



ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΙΩΑΝΝΙΝΩΝ
ΣΧΟΛΗ ΘΕΤΙΚΩΝ ΕΠΙΣΤΗΜΩΝ
ΤΜΗΜΑ ΧΗΜΕΙΑΣ
ΤΟΜΕΑΣ ΒΙΟΜΗΧΑΝΙΚΗΣ ΧΗΜΕΙΑΣ ΚΑΙ ΧΗΜΕΙΑΣ ΤΡΟΦΙΜΩΝ

ΔΙΑΤΡΙΒΗ ΜΕΤΑΠΤΥΧΙΑΚΟΥ ΔΙΠΛΩΜΑΤΟΣ ΕΙΔΙΚΕΥΣΗΣ ΣΤΗ ΧΗΜΕΙΑ ΚΑΙ
ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΑ ΤΡΟΦΙΜΩΝ

ΑΞΙΟΛΟΓΗΣΗ ΤΩΝ ΠΟΙΟΤΙΚΩΝ ΠΑΡΑΜΕΤΡΩΝ ΨΩΜΙΟΥ ΜΕ ΤΗΝ ΠΡΟΣΘΗΚΗ ΠΡΟΖΥΜΗΣ

ΚΑΤΣΗ ΠΑΥΛΙΝΑ
ΧΗΜΙΚΟΣ

ΤΡΙΜΕΛΗΣ ΕΞΕΤΑΣΤΙΚΗ ΕΠΙΤΡΟΠΗ: ΚΟΝΤΟΜΗΝΑΣ Μ.Γ.(ΕΠΙΒΛΕΠΩΝ)
ΜΠΑΔΕΚΑ Α.
ΠΡΟΕΣΤΟΣ Χ.

ΙΩΑΝΝΙΝΑ 2018

Η έγκριση της Διατριβής Μεταπτυχιακού Διπλώματος Ειδίκευσης από το Τμήμα Χημείας του Πανεπιστημίου Ιωαννίνων δεν υποδηλώνει την αποδοχή των γνωμών του συγγραφέα **(Ν. 5343/1932, άρθρο 202)**.

Ευχαριστίες

Ενα μεγάλο ευχαριστώ στον επιβλέποντα καθηγητή μου τον κύριο Μ.Γ. Κοντομηνά, ο οποίος με την εμπιστοσύνη που μου έδειξε και με την καθοδήγηση του με βοήθησε να φέρω σε πέρας τη μεταπτυχιακή μου διατριβή.

Επιπλέον θα ήθελα να ευχαριστήσω ιδιαιτέρως την κυρία Α. Μπαδέκα, η οποία με τις γνώσεις της και την καθημερινή της καθοδήγηση μου έδωσε πολύτιμη βοήθεια για την εργασία μου. Θα ήθελα επίσης να ευχαριστήσω την υποψήφια διδάκτορα Κοσμά Ιωάννα για την άψογη συνεργασία μας και την πολύτιμη βοήθεια της στο πειραματικό κομμάτι της εργασίας μου.

Τέλος θα ήθελα να ευχαριστήσω την οικογένεια μου και τους φίλους μου, οι οποίοι στάθηκαν δίπλα μου όλο αυτό το διάστημα, όπως επίσης και στα υπόλοιπα μέλη του εργαστηρίου για την άριστη σχέση που είχαμε σαν ομάδα στο εργαστήριο.

Στην οικογένεια μου,

ΠΙΝΑΚΑΣ ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΩΝ

ΕΙΣΑΓΩΓΗ	11
I. Θεωρητικό Μέρος	13
Κεφάλαιο 1: Εισαγωγικά στο ψωμί.....	15
1.1. Ιστορία του ψωμιού	15
1.2. Ιστορία παρασκευής ψωμιού	16
1.3. Τεχνικές παρασκευής ψωμιού	17
1.3. Προζύμι (ή Προζύμη)	18
1.4. Σύσταση του ψωμιού	19
1.5. Ποιότητα ψωμιού	21
1.6. Αλεύρι.....	24
Κεφάλαιο 2: Ρεολογία του ψωμιού.....	35
2.1. Συστατικά του αλεύρου και του ζυμαριού.....	35
2.2. Στάδια σχηματισμού της ζύμης	36
2.3. Αλλοίωση της υφής του ψωμιού.....	39
2.4. Αντικειμενική εξέταση μηχανικών ιδιοτήτων του ψωμιού	44
Κεφάλαιο 3: Αρωματικό προφίλ του ψωμιού.....	51
3.1. Η αντίληψη της οσμής και γεύσης από τις ανθρώπινες αισθήσεις	51
3.2. Άρωμα του ψωμιού	52
3.3. Ανάλυση Αρώματος – GC/MS.....	54
3.4. Αλλαγές στο άρωμα λόγω κατεργασιών του ψωμιού	55
Κεφάλαιο 4: Μικροβιολογία ψωμιού	63
4.1. Μικροβιολογικό προφίλ προζυμιού	64
4.2. Τεχνολογία του προζυμιού	65
4.3. Γαλακτικά Βακτήρια στο προζύμι.....	65
4.4. Μικροοργανισμοί που εντοπίζονται σε ψωμί με προζύμι	68
4.5. Μικροβιακή αλλοίωση του ψωμιού.....	71
Κεφάλαιο 5 : Νομοθεσία.....	74
5.1. Άλευρα-Αλευρόμυλοι-Ζυμαρικά	74
5.2. Αρτοποιεία – Πρατήρια Άρτου - Ψωμί - Αρτοσκευάσματα –Λοιπά Προϊόντα Αρτοποιίας.....	75
Αντικείμενο Έρευνας	77
II. Πειραματικό Μέρος	79
1. Προετοιμασία δειγμάτων.....	81
2. Μικροβιολογικές αναλύσεις	82

2.1.Δειγματοληψία	82
2.2.Τεχνική επιφανειακής επίστρωσης	83
2.3.Τεχνική ενσωμάτωσης.....	83
3. Προσδιορισμός pH – οξύτητας	84
4. Προσδιορισμός Αρωματικού προφίλ με Μικροεκχύλιση Στερεάς Φάσης Υπερκεεμένου Χώρου (HS-SPME-GC/MS)	84
4.1.Αντιδραστήρια, υλικά και όργανα.....	84
4.2.Προετοιμασία δείγματος.....	85
4.3.Συνθήκες ανάλυσης πτητικών ενώσεων με GC-MS	85
5. TPA- Ανάλυση υφής.....	86
6.Οργανοληπτικός έλεγχος.....	87
7. Στατιστική Ανάλυση.....	87
III.Αποτελέσματα – Συζήτηση	89
1.Μικροβιολογικές Αναλύσεις	91
2.Φυσικοχημικές αναλύσεις	99
2.1.Προσδιορισμός pH – οξύτητας	99
2.2.Πτητικά Συστατικά.....	101
2.3. Ανάλυση Υφής με TPA (Texture Profile Analysis)	114
3.Οργανοληπτικός έλεγχος.....	119
Συμπεράσματα	125
ΠΕΡΙΛΗΨΗ	127
ABSTRACT	129
Βιβλιογραφία.....	131

ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Στα παλαιότερα χρόνια έφτιαχναν στα χωριά ψωμί με προζύμι διότι δεν είχαν πρόσβαση στην ξηρή μαγιά. Τότε παραγόταν ψωμί με διαφορετικές ιδιότητες (υφή, ικανότητα συντήρησης, γεύση, άρωμα). Σκοπός της παρούσας εργασίας είναι η διαφοροποίηση σε ποιοτική και ποσοτική βάση των δύο προϊόντων.

Πολλοί θεωρούν πως το ψωμί είναι το πιο παλιό “επεξεργασμένο” τρόφιμο. Δεν είναι σίγουρο πού και πότε ξεκίνησε η παραγωγή του, αλλά ίσως σχετίζεται με τη Μέση Ανατολή, όπου καλλιεργείτο γενικά το σιτάρι σε πιο άγρια και πρωτόγονη μορφή απ’ ότι σήμερα. Δεν μπορεί να προσδιοριστεί αν η παραγωγή του σιταριού αναπτύχθηκε για την παρασκευή ψωμιού ή εάν η μεγάλη παραγωγή και καλλιέργεια σιταριού οδήγησε στην ιδέα για την παραγωγή του προϊόντος [1]. Η συνολική αυτή προσπάθεια παραγωγής ενός προϊόντος, το οποίο θα είναι εύπεπτο, με πρώτη ύλη τα σιτηρά, που δεν μπορούσαν να καταναλωθούν εύκολα άμεσα, ήταν ένα πάρα πολύ σημαντικό βήμα στην γενική παραγωγή τροφίμων από τον άνθρωπο.

Με μία ανάμειξη αλεύρου και νερού παράγεται μία μάζα πλούσια σε άμυλο και γλουτένη, η οποία εξελίσσεται με τη διαδικασία του ψήσιματος σε ένα εύπεπτο, πιο μαλακό και γενικώς πιο νόστιμο προϊόν. Η μάζα της γλουτένης έχει τη δυνατότητα αύξησης του όγκου της, καθώς παράγεται και εγκλωβίζεται CO₂ στη δομή της. Κυρίως αυτό συμβαίνει όταν το υπόστρωμα προέρχεται από σιτάρι, διότι είναι πιο πλούσιο σε πρωτεΐνες με θειούχα αμινοξέα από άλλα σιτηρά. Σε άλλα υποστρώματα η αύξηση του όγκου δεν είναι τόσο μεγάλη όπως π.χ στο καλαμπόκι.

Σημαντική ήταν η ανακάλυψη πως η ζύμη αν αφεθεί απλά και χωρίς να υποστεί κάποια διαδικασία (ψήσιμο) αυξάνεται σε όγκο παρουσία μαγιάς. Γενικά είναι σημαντική η ανάλυση των παραγόντων που συντελούν σε αυτό καθώς και σε όλο το μικροβιακό προφίλ και στις αλληλεπιδράσεις των μικροοργανισμών. Οι διάφορες διαδικασίες που λαμβάνουν χώρα έχουν αντίκτυπο στην υφή και στο άρωμα του τελικού προϊόντος. Σημαντικός λοιπόν είναι ο ρόλος των ζυμών καθώς επίσης και ο ρόλος του προζυμιού. Έχουμε μια εξέλιξη από την παραγωγή ψωμιού στα αρχαία χρόνια (κάτι σαν προζύμι), στην παραγωγή ψωμιού με μαγιά μπύρας και έπειτα στην παραγωγή ψωμιού με χρήση ξηρής, ειδικής για ψωμί, μαγιάς εμπορίου.

Όπως αναφέρθηκε το σιτάρι είναι πλούσιο σε γλουτένη. Και άλλα σιτηρά μπορούν να χρησιμοποιηθούν για την παραγωγή ψωμιού, όπως σίκαλη και κριθάρι, αλλά ο σχηματισμός γλουτένης δεν είναι ο ίδιος και κατ' επέκταση το τελικό προϊόν διαφέρει σε όγκο και σε γεύση. Πολλές φορές για την λήψη ψωμιού με ιδιαίτερα χαρακτηριστικά, δηλαδή με ιδιαίτερο όγκο και γεύση, πρέπει να προστεθούν επιπλέον συστατικά για την παραγωγή αεριού, όπως σάκχαρα ή λιπίδια.

Το ψωμί ξεκίνησε ως ένα πολύ απλό προϊόν και η πιο απλή συνταγή για το ψωμί είναι αυτή με νερό, αλεύρι, μαγιά και αλάτι. Ωστόσο μεταγενέστερα οι επιστήμονες ασχολήθηκαν με το προϊόν σε μικροβιολογικό επίπεδο, καθώς και σε τεχνολογικό επίπεδο εξέλιξης. Πλέον υπάρχουν πολλές διαφορετικές συνταγές για το ψωμί καθώς και τρόποι παρασκευής και επεξεργασίας. Πολλοί παράγοντες παίζουν πλέον ρόλο στην παρασκευή ενός ψωμιού, ένας από τους οποίους φυσικά είναι και η προτίμηση του καταναλωτικού κοινού, η οποία διαμορφώνεται από την περιοχή και την παράδοση και επίσης από το προσωπικό γούστο του κάθε ατόμου.

Η ποιότητα εξαρτάται από υποκειμενικούς παράγοντες πέραν της θρεπτικής αξίας και του χρόνου αλλοίωσης. Η γεύση, η φρεσκάδα και τα χαρακτηριστικά υφής είναι υποκειμενικά στην εκτίμηση και εξαρτώνται από τα κριτήρια που έχει θεσπίσει το κάθε προϊόν (μπαγκέτα, ψωμί για τοστ, φρυγανιά κ.α.).

Η συντήρηση είναι κάτι που έχει απασχολήσει πολλούς που έχουν ασχοληθεί με την παραγωγή ψωμιού. Φρέσκο θεωρείται το ψωμί που μόλις έχει βγει από το φούρνο και για όσο διάστημα διατηρεί αυτά τα χαρακτηριστικά (γεύση, υφή, άρωμα).

Η ιδιαιτερότητα του ψωμιού σαν προϊόν που το ξεχωρίζει από τα υπόλοιπα προϊόντα με παρόμοια υλικά (μπισκότα, ζυμαρικά) είναι ο σχηματισμός του πλέγματος γλουτένης, στο οποίο εγκλωβίζεται αέριο CO₂ και σαν αποτέλεσμα έχουμε μια πορώδη τελική δομή, γεύση, οσμή και υφή, διαφορετικά από άλλα προϊόντα. Σημαντικό ρόλο παίζουν φυσικά τα χρησιμοποιούμενα συστατικά και η ποσότητα αυτών όπως η ζάχαρη ή το νερό (πολύ ή λίγο νερό έχει σαν αποτέλεσμα να μην δημιουργείται σωστά το πλέγμα της γλουτένης).

Ι. Θεωρητικό Μέρος

Κεφάλαιο 1: Εισαγωγικά στο ψωμί

1.1. Ιστορία του ψωμιού

Το ψωμί είναι ένα προϊόν που παράγεται εδώ και χιλιάδες χρόνια. Έχει μεγάλη ιστορία και ακόμα και σήμερα είναι το κύριο προϊόν καθημερινής κατανάλωσης σε πολλές χώρες. Το ψωμί και ο τρόπος παρασκευής του ανά τους αιώνες έχουν τροποποιηθεί με βάση την καλύτερη χρήση των πρώτων υλών, τις μαγειρικές συνήθειες και την ίδια την κοινωνία από την οποία καταναλώνεται.

Η πρωταρχική προέλευση του ψωμιού εκτιμάται να είναι το 10.000 π.Χ. στην Αίγυπτο [2]. Αν και αυτό δεν είναι παρά μια υπόθεση, το σίγουρο είναι πως βρέθηκαν σκαλισμένες σκηνές φούρνων σε ερείπια στη Μέμφιδα που υπολογίζονται στο 3.000 π.Χ. [3]. Στην Αίγυπτο το 2.470 π.Χ. είναι γνωστό πως υπήρχαν φούρνοι, για να προμηθεύουν καθημερινά αυτούς που εργάζονταν χτίζοντας πυραμίδες με ψωμί. Το ψωμί παρασκευαζόταν από emmer, το οποίο είναι μια αρχαία ποικιλία σιταριού. Στην αρχαιότητα θεωρείται πως η ζύμωση γινόταν με τον συνδυασμό καλλιεργείων που περιείχαν ζύμες και γαλακτικά βακτήρια [1].

Στη Μεσαιωνική Αγγλία το ψωμί ήταν κύριο προϊόν καθημερινής κατανάλωσης. Υπήρχαν αυστηροί κανονισμοί για να ελέγχεται το εμπόριο, η κυκλοφορία και η τιμή του προϊόντος, καθώς και η ποιότητα. Παράγονταν διαφορετικοί τύποι ψωμιού με αλεύρι διαφορετικού ποσοστού αλέσης, έτσι ώστε ο καθένας να έχει την δυνατότητα να το αγοράσει. Γινόταν εμπορία μαγιάς, η οποία προερχόταν από μύρα, η τιμή της οποίας ήταν επίσης ελεγχόμενη [4].

Η χρήση καλλιεργείων προζυμιού συνεχίστηκε μέχρι τον 19^ο αιώνα, όπου συντηρείτο ποσότητα από την παραγόμενη ζύμη και χρησιμοποιείτο την επόμενη φορά. Αυτή η πρακτική εντοπίζεται και σήμερα, ακόμα και σε χώρες που η βιομηχανική παραγωγή ψωμιού είναι ανεπτυγμένη [2]. Αναφερόμαστε στις καλλιέργειες προζυμιού που ξεκίνησαν από την Αρχαία Αίγυπτο. Από τα μέσα του 19^{ου} αιώνα και μετέπειτα επικράτησε η παραγωγή ψωμιού με τη χρήση μαγιάς και κατ' επέκταση αναπτύχθηκε και η μαζική βιομηχανική παραγωγή μαγιάς καταλήγοντας στην γνωστή ξηρή καλλιέργεια που χρησιμοποιείται έως και σήμερα. Παλιότερα κύρια πηγή μαγιάς ήταν τα ζυθοποιία. Μετέπειτα όμως με την επικράτηση της “ξανθής” μύρας, η μαγιά από “ξανθή” μύρα δεν

ήταν κατάλληλη για αρτοποιία, επομένως παρουσιάστηκε η ανάγκη μαζικής παραγωγής μαγιάς συγκεκριμένης ποιότητας [5].

Το ψωμί καταναλώνεται σε όλες τις χώρες του κόσμου, και πλέον και σε χώρες που δεν παρασκευάζουν ψωμί παραδοσιακά όπως στην Νοτιοανατολική Ασία. Το ψωμί διακρίνεται σε διάφορους τύπους και κριτήρια για αυτή τη διάκριση μπορεί να είναι τα συστατικά, το σχήμα ή το ιδιαίτερο καταναλωτικό κοινό στο οποίο απευθύνεται. Στην ευρωπαϊκή αγορά τα περισσότερα ψωμιά παράγονται από σιτάρι, ωστόσο στη Βόρεια Ευρώπη, καθώς και στη Γερμανία είναι συχνό φαινόμενο το ψωμί να παρασκευάζεται από σίκαλη. Σε χώρες όπως Ιταλία, Γαλλία και Ισπανία, το λευκό ψωμί, όπως και οι μπαγκέτες κατακλύζουν την αγορά [6]. Υπάρχουν είδη ψωμιού που καταναλώνονται κυρίως σε κάποιες χώρες ή σε κάποιες περιόδους όπως το γερμανικό χριστουγεννιάτικο stollen. Άλλα προϊόντα που προέρχονται επίσης από τα υλικά αλεύρι και μαγιά είναι οι μεξικάνικες τορτίγιες, οι αραβικές πίτες, οι βάσεις για πίτσα, το Σκανδιναβικό flatbread και το κινέζικο ψωμί στον ατμό [7].

Διαφορετικά επίσης μπορεί να είναι τα επίπεδα παραγωγής ψωμιού από μικρά σκεύη σε φούρνους έως βιομηχανικού επιπέδου μαζική παραγωγή. Για το λόγο αυτό επίσης αυξάνεται η ποικιλία των ειδών του ψωμιού. Στις περισσότερες χώρες η κύρια πηγή παραγωγής είναι τα αρτοποιεία που βρίσκονται σε διάφορες περιοχές και παράγουν σε καθημερινή βάση ψωμί. Το 78% της συνολικής παραγωγής ψωμιού στην Αγγλία και το 75% στην Ιταλία αντίστοιχα προέρχονται από μικρά αρτοποιεία [8].

1.2. Ιστορία παρασκευής ψωμιού

Με την πάροδο των αιώνων και κυρίως στις δυτικές χώρες, η φύση του ψωμιού άλλαξε λόγω της εξέλιξης των σιταριών, της αλλαγής στον τρόπο μετατροπής τους σε αλεύρι και σε τεχνολογικές εξελίξεις στον τομέα ψησίματος.

Οι αρχαίοι τύποι σιταριού ήταν οι *triticum boeoticum*, *triticum dieoccoides* και η εξέλιξή τους στην παραγωγή ψωμιού ήταν διαφορετική ανάλογα τη χώρα. Οι αποκλίσεις οφείλονταν κυρίως στις διαφορές κλίματος, χώματος και κουλτούρας αν και στις μέρες μας παράγοντες όπως περιβαλλοντικοί, οικονομικοί, βιομηχανικοί, επιστημονικοί και πολιτικοί επηρεάζουν επίσης την διαφοροποίηση.

Λόγω της εξέλιξης του σιταριού με διαφορετικούς τρόπους ανά τον κόσμο η ταξινόμηση ψωμιού ανά τον κόσμο έχει ως εξής [9]:

- Αυτά με μεγάλο όγκο (Ηνωμένο Βασίλειο, Β. Αμερική, Δυτικές χώρες)
- Αυτά μετρίου όγκου (Γαλλία, πολλά ψωμιά σικάλης)
- Αυτά μικρού όγκου (Μέση Ανατολή, Ανατολικές χώρες)

1.3. Τεχνικές παρασκευής ψωμιού

Οι πρακτικές που χρησιμοποιούνται για την παρασκευή ψωμιού διαφέρουν από χώρα σε χώρα και από μικρά σε μεγάλα αρτοποιεία ή και βιομηχανίες άρτου. Η κύρια διαφοροποίηση ωστόσο στον τρόπο που παράγεται το ψωμί σχετίζεται με το χρονικό διάστημα από το ζύμωμα έως το ψήσιμο. Η επιλογή του τρόπου παρασκευής εξαρτάται από διάφορους παράγοντες όπως η ποιότητα των πρώτων υλών, η επιθυμητή ταχύτητα παραγωγής, ο βαθμός αυτοματοποίησης της διαδικασίας που διατίθεται, καθώς και η παράδοση της κάθε περιοχής [10].

Η πιο απλή διαδικασία θεωρείται η ανάμειξη όλων των συστατικών και έπειτα μετά από ένα μικρό χρονικό διάστημα που αφήνεται η ζύμη για ωρίμανση, ακολουθεί η διαδικασία ψησίματος. Η τεχνική αυτή θεωρείται τεχνική μικρής διάρκειας λόγω του μικρού χρονικού διαστήματος που περνάει από τη ζύμωση μέχρι το ψήσιμο και μπορεί να επηρεαστεί από διάφορες παραμέτρους όπως η μίξη με κάποιο δυνατό mixer. Χρησιμοποιούνται μεγάλες ποσότητες μαγιάς, καθώς για την εξοικονόμηση χρόνου απαιτείται μεγάλη ταχύτητα παραγωγής αερίου από τους ζυμομύκητες της μαγιάς για το “φούσκωμα” του ψωμιού.

Οι διαδικασίες που απαιτούν περισσότερο χρόνο διαχωρίζονται σε πρακτικές ενός σταδίου όπου έχουμε εκτεταμένο στάδιο ζύμωσης και πρακτικές περισσότερων σταδίων που περιλαμβάνουν διαφορετικά στάδια υφής της ζύμης από πιο σπογγώδη σε πιο συνεκτική [11]. Μια πρακτική παρασκευής ψωμιού πολλών σταδίων μεγάλης χρονικής διάρκειας θεωρείται και η παρασκευή ψωμιού με χρήση προζυμιού. Για την παραγωγή ψωμιού έχει αναπτυχθεί και η τεχνολογία παραγωγής ζυμών αρτοποιίας (ξηρή μαγιά).

Έτσι, υπάρχει πλέον σήμερα μεγάλη ποικιλία από είδη ψωμιού, μερικά από τα οποία παρατίθενται παρακάτω [12]:

Λευκό ψωμί το οποίο γίνεται από αλεύρι που περιέχει μόνο τον κεντρικό πυρήνα των σιτηρών, το αλεύρι που χρησιμοποιείται συνήθως είναι τύπου 70% ή και 55%.

Μαύρο ψωμί το οποίο παρασκευάζεται από αλεύρι που προέρχεται από 100% το βάρος του κόκκου του σιταριού

Πολύσπορο ψωμί το οποίο είναι υψηλής θρεπτικής αξίας ψωμί, πλούσιο σε φυτικές ίνες, βιταμίνες, αμινοξέα και θρεπτικά συστατικά. Από το όνομά του, καταλαβαίνουμε ότι παρασκευάζεται από διάφορα είδη δημητριακών, όπως σιτάρι, σίκαλη, κριθάρι, βρώμη, καλαμπόκι, σπόρους κεχριού, παπαρούνας ή ηλιόσπορου.

Ψωμί σίκαλης προέρχεται από αλεύρι σίκαλης, το οποίο έχει υψηλότερη περιεκτικότητα σε φυτικές ίνες από πολλούς κοινούς τύπους ψωμιού και συχνά είναι πιο σκούρο στο χρώμα. Μπορεί να έχει ανοιχτό ή σκούρο χρώμα, ανάλογα με τον τύπο του αλεύρου που χρησιμοποιείται και συνήθως είναι πυκνότερο από το ψωμί που γίνεται από αλεύρι σίτου.

Χωριάτικο ψωμί το οποίο παρασκευάζεται από αλεύρι τύπου Μ, το οποίο παράγεται αποκλειστικά και μόνο από σκληρό σιτάρι και έχει κίτρινο χρώμα.

Σύμμεικτο ψωμί το οποίο παρασκευάζεται με ισόποση ανάμειξη αλεύρων κατηγορίας Μ, με αλεύρι από σκληρό σιτάρι και αλεύρι τύπου 70%.

1.3. Προζύμι (ή Προζύμη)

Όταν γίνει ανάμειξη νερού με αλεύρι από σιτάρι και το μίγμα αφεθεί, τότε μετά από κάποιο χρονικό διάστημα (περίπου 7 ημέρες) παράγεται μια ζύμη με όξινο χαρακτήρα, το γνωστό προζύμι, το οποίο μπορεί να παρασκευαστεί με πάρα πολλές διαφορετικές συνταγές, με την πιο απλή να είναι αυτή που αναφέρθηκε. Αυτή η διαδικασία ζύμωσης θεωρείται ότι είναι η πρώτη μικροβιολογική καλλιέργεια που έγινε από τον άνθρωπο στην αρχαία Αίγυπτο. Έτσι έγινε χρήση από αρχαιοτάτων χρόνων του προζυμιού για παρασκευή ψωμιού. Η ανάλυση της μικροβιολογίας του προζυμιού ωστόσο έχει μελετηθεί εκτενέστερα τα τελευταία 100 χρόνια.

Γενικώς το προζύμι είναι μια μικτή καλλιέργεια ζυμών – γαλακτικών βακτηρίων (LAB), η οποία αναπτύσσεται σε υποστρώματα που προέρχονται από δημητριακά και κυρίως σιτάρι.

Το προζύμι δεν είναι το τελικό προϊόν άλλα ένα ενδιάμεσο για την παραγωγή του τελικού προϊόντος. Η μικροβιολογία, οι αλληλεπιδράσεις και ο μεταβολισμός των μικροοργανισμών έχουν αντίκτυπο στο τελικό προϊόν όσο αναφορά την υφή, τη γεύση και τη θρεπτική του αξία. Σημαντικός παράγοντας που επηρεάζει όλα αυτά τα χαρακτηριστικά είναι η συμμετοχή των γαλακτικών βακτηρίων στις μεταβολικές αντιδράσεις. Το προζύμι ουσιαστικά είναι μια ζύμη στην οποία υπάρχουν ενεργοί μικροοργανισμοί ή μικροοργανισμοί που έχουν την δυνατότητα να ενεργοποιηθούν ξανά και ξανά. Αν στο προζύμι προστεθούν αλεύρι και νερό τότε έχουμε επιπλέον παραγωγή γαλακτικού οξέος, λόγω της ενεργοποίησης και περαιτέρω ανάπτυξης των γαλακτικών βακτηρίων [13].

1.4. Σύσταση του ψωμιού

Το ψωμί στην πιο απλή μορφή του αποτελείται από αλεύρι, νερό, αλάτι και μαγιά [10]. Υπάρχουν και άλλα συστατικά που χρησιμοποιούνται συχνά στην παρασκευή ψωμιού, όπως ζάχαρη, βελτιωτικά και συντηρητικά, τα οποία αλληλεπιδρούν και μπορεί να έχουν επίδραση στην υφή, στην δομή της κόρας και στο άρωμα [11]. Υπάρχουν γενικώς πολλές συνταγές για ψωμί.

1.4.1.Συστατικά

Αλεύρι: Κυρίως χρησιμοποιείται αλεύρι από σιτάρι, αλλά μπορεί να χρησιμοποιηθεί και αλεύρι από σίκαλη ή καλαμπόκι. Το αλεύρι σίτου που χρησιμοποιείται για παραγωγή ψωμιού γενικώς περιέχει 11-13% πρωτεΐνες, από τις οποίες η πιο σημαντική είναι η γλουτένη. Η γλουτένη είναι υπεύθυνη για την εσωτερική δομή του ψωμιού, για την ελαστικότητα και την εκτατικότητα [14]. Το αλεύρι περιέχει ένα μικρό ποσοστό ζυμώσιμων μόνο- και δισακχαριτών. Στο σιτάρι η σακχαρόζη κυμαίνεται από 0,5% έως 1,5%, η γλυκόζη από 0,03% έως 0,10%, η φρουκτόζη από 0 έως 0,08% και η μαλτόζη από 0 έως 0,02% [15]. Στο αλεύρι σίτου ωστόσο το ποσοστό της μαλτόζης κυμαίνεται από 1,7% έως 3% [10]. Αυτό συμβαίνει γιατί απελευθερώνεται επιπλέον μαλτόζη από τους κόκκους αμύλου, οι οποίοι έχουν καταστραφεί κατά τη διαδικασία παραγωγής, πρώτον με τη δράση της α-αμυλάσης που παράγει δεξτρίνες από το άμυλο και δεύτερον με την δράση της β-αμυλάσης στις δεξτρίνες.

Το άμυλο δεν είναι απλά μια πηγή ζυμώσιμων υδατανθράκων, αλλά επίσης αραιώνει τη γλουτένη σε ένα επιθυμητό επίπεδο [16].

Αλάτι: Εκτός του ότι το αλάτι ενισχύει τη γεύση, μπορεί να καταστείλει την παραγωγή αερίου από τις ζύμες και ενδυναμώνει την δομή της γλουτένης. Τα δύο αυτά θεωρούνται επιθυμητά ή όχι ανάλογα με τις συνθήκες παραγωγής ή τη “δύναμη” του αλεύρου [17]. Το αλάτι μπορεί να χρησιμοποιηθεί σε συγκεντρώσεις έως 4% [11]. Σε χαμηλές συγκεντρώσεις μπορεί να ενδυναμώσει την παραγωγή αερίου [18], ενώ σε επίπεδα υψηλότερα από 2 – 2,5% μπορεί να εξουδετερώσει τελείως την δραστηριότητα των ζυμών [3].

Ζάχαρη: Η ζάχαρη προστίθεται στο ψωμί σε διάφορες ποσότητες, ανάλογα με τις τοπικές προτιμήσεις. Η σακχαρόζη υδρολύεται από την εξωκυτταρική ιμπερτάση των ζυμών πολύ γρήγορα οπότε αν το επίπεδο της σακχαρόζης είναι πάνω από 2%, οι ζύμες θα ζυμώσουν μόνο γλυκόζη ή φρουκτόζη κατά την διαδικασία ψήσιματος. Το δεύτερο σημαντικό αποτέλεσμα της προσθήκης ζάχαρης στη ζύμη για ψωμί είναι ότι μειώνει την ενεργότητα του νερού ειδικά αφού η ιμπερτάση των ζυμών διπλασιάζει την ώσμωση της σακχαρόζης (προκαλεί ώσμωση). Ένα απλό ζυμάρι μπορεί να έχει ενεργότητα νερού 0,97 ενώ με 2,5% ζάχαρη έχει 0,92. Μικρότερη ενεργότητα νερού συντελεί σε μικρότερες αναλογίες ζύμωσης από τις ζύμες [19].

Βελτιωτικά: Πρόκειται για οξειδωτικούς παράγοντες, ρυθμιστές pH, γαλακτωματοποιητές και ένζυμα όλα σχεδιασμένα για να προσδώσουν επιθυμητά χαρακτηριστικά στο ψωμί σχετικά με την υφή ή τη γεύση. Έχουν χρησιμοποιηθεί διάφορα φυσικά βελτιωτικά παλαιότερα, ενώ πλέον γίνεται κυρίως χρήση χημικών και ενζύμων [20]. Συνήθως στο αλεύρι η β-αμυλάση είναι πάντα επαρκής, αλλά κάποιες φορές μπορεί να προστεθεί α-αμυλάση για να είναι σίγουρη η επαρκής ποσότητα παραγόμενης μαλτόζης κατά τη ζύμωση. Οι αμυλάσες επίσης βελτιώνουν το χρώμα της κόρας, την υφή και τον όγκο [17]. Πηγές α-αμυλάσης είναι οι μύκητες και τα βακτήρια. Χρησιμοποιούνται κάποιες φορές πρωτεάσες με σκληρά άλευρα για παραγωγή μαλακής ζύμης [21]. Η χρήση ενζύμων σαν βελτιωτικά στο ψωμί είναι ένας γρήγορα ανταπτυσσόμενος τομέας.

Συντηρητικά: Το ψωμί είναι πολύ εύκολο να εκτεθεί σε ζύμες και μύκητες και να μouxλιάσει λόγω υψηλής ενεργότητας νερού (0,96-0,98) [22]. Άλατα λιπαρών οξέων όπως

προπανικό ασβέστιο χρησιμοποιούνται για αποφυγή μούχλας έως και 300ppm στο τελικό προϊόν [23]. Επίσης λιπαρά οξέα μικρής αλυσίδας καταστέλλουν τη δράση των ζυμών συμπεριλαμβανομένου του *S.cerevisiae*. Ενεργούν αναστέλλοντας τη γλυκολυτική πορεία και μειώνοντας την ανάπτυξη των ζυμών, λόγω του ότι τα κύτταρα πρέπει να χρησιμοποιήσουν ενέργεια για να αντιμετωπίσουν την καταστολή [24].

Ζύμες – Μαγιά: Η δράση των ζυμών είναι που ξεχωρίζει το ψωμί από άλλα προϊόντα με παρόμοια συστατικά. Η μαγιά έχει 3 λειτουργίες στην παραγωγή ψωμιού. Παράγει αέριο και προσδίδει όγκο στη ζύμη, τροποποιεί την υφή του ζυμαριού και οι μεταβολίτες των ζυμών συνεισφέρουν στο άρωμα του τελικού προϊόντος [5]. Το ποσό που χρησιμοποιείται εξαρτάται από τη σύσταση της ζύμης που θα ζυμωθεί και από την επιθυμητή διάρκεια της όλης διαδικασίας [17].

1.5. Ποιότητα ψωμιού

Η ποιότητα του ψωμιού μέχρι και σήμερα κρίνεται σε μεγάλο βαθμό από υποκειμενικές εκτιμήσεις καθώς δεν προσδιορίζονται επαρκώς όλα τα ιδιαίτερα χαρακτηριστικά του προϊόντος και επίσης δεν είναι όλα τα χαρακτηριστικά επιθυμητά ή ανεπιθύμητα από το καταναλωτικό κοινό. Εκτός από την θρεπτική αξία του προϊόντος, η οποία μπορεί να προσδιοριστεί, σημαντικοί παράγοντες για την αποδοχή του από το κοινό είναι η γεύση, το άρωμα (flavor) και φυσικά η υφή. Για το λόγο αυτό χημικοί και τεχνολόγοι καθώς και όσοι ασχολούνται με τον τομέα αρτοποιίας δίνουν μεγάλη βάση στα υλικά και στις μεθόδους που χρησιμοποιούν, καθώς και στον αντίκτυπο αυτών στο προϊόν. Βέβαια λόγω της ποικιλίας απόψεων είναι δύσκολο να θεσπιστούν τα κριτήρια που θα ορίζουν ένα ψωμί ως ποιοτικό και γι' αυτό χρησιμοποιούνται διάφορες οργανοληπτικές δοκιμές για την τυποποίηση της αξιολόγησης [25].

Η κριτική σε ένα ψωμί για την ποιότητά του έχει να κάνει με πολλούς παράγοντες. Δεν μπορεί κάποιος εύκολα να κρίνει ένα ψωμί ως “καλό” ή “κακό”. Σημαντικός παράγοντας είναι τα χαρακτηριστικά που επιδιώκονται κατά την παραγωγή του συγκεκριμένου ψωμιού. Για παράδειγμα μια μπαγκέτα πρέπει να είναι σκληρή, ενώ αντίστοιχα ένα ψωμί του τόστ πρέπει να είναι μαλακό. Στα παραπάνω εννοείται η προσδοκία που έχει ο καταναλωτής για το προϊόν που θα αγοράσει, η οποία έχει

θεσπιστεί από το ίδιο το ύφος του προϊόντος. Μια μαλακή μπαγκέτα ή ένα σκληρό ψωμί του σάντουιτς θα θεωρηθούν εξίσου μη ποιοτικά με διαφορετικά κριτήρια.

Εμφάνιση: Σημαντικοί παράγοντες ποιότητας είναι οι διαστάσεις, ο όγκος, η εμφάνιση, το χρώμα και ο σχηματισμός της κόρας. Κάποια ψωμιά κρίνονται από το μέγεθος (μήκος, πλάτος) όπως χαρακτηριστικά η μπαγκέτα που μπορεί να έχει μήκος μέχρι 70cm [26]. Ο όγκος μπορεί να υπολογιστεί με ειδικά καλούπια γνωστού όγκου [27].

Η εξωτερική εμφάνιση είναι σημαντική για την αποδοχή από το καταναλωτικό κοινό και εξαρτάται από την εικόνα που θεωρείται αντικειμενικά φυσιολογική και αποδεκτή για το προϊόν.

Σημαντικός παράγοντας είναι και η αντίθεση χρώματος κόρας και ψίχας ανάλογα φυσικά και με το είδος του ψωμιού. Το χρώμα της κόρας είναι επίσης σημαντικό και ανεξάρτητο από το χρώμα της ψίχας και μπορεί να υπολογιστεί με γραφήματα (charts) ή με άμεση μέτρηση με όργανα [28]. Συνήθως όμως το χρώμα δεν είναι ομοιογενές σε όλη την έκταση του ψωμιού και αυτό επίσης μπορεί να θεωρηθεί παράγοντας ποιότητας.

Ψίχα: Για την ποιότητα της ψίχας σημασία έχει η κατανομή των κυττάρων στη δομή (crumb grain), το χρώμα και κάποια μεγάλα ελαττώματα όπως μεγάλες τρύπες ή συσσωματώματα μάζας. Ο χαρακτηρισμός όμως της δομής της ψίχας δεν είναι εύκολο να γίνει με κάποιο όργανο. Δημιουργούνται συγκεκριμένα πρότυπα γραφήματα βάσει των οποίων γίνεται η αξιολόγηση της ποιότητας της ψίχας[29].

Ποιότητα υφής και Άρωμα (Flavor): Τα κυριότερα χαρακτηριστικά υφής είναι η σταθερότητα (συμπαγές) και η ελαστικότητα και αυτό γιατί τα συγκεκριμένα χαρακτηριστικά σχετίζονται περισσότερο με την αντίληψη των καταναλωτών για το αν είναι φρέσκο το προϊόν ή όχι. Για την υφή γίνεται το κλασικό τεστ συμπίεσης με το οποίο υπολογίζονται πολλές φυσικές παράμετροι όπως η σκληρότητα, η ελαστικότητα κλπ., δηλαδή γενικότερα η δύναμη διατήρησης της δομής [28]. Συνήθως σε αυτά τα τεστ η δύναμη που ασκείται δεν είναι τόσο μεγάλη για να καταστρέψει τελείως τη δομή και κατά την αποσυμπίεση το προϊόν επανέρχεται στην αρχική του κατάσταση. Προσομοιάζει την συμπίεση που ασκούμε με τα δάχτυλα στο προϊόν και έπειτα με το στόμα.

Υποκειμενικές εκτιμήσεις για την ποιότητα του τροφίμου κατά την κατανάλωση (μάσημα, κατάποση) γίνονται από άτομα ή ομάδες αξιολογητών με κλίμακες βαθμολογίας (οργανοληπτικός έλεγχος). Με την διαδικασία αυτή κρίνονται και η ποιότητα του αρώματος και της γεύσης του προϊόντος [30].

Θρεπτική αξία ψωμιού: Αν και υπάρχουν μικρές διαφοροποιήσεις λόγω αλέσματος και ψησίματος, το ψωμί που προέρχεται από σιτάρι αποτελεί σημαντική πηγή πρωτεϊνών, πολύπλοκων υδατανθράκων (κυρίως άμυλο), ινών, βιταμινών και μετάλλων. Η συνεισφορά στην συνολική θρεπτική αξία είναι μεγαλύτερη όταν το αλεύρι είναι ολικής άλεσης. Σε ψωμιά που προέρχονται από άλευρα με χαμηλότερο ποσοστό άλεσης, η απομάκρυνση πίτουρων και φύτρων από το σιτάρι αλλάζει τη θρεπτική αξία του τελικού προϊόντος.

Επειδή το ψωμί παίζει σημαντικό ρόλο στη καθημερινή διατροφή, σε κάποιες χώρες (USA, UK) εφαρμόζεται η πρακτική εμπλουτισμού των λευκών και κάποιων άλλων αλεύρων με πρόσθετες θρεπτικές ουσίες [31]. Συνήθως προστίθενται ασβέστιο, σε κάποια μορφή, κάποιες από τις απαραίτητες βιταμίνες, μια μορφή σιδήρου έτοιμη για απορρόφηση. Προσθήκη άλλων ουσιών ρυθμίζεται από την νομοθεσία κάθε χώρας (π.χ. φολικό οξύ). Άλλα συστατικά συνεισφέρουν στη θρεπτική αξία του ψωμιού ενώ κάποια άλλα όπως λίπος και ζάχαρη δεν θεωρούνται να προσφέρουν στην θρεπτική αξία του. Το αλάτι συνεισφέρει στη βελτίωση της γεύσης.

Το ψωμί ολικής άλεσης και το ψωμί σίκαλης θεωρούνται “φυσική πηγή” φολικού οξέος. Η προσθήκη σεληνίου έχει θετικό αντίκτυπο και οφέλη υγείας. Κάποια είδη σιταριού στον Καναδά έχουν σελήνιο και από εκεί προήλθε αυτή η ιδέα. Οι καταναλωτές ωστόσο προτιμούν το ψωμί ως αγνό προϊόν χωρίς πρόσθετα και πολλοί κάνουν προπαγάνδα τονίζοντας τα αρνητικά χωρίς να αναφέρουν τα οφέλη υγείας καθώς και την νομοθεσία που ωθεί τους παρασκευαστές αλεύρου και ψωμιού να χρησιμοποιούν πρόσθετα [31].

Στη διατροφή η κατανάλωση ινών φαίνεται να έχει θετική επίδραση οπότε αυξάνεται η κατανάλωση ψωμιού ολικής αλέσης για την μείωση κάποιων παθήσεων όπως στεφανιαία καρδιακή νόσος, κάποιες μορφές καρκίνου και διαβήτης τύπου 2 [32]. Επίσης η κατανάλωση ψωμιού ολικής αλέσης φαίνεται να μειώνει την παχυσαρκία.

1.6. Αλεύρι

Το αλεύρι αποτελεί το απαραίτητο συστατικό των διαφόρων προϊόντων της αρτοποιίας. Τόσο η ποιότητα του σιταριού όσο και οι συνθήκες άλεσης στις οποίες αυτό υποβάλλεται, μπορεί να οδηγήσουν σε διαφορές ως προς την καταλληλότητα του αλεύρου για ένα συγκεκριμένο σκοπό. Επειδή τα διάφορα ψημένα προϊόντα απαιτούν συνήθως άλευρα με διαφορετικά χαρακτηριστικά, είναι πιθανό ένα αλεύρι που είναι απόλυτα ικανοποιητικό για την παρασκευή ψωμιού να είναι εντελώς ακατάλληλο για την παρασκευή γλυκισμάτων [33].

Το αλεύρι έχει ορισμένα χαρακτηριστικά ανάλογα με την προέλευσή του. Επομένως αλεύρι που προέρχεται από το κέντρο του ενδοσπερμίου είναι πιο ανοιχτόχρωμο, περιέχει περισσότερο άμυλο και έχει μικρότερες ποσότητες από το φλοιό του σιτηρού και μικρότερη τέφρα. Αντίθετα όταν το αλεύρι προέρχεται από το εξωτερικό στρώμα του ενδοσπερμίου το χρώμα του είναι πιο σκούρο, περιέχει περισσότερες πρωτεΐνες, διαλυτά σάκχαρα, βιταμίνες και ένζυμα και έχει μεγαλύτερες ποσότητες από το φλοιό του σιτηρού και μεγαλύτερη τέφρα [34].

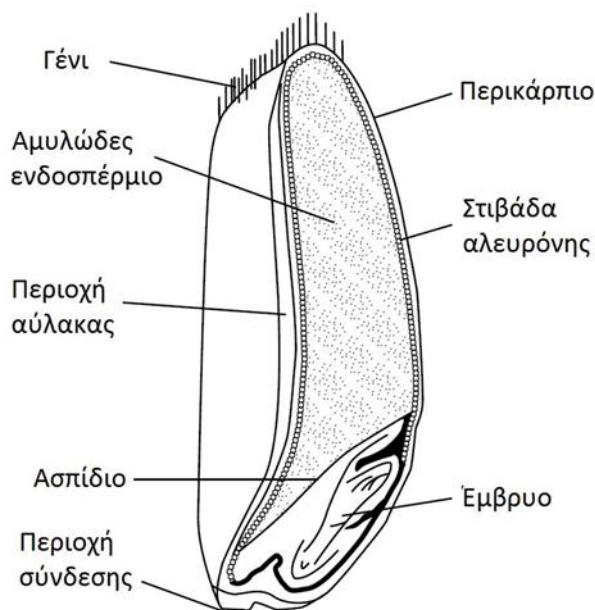
1.6.1. Σιτάρι

Τα κυριότερα δημητριακά είναι το σιτάρι, καλαμπόκι, το κριθάρι, το ρύζι, η σίκαλη, η βρώμη, το σόργο και το κεχρί. Ο καρπός των διαφόρων σιτηρών αποτελείται από τρία μέρη:

Α) Το πίτυρο που αποτελείται από αρκετές εξωτερικές επί μέρους στιβάδες και περιέχει το μεγαλύτερο ποσοστό της κυτταρίνης και της τέφρας του κόκκου.

Β) Το ενδοσπέρμιο που περιέχει το πλείστον του αμύλου.

Γ) Το φύτρο(έμβρυο) που είναι πλούσιο σε λάδι, πρωτεΐνες, ανόργανα άλατα και βιταμίνες



Σχήμα 1 : Κόκκος σιταριού

Το εγχώριο σιτάρι διακρίνεται στις εξής κατηγορίες:

- 1) Σκληρό σιτάρι, που ανήκει το *Triticum durum* που δίνει το σιμιγδάλι
- 2) Μαλακό σιτάρι, όπου ανήκει το είδος *Triticum vulgare*, από τις ποικιλίες του οποίου παίρνουμε άλευρα μπισκοτοποιίας και ζαχαροπλαστικής [35].

1.6.2.Σύσταση Αλεύρου

Η χημική σύσταση του αλεύρου καθορίζει σε σημαντικό βαθμό τις τεχνολογικές ιδιότητες και την θρεπτική του αξία. Η αναλογία των συστατικών εξαρτάται από την χημική σύσταση του καρπού, το βαθμό άλεσης και την διαδικασία άλεσης. Τα κύρια συστατικά του αλεύρου είναι τα εξής:

Πρωτεΐνες

Οι πρωτεΐνες του αλεύρου αποτελούν το πιο σημαντικό λειτουργικό συστατικό που σχετίζεται με το σχηματισμό του ζυμαριού και την διόγκωσή του μετά την ζύμωση. Το ποσοστό των πρωτεϊνών των αλεύρων κυμαίνεται από 8-16% και εξαρτάται από τον τύπο του αλεύρου. Οι πρωτεΐνες χωρίζονται σε αδιάλυτες και διαλυτές πρωτεΐνες. Οι διαλυτές πρωτεΐνες είναι η αλβουμίνες και οι γλοβουλίνες. Οι αλβουμίνες βρίσκονται κυρίως στο πίτυρο και στο έμβρυο. Το αδιάλυτο κλάσμα των πρωτεϊνών αποτελείται από τις γλουτενίνες και τις γλοιαδίνες, οι οποίες είναι ιδιαίτερα σημαντικές και αυτό γιατί είναι οι πρωτεΐνες εκείνες οι οποίες κατά την παρασκευή του ζυμαριού, με την προσθήκη νερού στο αλεύρι σχηματίζουν την γλουτένη.

Ο ρόλος της γλουτένης είναι ιδιαίτερα σημαντικός στην αρτοποιία γιατί πρόκειται για τον παράγοντα που καθορίζει τη δομή και την ελαστικότητα της ζύμης αλλά και την συγκράτηση αερίου CO₂, χάρη στην οποία φουσκώνει το ψωμί. Επομένως η επαφή της πρωτεΐνης με νερό δημιουργεί το πλέγμα της γλουτένης το οποίο παρέχει την ελαστικότητα στη μάζα της ζύμης. Η γλουτένη επίσης έχει την ικανότητα να απορροφά νερό διπλάσιο του βάρους της και να διογκώνεται δημιουργώντας τρισδιάστατο πλέγμα στα ζυμάρια συνδέοντας τα συστατικά του ζυμαριού μεταξύ τους και εγκλείοντας μεγάλο μέρος των παραγόμενων αερίων. Η υψηλή περιεκτικότητα της γλουτένης σε γλουταμίνη, τη καθιστά αδιάλυτη στο νερό αλλά αρκετά υδρόφιλη ώστε να απορροφά νερό κατά το σχηματισμό του ζυμαριού. Η τάση της γλουταμίνης να δημιουργεί γέφυρες υδρογόνου συντελεί στην ελαστικότητα της γλουτένης

Η παρουσία της κυστεΐνης (θειούχο αμινοξύ) στις πλευρικές αλυσίδες της γλουτένης συντελεί στην δημιουργία δισουλφιδικών δεσμών μεταξύ των μορίων και εντός των μορίων της γλουτένης αυξάνοντας την ελαστικότητα και την συνεκτικότητα της γλουτένης [35].

