

ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΚΟ ΕΚΠΑΙΔΕΥΤΙΚΟ ΙΔΡΥΜΑ ΠΕΛΟΠΟΝΝΗΣΟΥ
ΤΜΗΜΑ ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΑΣ ΤΡΟΦΙΜΩΝ

«ΜΙΚΡΟΒΙΑΚΕΣ ΑΛΛΟΙΩΣΕΙΣ ΣΤΟ ΨΩΜΙ»
ΠΤΥΧΙΑΚΗ ΜΕΛΕΤΗ
ΦΑΛΕΛΑΚΗ ΓΕΩΡΓΙΑ



ΚΑΛΑΜΑΤΑ 2017

ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΚΟ ΕΚΠΑΙΔΕΥΤΙΚΟ ΙΔΡΥΜΑ ΠΕΛΟΠΟΝΝΗΣΟΥ
ΤΜΗΜΑ ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΑΣ ΤΡΟΦΙΜΩΝ

«ΜΙΚΡΟΒΙΑΚΕΣ ΑΛΛΟΙΩΣΕΙΣ ΣΤΟ ΨΩΜΙ»
ΠΤΥΧΙΑΚΗ ΜΕΛΕΤΗ
ΦΑΛΕΛΑΚΗ ΓΕΩΡΓΙΑ

ΚΑΛΑΜΑΤΑ 2017

ΔΗΛΩΣΗ ΜΗ ΛΟΓΟΚΛΟΠΗΣ ΚΑΙ ΑΝΑΛΗΨΗΣ ΠΡΟΣΩΠΙΚΗΣ ΕΥΘΥΝΗΣ

Με πλήρη επίγνωση των συνεπειών του νόμου περί πνευματικών δικαιωμάτων, δηλώνω ενυπογράφως ότι είμαι αποκλειστικός συγγραφέας της παρούσας Πτυχιακής Εργασίας, για την ολοκλήρωση της οποίας κάθε βοήθεια είναι πλήρως αναγνωρισμένη και αναφέρεται λεπτομερώς στην εργασία αυτή. Έχω αναφέρει πλήρως και με σαφείς αναφορές, όλες τις πηγές χρήσης δεδομένων, απόψεων, θέσεων και προτάσεων, ιδεών και λεκτικών αναφορών, είτε κατά κυριολεξία είτε βάσει επιστημονικής παράφρασης. Αναλαμβάνω την προσωπική και ατομική ευθύνη ότι σε περίπτωση αποτυχίας στην υλοποίηση των ανωτέρω δηλωθέντων στοιχείων, είμαι υπόλογος έναντι λογοκλοπής, γεγονός που σημαίνει αποτυχία στην Πτυχιακή μου Εργασία και κατά συνέπεια αποτυχία απόκτησης του Τίτλου Σπουδών, πέραν των λοιπών συνεπειών του νόμου περί πνευματικών δικαιωμάτων. Δηλώνω, συνεπώς, ότι αυτή η Πτυχιακή Εργασία προετοιμάστηκε και ολοκληρώθηκε από εμένα προσωπικά και αποκλειστικά και ότι, αναλαμβάνω πλήρως όλες τις συνέπειες του νόμου στην περίπτωση κατά την οποία αποδειχθεί, διαχρονικά, ότι η εργασία αυτή ή τμήμα της δεν μου ανήκει διότι είναι προϊόν λογοκλοπής άλλης πνευματικής ιδιοκτησίας.

ΓΕΩΡΓΙΑ ΦΑΛΕΛΑΚΗ



20-01-2017

ΔΗΛΩΣΗ ΜΗ ΛΟΓΟΚΛΟΠΗΣ ΚΑΙ ΑΝΑΛΗΨΗΣ ΠΡΟΣΩΠΙΚΗΣ ΕΥΘΥΝΗΣ _ 3

Περίληψη	5
Abstract	5
Εισαγωγή	6
Κεφάλαιο 1.	7
Γενικά στοιχεία για το ψωμί	7
1.1 Ο καρπός του σιταριού	7
1.2. Ιστορική αναδρομή	8
1.3. Χημεία των αλεύρων και παρασκευή του ψωμιού	12
Κεφάλαιο 2.	20
Μικροβιακές αλλοιώσεις στο ψωμί	20
2.1. Μυκητιακές αλλοιώσεις	21
2.2. Βακτηριακές αλλοιώσεις	25
2.3. Αλλοιώσεις που οφείλονται σε ζυμομύκητες	29
Κεφάλαιο 3.	31
Έλεγχος και πρόληψη των μικροβιακών αλλοιώσεων του ψωμιού	31
3.1. Παράγοντες που επηρεάζουν τη μικροβιακή αλλοίωση	31
3.2. Τρόποι έλεγχου των μικροβίων	33
3.3. Ανασκόπηση της αποτελεσματικότητας των διαφόρων χημικών συντηρητικών.	35
Συμπεράσματα	39
Βιβλιογραφία	41

Περίληψη

Το ψωμί είναι από τις πιο αρχαίες τροφές με τις οποίες σιτιζόταν ο άνθρωπος. Η παρασκευή του πραγματοποιείται με την ανάμιξη αλεύρου νερού και κάποιου διογκωτικού παράγοντα όπως είναι το προζύμι ή η μαγιά, ενώ επιπροσθέτως μπορούν να προστεθούν στη ζύμη αρώματα σπόροι και καρποί ανάλογα με τη γεύση και τις ιδιότητες που είναι επιθυμητό να προσλάβει το τελικό προϊόν. Οι μικροοργανισμοί που μπορούν να αλλοιώσουν το ψωμί είναι δυνατόν να προέρχονται από οποιοδήποτε σημείο των επιφανειών ή της ατμόσφαιρας του αρτοποιείου, ή ακόμη να βρίσκονται μέσα σε μολυσμένες πρώτες ύλες. Η πιο κοινή αλλοίωση που υφίσταται το ψωμί είναι η μούχλα και προκαλείται από μύκητες, ενώ η επόμενη συχνότερη αλλοίωση είναι γνωστή ως «σχοινώδες ψωμί», που προκαλείται από βακτήρια, κυρίως του γένους *Bacillus*. Για την πρόληψη των αλλοιώσεων και την αύξηση του χρόνου ζωής του ψωμιού χρησιμοποιούνται συντηρητικά, είτε φυσικά είτε χημικά. Στα φυσικά συντηρητικά συμπεριλαμβάνονται και οι αντιμικροβιακοί παράγοντες που αποτελούν προϊόντα ζύμωσης βακτηρίων και είναι γνωστοί ως βιοσυντηρητικά. Από τους χημικούς παράγοντες τα συνηθέστερα χρησιμοποιούμενα είναι το προπιονικό και το σορβικό οξύ, καθώς και τα άλατά τους.

Abstract

Bread is one of the most ancient foods for man. The preparation of bread takes place by mixing water, flour and a leavening agent such as yeast. Aromas, seeds and fruits may be added as well, depending on the taste and qualities desired the final product to have. Many microorganisms can spoil the bread, and can be found on any place of the surfaces or the atmosphere of the bakery, or even be within infected materials. The most common cause of bread spoilage is mold and is caused by fungi. The next most frequent spoilage is called «rope bread» and caused by bacteria, particularly the genus *Bacillus*. For the prevention of spoilage preservatives are used either physically or chemically, in order to increase bread's life. Natural preservatives include antimicrobial agents which are bacteria's fermentation products, and are known as biopreservatives. Finally, the most common chemical preservatives are propionic and sorbic acid and their salts.

Εισαγωγή

Το ψωμί και γενικά τα παράγωγα των αλεύρων είναι πολύ διαδεδομένες τροφές στον παγκόσμιο πληθυσμό. Από τα αρχαία χρόνια οι άνθρωποι χρησιμοποιούσαν τα παράγωγα του σιταριού στα γεύματά τους, για παράδειγμα βουτούσαν κριθαρένιο ψωμί μέσα σε κρασί κι αυτό αποτελούσε το πρωινό τους γεύμα. Άλλα παραδείγματα αποτελούν ο αμητίσκος που έμοιαζε με τη σημερινή γαλατόπιτα, ο ναστός που ήταν σταρένιο ψωμί με γέμιση γλυκιά, και ο άμυλος που έμοιαζε με τον τραχανά. Από τον καιρό της βιομηχανικής επανάστασης και μετά, έγιναν διαθέσιμες στην αγορά πάρα πολύ μεγάλες ποσότητες αλλά και πολλές ποικιλίες αλεύρων.

Η παρούσα εργασία ασχολείται με τις μικροβιακές αλλοιώσεις που δημιουργούνται στη μάζα του ψωμιού και δομείται σε τέσσερα κεφάλαια.

Στο πρώτο κεφάλαιο γίνεται μια αναφορά στην ιστορία του άρτου και στη χημική δομή του ψωμιού και των αλεύρων και παρουσιάζονται συνοπτικά τα διάφορα είδη σίτου και οι κατηγορίες τους.

Στο δεύτερο κεφάλαιο αναλύονται τα είδη των αλλοιώσεων που μπορούν να προκύψουν στη μάζα του άρτου. Γίνεται εκτενής αναφορά στις τρεις κατηγορίες μικροβιακών αλλοιώσεων που μπορεί να υποστεί το ψωμί, δηλαδή στη μούχλα, την σχοινώδη αλλοίωση και τη μόλυνση από τους ζυμομύκητες της μαγιάς.

Το τρίτο κεφάλαιο ασχολείται με τις φυσικές συνθήκες που επηρεάζουν τη μικροβιακή αλλοίωση του ψωμιού, τις οικονομικές επιπτώσεις της, καθώς και τους τρόπους που αντιμετωπίζονται οι μικροβιακές του αλλοιώσεις, δίνοντας πληροφορίες για τα χαρακτηριστικά των συνηθέστερων συντηρητικών, φυσικών ή χημικών, που προστίθενται στη ζύμη.

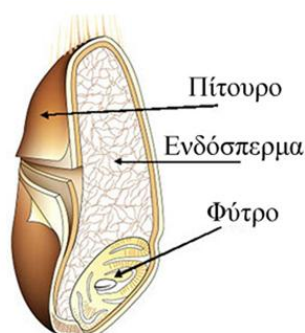
Τέλος, στο τέταρτο κεφάλαιο συνοψίζονται τα σημαντικότερα σημεία της εργασίας, και εξάγονται τα συμπεράσματα της.

Κεφάλαιο 1.

