητες του ψύλλιου, του επιτρέπουν να χρησιμοποιείται στις βιομηχανίες τροφίμων. Το ψύλλιο μπορεί να υποκαταστήσει τα λίπη ή να λειτουργήσει ως γαλακτωματοποιητής ή ως παράγοντας πήξης (Zandonadi *et al.*, 2009).

6.3 Κουρκούτι και Ζύμη

Το κουρκούτι είναι υγρό μείγμα αλεύρου, το οποίο έχει χτυπηθεί ή αναδευτεί και στο οποίο έχει ενσωματωθεί μια σημαντική ποσότητα συνεχούς μέσου. Το κουρκούτι είναι καταχωρημένο είτε ως pour batter (το κουρκούτι το οποίο ρέει) είτε drop batter (το κουρκούτι με πιο πηκτή μορφή που πέφτει). Το pour batter χρησιμοποιείται στην προετημασία τηγανίτων οι οποίες είναι λεπτές και έχουν αναλογία 1:1 υγρού και αλεύρου. Ενώ το drop batter έχει αναλογία 1:2 υγρού και αλεύρου. Τα μάφιν και τα μπισκότα είναι παραδείγματα προϊόντων τροφίμων που υπάγονται στην κατηγορία drop batter.

Η ζύμη είναι πιο πηκτή απο το κουρκούτι. Ζυμώνεται, δεν ανακατεύεται ή χτυπιέται και το δίκτυο γλουτένης είναι το συνεχές μέσω. Το μείγμα αλεύρου χωρίζεται σε δυο κατηγορίες μαλακές και σκληρές ζύμες. Για παράδειγμα μαλακή ζύμη, όπως αυτή του μπισκότου ή το ψωμί με μαγιά έχουν μια αναλογία υγρού και αλεύρου 1:3 ή μεγαλύτερη και μπορεί να χρησιμοποιηθεί για μπισκότα ή γλυκά όπως η ζύμη μιας πίτας. (Vaclavik *et al.* 2003) Το ψωμί χωρίς γλουτένη έχει την μορφή κουρκουτιού. Σκοπός είναι προσθέτοντας το ψύλλιο, να μιμηθεί τις ιξωδοελαστικές ιδιότητες της γλουτένης και να πάρει την μορφή ζύμης. Αν παραμείνει με την μορφή κουρκουτιού το τελικό αποτέλεσμα δεν έχει τα επιθυμητά ποιοτικά χαρακτηριστικά.

6.4 Συνταγή

Προκειμένου η αρτοποιήση να μελετηθεί εκτενέστερα, η διαδικασία αρτοποιήσης διαιρείται συνήθως σε τρία βασικά στάδια: 1) την ανάμιξη των πρώτων υλών προς σχηματισμό του ζυμαριού με την προσθήκη του ψύλλιου 2) την παραμονή του ζυμαριού υπό κατάλληλη θερμοκρασία και χρόνο ώστε να υποστεί ζύμωση/ωρίμανση και να αποκτήσει την επιθυμητό όγκο και τέλος 3) τον κλιβανισμό του ζυμαριού για την παραγωγή του τελικού προϊόντος.

Για να υπάρχει μέτρο σύγκρισης το ψωμί «μάρτυρας» χρησιμοποιήθηκε στην πρότυπη συνταγή (Πίνακας 4) με κόμμι γκούαρ αντί για ψύλλιο. Το Κόμμι Γκούαρ (Guar Gum) είναι ένα επίσης ελεύθερο γλουτένης πυκνωτικό, που προέρχεται από το φασόλι guar. Χρησιμοποιείται ευρέως στην μαγειρική χωρίς γλουτένη, για να προσδώσει το φούσκωμα που συνήθως κάνει η γλουτένη (Βαρζάκας, 2014).

Για να είναι δυνατή η παραγωγή του ζυμαριού, καταρχήν, πρέπει να ικανοποιούνται δυο προϋποθέσεις: η αναλογία των επιμέρους συστατικών να είναι σωστά υπολογισμένη, ώστε αυτό να διαθέτει ισορροπημένη σύσταση, και η κατανομή των συστατικών αυτών στη μάζα του ζυμαριού να είναι ομοιογενής (Σαμπάνης, 2010).

Πίνακας 4: Πρότυπη κι εμπλουτισμένη συνταγή

Πρότυπη Συνταγή	Βάρος	Συνταγή εμπλουτισμένη με ψύλλιο	Βάρος
Άμυλο πατάτας	200 g	Άμυλο πατάτας	200 g
Άμυλο καλαμποκιού	100 g	Άμυλο καλαμποκιού	100 g
Άλευρο καλαμποκιού	70 g	Άλευρο καλαμποκιού	70 g
Άλευρο ρυζιού	30 g	Άλευρο ρυζιού	30 g
Κόμμι Γκούαρ (Guar Gum)	4 g	Ψύλλιο	X g
Μαγία	6 g	Μαγία	6 g
Ζάχαρη	10 g	Ζάχαρη	10 g
Αλάτι	6 g	Αλάτι	6 g
Λάδι (Ηλιέλαιο)	12 g	Λάδι (Ηλιέλαιο)	12 g
Νερό	320 g	Νερό	320+X g

Για να είναι λοιπόν η αναλογία των επιμέρους συστατικών σωστά υπολογισμένη, το νερό και το ψύλλιο αναγράφονται στον Πίνακα 4 με την μορφή 320 + X και X αντίστοιχα. Αυτό συμβαίνει διότι η ποσότητα νερού που χρειάζεται για την προετοιμασία της ζύμης είναι συνήθως μεγαλύτερη από την ποσότητα ξηρών συστατικών και όσο αυξάνεται το ψύλλιο τόσο αυξάνεται και η ανάγκη της ζύμης για νερό. Έτσι λοιπόν 320 gr νερό χρησιμοποιούνται μόνο για την δημιουργία ζύμης και συμπληρώνεται για την ενυδάτωση του ψύλλιου. Διαφορετική ποσότητα ψύλλιου συνεπάγεται διαφορετική ποσότητα νερού (Πίνακας 5). Το πως επηρεάζουν οι αναλογίες αυτές το τελικό προϊόν θα αναλυθεί στα επόμενα κεφάλαια.

Πίνακας 5 :Αναλογίες ψύλλιο/νερό

Δείγμα	Ψύλλιο (%)	Νερό (%)
a	0	0
b	0,9	15
c	5	10
d	2,5	30
e	7,5	20
f	3,4	25
g	4,3	22,5
h	5,8	18,75