Υδατάνθρακες

Το αλεύρο του σιταριού περιέχει κατά κύριο λόγο υδατάνθρακες. Ο κυριότερος υδατάνθρακας του αλεύρου είναι το άμυλο με ποσοστό περίπου 70%-87%. Η κυτταρίνη είναι το κύριο συστατικό του φύτρου στον κόκκο του σιταριού, η οποία όμως απομακρύνεται κατά την άλεση. Οι πεντοζάνες είναι πολυσακχαρίτες που περιέχουν πεντόζες, αραβινόλη, ξυλόζη και γλυκοπρωτεΐνες. Υπάγονται στις ημικυτταρίνες και αποτελούν το 2-3% του λευκού αλεύρου [35]. Τέλος το αλεύρι περιέχει μικρές ποσότητες δεξτρόζης, μαλτόζης, σακχαρόζης και φρουκτόζης [36].

Λιπίδια

Τα λιπίδια των δημητριακών καρπών αποτελούνται από γλυκερίδια, που είναι εστέρες της γλυκερίνης με λιπαρά οξέα. Επίσης περιέχουν φωσφολιπίδια όπως λεκιθίνη και ασαπωνοποίητο κλάσμα με κύριο συστατικό τις στερόλες, φυτοστερόλες και την εργοστερόλη. Το φύτρο του σιταριού είναι πλούσιο σε λίπη και ενώ αντιπροσωπεύει κατά βάρος το 2,5% του κόκκου, περιέχει το 12% των λιπαρών συστατικών. Η κατανομή των διάφορων τύπων λιπών είναι διαφορετική στα διάφορα σημεία του κόκκου. Στο σιτάρι

π.χ. τα τριγλυκερίδια αποτελού το 56% των λιπαρών συστατικών του φύτρου και των πιτύρων ενώ μόνο το 29% των λιπαρών συστατικών του ενδοσπερμίου [36].

Βιταμίνες

Όπως σε όλα τα δημητριακά έτσι και στο σιτάρι περιέχονται σημαντικής ποσότητας βιταμινών. Οι κυριότερες είναι βιταμίνες του συμπλόκου Β , περιέχει επίσης και κίτρινες χρωστικές αλλά δεν περιέχει βιταμίνη C. Το μεγαλύτερο μέρος των βιταμινών περιέχονται στο φύτρο και στα εξωτερικά στρώματα του καρπού (φλοιό). Επομένως όσο αυξάνεται ο βαθμός άλεσης του σιταριού αυξάνεται και η περιεκτικότητά του σε βιταμίνες και αντίστροφα [36].

Ένζυμα

Τα σημαντικότερα ένζυμα που συναντάμε στα άλευρα είναι τα εξής [35]:

- Αμυλολυτικά (αμυλάση α,β): Η δράση των αμυλασών αρχίζει με την παρασκευή της αρτομάζας ενώ ο χρόνος δράσης τους είναι περιορισμένος. Επίσης η αμυλάση δρα μόνο σε σπασμένους αμυλόκοκκους. Μεγάλο ποσοστό σπασμένων αμυλόκοκκων έχει σαν αποτέλεσμα την αύξηση της παραγωγής μαλτόζης επομένως την μεγάλη παραγωγή αερίου κατά την ζύμωση και κυρίως κατά την ωρίμανση της αρτομάζας. Η αυξημένη δράση της α-αμυλάσης είναι ανεπιθύμητη γιατί έχει σαν αποτέλεσμα την παραγωγή μεγάλου ποσού απλών δεξτρινών, οι οποίες δημιουργούν κολλώδη και γλοιώδη ψίχα στο ψωμί. Η δράση της α-αμυλάσης είναι αυξημένη από την προσβολή των εντόμων στο σιτάρι γι αυτό αλεύρι παραγόμενο από βλαστημένο σιτάρι δίνει ψωμί κακής ποιότητας

- Πρωτεολυτικά ένζυμα ή πρωτεάσες: Τα ένζυμα που αποικοδομούν τις πρωτεΐνες και τα προϊόντα αποικοδόμησης ονομάζονται πρωτεάσες. Τα αλεύρια που προέρχονται από υγιή σιτάρια περιέχουν μικρό ποσοστό πρωτεασών. Οι πρωτεάσες οι οποίες απελευθερώνουν σημαντικές ποσότητες της α-β αμυλάσης, που βρίσκονται ενωμένες με τις πρωτεΐνες, παίζουν ρόλο στην ωρίμανση του ζυμαριού.

- Λιπολυτικά ένζυμα: Επίσης το αλεύρι περιέχει λιπάσες, λιποξειδάσες και φυτάσες. Οι λιπάσες καταλύουν την υδρόλυση των γλυκεριδίων του αλεύρου προς γλυκερίνη και λιπαρά οξέα ενώ οι λιποξειδάσες καταλύουν την υδρόλυση των γλυκεριδίων και των καροτινοειδών με αποχρωματισμό του αλεύρου.

Υγρασία

Η περιεκτικότητα του σιταριού σε υγρασία και η κατανομή της στο κόκκο είναι ιδιαίτερα σημαντική. Υψηλή περιεκτικότητα σε υγρασία αυξάνει τις πιθανότητες προσβολής του σιταριού από μύκητες ή βακτήρια και ευνοεί το «άναμμα» του σιταριού λόγω αύξησης της ενζυματικής δραστηριότητας. Υγρό σιτάρι είναι δύσκολο στο χειρισμό αλλά και ένα ξηρό σιτάρι είναι πολύ εύθραυστο. Η περιεκτικότητα του σιταριού σε υγρασία ενδιαφέρει τον αλευροβιομήχανο για την τιμή που θα δώσει στον παραγωγό αλλά και για την διαδικασία του κοντισιοναρίσματος. Η περιεκτικότητα του σιταριού ανάλογα με την υγρασία χωρίζεται σε:

- Ξηρό, μέχρι 14% υγρασία
- Μέτρια ξηρό, μέχρι 14-15%
- Μέτρια υγρό, μέχρι 15,5-17% υγρασία
- Υγρό, πάνω από 17% υγρασία

Για να είναι η άλεση επιτυχημένη με μεγάλη απόδοση και το αλεύρι που θα παραχθεί να έχει ικανοποιητική περιεκτικότητα σε υγρασία το σιτάρι πρέπει να έχει τα παρακάτω ποσοστά σε υγρασία: αν το σιτάρι είναι σκληρό θα πρέπει να έχει υγρασία 18% ενώ αν το σιτάρι είναι μαλακό θα πρέπει να έχει υγρασία 16% [35].

Ανόργανα Συστατικά

Το μεγαλύτερο μέρος των ανόργανων ουσιών περιέχεται στο πίτυρο και στη στιβάδα της αλευρόνης. Η περιεκτικότητα του αλεύρου σε τέφρα αποτελεί δείκτη του βαθμού άλεσης του αλεύρου. Η περιεκτικότητα ωστόσο σε ανόργανα συστατικά αποτελεί και ποικιλιακό χαρακτηριστικό, έτσι, άλευρα του ίδιου βαθμού άλεσης από δύο διαφορετικές ποικιλίες σιταριού είναι δυνατόν να διαφέρουν σε τέφρα. Η περιεκτικότητα σε τέφρα ενός αλεύρου αποτελεί γενικά μέτρο της λευκότητας ενός αλεύρου και σε μερικές χώρες όπως και την δική μας αποτελεί ένα από τα κυριότερα κριτήρια καθορισμού του βαθμού άλεσης [35].

1.6.3. Άλευρα άλλων δημητριακών

Κατά την διαδικασία παραγωγής διάφορων τύπων αρτοσκευασμάτων, εκτός από το σιτάλευρο, χρησιμοποιούνται σε μικρότερο βαθμό και κυρίως για ειδικά αρτοσκευάσματα

και άλευρα άλλων δημητριακών. Αυτά μπορούν να αντικαταστήσουν ή να συμπληρώσουν το σιτάλευρο. Τέτοιου είδους άλευρα είναι:

Σικάλευρο

Η σίκαλη μοιάζει πολύ με το σιτάρι. Επειδή δίνει μεγαλύτερες αποδόσεις από το σιτάρι στα ψυχρά κλίματα και τα φτωχά εδάφη, διαδόθηκε ιδιαίτερα στην Γερμανία και την Ανατολική Ευρώπη για την παρασκευή ψωμιού. Οι φυσικές (ρεολογικές) ιδιότητες των ζυμαριών (π.χ αντοχή, εκτατότητα κ.λ.π) από σικάλευρο είναι σαφώς κατώτερες από εκείνες των ζυμαριών από σιτάλευρο, γιατί οι πρωτεΐνες της σίκαλης δεν σχηματίζουν εκτατή, ελαστική γλουτένη με καλή ικανότητα συγκράτησης αερίων. Ένα ψωμί που γίνεται αποκλειστικά από σικάλευρο είναι μικρού όγκου. Το ψωμί από σίκαλη σε πολλές χώρες είναι μίγμα σιτάλευρου και σικάλευρου. Από τα ποιοτικά χαρακτηριστικά του σικάλευρου το σπουδαιότερο είναι το χρώμα, ακολουθεί το κοκκώδες και τέλος η οσμή του [37].

Καλαμποκάλευρο

Σχετικά μικρές ποσότητες προϊόντων αλεσμένου καλαμποκιού χρησιμοποιούνται στην αρτοποιηχανία σαν συστατικά ειδικών αρτοσκευασμάτων. Το καλαμποκάλευρο, απαλλαγμένο από φύτρα και φλοιούς, παράγεται κατά την ξηρή άλεση του καλαμποκιού. Προστιθέμενο στα σιτάλευρα σε μικρές ποσότητες αυξάνει την απορρόφηση σε νερό βελτιώνοντας έτσι την ποιότητα του τελικού προϊόντος αφούν το κάνουν πιο αφράτο και αυξάνουν την διατηρησιμότητά του. Το καλαμποκάλευρο ωστόσο δεν βελτιώνει την δύναμη των ζυμαριών. Τα κύρια ποιοτικά χαρακτηριστικά του καλαμποκάλευρου είναι η υγρασία, το χρώμα, η περιεκτικότητα σε λιπαρές ουσίες και το κοκκώδες του αλεύρου. Η αυξημένη περιεκτικότητα σε λιπαρές ουσίες είναι ανεπιθύμητη λόγω της μείωσης της συντηρησιμότητας που προκαλούν εξαιτίας της τάγγισης [37].

Σογιάλευρο

Το σογιάλευρο χρησιμοποιείται για την αύξηση της πρωτεΐνης και της βιολογικής αξίας του ψωμιού. Το σογιάλευρο είναι πλούσιο σε λυσίνη, ένα απαραίτητο αμινοξύ που περιέχεται σε ανεπαρκείς ποσότητες στο σιτάρι για την πλήρη αξιοποίηση της πρωτεΐνης του. Το χρησιμοποιούμενο στην αρτοποιία σογιάλευρο είναι απολιπασμένο με εκχύλιση και ελαφρώς καβουρντισμένο για την αδρανοποίηση των ένζυμων του. Τα ποιοτικά κριτήριά του είναι το κοκκώδες του, το χρώμα, η οσμή και η ικανότητα απορρόφησης του νερού. Το απολιπασμένο σογιάλευρο έχει καλή ικανότητα απορρόφησης νερού αλλά δεν

συμβάλλει στην ελαστικότητα και την συνεκτικότητα του ζυμαριού. Τα σογιάλευρα χρησιμοποιούνται για την λεύκανση αλεύρων και την βελτίωση των ρεολογικών ιδιοτήτων των ζυμαριών. Διάφορες μελέτες έχουν διαπιστώσει ότι η προσθήκη στο ψωμί μικρής ποσότητας σογιάλευρου δεν προκαλεί σημαντικές αλλαγές στην γεύση, την οσμή και την εμφάνιση του προϊόντος [37].

1.6.4. Τύποι αλεύρων

Ως βαθμός άλεσης ορίζονται τα μέρη βάρους αλεύρου που παράγονται από την άλεση 100 μερών βάρους καθορισμένου σιταριού. Ανάλογα με το βαθμό άλεσης έχουμε και τον τύπο του αλεύρου, ενώ το ποσοστό των περιεχομένων πρωτεϊνών διαχωρίζει τα άλευρα σε σκληρά και σε μαλακά.

Έτσι διακρίνουμε τους εξής τύπους αλεύρων:

1) Άλευρο τύπου 55%: Για ψωμιά και ψωμάκια πολυτελείας και προϊόντα με υψηλό πρωτεϊνικό περιεχόμενο.

2) Άλευρο τύπου 70%: Χωρίς πίτυρα για το σύνηθες λευκό ψωμί. Υπάρχουν δύο κατηγορίες αλεύρου αυτού του τύπου: α) το δυνατό που είναι το πλέον διαδεδομένο και προέρχεται από ελληνικά σιτάρια ή και εισαγόμενα που έχουν υποστεί κοντισιονάρισμα. β) το μαλακό αλεύρι τύπου 70% που δεν έχει υποστεί κοντισιονάρισμα και χρησιμοποιείται στη ζαχαροπλαστική [39].

Στα άλευρα τύπου 70% ισχύουν οι εξής προδιαγραφές από τη νομοθεσία[39]:

- Ανώτατο όριο υγρασίας 13,5% κ.β.
- Γλουτένη υγρή > 26% κ.β.
- Ανώτατο όριο σε θειικό οξύ 0,08% κ.β.
- Ανώτατο όριο τέφρας 0,50% κ.β.
- Ανώτατο όριο υπολειμμάτων τετραχλωράνθρακα 0,015% κ.β.
- Ανώτατο όριο λιπαρών ουσιών 1,10% κ.β.

3) Άλευρα τύπου 85%: Για την παρασκευή του κοινού πιτυρούχου ψωμιού.

Στα συγκεκριμένα ισχύουν οι εξής προδιαγραφές:

- Ανώτατο όριο υγρασίας 14% κ.β

- Γλουτένη υγρή > 25% κ.β
 - Ανώτατο όριο σε θειϊκό οξύ 0,130% κ.β.
 - Ανώτατο όριο τέφρας 0,90% κ.β.
- Κατώτατο όριο τέφρας 0,85% κ.β.
- Ανώτατο όριο σε πίτυρα 5% κ.β.
- Κατώτατο όριο σε πίτυρα 4% κ.β.
- Τετραχλωράνθρακας 0,030% κ.β.
 - Ανώτατο όριο σε λιπαρές ουσίες 1,80% κ.β.
 - Ανώτατο όριο λεπτότητας πιτύρων 2% κ.β.

4) Άλευρο τύπου 90%: Για το μαύρο, πιτυρούχο ψωμί, με μεγάλη περιεκτικότητα σε πίτυρο και θρεπτικά στοιχεία. Σε αυτά ισχύουν οι εξής προδιαγραφές:

- Υγρασία μέγιστη κατά τη θερινή περίοδο 14% κ.β.
μέγιστη κατά τη χειμερινή περίοδο 14,5% κ.β.
- Τέφρα 1,25-1.35% κ.β.
- Γλουτένη υγρή ελάχιστο 25% κ.β.
- Θειϊκό οξύ μέγιστο 0,15% κ.β.
- Τετραχλωράνθρακας μέγιστη ποσότητα 0,03% κ.β.
- Πίτυρο 10- 13,5% κ.β.

5) Άλευρο ολικής άλεσης: Προέρχεται από μαλακό ή σκληρό σιτάρι, το οποίο όμως απαιτεί προσοχή στο ζύμωμα, την ανάπαυση και την ωρίμανση του ζυμαριού, ώστε να παραχθεί ψωμί μαύρο, πιτυρούχο, μεγάλης θρεπτικής αξίας.

6) Άλευρο κατηγορίας «Μ»: Προέρχεται από σκληρά σιτάρια και έχει χαρακτηριστικό κίτρινο χρώμα. Από αυτό παρασκευάζεται το σύμμεικτο ή χωριάτικο ψωμί, σε αναλογία 1:1 με άλευρο τύπου 70%. Στο συγκεκριμένο τύπο ισχύουν οι εξής προδιαγραφές:

- Τέφρα μέχρι 0,90% κ.β.
- Τετραχλωράνθρακας μέχρι 0,03% κ.β.
- Υγρασία μέχρι 14% θερινή περίοδο κ.β.
μέχρι 14,5% χειμερινή περίοδο κ.β.

- Θειϊκό οξύ μέχρι 0,15% κ.β.
- Γλουτένη 25% κ.β.

7) Άλευρο κατηγορίας «Π»: Προέρχεται από σιτάρια υψηλής ποιότητας, ενισχυμένα για πιο δυνατό άλευρο. Χαρακτηρίζεται ως «πολυτελείας» και χρησιμοποιείται για την παρασκευή κρουασάν, φύλλου και προϊόντων ζαχαροπλαστικής. Στον τύπο αυτό ισχύουν οι εξής προδιαγραφές:

- Τέφρα μέχρι 0,45% κ.β.
- Τετραχλωράνθρακας μέχρι 0,015% κ.β.
- Υγρασία μέχρι 13,5% θερινή περίοδο κ.β.
μέχρι 14% χειμερινή περίοδο κ.β.
- Θειϊκό οξύ μέχρι 0,15% κ.β.
- Γλουτένη > 28% κ.β.

8) Άλλα άλευρα πολυτελείας:

α) Άλευρο Τύπου Αμερικής, από σιτάρι Αμερικής, αλεσμένο με ποιοτικές προδιαγραφές των ΗΠΑ, το οποίο χρησιμοποιείται στην αρτοποιία και στη ζαχαροπλαστική.

β) Ειδικό άλευρο για φρυγανιές, αλλά και για ψωμί τοστ, παξιμάδια, από μίγμα σιταριών υψηλής ποιότητας.

γ) Άλευρο ζαχαροπλαστικής και μπισκοτοποιίας, για την παρασκευή προϊόντων ζαχαροπλαστικής, πιο λεπτόκοκκο από το άλευρο αρτοποιίας και πιο δυνατό.

δ) Ειδικό άλευρο για φύλλα, αλλά και κρουασάν, προερχόμενο από μείγμα σιταριών με προσθήκη για βελτίωση της αντοχής του.

ε) Άλευρο τύπου Honis, προερχόμενο από μείγμα σιταριών με προσθήκη επεξεργασμένου φύτρου σιταριού, για τροφές ενισχυμένες σε θρεπτικά συστατικά για παιδιά και αθλητές [36][37].

1.6.5.Βελτιωτικά του αλεύρου

Η αρτοποιητική ικανότητα των φρεσκοαλεσμένων αλεύρων βελτιώνεται, επίσης, κατά την παραμονή τους για 1 -2 μήνες γιατί βελτιώνεται η ποιότητα της γλουτένης. Η

βελτίωση επιταχύνεται, όταν το αλεύρι είναι εκτεθειμένο στον αέρα. Έχουμε μεγαλύτερη βελτίωση αν προσθέσουμε πολύ μικρή ποσότητα οξειδωτικών ουσιών που είναι γνωστά σαν βελτιωτικά αλεύρων. Στη χώρα μας επιτρέπεται η χρήση μόνο του ασκορβικού οξέος (βιταμίνη C). Ο τρόπος δράσης των βελτιωτικών παραμένει αδιευκρίνιστος. Μάλλον οφείλεται στην οξείδωση των πρωτεϊνών της γλουτένης και τον σχηματισμό δισουλφιδικών δεσμών μεταξύ διαφορετικών πρωτεϊνικών μορίων ή ενδομοριακά. Για τη βελτίωση των ρεολογικών ιδιοτήτων των αλεύρων επιτρέπεται και η προσθήκη κιτρικού ή τρυγικού οξέος μαζί με το ασκορβικό. Η προσθήκη αναγωγικών ουσιών στο αλεύρι προκαλεί στη γλουτένη αντίθετη μεταβολή. Αυτές σπάνε τους δισουλφιδικούς δεσμούς και σχηματίζουν σουλφυδρυλομάδες. Τέτοιες ουσίες είναι το NaHSO_3 και η κυστεΐνη.

Οι αναγωγικές ουσίες χρησιμοποιούνται όταν θέλουμε να “αδυνατίσουμε” ένα πολύ δυνατό αλεύρι για να γίνει κατάλληλο για αρτοποιία ή ένα κοινό για να ταιριάζει στην παραγωγή μπισκότων [37].

Τα βελτιωτικά λόγω της οξειδωτικής τους δράσης στα καροτινοειδή, λειτουργούν και σαν λευκαντικά. Η άριστη ποσότητα που πρέπει να προστεθεί το βελτιωτικό στο αλεύρι, βρίσκεται με τη λήψη εξτενσιογραφημάτων ή φαρινογραφημάτων ή τεστ αρτοποιίας σε διάφορες δόσεις.

Τα διάφορα λευκαντικά και οξειδωτικά που χρησιμοποιούνται σε άλλες χώρες είναι με μορφή σκόνης ή αέρια. Συνήθως υπάρχουν νομοθετημένα ανώτατα όρια για τα βελτιωτικά, τα οποία είναι διαφορετικά για το ψωμί και τα άλλα αρτοσκευάσματα.

Μερικά από τα βελτιωτικά που χρησιμοποιούνται είναι: 1. Ασκορβικό οξύ, 2. φωσφορικό μονοασβέστιο, 3. υπερθειϊκό κάλιο και αμμώνιο, 4. διοξείδιο του χλωρίου, 5. υπεροξείδιο της ακετόνης [38][40].

Ασκορβικό οξύ Είναι λευκή σκόνη και αναγωγική ουσία. Είναι το μοναδικό αναγνωρισμένο βελτιωτικό που δεν είναι οξειδωτική ουσία. Στις κλασικές μεθόδους αρτοποιίας προστίθεται σε αναλογία 10-20ppm, ενώ στις μεθόδους ατμοποίησης Chorleywood και Do-Maker χρειάζεται πολύ περισσότερο (60-150ppm) [36].

Βρωμικό κάλιο Είναι σκόνη και μολονότι είναι ύποπτο καρκινογένεσης, είναι το περισσότερο χρησιμοποιούμενο βελτιωτικό. Προστίθεται συνήθως σε μορφή μείγματος

με ανθρακικό ασβέστιο και μαγνήσιο και θειικό ασβέστιο. Μερικά άλευρα έχουν καλύτερη βελτίωση ανάλογα με τη φυσική κατάσταση της γλουτένης τους [37].

Φωσφορικό μονοασβέστιο Η ουσία αυτή ήταν από τις πρώτες που χρησιμοποιήθηκαν, για τη βελτίωση των αλεύρων, σε αναλογία μισό κιλό ανά σακί αλεύρου(50Kg). Η παρουσία του κάνει το ζυμάρι σφιχτότερο, αυξάνει την απορρόφηση νερού και βελτιώνει τη δομή της ψίχας [37].

Υπερθειικό κάλιο Τα υπερθειικά άλατα άρχισαν να χρησιμοποιούνται στην αρτοποιία από το 1910. Προστίθενται σε δόσεις γύρω στα 50ppm. Βελτιώνουν την ελαστικότητα και την σταθερότητα του ζυμαριού και προσδίδουν στην ψίχα ευχάριστη και μεταξένια δομή. Μέσα στο ζυμάρι διασπώνται γρήγορα και ελευθερώνουν οξυγόνο, ενώ δεν εμφανίζουν λευκαντικές ιδιότητες [37][38].

Διοξείδιο του χλωρίου: Είναι αέριο και εμφανίζει βελτιωτικές και λευκαντικές ιδιότητες. Θεωρήθηκε επικίνδυνο για την υγεία, όμως οι πολυάριθμες έρευνες που ακολούθησαν, δεν έδειξαν καμία αρνητική επίπτωση. Ο περισσότερος διαδεδομένος τρόπος λήψης είναι με τη μέθοδο Dgox. Διαβιβάζουμε ορισμένη ποσότητα χλωρίου, δια μέσου διαλύματος χλωριώδους νατρίου. Το διοξείδιο του χλωρίου χρησιμοποιείται και με την ένυδρη μορφή και φυλάσσεται σε χαμηλές θερμοκρασίες. Δίνει καλύτερα αποτελέσματα, όταν χρησιμοποιείται σε συνδυασμό με υπερθειικά ή με βρωμικά, ενώ όταν χρειάζεται πρόσθετη προσθήκη λευκαντικών συνδυάζεται με σκόνη βενζοϋλοϋπεροξειδίου [37].

Υπεροξείδιο της ακετόνης: Λειτουργεί σαν βελτιωτικό και λευκαντικό. Σχηματίζεται κατά την αντίδραση ακετόνης και υπεροξειδίου του υδρογόνου. Χρησιμοποιείται με μορφή σκόνης σε μείγμα με άμυλο καλαμποκιού και ίχνη φωσφορικού ασβεστίου, που παρεμποδίζει την τάση του για ρευστοποίηση. Εμπορικά είναι γνωστό με το όνομα Keetox. Είναι ιδιαίτερα κατάλληλο στις τεχνικές Chorleywood (Η Chorleywood bread process (CBP) είναι μια τεχνική ζύμωσης με μηχανικά μέσα, που αναπτύχθηκε το 1961 στην Αγγλία), που αυξάνει την αντοχή της αρτοζύμης στη μηχανική καταπόνηση [37].

Κεφάλαιο 2: Ρεολογία του ψωμιού

Η ζύμη είναι το προϊόν που παράγεται όταν ζυμώνουμε αλεύρι με νερό [41][42]. Συνήθως χρησιμοποιείται αλεύρι από σιτάρι, διότι η πρωτεΐνη του σιταριού έχει μοναδικές ιδιότητες και μπορεί να παράγει μια ελαστική ζύμη όταν στο αλεύρι προστεθεί νερό και ζυμωθεί. Σημασία λοιπόν στη ρεολογία της ζύμης έχει κυρίως η γλουτένη, η κύρια πρωτεΐνη του σιταριού. Η ρεολογία κυρίως ελέγχεται μακροσκοπικά και όχι με απόλυτη ακρίβεια σε μοριακό επίπεδο.

2.1. Συστατικά του αλεύρου και του ζυμαριού

Άμυλο: Το άμυλο είναι αδρανές κατά το ζύωμα αλλά παίζει συμπληρωματικό ρόλο στην ελαστικότητα της ζύμης. Πιο σημαντικό κυρίως είναι κατά το ψήσιμο λόγω ζελατινοποίησης, που αναφέρεται πιο κάτω, και κατά την αποθήκευση όπου επαναβαθμίζεται .

Το άμυλο αποτελεί περίπου το 75 % κ.β. του αλεύρου. Στο αλεύρι από σιτάρι το άμυλο αποτελείται από 20-25 % αμυλόζη και 75-80 % αμυλοπηκτίνη. Οι αμυλόκοκκοι έχουν υψηλή κρυσταλλικότητα οπότε είναι αδρανείς. Κατά την άλεση το 15% των κόκκων καταστρέφεται εμφανίζοντας ρωγμές και σχισμές και απορροφούν 4 φορές περισσότερο νερό από τους άθικτους κόκκους. Επίσης είναι πιο επιρρεπείς στη δράση της α-αμυλάσης από τους άθικτους κόκκους, κάτι που επηρεάζει τις ιδιότητες της ζύμης κατά το στάδιο της διόγκωσης [41].

Γλουτένη (storage gluten proteins): Οι πρωτεΐνες δεν είναι αποκλειστικά “γλουτένη”, αλλά αναφερόμαστε γενικά στις γλουτελίνες (γλουτενίνες) και προλαμίνες (γλιαδίνες) που σχηματίζονται όταν ζυμώνεται το ζυμάρι, ως γλουτένη. Το 1/6 των πρωτεϊνών στο αλεύρι σίτου είναι διαλυτές πρωτεΐνες (αλβουμίνες και γλοβουλίνες) [42].

Πεντοζάνες (μη αμυλούχοι πολυσακχαρίτες): Αποτελούν το 2 – 2,5% κ.β. του αλεύρου, αλλά έχουν μια δυσανάλογη επίδραση στις ιδιότητες της ζύμης. Κάποιες φορές λέγονται κυτταρίνες γιατί αποτελούν μέρος του κυτταρικού τοιχώματος του κόκκου του σιταριού. Κυρίως αναφέρονται σαν πεντοζάνες γιατί το 80% των σακχάρων είναι οι πεντόζες D-,L-ξυλόζη και D-αραβινόζη. Το 65% των πεντοζανών στο αλεύρι σίτου είναι

αδιάλυτο στο νερό και αποτελείται σχεδόν αποκλειστικά από ξυλόζες [43]. Οι διαλυτές στο νερό πεντοζάνες είναι μισές αραβινοχυλάνες και μισές αραβινογαλακτάνες. Απορροφούν πολλές φορές το βάρος τους σε νερό και σχηματίζουν υψηλού ιξώδους διαλύματα. Οι υδατοδιαλυτές πεντοζάνες επηρεάζουν την ελαστικότητα του ζυμαριού και είναι σημαντικές στο αλεύρι σίκαλης όπου βρίσκονται σε ποσοστό 10% κ.β..

Λιπίδια: Το αλεύρι σίτου περιέχει 2,5% λιπίδια. Από αυτά το 1% είναι μη πολικά λιπίδια (τριγλυκερίδια, διγλυκερίδια, ελεύθερα λιπαρά οξέα και στερολικοί εστέρες). Οι δύο βασικές ομάδες πολικών λιπιδίων είναι τα γλυκερίδια (0,6%) και τα φωσφολιπίδια (0,9%). Κατά το ζύμωμα τα πολικά λιπίδια ενώνονται με τη γλουτένη και γίνονται σχετικά μη εκχυλίσμα με κανέναν από τους συνήθεις διαλύτες [44][45][46]. Τα λιπίδια του αλεύρου δεν έχουν μεγάλο αντίκτυπο στις απαιτήσεις του ζυμώματος [47]. Τα λιπίδια έχουν σημαντική επίδραση κατά το ψήσιμο ειδικά σε σχέση με τον σχηματισμό του όγκου και τη διατήρηση της ποιότητας του τελικού προϊόντος.

Υδατοδιαλυτές πρωτεΐνες: Το υδατοδιαλυτό τμήμα των πρωτεϊνών του αλεύρου (περίπου 2-3% του συνολικού βάρους) περιέχει αλβουμίνες και γλοβουλίνες καθώς και υδατοδιαλυτές πεντοζάνες. Στις υδατοδιαλυτές πρωτεΐνες συμπεριλαμβάνονται ένζυμα, αναστολείς ενζύμων, λιποπρωτεΐνες, λεκτίνες και γλοβουλίνες αγνώστου λειτουργίας. Ο μόνος ξεκάθαρος ρόλος αυτών είναι η δράση της β-αμυλάσης στο άμυλο κατά το ψήσιμο, που οδηγεί σε παραγωγή μαλτόζης, που είναι το κύριο ζυμώσιμο σάκχαρο κατά τη διαδικασία ζύμωσης.

Τέφρα (Ανόργανες ενώσεις): Το αλεύρι σίτου (70%) περιέχει τέφρα 0,5% κ.β. Η τέφρα έχει μικρό αντίκτυπο στον σχηματισμό της ζύμης. Η προσθήκη αλατιού, ωστόσο αυξάνει την αντίσταση της ζύμης στη μηχανική ανάμειξη και μειώνει την απορρόφηση νερού λόγω ενίσχυσης της συσσωμάτωσης της γλουτένης.

2.2. Στάδια σχηματισμού της ζύμης

Η λέξη ζύμη συνεπάγεται μια ημι-στερεή μάζα που αντιστέκεται στην ανάμειξη. Τα στάδια που ακολουθεί ο σχηματισμός της ζύμης από αλεύρι και νερό σε μια ελαστική ιξώδη μάζα είναι:

Ενυδάτωση: Οι πρωτεΐνες στο αλεύρι αποτελούν σκληρό υλικό και η ενυδάτωση τους γίνεται παρόμοια με το σαπούνι. Αρχικά ενυδατώνεται εξωτερικά το πρωτεϊνικό μόριο και στη συνέχεια το νερό εισχωρεί εσωτερικά. Με τον ίδιο τρόπο η σκληρή πρωτεΐνη μετατρέπεται σε μαλακή κατά το ζύμωμα, αλλά δεν διαλύεται πλήρως και τροποποιείται περαιτέρω κατά την ανάπτυξη της γλουτένης. Αυθόρμητα οι μη διαλυτές στο νερό πεντοζάνες και οι κατεστραμμένοι αμυλόκοκκοι απορροφούν νερό ενώ οι υδατοδιαλυτοί παράγοντες του αλεύρου (και προστιθέμενα άλατα όπως ζάχαρη και αλάτι) διαλύονται [48][49].

Ανακάτεμα – Ζύμωμα: Τα σωματίδια του αλεύρου είναι συσσωματώματα αμυλόκοκκων σε ένα δίκτυο πρωτεΐνης. Καθώς το δίκτυο πρωτεΐνης μαλακώνει από την ενυδάτωση και από την ανάδευση, οι αμυλόκοκκοι γίνονται όλο και λιγότερο προσκολλημένοι στην πρωτεΐνη αλλά παραμένουν συνδεδεμένοι με τις ίνες πρωτεΐνης. Το περισσότερο άμυλο μπορεί να αφαιρεθεί αν πλύνουμε και ζυμώσουμε τη ζύμη (η βάση για την απομόνωση υγρής γλουτένης) αλλά δεν μπορεί να αφαιρεθεί πλήρως, διότι κάποια μόρια αμύλου είναι ισχυρά συνδεδεμένα με τα ινίδια πρωτεϊνών [49]. Κατ' αυτό το αρχικό στάδιο ανάμιξης όλα τα υλικά της ζύμης αναμειγνύονται για να μας δώσουν το ζυμάρι το οποίο θα είναι ομοιογενές. Τα λιπίδια κατανέμονται ομοιόμορφα και έρχονται σε επαφή με τα ινίδια πρωτεϊνών και οι διαλυτές ενώσεις διαλύονται πλήρως και κατανέμονται στην υδατική μήτρα.

Ανάπτυξη της γλουτένης: Ζωτικό ρόλο στον σχηματισμό ζυμαριού από αλεύρι σίτου είναι η αύξηση της συνοχής και της πυκνότητας (αύξηση αντίστασης στην ανάμειξη) και αυτό ονομάζεται “ανάπτυξη ζύμης”. Κατά την ανάδευση η πυκνή, ιξώδης λάσπη από αλεύρι και νερό μετατρέπεται σε μια μαλακή, ιξώδη και ελαστική μάζα. Σημαντικό ρόλο παίζει ο χρόνος που θέλει το ανακάτεμα για να φτάσει η ζύμη σε αυτό το σημείο. Όταν η ζύμη ζυμώνεται μέχρι αυτό το σημείο τόσο μπορεί να επιτευχθεί ο ανώτατος τελικός όγκος.

Στα πρώιμα στάδια τα ινίδια της ενυδατωμένης πρωτεΐνης προσκολλώνται το ένα στο άλλο σχηματίζοντας ένα τραχύ τυχαίο δίκτυο νημάτων. Κατά το ανακάτεμα (ζύμωμα) τεντώνονται αυτά τα νήματα, αλλά γίνονται πιο λεπτά και προσανατολίζονται και αλληλεπιδρούν. Στο μέγιστο της συνοχής τα ινίδια πρωτεϊνών έχουν μειωθεί σημαντικά σε διάμετρο και φαίνεται να αλληλεπιδρούν δισδιάστατα. Με άλλα λόγια σ' αυτό το στάδιο η

γλουτένη φαίνεται ικανή να μπορεί να σχηματίσει μια συνεχή μεμβράνη ή φύλλο γλουτένης με βάση το οποίο αξιολογείται η ολοκλήρωση του ζύμματος [50].

Το κύριο συστατικό της πρωτεΐνης είναι η γλουτενίνη και είναι αδιάλυτη. Το ζύμωμα διασπά τη μεγάλου μοριακού βάρους γλουτενίνη σε μικρότερα μόρια τα οποία αναμορφώνονται μέχρι ενός σημείου [51]. Ο χρόνος ζύμματος συσχετίζεται πολύ με την ποσότητα γλουτενίνης στο αλεύρι γιατί περισσότερη γλουτενίνη απαιτεί περισσότερη ενέργεια για να διασπαστεί και να ανακατανομηθεί [52][53].

Η ανακατανομή της γλουτενίνης είναι η διαδικασία κατά την οποία κάποιοι δισουλφιδικοί δεσμοί σπάνε και άλλοι σχηματίζονται. Αν και η ανακατανομή της γλουτενίνης είναι αυτό που καταναλώνει την περισσότερη ενέργεια που απαιτείται στο ζύμωμα δεν είναι και η μόνη διαδικασία που συμβαίνει. Η πρωτεΐνη επίσης ενσωματώνει λιπίδια από το αλεύρι καθώς και όποιους προστιθέμενους γαλακτωματοποιητές [54][55]. Τα περισσότερα πολικά και ένα μεγάλο μέρος των μη πολικών λιπιδίων συνδέονται στενά με την πρωτεΐνη [46]. Το τελικό αποτέλεσμα στην ανάπτυξη θεωρείται ότι είναι ευθυγραμμισμένες πολυπεπτιδικές αλυσίδες, με αλληλεπιδράσεις μεταξύ ιοντικών και υδροφοβικών δεσμών [56].

Σχηματισμός άλλων δεσμών: Η κυριαρχία των δισουλφιδικών δεσμών στο σχηματισμό της ζύμης είναι αδιαφιλονίκητη, ωστόσο και άλλοι δεσμοί σχηματίζονται κατά το ζύμωμα που συνεισφέρουν στην ανάπτυξη της ζύμης. Η διάσπαση των δεσμών υδρογόνου αδυνατίζει τη δομή της ζύμης, λόγω μείωσης της πυκνότητας [57]. Πρόσφατες έρευνες έχουν δείξει πως ο σχηματισμός δεσμών, μεταξύ δύο μορίων τυροσίνης, με σταυρωτές συνδέσεις συνεισφέρει στην ανάπτυξη ζύμης. Η προσθήκη τυροσίνης εμποδίζει τον υπερσχηματισμό σταυρο-δεσμών τυροσίνης και ενισχύει την σταθερότητα της ζύμης [58].

Κατάρρευση: Αν το ζύμωμα συνεχιστεί παραπάνω από το άριστο σημείο τότε η ζύμη γίνεται πιο μαλακή με λιγότερη αντίσταση στη ζύμωση και χάνει την ικανότητά της να συγκρατεί αέρια κατά την διόγκωση της ζύμης [49].

Ενσωμάτωση Αέρα: Η επίτευξη μια καλής ψίχας εξαρτάται εν μέρει από τον ενσωματωμένο αέρα στη ζύμη και κατ' επέκταση από τις φυσσαλίδες αέρα σε μικρά κύτταρα. Αυτά λειτουργούν σαν πυρήνες για την επέκταση των αερίων που σχηματίζονται

κατά τη ζύμωση και το ψήσιμο [59]. Κατά την ενυδάτωση και τα στάδια ανάμειξης ενσωματώνεται λίγος αέρας. Η παγίδευση ξεκινάει μόνον αφού η ζύμη αρχίζει να αναπτύσσει αντίσταση στην ανάμειξη. Η ενσωμάτωση συνεχίζει και κατά την κατάρρευση μετά τον άριστο χρόνο. Η ικανότητα παγίδευσης αέρα εξαρτάται και από την ελαστικότητα και από το ιξώδες [60]. Οι ζύμες παράγουν το περισσότερο αέριο κατά τα πρώιμα στάδια της ζύμωσης και αφήνουν πυρήνες για την επέκταση του αερίου στα επόμενα στάδια της ζύμωσης και στο ψήσιμο [61].

2.3. Αλλοίωση της υφής του ψωμιού

Ο ορισμός του “μπαγιάτικου” αναφέρεται στην μείωση της αποδοχής του καταναλωτή για το προϊόν, λόγω χημικών και φυσικών αλλαγών που συμβαίνουν στην κόρα και στην ψίχα του ψωμιού κατά την αποθήκευση εξαιρώντας την μικροβιακή αλλοίωση[62].

Οι διαδικασίες που προκαλούν μπαγιάτεμα ξεκινούν κατά την ψύξη, πριν ακόμα γίνει το άμυλο συμπαγές για να κοπεί μια φέτα. Συνήθως το μπαγιάτικο σχετίζεται με αλλοίωση της ψίχας. Κατά την αποθήκευση η ψίχα γενικά γίνεται πιο σκληρή, ξηρή και εύθρυπτη και η κόρα γίνεται μαλακή και δερματοειδής. Ωστόσο ο μηχανισμός είναι πολύ πιο πολύπλοκος από μια απλή μεταφορά υγρασίας από την ψίχα στην κόρα. Υπάρχουν δυο υποδιαδικασίες: Το αποτέλεσμα σύσφιξης που συμβαίνει από μεταφορά υγρασίας από την ψίχα στην κόρα και η σύσφιξη της ψίχας, η οποία σχετίζεται με την ανακρυσταλλοποίηση (επαναβάθμιση) του αμύλου κατά την αποθήκευση [63].

Η κόρα που έχει υγρασία 12% απορροφά υγρασία από την ψίχα που έχει 45% [64]. Στην ζώνη της ψίχας κοντά στην κόρα η ποσοστιαία απώλεια υγρασίας είναι μικρότερη. Κατά συνέπεια η συσκευασία που είναι υδατοστεγής ενισχύει το μπαγιάτεμα αφού δεν αφήνει την υγρασία να ξεφύγει από την κόρα όπου έχει μεταφερθεί από την ψίχα. Ωστόσο η συσκευασία μειώνει την ταχύτητα αλλοίωσης εμποδίζοντας την υπερβολική ξήρανση και μειώνοντας την ολική απώλεια υγρασίας απ’ το προϊόν στην ατμόσφαιρα και η συσκευασία γίνεται αφού έχει κρυώσει το ψωμί. Γενικά το μπαγιάτεμα της κόρας δεν είναι τόσο μη αποδεκτό όσο η σκλήρυνση της ψίχας.

2.3.1.Ρόλος των κύριων συστατικών του ψωμιού στο μπαγιάτεμα της ψίχας

Οι αλλαγές που υπόκεινται τα πολυμερή του αμύλου κατά το ψήσιμο και την αποθήκευση καθορίζουν τη δομή, τις ιδιότητες υφής και την ποιότητα του ψωμιού. Μια φέτα ψωμί αποτελείται από 50% άμυλο, 40% νερό και 7% πρωτεΐνη. Τα κύρια συστατικά του ψωμιού είναι αλεύρι και νερό με μικρές ποσότητες λίπους, αλατιού, διάφορων βελτιωτικών και ζυμών (μαγιά). Το άμυλο είναι το κύριο συστατικό του αλεύρου (περίπου το 75%) και παίζει σημαντικό ρόλο στο σχηματισμό δομής, στις φυσικές ιδιότητες και στην διατήρηση της ποιότητας του ψωμιού[65].

Άμυλο: Το άμυλο στο αλεύρι σίτου εντοπίζεται ως σφαιρικοί κόκκοι (αμυλόκοκκοι). Οι αμυλόκοκκοι δεν είναι διαλυτοί σε κρύο νερό αλλά όταν το νερό θερμανθεί μέσα σε ένα υδατικό μέσο θα απορροφήσουν νερό και θα διογκωθούν. Η διόγκωση είναι αναστρέψιμη ή μη αναστρέψιμη όσο αυξάνει η θερμοκρασία και αλλάζει σημαντικά η δομή των κόκκων. Όσο αυξάνει η θερμοκρασία τα πολυμερή αμύλου δονούνται και σπάνε οι δεσμοί, επιτρέποντας την απορρόφηση περισσότερου νερού. Η μεγάλη απορρόφηση νερού οδηγεί σε καταστροφή της κρυσταλλικής δομής του αμύλου. Η συνεχόμενη θέρμανση οδηγεί επίσης σε καταστροφή της δομής αυτής και σ' αυτό το σημείο το ιξώδες είναι αυτό ενός σχεδόν στερεού συστήματος αφού έχει ξεπεραστεί το σημείο τήξης (T_m). Στο ψωμί είναι το σημείο όπου η ιξώδης ζύμη μετατρέπεται σε στερεό ψωμί. Το σημείο αυτό ονομάζεται σημείο ζελατινοποίησης ή θερμοκρασία ζελατινοποίησης. Η κρυσταλλική δομή σπάει σε θερμοκρασίες 60 έως 90°C στα περισσότερα θερμασμένα τρόφιμα. Κατά την ψύξη τα πολυμερή χάνουν κινητικότητα και αυξάνεται το ιξώδες της ψίχας. Στο ψωμί οι ιδιότητες υφής όπως σταθερότητα, καθορίζονται από την συγκέντρωση πολυμερών, ειδικά αμύλου και τη θερμοκρασία. Η κατάσταση των αμυλόκοκκων ποικίλει, με το τελικό προϊόν να είναι σχεδόν πλήρως ζελατινοποιημένο με πλήρη απώλεια της κρυσταλλικής δομής. Σε υγρασία πάνω από 20-30% w/w, όπως αυτή του ψωμιού, το τρόφιμο οδηγείται σε επαναβάθμιση [66].

Ο κυρίαρχος μηχανισμός για το μπαγιάτεμα είναι η εξαρτημένη χρονικά ανακρυστάλλωση της αμυλοπηκτίνης από τελείως άμορφη κατάσταση ενός φρέσκου προϊόντος σε μερικώς κρυσταλλική δομή ενός μπαγιάτικου προϊόντος. Η επαναβάθμιση του αμύλου (retrogradation) είναι ουσιαστικά η διαδικασία κατά την οποία τα ζελατινοποιημένα μόρια αμύλου ανακατατάσσονται για να δημιουργήσουν μια διπλή

τριδιάστατη κρυσταλλική δομή. Για την ανακρυστάλλωση του αμύλου σημαντική είναι η επαρκής υγρασία [67]. Το νερό παίζει πολύ σημαντικό ρόλο γιατί δρα ως πλαστικοποιητής. Πλαστικοποιητής είναι ένα υλικό που ενσωματώνεται σε ένα πολυμερές για να αυξήσει την λειτουργικότητα, την ευκαμψία ή την εκτατικότητα του πολυμερούς [19]. Το νερό είναι μοναδικό γ' αυτό το ρόλο, χάρη στο μικρό μοριακό του βάρος.

Οι Schoch and French (1947) [65] πρότειναν ένα μοντέλο που περιγράφει την αναστρέψιμη με θέρμανση συσσωμάτωση της αμυλοπηκτικής σαν το κύριο αίτιο του μπαγιατέματος του ψωμιού. Θεώρησαν ότι η διόγκωση των κόκκων περιορίζεται από την περιορισμένη διαθεσιμότητα νερού στη ζύμη, οπότε οι διογκωμένοι κόκκοι κρατάνε την ταυτότητά τους σαν ξεχωριστά σωματίδια. Κατά την διόγκωση αυτή των κόκκων, η γραμμική αμυλόζη γίνεται πιο διαλυτή και διαχέεται στην υδατική φάση, σχηματίζοντας ένα κορεσμένο διάλυμα. Αμέσως μετά τη λήξη της διαδικασίας του ψησίματος, που το ψωμί αφήνεται να κρυώσει, σ' αυτό το διάλυμα αμυλόζης συνδέονται τα μόρια με δεσμούς υδρογόνου και γρήγορα αναδιατάσσονται για να δημιουργηθεί μια αδιάλυτη πηκτή, που συνεισφέρει στη δομή του ψωμιού. Η πηκτή αυτή παραμένει αδιάλυτη και σταθερή κατά την αποθήκευση και δεν συνεισφέρει στην διαδικασία μπαγιατέματος. Η αμυλόζη επηρεάζει την αρχική σταθερότητα του ψωμιού αλλά δεν παίζει ρόλο στην μετέπειτα δομή του. Η αλλαγή στη σταθερότητα οφείλεται σε αλλαγές στον προσανατολισμό των κομματιών αμυλοπηκτικής αμύλου μέσα στους διογκωμένους κόκκους. Στο φρέσκο ψωμί οι αλυσίδες αμυλοπηκτικής ξετυλίγονται και επεκτείνονται μέσα στα όρια του διαθέσιμου νερού. Οι αλυσίδες αυτές σταδιακά συσσωματώνονται με πολλούς τρόπους με εσωτερικούς δεσμούς. Το φαινόμενο αυτό οδηγεί σε ακαμψία της εσωτερικής δομής των διογκωμένων αμυλόκοκκων και προκαλεί σκληρότητα στην ψίχα.

Η επαναβάθμιση της αμυλόζης λαμβάνει χώρα σχετικά γρήγορα και δεν παίζει ρόλο παραπέρα στο μπαγιατέμα [67].

Γλουτένη: Αν και η ανακρυστάλλωση του αμύλου είναι ο κύριος λόγος που σκληραίνει η ψίχα του ψωμιού, υπάρχουν και άλλοι μηχανισμοί που παίζουν ρόλο σε αυτό το φαινόμενο. Η γλουτένη έχει προταθεί να συμμετέχει στη διαδικασία από τους Martin et al. (1991) [68][69], οι οποίοι θεώρησαν πως αντιδράσεις δεσμών υδρογόνου μεταξύ των -OH των αλυσίδων του αμύλου με τις -NH₂ ομάδες των πρωτεϊνών οδηγούν τα ινίδια σε αύξηση σε αριθμό και σε συσσωματική δύναμη κατά την αποθήκευση, καθώς

η ψίχα χάνει κινητική ενέργεια, και έχει σαν αποτέλεσμα την σκλήρυνση της ψίχας του ψωμιού.

Ψωμί που παράγεται με “δυνατό” αλεύρι παράγει γλουτένη, η οποία είναι καλή σε ποιότητα και ποσότητα, έχει καλό όγκο και δεν μπαγιατεύει γρήγορα, ενώ αν το αλεύρι είναι “αδύναμο” ισχύει το αντίθετο [70]. Η γλουτένη από καλύτερης ποιότητας αλεύρι αντιδρά λιγότερο με τους αμυλόκοκκους. Αυτό σημαίνει πως το ψωμί από χαμηλής ποιότητας αλεύρι αναμένεται να σκληρύνει και να χαλάσει πιο γρήγορα [71][72].