Γενικά στοιχεία για το ψωμί

1.1 Ο καρπός του σιταριού

Η βάση του ψωμιού είναι το σιτάρι ή κάποιοι καρποί άλλου δημητριακού. Κάθε καρπός δημητριακού αποτελείται από τρία μέρη. Ο φλοιός ή πίτουρο, αποτελεί ένα σκληρό περίβλημα, πλούσιο σε φυτικές ίνες ιχνοστοιχεία και φυτικό οξύ, ενώ το ενδόσπερμα που είναι το εσωτερικό του μέρους περιέχει πολλούς υδατάνθρακες αλλά και πρωτεΐνες που σχηματίζουν τη γλουτένη (εικόνα 1). Τέλος, το φύτρο κάθε σπόρου είναι αυτό που σε κατάλληλες συνθήκες μπορεί να βλαστήσει και να δώσει καινούριο φυτό. Έχει μεγάλη περιεκτικότητα σε λιπαρά και πολλά θρεπτικά συστατικά, ωστόσο δε χρησιμοποιείται ιδιαίτερα στην αρτοποιεία γιατί τα λιπαρά του λόγω υφιστάμενης οξείδωσης προσδίδουν μια πικρή γεύση στο τελικό προϊόν και μειώνουν τη διάρκεια ζωής του. Ανάλογα με το είδος του καρπού μπορεί να προκύψει αλεύρι σκληρό, μαλακό, ολικής άλεσης, σίκαλης, καλαμποκιού, κριθαριού, βρώμης, κ.α.. (Ζησόπουλος κ.ά. 2013)



Εικόνα 1. Τα τρία μέρη του σπόρου των δημητριακών. (<http://www.zedoro.gr/>)

Το αλεύρι που μόλις έχει αλεστεί έχει υποκίτρινη απόχρωση επειδή περιέχει καροτενοειδή και περιέχει γλουτένη χωρίς ιδιαίτερη «δυναμική» να δώσει ψωμί. Το φρεσκοαλεσμένο αλεύρι αφήνεται να ωριμάσει και, καθώς έρχεται σε επαφή με το οξυγόνο της ατμόσφαιρας, οι πρωτεΐνες του υφίστανται οξείδωση δημιουργώντας πιο πολλούς και ισχυρούς δεσμούς, καθιστώντας επομένως τη γλουτένη του πιο αποτελεσματική. Παράγοντες ωρίμανσης μπορούν να προστεθούν από τη βιομηχανία στα διάφορα άλευρα προκειμένου να επιταχύνουν την ωρίμανσή τους και να ισχυροποιήσουν τη δράση της γλουτένης. Τέτοιοι παράγοντες είναι το βρωμιούχο κάλιο και το ασκορβικό οξύ. Το πρώτο είναι πολύ πιο αποδοτικό, ωστόσο έχει

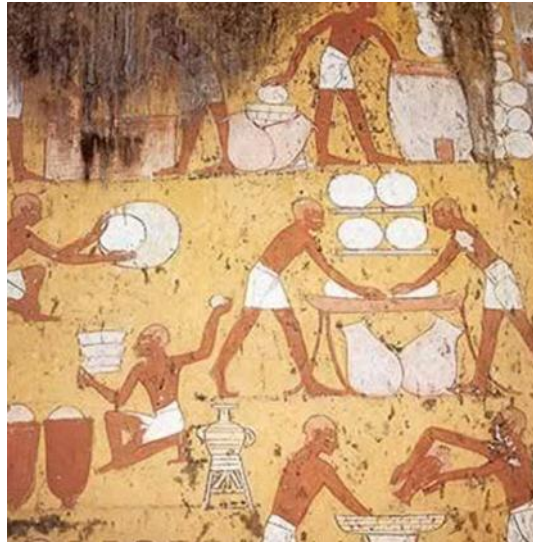
θεωρηθεί καρκινογόνο και πλέον έχει απαγορευτεί η χρήση του στην Ευρώπη. (Ashton, 2015)

Ο όρος «ψωμί» χρησιμοποιείται για να περιγράψει μια σειρά από προϊόντα τα οποία ποικίλλουν πάρα πολύ σε σχήμα, μέγεθος, υφή, τύπο κρούστας, δομή ψίχας, χρώμα, απαλότητα και γεύση. Επίσης, αξίζει να αναφερθεί ότι ο χαρακτηρισμός ενός ψωμιού ως καλό ή κακό συνήθως έχει να κάνει με καθαρά υποκειμενικά κριτήρια, τα οποία βασίζονται, εκτός του προσωπικού γούστου και στην περιοχή που διαμένουν οι διάφοροι πληθυσμοί. Για παράδειγμα στην περιοχή της μέσης ανατολής οι κάτοικοι φτιάχνουν επίπεδα ψωμιά, τη στιγμή που οι κάτοικοι στο Ηνωμένο Βασίλειο προτιμούν τα χοντρά αφράτα ψωμιά. Παρά την προσωπική γνώμη του κάθε ανθρώπου για το τι κάνει ένα ψωμί νόστιμο και αποδεκτό, υπάρχουν κάποια ποιοτικά χαρακτηριστικά που απαιτούνται από την κάθε ποικιλία ώστε αντικειμενικά να χαρακτηρίζεται αποδεκτή από τους καταναλωτές με κυρίαρχο παράδειγμα τη φρεσκάδα του προϊόντος. Εμπειρογνώμονες επίσης είναι σε θέση να αξιολογήσουν την ποιότητα του άρτου. Για μια πιο αντικειμενική αξιολόγηση της ποιότητας του ψωμιού χρησιμοποιούνται επιπλέον κάποιες μέθοδοι μεταξύ των οποίων φωτοχρωματόμετρα κατά CIE (caliber control international) για την ψίχα, και για την κόρα μετρήσεις με βάση εξειδικευμένα διαγράμματα χρωμάτων όπως το σύστημα Munsell. (Buehler, 2014)

Η σωστή διατήρηση της φρεσκάδας του ψωμιού προϋποθέτει την «παλαιώση» ή «μπαγατέμα» με αργούς ρυθμούς και την απουσία κάποιας ασθένειας του ψωμιού. Για να μπορέσει να γίνει αυτό, επιβάλλεται η ύπαρξη σωστής υγιεινής, η κατάλληλη προετοιμασία της ζύμης, η χρήση υλικού καλής ποιότητας και φυσικά το σωστό ψήσιμο. Οι παραπάνω παράγοντες βοηθούν στο να διατηρήσει το ψωμί τη φρεσκάδα και την ποιότητά του για μεγαλύτερο χρονικό διάστημα.

1.2. Ιστορική αναδρομή

Το ψωμί αποτελεί αρκετά παλαιή τροφή για τον άνθρωπο και παράγεται με τη μίξη κυρίως αλεύρου και νερού. Η λέξη προέρχεται από το ρήμα ψάω που σημαίνει τρίβω και τα παράγωγά του. Η αρχική του μορφή εντοπίζεται περίπου το 8000 πΧ στην αρχαία Αίγυπτο, που θεωρείται από τις κατεξοχήν χώρες που χρησιμοποιούσαν το ψωμί ως βασική τροφή των κατοίκων, και είναι ένα είδος σκληρής πίτας που παρασκευαζόταν από το ψήσιμο ενός μίγματος δημητριακών αρχικά στον ήλιο και στη συνέχεια σε ζεστή πλάκα. (εικόνα 2). (Ζησόπουλος κ.ά., 2013)



Εικόνα 2. Τοιχογραφία με θέμα την παρασκευή ψωμιού στην αρχαία Αίγυπτο. (<http://loulismuseum.gr/>)

Στην αρχαία Ελλάδα το έδαφος δεν ήταν πρόσφορο για την ανάπτυξη της καλλιέργειας των σιτηρών κι έτσι ο άρτος συναντάται σε κριθαρένια μορφή, καθώς και με πρώτη ύλη άγριο σιτάρι. Στην κλασική, μινωική και μυκηναϊκή περίοδο τα δημητριακά είναι η βάση της διατροφής, ενώ τα κύρια προϊόντα ήταν η ζέα (ή όλυρα), το κριθάρι και το σκληρό σιτάρι (ή πύρος). Το σιτάρι μουσκευόταν για να μαλακώσει και έπειτα είτε μετατρεπόταν σε αλεύρι είτε αλεθόταν για να γίνει χυλός. Το κριθάρι ήταν πιο απλό να παραχθεί αλλά δυσκολότερο στην παραγωγή ψωμιού. Το κριθαρένιο ψωμί λεγόταν άρτος, ενώ το κριθαρένιο λεγόταν άλιφος. (Ζησόπουλος κ.ά., 2013)

Ο άρτος έπαιξε σημαντικό ρόλο και στην θρησκεία των αρχαίων ελλήνων. Συγκεκριμένα το προσέφεραν ως θυσία στη θεά Δήμητρα που ήταν προστάτιδα της γεωργίας σε μια τελετή στην Ελευσίνα που λεγόταν Μεγαλόρτια. Ψωμί από κριθάρι με σφραγίδες που έφεραν τη λέξη «υγεία» ή «ζωή» προσφέρονταν και στο θεό Ασκληπιό (εικόνα 3). (Ashton, 2015)



Εικόνα 3. Γλυπτό με αναπαράσταση παρασκευής ψωμιού στην αρχαία Ελλάδα. (<http://loulismuseum.gr/>)

Στην αρχαία Ρώμη η τέχνη παραγωγής του ψωμιού μαθεύτηκε μετά την κατάκτηση του ελλαδικού χώρου το 170 π.Χ., ενώ εκεί εμφανίζονται τα πρώτα αρτοποιεία ως οικογενειακές επιχειρήσεις. Ένα τυπικό αρτοποιείο αποτελούνταν από το τμήμα άλεσης του σιταριού, το φούρνο, την αποθήκη, το χώρο πώλησης και την κυρίως οικεία του αρτοποιού. Στο Βυζάντιο μεταγενέστερα παρουσιάζονται πολλά γλυκίσματα με βάση το σιτάρι, κυρίως πρόδρομα της σημερινής μουσταλευριάς, των ξεροτήγανων, των λουκουμάδων και των παστελιών (εικόνα 4). (Ashton, 2015)



Εικόνα 4. Παρασκευή ψωμιού στην αρχαία Ρώμη (αριστερά) και στο Βυζάντιο (Δεξιά). (<http://loulismuseum.gr/>)

Το ψωμί στη σημερινή του μορφή ξεκίνησε να παράγεται κατά το μεσαίωνα, όπου η κατανάλωση άρτου χωρίς πίτουρο λόγω δυσκολίας παρασκευής, θεωρούνταν και ένδειξη κοινωνικής και οικονομικής ανωτερότητας. Ο άρτος αρχικά παρασκευαζόταν στα σπίτια των ανθρώπων με σχεδόν εβδομήντα διαφορετικά είδη

ψωμιού να παρασκευάζονται, ενώ αργότερα όπως αναφέρθηκε εμφανίζονται οργανωμένοι φούρνοι και αρτοποιεία. (Ashton, 2015)

Με βάση την ποικιλία αλεύρων που υπάρχει παρασκευάζονται διαφορετικά είδη ψωμιού. Όμως πέραν του αλεύρου από σιτάρι μπορεί να χρησιμοποιηθεί και αλεύρι από άλλα δημητριακά όπως σίκαλη, κριθάρι, αραβόσιτο και βρώμη, τα οποία συνήθως, αλλά όχι πάντα, αναμιγνύονται με αλεύρι σίτου.