6.4.1 Άλευρο και ρυζιού

Το ρύζι (*Oryza sativa*) αποτελεί μία από τις σημαντικότερες καλλιέργειες στον πλανήτη. Το ρύζι καταναλώνεται συνήθως ως μαγειρεμένος σπόρος, αν και από αυτό παρασκευάζεται πλήθος τροφίμων, συμπεριλαμβανομένων των κράκερ, των noodles και κέικ ρυζιού, των σνακ και του αλεύρου ρυζιού. Το άλευρο ρυζιού έχει ιδιαίτερα χαρακτηριστικά όπως ήπια γεύση, λευκό χρώμα, ευκολία πέψης και υποαλλεργικές ιδιότητες. Η χαμηλή του περιεκτικότητα σε πρωτεΐνες και νάτριο, η απουσία γλοιαδίνης και η ύπαρξη εύκολα αφομοιώσιμων υδατανθράκων το καθιστούν ιδανικό τρόφιμο για ασθενείς με κοιλιοκάκη. Το ρυζάλευρο έχει περισσότερο πολύπλοκους συνδυασμούς φυσικοχημικών ιδιοτήτων από άλλα άλευρα δημητριακών. Για εφαρμογές σε ψημένα τρόφιμα, ιδιαίτερη σημασία πρέπει να δίνεται στο λόγο αμυλόζης/αμυλοπηκτικής, ο οποίος κυμαίνεται από 0-33%, στη θερμοκρασία ζελατινοποίησης η οποία κυμαίνεται από 55-79 °C και στη συμπεριφορά κατά τη ζύμωση (Wang, *et al.*, 2000). Το ρυζάλευρο, εφόσον είναι τόσο ιδανικό χρησιμοποιείται συχνά σε σύγκριση με άλλα άλευρα δημητριακών για την παραγωγή των GF προϊόντων. Ωστόσο τα ψωμιά από ρυζάλευρο απαιτούν ουσίες οι οποίες θα μιμούνται τις ιξωδοελαστικές ιδιότητες της γλουτένης, για να παρέχουν τη δομή να διατηρούν τα αέρια που θα παράγονται. Απο μόνο του δεν μπορεί να παρέχει όλες τις κατάλληλες ιδιότητες, σε μια συνταγή GF άρτου. (Phimolsiripol *et al*, 2012)

6.4.2 Άλευρο και άμυλο αραβοσίτου

Η χρήση του αλεύρου αραβοσίτου είναι περιορισμένη στην αρτοποιία λόγω του αρώματός του και του χαρακτηριστικού κίτρινου χρώματος. Είναι γνωστό ότι η προλαμίνη του αραβόσιτου ζείνη αν αναμειχθεί με άμυλο αραβοσίτου και νερό μπορεί να σχηματίσει ζυμάρι με παρόμοιες ιξωδοελαστικές ιδιότητες με αυτές του σίτου. Ωστόσο η θερμοκρασία υαλώδους μετάπτωσης της ενυδατωμένης προλαμίνης είναι κοντά στους 25 °C. Όπως και στην περίπτωση του ρυζάλευρου η κοκκομετρία του αλεύρου επηρεάζει την ποιότητα των τελικών προϊόντων καθώς αρτοποιασκευάσματα με βάση το χοντρόκοκκο άλευρο αραβοσίτου παρουσίασαν υψηλότερο όγκο και πιο μαλακή ψίχα σε σχέση με αυτά που παρασκευάστηκαν από λεπτόκοκκο άλευρο αραβοσίτου (de la Hera *et al.*, 2013).

6.4.3 Άμυλο πατάτας

Το άμυλο πατάτας είναι το παλιότερο εμπορικό προϊόν πατάτας και χρησιμοποιείται ευρέως στην αρτοποιία. Είναι γνωστό ότι ακόμη και μικρές ποσότητες στερεής πατάτας βοηθούν στη διατήρηση της φρεσκάδας και στην πρόσδοση ευχάριστου αρώματος στο τελικό προϊόν. Η πιο απλή και ευρέως χρησιμοποιούμενη μέθοδος είναι αυτή της αφυδάτωσης και άλεσης της πατάτας για παραγωγή αλεύρου. Έρευνες ανέφεραν ότι η μέση εκατοστιαία σύσταση του από διαφορετικές αμερικάνικες ποικιλίες είναι υδατάνθρακες 77–79%, πρωτεΐνη 9–11%, τέφρα 4–4.5%, ακατέργαστες ίνες και λιπίδια 0.1–0.2%. Επίσης το άμυλο πατάτας χρησιμοποιείται για τα χαρακτηριστικά του τα οποία διαφέρουν σημαντικά από εκείνα των άλλων αμύλων από άλλες φυτικές πηγές (Τσατσαράγκου, 2015).

6.4.4 Μαγιά

Στην παραγωγή αρτοπαρασκευασμάτων και των περισσότερων οينوπνευματώδων ποτών, χρησιμοποιείται ο *Saccharomyces cerevisiae*, για την παραγωγή αιθανόλης και CO₂. Ξεκινώντας την επεξήγηση από το όνομα, η πρώτη από τις 2 λέξεις (*Saccharomyces*) καθορίζει το γένος της μαγιάς και προέρχεται από 2 ελληνικές λέξεις *Saccharo* = ζάχαρη και *myces* = μύκητες. Η δεύτερη λέξη (*Cerevisiae*) καθορίζει το είδος της μαγιάς που αναφέρεται στην παρασκευή μύρας, που ονομαζόταν παλιά *cervoise* (Βαρζάκας, 2014). Οι ζύμες, απαντούν σε περιβάλλοντα πλούσια σε σάκχαρα, όπως στους χυμούς φρούτων και στο νέκταρ των λουλουδιών. Όταν υπάρχει οξυγόνο, οι ζύμες αναπτύσσονται επαρκώς στο υπόστρωμα του σακχάρου και παράγουν κύτταρα ζύμης και CO₂ (Οικονόμου, 2010). Η αιθανόλη εξατμίζεται κατά τη διάρκεια του ψησίματος και δεν επιδρά στην ποιότητα των αρτοσκευασμάτων. Όσο υψηλότερο το ποσοστό της μαγιάς στο ζυμάρι τόσο γρηγορότερος ο ρυθμός παραγωγής CO₂. Ωστόσο ο ρυθμός ανάπτυξης της μαγιάς εξαρτάται από την θερμοκρασία επώασης της ζύμης και είναι αυξανόμενος μέχρι τους 40-43 °C (Τσατσαράγκου, 2015).

6.4.5 Σάκχαρα

Συνηθίζεται στα αρτοσκευάσματα να χρησιμοποιείται σακχαρόζη, όμως μπορούν να προστεθούν και άλλα σάκχαρα. Απο τη φύση η σακχαρόζη λαμβάνεται κυρίως απο το σακχαρότευτλο και το σακχαροκάλαμο. Το προϊόν υφίσταται εξευγενισμό που συνίσταται κυρίως στον αποχρωματισμό του με ζωικό άνθρακα. Έχει πολλαπλές χρήσεις και η σημασία για την τεχνολογία τροφίμων και την ανθρώπινη διατροφή είναι πολύ σημαντική (Σφλώμος, 2011). Ακόμη και στην αρτοποιία τα σάκχαρα έχουν πολλαπλούς ρόλους. Αρχικά προσδίδουν γλυκιά γεύση και χρώμα στα ψημένα προϊόντα λόγω της αντίδρασης Maillard. Ακόμη λειτουργεί ως υπόστρωμα για την ανάπτυξη της μαγιάς ειδικά στα πρώτα στάδια της επώασης αλλά επηρεάζει και την ζελατινοποίηση του αμύλου. Η ύπαρξη σακχάρων στο ζυμάρι καθυστερεί την ζελατινοποίηση του αμύλου, οδηγώντας σε τελικό προϊόν με υψηλή διόγκωση ενώ ενισχύει και την διατήρηση της υγρασίας στην ψίχα. Αυτό έχει ως αποτέλεσμα να αργεί η διαδικασία «μπαγιατέματος». (Τσατσαράγκου, 2015)

6.4.6 Αλάτι

Το αλάτι είναι μία ένωση δύο πολύ ανόμοιων στοιχείων: νάτριο και χλώριο. Η κύρια λειτουργία του αλατιού είναι η ενίσχυση γεύσης του ψωμιού αλλά συμπεριφέρεται θετικά καθ' όλη την διάρκεια της παρασκευής του ψωμιού, ενισχύοντας επίσης κατά την διάρκεια του ζυμώματος, τις πλαστικές ιδιότητες του ζυμαριού, του οποίου βελτιώνει την συνεκτικότητα και την ελαστικότητα. Η δύναμη του ζυμαριού αυξάνει κατά περίπου 20% μεταξύ ενός ζυμαριού δίχως αλάτι και ενός ζυμαριού που περιέχει αλάτι σε ποσοστό 1.8%. Εάν η δοσολογία φθάσει στο 2.2% διαπιστώνεται νέα αύξηση της δύναμης του ζυμαριού κατά 3% (Βαρζάκας, 2014).