Ανακατανομή του νερού: Ο Willhoft (1973b) [73] πρότεινε ότι η σκλήρυνση της ψίχας συνοδεύεται με μια απώλεια υγρασίας από την γλουτένη στη φάση του αμύλου. Οι Cluskey et al. (1959) [74] υποστήριξαν επίσης ότι η υγρασία μεταναστεύει από το άμυλο στη γλουτένη στο μπαγιάτικο ψωμί. Οι Wynne-Jones and Blanshard (1986) [75] έχουν δείξει ότι το δεσμευμένο νερό αυξάνεται ενώ το ελεύθερο νερό μειώνεται. Αυτό δείχνει ότι η υγρασία από την γλουτένη μετακινείται στην κρυσταλλική δομή του αμύλου. Οι Leung et al. (1983) [76] πρότειναν ότι καθώς το άμυλο αλλάζει από την άμορφη φάση του σε μια πιο σταθερή κρυσταλλική κατάσταση, τα μόρια του νερού ακινητοποιούνται καθώς ενσωματώνονται στην κρυσταλλική φάση, οπότε μειώνεται η κινητικότητα του νερού με την πάροδο του χρόνου. Η ανακρυστάλλωση της αμυλοπηκτίνης μέσα στους διογκωμένους αμυλόκοκκους οδηγεί σε ανάπτυξη μιας μερικώς κρυσταλλικής δομής. Το νερό μεταναστεύει μέσα στην ψίχα στις αναπτυσσόμενες κρυσταλλικές περιοχές. Οι κρύσταλλοι αμύλου απαιτούν την ενσωμάτωση νερού στην κρυσταλλική περιοχή και οι αλυσίδες κομματιών αμύλου ανακατατάσσονται. Αφού έχει ενσωματωθεί στους κρυστάλλους το νερό δεν είναι πια διαθέσιμο σαν πλαστικοποιητής του δικτύου αμύλου – γλουτένης, ούτε μπορεί να εντοπιστεί οργανοληπτικά. Σαν αποτέλεσμα το ψωμί χάνει μαλακότητα και αναπτύσσει ένα πιο ξηρό χαρακτήρα [77].

Η επαναβάθμιση (αμυλοπηκτίνης) θα μπορούσε να επηρεαστεί από την παρουσία νερού που έχει σαν αποτέλεσμα ποικίλους χρόνους σκλήρυνσης. Η ψίχα του ψωμιού γίνεται πιο σκληρή πιο γρήγορα όταν το άμυλο δεν επαναβαθμίζεται. Η επαναβάθμιση του αμύλου και η σκλήρυνση της ψίχας δεν σχετίζονται μεταξύ τους σε διάφορα περιεχόμενα υγρασίας [78].

Η ανακατανομή του νερού τόσο σε μακροσκοπικό όσο και σε μικροσκοπικό επίπεδο έχει αντίκτυπο στο μπαγιάτεμα του ψωμιού. Σε γενικές γραμμές όσο περισσότερο το περιεχόμενο νερό τόσο πιο γρήγορο και το μπαγιάτεμα. Η υγρασία επηρεάζεται από την διαδικασία μετατροπής της ζύμης σε ψωμί. Σημαντική επίσης είναι η σχέση μεταξύ ψίχας και κόρας. Μια αύξηση της πυκνότητας της κόρας οδηγεί σε απώλεια υγρασίας από την ψίχα [79]. Η αυξανόμενη απώλεια νερού από την ψίχα δεν οδηγεί μόνο σε ένα πιο ξηρό και σκληρό προϊόν αλλά και σε ένα προϊόν που καθίσταται μπαγιάτικο πιο γρήγορα.

Αν και έχουν γίνει μελέτες, οι αντιδράσεις και οι μηχανισμοί που συνδέουν το νερό με το μπαγιάτεμα δεν έχουν διευκρινιστεί ακόμα πλήρως.

2.3.2. Αναστολείς αλλοίωσης

Επειδή η αναστολή της αλλοίωσης των ειδών αρτοποιίας είναι σημαντική κυρίως για οικονομικούς λόγους ειδικά όταν πρόκειται για ψωμί βιομηχανικής παραγωγής, πολλή προσοχή έχει δοθεί σε αυτές τις αναλύσεις και στους μηχανισμούς με τους οποίους κάποια υλικά καθυστερούν τη διαδικασία αλλοίωσης. Τα συστατικά αυτά είναι:

Ένζυμα: Η προσθήκη α-αμυλάσης στη ζύμη έχει δείχτει ότι μειώνει την σκλήρυνση της ψίχας [80]. Η χρήση α-αμυλάσης οδηγεί στην παραγωγή δεξτρινών. Οι δεξτρίνες μικρής αλυσίδας μικρού βαθμού πολυμερισμού είναι επίσης υπεύθυνες για αντισκλήρυντική δράση [70].

Γαλακτωματοποιητές: Οι γαλακτωματοποιητές χρησιμοποιούνται στο ψωμί σαν μέσο καθυστέρησης της διαδικασίας αλλοίωσης διατηρώντας τη μαλακότητα της ψίχας. Οι γαλακτωματοποιητές που χρησιμοποιούνται ευρέως είναι κορεσμένα μονογλυκερίδια. Άλλοι τύποι εξίσου αποτελεσματικοί είναι οι SSL(sodium stearoyl-2-lactylate) και DATA esters (diacetyl tartaric acid esters of monoglycerides) αν και όχι στον ίδιο βαθμό με τα μονογλυκερίδια [81]. Οι γαλακτωματοποιητές επηρεάζουν την μαλακότητα αλλά δεν επηρεάζουν την ακαμψία και την ελαστικότητα του ψωμιού [82].

Πεντοζάνες: Οι πεντοζάνες είναι πολυσακχαρίτες που δεν βρίσκονται στο άμυλο και εντοπίζονται σε μικρό ποσοστό στο αλεύρι σίτου σε επίπεδο 2 με 3% κ.β., μισές διαλυτές στο νερό και μισές μη διαλύτες. Η παρουσία τους μειώνει την τάση του αμύλου για ανακρυστάλλωση επειδή είναι πολύ υδρόφιλες και απορροφούν 6 με 7 φορές το βάρος τους σε νερό. Αναστέλλουν την επαναβάθμιση του αμύλου, ειδικά το αδιάλυτο στο νερό

κλάσμα [83][84]. Οι πεντοζάνες επηρεάζουν την επαναβάθμιση μειώνοντας το ποσό του αμύλου που είναι διαθέσιμο στο σύστημα. Οι υδατοδιαλυτές πεντοζάνες επιβραδύνουν την επαναβάθμιση του αμύλου επηρεάζοντας το κλάσμα της αμυλοπηκτικής. Οι αδιάλυτες στο νερό πεντοζάνες επίσης αναστέλλουν την επαναβάθμιση του αμύλου επηρεάζοντας τόσο την αμυλόζη όσο και την αμυλοπηκτική [85].

Αλκοόλες: Ο τρόπος που οι αλκοόλες επιδρούν στην καθυστέρηση της αλλοίωσης της υφής του ψωμιού δεν είναι διευκρινισμένος, αν και έχει προταθεί από τους Erlander et al.(1969) ότι η αιθανόλη μπορεί να δημιουργήσει σύμπλοκο με την αμυλόζη και τα εξωτερικά γραμμικά τμήματα της αμυλοπηκτικής και να εμποδίζει την επαναβάθμιση [86].

Ζάχαρη και άλλες διαλυμένες ουσίες: Τα σάκχαρα φαίνεται να λειτουργούν σαν συστατικά κατά του μπαγιατέματος σε ψημένα τρόφιμα που έχουν σαν βάση το άμυλο [87]. Η αποτελεσματικότητα των σακχάρων στην μείωση της σκληρότητας και της κρυσταλλικότητας ακολουθούν την εξής σειρά σύμφωνα με μια έρευνα, ριβόζη > σακχαρόζη > γλυκόζη [88]. Οι Levine and Slade (1990) [19] πρότειναν πως τα σάκχαρα αυξάνουν την θερμοκρασία υαλώδους μετάπτωσης (T_g) της άμορφης μήτρας αμυλόζης, οπότε παρεμποδίζουν την ανακρυστάλλωση της αμυλοπηκτικής.

2.4. Αντικειμενική εξέταση μηχανικών ιδιοτήτων του ψωμιού

2.4.1.TPA(texture profile analysis)

2.4.1.1.Ιστορική αναδρομή

Η Szczesniak είναι η επιστήμονας που ανέπτυξε τις αρχικές παραμέτρους της texture profile analysis, ενώ εργαζόταν ως επιστήμονας τροφίμων στην εταιρία General Foods των ΗΠΑ. Η Szczesniak προσπάθησε να προσομοιώσει την αίσθηση που έχουν οι καταναλωτές όταν τρώνε ένα τρόφιμο και να μετατρέψει αυτήν την αίσθηση σε ένα σύστημα μετρήσεων που μπορούν να προσδιοριστούν μηχανικά στο εργαστήριο για διάφορα τρόφιμα. Αν και ο οργανοληπτικός έλεγχος είναι η πιο αποτελεσματική και η πιο ρεαλιστική μέθοδος ανάλυσης υφής, θεωρείται υπερβολικά χρονοβόρα διαδικασία ειδικά όταν πρόκειται για μαζικό έλεγχο προϊόντων. Επομένως προέκυψε η ανάγκη να γίνει η ανάλυση αυτή με μηχανικό τρόπο [89].

Το 1968 ο Bourne (ομότιμος καθηγητής του πανεπιστημίου Cornell και συγγραφέας του "Food Texture and Viscosity: Concept and Measurement") εργάστηκε πάνω σε έρευνες σχετικές με την ανάλυση υφής, υιοθέτησε τις βασικές αρχές του TPA και τις εφάρμοσε δημιουργώντας ένα όργανο (δυναμόμετρο). Η περίοδος αυτή ήταν πολύ σημαντικός σταθμός στην ανάλυση υφής διότι τα όργανα ανάλυσης έγιναν διαθέσιμα στην αγορά για όλους τους επιστήμονες.

Το 1975 η Szczesniak δημοσίευσε ένα άρθρο ανασκόπησης στο Journal of Texture Studies. Αναφέρθηκε σε πολλούς επιστήμονες που συνείσφεραν στην εξέλιξη και ανάπτυξη της επιστήμης σχετικά με τον οργανοληπτικό και τον μηχανικό έλεγχο της υφής. Το 1975 ο Breene εργάστηκε πάνω στο TPA και ασχολήθηκε με την αναλογία μεταξύ των διαφορετικών test, διαγραμμάτων και των αναλογιών παραμορφώσεων. Το άρθρο που δημοσίευσε ήταν ιδιαίτερα σημαντικό διότι αποδείκνυε ότι οι διαφορετικές συνθήκες επέφεραν τεράστια διαφορά στις τελικές μετρήσεις. Όλες οι παρατηρήσεις που έκανε παραμένουν έγκυρες έως και σήμερα [89].

Την δεκαετία του 1980 η Abbott δημοσίευσε ένα άρθρο το οποίο βασιζόταν σε έναν βασικό κώδικα για την ψηφιοποίηση των αποτελεσμάτων του δυναμόμετρου Instron. Για την ψηφιοποίηση σε έτοιμα επεξεργάσιμα αποτελέσματα ήταν απαραίτητη η πλήρης κατανόηση των ηλεκτρικών και μηχανικών συστημάτων του οργάνου [89].

Το 1988 η εταιρία Stable Micro Systems (SMS) εισήγαγαν στην αγορά τον Texture Analyzer και λογισμικό που αυτοματοποιούσε την ανάλυση και έδινε στους ερευνητές ένα ιδιαίτερα βελτιωμένο εργαλείο για την διεξαγωγή πειραμάτων TPA.



Εικόνα 1: Όργανο Instron για Textural Profile Analysis

2.4.1.2. Συμπεράσματα εξέτασης

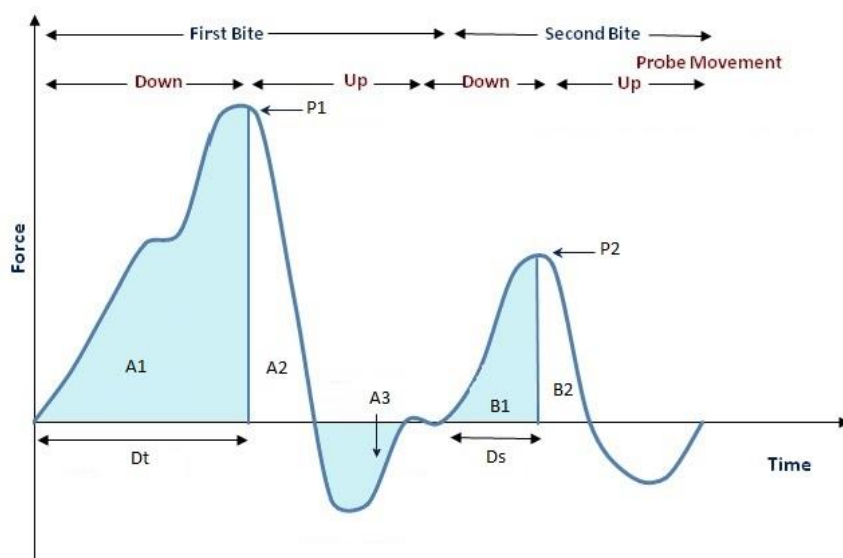
Δημιουργήθηκε μια ποσοτική κλίμακα για κάθε μηχανική παράμετρο/ιδιότητα που προσδιορίζεται με την εφαρμογή TPA [90]:

Οι κύριες μηχανικές παράμετροι για TPA είναι:

- Hardness (Σκληρότητα): Η αρχική δύναμη που ασκείται για την παραμόρφωση
- Cohesiveness (Συνεκτικότητα): Η ικανότητα του δείγματος να διατηρεί τη δομή του
- Viscosity (Ιξώδες): η ταχύτητα ροής
- Elasticity (Springiness) (Ελαστικότητα): Η ταχύτητα με την οποία το παραμορφωμένο δείγμα επανέρχεται στην αρχική του κατάσταση
- Adhesiveness (Κολλητικότητα): Η ταχύτητα με την οποία το δείγμα αποκολλάται από το όργανο

Απ' τις κύριες παραμέτρους μπορούν να προκύψουν δευτερεύουσες παράμετροι:

- Resilience(Ανθεκτικότητα): η μέτρηση της ικανότητας ενός δείγματος να επανέρχεται στη αρχική του κατάσταση σε σχέση με την ταχύτητα και το χρόνο
- Brittleness(Fracturability)(Ευθραυστότητα): Η αρχική δύναμη που απαιτείται για την καταστροφή της δομής ενός δείγματος
- Chewiness(Μασητικότητα): Η ενέργεια που απαιτείται για να μασήσει κάποιος ένα τρόφιμο μέχρι να είναι έτοιμο για την κατάποση
- Gumminess(Κολλητικότητα): Η ενέργεια που απαιτείται για τη διάσπαση ενός ημιστερεού φαγητού μέχρι να είναι έτοιμο για κατάποση



Σχήμα 2: Διάγραμμα δύναμης - χρόνου που προκύπτει από TPA με χρήση οργάνου Instron (Hardness: P1, Springiness: D_s / D_t , Resilience: A_2/A_1 , Cohesiveness: B/A [ή (B_1/A_2)], Chewiness: (B/A) [ή (B_1/A_2)] x P_1 x D_s/D_t , Gumminess: $P_1 \times (B/A)$ [ή (B_1/A_2)], Adhesiveness: A_3)

Το γράφημα δύναμης/χρόνου (Σχήμα 2) δείχνει την κορυφή δύναμης που προκύπτει από κάθε συμπίεση. Είναι ένα τυπικό γράφημα TPA με δύο κορυφές που αντιστοιχούν στην πρώτη και δεύτερη μάσηση του τροφίμου.

Το TPA χρησιμοποιείται για την ακριβή περιγραφή των παραμέτρων υφής ενός τροφίμου και απευθύνεται σε επιστήμονες και τεχνολόγους τροφίμων, προμηθευτές, και πωλητές. Γνωρίζοντας το γενικό προφίλ ενός προϊόντος μπορούν να προσδιοριστούν οι παράγοντες που επηρεάζουν την προτίμηση των καταναλωτών.

2.4.2. Φαρινογράφος

Ο φαρινογράφος είναι όργανο με παγκοσμίως αναγνωρισμένη χρησιμότητα στην εξέταση των ρεολογικών χαρακτηριστικών των αλεύρων. Ειδικότερα μας πληροφορεί για την ικανότητα του αλεύρου στην απορρόφηση νερού, την αντοχή του ζυμαριού στην μηχανική καταπόνηση κατά την κατεργασία του αλεύρου.

Η αρχή λειτουργίας του οργάνου βασίζεται στη δύναμη που χρειάζονται οι δύο σιγμοειδείς βραχίονες του ζυμωτηρίου για να περιστραφούν με σταθερή ταχύτητα μέσα στη μάζα του ζυμαριού που έχει καθορισμένη αρχική σύσταση. Όσο προχωρά η εξέταση, η δύναμη που απαιτείται μεταβάλλεται ανάλογα, με τη φύση του εξεταζόμενου αλεύρου. Η απαιτούμενη δύναμη μετριέται με δυναμόμετρο που συνδέεται με ζυγό και καταγραφικό μηχανισμό. Το δημιουργούμενο διάγραμμα ονομάζεται φαρινογράφημα.

Ο φαρινογράφος απαρτίζεται από δύο κύρια μέρη: τη φαρινογραφική μονάδα και το θερμοστάτη. Ο θερμοστάτης θερμαίνει απεσταγμένο νερό και το διατηρεί σε θερμοκρασία 30°C. Το νερό με τη βοήθεια αντλίας πίεσης διοχετεύεται από το θερμοστάτη στο υδροχιτώνιο του ζυμωτηρίου και διατηρεί τις παρειές του σε σταθερή θερμοκρασία 30°C. Το νερό θερμαίνεται με ηλεκτρικές αντιστάσεις που βρίσκονται μέσα στο θερμοστάτη και ελέγχονται με ένα θερμοστατικό μηχανισμό ακρίβειας. Υπάρχει επίσης ένα θερμόμετρο.



Εικόνα 2: Φαρινογράφος

Η φαρινογραφική μονάδα αποτελείται από μια βάση χυτοσιδήρου με τέσσερις κοχλίες οριζοντίωσης και περιλαμβάνει ένα ζυμωτήριο μέσα στο οποίο γίνεται το

μηχανικό ζύμωμα του εξεταζόμενου αλεύρου, έχει δύο σιγμοειδείς βραχίονες, παράλληλα τοποθετημένους στη βάση του ζυμωτηρίου που κινούνται με διαφορετικές ταχύτητες σε αναλογία 3:2. Υπάρχουν δύο τύποι ζυμωτηρίων, ο μεγάλος για 300gr αλεύρου και ο μικρός για 50gr. Ακόμα έχει ένα καταγραφικό μηχανισμό ο οποίος ενεργοποιείται μέσω ενός συστήματος μοχλών, από τη ροπή αντίδρασης του μοτέρ, που κινεί τους σιγμοειδείς βραχίονες και φέρεται σαν δυναμόμετρο. Παράλληλα δίνει ένδειξη σε συνδεδεμένο ζυγό. Τέλος υπάρχει ένας κύλινδρος ή καταγραφικό πάνω στα οποία καταγράφεται το φαρινογράφημα.

Το φαρινογράφημα μας βοηθάει να προσδιορίσουμε την ποιότητα του αλεύρου από την άποψη[34][28]:

- Ικανότητας απορρόφησης νερού.
- Σταθερότητας του ζυμαριού. Δηλαδή του χρόνου που διατηρείται σε ικανοποιητικά επίπεδα, η σύσταση του ζυμαριού.
- Αντοχής του ζυμαριού. Δηλαδή η ανεύρεση του χρόνου που χρειάζεται για να μεταβληθεί η σύσταση του.
- Βαθμού εξασθένησης του ζυμαριού. Δηλαδή κατά πόσες φαρινογραφικές μονάδες αδυνατίζει το ζυμάρι, όταν η ανάμειξη του συνεχιστεί πέρα από το κανονικό.
- Προσδιορισμού της ενζυματικής δράσης στο αλεύρι.

2.4.3.Εξτενσιογράφος

Αυτό το όργανο επινοήθηκε το 1936 και συμπληρώνει τις πληροφορίες που παίρνουμε από το φαρινογράφο. Με τον εξτενσιογράφο ελέγχουμε τις ρεολογικές ιδιότητες του ζυμαριού και την επίδραση που έχουν σ' αυτό οι βελτιωτικές ουσίες. Οι ρεολογικές ιδιότητες του ζυμαριού καθορίζονται από την ποσότητα και κυρίως την ποιότητα τη γλουτένης που χαρακτηρίζεται από την εκτατότητα και την αντοχή της. Τα μεγέθη ελέγχονται με τη χρήση εξτενσιογράφου και μάλιστα χωρίς να διαχωρίζεται η γλουτένη από το ζυμάρι αλλά μένοντας ενσωματωμένη σ' αυτό.



Εικόνα 3: Εξτενσιογράφος

Ειδικότερα με τον εξτενσιογράφο μετράμε τη δύναμη που χρειάζεται να εφαρμοστεί για να ξεπεραστεί η αντίσταση την οποία εμφανίζει ένα κομμάτι ζυμαριού μέχρι να κοπεί σε δύο κομμάτια, σε σχέση με το χρόνο.

Ειδικότερα ο εξτενσιογράφος μας δίνει πληροφορίες για τις μεταβολές της γλουτένης:

- Στις διάφορες θερμοκρασίες που συντελείται η αρτοποιητική ζύμωση.
- Από την προσθήκη στο αλεύρι πρόσθετων ουσιών, βύνης, κ.α.
- Κατά τη χρονική παλαίωση των αλεύρων

Το εξτενσιογράφημα έχει μεγάλη σημασία για τις αλευροβιομηχανίες. Οι αλευρόμυλοι αναζητούν το αλεύρι που προτιμούν οι αρτοποιοί και στη συνέχεια προσδιορίζουν το εξτενσιογράφημα. Ύστερα με συνάλεση σε καθορισμένα ποσοστά των διαφόρων ποικιλιών σιταριού που έχουν στις αποθήκες τους και γνωρίζοντας τα εξτενσιογραφικά τους δεδομένα παράγουν αλεύρι με εξτενσιογράφημα παρόμοιο με εκείνο του επιθυμητού αλεύρου [34][38].

Κεφάλαιο 3: Αρωματικό προφίλ του ψωμιού

3.1. Η αντίληψη της οσμής και γεύσης από τις ανθρώπινες αισθήσεις

Οι άνθρωποι αυθόρμητα κάνουν οργανοληπτικούς ελέγχους τα τρόφιμα για να αποφύγουν τα αλλοιωμένα τρόφιμα. Μια πρώτη εντύπωση λαμβάνεται με την αίσθηση της όσφρησης, διότι ένα τρόφιμο που εμφανισιακά είναι αποδεκτό και έχει επιθυμητό άρωμα δελεάζει πιο εύκολα κάποιον να το καταναλώσει. Στο σημείο αυτό δημιουργείται η τελική εντύπωση για την αποδοχή ή όχι του τροφίμου και δεν εξαρτάται μόνο από το άρωμα, αλλά και από την υφή, τη γεύση μέχρι και την ακοή [91]. Η αντίληψη των 5 βασικών χαρακτηριστικών του φαγητού, ξινό, αλμυρό, γλυκό, πικρό και umami γίνεται με την συμμετοχή πολλών αισθήσεων.

Η γλυκιά γεύση απορρέει από τα σάκχαρα και υποδεικνύει τρόφιμα πλούσια σε ενέργεια [92]. Η γεύση ζωμού (umami), η οποία κυρίως προκαλείται από γλουταμινικό οξύ και ενισχύεται από ριβονουκλεοτίδια και μονοφωσφορική ινοσιτόλη (IMP) δείχνει ότι ένα τρόφιμο είναι πλούσιο σε πρωτεΐνες [93]. Το umami υποδηλώνει τη γεύση του νόστιμου και οι ενώσεις που το χαρακτηρίζουν παράγονται κυρίως σε μεγάλο βαθμό κατά τη διαδικασία της ωρίμανσης σε φρούτα, λαχανικά, τυρί και κρέας [94]. Η αλμυρή γεύση προέρχεται από το χλωριούχο νάτριο και άλλα άλατα και συνεισφέρει στην ηλεκτρολυτική ομοιόσταση¹ [95]. Είναι επιθυμητό σε χαμηλές ποσότητες αλλά ανεπιθύμητο σε υψηλές ποσότητες. Η πολύ έντονη ξινή γεύση είναι επίσης ανεπιθύμητη και αποτρέπει την κατανάλωση άγουρων φρούτων και αλλοιωμένων φαγητών που περιέχουν οξέα συνήθως. Η ξινή γεύση κατά βάση προκαλείται από οξέα, αλλά δεν είναι πάντα ανάλογη με το pH του τροφίμου. Στο ίδιο pH το οξικό οξύ αποδίδει πιο ξινή γεύση από υδροχλωρικό οξύ [96]. Η πικρή γεύση διαμορφώνεται από πολλές χημικές ενώσεις. Η πικρή γεύση δηλώνει τοξικότητα ή φαρμακευτικό προϊόν, οπότε μια έντονη πικρή γεύση μας αποτρέπει από το να καταναλώσουμε δυνητικά επιβλαβή προϊόντα [97]. Ωστόσο κάποιες φορές μέτριες ξινές ή πικρές φεύγεις είναι αποδεκτές ή και επιθυμητές από τον άνθρωπο.

¹ Ομοιόσταση ονομάζεται η τάση του οργανισμού να διατηρεί μια κατάσταση λειτουργικής ισορροπίας κάτω από συνεχώς μεταβαλλόμενες συνθήκες, η οποία είναι απαραίτητη για τη βέλτιστη λειτουργία του οργανισμού σε κυτταρικό επίπεδο αλλά και ως σύνολο. Η ηλεκτρολυτική ομοιόσταση σχετίζεται με την ισορροπία των ηλεκτρολυτών στον οργανισμό

3.1.1.Αρωμα

Η ανάλυση αρώματος βασίζεται στην ανάλυση των πτητικών ενώσεων ενός τροφίμου. Οι τρόποι που χρησιμοποιούνται για την απομόνωση αυτών μπορεί να προκαλέσουν διαφοροποιήσεις στο αρωματικό προφίλ οπότε σκοπός είναι μια γενική εικόνα και μια ημιποσοτική ανάλυση κυρίως ανιχνεύοντας ουσίες που δείχνουν ότι το τρόφιμο έχει αλλοιωθεί ή είναι φρέσκο ή έχει κάποια ιδιαιτερότητα. Οι ενώσεις αρώματος προέρχονται από υδατάνθρακες, λιπίδια και πρωτεΐνες. Η θέρμανση μπορεί να εκκινήσει αποικοδομήσεις ή οξειδώσεις οπότε να αλλοιώσει το προφίλ του τροφίμου.

Σημαντικός για την επιλογή μεθόδου δειγματοληψίας είναι ο σκοπός. Αν ο σκοπός είναι η απομόνωση συγκεκριμένων ουσιών ή όλων των ουσιών για το γενικό προφίλ του τροφίμου. Οι ενώσεις που εντοπίζονται είναι αυτές που είναι σε περιεκτικότητα πάνω από 10^{-7} g/mL, ενώ στο MS αναγνωρίζονται μόνο αυτές που είναι σε συγκέντρωση πάνω από 10^{-5} g/mL. Οι ενώσεις σε ένα τρόφιμο βρίσκονται σε περιεκτικότητες από 10^{-4} έως 10^{-10} . Οπότε κατακλύζουν τον υπερκείμενο χώρο αυτές που είναι σε μεγαλύτερη συγκέντρωση [98].

Η SPME ανάλυση χρησιμοποιείται όταν ενδιαφερόμαστε για ανάλυση ποιότητας και όχι για ποσοτική ανάλυση και ουσιαστικά μας ενδιαφέρει να έχουμε μια γενική εικόνα του αρωματικού προφίλ και όχι ποσοτικοποιημένα αποτελέσματα. Επίσης δίνουμε βάση σε συγκεκριμένες ενώσεις οι οποίες δείχνουν την ποιότητα του τροφίμου[99]. Για παράδειγμα έγινε η χρήση της ένωσης 2-μέθυλο-προπανάλης και 2- και 3-μέθυλο-βουτανάλης ως δείκτη τη μη ενζυμικής αμαύρωσης στην πατάτα από τους Buttery et al.,(1963) [100] και στην αφυδατωμένη πατάτα από τους Sullivan et al.(1974) [101].

3.2. Αρωμα του ψωμιού

Η παραγωγή ενώσεων αρώματος στο ψωμί, εν μέρει, οφείλεται στις ζύμες και τα προϊόντα του μεταβολισμού τους. Ένα ζυμάρι περιέχει πάνω από 150 πτητικές ενώσεις [102], εκ των οποίων έναν αριθμό αλκοολών, εστέρων, αλδεϋδών, κετονών και άλλων ενώσεων [103]. Επίσης λαμβάνουν χώρα αντιδράσεις που σχετίζονται με πρωτεΐνες και αμινοξέα κατά την διαδικασία ψησίματος. Άλλωστε θεωρείται πως το 90% των ενώσεων αρώματος παράγεται στην κόρα [102].

Στην καθημερινότητα μας όλοι ερχόμαστε σε επαφή με διάφορα προϊόντα που διεγείρουν τις αισθήσεις του ανθρώπου με τις οποίες αντιλαμβάνεται το flavor. Σε μετάφραση το flavor το αποδίδουμε ως “άρωμα” αν και ο ορισμός αυτός δεν είναι ορθός, διότι το flavor δεν είναι κάτι που αντιλαμβανόμαστε μόνο με την αίσθηση της όσφρησης. Εκτός από την όσφρηση και η γεύση παίζει σημαντικό ρόλο στην αντίληψη του flavor [104].

Φυσικά η γεύση και γενικώς το άρωμα ενός τελικού προϊόντος κρίνεται ως “καλό” ή “κακό” από πολλούς παράγοντες και από την προτίμηση του καθενός. Γενικώς στη γεύση συντελούν παράγοντες όπως τα υλικά που θα χρησιμοποιηθούν καθώς και η επεξεργασία του προϊόντος (μέθοδος, συνταγή). Τα άλευρα γενικά έχουν ήπια γεύση που εξαρτάται και από το έλαιο του φύτρου του δημητριακού καθώς και από το ποσοστό των πίτουρων, δηλαδή από το βαθμό άλεσης. Τα αλεύρια ολικής άλεσης προσφέρουν πιο έντονη τελική γεύση από τα απλά άσπρα αλεύρια.

Ενώσεις αρώματος παράγονται φυσικά κατά τη διαδικασία ζύμωσης και του ψησίματος. Όσο αυξάνεται ο χρόνος που αφήνεται το ψωμί από το ζύωμα έως το ψήσιμο τόσο αυξάνεται και η ένταση του αρώματος και το ποσοστό των αρωματικών ενώσεων που παράγονται. Σημαντικές είναι οι αλλαγές στην παραγωγή οξέων. Οι ενώσεις αρώματος παράγονται από τους μικροοργανισμούς που υπάρχουν στο υπόστρωμα. Εκτός από τους ζυμομύκητες υπάρχουν και άγριες ζύμες καθώς και γαλακτικά βακτήρια στο αλεύρι [105].

Φυσικά σημαντική είναι και η παραγωγή ενώσεων αρώματος κατά τη διαδικασία ψησίματος. Πολλές πρόδρομες ενώσεις αρώματος κατά τη διαδικασία θέρμανσης υπόκεινται σε σημαντικές αλλαγές. Έτσι δημιουργείται η κόρα του ψωμιού που θεωρείται πως περιέχει το 90% των ενώσεων αρώματος και το φαινόμενο που λαμβάνει χώρα είναι αυτό της μη ενζυμικής αμαύρωσης (αντίδραση Maillard).

Το ψωμί είναι ένα από τα τρόφιμα με ευχάριστο άρωμα, αλλά αυτό δεν είναι σταθερό με την πάροδο του χρόνου [106][107]. Το όλο αρωματικό προφίλ αλλάζει σε ένα ανεπιθύμητο μπαγιάτικο άρωμα. Μελέτες έδειξαν ότι αυτό συνοδεύεται με μια γρήγορη απώλεια 2-ακέτυλο-πυρρολίνης και 3-μέθυλο-βουτανάλης καθώς και με κατακράτηση

προϊόντων αποικοδόμησης λιπαρών οξέων όπως (E)-2-εννεανάλη στην κόρα του σιταρένιου ψωμιού [108].

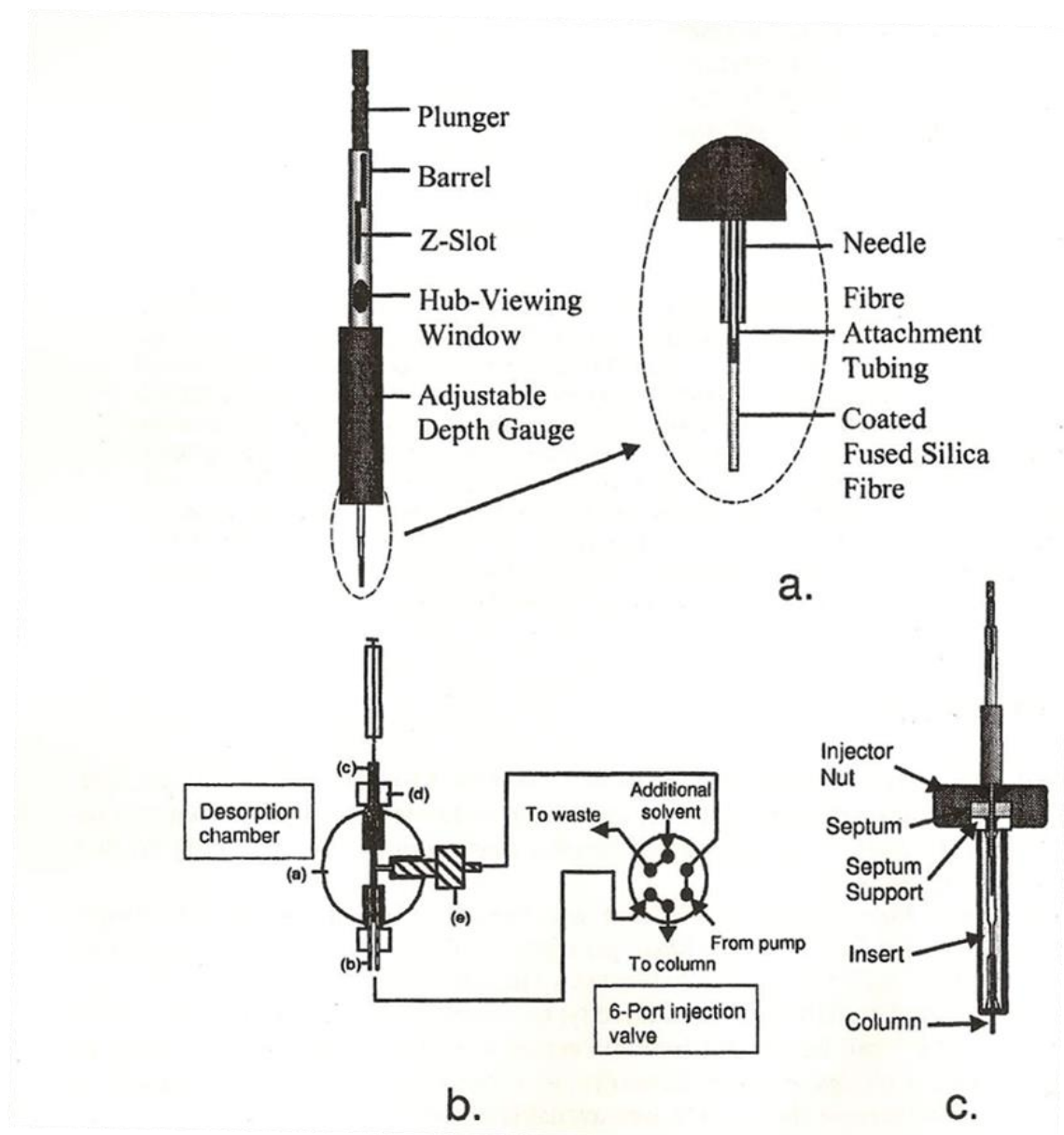
3.3. Ανάλυση Αρώματος – GC/MS

Η ανάλυση υπερκείμενου χώρου είναι η ανάλυση των πτητικών ενώσεων ενός δείγματος. Είναι μια απλή τεχνική που παρουσιάζει ποίκιλα πλεονεκτήματα σε σχέση με άλλες τεχνικές πιο παραδοσιακές όπως η εκχύλιση, η προσρόφηση, η καθίζηση, η απόσταξη κ.ά. Όταν χρησιμοποιείται τριχοειδής στήλη GC για την εκτίμηση των πτητικών ενώσεων των τροφίμων η ανάλυση υπερκείμενου χώρου προσφέρει πολλά πλεονεκτήματα όπως ταχύτητα, απλότητα και προστασία της στήλης. Ένα πλεονέκτημα αυτής της τεχνικής είναι ότι δεν είναι καταστροφική. Με την τεχνική αυτή μπορούν να αναλυθούν πολλά δείγματα χωρίς να γίνεται αλλοίωση αυτών. Επίσης επειδή τα περισσότερα τρόφιμα είναι πολύπλοκα μίγματα από υδατάνθρακες, πρωτεΐνες, λιπαρές ενώσεις, υγρασία και πτητικές ενώσεις, η χρήση της μέθοδου υπερκείμενου χώρου ενδείκνυται γιατί είναι απλή και δεν χρησιμοποιεί διαλύτη. Έτσι αναλύονται και τα πτητικά, που βρίσκονται σε μικρότερη συγκέντρωση, τα οποία σε άλλη περίπτωση θα υπερκαλύπτονταν από την κορυφή του διαλύτη.

Υπάρχουν δυο μορφές τέτοιου είδους ανάλυσης, η δυναμική ανάλυση και η στατική ανάλυση υπερκείμενου χώρου. Η διαφορά είναι πως στην στατική ανάλυση υπάρχει όριο στον υπερκείμενο χώρο ο οποίος είναι περιορισμένος.

3.3.1. Solid Phase Micro Extraction – Static Headspace

Στην SPME χρησιμοποιείται μια τριχοειδής ίνα πυριτίου επικαλυμμένη με προσροφητικό υλικό (Σχήμα 3) που εισάγεται στον υπερκείμενο στατικό χώρο ή σε άλλες περιπτώσεις μέσα σε υγρό. Οι πτητικές ενώσεις προσροφώνται ή απορροφώνται στην ίνα και στη συνέχεια εισάγονται με έγχυση στο χρωματογράφο. Ωστόσο η ανάλυση αυτή έχει και περιορισμούς παρά τα πλεονεκτήματα που προσφέρει, τα οποία είναι η ταχύτητα, η ευκολία, η μη χρήση διαλύτη και η οικονομία. Όπως σε όλες οι τεχνικές εκχύλισης επιλεκτικά ενισχύεται η φαινομενική συγκέντρωση κάποιων ενώσεων και μειώνεται η φαινομενική συγκέντρωση άλλων. Αλλά τα πλεονεκτήματα της μεθόδου είναι πολύ πιο σημαντικά από τα μειονεκτήματα [109].



Σχήμα 3: Μικροσύριγγα που χρησιμοποιείται για έγχυση σε όργανο χρωματογραφικής ανάλυσης GC

3.4. Αλλαγές στο άρωμα λόγω κατεργασιών του ψωμιού

3.4.1. Άρωμα από ζύμωση

Τα τρόφιμα που έχουν υποστεί ζύμωση έχουν συνήθως πολύ πλούσιο άρωμα. Οι μικροοργανισμοί μπορούν να παράγουν μεγάλο αριθμό διαφορετικών ενώσεων αρώματος. Υπάρχουν πολλοί μηχανισμοί και μονοπάτια για την παραγωγή αυτών των ενώσεων [110].

Εστέρες: Οι εστέρες είναι πολύ σημαντικές ενώσεις αρώματος τόσο σε φυσικά προϊόντα όσο και σε ζυμωμένα προϊόντα. Οι εστέρες είναι σημαντικοί κυρίως σε αλκοολούχα ποτά. Ο μεταβολισμός των λιπιδίων από τους ζυμομύκητες παρέχει μεγάλο αριθμό οξέων και αλκοολών τα οποία μπορούν να υποστούν εστεροποίηση προς μια ποικιλία εστέρων [111].

Οξέα: Η παραγωγή οξέων από μικροοργανισμούς είναι πολύ σημαντική ειδικά σε προϊόντα που υπόκεινται ζύμωση. Το πιο σημαντικό οξύ των ζυμωμένων γαλακτοκομικών προϊόντων είναι το γαλακτικό οξύ [112]. Το γαλακτικό οξύ είναι οπτικά ενεργό και απαντά σε μορφές -D, -L ή σε μείγμα μη οπτικά ενεργό ανάλογα με τους μικροοργανισμούς που συμμετέχουν στη σύνθεση.

Δεν υπάρχει διαφορά στη γεύση ανάμεσα στα οπτικά ισομερή. Το γαλακτικό οξύ χαρακτηρίζεται άοσμο και με ξινή γαλακτώδη γεύση.

Οι οργανισμοί που σχετίζονται με γαλακτικό οξύ είναι ή ομοζυμωτικοί (π.χ. *Lactobacillus bulgaricus*, που παράγει κυρίως γαλακτικό οξύ, >85% του τελικού προϊόντος) ή ετεροζυμωτικοί (π.χ. *Leuconostoc* sp., που παράγει γαλακτικό οξύ, οξικό οξύ, αιθανόλη, διοξείδιο του άνθρακα και άλλους μεταβολίτες). Οι ομοζυμωτικοί μικροοργανισμοί ακολουθούν την οδό Embden–Meyerhof–Parnas για ζύμωση λακτόζης ενώ οι ετεροζυμωτικοί μικροοργανισμοί μεταβολίζουν την λακτόζη μέσω του μονοπατιού μονοφωσφορικής εξόζης [113]. Το γαλακτικό οξύ φτάνει σε συγκεντρώσεις 2% ή παραπάνω στα είδη *L. bulgaricus* ή *L. acidophilus*.

Κι άλλα πολλά αλειφατικά και οργανικά οξέα παράγονται κατά τη διαδικασία της ζύμωσης. Οι περισσότεροι μικροοργανισμοί έχουν ενεργές λιπάσες που προσβάλλουν τα τριγλυκερίδια για να παράγουν γλυκερόλη, μονογλυκερίδια, διγλυκερίδια, και ελεύθερα λιπαρά οξέα. Δευτερεύουσες αντιδράσεις των ελεύθερων λιπαρών οξέων είναι υπεύθυνες για την παραγωγή νέων ενώσεων αρώματος. Τα οξέα μπορούν επίσης να προέλθουν από απαμίνωση των αμινοξέων. Τα προϊόντα είναι κυρίως αλειφατικά και αρωματικά οξέα.

Καρβονυλικές ενώσεις: Οι καρβονυλικές ενώσεις είναι σημαντικές για το άρωμα ειδικά των γαλακτοκομικών προϊόντων. Το διακετύλιο (2,3-βουτανοδιόνη) χαρακτηρίζεται από βουτυρώδες και σαν καρύδι άρωμα και είναι από τις πιο σημαντικές καρβονυλικές ενώσεις αρώματος. Επίσης παράγεται από ζύμωση κιτρικού. Οι πιο σημαντικοί

μικροοργανισμοί που ζυμώνουν κιτρικό είναι οι *Leuconostoc citrovorum*, *L. cremoris*, *L. dextranicum*, *Streptococcus lactis* sbp. *diacetyl*, *S. thermophilus* και συγκεκριμένα το είδος *Propionibacterium shermani* [114][115]. Η σύνθεση του διακετύλιου περιλαμβάνει αποικοδόμηση κιτρικού σε οξικό και οξαλοξικό, και το οξαλοξικό στη συνέχεια αποκαρβοξυλιώνεται για να σχηματιστεί πυροσταφυλικό[116]. Πυροσταφυλικό και ακεταλδεΐδη σχηματίζουν α-οξαλοξικό και τελικά διακετύλιο. Δεν είναι τοξικό στα βακτήρια οπότε το πυροσταφυλικό κυρίως οδεύει σε διακετύλιο.

Δυστυχώς το διακετύλιο είναι λιγότερο σταθερό στα περισσότερα τρόφιμα. Οι μικροοργανισμοί που συνθέτουν διακετύλιο έχουν επίσης ρεδουκτάση του διακετύλιου που το ανάγει σε ακετοΐνη και 2,3-βουτανοδιόλη. Κατά την αποθήκευση το διακετύλιο ανάγεται και η ποιότητα και η ένταση του αρώματος μειώνεται.

Οι μεθυλοκετόνες και οι αλδεΐδες μπορούν να σχηματιστούν μέσω οξείδωσης λιπιδίων από μικροοργανισμούς [117]. Η οξείδωση μπορεί να ξεκινήσει από μικροβιακές λιπάσες, υπεροξειδίο του υδρογόνου που παράγεται από μικροοργανισμούς και/ή δράση λιποξειδάσης.

Ένας ακόμα μηχανισμός σχηματισμού καρβονυλικών ενώσεων μέσω μικροοργανισμών περιλαμβάνει τρανσαμίνωση και αποκαρβοξυλίωση ελεύθερων αμινοξέων [118][119]. Τα καρβονυλικά σύμπλοκα είναι πολύ σημαντικές ενώσεις αρώματος σε ζυμώμενα προϊόντα. Οι ενώσεις μπορούν να σχηματίσουν υδρογονάνθρακες μέσω μεταβολισμού του κιτρικού, οξείδωση λιπιδίων ή αποικοδόμηση αμινοξέων.

Αλκοόλες: Οι αλκοόλες δεν συνεισφέρουν σημαντικά στο άρωμα εκτός αν παρευρίσκονται σε υψηλές συγκεντρώσεις(ppm) ή είναι ακόρεστες (π.χ. 1-οκτέν-3-όλη). Οι αλκοόλες προκύπτουν από μεταβολισμό μικροοργανισμών (π.χ. αιθανόλη) ή από αναγωγή μιας καρβονυλικής ένωσης σε αντίστοιχη αλκοόλη.

Αλκοόλες μεγαλύτερες σε μέγεθος από την αιθανόλη παράγονται από μεταβολισμό υδατανθράκων ή αμινοξέων. Παραγωγή αλκοόλης από αμινοξέα μπορεί να συμβεί ή από τρανσαμίνωση, αποκαρβοξυλίωση και αναγωγή ή από οξειδωτική απαμίνωση ακολουθούμενη από αποκαρβοξυλίωση και αναγωγή [120].

3.4.2.Θερμοκρασία ζύμωσης

Η απελευθέρωση ενώσεων αρώματος μπορεί επίσης να επηρεαστεί από τις περιβαλλοντικές συνθήκες, όπως η θερμοκρασία. Οι ζύμες και τα γαλακτικά βακτήρια αναπτύσσονται σε θερμοκρασίες από 15 έως 25°C ή αν είναι θεرمόφιλα σε θερμοκρασίες από 42 έως 45°C. Επομένως μείωση στην ανάπτυξη των ζυμών μπορεί να συνοδεύεται από αντίστοιχη μείωση στην ανάπτυξη των γαλακτικών βακτηρίων [121].

Τα γαλακτικά βακτήρια αναπτύσσονται καλύτερα σε θερμοκρασία περιβάλλοντος (25°C) και όταν η ζύμη είναι “σφιχτή”, όμως σε αυτές τις συνθήκες δεν ευνοείται ο μεταβολισμός των ζυμών. Αν όμως αυξηθεί η θερμοκρασία στους 30°C και η ζύμη είναι λιγότερο “σφιχτή”, η όλη διαδικασία ζύμωσης καταλήγει σε ένα πιο ολοκληρωμένο αρωματικό προφίλ για το τελικό προϊόν.

Οι διαδικαστικές συνθήκες γενικώς, όπως η θερμοκρασία, ο χρόνος ζύμωσης και η υφή της ζύμης μπορούν επίσης να επηρεάσουν το άρωμα του προϊόντος. Αν αυξηθεί ο χρόνος ζύμωσης παράγονται πολύ περισσότερες πτητικές ενώσεις σαν αποτέλεσμα της συνεισφοράς των γαλακτικών βακτηρίων [103].

3.4.3.Μη ενζυμική αμαύρωση

Οι αντιδράσεις μη ενζυμικής αμαύρωσης είναι η Maillard, η καραμελοποίηση και η αμαύρωση ασκορβικού οξέος. Από αυτές τις αντιδράσεις σημαντικό ρόλο στο flavor παίζει η αντίδραση Maillard.

Γενικά η αντίδραση Maillard είναι μια αντίδραση μεταξύ καρβονυλίων των αναγόντων σακχάρων και των ελεύθερων αμινομάδων των πρωτεϊνών. Τα κύρια τελικά προϊόντα είναι μελανοϊδίνες και μη πτητικές ενώσεις. Υπάρχουν και πτητικές ενώσεις σε μικρότερες συγκεντρώσεις από τις μη πτητικές, αλλά παρ’ όλα αυτά επηρεάζουν το άρωμα του τελικού προϊόντος [122].

Υπάρχουν 3.500 ενώσεις πτητικές που παράγονται από την αντίδραση Maillard. Η αντίδραση ξεκινάει με αντίδραση αμινοξέων και σακχάρων και σχηματισμό αμινοσακχάρων. Αυτές οι ενώσεις αναδιοργανώνονται σε ασταθείς ενώσεις Amadori (πρόδρομες αλδόζες) ή Heyns (πρόδρομες κετόζες). Τότε μπορεί να αποβάλουν ένα αμινοξύ για να σχηματιστούν 1- και 3-δικαρβονύλια, τα οποία μετά από πολλά στάδια σχηματίζουν ετεροκυκλικές αρωματικές ενώσεις. Εναλλακτικά, τα προϊόντα

Amadori/Heyns μπορούν να διασπαστούν με αντίστροφη διαδικασία αλδολικής συμπύκνωσης σε α- ή β-σχίσματα. Οι ενώσεις αυτές μπορούν να υποστούν αλδολική συμπύκνωση ή αντίδραση θραυσμάτων/αμινοξέων που καταλήγουν σε σχηματισμό ετεροκυκλικών αρωματικών ενώσεων αρώματος. Σ' αυτή τη πορεία τα δικαρβονύλια ή τα υδροξυκαρβονυλικά ενδιάμεσα απαμινώνουν ή αποκαρβοξυλιώνουν αμινοξέα για την παραγωγή των αντίστοιχων αλδεΐδων Strecker [123].