Έτσι, υπάρχει πλέον σήμερα μεγάλη ποικιλία από είδη ψωμιού (εικόνα 5), μερικά από τα οποία παρατίθενται παρακάτω:

- ▶ Λευκό ψωμί το οποίο γίνεται από αλεύρι που περιέχει μόνο τον κεντρικό πυρήνα των σιτηρών, το αλεύρι που χρησιμοποιείται συνήθως είναι τύπου 55%.
- ▶ Ολικής αλέσεως το οποίο πρόκειται για σταρένιο ψωμί, του οποίου όμως το αλεύρι δεν έχει υποστεί επεξεργασία και είναι πλούσιο σε φυτικές ίνες, σίδηρο και θρεπτικά συστατικά και φυλλικό οξύ.
- ▶ Μαύρο ψωμί το οποίο παρασκευάζεται από αλεύρι που προέρχεται από το ενδοσπέρμιο και από 10% πίτουρο.
- ▶ Πολύσπορο ψωμί το οποίο πρόκειται για 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 την προσθήκη χρωστικών, και συνήθως είναι πυκνότερο από το ψωμί που γίνεται από αλεύρι σίτου, ενώ έχει περισσότερες φυτικές ίνες από το λευκό ψωμί.
- ▶ Χωριάτικο ψωμί το οποίο παρασκευάζεται από αλεύρι, το οποίο παράγεται αποκλειστικά και μόνο από σκληρό σιτάρι και έχει χρυσοκίτρινο χρώμα.
- ▶ Σύμμεικτο ψωμί το οποίο παρασκευάζεται με ισόποση ανάμειξη αλεύρων κατηγορίας Μ, με αλεύρι από σκληρό σιτάρι και αλεύρι τύπου 70%.



Εικόνα 5. Τα δημοφιλέστερα είδη ψωμιού. Από αριστερά προς δεξιά επάνω: Λευκό ψωμί, μαύρο ψωμί, ψωμί από σίκαλη. Από αριστερά προς δεξιά κάτω: Ψωμί ολικής άλεσης, πολύσπορο ψωμί, καλαμποκόψωμο.

1.3. Χημεία των αλεύρων και παρασκευή του ψωμιού

Η παρασκευή ψωμιού περιλαμβάνει την ανάμιξη αλευριού, νερού, και κάποιου διογκωτικού, που συνήθως είναι ή η μαγιά ή το προζύμι, και η διαδικασία παραγωγής του ακολουθεί τα εξής στάδια:

- I. Η παρασκευή της αρτομάζας
- II. Η διόγκωση του ζυμαριού
- III. Το ψήσιμο.

Το αλεύρι αποτελεί το κύριο συστατικό για την παραγωγή ψωμιού και γενικότερα των αρτοσκευασμάτων. Προέρχεται από το άλεσμα των δημητριακών. Αυτό όμως που χρησιμοποιείται στο ψωμί είναι το αλεύρι του σιταριού. Τα συστατικά που περιέχονται στο αλεύρι είναι οι υδατάνθρακες, τα λιπίδια, τα ανόργανα άλατα, οι πρωτεΐνες, οι βιταμίνες και το νερό. (Ashton, 2015) (Ζησόπουλος κ.ά., 2013)

Η μαγιά επιτελεί χημική, φυσική και βιολογική ζύμωση. Η χημική γίνεται με την προσθήκη χημικών διογκωτικών στην ζύμη ενώ η φυσική με την παγίδευση του αέρα μέσα στην ζύμη. Η βιολογική είναι η πιο συχνή στην αρτοποιία και γίνεται με την βοήθεια ενός μονοκύτταρου οργανισμού ο οποίος είναι υπεύθυνος για την αλκοολική ζύμωση. Η ποσότητα της μαγιάς σχετίζεται αντίστροφα με τον χρόνο ζύμωσης και την θερμοκρασία του ζυμαριού. Μεγαλύτερος χρόνος ζύμωσης απαιτεί χαμηλότερες θερμοκρασίες και λιγότερη ποσότητα μαγιάς. (Slavin, 2004; Buehler, 2014)

Το αλάτι στην ζύμη του ψωμιού κυμαίνεται από 1,8-2,5 %, ανάλογα βέβαια με την συνταγή και τον τύπο του αλεύρου. Η χρήση του στην αρτοποιία έχει ιδιαίτερη αξία, δεν αποτελεί μόνο ένα προϊόν που συμβάλει στο να γίνει το ψωμί εύγεστο, αλλά βοηθά και στην συνοχή του ζυμαριού ώστε να είναι λιγότερο κολλώδες και πιο ελαστικό. Το αλάτι λόγω της υγροσκοπικής του ιδιότητας λειτουργεί και ως συντηρητικό, ενώ αναστέλλοντας την ζύμωση συμβάλει στην απόκτηση ωραίου χρώματος της κόρας αλλά και στο να γίνει η ψίχα πιο λευκή. (Ashton, 2015)

Το νερό στην αρτοποιία έχει ουσιαστικό ρόλο καθώς το είδος και το ποσοστό των διάφορων συστατικών του επηρεάζουν τα οργανοληπτικά χαρακτηριστικά των τελικών προϊόντων. Καθιστά δυνατή τη διαμόρφωση της ζύμωσης μέσω της σύστασης της γλουτενικής αλυσίδας, βοηθά στην συνοχή των κόκκων του αμύλου, διαλύει το αλάτι στην ζύμη, ενεργοποιεί την αντίδραση των ενζύμων και την μεταφορά των θρεπτικών συστατικών μέσω της μαγιάς και βοηθάει στην απομάκρυνση άχρηστων προϊόντων. Επίσης είναι απαραίτητο μέσο για την δράση της μαγιάς. (Buehler, 2014) (Ζησόπουλος κ.ά., 2013)

Η μαγιά αποτελεί ένα από τα βασικά συστατικά στην αρτοποιία. Όλοι οι επαγγελματίες του χώρου την χρησιμοποιούν ευρέως. Περισσότερα από 500 είδη μαγιάς έχουν βρεθεί και περιγραφεί σήμερα. Όμως το είδος που χρησιμοποιείται περισσότερο είναι ο *Saccharomyces cerevisiae*, του οποίου τα διάφορα στελέχη συμμετέχουν στην παραγωγή του ψωμιού, του κρασιού, της μπίρας και άλλων αλκοολούχων ποτών. Κατά την ζύμωση, η μαγιά παράγει διοξείδιο του άνθρακα, δημιουργώντας ταυτόχρονα εσωτερική κυψέλωση και διόγκωση του ζυμαριού. Αυτές οι δράσεις της, επιτρέπουν στο ζυμάρι να αποκτήσει την ζητούμενη υφή και δομή του. Επιπλέον η μαγιά παράγει οινόπνευμα με άλλα σύνθετα σε μικρή ποσότητα, που θα συμβάλλουν στο σχηματισμό της αυθεντικής γεύσης του ψωμιού. Ένα μεγάλο μέρος αυτών των σύνθετων, εκ των οποίων και το σύνολο του οινοπνεύματος, εξατμίζονται κατά το ψήσιμο. Υπάρχουν δυο είδη μαγιάς: η νωπή και η ξηρή (εικόνα 6). (Ζησόπουλος κ.ά., 2013)

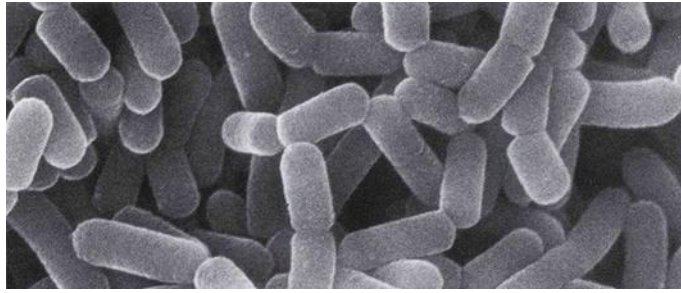
Η παραδοσιακή μαγιά, γνωστή με το όνομα «φρέσκια νωπή μαγιά», έχει όψη όπως τα υποπροϊόντα του ζυμαριού, χρώματος κοκκαλί ή υπόλευκου, αρκετά στερεή και ομοιογενής και είναι συσκευασμένη σε καλούπια των 500 γραμμαρίων. Η ξηρή «στιγμαία» μαγιά από την άλλη, εμφανίζεται υπό μορφή κόκκων με 4% υγρασία. Προέρχεται από την φρέσκια μαγιά, η οποία ξηραίνεται σε χαμηλή θερμοκρασία. Συσκευασμένη σε κενό αέρος, έχει το πλεονέκτημα να διατηρείται για μεγάλο χρονικό διάστημα (έως και 2 χρόνια) και να συμπεριφέρεται όπως η φρέσκια μαγιά, όταν προηγουμένως έχει αναμιχθεί με το αλεύρι, κατά την διάρκεια του ζυμώματος. (Buehler, 2014; Ζησόπουλος κ.ά., 2013)



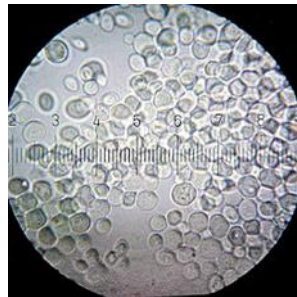
Εικόνα 6. Αριστερά: Φρέσκια μαγιά. Δεξιά: Ξηρή μαγιά.

Το προζύμι είναι ένα είδος ζύμης που προστίθενται στην βασική, προκειμένου να τονώσει την διόγκωση του άρτου και να διατηρήσει την φρεσκάδα του για μεγαλύτερο χρονικό διάστημα. Με μια σειρά αλυσιδωτών αντιδράσεων το σάκχαρο μετουσιώνεται σε διοξείδιο του άνθρακα και αιθυλική αλκοόλη, η οποία χαρίζει στο προζύμι τις χαρακτηριστικές φουσκάλες. Η χρήση προζυμιού κατά την διάρκεια της αρτοποιίας προσδίδει στο ψωμί ιδιαίτερα χαρακτηριστικά όπως: έντονη αρωματική γεύση, ελαστικότητα ζύμης, ακανόνιστη κυψέλωση, σταθερότητα ψίχας και μεγάλη διατηρησιμότητα. (Buehler, 2014)

Το προζύμι αποτελείται από συνδυασμό ζυμομυκήτων και γαλακτοβακίλλων, ενός ή περισσότερων ειδών. Οι ζυμομυκήτες (εικόνα 8) χρησιμοποιούν ως μέσο ανάπτυξης το ζυμάρι, και ο μεταβολισμός τους παράγει εκτός από αρωματικά σύνθετα, αιθανόλη και διοξείδιο του άνθρακα το οποίο διογκώνει τη ζύμη. Τα γαλακτικά βακτήρια από την άλλη (εικόνα 7), χρησιμοποιούν οργανικά οξέα του αλευριού καθώς και τα διαθέσιμα σάκχαρα όπως είναι η γλυκόζη η μαλτόζη και η σακχαρόζη, τα οποία προκύπτουν από την δραστηριότητα του ενζύμου της αμυλάσης που λαμβάνει χώρα στο ζυμάρι. Ανάλογα με τα προϊόντα του μεταβολισμού τους διαχωρίζονται σε ομοζυμωτικά και σε ετεροζυμωτικά. Τα πρώτα παράγουν μόνο γαλακτικό οξύ που διαμορφώνει τη γεύση του ψωμιού ενώ τα δεύτερα παράγουν επιπλέον και αιθανόλη και διοξείδιο του άνθρακα, τα οποία συμβάλλουν στην παραγωγή οξικού οξέος που δρα ως ενισχυτικό αρώματος. Στην Γαλλία, την Ισπανία, την Ελλάδα και την Κίνα, χρησιμοποιείται η αρτοποιία με βάση το σιτάρι και η καλλιέργεια της μικροχλωρίδας του προζυμιού προσανατολίζεται περισσότερο στην ανάπτυξη των ζυμομυκήτων έναντι των γαλακτοβάκιλλων. Αντίθετα σε άλλες χώρες όπως η Γερμανία, η Ρωσία η Ουκρανία και η Πολωνία όπου επιδιώκεται η παραγωγή προζυμιού με μεγάλη οξύτητα, γίνεται χρήση της αρτοποιίας με βάση τη σίκαλη, και η καλλιέργεια του προζυμιού προσανατολίζεται στην ανάπτυξη των γαλακτοβάκιλλων. (Buehler, 2014)



Εικόνα 7. Γαλακτοβάκιλλοι που συνεισφέρουν στην παραγωγή του ψωμιού.