6.4.7 Λιπαρά

Τα λιπαρά στην αρτοποιία δρουν ως πλαστικοποιητές του ζυμαριού. Η προσθήκη υψηλών ποσοστών λιπαρών στο ζυμάρι απαιτεί μικρότερα ποσοστά νερού έτσι ώστε η συνεκτικότητα να είναι στα επιθυμητά επίπεδα. Τα λιπαρά διαρρηγνύουν την συνοχή του δικτύου γλουτένης-αμύλου, παρέχουν λίπανση των μορίων γλουτένης (όταν αυτά υπάρχουν) και μειώνουν την ικανότητα απορρόφησης νερού του ζυμαριού. Τα πιο συνηθισμένα λιπαρά είναι φυτικής προέλευσης αλλά μπορούν να προστεθούν και ζωικής (Τσατσαράγκου, 2015). Τα βρώσιμα ή edώδιμα λίπη και έλαια αποτελούνται σχεδόν εξ' ολοκλήρου από λιπίδια. Περιέχουν και άλλες ουσίες αλλά σε πολύ μικρά ποσοστά. Ως λιπίδια χαρακτηρίζονται οι οργανικές ενώσεις, κυρίως υδρόφοβες, που σχηματίζονται στο βιολογικό κύκλο κάθε ζωικού και φυτικού οργανισμού (Σφλώμος, 2011).

6.4.8 Νερό

Το νερό αποτελεί μια πολύ απλή ουσία. Είναι το υλικό που παράγεται από την καύση του απλούστερου στοιχείου στην φύση, του υδρογόνου (δηλαδή από την ένωση υδρογόνου με οξυγόνο). Το χρησιμοποιούμε σε καθημερινή βάση όχι μόνο για να το πιούμε αλλά και χρησιμοποιώντας το στα φαγητά μας. Στην αρτοποιία είναι αναγκαίο για την διαλυτοποίηση των υπόλοιπων συστατικών, όπως και την ενυδάτωση των πρωτεϊνών και των υδατανθράκων και για την ανάπτυξη πρωτεϊνικού δικτύου (Βαρζάκας, 2014). Το νερό παίζει επίσης σημαντικό ρόλο στις αλλαγές που σχετίζονται με το άμυλο κατά την δημιουργία του άρτου (π.χ. ζελατινοποίηση και αναδιάταξη του αμύλου), όπως και στην ποιότητα και την εμπορική ζωή του τελικού προϊόντος (Carra *et. al*, 2013).

6.5 Στάδια αρτοποιίας

6.5.1 Ανάμιξη συστατικών

Η διαδικασία παρασκευής της ζύμης είναι το βασικό βήμα στην παραγωγή της κρούστας και δομής (Αρβανιτογιάννης *et al.*, 2011). Η ανάμιξη παρέχει την απαραίτητη μηχανική ενέργεια για την έναρξη μιας σειράς πολύπλοκων μεταβολών και αλληλεπιδράσεων ανάμεσα στα συστατικά του ζυμαριού όπως το νερό, το άμυλο, οι πρωτεΐνες, τα λιπαρά, το αλάτι, τα σάκχαρα και η μαγιά, οι οποίες αποσκοπούν στο σχηματισμό ενός απαλού και συνεκτικού ζυμαριού (Σαμπάνης, 2010).

Η ανάπτυξη της γλουτένης είναι αυτή η οποία θα δώσει στο ζυμάρι την επιθυμητή μορφή. Προκειμένου να αποφευχθούν τα συμπτώματα της κοιλιοκάκης η παρουσία της γλουτένης είναι εντελώς ανεπιθύμητη. Το ιξώδες όμως της ζύμης χωρίς γλουτένη είναι χαμηλό, η ψίχα είναι σκληρή, η γεύση και το άρωμα ανεπαρκή και το ψωμί έχει χαμηλό ειδικό όγκο, ανεπαρκής ελαστικότητα, συνεκτικότητα και αντοχή, καθώς και μικρή διάρκεια ζωής (Buresova *et al.*, 2014). Η προσθήκη της διαιτητικής ίνας είναι αυτή που θα δώσει την συνοχή μεταξύ των υλικών έτσι ώστε να δημιουργηθεί το ζυμάρι. Υπάρχουν δύο προσεγγίσεις για την προσθήκη διαιτητικών ινών στο ψωμί χωρίς γλουτένη. Η μία είναι να χρησιμοποιηθούν πρώτες ύλες όπως προϊόντα ολικής αλέσεως και το δεύτερο είναι να προστεθούν απομονωμένες πηγές διαιτητικών ινών σε ραφινρισμένο αλεύρι. Τα αποτελέσματα στην υφή, τη θρεπτική και οργανοληπτική ποιότητα του τελικού προϊόντος θα είναι διαφορετικά, αλλά και οι δύο προσεγγίσεις έχουν τη δυνατότητα να ενισχύσουν την διατροφική αξία των τελικών προϊόντων. Το πλεονέκτημα της προσθήκης απομονωμένων πηγών διαιτητικών ινών (π.χ. κλάσματα πίτουρου, ψύλλιο κ.α.), είναι ότι περιέχουν και παρέχουν μόνο τα απαραίτητα θρεπτικά συστατικά και επιτρέπουν: 1) την επιλογή του κατάλληλου κλάσματος άλεσης και 2) τον έλεγχο της ποσότητας πριν τη προσθήκη τους όπως και τη μελέτη και τη βελτιστοποίηση της επίδρασής των ινών στις λειτουργικές ιδιότητες του τελικού προϊόντος (Phimolsiripol *et al.*, 2012).

6.5.2 Διαίρεση ζυμαριού

Αποσκοπεί στο διαχωρισμό της μάζας του ζυμαριού σε πολλά μικρότερα τεμάχια ίσου βάρους. Η διαίρεση γίνεται με βάση την ποσότητα του ζυμαριού. Η προσθήκη του ψύλλιου παίζει πολύ σημαντικό ρόλο στην δημιουργία και τη διαίρεση του ζυμαριού. Όταν η ποσότητα ψύλλιου στο ζυμάρι είναι πολύ μικρή τότε είναι πολύ ρευστό. Όσο αυξάνεται η ποσότητα του ψύλλιου στο ζυμάρι τόσο λιγότερο ρευστό γίνεται, με αποτέλεσμα να μπορεί να διαιρεθεί ευκολότερα, χωρίς να χαθεί πολύ προϊόν.

6.5.3 Μορφοποίηση ζυμαριού

Για την παρασκευή ψωμιού χωρίς γλουτένη με υψηλά ποιοτικά χαρακτηριστικά είναι απαραίτητη η ισορροπία μεταξύ ιξώδους και ελαστικού χαρακτήρα του ζυμαριού. Όπως προαναφέρθηκε πρέπει να έχει προστεθεί επαρκής ποσότητα ψύλλιου, έτσι ώστε η ζύμη να είναι στερεή και να μπορεί να μορφοποιηθεί, αλλιώς εμφανίζεται σαν κουρκούτι και όχι σαν ζύμη με συνέπεια να πρέπει να χυθεί στο καλούπι, όπου και θα μείνει κατά τη διαδικασία ζύμωσης και κλιβανισμού.