Τα κύρια προϊόντα flavor της αντίδρασης Maillard είναι αλειφατικές αλδεΐδες, κετόνες, δικετόνες και μικρά λιπαρά οξέα. Ωστόσο ετεροκυκλικά προϊόντα που περιέχουν οξυγόνο, άζωτο, θείο ή συνδυασμοί αυτών είναι περισσότερα και πολύ πιο σημαντικά στο flavor τροφίμων που έχουν υποστεί θέρμανση [124].

Ανθρακικά σύμπλοκα: Κυρίως προέρχονται από την αποικοδόμηση Strecker. Η αντίδραση γίνεται μεταξύ α-δικαρβονυλίων και ελεύθερων αμινοξέων. Τα δικαρβονύλια έχουν διπλούς δεσμούς μεταξύ γειτονικών ανθράκων ή συζευγμένους διπλούς δεσμούς[125]. Ενώ αυτά τα καρβονύλια είναι ενδιάμεσα της αντίδρασης Maillard, θα μπορούσαν να είναι και αρχικά συστατικά του τροφίμου (ασκορβικό οξύ), τελικά προϊόντα ενζυμικής αμαύρωσης (κινόνες) ή προϊόντα οξείδωσης των λιπιδίων [126].

Τα τελικά προϊόντα της Strecker είναι CO₂, μια αμίνη και μια αλδεΐδη, η οποία προέρχεται από ένα αμινοξύ που έχει αποκαρβοξυλιωθεί και απαμινωθεί. Αυτές οι αλδεΐδες θεωρούνται πολύ σημαντικές για το άρωμα του τελικού προϊόντος. Αυτό ισχύει κυρίως γιατί είναι τα κύρια πτητικά προϊόντα της αντίδρασης Maillard [101].

Ετεροκυκλικές ενώσεις με άζωτο: Πάνω από 100 πυραζίνες έχουν εντοπιστεί σε τρόφιμα. Οι άλκυλο-πυραζίνες έχουν γεύση ψημένου και ξηρού καρπού, ενώ οι μέθοξυ-πυραζίνες έχουν πιο γήινη και σαν λαχανικά γεύση [127]. Η 2-ισοβουτύλο-3-μέθοξυ πυραζίνη έχει γεύση φρεσκοκομμένης πιπεριάς. Οι ακέτυλο-πυραζίνες τυπικά έχουν χαρακτήρα popcorn και η 2-ακέτυλο-πυραζίνη έχει μια ιδέα καμένου. Διάφοροι μηχανισμοί έχουν προταθεί για το σχηματισμό πυραζινών [128]. Οι άλκυλο-πυραζίνες πιθανών προέρχονται από αντίδραση α-δικετονών με αμινοξέα και σχηματισμό α-αμινοκετονών (Strecker). Αυτές οι αμινο κετόνες μπορούν να συμπυκνωθούν με άλλες α-άμινο-κετόνες και να δημιουργήσουν μια ετεροκυκλική ένωση, η οποία μπορεί να υποστεί

οξειδωση και να παραχθεί τρι-ακόρεστη πυραζίνη. Σημασία έχει το κομμάτι του δικαρβονυλίου καθώς το αμινοξύ προσφέρει μόνο το άζωτό του στην τελική ένωση [129].

Οι πυρόλες είναι ετεροκυκλικές ενώσεις. Οι πιο άφθονες στα τρόφιμα είναι οι 2-φόρμυλο-πυρόλιο (γλυκιά γεύση σαν καλαμπόκι) και 2-ακετυλο-πυρόλιο (σαν καραμέλα). Το 1-ακετόνυλο-πυρόλιο έχει άρωμα σαν μπισκότο ή μανιτάρι, ενώ οι πυρολικές λακτόνες έχουν πικάντικη γεύση πιπεριάς [127]. Έχουν προταθεί δύο μηχανισμοί για τον σχηματισμό πυρολών.

Ο πρώτος προβλέπει συμμετοχή προλίνης και υδροξυ-προλίνης στην αποικοδόμηση Strecker για σχηματισμό πυρολών [122]. Ο δεύτερος μηχανισμός προβλέπει την αντίδραση αμινοξέων με το αντίστοιχο φουράνιο. Τα αμινοξέα αντιδρούν με τον άνθρακα 5 στον δακτύλιο για να ανοίξει ο δακτύλιος. Ο δακτύλιος κλείνει με αφυδάτωση με ένα N στη δομή του. Ανάλογα με το αμινοξύ και άλλες ανακατατάξεις δομής προκύπτουν διάφορα πυρρόλια [130].

Οι πυριδίνες υπάρχουν λιγότερο από τις πυραζίνες και τα πυρρόλια στα φαγητά [131]. Η 3-μεθυλο-πυριδίνη έχει πράσινη οσμή όπως και οι περισσότερες μονο-υποκατεστημένες πυριδίνες. Η 3-μεθυλο-4-αίθυλο-πυριδίνη έχει χαρακτηριστεί ως γλυκιά και σαν ξηρός καρπός. Η πυριδίνη είναι πικάντικη, ενώ η 2-ακέτυλο-πυριδίνη έχει άρωμα καπνού. Η συνεισφορά των πυριδινών στο flavor έχει να κάνει με το ποιες πυριδίνες σχηματίζονται και σε τι ποσότητες. Σε χαμηλές συγκεντρώσεις έχουν πολύ επιθυμητό άρωμα, αλλιώς έχουν πολύ επιθετικό άρωμα σε υψηλότερες συγκεντρώσεις [132].

Δεν έχουν επιβεβαιωθεί συγκεκριμένοι μηχανισμοί αλλά οι Vernin and Parkanyi (1982) [128] έχουν προτείνει 3 μηχανισμούς. Οι δυο πρώτοι βασίζονται στην αλδολική συμπύκνωση για παρασκευή ακόρεστων αλδεϋδών. Αργότερα αντιδρούν με αμμωνία ή με αμινοξύ και δημιουργείται ένωση ετεροκυκλική με άζωτο, η οποία αν οξειδωθεί καταλήγει σε πυριδίνη. Η άλλη μέθοδος είναι η αντίδραση διαλδεϋδών με αμμωνία στην συνέχεια αφυδάτωση για παρασκευή πυριδινών.

Ετεροκυκλικές ενώσεις που περιέχουν οξυγόνο: Οι φουρανόνες και οι πυρανόνες είναι ετεροκυκλικές ενώσεις που περιέχουν οξυγόνο που σχετίζονται με τις αντιδράσεις καραμελοποίησης και Maillard [133]. Το είδος των γεύσεων που σχετίζονται με αυτό το γκρούπ ενώσεων είναι καραμελώδη, γλυκά, φρουτώδη, βουτυρώδη, σαν καρύδι ή

καμμένη γεύση. Είναι πολύ συχνές ενώσεις – κυρίως – σε ποσότητα σε συμπυκνώματα (υδατανθράκων) που έχουν υποστεί αντιδράσεις αμαύρωσης [134].

Ο χαρακτήρας καραμέλας σχετίζεται με την επίπεδη, συνεχόμενη ομάδα των C-άλκυλο-ενολο-καρβονυλικών στο μόριο (alkyl-C=C(OH)-C:O) [135]. Η μαλτόλη είναι μια από τις πρώτες ενώσεις που ανιχνεύθηκαν στα τρόφιμα. Η αίθυλο-μαλτόλη (2-ethyl-3-hydroxy-4(4H)-pyranone) επίσης έχει ένα άρωμα καραμέλας αλλά είναι περίπου 4 με 6 φορές πιο δυνατό από εκείνο της μαλτόλης. Η φουρανεόλη (4-hydroxy-2,5-dimethyl-3(2H)-furanone) είναι το εμπορικό όνομα μιας ένωσης που χρησιμοποιείται στην βιομηχανία αρώματος τροφίμων και όπως η μαλτόλη και η αιθυλική μαλτόλη είναι ενισχυτής αρώματος για γλυκά προϊόντα. Η φουρεανόλη έχει οσμή καμένου ανανά. Το κυκλοτένιο (εμπορικό όνομα) έχει πολύ χαρακτηριστικό γλυκό άρωμα σφενταμιού. Η σχετική ένωση είναι η 3-αίθυλο-2-ύδροξυ-κυκλοπεντεν-1-όνη (3-ethyl-2-hydroxy-2-cyclopenten-1-one), η οποία επίσης χρησιμοποιείται πολύ στη βιομηχανία αρώματος για παρόμοιες εφαρμογές (καραμέλα, καρύδι, σφεντάμι και βούτυρο). Άλλα παραδείγματα είναι η φουρανεόλη που έχει παρόμοια οσμή με sherry, ενώ ο βουτυρικός αιθέρας της ένωσης αυτής έχει γεύση σαν γιασεμί. Αφού οι ενώσεις δεν περιέχουν άζωτο ο μηχανισμός παρασκευής είναι κυκλοποίηση ενδιάμεσων προϊόντων της Maillard [136][137].

Ετεροκυκλικές ενώσεις που περιέχουν θείο: Οι ενώσεις που προκύπτουν από τη Maillard είναι θειοφαίνια, διθειόλες, διθειάνια, διθειίνια, τριθειολάνες, τριθειάνια, τετραθειάνια, θειαζόλια, θειαζολίνες και θειαζολιδίνες. Τα κύρια προϊόντα ωστόσο είναι θειαζόλες και θειοφαίνια [138]. Οι θειαζόλες και οι πυραζίνες έχουν παρόμοια χαρακτηριστικά. Οι αλκυλοθειαζόλες δίνουν πράσινη, καρυδιού, λαχανικών, ψημένα και σαν κρέας οσμή [132][139]. Η τριμέθυλοθειαζόλη έχει άρωμα κακάου και καρυδιού. Η 2-ισοβούτυλο-θειαζόλη είναι μια από τις πιο γνωστές θειαζόλες και έχει ισχυρή πράσινη οσμή ή ντομάτας. Η ένωση αυτή είναι σημαντική για τη γεύση ντομάτας. Η 2,4-διμέθυλο-5-βίνυλο-θειαζόλη έχει μια γεύση καρυδιού. Η 2-ακέτυλο-θειαζόλη έχει γεύση καρυδιού, δημητριακών και popcorn. Αν εξαιρέσουμε τα cranberries τα θειοφαίνια έχουν βρεθεί μόνο σε ψημένα και μαγειρεμένα τρόφιμα [127]. Το θειοφαίνιο έχει πικάντικο χαρακτήρα, ενώ το 2,4-διμέθυλο-θειοφαίνιο είναι πολύ σημαντικό για τη γεύση των τηγανισμένων κρεμμυδιών. Το 2-ακέτυλο-3-μέθυλο-θειοφαίνιο έχει γεύση μελιού σε συγκέντρωση

2,5g/100mL ενώ έχει γεύση ξηρών καρπών και αμυλώδη σε συγκέντρωση 0,11g/100mL. Η 5-μέθυλο-θειόφαινο-2-καρβοξαλδεΐδη (5-methyl thiophene-2-carboxaldehyde) έχει γεύση καμμένου καφέ [140].

Αυτές οι ενώσεις, οι θειαζόλες και τα θειοφαίνεια τυπικά σχηματίζονται από την αντίδραση των αμινοξέων που περιέχουν θείο με ενδιάμεσα την αντίδρασης Maillard. Ένας εναλλακτικός μηχανισμός περιλαμβάνει τον αρχικό σχηματισμό H_2S από τα αμινοξέα που περιέχουν θείο και μετά αντίδραση αυτού με ενδιάμεσα αμαύρωσης [141].

Ενώσεις που περιέχουν οξυγόνο: Οξαζόλες και οξαζολίνες έχουν βρεθεί μόνο σε τρόφιμα που έχουν υποστεί την αντίδραση Maillard[131][142]. Οι οξαζόλες έχουν αρώματα πράσινα, γλυκά, λουλουδιού, ή λαχανικών [143][144]. Σαν παραδείγματα η 4-μέθυλο-5-πρόπυλο οξαζόλη έχει άρωμα πράσινων λαχανικών. Ωστόσο οξαζόλες που έχουν 4 ή 5 άτομα άνθρακα στο δακτύλιο της οξαζόλης και όχι άλκυλο-ομάδα στον άνθρακα 2 ή 4 έχουν χαρακτηριστική γεύση λιπαρή-μπέικον. (5-βούτυλο-οξαζόλη) Όταν ένα μεθύλιο ή αιθύλιο υπάρχει στον άνθρακα 2 (2-αιθύλο-5-βούτυλο-οξαζόλη) το λιπαρό άρωμα μετατρέπεται σε ένα γλυκό ανθώδες. Το άρωμα αυτό ενισχύεται περισσότερο με προσθήκη αιθύλο ή μέθυλο ομάδας στον άνθρακα 4 [144]. Οι οξαζολίνες δίνουν διαφορετικά αρώματα. Η 2-ισοπρόπυλο-4,5,5-τριμέθυλο-3-οξαζολίνη έχει γεύση από ρούμι ενώ η 2-ισοπρόπυλο-4,5-διαίθυλο-3-οξαζολίνη έχει τυπικό άρωμα κακάου.

Κεφάλαιο 4: Μικροβιολογία ψωμιού

Για την παρασκευή ψωμιού σε αρτοποιεία ή οικιακά χρησιμοποιείται η γνωστή ξηρή μαγιά, στην οποία ο ζυμομύκητας που επικρατεί είναι ο *Saccharomyces cerevisiae*. Η μαγιά είναι γνωστή για την παραγωγή αερίου που προσδίδει όγκο στο ψωμί, αλλά έχει και αντίκτυπο στο τελικό άρωμα του ψωμιού.

Οι ζύμες μπορούν να παράγουν αέριο από τους διαθέσιμους υδατάνθρακες. Σημαντική είναι η ταχύτητα παραγωγής αερίου από μαλτόζη και σακχαρόζη. Συνήθως ο *S. cerevisiae* διαθέτει υψηλά επίπεδα ιμπερτάσης και μπορεί να μετατρέψει γρήγορα τη σακχαρόζη σε γλυκόζη και φρουκτόζη και να παράγει αέριο. Ωστόσο αν τα επίπεδα ζάχαρης είναι ψηλά καταστέλλεται η δράση του ζυμομύκητα. Τα γένη ζυμομυκήτων που μπορούν να δράσουν σε υψηλά επίπεδα σακχαρόζης δεν διαθέτουν επαρκή επίπεδα ιμπερτάσης. Ωστόσο εαν τα επίπεδα σακχαρόζης είναι πολύ χαμηλά, τότε οι ζυμομύκητες θα πρέπει να ζυμώσουν μαλτόζη για την παραγωγή αερίου και η ποσότητα ζυμώσιμων σακχάρων όπως η γλυκόζη πέφτει σημαντικά. Οι ζυμομύκητες δεν διαθέτουν ένζυμα, που είναι απαραίτητα για την υδρόλυση της μαλτόζης επομένως θα πρέπει να περάσει κάποιος χρόνος για να προσαρμοστούν στο περιβάλλον ελάχιστης σακχαρόζης και να μπορέσουν να υδρολύσουν την μαλτόζη. Ο χρόνος αυτός καθυστέρησης παραγωγής αερίου ονομάζεται “maltose lag”. Οι ζυμομύκητες που είναι δραστήριοι σε υψηλά επίπεδα ζάχαρης συνήθως παρουσιάζουν “maltose lag” σε ζυμάρια χωρίς ζάχαρη.

Η παραγωγή διοξειδίου του άνθρακα από τις ζύμες επίσης προκαλεί μείωση του pH. Η μείωση του pH και η παραγωγή αιθανόλης αλλάζουν το ιξώδες της ζύμης, προσφέροντας μια επιπλέον ελαστικότητα [5].

Μεγάλη σημασία έχει το δημητριακό που χρησιμοποιείται διότι είναι το βασικό υπόστρωμα που περιέχει υδατάνθρακες, πηγές αζώτου, βιταμίνες και μέταλλα. Γενικά τα ζυμώσιμα σάκχαρα παίζουν πολύ σημαντικό ρόλο στη διαδικασία της ζύμωσης [145]. Η προσθήκη νερού ενεργοποιεί τα ένζυμα στο αλεύρι, οπότε αυξάνει η ποσότητα των ζυμώσιμων σακχάρων που απελευθερώνονται από τους πολυσακχαρίτες.

4.1. Μικροβιολογικό προφίλ προζυμιού

Οι μικροοργανισμοί που εντοπίζονται στο προζύμι, εξαιρουμένων των γαλακτικών βακτηρίων και των ζυμών, είτε βρίσκονται στο αλεύρι, είτε προστίθενται, είτε είναι επιμολύνσεις. Τα γένη γαλακτικών βακτηρίων που εντοπίζονται στο αλεύρι από σιτάρι και σίκαλη χωρίζονται σε ομοζυμωτικά στελέχη, που προκαλούν μια καθαρά γαλακτική ζύμωση, δηλαδή που σχηματίζουν κυρίως γαλακτικό οξύ από τα σάκχαρα και σε ετεροζυμωτικά στελέχη, που σχηματίζουν μαζί με το γαλακτικό οξύ και άλλα προϊόντα ζύμωσης όπως αλκοόλη, οξικό οξύ, γλυκερόλη, μαννιτόλη και άλλες πολυαλκοόλες, CO₂ κτλ. [146][145]:

Ομοζυμωτικά: *Lb. coryniformis*, *Lb. plantarum*, *Lb. casei*, *Lb. salivarius*, *Lb. curvatus*

Ετεροζυμωτικά: *Lb. cellobiosus*, *Lb. brevis*, *Lb. fermentum*, *Pd. pentosaceus*, *Pd. parvulus*, *Pd. acidilactici*, *Ec. faecalis*, *Lc. lactis*, *Le. paramesenteroides*.

Αυτά τα είδη αναφέρεται πως έχουν εντοπιστεί και στο προζύμι[147]. Παρ' όλο που από τα δεδομένα αυτά μπορεί να θεωρηθεί πως πολλοί μικροοργανισμοί συμμετέχουν στην ζύμωση, αν γίνει ανάλυση προζυμιού όπου ο πολλαπλασιασμός παίρνει ένα χρονικό διάστημα τότε είναι εμφανές πως απλά επικρατούν 2 με 3 τυχαία γένη από τα αρχικά [146].

Ανάλογα με τον τρόπο και την τεχνολογία παραγωγής που χρησιμοποιείται, το προζύμι χωρίζεται σε 3 τύπους:

Τύπος Ι: Πρόκειται για την παραδοσιακή ζύμη η οποία συντηρείται κάθε μέρα με την προσθήκη νερού και αλευριού για να παραμένει ενεργή. Μια διαδικασία ζύμωσης 3 σταδίων χρησιμοποιείται για να επιτευχθεί αυτή η κατάσταση με τη θερμοκρασία να κυμαίνεται μεταξύ 23 και 30°C και το pH στο τέλος του τρίτου σταδίου να είναι 3,9 [148]. Μέρη από την παραγόμενη ζύμη χρησιμοποιούνται στην παραγωγή ψωμιού ουσιαστικά ως καλλιέργεια εκκίνησης [149]. Είναι προφανές πως σε προζύμι που παράγεται από σίκαλη ή σιτάρι ή μίγμα, κυρίαρχος LAB είναι ο *L. sanfrancisco* και σε κάποια μπορεί να εντοπιστεί και ο *L. pontis*. Επίσης σε κάποια έχουν βρεθεί και τα ετεροζυμωτικά γένη *L. fructivorans*, *L. fermentum*, *Lb. brevis*. [147]. Οπότε τα είδη που αναφέρθηκαν θεωρείται ότι προσαρμόζονται στο παραδοσιακό προζύμι. Τα βακτήρια στο προζύμι σχετίζονται με ζύμες, η πλειοψηφία των οποίων είναι τα είδη *Candida milleri*, *C. holmii*, *S. cerevisiae* και *S.*

exiguus. Με εξαίρεση τον *S. cerevisiae* κανένα άλλο είδος δεν ζυμώνει τη μαλτόζη που είναι η κύρια πηγή για ζύμωση υδατανθράκων από τα γαλακτικά βακτήρια *L. sanfrancisco*.

Τύπος II: Οξειδωση και παρατεταμένη ζύμωση οδηγεί σε προζύμι τύπου II. Σκοπό έχει να προσφέρει οξύτητα και επιπλέον άρωμα στη ζύμη. Σε αντίθεση με την παραγωγή 3 σταδίων προστίθεται μαγιά στη ζύμη. Η προσθήκη ζύμης προσφέρει εξοικονόμηση χρόνου και διαδικασία ενός σταδίου με μία μόνο περίοδο ζύμωσης, η οποία διαρκεί 15-20 ώρες. Μειώνεται κατά πολύ η παραγωγή αερίου από τα LAB. Οι ζύμες τύπου II μπορούν να παρασκευαστούν σε μεγάλη ποσότητα, αποθηκεύονται για μια βδομάδα και τέλος χρησιμοποιούνται για την παραγωγή ψωμιού με προζύμι. Οι κυρίαρχοι μικροοργανισμοί σε ζύμες αυτού του τύπου είναι οι *L. reuteri*, *L. johnsonii*, *L. sanfrancisco*, *L. pontis* [150].

Τύπος III: Πρόκειται για έτοιμο προζύμι σε ξηρή μορφή. Τα LAB που υπάρχουν είναι ανθεκτικά στην ξηρασία και επιβιώνουν σε αυτή τη μορφή. Έχουν τακτοποιηθεί στον τύπο III *Pediococcus pentosaceus*, *L. plantarum*, *L. brevis* σε επίπεδα από 10^7 έως 10^9 cfu/g [150].

4.2. Τεχνολογία του προζυμιού

Το προζύμι επηρεάζει τη θρεπτική αξία του προϊόντος. Έχει σημειωθεί πως η γλυκαιμική απόκριση μειώνεται στο ψωμί με προζύμι [151]. Επίσης με το προζύμι αυξάνεται η ποσότητα των μετάλλων στο ψωμί τα οποία βρίσκονται στο αλεύρι με δεσμευμένη μορφή και δεν είναι δυνατόν να απορροφηθούν από τον άνθρωπο.

Τέλος η οξείδωση και το χαμηλό pH αποτρέπουν τις ανεπιθύμητες ζυμώσεις και την αλλοίωση από μικροοργανισμούς στο προζύμι. Στο pH του προζυμιού η ανάπτυξη και η κινητικότητα των μικροοργανισμών αλλοίωσης όπως του *Bacillus subtilis* ή *clostridia*, μπορεί να κατασταλλεί. Επιπλέον η διάρκεια ζωής του ψωμιού με προζύμι αυξάνεται αρκετά σε σχέση με ψωμί που παράγεται από μαγιά [152].

4.3. Γαλακτικά Βακτήρια στο προζύμι

Τα γαλακτικά βακτήρια χρησιμοποιούν ως πηγή ενέργεια υδατάνθρακες και παράγουν οξύ, αέριο και πρόδρομες ενώσεις αρώματος. Ο *L. sanfrancisco* που εντοπίστηκε σε San Francisco προζύμι, χρησιμοποιεί αποκλειστικά μαλτόζη [153]. Το

βακτήριο συνδέθηκε με τον ζυμομύκητα *Candida milleri*, ο οποίος δεν ζυμώνει μαλτόζη αλλά έχει προτίμηση στην γλυκόζη[154]. Αργότερα παρατηρήθηκε πως ο *L. sanfrancisco* έχει τη δυνατότητα μετά από κάποιο χρονικό διάστημα >120 ώρες να ζυμώσει γλυκόζη (αφού έχει εξαντλήσει την μαλτόζη) [155]. Επίσης έχει τη δυνατότητα να ζυμώσει άλλα 8 σάκχαρα εκ των οποίων είναι η ριβόζη και η ραφινόζη.

Στο προζύμι, η μαλτόζη είναι το πιο άφθονο ζυμώσιμο σάκχαρο. Τα στάδια του μεταβολισμού της μαλτόζης από *L. sanfrancisco* και *L. pontis* έχουν να κάνουν με την ανταγωνιστικότητα των δύο ειδών στο προζύμι. Η προτίμηση χρήσης μαλτόζης για ζύμωση από τα γαλακτικά βακτήρια, η οποία είναι άφθονη τους δίνει ένα πλεονέκτημα σε σχέση με τις ζύμες, οι οποίες προτιμούν άλλα σάκχαρα για ζύμωση. Η παραγωγή γλυκόζης από την ζύμωση μαλτόζης από τα γαλακτικά βακτήρια μειώνει την ανταγωνιστικότητα από τις ζύμες στην ζύμωση μαλτόζης αφού τους παρέχεται άλλο υπόστρωμα ζύμωσης [155]. Επομένως η μαλτόζη μένει διαθέσιμη σαν πηγή ενέργειας μόνο για τα LAB.

Με τον μεταβολισμό των υδατανθράκων από τα πιο κοινά είδη: *L. sanfrancisco* και *L. pontis* έχουν ασχοληθεί οι Hammes et al., (1996) [156]. Τα ετεροζυμωτικά LAB μεταβολίζουν την 1 φωσφο-γλυκόζη με το 6-φωσφογλουκονικό οξύ για τελική παραγωγή γαλακτικού, αιθανόλης και CO₂. Στη ζύμη λαμβάνουν χώρα μετατροπές λόγω μεταβολικών αντιδράσεων και αλληλεπιδράσεων των οργανισμών. Για παράδειγμα η παρουσία κιτρικού, φρουκτόζης, μηλικού, ή οξυγόνου αυξάνουν την παραγωγή επιπλέον μεταβολιτών όπως μαννιτόλη, ηλεκτρικό, γλυκερόλη και οξικό οξύ.

Αποτέλεσμα του μεταβολισμού της μαλτόζης είναι η αυξημένη ανάπτυξη των *L. sanfrancisco* και *L. pontis*. Επιπλέον το οξικό άλας που παράγεται είναι ζωτικής σημασίας για τον σχηματισμό ενώσεων αρώματος και την μικροβιολογική σταθερότητα του ψωμιού. Η μοριακή αναλογία του γαλακτικού και του οξικού στο ψωμί ορίζεται ως το πηλίκο ζύμωσης και θεωρείται βέλτιστη μεταξύ 2,0 και 2,7. Χαμηλότερες τιμές είναι επιθυμητές όταν το προζύμι υποβάλλεται σε διαδικασία ξήρανσης και χρησιμοποιείται σαν βοήθημα για την παραγωγή ψωμιού.

Η μελέτη του μεταβολισμού των γαλακτικών βακτηρίων βοηθάει στο να ελέγχεται το πηλίκο ζύμωσης με τεχνολογικά μέσα. Έχει δειχτεί πως η προσθήκη φρουκτόζης ή

ιμβερτοσάκχαρου στη ζύμη αυξάνει το οξικό οξύ [157]. Παρόμοιο αποτέλεσμα έχει η προσθήκη κιτρικού [158].

Τα ψωμιά που περιέχουν *L. sanfrancisco* έχουν την πιο έντονη γεύση και άρωμα [159]. Οι ενώσεις που συνεισφέρουν στο άρωμα προέρχονται κυρίως από μη ενζυμική αμαύρωση κατά το ψήσιμο, την οξείδωση των λιπαρών οξέων και από προϊόντα μεταβολισμού των μικροοργανισμών [160][161]. Η συγκέντρωση των πτητικών ενώσεων επηρεάζεται σε μεγάλο βαθμό από την μικροβιακή πανίδα [162]. Οι κύριες ενώσεις αρώματος που έχουν εντοπιστεί είναι αλκοόλες (αιθανόλη, προπανόλη, 2 μέθυλο-πεντανόλη, 1-επτανόλη και 1-οκτανόλη), αλδεϋδες (3-μέθυλο-1-βουτανάλη, επτανάλη, trans-2-επτανάλη, οκτανάλη και εννεανάλη), οξικό οξύ και σχετικά λίγος οξικός αιθυλεστέρας. Τα προϊόντα αυτά προέρχονται είτε από μεταβολισμό των μικροοργανισμών είτε από οξείδωση των λιπαρών οξέων[161]. Οι πτητικές ενώσεις που παράγονται από τις ζύμες του προζυμίου *C. milleri* διαφέρουν από τα προϊόντα αρώματος που παράγονται από τις ζύμες τις μαγιάς[163].

Επίσης ενώσεις αρώματος προέρχονται από αμινοξέα και πεπτίδια που είναι πρόδρομες ενώσεις αρώματος. Έχει βρεθεί πως η πρωτεολυτική δραστηριότητα στο προζύμι είναι υψηλότερη από αυτή στο ψωμί με μαγιά και επομένως σχηματίζονται περισσότερες πρόδρομες ενώσεις αρώματος. Η κύρια πρωτεολυτική δραστηριότητα οφείλεται σε ένζυμα του αλεύρου [164].

Η πρωτεολυτική δραστηριότητα του *L. sanfrancisco* μελετήθηκε από τους Corsetti et al., (1996a) [165]. Το ένζυμο χαρακτηρίστηκε ως μια πρωτεάση της σερίνης. Η δραστηριότητά της έχει να κάνει με την προσαρμοστικότητα στο περιβάλλον της ζύμης και έχει μεγαλύτερη δραστικότητα στη γλιαδίνη από τις α_{s1} και β καζεΐνες και διατηρεί υψηλή δραστικότητα υπό συνθήκες που υπάρχουν στη ζύμη κατά τη ζύμωση. (pH 4-5 και 30°C). Οι δραστηριότητες των αμινοπεπτιδάση, τριπεπτιδάση και ιμινοπεπτιδάση εντοπίστηκαν στο κυτταρόπλασμα του κυττάρου του ζυμομύκητα, ενώ της διπεπτιδάσης σχετίζεται με τη μεμβράνη. Οι δραστικότητές τους είναι ιδιαίτερα υψηλές όταν συγκρίνονται με άλλα LAB του προζυμίου.

4.4. Μικροοργανισμοί που εντοπίζονται σε ψωμί με προζύμι

Ολική μεσόφιλη χλωρίδα: τα γένη βακτηρίων που εντοπίζονται κυρίως στην μεσόφιλη αερόβια χλωρίδα είναι *Bacillus* και *Sporolactobacillus*. Το πιο σημαντικό από τα δύο είναι ο *Bacillus*.

Το γένος *Sporolactobacillus* περιέχει ένα μόνο είδος το *S. inulinus*. Ο μικροοργανισμός αυτός είναι μεσόφιλος, μικροαερόβιος, κινούμενος (μαστιγοφόρος) αρνητικός στην καταλάση και ομοζυμωτικός σπορογόνος σε σχήμα ράβδων. Εκτός από τη δυνατότητα του να σχηματίζει ενδοσπόρια είναι σχετικά παρόμοιος με τον *Lactobacillus*. Επειδή τα σπόρια του διαθέτουν χαμηλή αντοχή στη θέρμανση και βρίσκονται σε πολύ μικρό ποσοστό σε τρόφιμα και στο περιβάλλον ο οργανισμός αυτός δεν έχει ιδιαίτερη σημασία στην ανάλυση τροφίμων [166].

Οι μικροοργανισμοί που ανήκουν στο γένος *Bacillus* είναι σπορογόνοι από αερόβιοι έως προαιρετικά αναερόβιοι ράβδοι. Όλα τα είδη του γένους *Bacillus* έχουν την δυνατότητα να παράγουν ενδοσπόρια υπό αερόβιες συνθήκες, αν και οι υπόλοιπες συνθήκες είναι ευνοϊκές. Η θερμοκρασία δεν είναι σημαντικός παράγοντας διάκρισης των ειδών όσον αφορά τα τρόφιμα, εκτός ίσως από τον *B. stearothermophilus* και *B. coagulans*, οι οποίοι διαφέρουν στο ότι έχουν δυνατότητα ανάπτυξης σε υψηλές θερμοκρασίες [167]. Οι διακυμάνσεις θερμοκρασίας γενικά που είναι ευνοϊκές αλληλεπικαλύπτονται οπότε απαιτείται μια διάκριση από μεσόφιλα σε θερμόφιλα. Τα μεσόφιλα αερόβια λοιπόν θεωρούνται αυτά που αναπτύσσονται σε θερμοκρασίες 20 με 45°C με $T_{opt}=37^{\circ}C$ [168].

Ζύμες και μύκητες: Οι ζύμες και οι μύκητες είναι είδη μικροοργανισμών οι οποίοι διακρίνονται σε πολλά γένη. Τα περισσότερα εντοπίζονται στο χώμα και στον αέρα [169]. Λόγω του ετεροτροφικού τους χαρακτήρα είναι ιδιαίτερα προσαρμόσιμοι μικροοργανισμοί και μπορούν να αναπτυχθούν σε πάρα πολλά υποστρώματα, συμπεριλαμβανομένων των τροφίμων, εξοπλισμού για την ανάλυση τροφίμων και εγκαταστάσεων αποθήκευσης τροφίμων.

Σε αντίθεση με τα βακτήρια μπορούν να αναπτυχθούν σε πολλές διαφορετικές συνθήκες και σε μια διακύμανση pH από 2 έως 9. Αν η ανάπτυξη έχει ξεκινήσει, στη συνέχεια οι μικροοργανισμοί μετατρέπουν το pH του υποστρώματος σε κάποιο πιο

ευνοϊκό για την ανάπτυξη τους (4 έως 6,5). Η θερμοκρασία αναπαραγωγής τους κυμαίνεται μεταξύ 5° έως 35°C, αν και κάποια ήδη έχουν την ικανότητα ανάπτυξης και πάνω ή κάτω απ' αυτές τις θερμοκρασίες. Επίσης οι ζύμες και οι μύκητες ευνοούνται σε μεγάλες ενεργότητας νερού ενώ υπάρχουν γένη όπως *Zygosaccharomyces*, *Eurotium* και *Xeromyces* που μπορούν να αναπτυχθούν σε ενεργότητα νερού μικρότερη από 0,85%. Οι περισσότεροι μύκητες στα τρόφιμα είναι αερόβιοι [170].

Οι ζύμες και οι μύκητες μπορούν να προκαλέσουν αποσύνθεση σε μεγάλο βαθμό στα τρόφιμα. Η ανάπτυξη τους μπορεί να γίνει σε οποιοδήποτε τρόφιμο αν οι εξωτερικοί παράγοντες δεν είναι παρεμποδιστικοί. Προϊόντα όπως φρούτα, λαχανικά, καλαμπόκι μπορούν να μολυνθούν ακόμα και πριν συλλεχτούν ή κατά την αποθήκευσή τους. Επίσης επιμολύνονται επεξεργασμένα τρόφιμα. Η ανιχνευσιμότητά τους εξαρτάται από το είδος του τροφίμου, το είδος των μικροοργανισμών, το βαθμό ανάπτυξής τους και τη μέθοδο ανάλυσης. Η εμφάνιση των μολυσμένων τροφίμων ποικίλει από μελανό χρώμα σε πολύ έντονο μελανό χρώμα έως και απόλυτη αποσύνθεση. Η ανάπτυξη μπορεί να έχει εικόνα σαπίλας, άσπρων περιοχών, λάσπης και διάφορων διακυμάνσεων χρωμάτων, καθώς και εμφανή σπόρια και μυκκίλια. Η μακροσκοπική απουσία μυκήτων δεν σημαίνει πως δεν υπάρχουν καθόλου στο τρόφιμο απλά είναι σε πιο χαμηλά επίπεδα.

Κάποιοι μύκητες είναι επικίνδυνοι για την υγεία ζώων και ανθρώπων. Πολλοί μύκητες παράγουν μυκοτοξίνες και είναι υπεύθυνοι για διάφορες ασθένειες. Συνήθως οι μύκητες που αναπτύσσονται στα τρόφιμα δεν είναι επιβλαβείς, εκτός από κάποιες περιπτώσεις ανθρώπων με χαμηλό ανοσοποιητικό σύστημα ή με ανθρώπους με συγκεκριμένες αλλεργίες [171].

LAB(Γαλακτικά βακτήρια): Μια ποικιλία βακτηρίων που παράγουν οξύ εντοπίζεται στο χύμα, στη φύση, σε ωμά γεωργικά προϊόντα και σε συγκεκριμένα επεξεργασμένα τρόφιμα. Μια από τις πιο σημαντικές ομάδες βακτηρίων στην βιομηχανία τροφίμων είναι τα βακτήρια του γαλακτικού οξέος. Μέλη της ομάδας είναι gram θετικοί, μη σπορογόνοι κόκκοι ή ράβδοι. Είναι μικροοργανισμοί αρνητικοί στην καταλάση εκτός από κάποιους πεδιόκοκκους. Οι οργανισμοί αυτοί είναι κινούμενοι και υποχρεωτικά ζυμωτικοί και παράγουν κυρίως γαλακτικό οξύ και κάποιες φορές πτητικά οξέα και CO₂. Διακρίνονται περαιτέρω στα γένη *Streptococcus*, *Leuconostoc*, *Pediococcus* και *Lactobacillus*. Τα ομοζυμωτικά είδη παράγουν γαλακτικό οξύ από υδατάνθρακες, ενώ τα ετεροζυμωτικά

είδη παράγουν επιπλέον από γαλακτικό οξύ και οξικό οξύ, αιθανόλη και CO₂ και άλλες ενώσεις σε πολύ μικρές ποσότητες [172].

Bacillus cereus : Ο *Bacillus cereus* υπάρχει στη φύση και μπορεί να απομονωθεί από μια ποικιλία τροφίμων. Ωστόσο αν δεν έχει τη δυνατότητα ανάπτυξης η παρουσία του δεν θεωρείται επιβλαβής για την ανθρώπινη υγεία. Κατανάλωση τροφίμων που έχουν μετρηθεί να έχουν πάνω από 10⁵ log cfu/g μπορεί να οδηγήσει σε τροφική δηλητηρίαση [173]. Τρόφιμά από τα οποία έχει σημειωθεί δηλητηρίαση είναι ρύζι, ζυμαρικά, κρέας, μαγειρεμένα λαχανικά, σούπες, σαλάτες και ρίζες λαχανικών.

Δύο είδη ασθενειών μπορούν να εμφανιστούν από μόλυνση από βάκιλλο. Το διαρροϊκό σύνδρομο, που χαρακτηρίζεται από πόνο και διάρροια. Η περίοδος επώασης είναι από 8 έως 16 ώρες και συμπτώματα που διαρκούν 12 έως 24 ώρες. Το εμετικό σύνδρομο χαρακτηρίζεται από ναυτία και εμετό μετά από 1 με 5 ώρες από το γεύμα.

Enterobacteriaceae: Τα Enterobacteriaceae είναι μια μεγάλη οικογένεια Gram-αρνητικών βακτηρίων που περιλαμβάνει, μαζί με πολλούς αβλαβείς συμβιόνοντες, πολλά από τα πιο γνωστά παθογόνα, όπως η *Salmonella*, η *Escherichia coli*, η *Yersinia pestis*, η *Klebsiella* και η *Shigella*. Άλλα βακτήρια που προκαλούν ασθένεια σε αυτή την ομάδα αποτελούν τα *Proteus*, *Enterobacter*, *Serratia* και *Citrobacter*. Τα μέλη των Enterobacteriaceae μπορούν να αναφερθούν ως «εντερικά βακτήρια», καθώς διάφορα μέλη ζουν στα έντερα των ζώων.

Τα Enterobacteriaceae έχουν σχήμα ράβδου και έχουν τυπικά μήκος 1-5 μm. Εμφανίζονται χαρακτηριστικά ως γκρίζες αποικίες μεσαίου έως μεγάλου μεγέθους σε άγαρ VRDB, αν και μερικά είδη μπορούν να παράξουν χρωστικές ουσίες (όπως το *Serratia marcescens*). Όπως και άλλα πρωτεοβακτήρια, τα enterobacteriaceae είναι Gram αρνητικά, προαιρετικά αναερόβια, ενώ ζυμώνουν σάκχαρα για την παραγωγή γαλακτικού οξέος και διάφορων άλλων τελικών προϊόντων. Τα περισσότερα είδη ανάγουν επίσης τα νιτρικά προς νιτρώδη, αν και υπάρχουν εξαιρέσεις (π.χ. *Photobacterium*). Σε αντίθεση με τα περισσότερα βακτήρια, τα εντεροβακτήρια γενικά στερούνται οξειδάσης του κυτοχρώματος C, αν και υπάρχουν εξαιρέσεις (π.χ. *Plesiomonas shigelloides*). Τα περισσότερα έχουν πολλά μαστίγια που χρησιμοποιούν για να μετακινηθούν, αλλά μερικά γένη είναι μη κινούμενα. Δεν σχηματίζουν σπόρια [174].

4.5. Μικροβιακή αλλοίωση του ψωμιού

Το ψωμί χάνει την φρεσκάδα του και γίνεται μπαγιάτικο για 2 λόγους. Οι λόγοι αυτοί είναι μικροβιολογική αλλοίωση και μια σειρά αργών χημικών και φυσικών αλλαγών που οδηγεί σε αλλαγή υφής γνωστή ως **επαναβάθμισης αμύλου**.

Μικροβιολογικά η πιο συχνή αλλοίωση είναι φυσικά ο σχηματισμός μούχλας. Λιγότερο συχνή, αλλά προκαλούσα σημαντικά προβλήματα, είναι σε θερμό καιρό η ανάπτυξη των ειδών *Bacillus*. Η πιο σπάνια αλλοίωση είναι αυτή που συμβαίνει από ένα συγκεκριμένο είδος ζυμομύκητα.

Αλλοίωση από μύκητες: Το ψωμί αφού βγει από το φούρνο είναι ιδιαίτερα επιρρεπές στη μούχλα καθώς και στην ανάπτυξη σπορίων μυκήτων, τα οποία είχαν απενεργοποιηθεί από την θέρμανση [175]. Επίσης μπορεί να προσβληθεί από σπόρια μυκήτων από τον αέρα και γενικά τα σκεύη και την ατμόσφαιρα γύρω από το ψωμί. Η κόρα του ψωμιού είναι ξηρή και αν η υγρασία της ατμόσφαιρας είναι κάτω από 90% τότε δεν θα αναπτυχθούν μύκητες σε αυτήν [78]. Όταν η υγρασία είναι υψηλότερη ευνοείται η ανάπτυξη μυκήτων. Επίσης όταν το ψωμί είναι τεμαχισμένο τότε άμεσα εκτίθεται η ευαίσθητη εσωτερική επιφάνεια. Αν το ψωμί κοπεί και τυλιχτεί ενώ είναι ακόμα ζεστό τότε είναι πιο εύκολο να μουχλιάσει καθώς αποθηκεύεται και υγρασία στο περιτύλιγμα από την θερμότητα.

Η ταχύτητα με την οποία θα μουχλιάσει το ψωμί εξαρτάται κατά πολύ από την συνταγή και τον τρόπο παρασκευής [176]. Τα άσπρα ψωμιά φαίνεται να μουχλιάζουν πιο αργά από τα ολικής, ενώ το ψωμί σίκαλης μουχλιάζει πιο αργά λόγω πιο όξινου pH.

Οι πιο συνήθεις μύκητες που απαντώνται στο ψωμί σαν πηγή αλλοίωσης είναι οι *Penicillium spp.*, αν και ίσως πιο σημαντικοί θεωρούνται οι *Aspergillus spp.* [177]. Σε ψωμί από σιτάρι υπάρχουν πολλοί μύκητες συμπεριλαμβανομένων των *Penicillium*, *Aspergillus*, *Cladosporium*, *Mucorales* και *Neurospora*.

Ο *Rhizopus (nigricans)* είναι ο πιο κοινός μύκητας που απαντάται στο μαύρο ψωμί και μοιάζει με λευκό βαμβάκι. Ο *Neurospora sitophila* είναι σχετικά κόκκινος και εντοπίζεται σε ψωμί αποθηκευμένο σε υψηλή υγρασία ή που έχει τυλιχτεί ενώ είναι ακόμα ζεστό. Η θερμοκρασία αποθήκευσης επηρεάζει την ανάπτυξη των διαφορετικών μικροοργανισμών. Ο *Aspergillus spp.* έχει αναφερθεί πως είναι ο κυρίαρχος μύκητας στην

αλλοίωση του ψωμιού στην Ινδία, ενώ το 90% των μυκήτων που απομονώθηκαν από ψωμί στην Βόρεια Ιρλανδία ήταν *Penicillium spp.* [177].

Οι μυκοτοξίνες που παράγονται μπορούν πάνω από κάποια όρια να είναι επιβλαβείς για την υγεία και πλέον οι καταναλωτές πετάνε μια ολόκληρη φραντζόλα αν αρχίζει να μουχλιάζει και δεν κόβουν απλά το μουχλιασμένο κομμάτι να το πετάξουν. Για το λόγο αυτό έχουν θεσπιστεί και όρια μυκοτοξινών [177].

Βακτηριακή Αλλοίωση: Προϊόντα ψωμιού ή φούρνου που έχουν σχετική υγρασία παραπάνω από 90% (ERH, equilibrium relative humidity) προσβάλλονται από βακτηριακή αλλοίωση. Προκαλείται από *Bacillus subtilis* ή *Bacillus licheniformis*, που μπορεί να βρίσκονται στον αέρα ή στο χώμα. Το ψωμί μπορεί να προσβληθεί από όλα τα συστατικά, που χρησιμοποιούνται κατά την παραγωγή του αλλά κυρίως από το αλεύρι ειδικά αν αυτό έχει έρθει και σε επαφή με μολυσμένη ζύμη.

Συνήθως το ψωμί μολύνεται σε ζεστό και υγρό περιβάλλον, καθώς οι μικροοργανισμοί αναπτύσσονται εύκολα και μετά από 36-48 ώρες σχηματίζουν την κλασική μαλακή καφέ μάζα που μυρίζει σαν ανανάς ή πεπόνι [178]. Το γεγονός αυτό οφείλεται στην απελευθέρωση πτητικών ενώσεων όπως διακετύλιο, ακετοΐνη, ακεταλδεΐδη και ισοβαλερική αλδεΐδη που συνεισφέρουν στη χαρακτηριστική μυρωδιά [179].

Τα βακτήρια γενικά καλύπτονται από βλέννα. Κατά την αλλοίωση αμυλάσες και πρωτεάσες των βακτηρίων καταστρέφουν την κόρα του ψωμιού προκαλώντας αποχρωματισμό και κολλώδη υφή. Οι συνθήκες που ευνοούν την αλλοίωση είναι (1) αργή περίοδος ψύξης ή αποθήκευση πάνω από 25°C, (2) pH πάνω από 5, (3) υψηλός αριθμός σπορίων και (4) υψηλή υγρασία.

Ζυμομύκητες: Σε κάποιες σπάνιες περιπτώσεις η αλλοίωση προκαλείται από άγριες ζύμες και αυτό συμβαίνει όταν η διαδικασία ζύμωσης είναι μεγάλης διάρκειας [180]. Οι ζυμομύκητες δεν επιβιώνουν από το ψήσιμο, οπότε εντοπίζονται στο ψωμί ως επιμολύνσεις κατά την ψύξη ή τον τεμαχισμό ή από βρώμικο εξοπλισμό. Δύο κατηγορίες είναι υπεύθυνες για την αλλοίωση [181]:

1. Ζυμωτικοί: Ζυμώνουν σάκχαρα και δημιουργούνται αλκοολικές και εστερικές ενώσεις υπεύθυνες για αλλοίωση. Πολλές ζύμες βρίσκονται στο ψωμί αλλά ο πιο γνωστός ζυμομύκητας που είναι και η γνωστή μαγιά είναι ο *S. cerevisiae*.

2. Νηματοειδείς μύκητες: Σχηματίζουν άσπρη μούχλα στην επιφάνεια του ψωμιού. Το πιο κοινό και γνωστό είδος είναι *Pichia burtonii* που έχει την ικανότητα να αναπτύσσεται πολύ γρήγορα στο νερό χωρίς να επηρεάζεται από συντηρητικά και απολυμαντικά.

4.5.1.Τρόποι ελέγχου της αλλοίωσης

- Συντηρητικά: Οργανικά οξέα όπως προπιονικό οξύ για αλλαγή του pH [182]. Τα προπάνικά άλατα (προπανικό ασβέστιο) δρουν εναντίον μυκήτων και βακτηρίων αλλά δεν επηρεάζουν τις ζύμες οπότε δεν επηρεάζουν τη ζύμωση[183]. Επίσης μπορεί να χρησιμοποιηθεί αιθυλική αλκοόλη. Η προσθήκη αιθανόλης 0,5 έως 3,5% οδηγεί σε αύξηση της διάρκειας ζωής του ψωμιού[177].

- Modified atmosphere Packaging (MAP): Συσκευασίες τροποποιημένης ατμόσφαιρα χρησιμοποιούνται για πολλά τρόφιμα. Για το ψωμί χρησιμοποιείται ατμόσφαιρα αυξημένης συγκέντρωσης CO₂. Η ατμόσφαιρα αυτή καθυστερεί την αλλοίωση του προϊόντος [184].

- Ακτινοβολία: Χρησιμοποιείται για την καταστροφή σπορίων μυκήτων. Οι ακτινοβολίες που χρησιμοποιούνται για ψωμί είναι η υπεριώδης, τα μικροκύματα και η υπέρυθρη [185].

Κεφάλαιο 5 : Νομοθεσία

5.1. Άλευρα-Αλευρόμυλοι-Ζυμαρικά

Άρθρο 83 [186]

Όροι διάθεσης αλεύρων και σιμιγδαλιών

1. Τα άλευρα και σιμιγδάλια, που παράγονται από τους αλευρόμυλους προς εμπορία ή με αλεστικό δικαίωμα, πρέπει να πληρούν τους όρους που καθορίζονται, κατά περίπτωση, για κάθε κατηγορία και τύπο αλεύρων και σιμιγδαλιών, από τον ισχύοντα Κώδικα Τροφίμων ή από ειδικές αποφάσεις του Ανωτάτου Χημικού Συμβουλίου(Α.Χ.Σ).
2. Τα άλευρα σίτου ή άλλων δημητριακών, που παράγονται από τους αλευρόμυλους με αλεστικό δικαίωμα, μπορούν να είναι οποιουδήποτε βαθμού αλέσεως.
3. Τα εισαγόμενα άλευρα πρέπει να πληρούν τους όρους των αλεύρων εγχώριας παραγωγής, διαφορετικά δε μπορούν να διατεθούν στην κατανάλωση χωρίς προηγούμενη έγκριση από το Α.Χ.Σ.