Εικόνα 8. *Saccharomyces cerevisiae*, ο ζυμομύκητας που χρησιμοποιείται συνηθέστερα στην παραγωγή ψωμιού.

Το ζύμωμα είναι η βάση της επεξεργασίας του ζυμαριού και η πρώτη ενέργεια του αρτοποιού για την παραγωγή του ψωμιού. Από την ποιότητά του εξαρτάται κατά ένα πολύ μεγάλο μέρος η όψη και η τελική ποιότητα του προϊόντος. Αρχικά γίνεται ανάμιξη των υλικών σε αργή ταχύτητα διάρκειας από 3 έως 5 λεπτά. Η ποσότητα του αλεύρου θα πρέπει να είναι η σωστότερη δυνατή. Στο χρονικό αυτό διάστημα ρυθμίζουμε την τελική σύσταση του ζυμαριού προσθέτοντας αλεύρι ή νερό. Όταν το ζύμωμα έχει ολοκληρωθεί τα μόρια της γλουτένης έχουν ενωθεί καλά μεταξύ τους, δημιουργώντας ινίδια που θα διασταυρωθούν το ένα μετά το άλλο ώστε να δημιουργήσουν ένα γλουτενοειδή ιστό. Η δεύτερη ζύμωση στοχεύει στην καλύτερη δομή του γλουτενοειδούς ιστού και στην ενσωμάτωση αέρα στο ζυμάρι. Πραγματοποιείται τράβηγμα και συμπίεση των ινιδίων της γλουτένης δημιουργώντας ένα δυνατό πλέγμα. Στο τέλος αυτής της μηχανικής επεξεργασίας το ζυμάρι θα πρέπει να έχει τις κατάλληλες πλαστικές ιδιότητες δηλαδή συνεκτικότητα, εκτακτικότητα, διαπερατότητα και κράτημα. (Buehler, 2014; Hermann and Reinhold, 2002; Stryer *et al.*, 2002)

Η γεύση του ψωμιού εξαρτάται από τα συστατικά του, το είδος του δημητριακού που χρησιμοποιείται ως πρώτη ύλη και τη μέθοδο επεξεργασίας του. Περισσότερο γευστικά ψωμιά προέρχονται από πίτουρα ολικής άλεσης σε σχέση με τα ψωμιά από λευκό αλεύρι. Επίσης όσο προστίθενται επιπλέον προϊόντα στη ζύμη, όπως γάλα, ζάχαρη ή βύνη η γεύση της αλλάζει γιατί απελευθερώνονται επιπλέον

αρώματα κατά τη διάρκεια της φυσικής ζύμωσης, ιδιαίτερα από τα βακτηρίδια γαλακτικού οξέος. Κατά τη διαδικασία ψησίματος, η θερμότητα παίζει σημαντικό ρόλο στις αρωματικές ενώσεις που θα εκλυθούν. (Buehler, 2014)

Η ικανότητα ενός αλεύρου να δώσει καλό ψωμί επηρεάζεται από την ποιότητα στην πρώτη ύλη, τη συνταγή που θα χρησιμοποιηθεί για το ψωμί, τον εξοπλισμό για το ζύμωμά του, και την εμπειρία που έχει ο αρτοποιός. Η τεχνική της αρτοποιήσης διαδραματίζει επίσης σπουδαίο ρόλο για την τελική ποιότητα του ψωμιού. Οι τεχνικές αυτές είναι δύο, αυτή της ταχείας αρτοποιήσης και αυτή της βραδείας, αναλόγως του χρόνου που αφήνεται το ζυμάρι να φουσκώσει και να ωριμάσει. Η βραδεία αρτοποιήση θεωρείται ότι παράγει ψωμί ανώτερης γεύσης, επειδή έχουν δημιουργηθεί εντός του περισσότερες αρωματικές και γευστικές ουσίες. Η βραδεία αρτοποιήση έχει κάποιες κατηγορίες, όπως η έμμεση αρτοποιήση και η αρτοποιήση με ξινό ζυμάρι. (Buehler, 2014)

Η σημασία της ποιότητας του νερού για την αρτοποιία είναι πολύ μεγαλύτερη από όσο νομίζουμε. Το είδος και το ποσοστό των διαφόρων συστατικών του επηρεάζουν τα οργανοληπτικά χαρακτηριστικά των τελικών προϊόντων. Επίσης, σημασία έχει και η παρουσία διάφορων μικροοργανισμών. Το χρησιμοποιούμενο νερό πρέπει να έχει τις προδιαγραφές του πόσιμου. Για να είναι ένα νερό πόσιμο πρέπει (Buehler, 2014):

- α) Να μην περιέχει οργανικές ουσίες σε αποσύνθεση και παθογόνους μικροοργανισμούς.
- β) Να είναι διαυγές, άοσμο και με ευχάριστη γεύση.
- γ) Να περιέχει ορισμένη ποσότητα αέρα 20-50 cm³/lt, ανόργανα άλατα 0,1-0,5 gr/lt.

Το νερό προστίθεται στο ζυμάρι μετά το ανακάτεμα όλων των υλικών, συμβάλλοντας στην μετατροπή της ζύμης σε ψωμί. Η ποσότητα του νερού που προστίθεται στο αλεύρι θα πρέπει να είναι τόση ώστε να ενυδατώνεται πλήρως η ποσότητα της γλουτένης, χωρίς όμως το ζυμάρι να είναι κολλώδες. Το ζυμάρι που προκύπτει θα πρέπει να είναι συνεκτικό και εύκολα διαχειρίσιμο στον αρτοποιό. (Stinson and Feng, 2012)

ο αλάτι και το ποσοστό πρωτεΐνης που περιέχει το αλεύρι επηρεάζουν επίσης την κατανομή που θα έχει το νερό μέσα στο ζυμάρι. Τα αδύναμα αλεύρια που έχουν μικρή ποσότητα πρωτεΐνης δεν μπορούν να απορροφήσουν σε ικανοποιητικό βαθμό το νερό που παράγεται από την υδρόλυση που υφίσταται το άμυλο, και για δεδομένο βάρος αλευριού δίνουν συγκριτικά μικρότερη ποσότητα ψωμιού σε σχέση με τα δυνατά αλεύρια. Η ποσότητα νερού που δεσμεύει η γλουτένη διαπιστώθηκε πως αντιστοιχεί στο διπλάσιο του βάρους της, ενώ η αντίστοιχη ποσότητα για το θρυμματισμένο άμυλο είναι το μισό του βάρους του. (Buehler, 2014)

Η παρασκευή του ψωμιού σε μακροσκοπικό επίπεδο, ξεκινά με την ανάμιξη του αλεύρου και των λοιπών συστατικών με το νερό και τη μαγιά. Αρχικά προκύπτει

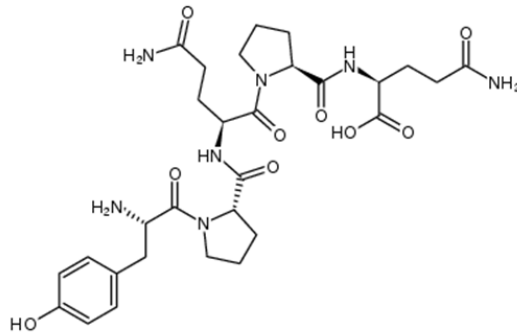
μια κολλώδης ασχημάτιστη μάζα η οποία μέσω της συνεχούς μάλαξης μετατρέπεται σε ένα λείο, μαλακό και εύκολα μορφοποιήσιμο, μετά από ένα χρόνο ανάπαυσης, ζυμάρι. Αν και τα περισσότερα αλεύρια γενικά έχουν παρόμοιες ιδιότητες κατά την παρασκευή του ψωμιού, κανένα άλλο αλεύρι εκτός του προερχόμενου από τον σίτο δε δίνει ζυμάρι με τόσο καλές ελαστικές ιδιότητες, κι αυτό οφείλεται στις διεργασίες που συμβαίνουν σε μικροσκοπικό επίπεδο. (Hermann and Reinhold, 2002)

Κατά την προσθήκη του νερού στο αλεύρι, τα μόριά του, έλκονται από τις πλευρικές αλυσίδες της πρωτεΐνης, διασπώντας τους δεσμούς υδρογόνου στις πρωτεΐνες και τις ομάδες του υδροξυλίου στο άμυλο. Οι ελεύθερες πλέον πρωτεΐνες, έχουν τη δυνατότητα μέσω υδρόφοβης αλληλεπίδρασης να πραγματοποιούν αμοιβαίες έλξεις, σχηματίζοντας μια κολλοειδή ενδιάμεση ουσία, τη γλουτένη. Η κολλώδης αυτή μάζα αποτελείται από 90% πρωτεΐνη, 8% λιπίδια και 2% υδατάνθρακες. (Stryer *et al.*, 2002)