6.5.4 Ζύμωση

Η ζύμωση του ζυμαριού ξεκινά κατά την ανάμιξη, συνεχίζεται κατά τους υπόλοιπους χειρισμούς του ζυμαριού (διαίρεση, διαμόρφωση και διόγκωση) και ολοκληρώνεται στα τελικά στάδια του κλιβανισμού. Κατά τη ζύμωση απελευθερώνονται πτητικές ενώσεις, οι οποίες είναι υπεύθυνες για το άρωμα του ψωμιού κατά τη διάρκεια του ψησίματος. Η συγκέντρωση αυτών των ενώσεων μπορεί να αυξηθεί με αύξηση της ποσότητας των χρησιμοποιούμενων ζυμών. Οι ζύμες, το κύριο συστατικό στη ζύμωση, είναι ευαίσθητες στο αλάτι και τα σάκχαρα λόγω ωσμωτικής αφυδάτωσης. Η ζύμη του αρτοποιού (baker's yeast) είναι πιθανότατα το *Saccharomyces cerevisiae*, του οποίου η αντοχή στην ωσμωτική αφυδάτωση ποικίλλει, ανάλογα με το στέλεχος που χρησιμοποιείται. (Αρβανιτογιάννης *et al.*, 2011)

6.5.5 Ωρίμανση – Διόγκωση ζυμαριού

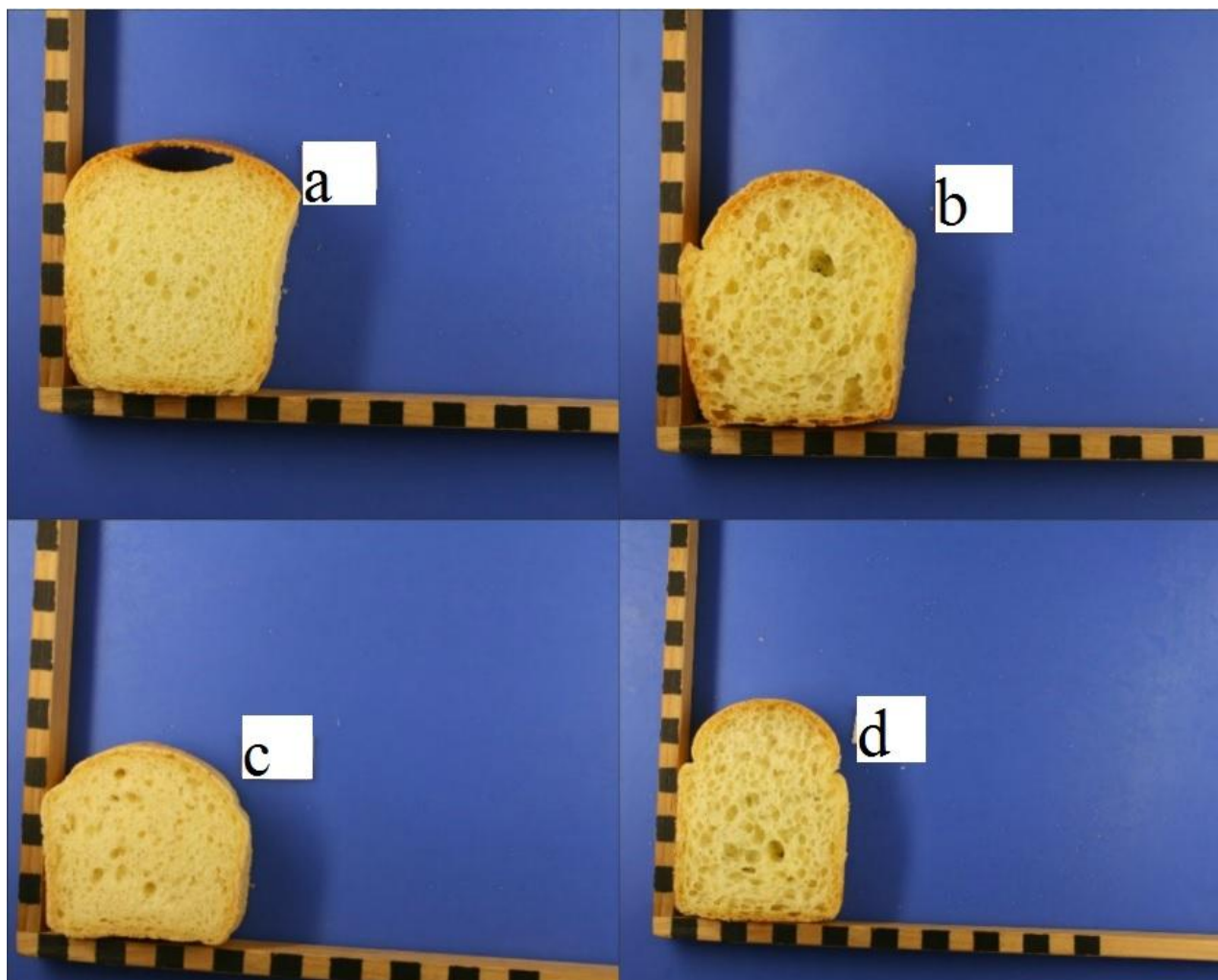
Η ωρίμανση λαμβάνει μέρος σε ειδικό θάλαμο με 80% υγρασία στους 30 °C για 45 λεπτά. Η φάση αυτή ονομάζεται και ήπια θερμική προεργασία (Η.Θ.Π.). Κατά την Η.Θ.Π. η ζύμη θα διασταλεί δραματικά εξαιτίας της ζύμωσης. Η διάρκεια της Η.Θ.Π. εξαρτάται από την ποσότητα και την ποιότητα των ζυμών καθώς και από την θερμοκρασία της Η.Θ.Π. Αύξηση στην ποσότητα των χρησιμοποιούμενων ζυμών, τείνει να αυξήσει τον ρυθμό διαστολής της ζύμης. Η θερμοκρασία της Η.Θ.Π. είναι μια σημαντική παράμετρος που επηρεάζει την ενεργότητα των ζυμών (Αρβανιτογιάννης *et al.*, 2011). Ζυμάρια που τους λείπει η γλουτένη, εμφανίζουν περιορισμένες ικανότητες διαστολής και κατακράτησης των αερίων κατά τη διάρκεια διόγκωσης, που οδηγεί αναπόφευκτα σε ψωμί με μειωμένο όγκο και ψίχα με σκληρότητα (Cappa *et. al*, 2013).