Άρθρο 84

Τύποι και κατηγορίες αλεύρων

1. Οι αλευρόμυλοι επιτρέπεται να παράγουν και διαθέτουν στην κατανάλωση
 - α) Άλευρα από σιτάρι μαλακό ή ανάμικτο με τις ονομασίες
 - (1) Άλευρα κατηγορίας Π
 - (2) Άλευρα Τ.70%
 - (3) Άλευρα Τ.90% με πρόσθετη ξηρά γλουτένη
 - (4) Άλευρα 100% ολικής άλεσης.
 - β) Άλευρα από σκληρό σιτάρι
 - (1) Άλευρα κατηγορίας Μ
 - (2) Άλευρα ολικής άλεσης για μακαρονοποιία.
2. Τα άλευρα πρέπει να πληρούν τους όρους που καθορίζονται από τις σχετικές αποφάσεις του Α.Χ.Σ.

Άρθρο 86

Χρήση και κατοχή βελτιωτικών των αλεύρων Απαγορεύεται η χρήση ή απλώς η κατοχή από αλευροβιομήχανους και αρτοποιούς οποιασδήποτε ουσίας προς βελτίωση ή

άρση τυχόν ελαττωματικότητας των φυσικών ιδιοτήτων ή του χρώματος των παραγομένων αλεύρων, εκτός από εκείνες που επιτρέπονται από τις κείμενες διατάξεις.

5.2. Αρτοποιεία - Πρατήρια Άρτου - Ψωμί - Αρτοσκευάσματα -Λοιπά Προϊόντα Αρτοποιίας

Άρθρο 108

Έννοια του όρου «ψωμί - αρτοπαρασκεύασμα - αρτοσκεύασμα»

1. Στην έννοια του όρου «ψωμί» περιλαμβάνονται τα εξής είδη:

α) Άσπρο ψωμί - Παρασκευάζεται από άλευρα T.70% από μαλακό σιτάρι και διατίθεται στην κατανάλωση με την ονομασία ψωμί άσπρο T. 70%.

β) Μαύρο ψωμί - Παρασκευάζεται από άλευρα T.90% με την πρόσθετη ξηρά γλουτένη σε αναλογία 3% από μαλακό σιτάρι και διατίθεται στην κατανάλωση με την ονομασία ψωμί μαύρο T.90%.

γ) Σύμμικτο ψωμί - Παρασκευάζεται από ισόποση ανάμειξη αλεύρων κατηγορίας Μ από σκληρό σιτάρι και αλεύρων T.70% από μαλακό σιτάρι και διατίθεται στην κατανάλωση με την ονομασία ψωμί σύμμικτο.

2. Στην έννοια του όρου «αρτοπαρασκεύασμα» περιλαμβάνεται το είδος που παρασκευάζεται από αμιγή άλευρα δημητριακών ή πρόσμειξη αλεύρων δημητριακών, εφόσον η παρασκευή τους δεν εμπίπτει με την παρασκευή των ειδών ψωμιού, που προσδιορίζεται στην παράγραφο 1 του παρόντος άρθρου και διατίθεται στην κατανάλωση με την ονομασία αρτοπαρασκεύασμα.

3. Στην έννοια του όρου «αρτοσκεύασμα» περιλαμβάνεται το είδος που πληροί τους όρους και προϋποθέσεις των άρθρων 112, 113 και 114 του Κώδικα Τροφίμων και Ποτών και διατίθεται στην κατανάλωση με την ονομασία αρτοπαρασκεύασμα.

Άρθρο 110

Τρόπος παρασκευής ψωμιού και αρτοσκευασμάτων

1. Απαγορεύεται η χρησιμοποίηση, κατά την παρασκευή ψωμιού, αρτοσκευασμάτων, ζυμαρικών και υποπροϊόντων άλεσης σιταριού δηλαδή αλφών, βητών, κτηνάλευρων, πιτύρων κ.λ.π., καθώς και η κατοχή τους από τα εργοστάσια ή εργαστήρια παρασκευής των εν λόγω ειδών.

2. Το ψωμί παρασκευάζεται υποχρεωτικά με την μέθοδο της ταχείας αρτοποιίας με χρησιμοποίηση πιεστής ζύμης αρτοποιίας σε αναλογία επί των αλεύρων, τουλάχιστον 1, 25% ή ξηράς ζύμης σε αναλογία τουλάχιστον 0, 40%.
3. Απαγορεύεται η χρησιμοποίηση λυκίσκου ως ζύμης, καθώς και η προσθήκη του, κατά την παρασκευή ψωμιού ή αρτοσκευασμάτων.
4. Η τοποθέτηση των τεμαχίων του ψωμιού στον κλίβανο πρέπει να γίνεται σε τέτοια απόσταση ώστε να αποφεύγεται η επαφή τους, λόγω διόγκωσης κατά ψήσιμο σε ποσοστό μεγαλύτερο του 15%.
5. Επιτρέπεται η στίλβωση του ψωμιού με ψεκασμό νερού, κατά την εξαγωγή του από τον κλίβανο, ενώ απαγορεύεται η επάλειψή του με οποιοδήποτε άλλο τρόπο.
6. Η παρασκευή και το ψήσιμο του ψωμιού πρέπει να είναι κανονικά και το φλόγωμά του (κόρα) κανονικό σε όλη την επιφάνειά του.
7. Απαγορεύεται η χρησιμοποίηση αποξηραμένων τεμαχίων ή θρυμμάτων ψωμιού.
8. Οι αρτοποιοί και αρτεργάτες είναι υπεύθυνοι για την καλή παρασκευή, ψήσιμο και γενικά τη συντήρηση του ψωμιού.

Αντικείμενο Έρευνας

Αντικείμενο της παρούσας έρευνας είναι η διαφοροποίηση σε ποιοτική και ποσοτική βάση του ψωμιού με μαγιά και του ψωμιού με προζύμι. Για το σκοπό αυτό έγιναν μικροβιολογικές και φυσικοχημικές αναλύσεις καθώς και οργανοληπτικός έλεγχος συναρτήσει του χρόνου συντήρησης στα δύο προϊόντα.

II.Πειραματικό

Μέρος

1.Προετοιμασία δειγμάτων

Η εργασία βασίστηκε στην ανάλυση των δύο προϊόντων (ψωμί με μαγιά και ψωμί με προζύμι) σε σχέση με τη συντήρησή τους. Η συνταγή που χρησιμοποιήθηκε για την παρασκευή των ψωμιών είναι η εξής:

Ψωμί με μαγιά

1/3 αλεύρι τύπου 70%

2/3 αλεύρι ολικής άλεσης

Κάθε ζύμη για φρατζόλα ζύγιζε 1300gr

½ φακελάκι μαγιά/ ανά φρατζόλα

Ζύμωμα: 20min

Φούσκωμα: 50min στους 50°C

Ψήσιμο: 175°C για 1h 30min

Ψωμί με προζύμι

1/3 αλεύρι τύπου 70%

2/3 αλεύρι ολικής άλεσης

Κάθε ζύμη για φρατζόλα ζύγιζε 1300gr

3 κουταλιές της σούπας προζύμι/ ανά φρατζόλα

1 κουταλάκι του γλυκού αλάτι/ ανά φόρμα

Χρόνος προετοιμασίας προζυμιού: 5h 30min

Ζύμωμα: 20min

Φούσκωμα: 5h 15m στους 50°C

Ψήσιμο: 175°C για 1h 30min

Για τη διεξαγωγή του πειράματος χρησιμοποιήθηκε έτοιμο παραδοσιακό προζύμι που προσφέρθηκε στο εργαστήριο.

Για το πείραμα γινόταν δειγματοληψία ανά δύο μέρες ξεκινώντας από την ημέρα 0, δηλαδή την ημέρα παρασκευής του δείγματος μέχρι την 18^η ημέρα. Οι αναλύσεις που έγιναν ήταν:

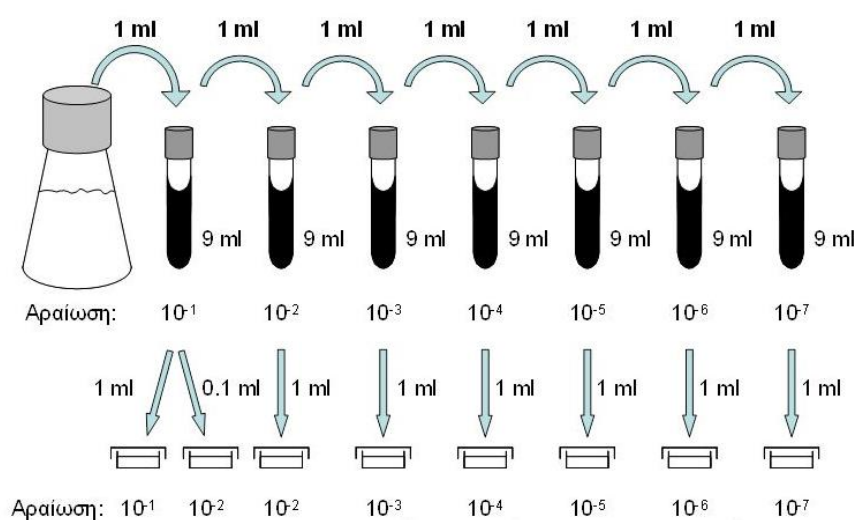
2. Μικροβιολογικές αναλύσεις

Στη διάρκεια του πειράματος πραγματοποιήθηκαν οι εξής μικροβιολογικές αναλύσεις σύμφωνα με τα επίσημα πρωτόκολλα (ΑΡΗΑ,2001):

- Ολική Μεσόφιλη Χλωρίδα (ΟΜΧ)
- Ζύμες - Μύκητες
- *Bacillus cereus*
- Εντεροβακτηριοειδή (Enterobacteriaceae)
- Γαλακτικά βακτήρια (*Lactic Acid Bacteria*, LAB)

2.1.Δειγματοληψία

Ποσότητα 25g από όλη την έκταση (ψίχα και κόρα) μιας φέτας ψωμιού μεταφέρθηκε υπό ασηπτικές συνθήκες σε αποστειρωμένη σακούλα Stomacher (Seward Medical, U.K.) που περιείχε 225ml αποστειρωμένου πεπτονούχου διαλύματος (peptone water) συγκέντρωσης 0.1% w/v και ομογενοποιήθηκε για 60s με χρήση του Lab Blender 400 (Seward Medical) σε θερμοκρασία δωματίου. Κατόπιν πραγματοποιήθηκαν κατάλληλες διαδοχικές δεκαδικές αραιώσεις από το αρχικό ομογενοποιημένο δείγμα σε πεπτονούχο διάλυμα συγκέντρωσης 0.1% (1:10 πεπτονούχο ύδωρ) όπως φαίνεται στο παρακάτω σχήμα



Σχήμα 4: Διαδικασία διαδοχικών δεκαδικών αραιώσεων από το αρχικό ομογενοποιημένο δείγμα σε πεπτονούχο διάλυμα συγκέντρωσης 0.1%

2.2.Τεχνική επιφανειακής επίστρωσης

Ποσότητα 0.1 ml βακτηριακού εναιωρήματος από την κατάλληλη, ανά περίπτωση, δεκαδική αραιώση ενοφθαλμίστηκε και εξαπλώθηκε ομοιόμορφα στην επιφάνεια στερεού θρεπτικού υποστρώματος με τη βοήθεια γυάλινου τριγώνου. Έπειτα από επώαση σε κατάλληλες συνθήκες, σχηματίστηκαν ευδιάκριτες αποικίες οι οποίες καταμετρήθηκαν. Με την τεχνική της επιφανειακής επίστρωσης (spread plate technique) προσδιορίστηκαν οι ακόλουθοι μικροοργανισμοί:

Ολική Μεσόφιλη Χλωρίδα (OMX): Χρησιμοποιήθηκε το μη επιλεκτικό υπόστρωμα Plate Count Agar (PCA, Merck code 105463 Darmstadt, Germany) και η καταμέτρηση των αποικιών πραγματοποιήθηκε μετά από επώαση στους 30°C για 48 ώρες.

Bacillus Cereus (BC): Χρησιμοποιήθηκε το επιλεκτικό υπόστρωμα Mannitol Egg Yolk Polymyxin Agar (MYP Agar, Oxoid code CM 929) με 50ml Egg Yolk Emulsion και 2 φιαλίδια Polymyxin B Supplement (Code SR 99) και η καταμέτρηση των αποικιών πραγματοποιήθηκε μετά από επώαση στους 37°C για 3 ημέρες.

Ζύμες – Μύκητες: Χρησιμοποιήθηκε το μη επιλεκτικό υπόστρωμα Rose Bengal Chloramphenicol Agar (RBC, Merck code 100467 Darmstadt, Germany) και η καταμέτρηση των αποικιών πραγματοποιήθηκε μετά από επώαση στους 30°C για 4 ημέρες.

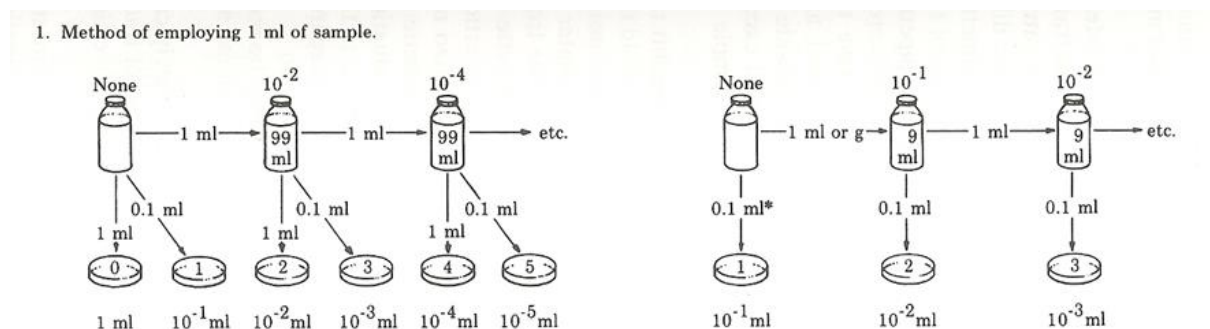
2.3.Τεχνική ενσωμάτωσης

Ποσότητα 1 ml βακτηριακού εναιωρήματος από την κατάλληλη, ανά περίπτωση, δεκαδική αραιώση ενοφθαλμίστηκε σε κενό αποστειρωμένο τρυβλίο και στη συνέχεια προστέθηκαν 10-15 ml ρευστού θρεπτικού υλικού (45 °C). Ακολούθησε ήπια ανάδευση με κυκλικές κινήσεις και το μίγμα αφέθηκε να πήξει. Μετά τη στερεοποίηση του υλικού προστέθηκε ένα επιπλέον στρώμα θρεπτικού υλικού (10-15 ml) ώστε να εξασφαλιστούν αναερόβιες συνθήκες. Με την τεχνική αυτή προσδιορίστηκαν οι ακόλουθοι μικροοργανισμοί:

Γαλακτικά βακτήρια (Lactic acid bacteria, LAB): Χρησιμοποιήθηκε το επιλεκτικό υπόστρωμα de Man Rogosa Sharpe Agar (MRS, Merck code 110660 Darmstadt, Germany) και η καταμέτρηση των αποικιών πραγματοποιήθηκε μετά από επώαση στους 37°C για 3 ημέρες.

Εντεροβακτήρια (Enterobacteriaceae): Χρησιμοποιήθηκε το επιλεκτικό υπόστρωμα Violet Red Bile Dextrose agar (VRBD, Merck code 110275 Darmstadt, Germany). Μετά από

επώση στους 37°C για 24 ώρες καταμετρήθηκαν οι κοκκινωπές αποικίες που περιβάλλονταν από ρόδινο δακτύλιο.



Σχήμα 5: Τεχνική ενσωμάτωσης

3. Προσδιορισμός pH - οξύτητας

Η μέτρηση του pH πραγματοποιήθηκε με τη βοήθεια ηλεκτρονικού pH-μέτρου (Delta OHM HD 345) μέσω εμβάπτισης του ηλεκτροδίου του pH-μέτρου στο αιώρημα που προέκυψε από την ομογενοποίηση 10g δείγματος και 90 ml απεσταγμένου νερού. Οι μετρήσεις έγιναν σε θερμοκρασία δωματίου.

Η οξύτητα προσδιορίστηκε με την εξής ογκομετρική μέθοδο: 10g ψωμιού, που έχει θρυμματιστεί σε multi-mixer, αναμειγνύονται με 100ml διαλύματος νερού:ακετόνης 95:5 v/v σε κωνική φιάλη και υπόκεινται ανάδευση για 15 min. Εν συνεχεία γίνεται ογκομέτρηση με NaOH 0,1N μέχρι τελικό pH=8.5. Τα αποτελέσματα εκφράζονται σε ml NaOH, καθώς η ολική οξύτητα δεν οφείλεται σε ένα μόνο οξύ. Τα κύρια οξέα είναι D - γαλακτικό οξύ, L-γαλακτικό οξύ και οξικό οξύ[187].

4. Προσδιορισμός Αρωματικού προφίλ με Μικροεκχύλιση Στερεάς Φάσης Υπερκεείμενου Χώρου (HS-SPME-GC/MS)

4.1. Αντιδραστήρια, υλικά και όργανα

Χρησιμοποιήθηκαν τα ακόλουθα: στήλη Agilent DB-5MS (5% Phenylmethylpolysiloxane, 60m x 0.320mm x 1.00μm), ίνα Divinylbenzene/Carboxen/Polydimethylsiloxane (DVB/CAR/PDMS, Supelco, Bellafonte, USA) 50/30 μm, εσωτερικό πρότυπο 4-μεθυλο-2-πεντανόλη (4-methyl-2-pentanol) (for analysis, Merck, Germany),

πρότυπο μίγμα αλκανίων C5-C7 και C8-C20 (Fluka, Buchs, Switzerland), φιαλίδια των 20 ml, πώματα σιλικόνης επικαλυμμένα με πολύ-τετραφθορο-αιθυλένιο (Teflon) ενσωματωμένα σε μεταλλικό καπάκι (crimp cap). και υδατόλουτρο με μαγνητικό αναδευτήρα (AREX, Heating Magnetic Stirrer, VELP SCIENTIFICA, Italy). Η ανάλυση έγινε σε όργανο GC-MS της εταιρίας Agilent μοντέλο 7890 GC System με φασματογράφο μάζας 5975C inert XL MSD (Wilmington, DE, USA).

Η επιλογή της ίνας που χρησιμοποιήθηκε όπως επίσης και η πειραματική μέθοδος βασίστηκαν στην εργασία των Latou et al. (2010) [188] με μικρές διαφοροποιήσεις.

4.2.Προετοιμασία δείγματος

Σε φιαλίδιο 20ml τοποθετήθηκε 1g δείγματος και 5μL εσωτερικού προτύπου (4-μέθυλο-2-πεντανόλη) τελικής συγκέντρωσης 16,2ppb. Το φιαλίδιο σφραγίστηκε αεροστεγώς με πώμα σιλικόνης (septum), επικαλυμμένο με πολύ-τετραφθορο-αιθυλένιο (Teflon), ενσωματωμένο σε μεταλλικό καπάκι (crimp cap). Το σφραγισμένο φιαλίδιο, τοποθετήθηκε σε θερμοστατούμενο υδατόλουτρο στους 50°C. Το δείγμα αφέθηκε για 15 min ώστε να επιτευχθεί εξισορρόπηση της θερμοκρασίας. Μετά το πέρας του χρόνου εξισορρόπησης εισήχθη η σύριγγα εντός του φιαλιδίου και με τη βοήθεια του ειδικού εμβόλου (plunger) η ίνα εκτέθηκε στον υπερκείμενο χώρο (headspace) του δείγματος. Η ίνα (DVB/CAR/PDMS 50/30 μm) ήταν σε σταθερό ύψος μέσα στο φιαλίδιο, έτσι ώστε να υπάρχει επαναληψιμότητα. Μετά από χρόνο έκθεσης 15 min, η ίνα επαναφέρθηκε εντός της σύριγγας, απομακρύνθηκε από το φιαλίδιο και εισήχθη αμέσως στο θάλαμο εξαέρωσης (injection port) του αέριου χρωματογράφου όπου και εκτέθηκε για 10 min στο εγχυτή ώστε να εκροφηθούν πλήρως οι πτητικές ενώσεις που είχαν προσροφηθεί. Οι παραπάνω συνθήκες δειγματοληψίας είναι αποτέλεσμα βελτιστοποίησης.

4.3.Συνθήκες ανάλυσης πτητικών ενώσεων με GC-MS

Οι συνθήκες στο GC-MS ήταν οι ακόλουθες:

- Θερμοκρασία εγχυτή: 270°C,
- Θερμοκρασιακό πρόγραμμα φούρνου: 40°C για 5min, άνοδος της θερμοκρασίας με ρυθμό 10°C/min μέχρι τους 100°C, στη συνέχεια άνοδος με ρυθμό 5°C/min μέχρι τους 205°C και τέλος άνοδος με ρυθμό 10°C/min μέχρι τους 260°C και παραμονή για 2min.
- Θερμοκρασία γραμμής μεταφοράς: 270°C,

- Ροή φέροντος αερίου He: 1,5 ml/min,
- Λόγος Split: 2/1 για 1min,
- Μάζες σάρωσης (m/z): 29-350,
- Θερμοκρασία θαλάμου ιονισμού: 230°C,
- Θερμοκρασία τετραπόλου: 150°C.

Η ταυτοποίηση των κορυφών πραγματοποιήθηκε με τη σύγκριση των χρόνων κατακράτησης των εκλουόμενων ενώσεων με εκείνες της βιβλιοθήκης Willey Library (Willey, Nist05, J.Willey & Sons Ltd, West Sussex, England). Επιπλέον, οι δείκτες των χρόνων κατακράτησης (RI) των πτητικών ενώσεων υπολογίστηκαν χρησιμοποιώντας πρότυπο μίγμα αλκανίων C5-C7 και C8-C20 (Fluka, Buchs, Switzerland). Έγινε ημι-ποσοτικός προσδιορισμός των ενώσεων που ανιχνεύτηκαν με χρήση προτύπου διαλύματος γνωστής συγκέντρωσης.

5. TPA- Ανάλυση υφής

Η τεχνική της ανάλυσης της υφής TPA (Texture Profile Analysis) στηρίζεται στη συμπίεση του δείγματος από ζεύγος πλακών που γίνεται σε δύο κύκλους με τη χρήση του οργάνου Instron Universal Testing Machine, model 4411 (Instron Corp., Bucks, UK). Η μέθοδος αυτή χρησιμοποιείται για να ληφθούν καμπύλες δύναμης – χρόνου.

Τα δείγματα τοποθετήθηκαν σε ειδικά ανοξείδωτα κυλινδρικά καλούπια διαμέτρου 25 mm και ύψους 20 mm. Τα δείγματα εξήχθησαν προσεκτικά από το καλούπι ώστε να μη διαταραχθεί η δομή του προϊόντος. Στη συνέχεια τοποθετήθηκαν τα δείγματα ανάμεσα στις δύο πλάκες απ' τις οποίες η άνω μόνο πλάκα ήταν κινητή. Η άνω πλάκα, η οποία έχει διάμετρο 7,5 cm, κατερχόταν με ταχύτητα 100 mm/min μέχρις ότου το δείγμα συμπιεστεί στο 60% του αρχικού του ύψους. Στη συνέχεια η άνω πλάκα επανερχόταν στο αρχικό ύψος και επαναλαμβανόταν η συμπίεση στην ίδια παραμόρφωση. Η δοκιμή δηλαδή αποτελείτο από δυο διαδοχικούς και όμοιους κύκλους συμπίεσης-αποσυμπίεσης, ως προσομοίωση της μάσησης.

Καθ' όλη τη διάρκεια της δοκιμής, το ηλεκτρονικό καταγραφικό του οργάνου κατέγραφε τη στιγμιαία δύναμη. Για το κάθε υπό ανάλυση δείγμα πραγματοποιήθηκαν

τουλάχιστον 10 επαναλήψεις. Τα αποτελέσματα καταγράφηκαν με τη χρήση του λογισμικού Instron Bluehill Software.

6.Οργανοληπτικός έλεγχος

Έγινε οργανοληπτικός έλεγχος από 51 μη εκπαιδευμένα άτομα (δοκιμή αποδοχής), τα οποία βαθμολόγησαν την υφή, το χρώμα, το άρωμα και τη γεύση του προϊόντος ανά 2 μέρες σε κλίμακα 1-5 όπου:

- 1: πολύ φτωχή συμφωνία με τα προκαθορισμένα οργανοληπτικά πρότυπα
- 2: φτωχή συμφωνία με τα προκαθορισμένα οργανοληπτικά πρότυπα
- 3: μέτρια συμφωνία με τα προκαθορισμένα οργανοληπτικά πρότυπα
- 4: καλή συμφωνία με τα προκαθορισμένα οργανοληπτικά πρότυπα
- 5: πολύ καλή συμφωνία με τα προκαθορισμένα οργανοληπτικά πρότυπα

7. Στατιστική Ανάλυση

Το πείραμα επαναλήφθηκε δυο φορές χρησιμοποιώντας 3 διαφορετικά δείγματα ψωμιού από την κάθε μεταχείριση την ημέρα της δειγματοληψίας ($2 \times 3 = 6$). Τα αποτελέσματα των μικροβιολογικών αναλύσεων μετασχηματίστηκαν σε δεκαδικούς λογαρίθμους του πληθυσμού των βακτηρίων και εκφράστηκαν ως cfu/g (colony forming units - μονάδες σχηματιζόμενων αποικιών). Εφαρμόστηκε η ανάλυση διακύμανσης (one-way ANOVA) για τη σύγκριση των μέσων όρων των τιμών των παραμέτρων που μελετήθηκαν. Βάσει του ελέγχου διακύμανσης (two-way ANOVA) διαπιστώθηκε αν η τιμή p είναι μικρότερη ή μεγαλύτερη του 0,05.

Στην περίπτωση που $p > 0,05$ ισχύει η μηδενική υπόθεση, δηλαδή οι μέσοι όροι είναι όλοι ίσοι μεταξύ τους και κατά συνέπεια δεν υπάρχουν στατιστικά σημαντικές διαφορές ενώ στην περίπτωση που $p < 0,05$ ισχύει η εναλλακτική υπόθεση, δηλαδή οι μέσοι όροι για τον συγκεκριμένο παράγοντα δεν είναι όλοι ίσοι μεταξύ τους και κατά συνέπεια υπάρχουν στατιστικά σημαντικές διαφορές.

Τα αποτελέσματα εκφράστηκαν ως μέσος όρος $\pm$ τυπικό σφάλμα (S.E. = Standard Error) ή τυπική απόκλιση (S.D. = Standard Deviation).

III.Αποτελέσματα

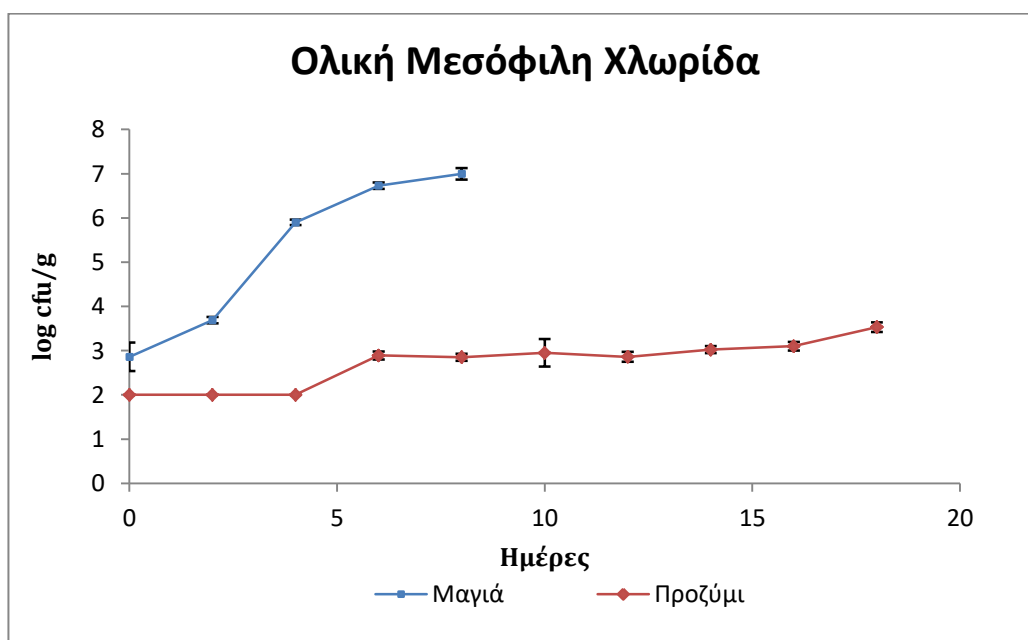
- Συζήτηση

1.Μικροβιολογικές Αναλύσεις

Ολική Μεσόφιλη Χλωρίδα

Η μέτρηση της ολικής μεσόφιλης χλωρίδας αναφέρεται στο συνολικό αριθμό βακτηρίων που έχουν την ικανότητα να σχηματίζουν ορατές αποικίες σε θρεπτικό υπόστρωμα σε συγκεκριμένη θερμοκρασία και χρησιμοποιείται ως δείκτης αποδοχής της ποιότητας των τροφίμων με ανώτατο όριο τους $7 \log \text{cfu/g}$ ή 10^7cfu/g , σύμφωνα με την ICMSF (International Commission on Microbiological Specifications for Foods, 1986).

Ο αρχικός πληθυσμός της Ο.Μ.Χ. των δειγμάτων ψωμιού κατά την ημέρα παρασκευής τους ήταν περίπου $2,86 \pm 0,32 \log \text{cfu/g}$ για το ψωμί με μαγιά και $2,00 \pm 0,00 \log \text{cfu/g}$ (όριο ανίχνευσης της μεθόδου) για το ψωμί με προζύμι. Η ολική μεσόφιλη χλωρίδα έφτασε την τιμή των $7 \log \text{cfu/g}$ τη 7^η-8^η ημέρα για τα δείγματα του ψωμιού με μαγιά, το οποίο άρχισε να αλλοιώνεται μακροσκοπικά από την 5^η ημέρα, ενώ για το ψωμί με προζύμι, το οποίο άρχισε να αλλοιώνεται μακροσκοπικά την 16^η ημέρα, δεν έφτασε την τιμή των $7,00 \log \text{cfu/g}$ καθ' όλη τη διάρκεια συντήρησης των 18 ημερών (Σχήμα 6).



Σχήμα 6: Μεταβολή της ολικής μεσόφιλης χλωρίδας ($\log(\text{cfu/g})$) συναρτήσει του χρόνου για τα δύο είδη ψωμιού

Ο μικροβιολογικός χρόνος ζωής του προϊόντος αυξήθηκε σε πολύ μεγάλο βαθμό, συγκεκριμένα κατά τουλάχιστον 10-11 ημέρες, κατόπιν προσθήκης του προζυμιού. Η τιμή της ολικής μεσόφιλης χλωρίδας στο τέλος του πειράματος (18^η ημέρα) στη μεταχείριση

ψωμί με προζύμι έφτασε την τιμή των $3,53 \pm 0,11 \log \text{ cfu/g}$. Η διαφορά αυτή οφείλεται στις όξινες συνθήκες που επικρατούν στο ψωμί με προζύμι, λόγω της γαλακτικής ζύμωσης με τη δράση των γαλακτικών βακτηρίων του. Οι όξινες αυτές συνθήκες φαίνεται να είναι αποτρεπτικές για την ανάπτυξη μικροοργανισμών. Με την αναστολή λοιπόν αυτή της ανάπτυξης των μικροοργανισμών παρατηρείται αύξηση του μικροβιολογικού χρόνου ζωής του ψωμιού. Η δράση του προζυμιού ως παράγοντα αναστολής της ανάπτυξης των μικροοργανισμών σε ψωμί μελετήθηκε και από άλλους ερευνητές με παρόμοια αποτελέσματα.

Οι Mohsen et al. (2016) [189] ασχολήθηκαν με την επίδραση που έχει το προζύμι στην συντήρηση Αιγυπτιακού ψωμιού. Χρησιμοποίησαν έτοιμες καλλιέργειες μικροοργανισμών για την παραγωγή διαφορετικών προζυμιών [S (2% *S. cerevisiae*), SL1 (2% *S. cerevisiae* + 1% *Lb. plantarum*), SL2 (2% *S. cerevisiae* + 2% *Lb. plantarum*), SL3 (2% *S. Cerevisiae* + 3% *Lb. plantarum*)], τα οποία προστέθηκαν σε ποσοστό 20% (κ.β. στο. άλευρο) του ψωμιού που παρασκευάστηκε. Επίσης χρησιμοποιήθηκε δείγμα ψωμιού που παρασκευάστηκε από αλεύρι σίτου και μαγιά ως μάρτυρας (control). Έγιναν μικροβιολογικές αναλύσεις για 8 ημέρες συντήρησης ανά διαστήματα μιας ημέρας για την ολική μεσόφιλη χλωρίδα και για ζύμες- μύκητες. Κατέληξαν στο συμπέρασμα πως η προσθήκη γαλακτικών βακτηρίων επεκτείνει τη διάρκεια ζωής του προϊόντος το οποίο έρχεται σε συμφωνία με την παρούσα έρευνα αν και τα νούμερα παρουσιάζουν διαφορές που μπορεί να οφείλονται στον τύπο των αλεύρων που χρησιμοποιήθηκαν, στις συγκεκριμένες καλλιέργειες, στη μεθοδολογία παρασκευής του ψωμιού κλπ.

Οι Oloyede et al. (2013) [190] μελέτησαν την ολική μεσόφιλη χλωρίδα σε ψωμί με αλεύρι σίτου και μαγιά για διάστημα 5 ημερών ανά ημέρα. Η ολική ανάπτυξη των μικροοργανισμών ήταν μικρότερη σε σχέση με την παρούσα μελέτη και έφτασε την τιμή $3,2 \log \text{ cfu/g}$, γεγονός που μπορεί να οφείλεται στις συνθήκες παραγωγής και αποθήκευσης του προϊόντος. Επίσης οι Ho et al. (2014) [191] ανέλυσαν ψωμί με μαγιά το οποίο δεν ξεπέρασε την τιμή $5 \log \text{ cfu/g}$ για την ολική μεσόφιλη χλωρίδα κατά τις τρεις πρώτες μέρες αποθήκευσης.

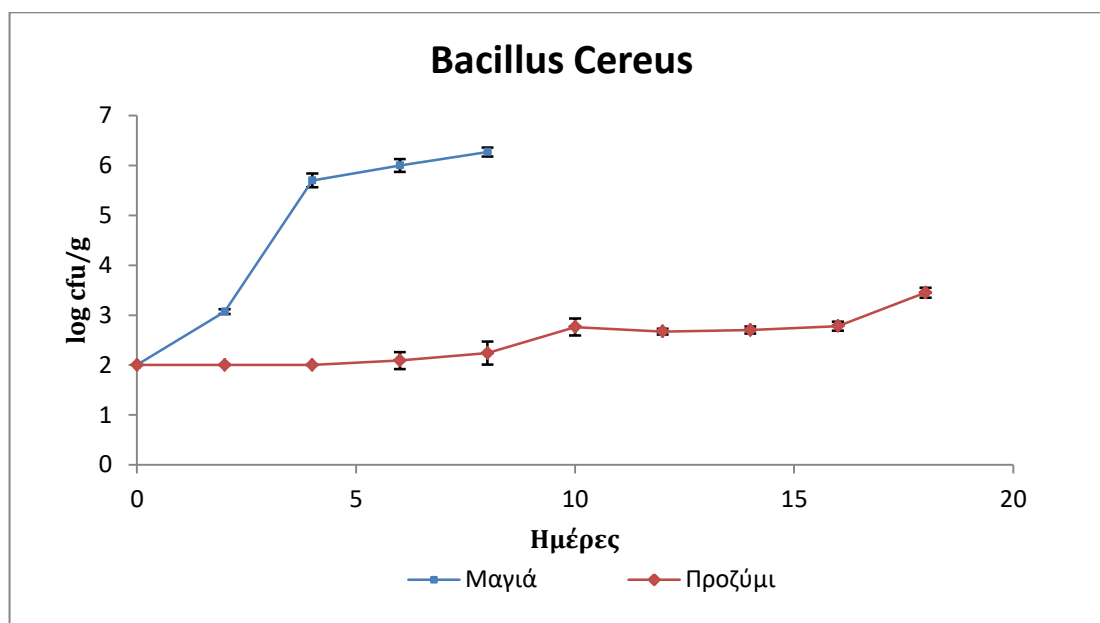
Οι Latou et al. (2010) [188] μελέτησαν την επέκταση της διάρκειας ζωής του ψωμιού με χρήση τροποποιημένης ατμόσφαιρας ως εναλλακτικό χρήσης χημικών συντηρητικών. Τα αποτελέσματα της μικροβιολογικής ανάλυσης είναι σε συμφωνία με αυτά του

παρόντος πειράματος. Για το ψωμί μάρτυρα η τιμή της ολικής μεσόφιλης χλωρίδας ήταν 3 log(cfu/ml) την ημέρα μηδέν και έφτασε την τιμή 7 την 7^η-8^η μέρα.

Οι Jankuviene et al. (2016) [192] παρατήρησαν ότι η προσθήκη γαλακτικών βακτηρίων στο ψωμί αυξάνει αισθητά την διάρκεια ζωής του ψωμιού και μειώνει σε μεγάλο βαθμό την ανάπτυξη βακτηρίων και μυκήτων κατά την αποθήκευση. Θεώρησαν ότι τα γαλακτικά βακτήρια έχουν αντιμικροβιακή δράση στο προϊόν. Επίσης οι Tarar et al. (2010) [193] προσδιόρισαν την ολική μεσόφιλη χλωρίδα και τις ζύμες - μύκητες, μέχρι την 4^η ημέρα αποθήκευσης ψωμιού σίτου, όπου ο πληθυσμός έφτασε την τιμή 3,83 log cfu/g για την ολική μεσόφιλη χλωρίδα.

Bacillus cereus

Ο *Bacillus cereus* είναι ένας σημαντικός παθογόνος μικροοργανισμός που εντοπίζεται στα σιτηρά. Ο αρχικός πληθυσμός του *B. cereus* του ψωμιού με μαγιά (ημέρα 0) ήταν $2,00 \pm 0,00$ log cfu/g και κατέγραψε αυξητική τάση κατά τη διάρκεια της συντήρησης (Σχήμα 7). Οι τιμές log cfu/g στο τέλος του πειράματος έφτασαν $6,27 \pm 0,09$ για το ψωμί με μαγιά (8^η ημέρα) και $3,45 \pm 0,10$ για το ψωμί με προζύμι (18^η ημέρα). Είναι εμφανές ότι στο ψωμί με προζύμι αναστέλλεται σε μεγάλο βαθμό η ανάπτυξη του παθογόνου αυτού βάκιλλου. Θεωρείται ότι η αυξημένη οξύτητα του προϊόντος αναστέλλει την ανάπτυξη του μικροοργανισμού.



Σχήμα 7: Μεταβολή του *B. Cereus* (log(cfu/g)) συναρτήσει του χρόνου συντήρησης για τα δύο είδη ψωμιού

Σύμφωνα με την Ευρωπαϊκή Αρχή για την Ασφάλεια των Τροφίμων (EFSA- European Food Society Authority) (2005) τροφογενείς λοιμώξεις που έχουν προκληθεί από *B. Cereus* έχουν σχετιστεί με πλυθισμό της τάξης τουλάχιστον 5 log cfu/g. Η τιμή αυτή ξεπεράστηκε για το ψωμί με μαγιά μετά την 4^η ημέρα, ενώ δεν ξεπεράστηκε για το ψωμί με προζύμι καθ' όλη τη διάρκεια του πειράματος. Οι Latou et al. (2010) [188] ανέφεραν ότι το ψωμί μάρτυρας έφτασε την τιμή 6 log cfu/g την 9^η ημέρα αποθήκευσής του, ενώ επισήμαναν ότι όταν η αλλοίωση του προϊόντος ήταν ανιχνεύσιμη μακροσκοπικά, ο λογάριθμος είχε φτάσει την τιμή 4, γεγονός το οποίο ταυτίζεται με τα αποτελέσματα του παρόντος πειράματος.

Οι Bailey and von Holy (1993) [194] μελέτησαν την επιμόλυνση από *Bacillus* κατά την αποθήκευση ψωμιού σίτου με αλεύρι ολικής άλεσης. Αυτοί οι ερευνητές είχαν προσθέσει αντιμικροβιακές ουσίες στο ψωμί (προπιονικό ασβέστιο και οξικό νάτριο 0,1% στο βάρος του αλεύρου το καθένα) και ανέφεραν ότι ο πληθυσμός των σπορίων του γένους *Bacillus* παρέμεινε κάτω από 2 log cfu/g κατά τις δύο πρώτες ημέρες αποθήκευσης. Την 3^η ημέρα αποθήκευσης παρατηρήθηκε έντονη αύξηση (6,38 log cfu/g), η οποία πιθανόν να οφείλεται στην εξάλειψη της αντιμικροβιακής δράσης, λόγω της αυξημένης θερμοκρασίας (30°C), η οποία είναι ιδανική για την ανάπτυξη αρκετών στελεχών *Bacillus*.

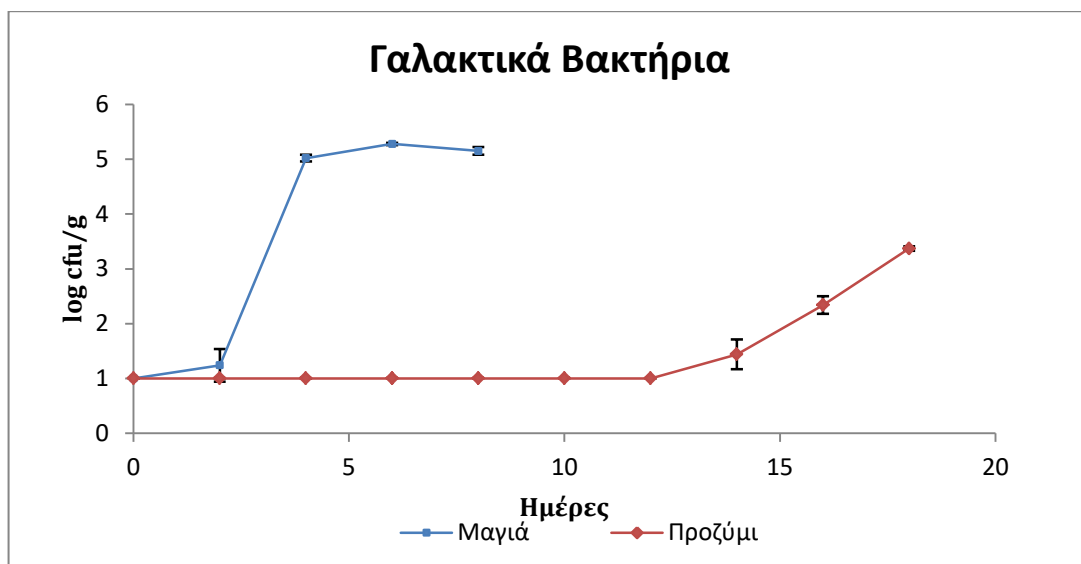
Επίσης οι Ravimannan et al. (2016) [195] μελέτησαν την ανάπτυξη των *B. cereus* και *B. subtilis* κατά τη συντήρηση ψωμιού. Χρησιμοποιήθηκε ψωμί που αγοράστηκε από φούρνους στη Sri Lanka και αποθηκεύτηκε για 5 ημέρες. Κατά την 3^η ημέρα αποθήκευσης οι τιμές log(cfu/g) κυμαίνονταν από 5,3 έως 5,52, ενώ κατά την 5^η ημέρα αποθήκευσης οι τιμές log(cfu/g) κυμαίνονταν από 6,5 έως 6,7. Για την ανάλυση χρησιμοποιήθηκε PDA (Potato Dextrose Agar). Θεωρήθηκε ότι οι μικροοργανισμοί που αναπτύχθηκαν κατά την αποθήκευση ήταν του γένους *Bacillus*, τα οποία θεωρούνται θερμοανθεκτικά.

Γαλακτικά Βακτήρια

Η πηγή της οξύτητας του ψωμιού είναι τα γαλακτικά βακτήρια τα οποία αναπτύσσονται στο ψωμί με την συντήρηση. Η καλλιέργεια προζυμιού αποτελείται από συνδυασμό ζυμών και γαλακτικών βακτηρίων κατά βάση. Για το λόγο αυτό η οξύτητα του ψωμιού με προζύμι είναι αυξημένη την ημέρα 0 σε σχέση με εκείνη του ψωμιού με μαγιά, όπως παρατηρείται από τη μέτρηση της οξύτητας των δύο δειγμάτων (Σχήμα 12). Ωστόσο παρά την αυξημένη οξύτητα στο ψωμί με τη μαγιά ο πληθυσμός των γαλακτικών βακτηρίων είναι κάτω από το όριο ανίχνευσης της μεθόδου την ημέρα 0 και για τα δύο δείγματα. Θεωρείται ότι αν και στη ζύμη που περιείχε προζύμι ο πληθυσμός των γαλακτικών βακτηρίων ήταν αυξημένος με την διαδικασία του ψησίματος και τα δύο προϊόντα αποστειρώθηκαν. Επομένως δεν παρατηρούνται αυξημένοι πληθυσμοί βακτηρίων ανεξάρτητα από την παρουσία αυτών πριν το ψήσιμο.

Ο αρχικός πληθυσμός των γαλακτικών βακτηρίων βρέθηκε να είναι κάτω από το όριο ανίχνευσης της μεθόδου ($1,00 \log \text{ cfu/g}$) και μέχρι το τέλος της συντήρησης έφτασε τις τιμές των $5,15 \pm 0,07$ και $3,37 \pm 0,04 \log \text{ cfu/g}$ για ψωμί με μαγιά και ψωμί με προζύμι αντίστοιχα (Σχήμα 8). Όπως φαίνεται από τις τιμές των γαλακτικών, ο πληθυσμός των γαλακτικών βακτηρίων είναι μεγαλύτερος στο ψωμί με τη μαγιά απ' ότι στο ψωμί με προζύμι κατά τη συντήρηση. Αυτό ενδεχομένως οφείλεται στο γεγονός ότι η οξύτητα του ψωμιού με προζύμι δημιουργεί ανασταλτικό παράγοντα για την ανάπτυξη των βακτηρίων πχ. LAB, κατά τη συντήρηση.

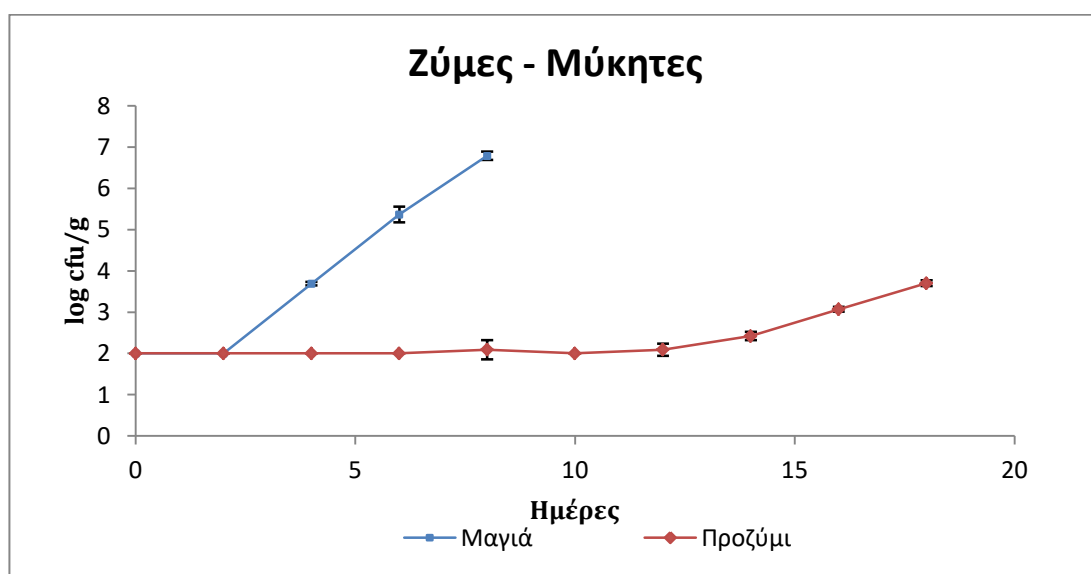
Οι Park J. et. al [196] μελέτησαν την ανάπτυξη γαλακτικών βακτηρίων σε κορεάτικα προϊόντα Jeung-Pyun, τα οποία παρήγαγαν με χρήση προζυμιού από ρύζι. Πρόκειται για ένα είδος ψωμιού που μαγειρεύεται στον ατμό. Τα αποτελέσματά τους έδειξαν τιμές της τάξης των $6 - 7 \log \text{ cfu/g}$ για τα γαλακτικά βακτήρια. Ωστόσο λόγω του τρόπου μαγειρέματος θεωρείται ότι το προϊόν δεν αποστειρώθηκε όπως συμβαίνει με το ψημμένο ψωμί.



Σχήμα 8: Μεταβολή του *B. Cereus* (log(cfu/g)) συναρτήσει του χρόνου συντήρησης για τα δύο είδη ψωμιού

Ζύμες - Μύκητες

Οι ζυμομύκητες είναι μικροοργανισμοί που εντοπίζονται και στη μαγιά (ξηρή καλλιέργεια μικροοργανισμών) και στο προζύμι που είναι συμβιωτική καλλιέργεια ζυμών και γαλακτικών βακτηρίων. Πρόκειται για μικροοργανισμούς που συνεισφέρουν στην αλλοίωση του προϊόντος. Το σύνηθες μικροβιακό φορτίο προϊόντων αρτοποιίας σε αναλύσεις ρουτίνας είναι μικρότερο των 3 log cfu/g. Ο πληθυσμός των ζυμών και μυκήτων στα εξεταζόμενα δείγματα έφτασε αυτή την τιμή την 4^η ημέρα για το ψωμί με μαγιά και την 16^η ημέρα για το ψωμί με προζύμι (Σχήμα 9).