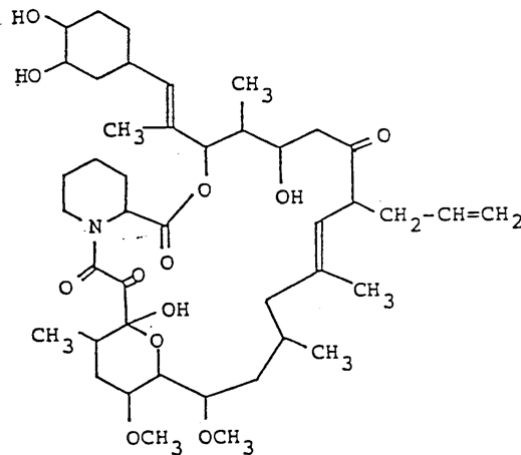
Το πρωτεϊνικό κλάσμα αποτελείται από ίσα μέρη γλοιαδίνης και γλουτενίνης. Οι γλοιαδίνες είναι μονομερή που σταθεροποιούνται στην τελική συμπαγή τους μορφή με δισουλφιδικές γέφυρες μεταξύ των μορίων. Από την άλλη, οι γλουτενίνες περιέχουν πολλές υπομονάδες συζευγμένες στα άκρα τους με δισουλφιδικές ενώσεις, και σχηματίζουν μεγάλες αλυσίδες. Το τράβηγμα της ζύμης προκαλεί «σύρσιμο» των αλυσίδων της γλουτενίνης μεταξύ τους και τάση για επάνοδο στην αρχική τους μορφή όταν η δύναμη της μάλαξης χαλαρώνει, επομένως η συγκεκριμένη πρωτεΐνη προσδίδει ελαστικότητα στη ζύμη. Από την άλλη, οι σφαιρικές γλοιαδίνες, κινούνται μεταξύ των αλυσίδων της γλουτενίνης, λειτουργώντας σαν «ρουλεμάν» ώστε να διευκολύνουν της μετατόπιση της μιας επάνω στην άλλη, προσδίδοντας πλαστικότητα στη ζύμη. Η μάλαξη της ζύμης προκαλεί αποκοπή των δισουλφιδικών γεφυρών και οδηγεί στο σχηματισμό ενός τελικού δικτύου πρωτεϊνών, στο οποίο το τρισδιάστατο δίκτυο των γλουτενινών περιέχει εντός του τις σφαιρικές γλοιαδίνες. (Buehler, 2014; Stryer *et al.*, 2002)

Το λιπιδικό τμήμα της γλουτένης έχει την ιδιότητα να σταθεροποιεί το σχηματισμό πόρων, καθώς οι ζύμες στις οποίες έχει αφαιρεθεί το λίπος παρουσιάζει σημαντικά μικρότερη αύξηση σε όγκο κατά τη διάρκεια του ψησίματος. Περιέχουν μία ή δύο αλυσίδες υδρόφοβων λιπαρών οξέων, αλλά και ένα υδρόφιλο μοριακό τμήμα, το οποίο προσδίδει γαλακτωματοποιητικό και επιφανειοδραστικό χαρακτήρα. Επιπλέον, κατά το ζύμωμα σχηματίζονται μικρά σταγονίδια λίπους (λιποσώματα διαμέτρου περίπου 100 μm) που προσδίδουν επιπλέον λιπαντικές ιδιότητες στη ζύμη, επιτρέποντάς της περισσότερο τέντωμα. (Buehler, 2014)

Η ζύμη που έχει ζυμωθεί πρόσφατα, έχει την τάση να επανέρχεται γρήγορα, ενώ μετά την περίοδο ανάπαυσης των 15-60 λεπτών παρατηρείται χαλάρωση της γλουτένης ενώ η μαγιά συνεχίζει να υφίσταται ζύμωση. Η προσεκτική συμπίεση της ζύμης μετά το χρόνο ανάπαυσης, επιφέρει καταστροφή των περισσότερων φυσαλίδων αερίου, και ομοιόμορφη σχετικά κατανομή όσων παραμένουν. (Buehler, 2014)



Εικόνα 9. Γλοιαδίνη, το ένα εκ των δυο συστατικών της γλουτένης. (<https://www.mpbio.com>)



Εικόνα 10. Γλουτεΐνη, το άλλο συστατικό της γλουτένης. (www.buecherbeutel.com)

Τα άλλου είδους αλεύρια, όπως το αλεύρι σίκαλης, δεν δίνουν ψωμί που φουσκώνει τόσο όσο το ψωμί από αλεύρι σίτου, διότι η χαμηλή περιεκτικότητα σε γλουτένη δεν μπορεί να υποστηρίξει την ελαστικότητα στο ζυμάρι. Το γεγονός ότι το ψωμί από αλεύρι σίκαλης φουσκώνει και διατηρεί μια πολύ ικανοποιητική συνοχή, έχει αποδοθεί στην παρουσία πεντοζανών. Οι πεντοζάνες είναι μια κατηγορία σύμπλοκων πολυσακχαριτών που περιέχουν και πρωτεΐνες σε ποσοστό 6-8% κατά βάρος για το αλεύρι σίκαλης (σε αντίθεση με το αλεύρι σίτου όπου το αντίστοιχο ποσοστό πρωτεΐνης στις πεντοζάνες είναι 2-3%). Κατά την άλεση του αλευριού από σίτο, οι πεντοζάνες διαχωρίζονται, ενώ στο αλεύρι σίκαλης διανέμονται σε όλους τους πυρήνες και παραμένουν μετά την άλεση. Οι πεντοζάνες έχουν την ικανότητα να δεσμεύουν ποσότητες νερού, οι οποίες δεν απελευθερώνονται ούτε κατά το ψήσιμο αλλά ούτε και μετά. Αυτό μπορεί να εξηγήσει γιατί η ψίχα των ψωμιών από σίκαλη

έχουν πιο υγρή υφή από αυτή του ψωμιού σίτου και μένουν χωρίς να στεγνώσουν φρέσκα για περισσότερο διάστημα. (Stryer *et al.*, 2002)

Τα κυτταρικά τοιχώματα των σιτηρών περιέχουν διάφορους πολυσακχαρίτες. Οι πεντοζάνες θεωρούνται από τους πιο σημαντικούς πολυσακχαρίτες των σιτηρών και διακρίνονται σε κυτταρίνες και ημικυτταρίνες. Οι πεντοζάνες αντιπροσωπεύουν 1-3% του αλεύρου σίτου και κατά προσέγγιση το 20-30% των πεντοζανών στο αλεύρι και είναι υδατοδιαλυτές. Η περιεκτικότητά τους στο αλεύρι σχετίζεται με τον βαθμό άλεσης του σιταριού. Διαπιστώθηκε ότι οι πεντοζάνες είναι ένας από τους πιο σημαντικούς παράγοντες στη διατήρηση της φρεσκάδας του ψωμιού για μεγάλο χρονικό διάστημα. Καθυστερούν δηλαδή το μπαγιάτεμα, το οποίο αποδίδεται στη σύμπτυξη (αναδιάταξη) των αλέσεων του μύλου. Οι πεντοζάνες συγκρατούν το διοξείδιο του άνθρακα που παράγεται στο ζυμάρι κατά την ζύμωση, πολύ περισσότερο από τη γλουτένη, όπως γινόταν πιστευτό παλαιότερα και συντελούν ουσιαστικά στο φούσκωμα του ψωμιού. Αντίθετα οι αδιάλυτες πεντοζάνες συντελούν στην παραγωγή ψωμιού μικρού όγκου με ακανόνιστη δομή ψίχας. Οπότε είναι απαραίτητο να υπάρχει μια σταθερή ισορροπία ανάμεσα στις διαλυτές πεντοζάνες και στις αδιάλυτες ημικυτταρίνες ώστε να έχουμε μια άριστη δέσμευση νερού, δημιουργία καλής δομής ψίχας και αύξηση του όγκου του ψωμιού. (Γεωργόπουλος, 2010)

Κεφάλαιο 2.

Μικροβιακές αλλοιώσεις στο ψωμί

Όλα τα ψωμιά και τα είδη αρτοποιίας μπορούν να υποστούν αλλοιώσεις. Η αρχική αιτία των αλλοιώσεων μπορεί να είναι μικροβιακή, αλλά μπορεί να έχει να κάνει επίσης με φυσικούς ή χημικούς παράγοντες. Τα μικρόβια μπορεί να προέλθουν από πολλά μέρη, όπως οι αποθήκες, οι χώροι μεταποίησης, οι χώροι μεταποίησης, παραγωγής και διάθεσης. Ο αριθμός τους είναι μικρός, καθώς και η ικανότητα να αναπτυχθούν, εκτός αν βρεθούν υπό τις κατάλληλες συνθήκες θερμοκρασίας, οξυγόνου και υγρασίας, οπότε πολλαπλασιάζονται ραγδαία. Η περιεκτικότητα σε νερό όλων των αρτοποιημάτων ευθύνεται για την ανάπτυξη μυκηλίου μυκήτων (μούχλας) που παρατηρείται πολύ συχνά στην επιφάνεια αυτών των προϊόντων. Αυτό είναι και το βασικότερο πρόβλημα το οποίο ζημιώνει οικονομικά την αρτοποιία. Για το λόγο αυτό, το ψωμί που διατίθεται εμπορικά, συνήθως έχει μειωμένα ποσοστά υγρασίας, ώστε να περιορίζονται οι μικροβιακές αλλοιώσεις εντός της μάζας του, ενώ ταυτόχρονα λαμβάνεται μέριμνα ώστε να αποθηκεύεται πάντα σε συνθήκες χαμηλής υγρασίας. Έχει υπολογιστεί ότι η απώλεια των ειδών αρτοποιίας λόγω της μυκητιακής αλλοίωσης, μπορεί να κυμανθεί από 1-5%, ανάλογα με την εποχή, το είδος του προϊόντος και την μέθοδο της επεξεργασίας. Οι μικροβιακές αλλοιώσεις που μπορεί να υποστεί το ψωμί και τα άλλα προϊόντα από αλεύρι, μπορούν να προκύψουν από μύκητες και βακτήρια, ενώ η μόλυνση από άλλα είδη μικροβίων πχ πρωτόζωα ή ιούς δεν έχει αναφερθεί. (Deak and Beuchat, 1996; Saranraj and Geetha, 2012)

Αξίζει να αναφερθεί ότι τα δημητριακά έχουν μια φυσιολογική αυτόχθονη μικροχλωρίδα η οποία ποικίλλει ανάλογα με το έδαφος, τις συνθήκες καλλιέργειας, αποθήκευσης και επεξεργασίας, η οποία με την επικράτηση των κατάλληλων συνθηκών μπορεί να πολλαπλασιαστεί. Τα συχνότερα μικρόβια της αυτόχθονης χλωρίδας των δημητριακών είναι τα γένη *Bacillus*, *Flavobacterium*, *Escherichia*, και *Aerobacter*. Επιπλέον, η πιθανότητα ανάπτυξης μικροοργανισμών είναι μεγαλύτερη στο σιτάρι σε σχέση με τα άλλα δημητριακά. Γενικά τα μικρόβια δείχνουν προτίμηση στις πρώτες ύλες της ζαχαροπλαστικής και της αρτοποιίας, λόγω του μεγάλου αριθμού θρεπτικών συστατικών που περιέχουν (σάκχαρα, πρωτεΐνες, υδατάνθρακες) και χρησιμοποιούνται για την επιβίωσή τους. Παρά τις θερμοκρασίες που αναπτύσσονται κατά τις διαδικασίες παραγωγής και ψησίματος των αρτοποιημάτων, είναι δυνατόν να επιβιώσουν μικροοργανισμοί και να προκαλέσουν αλλοιώσεις στα τελικά προϊόντα. (Hermann and Reinhold, 2002)