6.5.6 Κλιβανισμός

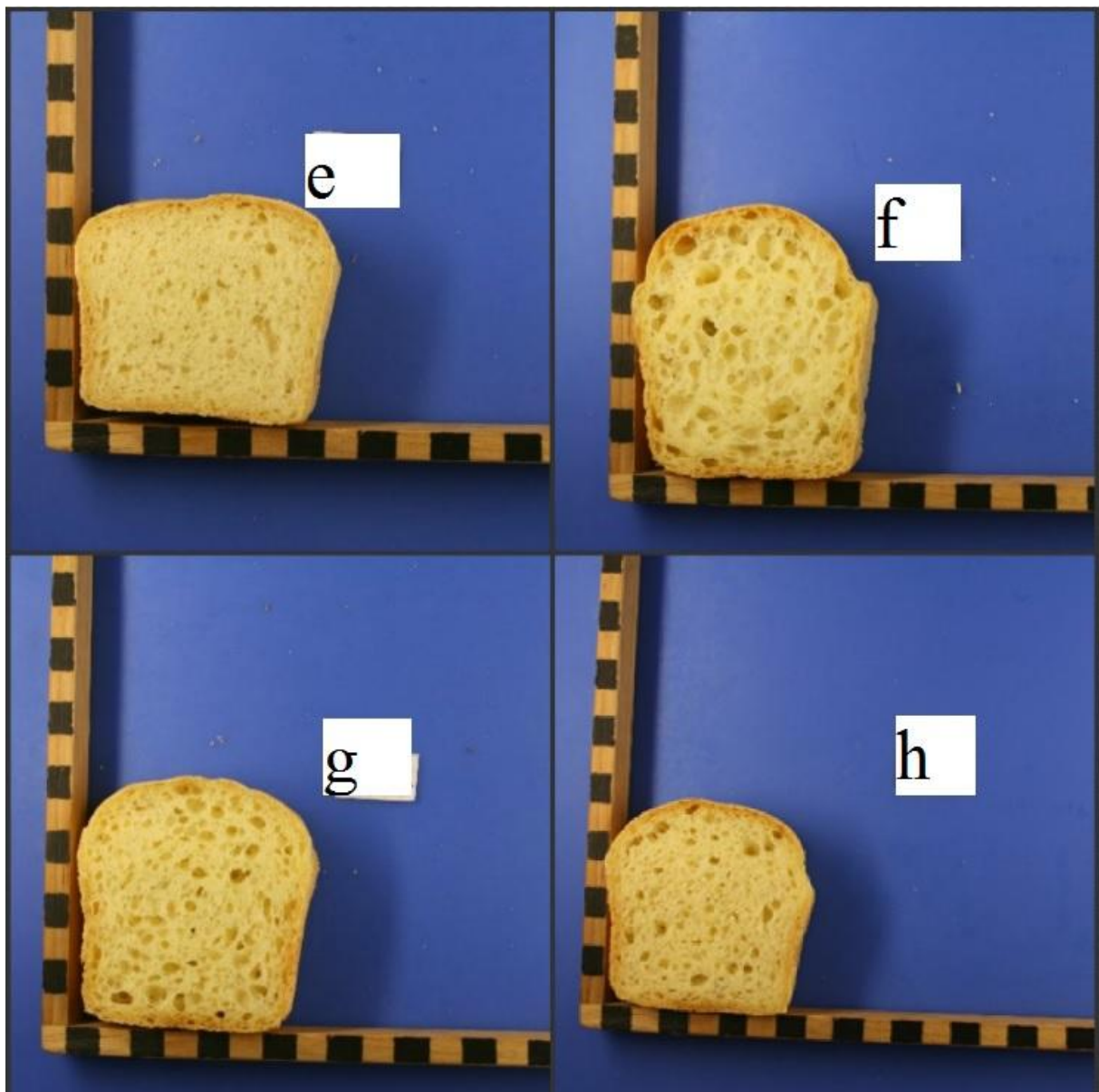
Κατά τον κλιβανισμό παρατηρείται αύξηση του όγκου, αδρανοποίηση της μαγιάς και των ενζύμων, στερεοποίηση πρωτεϊνών και μερική ζελατινοποίηση του αμύλου. Παράλληλα όμως ο κλιβανισμός συνοδεύεται από σημαντική απώλεια υγρασίας (Masure *et al.*, 2016). Οι αντιδράσεις αυτές μαζί με τον σχηματισμό μιας κρούστας, μετατρέπουν ένα μη εδώδιμο κομμάτι ζύμης σε ένα πορώδες εύγευστο προϊόν, το ψωμί. Ο χρόνος διάρκειας του ψησίματος μπορεί να ποικίλλει από 18-20 sec για το αραβικό ψωμί μέχρι και για 1 ώρα για τα βαριά, πυκνά ψωμιά σίκαλης της Ανατολικής Ευρώπης. Η θερμοκρασία επίσης μπορεί να κυμαίνεται σε μεγάλο εύρος από 150-650 °C. Γενικά το πάχος είναι αναλογικό με την θερμοκρασία ψησίματος του ψωμιού (Αρβανιτογιάννης *et al.*, 2011). Ο κλιβανισμός στην συγκεκριμένη περίπτωση πρέπει να διαρκεί 55 λεπτά στους 200 °C.

6.5.7 Ψύξη

Είναι πολύ σημαντικό το ψωμί να ψύχεται προτού κοπεί σε φέτες και συσκευαστεί. Εάν το ψωμί τεμαχιστεί όσο είναι ακόμα ζεστό μπορεί να υποστεί ζημιά το ψωμί, είτε αργότερα κατά τη συσκευασία να εμφανιστεί μούχλα. Στις αγορές όπου δεν υπάρχει κανένας περιορισμός στην περιεκτικότητα της υγρασίας του ψωμιού, η απώλεια υγρασίας και ως εκ τούτου η απώλεια βάρους κατά τη διάρκεια της ψύξης πρέπει να λαμβάνεται υπόψη. Η υπερβολική απώλεια υγρασίας μπορεί να οδηγήσει σε επιτάχυνση της διαδικασίας «μπαγιατέματος» (Αρβανιτογιάννης *et al.*, 2011). Ο χρόνος ψύξης σε πειραματικό στάδιο για την ανάλυση ψωμιού πρέπει να ανέρχεται στις 2 ώρες. Έπειτα μπορεί να κοπεί και να αναλυθούν τα ποιοτικά χαρακτηριστικά της ψίχας.



*Εικόνα 9: Δείγματα ψωμιού ελεύθερου γλουτένης με διαφορετικές % αναλογίες ψύλλιο/νερό α) 0/0
b) 0,9/15 c) 5/10 d) 2,5/30*



Εικόνα 10: Δείγματα ψωμιού ελεύθερου γλουτένης με διαφορετικές % αναλογίες ψύλλιο/νερό e) 7,5/20 f) 3,4/25 g) 4,3/22,5 h) 5,8/8,75

6.1.1 Ποιοτικά χαρακτηριστικά ψωμιού

Ο άρτος χαρακτηρίζεται από την κόρα, ένα ξηρό και λεπτό στρώμα που περικλείει την ψίχα, μια μαλακή σπογγώδη δομή. Σε αρτοσκευάσματα χωρίς γλουτένη το χρώμα του άρτου εξαρτάται από τις πρώτες ύλες και συγκεκριμένα το αλεύρι. Ο άρτος χαρακτηρίζεται ως προϊόν ενδιάμεσης υγρασίας, με τυπικές τιμές υγρασίας της κόρας να κυμαίνονται στο 12-17% και της ψίχας στο 35-40%, ανάλογα το είδος του άρτου και τις απαιτήσεις των πρώτων υλών σε νερό. (Τσατσαράγκου, 2015)

6.1.2 Υφή της ψίχας

Οι ίνες που είναι πλούσιες σε διαλυτές φυτικές ίνες, όπως στην συγκεκριμένη περίπτωση το ψύλλιο, μπορούν να επηρεάσουν θετικά την απαλότητα της ψίχας, διατηρώντας την υγρασία αλλά και αυξάνοντας την εσωτερικά της ψίχας. Ωστόσο, εάν το νερό είναι περιορισμένο στην αρχική μάζα, και πολλά συστατικά χρειάζονται επίσης ενυδάτωση, τόσο υδροκολλοειδή όσο και άλλες διαιτητικές ίνες, δεν μπορεί να πραγματοποιηθεί η λειτουργία στο μέγιστο (Carra et al., 2013). Γενικά όσο μεγαλύτερη είναι η ποσότητα φυτικής ίνας σε μια ζύμη τόσο μεγαλύτερη απαίτηση από νερό υπάρχει έτσι ώστε να μπορεί να χειριστεί η ζύμη (Mariotti et al., 2009). Το νερό και το αλεύρι είναι τα πιο σημαντικά συστατικά σε μια συνταγή ψωμιού, καθώς επηρεάζουν την υφή και την ψίχα περισσότερο από κάθε άλλο συστατικό (Σαμπάνης, 2010). Η υφή του τροφίμου μπορεί να τροποποιηθεί με την προσθήκη διαφόρων βελτιωτικών σε επεξεργασμένα προϊόντα.