Σχήμα 9: Μεταβολή των ζυμών/μυκήτων (log(cfu/g)) συναρτήσει του χρόνου συντήρησης για τα δύο είδη ψωμιού

Ο αρχικός πληθυσμός των ζυμών - μυκήτων βρέθηκε να είναι κάτω από το όριο ανίχνευσης της μεθόδου ($2,00 \log \text{ cfu/g}$) και μέχρι το τέλος της συντήρησης έφτασε τις τιμές των $6,79 \pm 0,10$ και $3,70 \pm 0,07 \log \text{ cfu/g}$ για ψωμί με μαγιά και ψωμί με προζύμι αντίστοιχα. Παρατηρείται ότι η ανάπτυξη των ζυμών και μυκήτων έγινε ορατή στην επιφάνεια των δειγμάτων όταν ο πληθυσμός ήταν περίπου $3,50\text{--}4,00 \log \text{ cfu/g}$. Η παρατήρηση αυτή έρχεται σε συμφωνία με την εργασία των Latou et al. (2010) [188], οι οποίοι μελέτησαν ψωμί με μαγιά ως μάρτυρα για το πείραμα τους και ανέφεραν ότι ο πληθυσμός των ζυμών και μυκήτων ξεπέρασε την τιμή $3,00 \log \text{ cfu/g}$ την 4^η ημέρα αποθήκευσης και έφτασε σχεδόν την τιμή $7,00 \log \text{ cfu/g}$ την 9^η ημέρα αποθήκευσης. Είναι εμφανές για μια ακόμα φορά ότι ο μικροβιολογικός χρόνος αλλοίωσης επεκτείνεται με την προθήκη προζυμιού στο ψωμί.

Οι Yibar et al. (2012) [197] μελέτησαν διάφορα ψωμιά, τα οποία συλλέχθηκαν από διάφορους φούρνους στην Τουρκία και μελέτησαν την ανάπτυξη ζυμών και μυκήτων. Οι τιμές $\log(\text{cfu/g})$ ψωμιού με μαγιά κυμαίνονταν από 2,3 έως 4,2. Οι Vaiciulyte-Funk et al. (2015) [198] μελέτησαν την αντιμικροβιολογική δράση κατά τη συντήρηση του ψωμιού με προσθήκη γαλακτικών βακτηρίων. Οι τιμές $\log(\text{cfu/g})$ ζυμών μυκήτων μετά από 5 μέρες αποθήκευσης στους 18°C και στους 30°C ήταν 3,23 και 3,18 αντίστοιχα. Οι Asia και Tariq (2006) [199] ανέλυσαν ψωμί με μαγιά και βρήκαν ανάπτυξη ζυμών και μυκήτων σε $\log(\text{cfu/g})$ 2,1 και 2,73 την 2^η και 4^η ημέρα αντίστοιχα. Οι Ndife et al. (2013) [200] ανέλυσαν ψωμιά ολικής αλέσης και λευκό ψωμί για την ανάπτυξη ζυμών - μυκήτων. Οι τιμές για τα ψωμιά ολικής αλέσης σε $\log(\text{cfu/g})$ κυμαίνοντας από 1 έως 1,18 ενώ για το λευκό ψωμί ήταν 1,4. Τέλος οι Tarar et al. (2010) [193] ανέλυσαν ψωμί για ζύμες μύκητες όπως αναφέρθηκε και παραπάνω και παρατήρησαν ότι την 4^η ημέρα αποθήκευσης ο πληθυσμός έφτασε την τιμή $4,4 \log \text{ cfu/g}$.

Εντεροβακτήρια

Τα Εντεροβακτήρια αποτελούν δείκτη υγιεινής για τα τρόφιμα. Ο αρχικός πληθυσμός των Εντεροβακτηρίων ήταν κάτω από το όριο ανίχνευσης της μεθόδου ($1,00 \log \text{ cfu/g}$) και διατηρήθηκε στα ίδια επίπεδα έως το τέλος του πειράματος. Στο ίδιο συμπέρασμα κατέληξαν και οι Latou et al. (2010) [188] κατά την μελέτη τους στην συντήρηση ψωμιού.

Γενικώς παρατηρήθηκε αυξητική τάση για όλες τις κατηγορίες των μικροοργανισμών που εξετάστηκαν, η οποία συνδέεται και με την οπτική αλλοίωση του προϊόντος. Ενώ τις πρώτες ημέρες παρατηρήθηκε σταθερά χαμηλός πληθυσμός μικροοργανισμών (λανθάνουσα φάση), σε κάποια χρονική στιγμή παρατηρήθηκε απότομη αύξηση (εκθετική/λογαριθμική φάση) των μικροοργανισμών. Η ημέρα που παρατηρήθηκε η αύξηση των μικροοργανισμών είναι η 4^η για το ψωμί με μαγιά και η 16^η για το ψωμί με προζύμι. Τα αποτελέσματα αυτά βασίζονται στην βασική καμπύλη ανάπτυξης μικροοργανισμών. (Σχήμα 10).



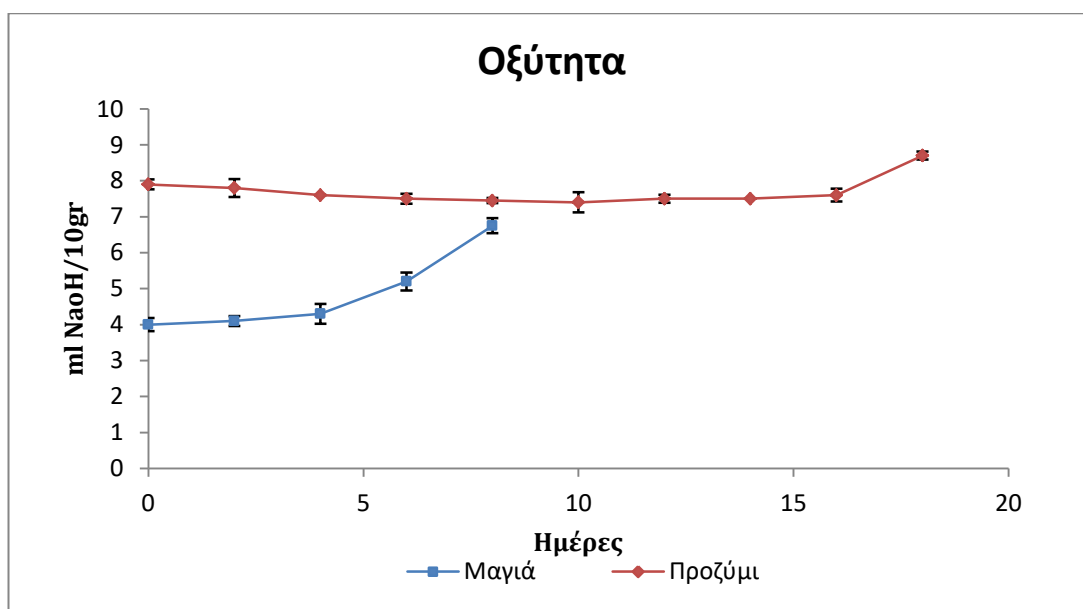
Σχήμα 10: Καμπύλη ανάπτυξης μικροοργανισμών

Στην περίπτωση του ψωμιού με προζύμι επεκτείνεται σημαντικά η λανθάνουσα φάση ανάπτυξης των μικροοργανισμών. Ουσιαστικά η διαδικασία ψήσιματος θεωρείται μια διαδικασία αποστείρωσης, επομένως την ημέρα 0 ο πληθυσμός των μικροοργανισμών είναι μη ανιχνεύσιμος σε όλες τις κατηγορίες μικροοργανισμών. Εν συνεχεία οι μικροοργανισμοί βρίσκονται σε λανθάνουσα φάση μέχρι, κάτω από ευνοϊκές συνθήκες, να αρχίσει η εκθετική ανάπτυξη των μικροοργανισμών. Στην περίπτωση του προζυμιού λόγω του ιδιαίτερα όξινου περιβάλλοντος δεν ευνοείται η ανάπτυξη των μικροοργανισμών, επομένως ανεξαρτήτως του αρχικού αριθμού μικροοργανισμών, καθώς γίνεται αποστείρωση στο ψήσιμο, η έναρξη της εκθετικής φάσης καθυστερεί.

2.Φυσικοχημικές αναλύσεις

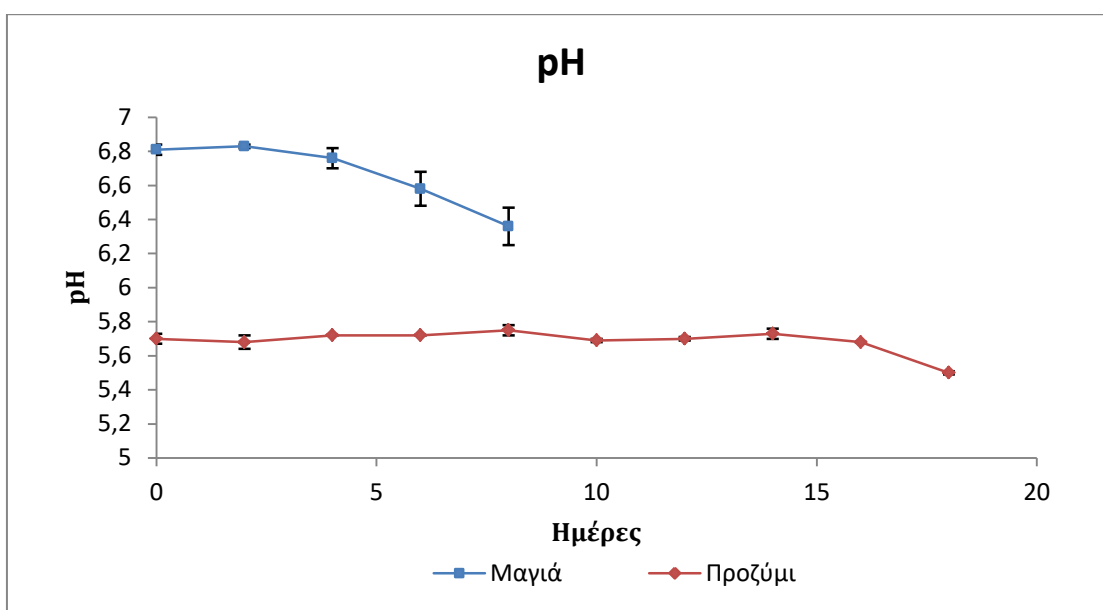
2.1.Προσδιορισμός pH – οξύτητας

Η οξύτητα του ψωμιού υπολογίζεται σε ml NaOH 0,1N/10gr καθώς δεν υπάρχει κάποιο οξύ που μπορεί να θεωρηθεί κυρίαρχο και στο οποίο να αποδοθεί η ολική οξύτητα. Τα οξέα που συμβάλλουν είναι το D- και L- γαλακτικό οξύ και το οξικό οξύ. Η αρχική τιμή της οξύτητας (ημέρα 0) ήταν $7,90 \pm 0,14$ για το ψωμί με προζύμι και $4,00 \pm 0,14$ για το ψωμί με μαγιά (Σχήμα 11). Για το ψωμί με προζύμι παρατηρείται μικρή διακύμανση της οξύτητας μέχρι και την 18^η μέρα όπου παρατηρείται μια αύξηση στην τιμή στο $8,70 \pm 0,11$. Στο ψωμί με μαγιά παρατηρείται αύξηση από την 4^η μέρα και μετά με τελική τιμή την 8^η μέρα $6,75 \pm 0,21$.



Σχήμα 11: Διάγραμμα μεταβολής της οξύτητας σε συνάρτηση με το χρόνο συντήρησης των δειγμάτων ψωμιού

Η αρχική τιμή pH του ψωμιού (μηδενική ημέρα) ήταν $6,81 \pm 0,03$ για το ψωμί με μαγιά και $5,70 \pm 0,03$ για το ψωμί με προζύμι (Σχήμα 12). Κατά τη συντήρηση η τιμή του pH για το ψωμί με μαγιά μειώθηκε σημαντικά μέχρι και την τιμή $6,36 \pm 0,11$. Η μεταβολή παρατηρήθηκε την ημέρα που παρατηρήθηκε αύξηση γαλακτικών βακτηρίων και γενικά κατά την εκθετική φάση των μικροοργανισμών δηλαδή μετά την τέταρτη ημέρα. Στην περίπτωση του ψωμιού με προζύμι η τιμή του pH παρουσίασε μικρή διακύμανση με τελική τιμή $5,50 \pm 0,01$.



Σχήμα 12: Διάγραμμα μεταβολής του pH σε συνάρτηση με το χρόνο συντήρησης των δύο δειγμάτων ψωμιού

Τα αποτελέσματα της μέτρησης της οξύτητας συμβαδίζουν με την ανάπτυξη των μικροοργανισμών και κυρίως των γαλακτικών βακτηρίων, καθώς παρατηρείται αύξηση της οξύτητας από την 5^η ημέρα και μετά για το ψωμί με μαγιά και από την 17^η και μετά για το ψωμί με προζύμι. Στις ίδιες μέρες παρατηρείται να ξεκινάει και η ανάπτυξη των γαλακτικών βακτηρίων.

Τα συμπεράσματα που προκύπτουν από τη μέτρηση του pH συμβαδίζουν με την μικροβιολογική ανάλυση καθώς και με τα αποτελέσματα της μεταβολής της οξύτητας, καθώς το pH φαίνεται να μειώνεται όσο η οξύτητα αυξάνεται και όσο πολλαπλασιάζονται οι μικροοργανισμοί.

Επίσης οι τιμές που μετρήθηκαν είναι παρόμοιες και με τιμές που έχουν καταγραφεί σε άλλες εργασίες. Οι Banu et al. (2011) [201] μέτρησαν την οξύτητα και το pH ψωμιού σίκαλης με προζύμι, με σκοπό την ποιοτική αξιολόγηση αυτού. Στη μελέτη υπήρχε δείγμα μάρτυρα δηλαδή ψωμί σίκαλης που δεν περιείχε προζύμι. Οι μετρήσεις έγιναν την ημέρα 0 δηλαδή την ημέρα παρασκευής των προϊόντων και οι αναλυτικές μέθοδοι ήταν οι ίδιες που χρησιμοποιήθηκαν και στην παρούσα εργασία. Τα αποτελέσματά τους ήταν pH= 5,1 – 5,3 και TTA=5,0 – 5,4ml NaOH 0.1N για το ψωμί με προζύμι και pH= 6,1 και TTA= 2,5ml NaOH 0,1N για τον μάρτυρα. Οι τιμές είναι παρόμοιες με τα αποτελέσματα της παρούσας εργασίας εκτός του ότι τα παρόντα δείγματα παρουσιάζουν μεγαλύτερη οξύτητα κάτι που

οφείλεται πιθανόν στον τρόπο παρασκευής, στη διαφορετική καλλιέργεια προζυμίου που χρησιμοποιήθηκε, καθώς επίσης και στον διαφορετικό τύπου αλεύρου.

Οι Mert et al. (2014) [202] μελέτησαν ψωμί, το οποίο παρασκεύασαν με αλεύρι από κάστανο και ρύζι με προζύμι. Τα δείγματα που ανέλυσαν ήταν ψωμί που περιείχε προζύμι 20%(w/w% με βάση 100 το αλεύρι), ψωμί που περιείχε προζύμι 40% και ψωμί χωρίς προζύμι (μάρτυρας). Οι μετρήσεις έγιναν την ημέρα 0 και οι αναλυτικές μέθοδοι ήταν οι ίδιες που χρησιμοποιήθηκαν και στην παρούσα εργασία. Οι τιμές που μετρήθηκαν για το ψωμί μάρτυρα ήταν $pH=6,44\pm0,02$ και $TTA=2,97\pm0,04ml$ NaOH 0,1N, ενώ το ψωμί που περιείχε 20% προζύμι ήταν $pH=5,42\pm0,06$ και $TTA=5,26\pm0,07$, και τέλος το ψωμί που παρασκευάστηκε με 40% προζύμι ήταν $pH=4,94\pm0,04$ και $TTA=6,97\pm0,09$. Οι τιμές είναι σύμφωνές με αυτές της παρούσας εργασίας με την διαφορά ότι το ψωμί μάρτυρας παρουσιάζει μεγαλύτερη οξύτητα ίσως λόγω διαφορετικών συνθηκών και υλικών παρασκευής.

Οι Sanz-Penella et al. (2011) [187] χρησιμοποίησαν *Bifidobacterium pseudocatenulatum* σαν καλλιέργεια εκκίνησης στο προζύμι που έφτιαξαν και εν συνεχεία πρόσθεσαν 0, 5, 10, 15 και 20% (w/w% με βάση 100 τα gr αλεύρου) αυτού στην παρασκευή 5 δειγμάτων ψωμιού προς ανάλυση. Οι μετρήσεις έγιναν στα ψωμιά 75min μετά το ψήσιμο και οι μέθοδοι που χρησιμοποιήθηκαν ήταν οι ίδιες με αυτές της παρούσας εργασίας. Τα αποτελέσματα είναι παρόμοια με μικρές διαφοροποιήσεις λόγω των συνθηκών και των υλικών παρασκευής. Το pH του μάρτυρα βρέθηκε $5,72\pm0,06$ και η οξύτητα $4,19\pm0,16$. Το pH για τα δείγματα με προζύμι κυμάνθηκε από $4,96\pm0,06$ έως $5,5\pm0,07$ ενώ η οξύτητα κυμάνθηκε από $5,74\pm0,10$ έως $10,6\pm0,41$. Είναι εμφανές για μια ακόμα φορά πως με την αύξηση του ποσοστού του προζυμίου αυξάνεται η οξύτητα και μειώνεται το pH.

Τέλος οι Hansen A. και Hansen B. (1996) [203] βρήκαν σε φρεσκοψημένο ψωμί με μαγιά $pH= 6,0$ και σε φρεσκοψημένο ψωμί με διάφορες συγκεντρώσεις προζυμίου pH από 5,2 έως 4,5.

2.2. Πτητικά Συστατικά

Τα πτητικά συστατικά των δύο τύπων ψωμιού φαίνονται στους Πίνακες 1 και 2 και συγκεντρωτικά στο Σχήμα 13

Πίνακας 1: Επίδραση του χρόνου αποθήκευσης στις πτητικές ενώσεις (μg/kg) ψωμιού σίτου, παρασκευασμένου με χρήση καλλιέργειας προζύμιου και αποθηκευμένου σε θερμοκρασία περιβάλλοντος

Ενώσεις	Ημέρα 0	Ημέρα 4	Ημέρα 8	Ημέρα 12	Ημέρα 16	Ημέρα 18	KI _{Ex}	KI _{It}
Αλκοόλες								
Αιθανόλη	335,50 ± 1,28 ^c	343,40 ± 2,20 ^d	219,30 ± 3,50 ^b	214,70 ± 2,96 ^b	212,80 ± 3,08 ^b	190,50 ± 7,40 ^a		
1-προπανόλη	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	552	554
2-μέθυλο-1-προπανόλη	6,13 ± 0,07 ^c	5,33 ± 0,43 ^c	4,74 ± 0,12 ^b	4,20 ± 0,15 ^a	4,24 ± 0,58 ^{ab}	4,16 ± 0,11 ^a	623	625
3-μέθυλο-1-βουτανόλη	73,45 ± 1,00 ^d	69,69 ± 5,87 ^d	47,49 ± 3,83 ^c	40,79 ± 0,41 ^b	38,22 ± 0,25 ^a	38,1 ± 0,16 ^a	734	743
2-μέθυλο-1-βουτανόλη	14,20 ± 2,10 ^d	12,86 ± 1,36 ^d	9,54 ± 0,59 ^c	7,25 ± 0,22 ^a	8,28 ± 0,31 ^b	7,79 ± 0,25 ^{ab}	738	748
1-πεντανόλη	7,01 ± 0,16 ^b	6,70 ± 0,39 ^b	4,69 ± 0,23 ^a	4,67 ± 0,23 ^a	4,50 ± 0,06 ^a	3,86 ± 0,82 ^a	765	766
1-εξανόλη	28,44 ± 1,66 ^c	28,03 ± 2,01 ^c	18,68 ± 1,97 ^b	19,46 ± 1,01 ^b	21,42 ± 1,29 ^b	15,8 ± 0,56 ^a	867	862
1-εκτέν-3-όλη	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	57,5 ± 30,10	981	978
Άθροισμα	464,73 ± 1,28	466,01 ± 2,75	304,74 ± 2,28	291,07 ± 1,30	289,46 ± 1,40	314,71 ± 3,05		
Αλδεΐδες								
3-μέθυλο-1-βουτανάλη	15,85 ± 0,44 ^d	4,03 ± 0,47 ^c	3,35 ± 0,01 ^b	1,92 ± 0,44 ^a	2,56 ± 0,13 ^a	2,90 ± 0,46 ^{ab}	656	650
Εξανάλη	26,63 ± 1,38 ^d	14,69 ± 2,65 ^c	11,28 ± 0,17 ^b	10,86 ± 0,20 ^b	12,46 ± 0,45 ^{bc}	6,23 ± 1,17 ^a	802	798
Φουρφουράλη	10,70 ± 1,60 ^c	9,78 ± 1,51 ^c	3,38 ± 0,11 ^b	1,08 ± 0,54 ^a	n.d.	n.d.	840	831
Επτανάλη	8,61 ± 0,18 ^d	5,71 ± 1,35 ^c	2,80 ± 0,32 ^b	3,59 ± 0,24 ^c	2,99 ± 0,17 ^b	2,20 ± 0,27 ^a	904	901
Βενζαλδεΐδη	10,15 ± 0,87 ^c	9,39 ± 0,79 ^c	3,92 ± 1,86 ^a	6,58 ± 0,35 ^b	4,40 ± 0,79 ^a	n.d.	980	970
Οκτανάλη	2,95 ± 0,43 ^b	2,90 ± 0,67 ^b	1,60 ± 0,13 ^a	1,93 ± 0,12 ^{ab}	2,32 ± 0,36 ^b	4,04 ± 0,06 ^c	1007	1004
Ενεκανάλη	n.d.	2,55 ± 0,39 ^a	3,12 ± 0,29 ^a	9,42 ± 2,37 ^b	12,41 ± 1,03 ^b	n.d.	1109	1099
Άθροισμα	74,89 ± 0,96	49,05 ± 1,34	29,45 ± 0,72	35,28 ± 0,95	37,14 ± 0,59	15,37 ± 0,64		
Κετόνες								
2,3-βουτανοδιόνη	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	584	584
3-ύδροξυ-2-βουτανόνη	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	710	708
2-πέντυλο-φουρανόνη	3,15 ± 2,23 ^d	2,62 ± 0,61 ^d	1,18 ± 0,37 ^a	2,19 ± 0,04 ^c	1,94 ± 0,02 ^b	6,61 ± 0,64 ^e	993	989
Άθροισμα	3,15 ± 2,23	2,62 ± 0,61	1,18 ± 0,37	2,19 ± 0,04	1,94 ± 0,02	6,61 ± 0,64		
Εσώτερικό πρότυπο								
4-μέθυλο-2-πεντανόλη	16,2	16,2	16,2	16,2	16,2	16,2	759	
Εστέρες								
Μυρμηκικός μεθυλεστέρας	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	-	-
Οξικός Αιθυλεστέρας	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	610	614
Βουτανικός Μεθυλεστέρας	4,36 ± 0,29 ^d	1,95 ± 0,21 ^a	2,10 ± 0,07 ^a	2,61 ± 0,20 ^b	2,09 ± 0,18 ^a	3,12 ± 0,08 ^c	721	735
Άθροισμα	4,36 ± 0,29	1,95 ± 0,21	2,1 ± 0,07	2,61 ± 0,20	2,09 ± 0,18	3,12 ± 0,08		

Ενώσεις	Ημέρα 0	Ημέρα 4	Ημέρα 8	Ημέρα 12	Ημέρα 16	Ημέρα 18	KI _{Ex}	KI _{It}
<u>Οργανικά Οξέα</u>								
Οξικό οξύ	115,90 ± 6,10 ^{ab}	99,30 ± 14,5 ^a	131,00 ± 6,68 ^b	137,14 ± 5,90 ^b	122,90 ± 6,90 ^b	113,24 ± 2,40 ^a	581	608
<u>Υδρογονάνθρακες</u>								
Εξάνιο	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	594	600
Επτάνιο	6,09 ± 0,31 ^c	4,2 ± 0,09 ^b	4,17 ± 0,27 ^b	3,59 ± 0,04 ^a	3,87 ± 0,19 ^{ab}	4,75 ± 1,28 ^{ac}	698	700
Οκτάνιο	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	801	800
Εννεάνιο	2,37 ± 0,09 ^d	1,45 ± 0,08 ^{bc}	1,20 ± 0,05 ^b	1,49 ± 0,27 ^c	0,86 ± 0,04 ^a	2,55 ± 0,07 ^d	901	900
Δεκάνιο	n.d.	3,02 ± 0,49 ^b	1,70 ± 0,62 ^a	3,29 ± 0,16 ^b	2,05 ± 0,02 ^a	32,14 ± 0,95 ^c	1001	1000
Δωδεκάνιο	n.d.	n.d.	0,88 ± 0,44 ^a	n.d.	n.d.	9,82 ± 0,84 ^b	1202	1200
Δεκατετράνιο	n.d.	n.d.	3,51 ± 0,51 ^b	1,86 ± 0,37 ^a	n.d.	n.d.	1403	1400
dI-λιμονένιο	1,30 ± 0,35 ^b	1,22 ± 0,35 ^b	0,97 ± 0,01 ^a	1,40 ± 0,27 ^b	4,87 ± 0,81 ^c	3,78 ± 0,43 ^c	1043	1039
Γ-τερπινένιο	4,33 ± 1,69 ^a	2,20 ± 0,62 ^a	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	1070	1062
Καρυοφύλλένιο	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	1459	1440
Άθροισμα	14,09 ± 0,88	12,09 ± 0,39	12,43 ± 0,39	11,63 ± 0,25	11,65 ± 0,42	53,04 ± 0,82		
<u>Αρωματικές ενώσεις</u>								
2-πέντυλο-φουράνιο	19,82 ± 0,22 ^e	12,85 ± 1,74 ^d	5,08 ± 0,29 ^b	5,26 ± 0,26 ^b	4,10 ± 0,34 ^a	7,99 ± 0,77 ^c	994	992
ραφα-κυμένιο	2,97 ± 0,58 ^d	2,71 ± 0,70 ^{cd}	1,89 ± 0,23 ^c	1,82 ± 0,25 ^b	0,85 ± 0,11 ^a	10,70 ± 0,29 ^e	1037	1026
Άθροισμα	22,79 ± 0,44	15,56 ± 1,32	6,79 ± 0,26	7,08 ± 0,25	4,95 ± 0,25	18,69 ± 0,58		
<u>Ενώσεις θείου</u>								
Διμεθυλο-δισουλφίδιο	n.d.	n.d.	0,62 ± 0,44 ^a	n.d.	n.d.	0,46 ± 0,32 ^a	751	746

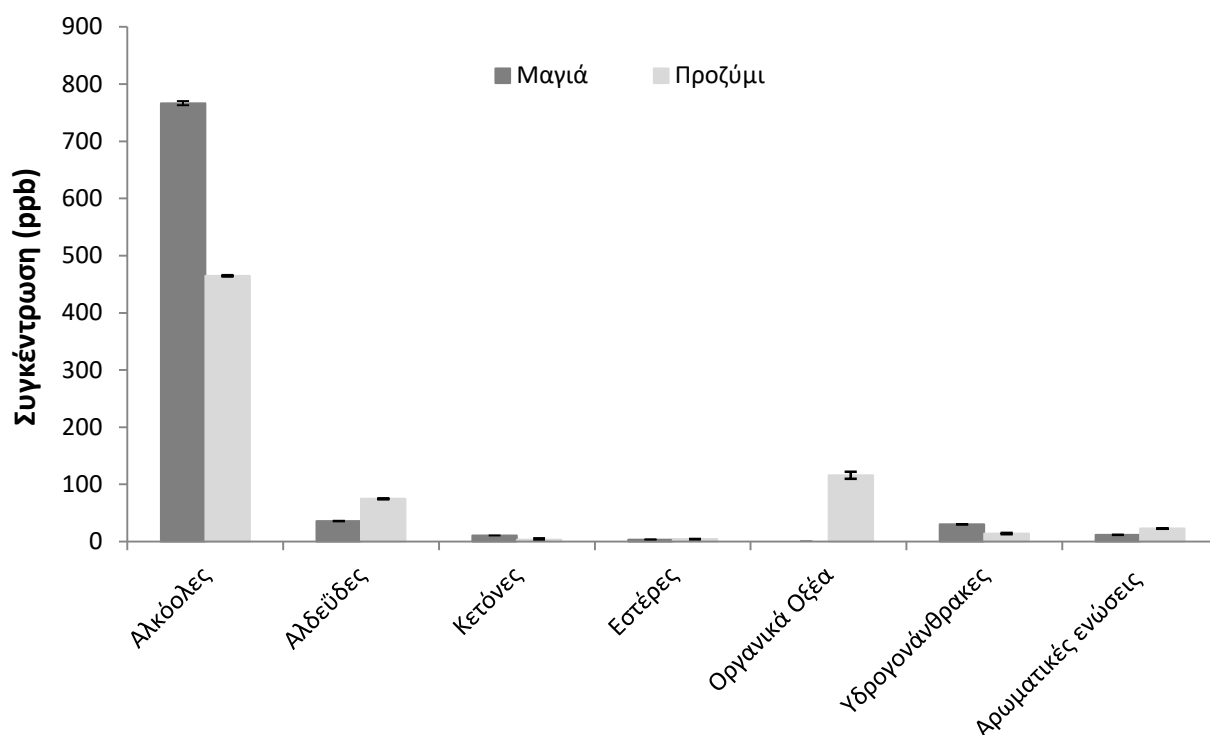
n.d. = not detected (δεν ανιχνεύθηκε). Οι τιμές είναι ο μέσος όρος 6 μετρήσεων (n=6) ± S.D. ^{a,b,c,d,e} Μέσοι όροι με διαφορετικούς εκθέτες στην ίδια γραμμή είναι στατιστικά διαφορετικοί (p<0,05), KI_{Ex}=Konac Index experimentally determined data (Δείκτης Konac βάσει των πειραματικών δεδομένων), KI_{It}=Konac Index literature data (Δείκτης Konac βάσει των βιβλιογραφικών δεδομένων) Nist 05, J. Wiley & Sons Ltd., West Sussex, England

Πίνακας 2: Επίδραση του χρόνου αποθήκευσης στις πτητικές ενώσεις (μg/kg) ψωμιού σίτου, παρασκευασμένου με χρήση ξηρής μαγιάς και αποθηκευμένου σε θερμοκρασία περιβάλλοντος

Ενώσεις	Ημέρα 0	Ημέρα 2	Ημέρα 4	Ημέρα 6	Ημέρα 8	KI _{Ex}	KI _{It}
Αλκοόλες							
Αιθανόλη	447,60 ± 6,3 ^d	462,20 ± 15,97 ^d	312,43 ± 2,96 ^c	274,20 ± 7,63 ^b	11,86 ± 0,63 ^a		
1-προπανόλη	1,42 ± 0,36 ^b	1,42 ± 0,27 ^b	1,19 ± 0,04 ^a	n.d.	n.d.	552	554
2-μέθυλο-1-προπανόλη	37,26 ± 1,37 ^c	35,49 ± 2,35 ^c	22,98 ± 2,49 ^b	22,18 ± 1,38 ^b	14,02 ± 0,59 ^a	623	625
3-μέθυλο-1-βουτανόλη	169,70 ± 5,97 ^d	169,60 ± 5,72 ^d	90,09 ± 4,55 ^c	67,98 ± 2,49 ^b	3,87 ± 0,18 ^a	734	743
2-μέθυλο-1-βουτανόλη	88,46 ± 2,69 ^d	89,62 ± 3,11 ^d	46,86 ± 5,95 ^c	37,29 ± 0,11 ^b	7,86 ± 0,69 ^a	738	748
1-πεντανόλη	4,01 ± 0,65 ^b	4,11 ± 0,65 ^b	2,36 ± 0,17 ^a	n.d.	n.d.	765	766
1-εξανόλη	18,29 ± 0,04 ^c	17,31 ± 1,07 ^c	9,97 ± 2,70 ^b	4,28 ± 0,83 ^a	n.d.	867	862
1-εκτέν-3-όλη	n.d.	n.d.	4,70 ± 2,00 ^a	n.d.	88,35 ± 2,42 ^b	981	978
Άθροισμα	766,74 ± 3,48	779,75 ± 6,60	490,58 ± 3,21	405,93 ± 3,67	125,96 ± 1,19		
Αλδεΐδες							
3-μέθυλο-1-βουτανάλη	2,49 ± 0,19 ^b	1,24 ± 0,09 ^a	0,98 ± 0,16 ^a	n.d.	2,77 ± 0,10 ^b	656	650
Εξανάλη	15,04 ± 0,51 ^c	11,74 ± 0,32 ^b	1,27 ± 0,51 ^a	n.d.	n.d.	802	798
Φουρφουράλη	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	840	831
Επτανάλη	6,94 ± 0,45 ^b	7,29 ± 0,91 ^b	0,46 ± 0,02 ^a	n.d.	n.d.	904	901
Βενζαλδεΐδη	4,12 ± 0,76 ^a	5,22 ± 1,48 ^a	n.d.	n.d.	n.d.	980	970
Οκτανάλη	4,03 ± 0,73 ^c	2,68 ± 0,09 ^b	2,06 ± 0,37 ^{ab}	1,16 ± 0,82 ^a	n.d.	1007	1004
Εννεανάλη	3,16 ± 0,26 ^a	6,82 ± 0,35 ^b	n.d.	n.d.	n.d.	1109	1099
Άθροισμα	35,78 ± 0,52	34,99 ± 0,74	4,77 ± 0,33	1,16 ± 0,82	2,77 ± 0,10		
Κετόνες							
2,3-βουτανοδιόνη	3,94 ± 0,28 ^b	4,31 ± 0,30 ^b	4,16 ± 0,41 ^b	5,67 ± 0,32 ^c	1,84 ± 0,42 ^a	584	584
3-ύδροξυ-2-βουτανόνη	3,68 ± 0,17 ^b	3,41 ± 0,38 ^{ab}	3,34 ± 0,41 ^{ab}	3,11 ± 0,07 ^a	n.d.	710	708
2-πέντυλο-φουρανόνη	3,12 ± 0,09 ^b	2,76 ± 0,05 ^a	3,61 ± 0,51 ^b	2,78 ± 0,11 ^a	n.d.	993	989
Άθροισμα	10,74 ± 0,20	10,48 ± 0,28	11,11 ± 0,45	11,56 ± 0,20	1,84 ± 0,42		
Εσωτερικό πρότυπο							
4-μέθυλο-2-πεντανόλη	16,2	16,2	16,2	16,2	16,2	759	
Εστέρες							
Μυρμηκικός μεθυλεστέρας	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	18,78 ± 0,39 ^a	-	-
Οξικός Αιθυλεστέρας	n.d.	2,04 ± 1,04 ^b	0,43 ± 0,30 ^a	n.d.	n.d.	610	614
Βουτανικός Μεθυλεστέρας	3,39 ± 0,52 ^{bc}	2,84 ± 0,36 ^b	4,13 ± 0,70 ^c	2,70 ± 0,1 ^b	1,41 ± 0,08 ^a	721	735
Άθροισμα	3,39 ± 0,52	4,88 ± 0,78	4,56 ± 0,34	2,7 ± 0,1	20,19 ± 0,28		

Ενώσεις	Ημέρα 0	Ημέρα 2	Ημέρα 4	Ημέρα 6	Ημέρα 8	KI _{Ex}	KI _{Lt}
<u>Οργανικά Οξέα</u>							
Οξικό οξύ	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	581	608
<u>Υδρογονάνθρακες</u>							
Εξάνιο	4,04 ± 0,07 ^a	3,78 ± 0,24 ^a	3,92 ± 0,32 ^a	6,12 ± 0,12 ^c	5,54 ± 0,11 ^b	594	600
Επτάνιο	6,72 ± 0,52 ^d	5,12 ± 0,06 ^b	4,79 ± 0,11 ^a	5,83 ± 0,28 ^c	4,52 ± 0,27 ^a	698	700
Οκτάνιο	n.d.	n.d.	0,78 ± 0,03 ^a	1,01 ± 0,07 ^b	1,67 ± 0,00 ^c	801	800
Εννεάνιο	2,94 ± 0,30 ^d	1,94 ± 0,20 ^c	1,42 ± 0,19 ^b	1,34 ± 0,12 ^b	0,77 ± 0,27 ^a	901	900
Δεκάνιο	5,12 ± 0,30 ^b	3,56 ± 0,18 ^a	4,77 ± 0,40 ^b	3,39 ± 0,08 ^a	6,14 ± 0,04 ^c	1001	1000
Δωδεκάνιο	6,16 ± 0,61 ^b	12,22 ± 0,77 ^c	11,19 ± 0,99 ^c	6,43 ± 0,45 ^b	2,82 ± 0,09 ^a	1202	1200
Δεκατετράνιο	1,92 ± 0,02 ^a	14,73 ± 2,60 ^c	20,4 ± 1,03 ^d	15,31 ± 1,21 ^c	7,17 ± 1,80 ^b	1403	1400
dl-Λιμονένιο	3,29 ± 0,15 ^b	2,93 ± 0,53 ^b	2,18 ± 0,01 ^a	4,68 ± 0,04 ^c	2,12 ± 0,07 ^a	1043	1039
Καρυοφυλλένιο	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	5,49 ± 1,04 ^a	1459	1440
Γ-τερπινένιο	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	3,08 ± 0,78 ^a	1070	1062
Άθροισμα	30,19 ± 0,34	44,28 ± 1,05	49,45 ± 0,54	44,11 ± 0,47	39,32 ± 0,71		
<u>Αρωματικές ενώσεις</u>							
2-πέντυλο-φουράνιο	7,70 ± 0,61 ^b	4,28 ± 0,20 ^a	3,66 ± 0,53 ^a	n.d.	n.d.	994	992
para-κυμένιο	4,01 ± 0,09 ^b	10,29 ± 6,28 ^c	3,18 ± 0,29 ^a	2,65 ± 0,29 ^a	3,20 ± 0,31 ^a	1037	1026
Άθροισμα	11,71 ± 0,44	14,56 ± 4,44	6,84 ± 0,43	2,65 ± 0,29	3,20 ± 0,31		
<u>Ενώσεις θείου</u>							
Διμεθυλο-δισουλφίδιο	n.d.	n.d.	2,70 ± 0,09 ^b	1,34 ± 0,04 ^a	n.d.	751	746

n.d. = not detected (δεν ανιχνεύθηκε). Οι τιμές είναι ο μέσος όρος 6 μετρήσεων (n=6) ± S.D. i^{a,b,c...} Μέσοι όροι με διαφορετικούς εκθέτες στην ίδια γραμμή είναι στατιστικά διαφορετικοί (p<0,05), KI_{Ex}=Konac Index experimentally determined data (Δείκτης Konac βάσει των πειραματικών δεδομένων), KI_{Lt}=Konac Index literature data (Δείκτης Konac βάσει των βιβλιογραφικών δεδομένων) Nist 05, J. Wiley & Sons Ltd., West Sussex, England



Σχήμα 13: Συγκεντρωτικό ραβδογράμμο πτητικών ενώσεων των δύο προϊόντων για την ημέρα παρασκευής τους

Αλκοόλες

Στην παρούσα εργασία, οι αλκοόλες κυμάνθηκαν σε σταθερά σχετικά και σε πολύ χαμηλά επίπεδα της τάξης των ppb σε όλη τη διάρκεια του πειράματος. Οι ενώσεις που ανιχνεύθηκαν είναι: Αιθανόλη, Προπανόλη, 2-μέθυλο-1-προπανόλη, 2- και 3-μέθυλο-1-βουτανόλη, πεντανόλη, εξανόλη. Η συνολική συγκέντρωση των αλκοολών είναι μεγαλύτερη στο ψωμί με μαγιά απ' ότι στο ψωμί με προζύμι.

Από αλκοολική ζύμωση προκύπτει κυρίως αιθανόλη σε ποσοστό 95% και το υπόλοιπο 5% αποτελείται κυρίως από βουτανόλη και προπανόλη, ενώ οι υπόλοιπες ενώσεις υπάρχουν σε ίχνη [204][205]. Μικρής αλυσίδας αλκοόλες προκύπτουν από ζύμωση σακχάρων και μεγαλύτερης αλυσίδας από μεταβολισμό αμινοξέων [206].

Αλδεΐδες-Κετόνες

Στην παρούσα εργασία οι αλδεΐδες και οι κετόνες κυμάνθηκαν σε σταθερά σχετικά και σε πολύ χαμηλά επίπεδα της τάξεως των ppb σε όλη τη διάρκεια του πειράματος. Οι ενώσεις που ανιχνεύθηκαν είναι: 3-ύδροξυ-2-βουτανόνη, 2,3 βουτανοδιόνη, 2- και 3-μέθυλο-βουτανάλη, εξανάλη, επτανάλη, οκτανάλη, εννεανάλη, βενζαλδεΐδη και

φουρφουράλη. Η φουρφουράλη ανιχνεύεται μόνο στο ψωμί με προζύμι. Στο ψωμί με μαγιά η συνολική συγκέντρωση των αλδεϋδών είναι μεγαλύτερη απ' ό,τι στο ψωμί με προζύμι

Καρβονυλικές ενώσεις προκύπτουν από την αποσύνθεση υπεροξειδίων. Από το λινελαϊκό οξύ παράγεται εξανάλη και πεντανόλη και στη συνέχεια άλλες ουσίες, παράγωγα μερικής οξειδωσης της εξανάλης. Η εξανάλη παράγεται από το λινολενικό οξύ. Καροτενοειδή που υπάρχουν στο αλεύρι οδηγούν σε παραγωγή β-ιονονών [205][207].

Αλδεΐδες και κετόνες προκύπτουν από πολλές διαφορετικές αντιδράσεις κατά την παρασκευή ψωμιού. Κάποιες προέρχονται από τη ζύμωση όπως η ακετοΐνη και το διακετύλιο [208], αλλά η πλειονότητα αυτών παράγεται κατά τη μη ενζυμική αμαύρωση όπως το 2-πέντυλο-φουράνιο. Οι ενώσεις ακετοΐνη (3-ύδροξυ-2-βουτανόνη) και διακετύδιο (2,3-βουτανοδιόνη) ανιχνεύθηκαν μόνο στο ψωμί με μαγιά και όχι στο ψωμί με προζύμι. Το γεγονός αυτό σε συνδυασμό με τα αυξημένα επίπεδα αιθανόλης στο ψωμί με μαγιά σε σχέση με το ψωμί με προζύμι θεωρείται ότι συμβαίνει διότι η γαλακτική ζύμωση αναστέλλει άλλες ζυμώσεις. Επομένως μειώνεται ως ένα βαθμό η ταχύτητα της αλκοολικής ζύμωσης. Γι' αυτό στο ψωμί με προζύμι δεν ανιχνεύονται οι ενώσεις αυτές.

Ενώσεις θείου

Στην παρούσα εργασία ανιχνεύθηκε διμέθυλο-δισουλφίδιο. Ενώσεις όπως πυρόλες, πυραζίνες και ενώσεις θείου προκύπτουν από την αντίδραση Maillard [206].

Οξέα

Στην παρούσα εργασία ανιχνεύθηκε οξικό οξύ. Το οξικό οξύ προκύπτει από τη γαλακτική ζύμωση. Τα ετεροζυμωτικά γαλακτικά βακτήρια παράγουν 50-65% γαλακτικό οξύ και επιπλέον οξικό οξύ, αιθανόλη και CO₂. Το οξικό οξύ ανιχνεύεται μόνο στο ψωμί με προζύμι και όχι σε αυτό με τη μαγιά [209].

Εστέρες

Στην παρούσα εργασία ανιχνεύθηκε μυρμηκικός μεθυλεστέρας και οξικός αιθυλεστέρας. Οι εστέρες προκύπτουν από αντιδράσεις οργανικών οξέων μικρής αλυσίδας με αλκοόλες και ο κύριος που παράγεται είναι ο οξικός αιθυλεστέρας [206]

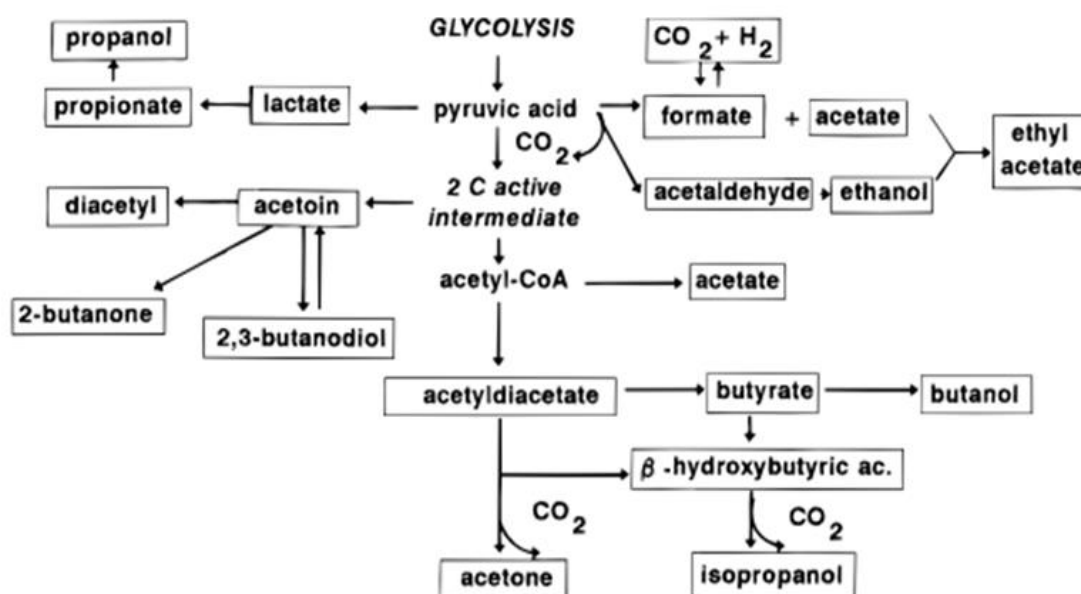
Παράγωγα φουρανίου

Στην παρούσα εργασία ανιχνεύθηκε 2-πέντυλο-φουράνιο. Κάποιες ενώσεις φουρανίου προκύπτουν από θερμική αποικοδόμηση σακχάρων. Επίσης προκύπτουν από κάποιες ενδιάμεσες ενώσεις της Maillard που υπόκεινται συμπύκνωση με αμινοξέα. Παράγεται και από τον λινελαϊκό εστέρα.

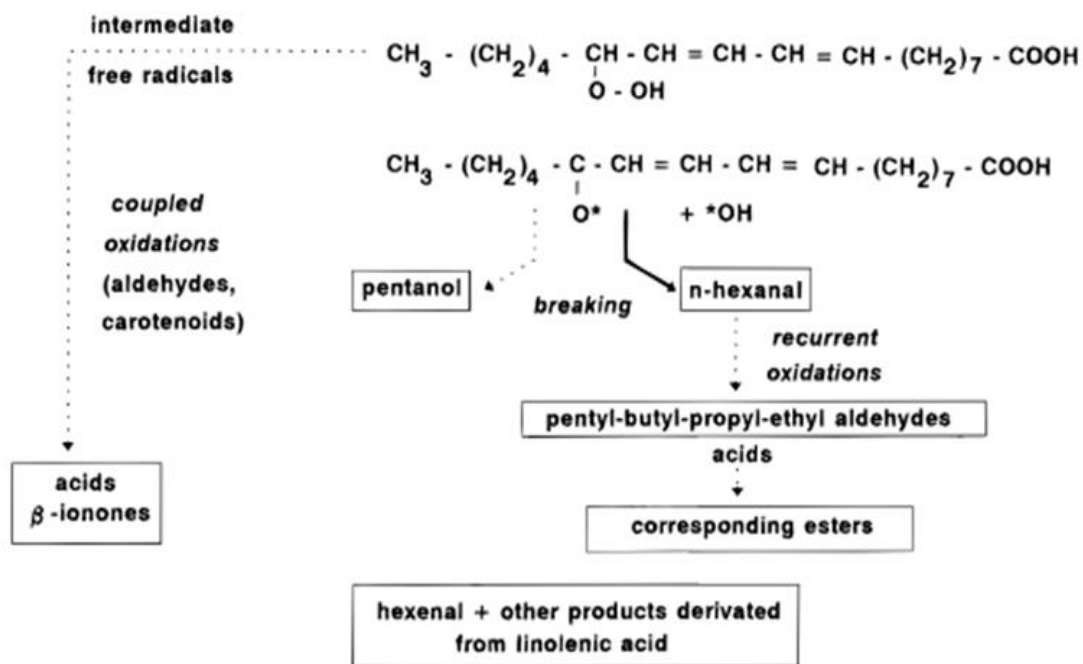
Διάφορες ενώσεις

Το χλωροφόρμιο, το οποίο ήταν παρόν σε όλη τη διάρκεια του πειράματος δεν συμβάλλει στο άρωμα και η παρουσία του πιθανόν να είναι προϊόν επιμόλυνσης.

Στα παρακάτω Σχήματα 14 και 14 παρουσιάζονται οι ενώσεις που προκύπτουν από γλυκόλυση και τον μεταβολισμό αμινοξέων [205].