2.1. Μυκητιακές αλλοιώσεις

Η πιο κοινή μικροβιακή αλλοίωση του ψωμιού είναι αυτή που προκαλείται από μύκητες, και είναι γνωστή ως «μούχλα» (εικόνα 10). Η μόλυνση συμβαίνει κατά τη διάρκεια της επεξεργασίας της ζύμης, καθώς το περιβάλλον του αρτοποιείου δεν είναι στείρο, και τα ξηρά συστατικά που περιέχει, όπως το αλεύρι, διασκορπίζονται εύκολα λόγω της σκονοειδούς μορφής τους. Έχει εκτιμηθεί ότι ένα γραμμάριο αλεύρου μπορεί να περιέχει ως και 8000 σπόρια μυκήτων ενώ η ίδια ποσότητα μπορεί να υπάρχει στα αρτοποιεία σε ένα τετραγωνικό μέτρο επιφάνειας εργασίας κάθε ώρα. Για το λόγο αυτό, στα μεγάλα αρτοποιεία, διαχωρίζεται η περιοχή επεξεργασίας των αλεύρων από την περιοχή ψύξης και συσκευασίας των τελικών προϊόντων. (Saranraj and Geetha, 2012)

Οι μυκηλιακοί μύκητες είναι μικροοργανισμοί με κύτταρα σαν νημάτια γνωστά ως υφές οι οποίες επιμηκύνονται και διακλαδίζονται φτιάχνοντας ένα πλέγμα υφών, το γνωστό μυκήλιο. Οι μυκηλιακοί μύκητες που εμπλέκονται στην μικροβιακή αλλοίωση του ψωμιού είναι κυρίως οι *Rhizopus* sp., *Mucor* sp., *Penicillium* sp., *Eurotium* sp., *Aspergillus* sp. και *Monilia sitophilia*. Ειδικά ο μύκητας *Rhizopus stolonifer* αναφέρεται πολύ συχνά ως η «μούχλα» του ψωμιού. Επιπλέον οι μύκητες του γένους *Eurotium* είναι οι πρώτοι που αποικούν το υδάτινο στοιχείο του ψωμιού και μπορούν να επιτρέψουν στα γένη μυκήτων *Aspergillus* και *Penicillium* να παράξουν μυκοτοξίνες και να ευδοκιμήσουν, αυξάνοντας την έκταση της μυκητιακής αλλοίωσης. Οι αφλατοξίνες που παράγει το γένος *Aspergillus* για παράδειγμα είναι ικανές να προκαλέσουν σοβαρές τοξικές αντιδράσεις. (Germain and Summerbell, 2010; Hermann and Reinhold, 2002)



Εικόνα 10. Μουχλιασμένο ψωμί.

Οι πιο συχνοί μύκητες που αποικούν το ψωμί είναι αυτοί του γένους *Penicillium*. Οι μύκητες του γένους *Aspergillus* αποικούν πιο συχνά τα αρτοσκευάσματα στις τροπικές χώρες, το είδος *A. fumigatus* προκαλεί την άσπρη μούχλα ενώ το είδος *A. niger* την μαύρη μούχλα (εικόνες 11 και 12). Στα ψωμιά σίτου έχει παρατηρηθεί αποίκηση από τη μεγαλύτερη ποικιλία μυκήτων που προκαλούν μούχλα, συμπεριλαμβανομένων των γενών *Mucorales*, *Neurospora*,

Aspergillus και *Cladosporium*. Ο μύκητας *Penicillium stoloniferum* προκαλεί την «πράσινη μούχλα» ενώ ο *Rhizopus stolonifer* είναι ο πιο κοινός που προκαλεί τη «μαύρη μούχλα» στο ψωμί και οι αποικίες του παρουσιάζονται λευκές με εικόνα σαν βαμβάκι μέσα στις οποίες φαίνονται μαύρα σπόρια (εικόνα 13). Σε ψωμί που αποθηκεύεται σε περιβάλλον υψηλής υγρασίας ή συσκευάζεται ενώ είναι ακόμη ζεστό, ο μύκητας που αναπτύσσει μούχλα είναι συνήθως η *Neurospora sitophila*, όπου οι αποικίες του έχουν κοκκινωπή απόχρωση. Τέλος, ο μύκητας *Pichia butonii*, είναι ένας ζυμομύκητας της μαγιάς που πολλαπλασιάζεται πολύ γρήγορα στο ψωμί, με ορατή ανάπτυξη πολύ πριν εμφανιστεί η μούχλα που προκαλεί, η οποία έχει χαρακτηριστική όψη κιμωλίας. (Legan and Voysey, 1991; Legan, 1993)



Εικόνα 11. Αποικίες μυκήτων του γένους *Penicillium* και *Aspergillus*, οι πιο συχνοί μύκητες που προκαλούν μούχλα στο ψωμί.



Εικόνα 12. Μούχλα από *Penicillium* spp. σε φέτες λευκού ψωμιού. (<http://www.mindenpictures.com>)



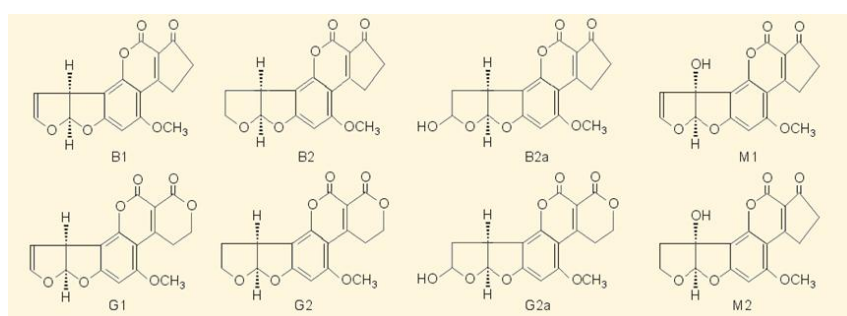
Εικόνα 13. Αποικίες μυκήτων του γένους *Rhizopus* και η αλλοίωση «μαύρης μούχλας» που προκαλεί στο μαύρο ψωμί. (www.slideshare.net)

Η θερμοκρασία στην οποία γίνεται η αποθήκευση των αρτοποιημάτων έχει βρεθεί πως παίζει κάποιο ρόλο στο είδος του μύκητα που μπορεί να τα προσβάλλει. Για παράδειγμα, ο *Aspergillus* spp. είναι ο κυριότερος μύκητας που προκαλεί μούχλα στο ψωμί στην Ινδία, ενώ στην Βόρεια Ιρλανδία που το κλίμα είναι πιο ψυχρό, το 90% των μυκήτων που απομονώνονται από τη μούχλα του ψωμιού ανήκουν στο είδος *Penicillium* spp.. (Legan, 1993; Saranraj and Geetha, 2012)

Ορισμένοι από τους μύκητες που προκαλούν τις παραπάνω αλλοιώσεις στο ψωμί αποτελούν κίνδυνο για τη δημόσια υγεία, καθώς είναι ικανοί να παράξουν μυκοτοξίνες, μεταβολικά προϊόντα τοξικά για τους ανθρώπους. Οι μυκοτοξίνες είναι ουσίες με χαρακτηριστική ιδιότητα τον έντονο φθορισμό των διαλυμάτων τους όταν προσπίπτει σε αυτά υπεριώδης ακτινοβολία. Το αρχικό τους γράμμα προκύπτει από το αρχικό του χρώματος που παρουσιάζει το διάλυμα υπό την επίδραση της ακτινοβολίας (B για blue, G για green και τα γράμματα M αντιστοιχούν σε μεταβολίτες των αφλατοξινών B και υπάρχουν στο γάλα ζώων (M, από το αρχικό της λέξης milk) που έχουν τραφεί με μολυσμένες τροφές (εικόνα 14). (Deak and Beuchat, 1996)

Η μεταφορά των μυκοτοξινών στον άνθρωπο μπορεί να γίνει είτε άμεσα, όταν ένα άτομο καταναλώσει μολυσμένο ψωμί, είτε έμμεσα, όταν καταναλώσει προϊόντα από ζώα που έχουν τραφεί με μολυσμένες ζωοτροφές. Η μυκοτοξίκωση είναι μια σοβαρή και πολλές φορές δυσδιάγνωστη παθολογική κατάσταση που εκδηλώνεται με ευρεία ποικιλία συμπτωμάτων από το γαστρεντερικό, το αναπνευστικό, το αναπαραγωγικό ή το ανοσοποιητικό σύστημα, καθώς επίσης μπορεί να προκαλέσει μεταβολικές διαταραχές, καρκινώματα ή θάνατο. Ενδεικτικά αναφέρεται ότι η αφλατοξίνη B1 θεωρείται μυκοτοξίνη με πολύ ισχυρή καρκινογόνο δράση στο ήπαρ και τα γεννητικά όργανα, με μεταλλαξιογόνο δράση 1000 φορές ισχυρότερη από το βενζοπυρένιο που περιέχεται στα τσιγάρα. (Hermann and Reinhold, 2002)

Οι μυκοτοξίνες είναι πολύ ανθεκτικές και δύνανται να επιβιώσουν ακόμη και στις υψηλές θερμοκρασίες στις οποίες ψήνεται το ψωμί. Ωστόσο, στις ανεπτυγμένες χώρες, ο κίνδυνος για μόλυνση από μυκοτοξίνες είναι μικρός. Ο μειωμένος κίνδυνος μόλυνσης υπάρχει λόγω του ότι απαιτείται μεγάλη ποσότητα μούχλας για να ξεκινήσει η παραγωγή τους, φαινόμενο σπάνιο στις χώρες αυτές. Επιπρόσθετα οι καταναλωτές αυτών των χωρών τείνουν να πετούν το σύνολο ενός μουχλιασμένου ψωμιού κι όχι να κόβουν το αλλοιωμένο μέρος και να τρώνε το υπόλοιπο, ενώ επιπλέον οι έλεγχοι είναι συστηματικοί και τα ανώτατα όρια που θεσπίζονται είναι αυστηρά. Λόγω των παραπάνω, το ίδιο χαμηλός σε αυτές τις χώρες είναι ο κίνδυνος της έμμεσης μόλυνσης από μυκοτοξίνες. (Osborne, 1980)



Εικόνα 14. Χημικοί τύποι των κυριότερων αφλατοξινών.