Η υφή της ψίχας προσδιορίζεται χρησιμοποιώντας τον αναλυτή υφής TA-XT2. Ο κύλινδρος αλουμινίου 25 mm διαμέτρου, χρησιμοποιήθηκε σε μια δοκιμή συμπίεσης, ο οποίος διεισδύει σε βάθος 50%, με μια δοκιμή ταχύτητα των 2 mm/s, και 30 s καθυστέρηση μεταξύ του πρώτου και του δεύτερου χρόνου συμπίεσης. Με τον αναλυτή υφής (TPA) υπολογίζονται έννοιες όπως η σκληρότητα, η συνεκτικότητα, το κομμώδες και η μασητικότητα που θα αναλυθούν παρακάτω (De la Hera et al., 2013).

Η αντίληψη της σκληρότητας (hardness) στο ψωμί γίνεται με την πρώτη δαγκωματιά, έπειτα της ικανότητας θραύσης και της συνοχής και στη στο τέλος κατά τη μάσηση παρατηρούνται οι έννοιες της μασητικότητας (chewiness), και του κομμιώδους (gumminess) Επίσης γίνεται αισθητή η υγρασία και η λιπαρότητα του τροφίμου καθώς και το σχήμα και η γεωμετρία κάθε κομματιού. (Σαμπάνης, 2010)

Οι έννοιες των παραμέτρων :

Σκληρότητα: Η τιμή της σκληρότητας είναι η μέγιστη δύναμη που εμφανίζεται κατά τη διάρκεια της πρώτης συμπίεσης. Η σκληρότητα δεν χρειάζεται να εμφανιστεί στο βαθύτερο σημείο συμπίεσης, αν και τυπικά αυτό συμβαίνει στα περισσότερα προϊόντα.

Συνεκτικότητα: Με αυτή την έννοια αντιλαμβανόμαστε πόσο καλά το προϊόν αντέχει μια δεύτερη παραμόρφωση σε σχέση με την αντοχή του στο πλαίσιο της πρώτης παραμόρφωσης. Όταν η συνεκτικότητα είναι χαμηλή, αυτό δείχνει την υψηλή ευαισθησία της ψίχας να σπάσει ή να θρυμματιστεί (De la Hera *et al.*, 2013).

Κομμιώδες: Το κομμιώδες ισχύει μόνο για ημιστερεά προϊόντα και βρίσκεται από την σχέση (σκληρότητα * συνεκτικότητα)

Μασητικότητα: Ισχύει μόνο για στερεά προϊόντα και υπολογίζεται ως (κομμιώδες * ελαστικότητα) (Demirkesen *et al.*, 2014).

Κατά τους De la Hera *et al.*, 2013 η συνεκτικότητα, η οποία ποσοτικοποιεί την εσωτερική αντίσταση ή τη συνοχή της δομής των τροφίμων, αυξήθηκε σημαντικά όταν τα ψωμιά ήταν φτιαγμένα με λεπτό αλεύρι ρυζιού. Ενώ στην συγκεκριμένη περίπτωση, η συνεκτικότητα των ψωμιών ελεύθερων γλουτένης με ψύλλιο κυμαινόταν πάντα στις ίδιες τιμές, διότι χρησιμοποιήθηκε μόνο ένα είδος αλεύρου ρυζιού. Αντίθετα η σκληρότητα εμφάνισε πολλές αυξομειώσεις. Η σκληρότητα είναι μια παράμετρος αντιστρόφως ανάλογη με τον ειδικό όγκο. Ένα ψωμί με μικρό όγκο έχει μεγαλύτερη σκληρότητα, λόγω πυκνότερης ψίχας και πιο συμπαγών κυψελών. Έτσι και με την προσθήκη μεγάλης ποσότητας ψύλλιου, η σκληρότητα αυξανόταν απότομα και ο όγκος μειωνόταν (Εικόνα 9 και 10 ψωμιά c, e, h). Όταν όμως προστίθεται μικρή ποσότητα ψύλλιου και μεγαλύτερη ποσότητα νερού, είχε ως συνέπεια υπερβολικά μαλακή ψίχα και αυξημένο όγκο, με αποτέλεσμα ο αναλυτής υφής να μην αναγνωρίζει το δείγμα (Εικόνα 9 και 10 ψωμιά b, d, f).

6.1.3 Δομή της ψίχας

Ψίχα είναι η εσωτερική δομή, η οποία εμφανίζεται όταν το ψωμί είναι κομμένο σε φέτες. Όταν κοπεί σε φέτες η δομή της επιφάνειας είναι ορατή. Αυτή συμπεριλαμβάνει πολλούς πόρους διασυνδεδεμένους, διαφόρων μεγεθών σε μια συνεχή μήτρα. (Tsatsaragkou *et al.*, 2014). Χαρακτηρίζεται ως ανοικτή, όταν αποτελείται από μεγάλες μεμονωμένες κυψέλες και διαθέτει ομοιόμορφη ανοικτή ή κλειστή δομή ή εύρος κυψελών διαφορετικού μεγέθους. Το σχήμα των κυψελών είναι επίσης σημαντικό. Προτιμώνται αυτές που διαθέτουν ωώδεις ή επίμηκες σχήμα έναντι κυκλικού. Τέλος το πάχος των τοιχωμάτων τους επηρεάζει τα χαρακτηριστικά της ψίχας. Η ύπαρξη μεγάλων οπών στην ψίχα αποδίδεται σε εσφαλμένες συνθήκες ωρίμανσης. (Εικόνα 9 και 10 ψωμιά b, d, f). Αξίζει επίσης να σημειωθεί ότι όχι μόνο το πορώδες, αλλά επίσης και η ομοιογένεια της κατανομής του μεγέθους των κυψελίδων αερίου είναι σημαντική για την ποιότητα του ψωμιού (de la Hera *et al.*, 2014). Όπως είναι εμφανές στην εικόνα τα δείγματα με προσθήκη μικρού ποσοστού ψύλλιου και μεγαλύτερο ποσοστό νερού, έχουν μεγαλύτερο όγκο όμως ταυτόχρονα ανομοιόμορφη δομή. Έχουν επίσης εύρος κυψελών, διαφορετικού μεγέθους, με πλειοψηφία κυψέλες μεγάλου μεγέθους. (Εικόνα 9 και 10 ψωμιά b, d, f). Η δομή αυτών των δειγμάτων χαρακτηρίζεται ανοικτή και το σχήμα τους ωώδες. Το μέγεθος των κυψελίδων και η δομή, επηρεάζουν σε μεγάλο βαθμό αίσθηση του προϊόντος στο στόμα. Ομοιόμορφου μεγέθους κυψέλες αποφέρουν μια μαλακή και ελαστική υφή στο ψωμί, ιδιότητες που συνήθως είναι ευπρόσδεκτες από τους καταναλωτές. Επομένως, επιθυμητός είναι υψηλός αριθμός μεσαίου μεγέθους πόρους που θα χαρακτηρίζονται από υψηλή ομοιομορφία όπως ο «μάρτυρας» (Εικόνα 9, ψωμί a) (Phimolsiripol *et al.*, 2012).

ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ

Στην προσπάθεια να δημιουργηθεί ένα αρτοπαρασκεύασμα το οποίο έχει ελκυστική εμφάνιση, θρεπτικά συστατικά και ταυτόχρονα θα είναι ελεύθερο γλουτένης, το ψύλλιο, ένα φυτό με μεγάλο ποσοστό διαλυτών και αδιάλυτων φυτικών ινών έδωσε την απάντηση. Οι φυτικές ίνες του ψύλλιου έχουν θετικό αντίκτυπο στην υγεία των ατόμων που πάσχουν απο κοιλιοκάκη. Το ψύλλιο, μειώνει τις πιθανότητες εμφάνισης διαβήτη, λόγω του χαμηλού γλυκαιμικού δείκτη, όταν προστίθεται στα τρόφιμα. Έχει αναγνωριστεί επίσης ως ένα προϊόν με ιδιότητες μείωσης την χοληστερόλης και τέλος χρησιμοποιείται για την θεραπεία πολλών ασθενειών του παχέος εντέρου. Γενικά, ο εμπλουτισμός του ψωμιού χωρίς γλουτένη με ψύλλιο, δεν βελτιώνει μόνο τη διατροφική ποιότητα, αλλά και τα φυσικοχημικά χαρακτηριστικά, αυξάνοντας τον ειδικό όγκο, βελτιώνοντας την ψίχα την συνεκτικότητα και την κυτταρική πυκνότητα, και μειώνοντας τη σκληρότητα και τη σαφήνεια της κρούστας (Martinez *et al.*, 2014). Ακόμη η προσθήκη διαιτητικών ινών σε ψημένα αρτοσκευάσματα αποσκοπεί και στην διατήρηση της φρεσκότητάς τους, λόγω της υψηλής ικανότητας δέσμευσης νερού των ινών. Η φύση όμως των διαιτητικών ινών και τα ποσοστά ενσωμάτωσης παίζουν πολύ σημαντικό ρόλο στο τελικό προϊόν. Όπως αποδείχθηκε και στην παρούσα μελέτη διαφορετική αναλογία ψύλλιου/νερού έδωσε και διαφορετικά ποιοτικά χαρακτηριστικά. Μεγάλη ποσότητα ψύλλιου στο ψωμί είχε ως αποτέλεσμα αυξημένη σκληρότητα και μειωμένο όγκο. Αντίθετα μεγάλη ποσότητα νερού, είχε ως αποτέλεσμα το ψωμί να έχει αυξημένο όγκο αλλά ανοιχτή δομή και χαμηλή σκληρότητα. Ενώ η συνεκτικότητα παρέμενε σχεδόν σταθερή σε κάθε αναλογία νερού/ψύλλιου. Επομένως, είναι απαραίτητη η γνώση και η καλύτερη κατανόηση των λειτουργικών ιδιοτήτων του ψύλλιου (Τσατσαράγκου, 2015). Έτσι σε μελλοντικές έρευνες θα καθοριστεί η ακριβής αναλογία ψύλλιου/νερού, η οποία όταν προστεθεί στο ψωμί θα επιφέρει όλα τα επιθυμητά χαρακτηριστικά που αναφέρθηκαν παραπάνω.

ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

Ahmadi R., A. Kalbasi-Ashtari, and S.M.T. Gharibzahedi, (2012) Physical properties of psyllium seed INTERNATIONAL Agrophysics, 26, 91-93

Cabrera-Chávez F., A.M. Calderón de la Barca, (2010) Review Trends in wheat technology and modification of gluten proteins for dietary treatment of coeliac disease patients, Journal of Cereal Science, 52, 3, 337–341

Cappa Carola, Mara Lucisano, Manuela Mariotti, (2013) Influence of Psyllium, Sugar beet fiber and water on gluten-free dough properties and bread quality, Carbohydrate Polymers, 98, 1657– 1666

Codex Alimentarius (2014) Διαθέσιμο στη σελίδα: <http://eur-lex.europa.eu/legal-content/EL/TXT/HTML/?uri=CELEX:32014R0828&from=EL>

Craeyveld, V., Delcour, J. A., Courtin, C. M (2009) Extractability and chemical and enzymic degradation of psyllium (*Plantago ovata* Forsk) seed husk arabinoxylans. Food Chemistry, 112, 4, 812-819

Cui Steve W., (2001) Polysaccharide gums from agricultural products, processing, structures & functionality, Technomic Publishing, Pennsylvania

De la Barca AM, Rojas-Martínez ME, Islas-Rubio AR, Cabrera-Chávez F. (2010) Gluten-free breads and cookies of raw and popped amaranth flours with attractive technological and nutritional qualities. Plant Foods for Human Nutrition, 65, 3, 241–246

De la Hera Esther, Cristina M. Rosell, Manuel Gomez, (2014) Effect of water content and flour particle size on gluten-free bread quality and digestibility, Food Chemistry, 151, 526–531

Demirkesen Ilkem, Shivangi Kelkar, Osvaldo H. Campanell, Gulum Sumnu Serpil Sahin, Martin Okos (2014) Characterization of structure of gluten-free breads by using X-ray microtomography Food Hydrocolloids, 36, 37-44

Eufic (2006) Διαθέσιμο στη σελίδα: <http://www.eufic.org/article/el/nutrition/carbohydrates/artid/glycaemic-index/>

Eufic (2012) Διαθέσιμο στη σελίδα: <http://www.eufic.org/article/en/food-safety-quality/food-allergy-intolerance/artid/Coeliac-disease-on-the-rise-in-Europe/>

FAO Διαθέσιμο στη σελίδα: <http://ecocrop.fao.org/ecocrop/srv/en/cropView?id=8739>

Farahnaky A., H. Askari, M. Majzoobi, Gh. Mesbahi, (2010) The impact of concentration, temperature and pH on dynamic rheology of psyllium gels Journal of Food Engineering, 100, 294–301

Fischer Milton H., Nanxiong Yu, Gary R. Gray, John Ralph, Laurens Andersond and Judith A. Marletta (2004) The gel-forming polysaccharide of psyllium husk (Plantago ovata Forsk), Carbohydrate Research, 339, 2009–2017

R.J. Fletcher,(2016) Pseudocereals, [Reference Module in Food Science](#)

Grimes Heather (2015) Διαθέσιμο στη σελίδα: <http://www.myprotein.com/thezone/supplements/5-amazing-health-benefits-of-psyllium-husk/>

Guo Qian, Steve W. Cui, Q. Wang, J. Christopher Young (2008) Fractionation and physicochemical characterization of psyllium gum Carbohydrate Polymers 73 35–43

Guo Qian, Steve W. Cui, Q. Wang, H. Douglas Goff, Alexandra Smith (2009) Microstructure and rheological properties of psyllium polysaccharide gel, Food Hydrocolloids, 23, 1542–1547

Heinio R.L., M.W.J. Noort, K. Katina, S.A. Alama, N. Sozera, H.L. de Kock, M. Hersleth, K. Poutanen, (2016) Sensory characteristics of wholegrain and bran-rich cereal foods – A review, Trends in Food Science & Technology, 47, 25–38