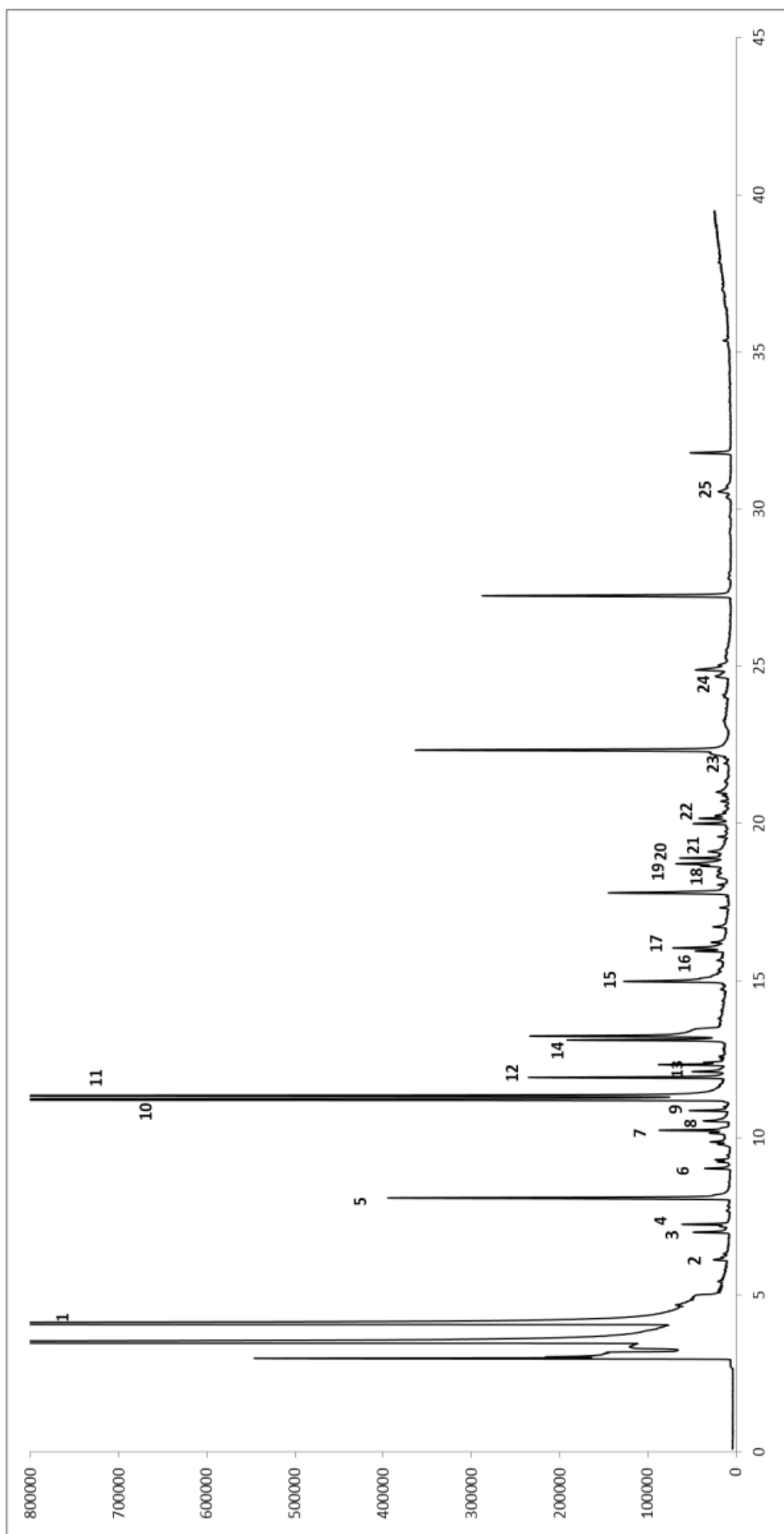


Σχήμα 14: Ενώσεις αρώματος που προέρχονται από την πορεία της γλυκόλυσης



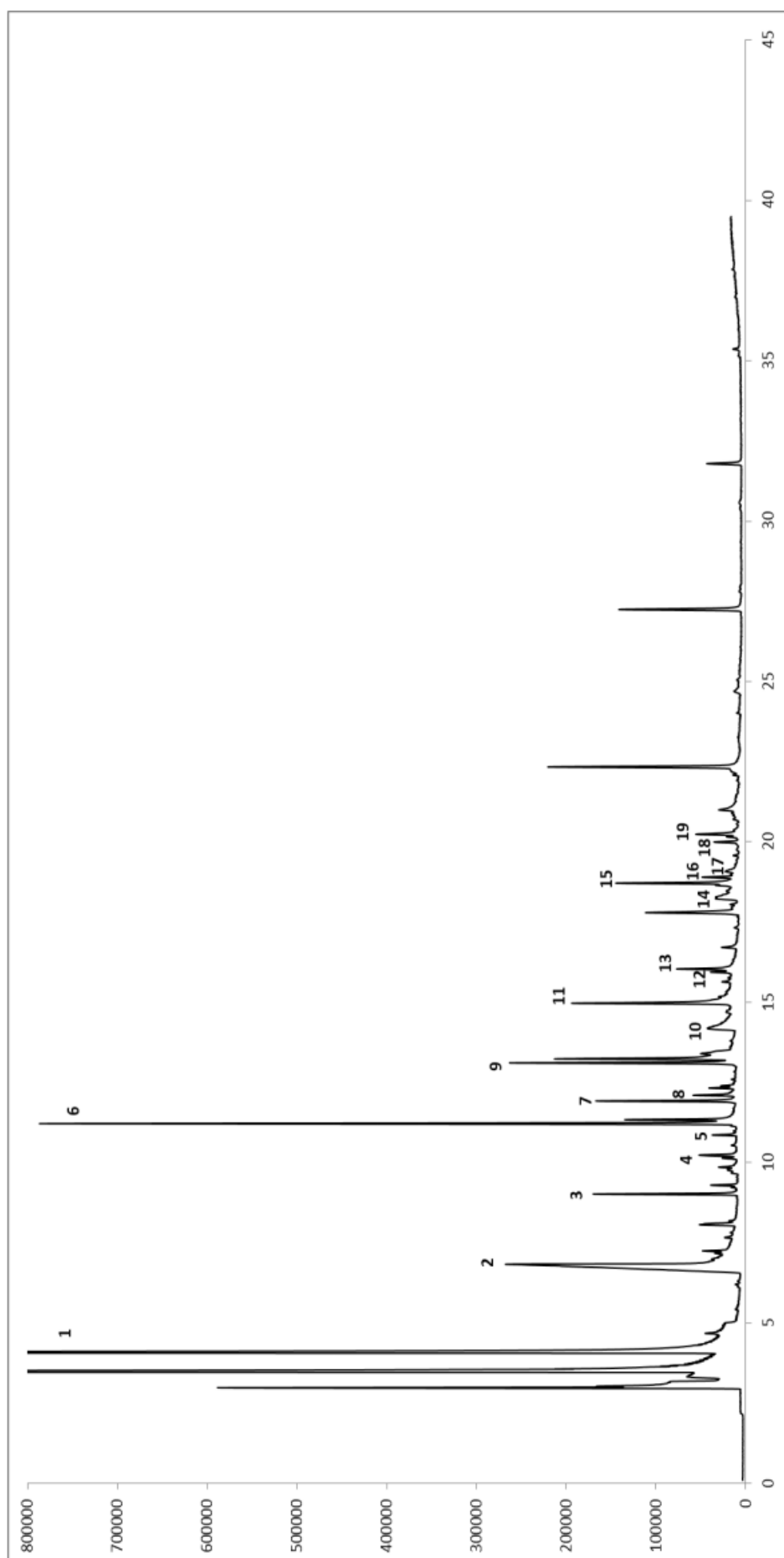
Σχήμα 15: Ενώσεις αρώματος που προέρχονται από οξείδωση

Παρακάτω παρατίθενται ενδεικτικά τα χρωματογραφήματα για δείγμα ψωμιού με μαγιά και για δείγμα ψωμιού με προζύμι για την ημέρα 0 (ημέρα παρασκευής). (Σχήματα 16,17)



Σχήμα 16. Χρωματογράφημα δείγματος ψωμιού με μαγιά την ημέρα παρασκευής του ψωμιού

1. Αιθανόλη, 2. Προπανόλη, 3. 2,3-Βουτανανδιόνη, 4. Εξάνιο, 5. 2-μέθυλο-1-προπανόλη, 6. 3-μέθυλο-1-βουτανόλη, 7. Επτάνιο, 8. 3-ύδροξυ-2-βουτανόνη, 9. Βουτανικός μεθυλεστέρας, 10. 3-μέθυλο-1-βουτανόλη, 11. 2-μέθυλο-1-βουτανόλη, 12. 4-μέθυλο-2-πεντανόλη, 13. 1-πεντανόλη, 14. Εξανάλη, 15. 1-Εξανόλη, 16. Ενεάνιο, 17. Επτανάλη, 18. Βενζαλδεΐδη, 19. 2-πέντυλο-φουρανόνη, 20. 2-πέντυλο-φουρανόνη, 21. Δεκάνιο, 22. DL-Λιμονένιο, 23. Ενεανάλη, 24. Δωδεκάνιο, 25. Δεκατετράνιο



Σχήμα 17. Χρωματογράφημα δείγματος ψωμιού με προζύμι την ημέρα παρασκευής του ψωμιού

1. Αιθανόλη, 2. Οξικό οξύ, 3. 3-μέθυλο-1-βουτανάλη, 4. Επτάνιο, 5. Βουτανικός μεθυλεστέρας, 6. 3-μέθυλο-1-βουτανόλη, 7. 4-μέθυλο-2-πεντανόλη, 8. 1-πεντανόλη, 9. Εξανάλη, 10. Φουρφουράλη, 11. 1-Εξανόλη, 12. Ενωένιο, 13. Επτανάλη, 14. Βενζαλδεΐδη, 15. 2-πέντυλο-φουρανόνη, 16. Δεκάνιο, 17. Οκτανάλη, 18. παρα-κυμένιο, 19. DL-Λιμονένιο

Από τους Πίνακες 1 και 2 παρατηρείται ότι το ψωμί που παρασκευάζεται με προζύμι έχει πιο πλούσιο άρωμα σε σχέση με αυτό που παρασκευάζεται με μαγιά, αν και γενικά στο ψωμί οι ουσίες αρώματος δεν εντοπίζονται σε μεγάλες συγκεντρώσεις. Στον Πίνακα 3 παρουσιάζονται κάποιες ενώσεις που ανιχνεύτηκαν κατά την ανάλυση των πτητικών ενώσεων του ψωμιού και το άρωμα που προσδίδει η κάθε μία στο προϊόν.

Πίνακας 3: Ενώσεις που εντοπίστηκαν στο ψωμί κατά την ανάλυση GC-MS/MS και το άρωμα που προσδίδει η κάθε μία από αυτές

Ένωση	Άρωμα
Οξικός αιθυλεστέρας	Φρουτώδες
3-μέθυλο-βουτανάλη	Γλυκερό, άρωμα δημητριακών
Αιθανόλη	Αλκοολικό
Πεντανάλη	Βουτυρώδες, τυρώδες
Προπανόλη	Βούτυρο, Ρούμι
Εξανάλη	Πράσινο, Χορτώδες
Ακετοΐνη	Βουτύρου
2-πέντυλο-φουράνιο	Λάστιχο παπουτσιού
3-μέθυλο-βουτανόλη	Ψημένο, φρέσκο ψωμί
Πεντανόλη	Φρουτώδες, Γλυκό
Εξανόλη	χορτώδες
Διακετύλιο	Βουτύρου
1-οκτέν-3-όλη	ξινό
φουρφουράλη	Ψημμένο

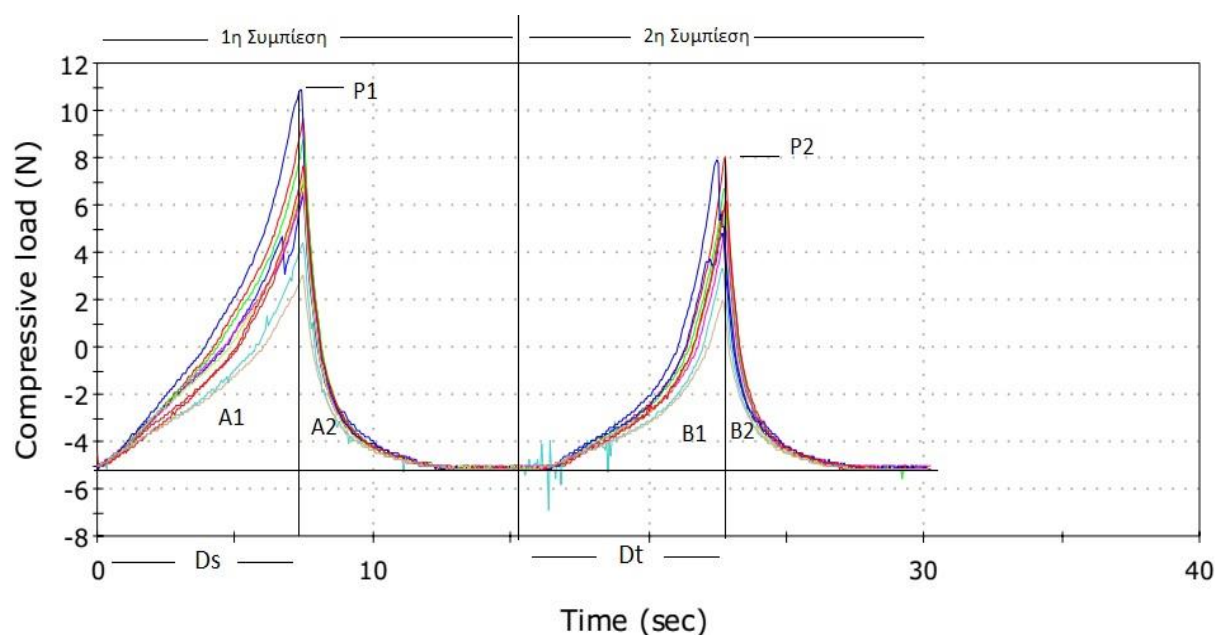
Παρόμοια αποτελέσματα στην ανάλυση πτητικών ενώσεων ψωμιού με προζύμι και σε παρόμοιες συγκεντρώσεις βρήκαν οι Plessas et al. (2007) [210] κατά την διάρκεια αποθήκευσης του ψωμιού για 5 ημέρες. Ανέλυσαν ψωμιά που παρασκευάστηκαν από διαφορετικά είδη προζυμιού, τα οποία περιείχαν συγκεκριμένες καλλιέργειες γαλακτικών βακτηρίων και μείγμα αυτών. Επίσης αναλύθηκε ψωμί για την παραγωγή του οποίου χρησιμοποιήθηκε προζύμι εμπορίου. Οι ενώσεις που ανιχνεύτηκαν στο αρωματικό προφίλ όλων των δειγμάτων ήταν: αιθανόλη, 1-εξανόλη, οξικός αιθυλεστέρας, εξανάλη, εννεανάλη, φουρφουράλη, βενζαλδεΐδη, γαλακτικό οξύ και οξικό οξύ. Στην παρούσα

εργασία δεν ανιχνεύθηκε γαλακτικό οξύ πιθανότατα επειδή αυτό δεν θεωρείται πτητικό [211]. Επίσης οι Plessas et al. (2007) [210] πρόσθεσαν προζύμι σε ποσοστό 50%, οπότε πιθανόν η ανάπτυξη γαλακτικού οξέως να ήταν αυξημένη. Εκτός της αιθανόλης η οποία παρουσιάζει μεγάλη μείωση στην τιμή την 4^η ημέρα, οι υπόλοιπες ενώσεις παραμένουν σταθερές σε συγκέντρωση.

Επιπλέον οι Soukoulis et al. (2014) [212] σε αναλύσεις που έκαναν για τον προσδιορισμό του αρωματικού προφίλ ψωμιού, το οποίο είχε συσκευαστεί σε edwōdima films, που είχαν παρασκευαστεί με προσθήκη γαλακτικών βακτηρίων, ανίχνευσαν με SPME-GC-MS τις ενώσεις: αιθανόλη, οξικό οξύ, 3-μέθυλο-βουτανόλη, 2-μέθυλο-βουτανόλη, 3-ύδροξυ-2-βουτανόνη, εξανόλη, εξανάλη, 2,3-βουτανοδιόνη, βενζαλδεΐδη και εννεανάλη. Επίσης δεν ανίχνευσαν γαλακτικό οξύ. Τέλος τα αποτελέσματα έρχονται σε συμφωνία με την έρευνα των Hansen και Hansen (1996) [203], οι οποίοι ανέλυσαν το αρωματικό προφίλ ψωμιού με προζύμι.

Τέλος οι Latou et. al. (2010) [188] ανέλυσαν το αρωματικό προφίλ ψωμιού σίτου και ανίχνευσαν τις ενώσεις: εξανόλη, εξανάλη, 1-οκτέν-3-όλη, επτανάλη, εξάνιο, εννεανάλη, 3-μέθυλο-βουτανάλη, αιθανόλη, 3-μέθυλο-βουτανόλη, 2-μέθυλο-βουτανόλη, 2-μέθυλο-προπανόλη, βενζαλδεΐδη και οξικό οξύ.

2.3. Ανάλυση Υφής με TPA (Texture Profile Analysis)



Σχήμα 18: Διάγραμμα δύναμης - χρόνου που προκύπτει από TPA με χρήση οργάνου Instron την ημέρα παρασκευής ψωμιού με προζύμι
(Hardness: P1, Springiness: D_s / D_t , Resilience: A_2 / A_1 , Cohesiveness: B/A [ή (B_1/A_2)], Chewiness: (B/A) [ή (B_1/A_2)] x P1 x D_s / D_t , Gumminess: $P1 \times (B/A)$ [ή (B_1/A_2)], Adhesiveness: A3)

2.3.1 Σκληρότητα

Η σκληρότητα αυξάνεται με την πάροδο των ημερών και το ψωμί με προζύμι φαίνεται να είναι πιο σκληρό από αυτό με μαγιά. Αυτό επιβεβαιώνεται και από τα πειράματα των Sanz-Penella et al. (2011) [187], όπου έγινε έλεγχος υφής σε ψωμί με προζύμι και τα αποτελέσματα έδειξαν πως είναι πιο σκληρό από εκείνο με τη μαγιά και επιπλέον πως όση μεγαλύτερη είναι η περιεκτικότητα του ψωμιού με προζύμι τόσο πιο σκληρή είναι και η υφή του. Η ανάλυση έλαβε χώρα την ημέρα μηδέν με μετρήσεις $2,61 \pm 0,31\text{N}$ για το ψωμί με μαγιά και $2,51 \pm 0,29\text{N}$ έως $3,18 \pm 0,25\text{N}$ για το ψωμί με προζύμι. Επίσης οι Latou et al. ανέρεσαν για την ανάλυση στο ψωμί με μαγιά την ημέρα 0, τιμή σκληρότητας 4,8N, η οποία έφτασε την τιμή 15,7N την 9^η ημέρα αποθήκευσης.

2.3.2 Ελαστικότητα

Η ελαστικότητα δηλαδή η ικανότητα των δειγμάτων να επανέλθουν στην αρχική τους κατάσταση φαίνεται να μένει σταθερή και να αυξάνεται ελάχιστα κατά τη συντήρηση

των δειγμάτων. Στον Πίνακα 5 παρατηρείται πως το ψωμί με μαγιά έχει καλύτερη δυνατότητα επαναφοράς και επομένως ελαστικότητα, από το ψωμί με προζύμι.

Πίνακας 4: Επίδραση της προσθήκης προζυμιού στις σκληρότητα ψωμιού σίτου κατά την αποθήκευση

Σκληρότητα(Hardness)			
Μαγιά		Προζύμι	
Ημέρες	(N)	Ημέρες	(N)
0	4,06 ± 0,59	0	7,15 ± 1,94
2	4,76 ± 2,58	2	18,37 ± 1,88
4	11,78 ± 3,53	4	26,21 ± 6,84
6	11,88 ± 3,42	6	49,34 ± 11,42
8	12,52 ± 3,02	8	39,43 ± 7,67
		10	35,4 ± 5,89
		12	53,78 ± 10,07
		14	52,65 ± 10,68
		16	58,6 ± 10,83
		18	48,09 ± 16,2

Πίνακας 5: Επίδραση της προσθήκης προζυμιού στην ελαστικότητα ψωμιού σίτου κατά την αποθήκευση

Ελαστικότητα(Springiness)			
Μαγιά		Προζύμι	
Ημέρες	mm	Ημέρες	mm
0	3,76 ± 0,92	0	1,74 ± 0,39
2	4,53 ± 0,85	2	1,91 ± 0,6
4	5,07 ± 0,7	6	2,07 ± 0,12
6	3,42 ± 0,62	10	3,28 ± 0,3
8	4,72 ± 0,5	12	2,51 ± 0,49
		14	2,93 ± 0,36
		16	2,76 ± 0,35
		18	2,21 ± 0,61

2.3.3. Συνεκτικότητα

Η συνεκτικότητα (Πίνακας 6) των δύο δειγμάτων φαίνεται να μειώνεται κατά τη διάρκεια της συντήρησης. Το ψωμί με προζύμι είναι πιο συνεκτικό από αυτό με μαγιά αλλά η διαφορά στις τιμές τους δεν είναι μεγάλη ($p > 0,05$). Παρά την μικρή διαφορά στις τιμές το ψωμί με προζύμι φαίνεται να είναι πιο συνέκτικο, από τα σχόλια των κριτών κατά τον οργανοληπτικό έλεγχο.

Πίνακας 6: Επίδραση της προσθήκης προζυμίου στην συνεκτικότητα ψωμιού σίτου κατά την αποθήκευση

Συνεκτικότητα(Cohesiveness)			
Μαγιά		Προζύμι	
Ημέρες	ratio	Ημέρες	ratio
0	0,67 ± 0,08	0	0,71 ± 0,09
2	0,35 ± 0,01	2	0,35 ± 0,02
4	0,14 ± 0,03	4	0,35 ± 0,04
6	0,17 ± 0,08	6	0,25 ± 0,02
8	0,12 ± 0,05	8	0,27 ± 0,03
		10	0,27 ± 0,04
		12	0,20 ± 0,01
		14	0,21 ± 0,02
		16	0,19 ± 0,02
		18	0,16 ± 0,02

2.3.4. Κολλητικότητα

Η κολλητικότητα (Πίνακας 7) είναι η ενέργεια που απαιτείται για τη μάζηση του φαγητού μέχρι να είναι έτοιμο για κατάποση. Παρατηρείται να είναι μεγαλύτερη στο ψωμί με προζύμι, που είναι λογικό αφού και η σκληρότητα είναι μεγαλύτερη. Επίσης αυξάνεται κατά τη συντήρηση στο ψωμί με μαγιά μέχρι τη δεύτερη ημέρα, ενώ στο ψωμί με προζύμι μέχρι την έκτη ημέρα και έπειτα οι τιμές παρουσιάζουν μια σταθερότητα.

2.3.5 Μασητικότητα

Παρόμοια αποτελέσματα προκύπτουν για τη μασητικότητα (Πίνακας 8), η οποία είναι η ενέργεια που απαιτείται για τη μάζηση ενός τρόφιμο. Το ψωμί με προζύμι απαιτεί μεγαλύτερη κατανάλωση ενέργειας, γεγονός που συμφωνεί και με τα παραπάνω. Η τιμή

της μασητικότητα αυξάνεται κατά τη συντήρηση στο ψωμί με μαγιά μέχρι τη δεύτερη ημέρα ενώ στο ψωμί με προζύμι μέχρι την έκτη ημέρα.

Πίνακας 7: Επίδραση της προσθήκης προζυμιού στην κολλητικότητα – αίσθηση κομμώδους ψωμιού σίτου κατά την αποθήκευση

Κολλητικότητα-αίσθηση κομμώδους (Gumminess)			
Μαγιά		Προζύμι	
Ημέρες	(N)	Ημέρες	(N)
0	1,38 ± 0,05	0	5,17 ± 0,8
2	1,9 ± 0,79	2	6,17 ± 0,72
4	1,98 ± 1,38	4	8,91 ± 1,3
6	1,73 ± 0,04	6	12,17 ± 2,02
8	1,63 ± 0,96	8	10,65 ± 1,56
		10	12,68 ± 1,8
		12	10,48 ± 1,71
		14	11,24 ± 2,84
		16	11,25 ± 2,65
		18	11,82 ± 3,18

Πίνακας 8: Επίδραση της προσθήκης προζυμιού στη μασητικότητα ψωμιού σίτου κατά την αποθήκευση

Μασητικότητα(Chewiness)			
Μαγιά		Προζύμι	
Ημέρες	(N)	Ημέρες	(N)
0	16,6 ± 1,3	0	74,22 ± 8,39
2	28,37 ± 6,19	2	75,14 ± 8,76
4	24,04 ± 3,85	4	108,49 ± 15,94
6	19,67 ± 1,19	6	147,81 ± 24,32
8	19,67 ± 1,66	8	130,13 ± 18,99
		10	132,73 ± 22,02
		12	128,02 ± 20,99
		14	137,42 ± 24,77
		16	137,52 ± 32,35
		18	125,44 ± 18,67

Η μεταβολή των μηχανικών παραμέτρων του ψωμιού μάρτυρα έρχονται σε γενική συμφωνία με το πείραμα των Ho et al. (2014) [191], οι οποίοι μελέτησαν την σκληρότητα, την ελαστικότητα και την συνεκτικότητα στο ψωμί με μαγιά που χρησιμοποίησαν ως μάρτυρα για τα πειράματά τους. Παρατήρησαν ότι κατά τη συντήρηση η σκληρότητα(hardeness) αυξάνεται, η συνεκτικότητα (cohesiveness) μειώνεται και η ελαστικότητα(springiness) παραμένει σταθερή.

Οι Rinaldi et al. (2016) [213] σε ανάλυση υφής(TPA) που έκαναν σε ψωμί με μαγιά και ψωμί με προζύμι για διάστημα 5 ημερών παρατήρησαν ότι το ψωμί με προζύμι είναι πιο σκληρό από εκείνο με τη μαγιά και η σκληρότητα(hardness) αυξάνεται με την πάροδο των ημερών και για τα δύο. Η συνεκτικότητα(cohesiveness) φάνηκε να είναι μεγαλύτερη για το ψωμί με μαγιά, απ' ό,τι για το ψωμί με προζύμι, σε αντίθεση με την παρούσα εργασία που δείχνει ότι το ψωμί με προζύμι είναι πιο συνεκτικό αν και η διαφορά μεταξύ τους είναι μικρή, και μειώνεται με την πάροδο των ημερών και για τα δύο. Η μασητικότητα(chewiness) ήταν μεγαλύτερη για το ψωμί με προζύμι και παρουσιάζει αύξηση κατά τη συντήρηση.

Οι Casada et al. (2017) [214] ανέλυσαν τον αντίκτυπο που έχουν οι συνθήκες ζύμωσης του προζυμιού στο προζύμι, στην ζύμη για ψωμί, καθώς και στο τελικό ψημένο ψωμί, για διάφορες ιδιότητες του προϊόντος. Μελετήθηκε η υφή με TPA(texture profile analysis) για φρεσκοψημένο ψωμί και τα αποτελέσματα δείχνουν ότι το ψωμί με προζύμι έχει αυξημένη σκληρότητα(hardness) και μασητικότητα(chewiness) σε σχέση με αυτό με τη μαγιά, ενώ οι τιμές ελαστικότητας(springiness) και συνεκτικότητας(cohesiveness) δεν παρουσιάζουν διαφορά. Η τιμή της κολλητικότητας – αίσθησης κομμώδους(gumminess) είναι αυξημένη στο ψωμί με προζύμι επίσης.

Τέλος οι Hadaegh et al. (2017) [215] και οι Jankoviene et al. (2016) [192] επισήμαναν ότι η προσθήκη προζυμιού σε ψωμί του τοστ μειώνει τη σκληρότητα του ψωμιού σε αντίθεση με την παρούσα μελέτη.

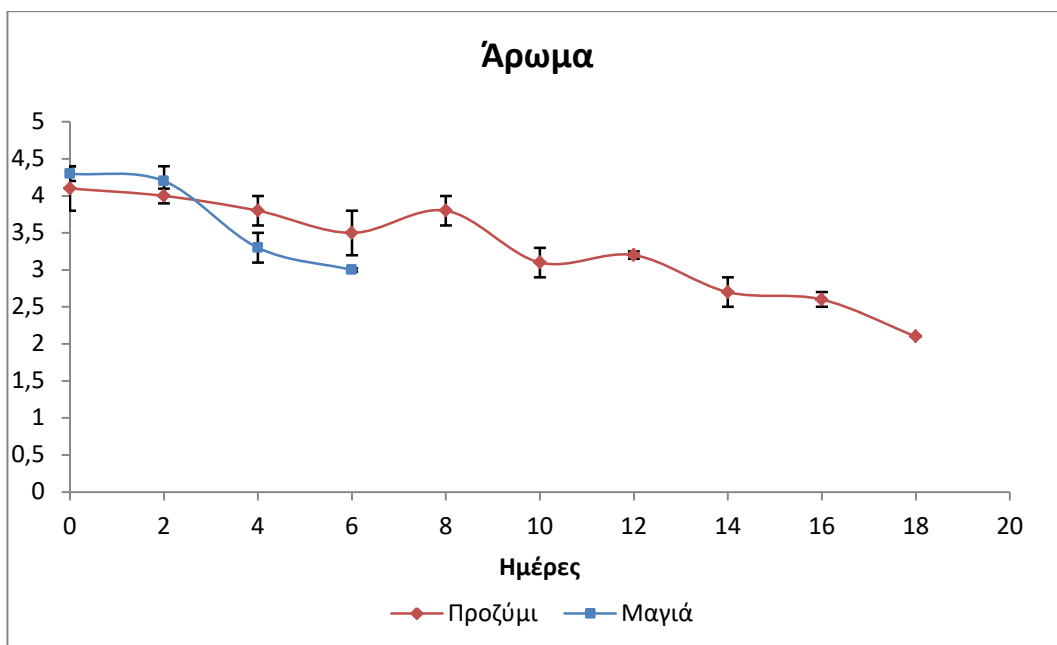
3.Οργανοληπτικός έλεγχος

Ο προσδιορισμός των οργανοληπτικών παραμέτρων στα τρόφιμα γίνεται με μεθόδους αντικειμενικές (objective) και υποκειμενικές (subjective). Τυπικό παράδειγμα οργανοληπτικής αξιολόγησης της ποιότητας με υποκειμενικές μεθόδους αποτελεί η δοκιμή αποδοχής (acceptability test). Κατά τη μέθοδο αυτή οι δοκιμαστές είναι μη εκπαιδευμένοι και καλούνται να εκφράσουν την προσωπική τους γνώμη για τα οργανοληπτικά χαρακτηριστικά του τροφίμου. Οι υποκειμενικές μέθοδοι κάνουν ακόμη χρήση ημι- εκπαιδευμένων δοκιμαστών οι οποίοι αξιολογούν με βάση τις διαφορές στα χαρακτηριστικά του υπό εξέταση προϊόντος (difference tests, discrimination) ή εκπαιδευμένων που αξιολογούν με βάση τη περιγραφή των χαρακτηριστικών του τροφίμου (descriptive tests).

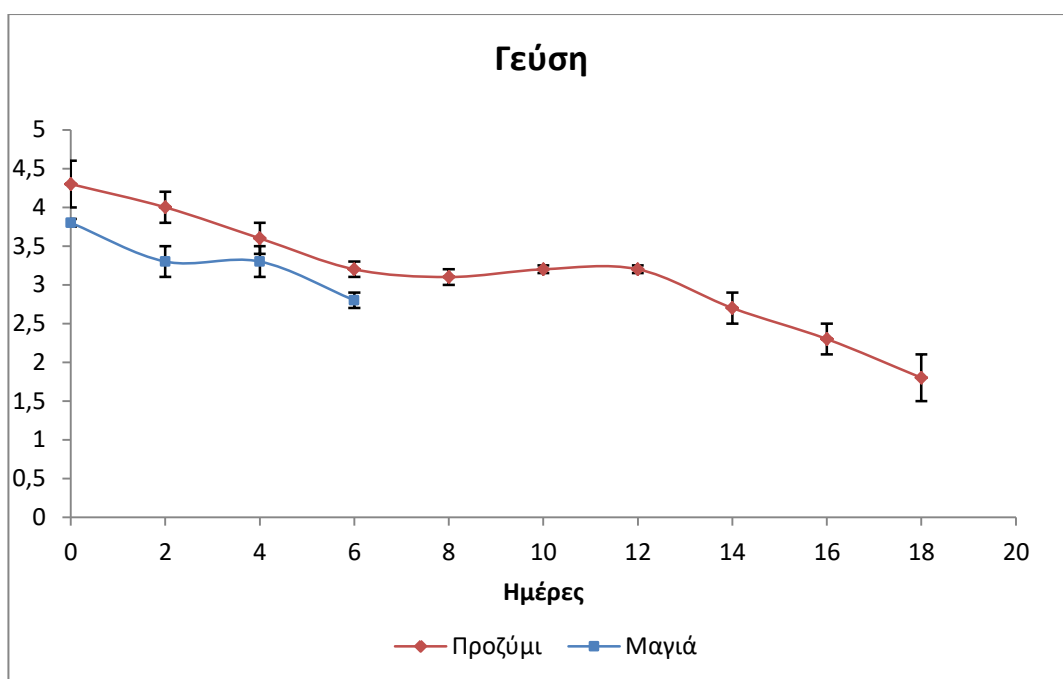
Στην παρούσα μελέτη ο οργανοληπτικός έλεγχος πραγματοποιήθηκε από μια ομάδα 51 μη εκπαιδευμένων κριτών αποτελούμενη από φοιτητές και καθηγητές του Τμήματος Χημείας του Πανεπιστημίου Ιωαννίνων μέσω αξιολόγησης της γεύσης, της οσμής, της υφής και της εμφάνισης των δειγμάτων ψωμιού για όλες τις ημέρες συντήρησης. Τα αποτελέσματα δίνονται στα σχήματα 19, 20, 21 και 22 παρακάτω.

Τόσο η οσμή/άρωμα (Σχήμα 19) όσο και η γεύση (Σχήμα 20) εμφάνισαν παρόμοια τάση μείωσης της αποδοχής με την πάροδο του χρόνου συντήρησης και αποδείχτηκαν εξίσου ευαίσθητες στην εκτίμηση της ποιότητας του ψωμιού.

Κατά την αξιολόγηση της γεύσης και της οσμής σε 5-βάθμια κλίμακα λήφθηκε ως όριο αποδοχής ο βαθμός 3. Τα δείγματα του ψωμιού με μαγιά απορρίφθηκαν μετά από 5-6 ημέρες, ενώ τα δείγματα του ψωμιού με προζύμι απορρίφθηκαν μετά από 13 ημέρες.

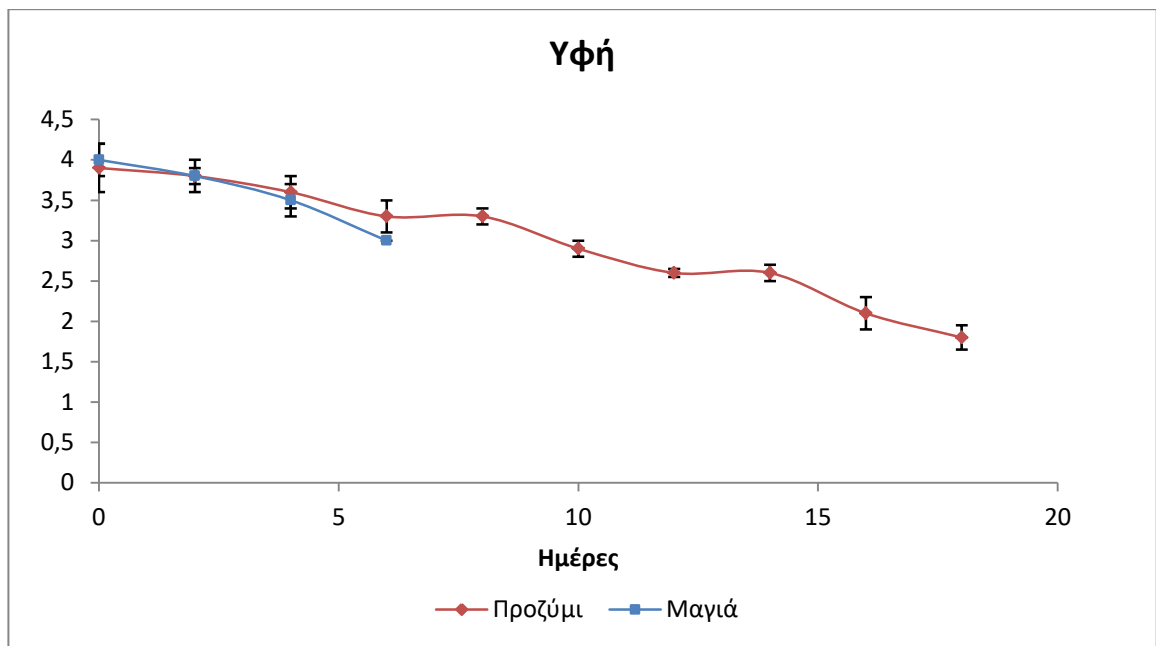


Σχήμα 19: Επίδραση της προσθήκης προζυμίου και του χρόνου αποθήκευσης στο άρωμα ψωμιού σίτου

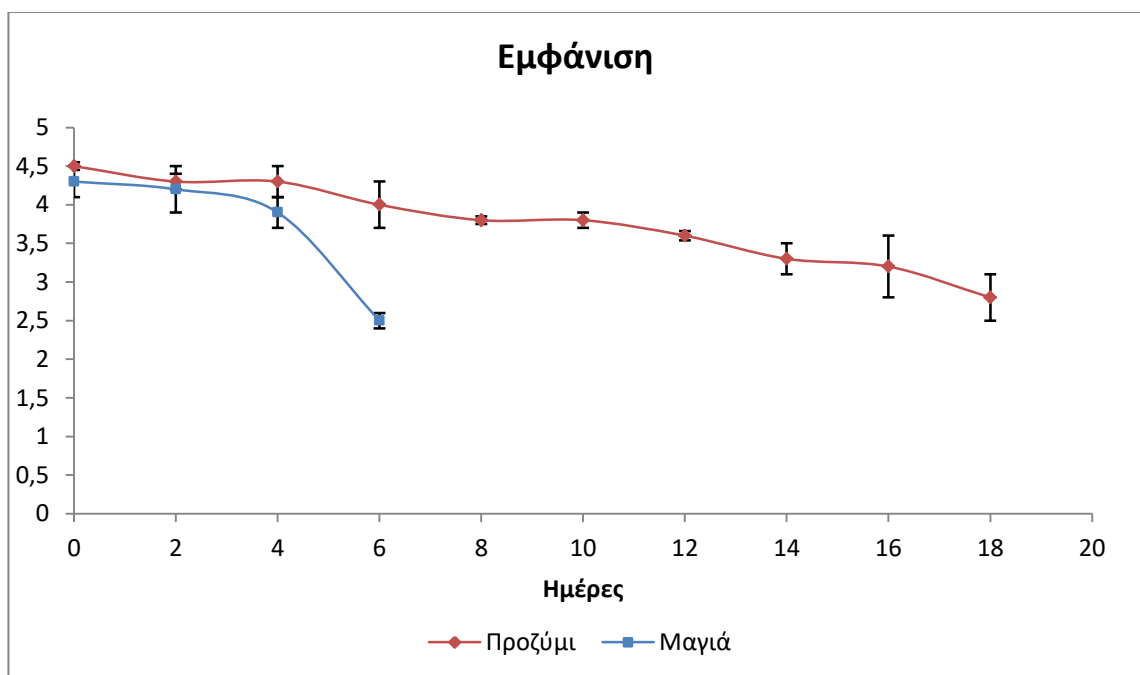


Σχήμα 20: Επίδραση της προσθήκης προζυμίου και του χρόνου αποθήκευσης στην γεύση ψωμιού σίτου

Παρόμοια αποτελέσματα καταγράφηκαν και στην αξιολόγηση της υφής (Σχήμα 21) κατά την οποία τα δείγματα ψωμιού με μαγιά και ψωμιού με προζύμι απορρίφθηκαν μετά από 5 και 10 ημέρες αντίστοιχα. Τέλος με βάση τα αποτελέσματα της εμφάνισης (Σχήμα 22) τα δείγματα ψωμιού με προζύμι και ψωμιού με μαγιά απορρίφθηκαν μετά από 5 και 16 μέρες αντίστοιχα.



Σχήμα 21: Επίδραση της προσθήκης προζυμιού και του χρόνου αποθήκευσης στην υφή ψωμιού σίτου

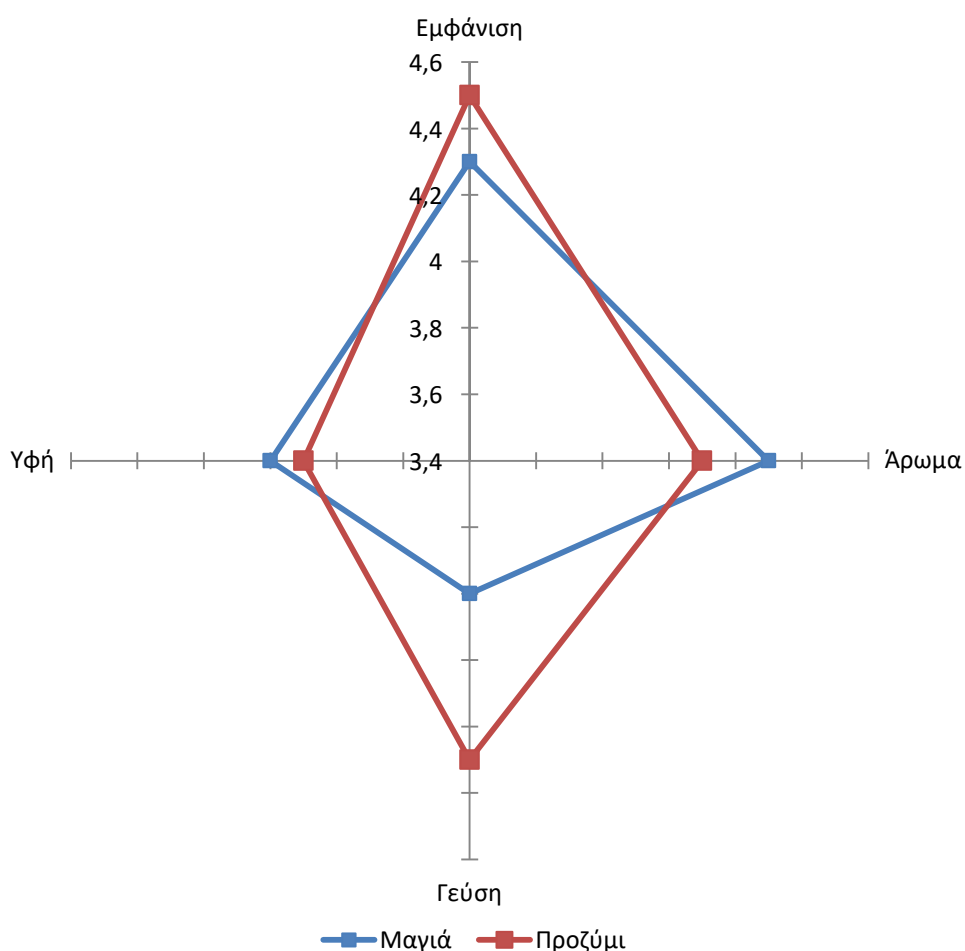


Σχήμα 22: Επίδραση της προσθήκης προζυμιού και του χρόνου αποθήκευσης στην εμφάνιση ψωμιού σίτου

Τα αποτελέσματα του οργανοληπτικού ελέγχου συμπίπτουν με τις υπόλοιπες αναλύσεις. Όταν αλλοιώνεται μικροβιολογικά το προϊόν ξεκινάει και η απόρριψη από τούς κριτές. Οι αισθητές διαφορές που παρατηρούνται σχετίζονται με το άρωμα και την αυξημένη όξινη γεύση του ψωμιού με προζύμι. Η υφή αποδείχτηκε η πιο ευαίσθητη

οργανοληπτική παράμετρος για το ψωμί (χρόνος ζωής του προϊόντος 5 και 10 ημέρες αντίστοιχα για το ψωμί με μαγιά και προζύμι).

Στα παρακάτω αραχνογράμματα φαίνεται η αξιολόγηση των δύο προϊόντων για τις παραμέτρους εμφάνιση, γεύση, άρωμα και υφή κατά την ημέρα παρασκευής των ψωμιών (Σχήμα 23).



Σχήμα 23: Οργανοληπτική αξιολόγηση ψωμιού με μαγιά και ψωμιού με προζύμι την ημέρα παρασκευής τους

Παρατηρείται ότι οι βαθμολογίες για την εμφάνιση και την γεύση είναι πιο ψηλές για το ψωμί με προζύμι (4,5 και 4,3 αντίστοιχα) σε σχέση με το ψωμί με μαγιά (4,3 και 3,8 αντίστοιχα). Για την υφή τα δύο προϊόντα κρίθηκαν με βαθμολογίες 3,9 (ψωμί με μαγιά) και 4,0 (ψωμί με προζύμι). Όσον αφορά το άρωμα, το ψωμί με μαγιά έλαβε μεγαλύτερη βαθμολογία (4,3) σε σχέση με το ψωμί με προζύμι (4,1).

Οι Mohsen et al. (2016) [189] διεξήγαγαν οργανοληπτικό έλεγχο σε ψωμιά που περιείχαν διάφορα ποσοστά γαλακτικών βακτηρίων και παρατήρησαν ότι όσον αφορά την

υφή, την οσμή και τη γεύση τα ψωμιά που περιείχαν γαλακτικά βακτήρια πήραν καλύτερες βαθμολογίες από τους κριτές σε σχέση με το ψωμί μάρτυρα.

Οι Edeghor U. et al. (2016) [216] έκαναν οργανοληπτικό έλεγχο σε ψωμί με μαγιά, σε ψωμί με γαλακτικά βακτήρια και σε ψωμί με μαγιά και γαλακτικά βακτήρια (το πλησιέστερο σε ψωμί με προζύμι). Μεγαλύτερες βαθμολογίες για γεύση και άρωμα είχε το ψωμί με τα γαλακτικά βακτήρια και στη συνέχεια εκείνο με τη μικτή καλλιέργεια. Για την εμφάνιση και την υφή μεγαλύτερες βαθμολογίες πήρε το ψωμί με την μικτή καλλιέργεια και εν συνεχεία εκείνο με τη μαγιά. Σε παρόμοια συμπεράσματα οδηγήθηκαν και οι Quintero Lira A. et al. (2014) [217] σε οργανοληπτικό έλεγχο δειγμάτων ψωμιού με μαγιά και ψωμιού με *Lb. paracasei* και μαγιά. Τα δείγματα ψωμιού με τη μεικτή καλλιέργεια είχαν υψηλότερες βαθμολογίες σε εμφάνιση, υφή, γεύση και άρωμα σε σχέση με εκείνα με τη μαγιά.

Τα συμπεράσματα αυτά έρχονται επίσης σε συμφωνία με τον οργανοληπτικό έλεγχο που πραγματοποιήθηκε από τους Casada A. et al. (2017) [214] σε δείγματα ψωμιού με προζύμι και χωρίς προζύμι. Παρόμοια αποτελέσματα παρουσίασαν οι Oloyede et al. (2013) [189] σε έλεγχο ψωμιού με μαγιά την ημέρα 0. Επίσης οι Hadaegh et al. (2017) [215] και οι Hansen and Hansen (1996) [203] παρατήρησαν ότι οι κριτές έδειξαν προτίμηση σε ψωμί με προζύμι σε σχέση με το ψωμί με μαγιά.

Συμπεράσματα

Τα γενικά συμπεράσματα που μπορούν να εξαχθούν από τα αποτελέσματα της παρούσας έρευνας είναι τα εξής:

□ Η παρασκευή ψωμιού με χρήση προζυμίου είναι μια διαδικασία χρονοβόρα σε σχέση με την διαδικασία παρασκευής ψωμιού με μαγιά, καθώς είναι μια διαδικασία περισσότερων σταδίων. Ωστόσο αν και πρόκειται για προϊόν επίπονης διαδικασίας, το τελικό ψωμί που προκύπτει έχει πιο επιθυμητές ιδιότητες (υφή, γεύση, άρωμα, ικανότητα συντήρησης), οι οποίες το καθιστούν μοναδικό.

□ Η μικροβιολογική ανάλυση έδειξε ότι συγκριτικά με το ψωμί της μαγιάς, το ψωμί με προζύμι έχει αύξηση του μικροβιολογικού χρόνου ζωής κατά 10 ημέρες. Το προζύμι έχει την ικανότητα να αναστέλλει την ανάπτυξη των μικροοργανισμών λόγω του όξινου περιβάλλοντος που δημιουργεί η ανάπτυξη των γαλακτικών βακτηρίων.

□ Το παθογόνο βακτήριο *Bacillus cereus* την 5η ημέρα συντήρησης του ψωμιού με μαγιά (τέλος του εμπορικού χρόνου ζωής του προϊόντος) είχε πληθυσμό περίπου $6 \log \text{ cfu/g}$, υψηλότερο από την τιμή $5 \log \text{ cfu/g}$, όριο πάνω από το οποίο το βακτήριο αυτό έχει πιθανότητα να προκαλέσει τροφομόλυνση.

□ Η υφή του ψωμιού αναλύθηκε με TPA και από τα αποτελέσματα προκύπτει ότι οι παράμετροι που προσδιορίστηκαν (σκληρότητα, συνεκτικότητα, ελαστικότητα, κολλητικότητα, μασητικότητα) βρέθηκαν να έχουν υψηλότερες τιμές στο ψωμί με προζύμι σε σχέση με το ψωμί με μαγιά. Επίσης όλες οι παράμετροι είχαν αυξητική ή σχετικά σταθερή πορεία κατά τη συντήρηση, εκτός από τη συνεκτικότητα που μειώθηκε.