Η κόρα του ψωμιού είναι μια ξηρή επιφάνεια, και αν η υγρασία στην ατμόσφαιρα είναι κάτω του 90% δεν θα αναπτυχθούν μύκητες εντός της. Επίσης σε ξηρά κλίματα η ανάπτυξη των μυκήτων είναι πολύ αργή, κι έτσι το ψωμί μετά την παρασκευή του μπορεί να στεγνώσει χωρίς η μούχλα να προλάβει να αναπτυχθεί τόσο ώστε να γίνει ορατή. Σε περιοχές με υγρό κλίμα όμως, και ειδικά για αρτοσκευάσματα που διαθέτουν περιτύλιγμα, οι μύκητες μπορεί να αυξηθούν με ταχείς ρυθμούς. Ακόμη μεγαλύτερος κίνδυνος υπάρχει για σκευάσματα που περιτυλίγονται αμέσως μετά το ψήσιμό τους, επειδή είναι ζεστά και μπορεί τα υδάτινα σταγονίδια να συμπυκνωθούν στην εσωτερική επιφάνεια του περιτυλίγματος. Όταν το ψωμί επίσης είναι κομμένο σε φέτες, η επιφάνειά του αυξάνεται και είναι πιο επιρρεπές στη δημιουργία μούχλας. Επομένως, συμπεραίνεται πως ο πιο μεγάλος κίνδυνος ανάπτυξης μούχλας υπάρχει για τα ψωμιά που είναι κομμένα σε φέτες και ταυτόχρονα διαθέτουν περιτύλιγμα, καθώς διαθέτουν αρκετά ανεπτυγμένη επιφάνεια, και το περιτύλιγμα εμποδίζει τη διαφυγή της υγρασίας. (Couvain and Young, 2008)

Ο ρυθμός ανάπτυξης μούχλας στα διάφορα είδη ψωμιού εξαρτάται από τη συνταγή του ψωμιού και τη μέθοδο επεξεργασίας. Τα σκούρα και ολικής άλεσης ψωμιά φαίνεται ότι μουχλιάζουν νωρίτερα χρονικά από το λευκό ψωμί, γιατί η μούχλα τείνει να είναι πιο ευδιάκριτη στις σκουρόχρωμες επιφάνειες. Το ψωμί σίκαλης, τείνει να έχουν ελαφρώς μεγαλύτερη διάρκεια ζωής εξαιτίας του ότι διαθέτουν αυξημένη οξύτητα και χαμηλότερο pH. Όσον αφορά την επεξεργασία, τα ψωμιά στα οποία ο κύριος όγκος ζυμώνεται, έχουν μεγαλύτερο ποσοστό αλκοόλης

και μεγαλύτερη διάρκεια ζωής σε σχέση με τα ψωμιά που γίνονται με τη μέθοδο της ενεργού ανάπτυξης ζύμης. (Cauvain and Young, 2008)

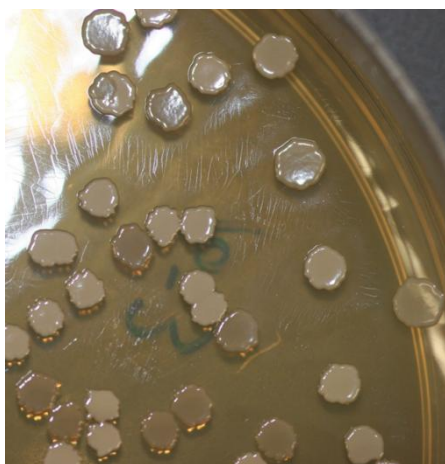
2.2. Βακτηριακές αλλοιώσεις

Τα βακτήρια είναι υπεύθυνοι μικροοργανισμοί για πολλές αλλοιώσεις στα τρόφιμα καθώς και για πρόκληση τροφικών δηλητηριάσεων. Πρόκειται για μονοκύτταρους μικροοργανισμούς που μπορεί να είναι αερόβιοι, αναερόβιοι, ψυχρόφιλοι, θερμοφιλοι ή να προσδιορίζονται με διάφορες άλλες κατηγοριοποιήσεις. Οι αλλοιώσεις που προκαλούν στα τρόφιμα δεν επηρεάζουν γενικά σημαντικά την υγεία των καταναλωτών, εκτός αν στο τρόφιμο έχει αναπτυχθεί μεγάλος αριθμός μικροοργανισμών. Η κατανάλωση όμως προϊόντων στα οποία έχουν αναπτυχθεί βακτηριακές τοξίνες μπορεί να επιφέρει τροφική δηλητηρίαση. (Deak and Beuchat, 1996)

Στην αρτοποιία, τα βακτήρια που προκαλούν τις πιο σημαντικές αλλοιώσεις είναι αυτά που ανήκουν στο γένος *Bacillus*. Η βλάβη που προκαλούν στον άρτο είναι χαρακτηριστική και ονομάζεται «ιξώδης αλλοίωση» ή αλλιώς το αλλοιωμένο ψωμί λέγεται «σχοινώδες». Τα είδη *B. subtilis* (εικόνα 15 και 16), *B. licheniformis*, *B. megaterium* και *B. cereus* είναι που ευθύνονται κυρίως για την βλάβη. Η κατανάλωση ιξώδους ψωμιού μπορεί να αποτελέσει κίνδυνο για την υγεία και πρόκληση μιας μορφής τροφικής δηλητηρίασης. Η παρουσία των βακίλλων στο τελικό προϊόν εξαρτάται από την περιεκτικότητα στις πρώτες ύλες, τον εξοπλισμό, το νερό και τους χώρους που γίνεται η επεξεργασία των ζυμών. Συγκεκριμένα, ο εξοπλισμός του αρτοποιείου που προετοιμάζει τη ζύμη, οι ταινίες μεταφοράς και οι μηχανές τεμαχισμού των αρτοσκευασμάτων μετά το ψήσιμο αποτελούν τις πιο κοινές πηγές επιμόλυνσης. (Collins *et al.*, 1989; Collins *et al.*, 1991)



Εικόνα 15. *Bacillus subtilis*, όπως φαίνεται στο ηλεκτρονικό μικροσκόπιο.



Εικόνα 16. Αποικίες *Bacillus subtilis*.

Το γένος *Bacillus* περιγράφηκε για πρώτη φορά το 1872 από τον Ferdinand Cohn, ο οποίος πραγματοποίησε την πρώτη ολοκληρωμένη μελέτη για την ταξινόμηση του μικροοργανισμού. Οι πρόσφατες μελέτες έχουν αναδείξει τη μεγάλη ποικιλομορφία που έχει το γένος, και έχουν προσθέσει πέντε ξεχωριστές κατηγορίες γι αυτό, που στην πραγματικότητα αντιπροσωπεύουν διαφορετικά γένη. Οι παραλλαγές στις αποικίες που σχηματίζει ο *B. subtilis* μπορεί να εξαρτώνται από τον τύπο της πεπτόνης που χρησιμοποιείται στο θρεπτικό μέσον, ενώ το χρώμα της αποικίας μπορεί να επηρεάζεται από τον βαθμό παραγωγής των σπορίων εντός αυτής. (Collins *et al.*, 1991; Thompson *et al.*, 1993)

Πολλές μελέτες έχουν πραγματοποιηθεί που προσπαθούν να χαρακτηρίσουν τα διάφορα στελέχη *Bacillus*, χρησιμοποιώντας τεχνικές όπως η παραγωγή καταλάσης, η δοκιμή Voges Proskauer, η αναερόβια ανάπτυξη στο άγαρ, η ανάπτυξη στους 50 και 55 βαθμούς Κελσίου, η χρήση D-ξυλόζης, η χρώση κατά Gram, η ανάπτυξη σε 7% NaCl και η υδρόλυση του αμύλου. Ωστόσο, η χρήση περιορισμένου αριθμού δοκιμών έχει δείξει πως δεν μπορεί εύκολα να διακρίνει τα διαφορετικά στελέχη *Bacillus*, και πολλές φορές είναι δύσκολη ακόμη και η διάκριση σε επίπεδο είδους, αφού κάποια από αυτά παρουσιάζουν εξαιρετικά μεταβλητά χαρακτηριστικά. Οι μοριακές τεχνικές επίσης, μπορούν να δώσουν πληροφορίες σχετικά με το αν τα στελέχη έχουν προέλθει από το ίδιο ή από διαφορετικά περιβάλλοντα, επομένως να εντοπίζεται η πηγή τους και να καθορίζονται κρίσιμα σημεία ελέγχου εντός του χώρου παραγωγής. (Collins *et al.*, 1989; Thompson *et al.*, 1993)

Οι σπόροι των βακτηρίων αυτών θεωρείται ότι προσβάλλουν το στάχυ κατά την καλλιέργεια και έπειτα αυτά περνάνε στο αλεύρι κατά την άλεση. Τα σπόρια των στελεχών του *B. subtilis* δεν μπορούν να καταστραφούν κατά το ψήσιμο αν η θερμοκρασία στο εσωτερικό του ψωμιού δεν ξεπεράσει τους 100 βαθμούς Κελσίου, οπότε αν επιβιώσουν και στη συνέχεια ευνοήσουν οι συνθήκες, εκβλαστάνουν και τα κύτταρα που προκύπτουν πολλαπλασιάζονται. Τα σπόρια του *Bacillus subtilis* για

παραδείγματα, είναι ανθεκτικά στη θερμότητα με 55% να παραμένουν ενεργά μετά από 20 λεπτά στους 65 °C. Τα σκούρα ψωμιά, που έχουν μεγαλύτερη περιεκτικότητα σε πίτουρο σιταριού φαίνεται να είναι πιο επιρρεπή στο συγκεκριμένο τύπο αλλοίωσης. Ως πηγές μόλυνσης για το ψωμί θεωρούνται επίσης διάφορες πρώτες ύλες της αρτοποιίας κάποια βελτιωτικά αρώματος και γεύσης, καθώς και η ατμόσφαιρα του αρτοποιείου και οι επιφάνειες επεξεργασίας του άρτου. (Collins *et al.*, 1991)

Όπως και με τη μούχλα, ευνοϊκή συνθήκη για την ανάπτυξη των βακτηρίων και των σπορίων τους αποτελεί η υγρασία, γι' αυτό και η εμφάνιση της αλλοίωσης αυξάνει στα σημεία που το ψωμί δεν έχει ζυμωθεί καλά και έχει εγκλωβιστεί υγρασία. Επίσης η αλλοίωση παρουσιάζει αυξημένη συχνότητα στα ψωμιά που συσκευάζονται σε σακούλες αμέσως μετά το ψήσιμό τους χωρίς να αφήνονται να κρυώσουν, σε ψωμιά που αφήνονται να ψυχθούν αργά ή διατηρούνται σε θερμοκρασίες πάνω από 32 βαθμούς Κελσίου, σε εκείνα που δεν έχουν ψηθεί καλά και όσα έμειναν σε καλάθια χωρίς επαρκή αερισμό. Επιπλέον, το ιδανικό pH ανάπτυξης του βακίλου είναι 5.5-8.5, επομένως γίνεται αντιληπτό πως όταν μειώνεται ο βαθμός οξύτητας τους ψωμιού, περιορίζεται ή αναστέλλεται η ανάπτυξή του. (Thompson *et al.*, 1993)

Το σχοινώδες ψωμί έχει μια χαρακτηριστική γλυκιά φρουτώδη οσμή, που περιγράφεται ως όμοια με του ώριμου πεπονιού ή ανανά. Για την οσμή αυτή ευθύνονται διάφορες πτητικές ενώσεις, συμπεριλαμβανομένης της ακεταλδεΐδης και της ακετόνης. Το χρώμα του κυμαίνεται από κίτρινο έως ανοιχτό καφέ ενώ κατά περιοχές, μπορεί τα κεντρικά τμήματα της φρατζόλας να παρουσιάζουν αποχρωματισμό. Συνήθως το πρώτο στοιχείο του προσβεβλημένου ψωμιού που γίνεται αντιληπτό είναι η οσμή και ύστερα παρατηρείται η αλλοίωση στο χρώμα. Για να αρχίσει η αλλοίωση να φαίνεται πρέπει να περάσουν δώδεκα έως εικοσιτέσσερις ώρες ώστε να δοθεί χρόνος στο βάκιλο να αναπτυχθεί. Η ψίχα του ψωμιού γίνεται πολύ μαλακή, κολλάει στα δάχτυλα και σχηματίζει δικτυωτές ίνες που μπορούν να τραβηχτούν έξω από τη φρατζόλα σαν σχοινιά, εξ' ου και η ονομασία της μικροβιακής αυτής αλλοίωσης (εικόνα 17). Η παραγωγή αυτής της σχοινώδους υφής, έχει υποτεθεί πως οφείλεται στην ενθυλάκωση των βακτηρίων μέσα στο ψωμί και την ταυτόχρονη πέψη των κόκκων αμύλου από τις βακτηριακές αμυλάσες και πρωτεάσες, μέσα σε ένα κολλώδες εξωκυττάριο υλικό πολυσακχαρίτη που σχηματίζεται από τον ίδιο τον βάκιλο. Αξίζει να αναφερθεί πως η αλλοίωση μπορεί να γίνει εμφανής εκτός από το τελικό προϊόν και στο στάδιο του ζυμώματος με κολλώδες και γλοιώδες ζυμάρι. (Thompson *et al.*, 1993; Thomson *et al.*, 1998)



Εικόνα 17. Ψωμί που έχει υποστεί σχοινώδη αλλοίωση.