Hosseini Mousalreza, Masoumeh Salaria, Roshanak Salarib (2015) Psyllium seed may be effective in the treatment of gastroesophageal reflux disease (GERD) in patients with functional constipation Journal of Medical Hypotheses and Ideas, 9, 2, 4–7

Roth-Johnson Liz, (2013) Διαθέσιμο στη σελίδα: <https://scienceandfooducla.wordpress.com/2013/07/23/boozy-apple-pie/>

Kittisuban Phatcharee, Pitiporn Ritthiruangdejb, Manop Supphantharika, (2014) Optimization of hydroxypropylmethylcellulose, yeast β -glucan, and whey protein levels based on physical

properties of gluten-free rice bread using response surface methodology, *LWT - Food Science and Technology*, 57, 2, 738–748

Mancebo Camino M., Miguel Ángel San Miguel, Mario M. Martínez, Manuel Gómez, (2015) Optimization of rheological properties of gluten-free doughs with HPMC, psyllium and different levels of water, *Journal of Cereal Science*, 61, 8–15

Mariotti Manuela, Mara Lucisano, M. Ambrogina Paganina, Perry K.W. Ng, (2009) The role of corn starch, amaranth flour, pea isolate, and Psyllium flour on the rheological properties and the ultrastructure of gluten-free doughs, *Food Research International*, 42, 963–975

Martínez Mario M., Álvaro Díaz, Manuel Gómez (2014) Effect of different microstructural features of soluble and insoluble fibres on gluten-free dough rheology and bread-making *Journal of Food Engineering*, 142, 49–56

Masure Hanne G., Ellen Fierens, Jan A. Delcour (2016) Current and forward looking experimental approaches in gluten-free bread making research *Journal of Cereal Science*, 67, 92-111

Orecchio Santino, Diana Amorello, Maria Raso, Salvatore Barreca, Claudia Lino, Francesca Di Gaudio (2014) Determination of trace elements in gluten-free food for celiac people by ICP-MS *Microchemical Journal*, 116, 163–172

O'Shea Norah, Elke K. Arendt, Eimear Gallagher (2012) Dietary fibre and phytochemical characteristics of fruit and vegetable by-products and their recent applications as novel ingredients in food products *Innovative Food Science & Emerging Technologies*, 16, 1–10

Phimolsiripol Yuthana, Amornrat Mukprasirt, Regine Schoenlechner (2012) Quality improvement of rice-based gluten-free bread using different dietary fibre fractions of rice bran *Journal of Cereal Science* 56 389-395

Rao Monica R.P., Deepa U Warriar, Snehal R Gaikwad, Prachi M Shevate (2015) Phosphorylation of psyllium seed polysaccharide and its characterization, *International Journal of Biological Macromolecules*, 85, 317-336

Rosell Cristina M., Francisco Barro, Carolina Sousa, Ma Carmen Mena, (2014) Cereals for developing gluten-free products and analytical tools for gluten detection, *Journal of Cereal Science, Cereal Science for Food Security Nutrition and Sustainability*, 59, 3, 354–364

Václav Trojan, Milena Musilová, Tomáš Vyhnánek, Bořivoj Klejdus, Pavel Hanáček, Ladislav Havel (2014) Chalcone synthase expression and pigments deposition in wheat with purple and blue colored caryopsis *Journal of Cereal Science*, 59, 1, 48–55

Tsatsaragkou Kleopatra, Styliani Protonotariou, Ioanna Mandala, (2016) Structural role of fiber addition to increase knowledge of non-gluten bread, *Journal of Cereal Science* 67, 58–67, *Functionality of Cereal Based Non-Gluten Dough Systems*

Tsatsaragkou K., G. Gounaropoulos, I. Mandala, (2014) Development of gluten free bread containing carob flour and resistant Starch, *LWT - Food Science and Technology* 58, 124-129

Vaclavik Vickie A., Elizabeth W. Christian, (2003) *Essential of food science*, 2nd edition, Kluwer Academic/Plenum Publishers, New York, 316-317

Verma Anjali, Renu Mogra (2015) Psyllium (*Plantago ovata*) Husk: A Wonder Food for Good Health *International Journal of Science and Research (IJSR)*, 4, 9, 1581- 1585

Wang, H.H., Sun, D.W., Zeng, Q., Lu, Y (2000) Effect of pH, corn starch and phosphates on the pasting properties of rice flour. *Journal of Food Engineering*, 46, 133-138

Wang Pei a, Han Tao, Zhengyu Jin, Xueming Xu, (2016) Impact of water extractable arabinoxylan from rye bran on the frozen steamed bread dough quality *Food Chemistry*, 200, 117–124

Wang Naifu b, Gary G. Hou, Meera Kweon, Bon Lee, (2016) Effects of particle size on the properties of whole-grain soft wheat flour and its cracker baking performance *Journal of Cereal Science*, 69, 187–193

Woods Elyssa Paige, (2015) <http://sites.psu.edu/siowfa15/2015/12/04/should-you-be-gluten-free-and-not-have-celiac-disease/> Renata

Zandonadi Puppín, Raquel Braz Assunção Botelho, Wilma Maria Coelho Araújo, (2009) Psyllium as a Substitute for Gluten in Bread, *American Dietetic Association, Eat Right*, 109, 1781-1784

Αρβανιτογιάννης Ιωάννης Σ. και Αλέξανδρος Χ. Στρατάκος (2011) *Τεχνολογίες Επεξεργασίας και Συσκευασίας Τροφίμων*, Εκδόσεις επιστημονικών Βιβλίων και Περιοδικών UniversityStudioPress, Θεσσαλονίκη, 405-409

Βαρζάκας Θ. (2014) Σημειώσεις Εργαστηρίου στην Τεχνολογία και Ποιότητα Σιτηρών, ΑΤΕΙ Πελοποννήσου, Καλαμάτα

Κεφαλάς.Π. (2009) Τρόφιμα από Σιτηρά. Χημεία-Βιοχημεία-Τεχνολογία, Εκδόσεις Γαρταγάνης, 15-40

Οικονόμου Τ. ed. (2010) Βιολογία των Μικροοργανισμών, Τόμος Ι, Πανεπιστημιακές Εκδόσεις Κρήτης, 140

Σαμπάνης Δημήτριος, (2010) Παραγωγή Αρτοσκευασμάτων Ελεύθερων Γλουτένης, Διδακτορική Διατριβή, Εθνικό Μετσόβιο Πολυτεχνείο Σχολή Χημικών Μηχανικών Εργαστήριο Χημείας & Τεχνολογίας Τροφίμων

Συντώσης Λ. ed. (2007) Διατροφή και μεταβολισμός, Τόμος Ι, Ιατρικές Εκδόσεις Π.Χ. Πασχαλίδης, Αθήνα, 125-143

Σφλώμος Κ, (2011) Χημεία τροφίμων με Στοιχεία Διατροφής, Τομος Ι, Β έκδοση, Εκδόσεις Σφλώμος, 150-250

Τζιούβας Κωνσταντίνος, Δέσποινα Δαμιανάκη-Ουρανού (2008) Επιστημονικά Χρονικά., 2, 61-65

Τσατσαράγκου Κλεοπάτρα (2015) Επίδραση Πρωτεϊνών και Διαιτητικών Ινών Φυτικής Προέλευσης στην Ανάπτυξη Προϊόντων Ελεύθερων Γλουτένης με Βελτιωμένα Ποιοτικά Χαρακτηριστικά, Γεωπονικό Πανεπιστήμιο Αθηνών