□ Ο οργανοληπτικός έλεγχος που έγινε, έδειξε διαφορές στο άρωμα και στην όξινη γεύση του ψωμιού με προζύμι, καθώς και αυξημένη συνεκτικότητα. Σύμφωνα με τα αποτελέσματα της οργανοληπτικής αξιολόγησης, η παράταση του χρόνου ζωής του ψωμιού με προζύμι ήταν περίπου 5 ημέρες (5 ημέρες για το ψωμί με μαγιά και 10 ημέρες για το ψωμί με προζύμι).

□ Η ανάλυση GC-MS/MS έγινε στα δείγματα με σκοπό την ανάλυση των πτητικών στοιχείων για το άρωμα του ψωμιού. Οι συγκεντρώσεις των αρωματικών ενώσεων είναι σε χαμηλά επίπεδα της τάξης των ppb. Η μεγαλύτερη διαφορά που παρατηρείται είναι η παρουσία οξικού οξέος μόνο στο ψωμί με προζύμι, που προκύπτει από ετεροζυμωτικά γαλακτικά βακτήρια με γαλακτική ζύμωση. Το γεγονός αυτό συμβαδίζει και με τις

μετρήσεις που δείχνουν αυξημένη οξύτητα στο ψωμί με προζύμι. Επίσης, εκτός του οξικού οξέος, εντοπίζονται κάποιες ενώσεις στο ένα ψωμί που δεν εντοπίζονται στο άλλο όπως η φουρφουράλη, η οποία ανιχνεύθηκε μόνο στο ψωμί με προζύμι και η ακετοΐνη και το διακετύλιο, που ανιχνεύθηκαν μόνο στο ψωμί με μαγιά.

□ Η στατιστική ανάλυση έδειξε πως υπάρχει σημαντική στατιστική διαφορά μεταξύ του ψωμιού με προζύμι και του ψωμιού με μαγιά όσον αναφορά τις μικροβιολογικές αναλύσεις, τις μετρήσεις του pH και της οξύτητας, την ανάλυση πτητικών ενώσεων, την ανάλυση της υφής (εκτός από την παράμετρο της συνεκτικότητας, που δεν υπάρχει στατιστικά σημαντική διαφορά) και τις βαθμολογίες του οργανοληπτικού ελέγχου ($p < 0,05$).

ΠΕΡΙΛΗΨΗ

Αντικείμενο της παρούσας έρευνας ήταν η διαφοροποίηση, σε ποιοτική και ποσοτική βάση, του ψωμιού που παράγεται με μαγιά και του ψωμιού που παράγεται με προζύμι. Για το σκοπό αυτό παρασκευάστηκε ψωμί με προζύμι και συμβατική μαγιά αντίστοιχα. Στο ψωμί πραγματοποιήθηκαν μικροβιολογικές αναλύσεις (ΟΜΧ, γαλακτικά βακτήρια, Εντεροβακτηριοειδή, Ζύμες-μύκητες και *B. cereus*). Επιπλέον έγιναν μετρήσεις του pH καθώς και προσδιορισμός της Ολικής Ογκομετρούμενης Οξύτητας (ΟΟΟ) – Total Titratable Acidity (TTA). Επιπροσθέτως μελετήθηκε το αρωματικό τους προφίλ με την τεχνική της HS-SPME-GC/MS, καθώς επίσης έγινε και η αξιολόγηση της υφής τους με την μέθοδο texture profile analysis (TPA) με δυναμόμετρο Instron. Τέλος έγινε οργανοληπτική αξιολόγηση, στην οποία αξιολογήθηκαν η εμφάνιση, η υφή, η γεύση και το άρωμα του ψωμιού.

Η δειγματοληψία γινόταν ανά διαστήματα δύο ημερών από την ημέρα 0 έως την ημέρα 8 για τα δείγματα ψωμιού με μαγιά και από την ημέρα 0 έως την ημέρα 18 για τα δείγματα ψωμιού με προζύμι. Το πείραμα τερματίστηκε όταν τα δείγματα δεν ήταν πλέον οργανοληπτικά αποδεκτά από τον καταναλωτή.

Τα αποτελέσματα έδειξαν ότι η διάρκεια ζωής του ψωμιού αυξάνεται από 5 σε 10 ημέρες με την προσθήκη προζυμιού. Η ανάπτυξη μικροοργανισμών καταστέλεται λόγω του όξινου περιβάλλοντος στο ψωμί με προζύμι και επομένως αυξάνεται ο χρόνος ζωής του προϊόντος. Για την ολική μεσόφιλη χλωρίδα ο πληθυσμός $7 \log \text{cfu/g}$ έφτασε την τιμή 7 την 7^η-8^η ημέρα συντήρησης για το ψωμί με μαγιά ενώ για το ψωμί με προζύμι δεν ξεπέρασε την τιμή 4 μέχρι και το τέλος του πειράματος (18^η ημέρα). Οι μετρήσεις του pH και της οξύτητας έδειξαν ότι το ψωμί με προζύμι ήταν πιο όξινο. Οι τιμές pH και οξύτητας (σε ml NaOH 0.1N) για το ψωμί με προζύμι κυμάνθηκαν μεταξύ των τιμών 6,71 – 6,36 και 7,9 – 8,7 αντιστοίχα, ενώ για το ψωμί με μαγιά μεταξύ των τιμών 5,7 – 5,5 και 4 – 6,75 αντιστοίχα. Η ανάλυση των πτητικών συστατικών των δύο ψωμιών με SPME-GC/MS έδειξε ότι οι κύριες ενώσεις που ανιχνεύονται είναι: αιθανόλη, εξανόλη, εξανάλη, 1-οκτέν-3-όλη, επτανάλη, εξάνιο, εννεανάλη, 3-μέθυλο-βουτανάλη, 3-μέθυλο-βουτανόλη, 2-μέθυλο-βουτανόλη, 2-μέθυλο-προπανόλη και βενζαλδεΐδη. Το οξικό οξύ (παράγωγο γαλακτικής ζύμωσης) και η φουρφουράλη ανιχνεύτηκαν μόνο στο ψωμί με προζύμι, ενώ ακετοΐνη (3-

υδροξυ-βουτανόνη) και διακετύλιο (2,3-βουτανοδιόνη) ανιχνεύτηκαν μόνο στο ψωμί με μαγιά.

Η ανάλυση υφής έδειξε ότι το ψωμί με προζύμι είναι ένα σκληρό, λιγότερο ελαστικό και πιο συνεκτικό προϊόν σε σχέση με το ψωμί με τη μαγιά. Οργανοληπτικά το ψωμί με προζύμι είχε πιο πλούσιο άρωμα και ξινή γεύση σύμφωνα με τα σχόλια των κριτών.

ABSTRACT

The objective of this study was to differentiate bread was prepared using baker's yeast and sourdough on a qualitative and quantitative basis. For this purpose bread was prepared using baker's yeast and sourdough respectively. Microbiological analysis (TVC, lactic acid bacteria, Enterobacteriaceae, yeast – moulds and *B. cereus*) was performed on the two different types of bread. In addition, pH was measured as well as total titratable acidity (TTA). Additionally, their aromatic profile was studied with the SPME-GC/MS technique. Texture profile analysis (TPA) was carried out using an Instron dynamometer. Finally, organoleptic evaluation was carried out concerning the appearance, texture, taste and aroma of bread.

Sampling was carried out at two-day intervals from day 0 to day 8 for the yeast bread samples and from day 0 to day 18 for the sourdough bread samples. The experiment was terminated when samples were no longer organoleptically acceptable to the consumer.

The results showed that the shelf life of bread increased from 5 to ten days when sourdough was used. The microbiological growth was suppressed due to the acidic environment of sourdough bread and thus microbiological shelf life increased. For total mesophilic bacteria, reached 7 log cfu/g on the 7th – 8th day of storage for yeast bread, while for sourdough bread, it did not exceed the value 4 log cfu/g until the end of storage (day 18). pH and acidity measurements indicated that sourdough bread is more acidic. pH and acidity values (in mlNaOH 0.1N) for sourdough bread were between 6.71 - 6.36 and 7.9 - 8.7 respectively, while for yeast bread between 5.7 - 5.5 and 4 - 6.75 respectively. SPME-GC/MS analysis of flavor compounds showed that the main compounds detected in both breads are: ethanol, hexanol, hexanal, 1-octene-3-ol, heptanal, hexane, nonalane, 3-methylbutanal, 3-methylbutanol, 2-methylbutanol, 2-methylpropanol and benzaldehyde. Acetic acid and furfural were detected only in the sourdough bread.

Texture analysis showed that sourdough bread is harder, less elastic and more consistent than yeast bread. Organoleptically, sourdough bread has a richer aroma and sour taste according to the panelists' comments. Chromatographic analysis mainly showed the presence of acetic acid, which is absent from yeast bread as it derives from lactic acid fermentation.

Βιβλιογραφία

1. Zohary D., (1969), *"The progenitors of wheat and barley in relation to domestication and agricultural dispersion on the Old World"* in *"The domestication and exploitation of plants and animals"*, editors Ucko P.J., Dimbleby B.W., Gerald Duckworth & Co., London, 47-66
2. Wood E., (1989) *"World sourdoughs from antiquity"*, Sinclair Pub, Cascade, Idaho
3. Nagodawithana T.W, Trivedi N., (1990), *"Yeast selection for baking"* in *"Yeast Strain Selection"*, editor Panchal C.J., Marcel Decker, New York, 139-184
4. Hammond P.W., (1995), *"Food and Feast in Medieval England"*, Alan Sutton Pub, Stroud, UK
5. Reed G., Nagodawithana T.W., (1991) *"Yeast Technology"*, Van Nostrand-Reinhold, New York
6. Euromonitor, (1993), *"The world market for bakery products and breakfast cereals – Executive Summary, Overview, Product trends and developments"*, Euromonitor/Strategy 2000
7. Faridi H., (1988), *"Flat Breads"* in *"Wheat: Chemistry and Technology"*, editor Pomeranz Y., American Association of Cereal Chemists, St. Paul, Min, 457-506
8. Anon., (1995a), *"Britain: Dominated by big industry"*, European Baker, 6, 31-43
9. Faridi H., Faubion G.M., (1995), *"Wheat Usage in N.America"* in *"Wheat end uses around the world"*, editors Faridi H., Faubion G.M., American Association of Cereal Chemists, St. Paul, Minnesota, USA
10. Stear C.A., (1990), *"Handbook of breadmaking technology"*, Elsevier Science Publishers, Devon, UK, 3, 679-708
11. Matz S.A., (1989), *"Formulas and processes for bakers"*, Elsevier Science Publishers, Barking, UK
12. <http://el.wikipedia.org/wiki/Ψωμί>
13. Anon., (1994), *"Submission to JMPR on the proposed changes to the ERL for DDT. Information on monitoring DDT residue data for meat by the Ministry of Agriculture"*, New Zealand, Unpublished data

14. Mailhot W.C., Patton J.C., (1988), "*Criteria of flour quality in wheat*" in "*Wheat: Chemistry and Technology*", editor Pomeranz Y., American Association of Cereal Chemist, St. Paul, Minnesota, 69-90
15. Lineback D.R., Rasper V.F., (1988) "*Wheat Carbohydrates*" in "*Wheat: Chemistry and Technology*", Vol 1, 3rd ed, editor Pomeranz Y., American Association of Cereal Chemist, St. Paul, Minnesota, 277-372
16. Pomeranz Y., (1988) "*Composition and functionality of wheat flour components*" in "*Wheat: Chemistry and Technology*", Vol 2, 3rd ed, editor Pomeranz Y., American Association of Cereal Chemist, St. Paul, Minnesota, 219-370
17. Pyler E.J., (1988) "*Baking Science and Technology*", 3rd ed, Sosland Publishing Company, USA, 1, 427-433
18. Oda Y., Tonomura K., (1993b) "*Sodium chloride enhances the potential leavening ability of yeast in dough*", Hiroshima, 249-254
19. Levine H., Slade L., (1990), "*Cryostabilization technology: Thermoanalytical evaluation of food ingredients and systems*" in "*Thermal Analysis Of Foods*", editors Harwalkar V.R., Ma C.Y., Elsevier Applied Sciences, London, 221-305
20. Bread research institute of Australia, (1989) "*Australian Breadmaking Handbook*", UNSW Press, Sydney, Australia
21. Moonen J.H.E., Marsden W.J.N., (1995), "*Innovation in functional ingredients for the baking industry*", Food Technology in Europe, 3, 114-120
22. Seiler D.A.L, (1980), "*Yeast spoilage of bakery products*" in "*Biology and Activity of Yeasts*", editor Skinner F.A., Passmore S.M., Davenport R.R., Society for Applied Bacteriology Symposium Series no.9, Academic Press, London, 135-152
23. Doores S., (1993) "*Organic Acids*" in "*Antimicrobials in foods*", editors Davidson P.M., Branen A.L., Marcel Dekker, New York, 95-136
24. Warth, 1991, "*Effects of benzoic acid on glycolytic metabolite levels and intracellular pH in S.cerevisiae*", Applied Environmental Microbiology, 57, 3415-3417
25. Kulp K., Olewnik M., Professor Lorenz K., Collins F., (1991), "*Starch Functionality in Cookie System*", American Institute of Baking, Manhattan, USA
26. Collins T.H., (1978), "*The French baguette and pain Parisien*", F.M.B.R.A. Bulletin, CCFRA, Chipping Campden, 107-116

27. Cornford S.J., (1969), *"Volume and crumb firmness measurements in bread and cake"*, F.M.B.R.A., Report No. 25, FMBRA, Chorleywood, Herts, UK
28. Anderson J., (1995), *"Crust colour assessment of bakery products"*, AIB Technical Bulletin, XVIII, Issue 3, AIB, Manhattan, KS
29. Jian W., Coles G.D., (1993) *"Image processing methods for determining bread texture"*, Crop & Food Research Ltd, New Zealand
30. Amerine M.A., Paugborn R.S., Roessler E.B., (1965) *"Principles of sensory evaluations of food"*, United Kingdom Edition, Academic Press Inc., 7, 321-346
31. Ranhotra G.S., (1991), *"Nutritional quality of cereals and cereal-based foods"* in *"Handbook of cereal science and technology"*, Editors Lorenz K.L., Kulp K., Marcel Dekker, New York, 845-862
32. Miller Jones J., (2005), *"Fibre and whole grains and their role in disease prevention"*, In *"Using cereal science and technology for the benefit of consumer"*, Editors Cauvain S.P., Salmon D.E., Young L.S., Woodhead Publishing Ltd, Cambridge, 110-117
33. Δεληγκάρη Ν.Μ., (1981), *"Μικροβιολογία Τροφίμων"*, ΟΕΔΒ, Αθήνα
34. Ηλιοπούλου Γ., (1984), *"Χημεία Τροφίμων"*, Αθήνα
35. Γρεβενιώτη-Μπαμπατζιμοπούλου Μ., (1982), *"Σημειώσεις Ποιοτικού Ελέγχου Σιτηρών"*, Θεσσαλονίκη
36. Μασούρας Θ. Δρ., (2000), *"Σημειώσεις Τεχνολογίας Προϊόντων Αλεύρου - Αρτοποιίας- Ζαχαροπλαστικής- Μακαρονοποιίας"*, Αθήνα
37. Δημόπουλος Ι.Σ., (1982), *"Τεχνολογία σιτηρών Ι"*, Αθήνα
38. Δημόπουλος Ι.Σ., (1982), *"Τεχνολογία σιτηρών ΙΙ"*, Αθήνα
39. Κώδικας Τροφίμων και Ποτών
40. Ηλιοπούλου Γ., (1983), *"Βιοχημεία"*, Αθήνα
41. Bushuk W., (1985), *"Flour proteins: Structure and functionality in dough and bread"*, Cereal Foods World, 30, 447-451
42. Hosney R.C., (1985), *"The mixing phenomenon"*, Cereal Foods World, 30, 453-457
43. Michniewicz J., Biliaderis C.G., Bushuk W., (1990), *"Water-Insoluble Pentosans of Wheat: Composition and Some Physical Properties"*, Cereal Chemistry, 47, 434-439
44. Daniels N.W.R., Wendy Richmond J. Russell Eggitt P.W., Coppock J.B.M., (1976), *"Studies on the lipids of flour III: Lipid binding in breadmaking"*, Journal of Science of Food and Agriculture, 17, 20-29

45. Wootton M., (1976), *"Binding and extractability of wheat flour lipid after dough formation"*, Journal of Science of Food and Agriculture, 17, 297-301
46. DeStefanis V.A., Ponte J.G.Jr., Chung F.H., Ruzza N.A., (1977), *"Binding of crumb softeners and dough strengtheners during breadmaking"*, Cereal Chemistry, 54, 13-24
47. Schroeder L.F., Hoseney R.C., (1978), *"Mixograph studies II: Effects of activated double-bond compounds on dough-mixing properties"*, Cereal Chemistry, 55, 348-360
48. Bernardin J.E., Kasarda D.D., (1973), *"Hydrated protein fibrils from wheat endosperms"*, Cereal Chemistry, 50, 529-536
49. Amend T., Belitz H.D., (1990), *"The formation of dough and gluten – a study by scanning electron microscopy"*, Zeitschrift für Lebensmittel-Untersuchung und –Forschung, 190, 401-409
50. Amend T., (1995), *"Der Mechanismus der Teigbildung: Vorstoß in den molekularen Strukturbereich"*, Getreide Mehl und Brot, 49, 359-362
51. Graveland A., Bosveld P., Lichtendonk W.J., Marseille J.P., Moonen J.H.E., Scheepstra, (1985), *"A model for the molecular structure of the glutenins from wheat flour"*, Journal of Cereal Science, 3, 1-16
52. Orth R.A., Bushuk W., (1972), *"A comparative study of the proteins of wheat of diverse baking qualities"*, Cereal Chemistry, 49, 268-275
53. Singh N.K., Donovan G.R., MacRitchie F., (1990), *"Use of Sonication and Size-Exclusion High-Performance Liquid Chromatography in the Study of Wheat Flour Proteins. II. Relative Quantity of Glutenin as a Measure of Breadmaking Quality"*, Cereal Chemistry, 67, 161-170
54. Grosskreutz J.C., (1961), *"A lipoprotein model of wheat gluten structure"*, Cereal Chemistry, 64, 343-348
55. Chung O.K., (1986), *"Lipid-protein interactions in wheat flour, dough, gluten and protein fractions"*, Cereal Foods World, 31, 242-256
56. Ewart J.A.D., (1977), *"Re-examination of the linear gluten hypothesis"*, Journal of Science of Food and Agriculture, 28, 191-199
57. Wrigley C.W., Andrews J.L., Bekes F., Gras P.W., Gupta R.B., Macrithies F., Skeritt J.H., (1998), *"Protein-protein interactions – essential to dough rheology"* in *"Interactions: Keys to Cereal Quality"*, editors Hamer R.J., Hoseney R.C., American Association of Cereal Quality, St. Paul, Minnesota, 17-46

58. Tilley K.A., Benjamin R.E., Bagorogoza K.E., Okot-Kotber B.M., Prakash O., Kwen H., (2001), *"Tyrosine cross-links: molecular basis of gluten structure and function"*, Journal of Agricultural and Food Chemistry, 49, 2627-2632
59. Baker J.C., Mize M.D., (1941), *"The origin of the gas cell in bread doughs"*, Cereal Chemistry, 18, 19-34
60. Junge R.C., Hoseney R.C., Varriano-Matston E., (1981), *"Effect of surfactants on air incorporation in dough and the crumb grain of bread"*, Cereal Chemistry, 58, 338-342
61. Chamberlain N., Collin T.H., (1979), *"The Chorleywood Bread Process: the role of oxygen and nitrogen"*, Baker's Digest, 53, 18-24
62. Bechtel W.G., Meisner D.F., Bradley W.B., (1953), *"The effect of the crust on the staling of bread"*, Cereal Chemistry, 39, 160-168
63. Guy R.C.E., Hodge D.G., Robb J., (1983), *"An examination of the phenomena associated with cake staling"*, FMBRA, Report No.107, CCFRA, Chipping Campden, UK
64. Czuchajowska Z., Pomeranz Y., (1989), *"Differential scanning calorimetry, water activity and moisture contents in crumb centre and near crust-zones of bread during spoilage"*, Cereal Chemistry, 66, 305-309
65. Schoch T.J., French D., (1947), *"Studies on bread staling I: Role of starch"*, Cereal Chemistry, 24, 231-249
66. Ring S.G., Colonna P., l'Anson K.J., (1987), *"The gelation and crystallization of amylopectin"*, Carbohydrate Research, 162, 277-293
67. Russell P.L., (1987), *"Aging of gels from starches of different amylose/amylopectin content – a DSC study"*, Journal of Cereal Science, 6, 147-158
68. Martin M.L., Zeleznak K.J., Hoseney R.C., (1991), *"A mechanism of bread firming. 1.Role of starch firming"*, Cereal Chemistry, 68, 498-503
69. Martin M.L., Hoseney R.C., (1991), *"A mechanism of bread firming. 2.Role of starch hydrolyzing enzymes"*, Cereal Chemistry, 68, 503-507
70. Kim S.K., D' Appolonia B.L., (1977a), *"Bread staling studies. I. Effect of protein content on staling rate and bread crumb pasting properties"*, Cereal Chemistry, 54, 207-215
71. He H., Hoseney R.C., (1991), *"Differences in gas retention, protein solubility and rheological properties between flours of different baking quality"*, Cereal Chemistry, 68, 526-530

72. Willhoft E.M.A., (1973a), *"Mechanism and theory of staling of bread and baked goods and associated changes in textural properties"*, Journal of textural studies, 4, 292-322
73. Willhoft E.M.A., (1973b), *"Recent developments on the bread staling problem"*, Bakers' Digest, 47, 14-21
74. Cluskey J.E., Taylor N.W., Senti F.R., (1959), *"Relation of the rigidity of flour, starch and gluten gels to bread staling"*, Cereal Chemistry, 36, 236-246
75. Wynne-Jones S., Blanshard J.M.V., (1986), *"Hydration studies of wheat starch, amylopectin, amylose gels and bread by proton magnetic resonance"*, Carbohydrate Polymers, 6, 289-306
76. Leung H.K., Magnuson J.A., Brainsma B.L., (1983), *"Water binding of wheat flour doughs and breads as studied by deuterio relaxation"*, Journal of Food Science, 48, 95-99
77. Slade L., Levine H., (1987), *"Recent advances in starch retrogradation"* in *"Industrial Polysaccharides: The impact of Biotechnology and Advanced Methodologies"*, editors Stivala S.S., Crescenzi V., Dea I.C.M., Gordon and Breach, New York, 387
78. Rogers D.E., Zeleznak K.J., Lai C.S., Hosney R.C., (1988), *"Effect of native lipids, shortening and bread moisture on bread firming"*, Cereal Chemistry, 65, 398-401
79. Cauvain S.P., Young L.S., (2000), *"Bakery Food Manufacture & Quality: Water Control & Effects"*, Blackwell Science, Oxford, UK
80. Miller B.S., Johnson J.A., Palmer D.I., (1953), *"A comparison of cereal, fungal and bacterial alpha-amylase as supplements for bread making"*, Food Technology, 7, 38-42
81. Tamstorf S., Joenssen T., Krog N., (1986), *"The role of fats and emulsifiers in baked products"* in *"Chemistry and Physics of Baking"*, editors Blanshard J., Frazier P., Galland T., Royal Society of Chemistry, London, 75-88
82. Rao P.A., Nussinovitch A., Chinachoti P., (1992), *"Effects of selective surfactants on amylopectin recrystallization and on recoverability of bread crumb"*, Cereal Chemistry, 69, 613-618
83. Kim S.K., D' Appolonia B.I., (1977c), *"Bread staling studies. III. Effect of pentosans on dough, bread and bread staling rate"*, Cereal Chemistry, 54, 225-229
84. Jankiewicz M., Michniewicz J., (1987), *"The effect of soluble pentosans isolated from rye grain on staling of bread"*, Food Chemistry, 25, 241-246
85. Kulp K., Ponte J.G., (1981), *"Staling of white pan bread: Fundamental causes"*, CRC, Critical Reviews of Food Science and Nutrition, 15, 1-48

86. Erlander S.R., Erlander L.G., (1969), *"Explanation of ionic sequences in various phenomena. X. Protein-carbohydrate interactions and the mechanism for the staling of bread"*, Die Starke, 21, 305
87. Cairnes P., Miles M.J., Morris V.J., (1991), *"Studies of the effect of the sugar ribose, xylose and fructose on the retrogradation of wheat starch gels by X-ray diffraction"*, Carbohydrate Polymers, 16, 355-365
88. I' Anson K.J., Miles M.J., Morris V.J., (1990), *"The effects of added sugars on the retrogradation of wheat starch gels"*, Journal of Cereal Science, 11, 243-248
89. <http://texturetechnologies.com/resources/texture-profile-analysis#examples-of-graphs>
90. <http://bakerpedia.com/processes/texture-profile-analysis/>
91. Linden R.W., (1993) *"Taste"*, British Dental Journal, 175, 243-253
92. Drewnowski A., Rock C.L., (1995), *"The influence of genetic taste markers on food acceptance"*, The American Journal of Clinical Nutrition, 62, 1081S-1085S
93. Bellisle F., (1999), *"Glutamate and the UMAMI taste: sensory, metabolic, nutritional and behavioural considerations. A review of the literature published in the last 10 years"*, Neuroscience & Biobehavioral Reviews, 23, 423-438
94. Yamaguchi S., Ninomiya K., (2000), *"Umami and Food Palatability"*, The Journal of Nutrition, 130, 921S-926S
95. Lindemann B., (2001), *"Receptors and transduction in taste"*, Nature, 413, 219-225
96. Ganzel P.G.J., Kroeze J.H.A., (1987), *"Effects of adaptation and cross-adaptation to common ions on sourness intensity"*, Physiology & Behavior, 41, 641-646
97. Skramlik E., (1926), *"Handbuch der Physiologie der Niederen Sinne,"* Georg Thieme Verlag, Leipzig
98. Weurman C., (1974), *"Sampling in airborne odorant analysis"*, in *"Human Responses to Environmental Odors"*, editors Turk A., Johnston J.W.Jr, Moulton D.G., Academic Press Inc., 269-272
99. Wampler T.P., (2002), *"Analysis of food volatiles using headspace-gas chromatographic techniques"*, in *"Flavor, Fragrance and Odor Analysis"*, editor Marsili R., Marcel Dekker, New York, 25
100. Buttery R.G., McFadden W.H., Teranishi R., Kealy M.P., Mon T.R., (1963), *"Constituents of Hop Oil"*, Nature, 200, 435

101. Sullivan J.F., Konstance R.P., Calhoun M.J., Talley F.B., Cording J.Jr., Panasiuk O., (1974), "*Flavor and storage stability of explosion puffed potatoes. Nonenzymatic browning*", Journal of Food Science, 39-58
102. Spicher G., (1983), "*Baked goods*" in "*Biotechnology*", Vol.5, editor Reed G., Verlag Chemic, Weinheim, 3-80
103. Lund B., Hansen A., Lewis M.J., (1989), "*The influence of dough yield on acidification and production of volatiles in sourdoughs*", LWT- Food Science and Technology, 22, 150-153
104. Taylor A.J., Roberts D.D., (2004), "*Measuring Proximal Stimuli Involved In flavour Perception*" in "*Flavor Perception*", editors Taylor A.J., Hort J., Blackwell Publishing Ltd., 1-38
105. Wirtz R.L., (2003), "*Improving the taste of bread*" in "*Bread Making: Improving Quality*", editor Cauvain S.P., Woodhead Publishing Ltd., Cambridge, UK, 467-486
106. Baker J.C., Parker H.K., Fortmann K.L., (1953), "*Flavor of bread*", Cereal Chemistry, 30, 22-30
107. Stollmann U.M., (1986), in "*The Shelf Life of Food and Beverages*", editor Charalampous G., Elsevier Pub., Amsterdam, 293-301
108. Schieberle P., Grosch W., (1992), "*Changes in the concentrations of potent crust odorants during storage of white bread*", Flavor Fragrance Journal, 7, 213-218
109. Pawliszyn J., (2002), "*Solid phase microextraction*", Comprehensive Analytical Chemistry, 37, 389-477
110. Tressl R., Apetz M., Grunewald K.G., Ameta K.G., (1978), "*Formation of lactones and terpenoids by microorganisms*" in "*Flavor of food and beverages*", editors Charalambous G., Inglett G.I., Academic Press, New York, 145
111. Christiani G., Monnet M.V., (2001), "*Food micro-organisms and aromatic ester synthesis*", Sciences-des-Aliments, 21, 211
112. Dumond J., Adda J., (1979), "*Flavor formation in dairy products*" in "*Flavour Research*", editors Land D.G., Nursten H.E., Applied Science Pub., London, 245
113. Margalith P.Z., (1981), "*Flavor Microbiology*", editor Thomas C., Springfield, 309
114. Kempler G.M., (1983), "*Production of flavor compounds by microorganisms*", Advances in Applied Microbiology, 29, 29
115. Vedamuthu E.R., (1979), "*Microbiologically induced desirable flavors in fermented foods of the west*", Developments in Industrial Microbiology, 20, 187

116. Hutkins R.W., (1993), *"Metabolism of starter cultures"* in *"Applied Dairy Microbiology"*, editors Marth E.L., Steele J.L., Marcel Dekker, New York, 207
117. Haymon L.W., Acton J.C., (1978), *"Flavor from lipid by microbial action"* in *"Lipids as a Source of Flavor"*, editor Supran M.K., American Chemistry Society, Washington, D.C., 94
118. Morgan M.E., (1976), *"The chemistry of some microbially induced flavor defects in milk and dairy foods"*, *Biotechnology and Bioengineering*, 18, 953
119. MacLeod P., Morgan M.E., (1958), *"Differences in the ability of lactic streptococci to form aldehydes from certain amino acids"*, *Journal of Dairy Science*, 41, 908
120. Reazin G., Scales H., Andreasen A., (1970), *"Mechanism of a major congener formation in alcoholic grain fermentations"*, *Journal of Agriculture and Food Chemistry*, 18, 585
121. Simonson L., Salovaar H., Korhola M., (2003), *"Response of wheat sourdough parameters to temperature, NaCl and sucrose variations"*, *Food Microbiology*, 20, 193-199
122. Hodge J.E., Mills F.D., Fisher B.E., (1972), *"Compounds of browned flavor derived from sugar-amine reactions"*, *Cereal Science Today*, 17, 34
123. Tressl R., Rewicki D., (1999), *"Heat generated flavors and precursors"* in *"Flavor Chemistry: Thirty years of progress"*, editors Teranishi R., Wick E., Hornstein I., Springer US, 305–332
124. Nursten H.E., (2000), *"Volatiles produced by the Maillard reaction"* in *"Frontiers of Flavour Science"*, editors Schieberle P., Engel K.H., Deutsche Forschung, Lebensmittel, Garching, 475
125. Rizzi G.P., (1999), *"The Strecker degradation and its contribution to food flavor"* in *"Flavour Chemistr: Thirty Years of Progress"*, editors Teranishi R., Wick E.L., Hornstein I., Kluwer Academic/Plenum Publ., New York, 335
126. Whitfield F.B., (1992), *"Volatiles from interactions of Maillard reactions and lipids"*, *Critical Reviews in Food Science and Nutrition*, 31, 1
127. Ohloff G., Flament I., (1979), *"The role of heteroatomic substances in the aroma compounds of foodstuffs"*, *Forschung. Chem. Org. Naturst.*, 36, 231
128. Vernin G., Parkanyi C., (1982), *"Mechanism of formation of heterocyclic compounds in Maillard and pyrolysis reaction"*, *Chemistry of Heterocyclic Compounds. Flavors Aromas*, 151
129. Koehler P.E., Mason M.E, Newell G.A., (1969), *"Formation of pyrazine compounds in sugar-amino model systems"*, *Journal of Agriculture and Food Chemistry*, 17, 393

130. Rizzi G.P., (1974), "Formation of N-alkyl-2-acyl-pyrroles and aliphatic aldimines in model nonenzymatic browning reactions", *Journal of Agriculture and Food Chemistry*", 22, 279
131. Maga J.A., (1981), "*Pyridines in food*", *Journal of Agriculture and Food Chemistry*", 29, 895
132. Pittet A.O., Hruza D.E., (1974), "*Comparative study of flavor properties of thiazole derivatives*", *Journal of Agriculture and Food Chemistry*, 22, 264
133. Shcieberle P., Hoffman T.H., (2002), "*Flavor contribution and formation of heterocyclic oxygen-containing key aroma compounds in thermally processed foods*" in "*Heteroatomic Aroma Compounds*", editors Reineccius G.A., Reineccius T.A., American Chemistry Society, Washington, D.C., 207
134. Tressl R., Rewicki D., Helak B., Schroeder H., (1985), "*Formation of pyrrolidines and piperidines on heating L-proline with reducing sugars*", *Journal of Agriculture and Food Chemistry*, 33, 924
135. Pittet A.O., Rittersbacher P., Muradidhara R., (1970), "*Flavor properties of compounds related to maltol and isomaltol*", *Journal of Agriculture and Food Science*, 18, 929
136. Weenen H., (1998), "*Reactive intermediates and carbohydrate fragmentation in Maillard chemistry*", *Food Chemistry*, 2, 393
137. Reynolds T.M., (1970), "*Flavours from the nonenzymatic browning reaction*", *Australian Institute of Food Science and Technology*, 22, 610
138. Mottram D.S., Mottram H.R., (2002), "*An overview of the contribution of sulfur-containing compounds to the aroma in heated foods*" in "*Heteroatomic Aroma Compounds*", editors Reineccius G., Reineccius T.A., American Chemistry Society, Washington, D.C., 73
139. Ho C.T., Jin Q.Z., (1985), "*Aroma properties of some alkylthiazoles*", *Perfumer & Flavorist*, 9, 15
140. Shibamoto T., (1983), "*Heterocyclic compounds in browning and browning/nitrile model systems: occurrence, formation mechanisms, flavor characteristics and mutagenic activity*" in "*Instrumental Analysis of Foods*", editors Charalambous G., Inglett G., Academic Press, New York, 229
141. Sakaguchi M., Shibamoto T., (1978), "*Formation of sulfur-containing compounds from the reaction of D-glucose and hydrogen sulfide*", *Journal of Agriculture and Food Chemistry*, 26, 1260

142. Maga J., (1978), *"Oxazoles and oxazolines in foods"*, Journal of Agriculture and Food Chemistry, 29, 691
143. Ho C.T., Tuorto R.M., (1981), *"Mass spectra and sensory properties of some 4,5-dialkyloxazoles"*, Journal of Agriculture and Food Chemistry, 29, 1306
144. Jin Q.Z., Hartman G.J., Ho C.T., (1984), *"Aroma properties of some oxazoles"*, Perfumer & Flavorist, 9, 25
145. Claesson M.J., van Sinderen D., O'Toole P.W., (2007), *"The genus Lactobacillus - a genomic basis for understanding its diversity"*, FEMS Microbiology Letters, 269, 22–28
146. Τσακίρης Αργύρης, (1998), *"Οινολογία: από το σταφύλι στο κρασί"*, Εκδόσεις Ψύχαλου
147. Ottogalli G., Galli A., Foschino R., (1996), *"Italian bakery products attained with sourdough: characterization of the typical sourdough flora"*, Advances in Food Science, 18, 131-144
148. Rocken W., Voysey P.A., (1995), *"Sourdough fermentation in bread making"*, Journal of Applied Bacteriology (Supplement), 79, 38-48
149. Hammes W.P., (1991), *"Fermentation of non-dairy food"*, Food Biotechnology, 5, 293-303
150. Bocker G., Stolz P., Hammes W.P., (1995), *"Neue Erkenntnisse zum Okosystem und zur Physiologie der saureteigtypischen Stamme Lactobacillus sanfrancisco und Lb. Pontis"*, Getreide Mehl und Brot, 49, 370-374
151. Liljeberg H.G.M., Lonner C.H., Bjorck I.M.E., (1995), *"Sourdough fermentation or addition of organic acids or corresponding salt to bread improves nutritional properties of starch in healthy humans"*, Journal of Nutrition, 125, 1503-1511
152. Barber B., Ortola C., Barber S., Fernandez F., (1992), *"Storage of packaged white bread. III. Effects of sourdough and addition of acids on bread characteristics"*, Zeitschrift für Lebensmittel-Untersuchung und –Forschung, 194, 442-449
153. Kline L., Sugihara F.T., (1971), *"Microorganisms of the San Francisco sourdough bread process. III. Isolation and characterization of undescribed bacterial species responsible for the souring activity"*, Applied Microbiology, 21, 102-110
154. Sugihara F.T., (1985), *"Microbiology of breadmaking"* in *"Microbiology of fermented foods"*, editor Wood B.J.B., Elsevier Applied Science Publishers, New York, 249-262
155. Stolz P., Bocker G., Voger R.F., Hammes W.P., (1993), *"Utilization of maltose and glucose by lactobacilli isolated from sourdough"*, FEMS Microbiology Letters, 109, 237-242

156. Hammes W.P., Stolz P., Ganzle M.G., (1996), "*Metabolism of lactobacilli in traditional sourdough*", *Advances in Food Science*, 18, 176-184
157. Rocken W., Rick M., Mack H., Brummer J.M., (1992b), "*Controlled production of acetic acid in wheat sourdough*", *Zeitschrift für Lebensmittel-Untersuchung und –Forschung*, 195, 259-263
158. Gobbetti M., Corsetti A., (1996), "*Co-metabolism of citrate and maltose by Lactobacillus brevis subsp. Linderi C.B.1 citrate negative strain: effect on growth, end-products and sourdough fermentation*", *Zeitschrift für Lebensmittel-Untersuchung und –Forschung*, 203, 83-87
159. Spicher G., Schroder R., Stephan H., (1980), "*Die Mikroflora des Sauerteiges. X.Mitteilung Die backtechnische Wirkung der in "Reinzuchtsauern" auftretenden Milchsäurebakterien*" (Genus *Lactobacillus Beijerinck*), *Zeitschrift für Lebensmittel-Untersuchung und –Forschung*, 171, 119-124
160. Rothe M., (1974), "*Aroma von Brot*", Akademie Verlag, Berlin
161. Martinez-Anaya M.A., (1996), "*Enzymes and bread flavor*", *Journal of Agriculture and Food Chemistry*, 44, 2469-2480
162. Hansen A., Lund B., Lewis M.J., (1989a), "*Flavour of sourdough rye bread crumb*", *Lebensmittel-Wissenschaft & Technologie*, 22, 141-144
163. Damiani P., Gobbetti M., Cossignani L., Corsetti A., Simonetti M.S., Rossi J., (1996), "*The sourdough microflora. Characterization of hetero- and homofermentative lactic acid bacteria, yeasts and their interactions on the basis of the volatiles compounds produced*", *Lebensmittel-Wissenschaft & Technologie*, 29, 63-70
164. Kratochvil J., Holas J., (1988), "*Use of a cereal protein substrate for characterization of proteolytic enzymes in rye sourdough*", *Getreide Mehl und Brot*, 42, 166-169
165. Corsetti A., Gobbetti M., Smacchi E., (1996), "*Antibacterial activity of sourdough lactic acid bacteria: isolation of the bacteriocin-like inhibitory substance from Lactobacillus sanfrancisco C57*", *Food Microbiology*, 13, 447-456
166. Doores S., Westhoff D., (1981), "*Heat Resistance of Sporolactobacillus inulinus*", *Journal of Food Science*, 46, 810-810
167. Gordon R.E., (1973), "*The genus Bacillus*", United States Department of Agriculture, Washington, D.C.

168. Richmond B., Fields M.L., (1966), *"Distribution of thermophilic aerobic sporeforming bacteria in food ingredients"*, Journal of Applied Microbiology, 14, 623-626
169. Gilman J.C., (1957), *"A manual of soil fungi"*, Iowa State College Press, Ames
170. Corry J.E.L., (1987), *"Relationship of water activity to fungal growth"* in *"Food and Beverage Mycology"*, editor Beuchat L.R., Van Nostrand Reinhold, New York
171. Beneke E.S., Rogers A.L., (1971), *"Medical Mycology Manual"*, Burgess Pub. Co.
172. Salfinger Y., Tortorello M.L., (2015), *"Compendium of methods for the microbiological examination of foods"*, APHA press
173. Gilbert R.J., Kramer J.M., (1979), *"Bacillus cereus gastroenteritis"*, PHLS Food Hygiene Laboratory, Central Public Health Laboratory, London, UK
174. <https://en.wikipedia.org/wiki/Enterobacteriaceae>
175. Ponte J.G., Tsen C.C., (1978), *"Bakery products"* in *"Food and beverages Mycology"*, editor Beuchat L.R., AVI Publishing Co., Westport, CT, 191-223
176. Seiler D., (1992), *"Basic guide to product spoilage and hygiene. Part 1: Mold Growth on bread"*, Chorleywood Digest No. 121, CCFRA, Chipping Campden, UK, 117-119
177. Legan J.D., (1993), *"Mould spoilage of bread: The problem and some solutions"*, International Biodeterioration and Biodegradation, 32, 33-53
178. Clark H.A., (1946), *"Rope and mould"*, Bakers' Digest, 49-51
179. Legan J.D., (1994), *"Spoilage of bakery products and confectionery"*, PHLS Microbiology Digest, 11, 114-117
180. Seiler D., (1993), *"Basic guide to product spoilage and hygiene. Part 2: Yeast spoilage of bread"*, Chorleywood Digest No. 124, CCFRA, Chipping Campden, UK, 23
181. Legan J.D., Voysey P.A., (1991), *"Yeast spoilage of bakery products and ingredients"*, Journal of Applied Bacteriology, 70, 361-371
182. Wagner M.K., Moberg L.J., (1989), *"Present and future use of traditional antimicrobials"*, Food Technology, 43, 143-147
183. Jay J.M., (1992), *"Modern Food Microbiology"*, AVI Publishing, Westport, CT, 3-12
184. Seiler D.A.L., (1984), *"Controlled atmosphere packaging for preserving bakery products"*, FMBRA Bulletin No.2, CCFRA, Chipping Campden, UK, 48-60
185. Seiler D.A.L., (1983), *"Preservation of bakery products"*, FMBRA Bulletin No. 4, CCFRA, Chipping Campden, UK, 166-177

186. ΑΓΟΡΑΝΟΜΙΚΗ ΔΙΑΤΑΞΗ 7/2009 (ΦΕΚ 1388/ Β' / 13-7-09), ΕΛΛΗΝΙΚΗ ΔΗΜΟΚΡΑΤΙΑ, ΥΠΟΥΡΓΕΙΟ ΑΝΑΠΤΥΞΗΣ, ΓΕΝΙΚΗ ΓΡΑΜΜΑΤΕΙΑ ΕΜΠΟΡΙΟΥ ΚΑΙ ΚΑΤΑΝΑΛΩΤΗ
187. Sanz-Penella J.M., Tamayo-Ramos J.A., Haros C.M., (2011), "*Application of Bifidobacteria as starter culture in sourdough bread*", Institute of Agrochemistry and Food Technology, 9
188. Latou E., Mexis S.F., Badeka A.V., Kontominas M.G., (2010), "*Shelf life extension of sliced wheat bread using either an ethanol emitter or an ethanone emitter combined with an oxygen absorber as alternatives to chemical preservatives*", Journal of Cereal Science, 52, 457-465
189. Mohsen M.A., Aly M.H., Attia A.A., Osman D.B., (2016), "*Effect of Sourdough on Shelf Life, Freshness and Sensory Characteristics of Egyptian Balady Bread*", Journal of Applied & Environmental Microbiology, 4 , 39-45
190. Oloyede O.O., Ocheme O.B. and Nurudeen L.M., (2013), "*Physical, Sensory and Microbiological Properties of Wheat-Fermented Unripe Plantain Flour*", Nigerian Food Journal, 31, 123-129
191. Ho L.H., Abdul Aziz N.A., Bhat R., Azahari B., (2014), "*Storage studies of bread prepared by incorporation of the banana pseudo-stem flour and the composite breads containing hydrocolloids*", CyTA Journal of Food, 12, 141-149
192. Jonkuvienė D., Vaičiulytė-Funk L., Šalomskienė J., Alenčikienė G., Mieželienė A., (2016), "*Potential of Lactobacillus reuteri from Spontaneous Sourdough as a Starter Additive for Improving Quality Parameters of Bread*", Food Technology and Biotechnology, 54, 342-350
193. Tatar O.M., Rehman S., Mueen-ud-din G., Murtaza M.A., (2010), "*Studies on the shelf life of bread using acidulants and their salts*", Turkish Journal of Biology, 34, 133-138
194. Bailey C.P., von Holy A., (1993), "*Bacillus spore contamination associated with commercial bread manufacture*", Food Microbiology, 10, 287-294
195. Ravimannan N., (2016), "*Study on microbial profile of bread during storage*", International Journal of Advanced Research in Biological Sciences, 3, 60-63
196. Park J., Seo J.S., Kim S., Shin S., Park J., Han N.S., (2017), "*Microbial Diversity of Commercial Makgeolli and Its Influence on the Organoleptic Characteristics of Korean Rice Sourdough, Jeung-Pyun*", Journal of Microbiology and Biotechnology, 27, 1736-1743

197. Yibar A., Cetinkaya F., Soyutemiz G.E., (2012), *"Detection of Rope-Producing Bacillus in Bread and Identification of Isolates to Species Level by Vitek 2 System"*, Journal of Biological and Environmental Sciences, 6, 243-248
198. VAIČIULYTĖ-FUNK L., ŽVIRDAUSKIENĖ R., ŠALOMSKIENĖ J., ŠARKINAS A., (2015), *"The effect of wheat bread contamination by the Bacillus genus bacteria on the quality and safety of bread"*, Zemdirbyste-Agriculture, 102, 351-358
199. Latif A., Masud T., (2006), *"Use of Natural Preservative in Bread Making"*, American Journal of Food Technology, 1, 34-42
200. Ndife J., Obiegbonna J., Ajayi S., (2013), *"Comparative Evaluation of the Nutritional and Sensory Quality of Major Commercial Whole-wheat Breads in Nigerian Market"*, Advance Journal of Food Science and Technology, 5, 1600-1605
201. Banu I., Vasilean(Simitaru) I., Barbu V., Iancu C., (2011), *"The effect of some technological factors on the rye sourdough bread"*, Chemistry & Chemical Engineering, Biotechnology, Food Industry, 12, 197-202
202. Mert I.D., Campanella O.H., Sumnu G., Sahin S., (2014), *"Gluten-free sourdough bread prepared with chestnut and rice flour"*, Department of Food Engineering, Engineering Faculty, Middle East Technical University, Universiteler Mah, Ankara, Turkey
203. Hansen A., Hansen B., (1996), *"Flavour of Sourdough wheat bread crumb"*, Zeitschrift für Lebensmittel-Untersuchung und –Forschung, 202, 244-249
204. Jackel S.S., (1969), *"Fermentation flavors of wheat bread"*, The Bakers' Digest, 43, 24-28
205. Drapron R., Richard-Molard D., (1979), *"Influence de divers procedes technologiques sur la formations de l' arôme du pain. Repercussions sur sa qualite"* in *"Le pain"*, editor Buré Jr., Actes du Recherche Scientifique, Paris, France, 143-161
206. Maga J.A., (1974), *"Bread Flavor"*, CRC, Critical Reviews in Food Technology, 5, 55-142
207. Richard-Molard D., Nago M.C., Drapron R., (1979), *"Influence of the breadmaking method on French bread flavor"*, The Bakers' Digest, 53, 34-38
208. Lawrence R.C., Thomas T.D., Terzagui B.E., (1976), *"Reviews of the progress of dairy science: cheese starters"*, Journal of Dairy Science, 43, 141-193
209. Spicher G., Stephan H., (1987), *"Handbuch Sauerteig: Biologie, Biochemie, Technologie"*, 3 Auf. B.B.V. Wirstchaft Informationen GmbH, Hamburg, Germany
210. Plessas S., Bekatorou A., Gallanagh J., Nigam P., Koutinas A.A., Psarianos C., (2007), *"Evolution of aroma volatiles during storage of sourdough breads made by mixed"*

cultures of *Kluyveromyces marxianus* and *Lactobacillus delbrueckii* ssp. *bulgaricus* or *Lactobacillus helveticus*", *Food Chemistry*, 107, 883-889

211. Kam W.Y., Wan Aida W.M., Sahilah A.M., Maskat M.Y., (2011), "*Volatile Compounds and Lactic Acid Bacteria in Spontaneous Fermented Sourdough*", *Sains Malaysiana*, 40, 135-138
212. Soukoulis C., Yonekura L., Gan H.H, Behboudi-Jobbehdar S., Parmenter C.D.J., Fisk I.D., (2014), "*Probiotic edible films as a new strategy for developing functional bakery products: the case of pan bread*", *Food Hydrocolloids*, 39, 231-242
213. Rinaldi M., Paciulli M., Caligiani A., Scazzina F., Chiavaro E., (2016), "*Sourdough fermentation and chestnut flour in gluten-free bread: A shelflife evaluation*", *Food Chemistry*, 224, 144-152
214. Casada A., Álvarez A., Gonzalez L., Fernandez D., Marcos J.L., Tornadijo M.E., (2017), "*Effect of Fermentation on Microbiological, Physicochemical and Physical Characteristics of Sourdough and Impact of its Use on Bread Quality*", *Czech Journal of Food Science*, 35, 496-506
215. Hadaegh H., Seyyedain Ardabili S. M., Tajabadi Ebrahimi M., Chamani M., Azizi Nezhad R., (2017), "*The Impact of Different Lactic Acid Bacteria Sourdoughs on the Quality Characteristics of Toast Bread*", *Journal of Food Quality*, Hindawi
216. Edeghor U., Lennox J., Etta-Abgo B., Aminadokiari D., (2016), "*Bread fermentation using synergistic activity between lactic acid bacteria (*Lactobacillus bulgaricus*) and baker's yeast (*Saccharomyces cerevisiae*)*", *Pakistan Journal of Food Sciences*, 26, 46-53
217. Quintero Lira A., Alvarado-Resendiz M.G., Soto Simental S., Piloni Martini J., Reyes-Santamaria Ma.I., N. Guemes-Vera N., (2014), "*Use of Lactobacillus from Pulque in Sourdough*", *Advances in Microbiology*, 4, 969-977