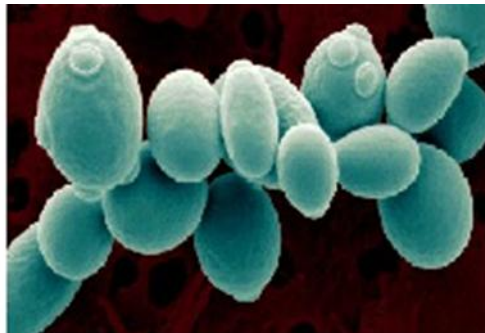
Στο δυτικό κόσμο, λόγω των εφαρμογών ορθών πρακτικών στην παραγωγή του ψωμιού, των προηγμένων ελέγχων στην διαδικασία και των υψηλών προτύπων υγιεινής, η σχοινώδης αλλοίωση του ψωμιού είναι σπάνιο φαινόμενο. Την πρόληψη της εμφάνισής της βοηθά επιπλέον η προσθήκη συντηρητικών, όπως το οξικό ασβέστιο σε ποσοστό 0,3%, ή το προπιονικό ασβέστιο σε ποσοστό 0,2%, αν και τα τελευταία χρόνια, η χρήση των ουσιών αυτών έχει μειωθεί, καθώς οι καταναλωτές έχουν όλο και μεγαλύτερη απαίτηση για αρτοποιασκευάσματα χωρίς συντηρητικά. Έτσι, υπάρχει τάση για χρήση πιο φυσικών συντηρητικών στο ψωμί όπως για παράδειγμα το ξίδι (οξικό οξύ), που προστίθεται σε αναλογία 0.1%. (Thompson *et al.*, 1993; Volavsek *et al.*, 1992)

Όταν επικρατούν υψηλές θερμοκρασίες στο περιβάλλον έχει παρατηρηθεί από έρευνα στο Ηνωμένο Βασίλειο αύξηση στην εμφάνιση αλλοιώσεων σχοινώδους μορφής στους άρτους. Η μεγαλύτερη συχνότητα εμφάνισης της σχοινώδους αλλοίωσης παρατηρείται στη Νότιο Αφρική, όπου οι καταναλωτές δείχνουν προτίμηση σε ζεστά ψωμιά, σκούρου χρώματος, όχι ψημένα τελείως και ταυτόχρονα το κλίμα της περιοχής είναι ζεστό και υγρό, ενώ οι προδιαγραφές υγιεινής κατά την Παρασκευή δεν είναι τόσο υψηλές όσο σε άλλα μέρη, π.χ. στο Ηνωμένο Βασίλειο. Έτσι σε αυτές τις χώρες, τόσο ο κίνδυνος για τροφική δηλητηρίαση του καταναλωτή, όσο και για οικονομική ζημιά του αρτοποιού είναι πολύ μεγαλύτερος. (Volavsek *et al.*, 1992)

2.3. Αλλοιώσεις που οφείλονται σε ζυμομύκητες

Πολλές φορές το ψωμί που έχει αλλοιωθεί αναδύει μια μυρωδιά που μπορεί να αποδοθεί λανθασμένα σε σχοινιώδη αλλοίωση από βάκιλο, αλλά στην πραγματικότητα πρόκειται για επιμόλυνση από ζυμομύκητες που υπάρχουν, όπως αναφέρθηκε, στην μαγιά. Η μόλυνση από τη μαγιά είναι σπάνια γιατί ο χρόνος επεξεργασίας είναι συνήθως μικρός, αλλά δεν είναι απίθανο να συμβεί όταν πρόκειται για χρονοβόρα επεξεργασία μεγάλων ποσοτήτων ζύμης, ειδικά αν είναι αρκετά πορρώδης. Οι ζυμομύκητες δεν επιβιώνουν στις θερμοκρασίες ψησίματος όπως τα σπόρια των μυκήτων που προκαλούν την αλλοίωση της «μούχλας», ωστόσο κατά τη διάρκεια ψύξης και τεμαχισμού των ψωμιών μπορεί αυτά να μολυνθούν. Κύριες πηγές μόλυνσης είναι η φυσική επαφή του ψωμιού με μολυσμένο εξοπλισμό ή μολυσμένα τρόφιμα υψηλής περιεκτικότητας σε ζάχαρη, η οποία είναι ιδανικό υπόστρωμα ανάπτυξης για τέτοιου είδους ζύμες. (Dear and Beuchat, 1996; Thompson *et al.*, 1993)

Στο συγκεκριμένο τύπο αλλοίωσης εμπλέκονται κυρίως δύο τύποι ζυμών. Στη μία περίπτωση ευθύνονται οι λεγόμενες ωσμόφιλες ζύμες και η αλλοίωση εκδηλώνεται με την ανάδυση αλκοολικής οσμής, η ένταση της οποίας εξαρτάται από το είδος του ζυμομύκητα. Το συνηθέστερο είδος ζύμης που απαντάται στο ψωμί είναι ο *Saccharomyces cerevisiae* που ονομάζεται και «μαγιά των αρτοποιιών» (εικόνα 18). Το κυριότερο αίτιο που ευθύνεται για την προσβολή από το συγκεκριμένο είδος ζύμης είναι τα ακάθαρτα σκεύη και ο πλημμελώς καθαρισμένος εξοπλισμός του αρτοποιείου. (Legan and Voysey, 1991; Cauvain and Young, 2008)



Εικόνα 18. Ο μύκητας *Saccharomyces cerevisiae* που βρίσκεται στη νωπή μαγιά (αριστερά). Όπως φαίνεται στο ηλεκτρονικό μικροσκόπιο (δεξιά)

Στη δεύτερη περίπτωση εμπλεκόμενων ζυμών, αυτές είναι νηματοειδούς μορφής, και προσδίδουν μια αλλοίωση λευκών ή ροζ κηλίδων στο ψωμί οι οποίες έχουν μια όψη σαν κιμωλία κι είναι εύκολο να συσχετιστούν με μούχλα. Ωστόσο θεωρείται διαφορετικού τύπου αλλοίωση από τη μούχλα γιατί οι ζύμες παράγουν

απλά κύτταρα και αναπαράγονται από τα εκκολαπτόμενα. Και σε αυτή την περίπτωση υπάρχουν πολλές διαφορετικές ζύμες που μπορούν να αλλοιώσουν το ψωμί, ωστόσο μια είναι η πιο συνηθισμένη, η *Pichia burtonii*, η οποία ταυτόχρονα έχει βρεθεί πως είναι η πιο ανθεκτική σε απολυμαντικά και συντηρητικά που χρησιμοποιούνται για τον περιορισμό της μικροβιακής προσβολής. (Thompson *et al.*, 1993; Couvain and Young, 2008)

Κεφάλαιο 3.

Έλεγχος και πρόληψη των μικροβιακών αλλοιώσεων του ψωμιού

3.1. Παράγοντες που επηρεάζουν τη μικροβιακή αλλοίωση

Οι μικροβιακές αλλοιώσεις στο ψωμί είναι σημαντικό να εντοπίζονται αλλά και να προλαμβάνονται, ώστε να επιτυγχάνεται καλύτερη ποιότητα παραγόμενων προϊόντων που θα έχουν κατά το δυνατόν μεγαλύτερη διάρκεια ζωής. Οι μύκητες, οι ζύμες και τα βακτήρια, μπορούν να εντοπιστούν σε ένα ψωμί πριν δημιουργήσουν εμφανείς αλλοιώσεις με διάφορες τεχνικές και να αναλυθούν. Για παράδειγμα, με μεθόδους φασματομετρίας και χρωματομετρίας μπορούν να προσδιοριστούν τα πτητικά αέρια που παράγονται από κάθε διαφορετικό τύπο αλλοίωσης σε ένα ψωμί καθώς κι από το μη αλλοιωμένο ψωμί. Επίσης, η μικροβιολογική ανάλυση στα αλλοιωμένα ψωμιά αποκαλύπτει πως το μικροβιακό φορτίο αυξάνεται με το χρόνο. (Saranraj and Geetha, 2012; Needhama *et al.*, 2004)

Η σταθερότητα των προϊόντων αρτοποιίας, και κατ' επέκταση του ψωμιού οφείλεται στην προσθήκη συντηρητικών στη ζύμη. Τα συντηρητικά βοηθούν την μείωση και την πρόληψη της σπατάλης των τροφίμων, μέσω της αποφυγής της αναγκαστικής απόρριψης όσων έχουν υποστεί μικροβιακή προσβολή. Προδίδουν επίσης μεγαλύτερη διάρκεια ζωής στα τρόφιμα, τόσο για το χώρο του αρτοποιείου, όσο και για τα σπίτια των καταναλωτών. Τα χημικής προέλευσης συντηρητικά, μπορούν να ελέγξουν την ανάπτυξη των μυκήτων, αποτρέποντας το μεταβολισμό, προκαλώντας βλάβες στην κυτταρική μεμβράνη και μετουσιώνοντας τις πρωτεΐνες των κυττάρων-ξενιστών. Μεταξύ αυτών των συντηρητικών είναι το προπιονικό οξύ, το σορβικό οξύ και τα άλατά τους, ουσίες που έχειδειχτεί ότι μπορούν να αυξήσουν τη διάρκεια ζωής των προϊόντων αρτοποιίας. (Sofos and Busta, 1991)

Άσχετα με την προσθήκη συντηρητικών, υπάρχουν κάποιοι φυσικοί παράγοντες που ευνοούν ή αποτρέπουν την ανάπτυξη των μικροοργανισμών στο ψωμί. Αυτοί οι παράγοντες είναι η θερμοκρασία, το pH, η παρουσία και ενεργότητα του νερού και καθορίζουν τόσο την πιθανότητα μικροβιακής αλλοίωσης όσο και το είδος αυτής που θα προκύψει. Η ενεργότητα νερού αναφέρεται στο λόγο της μερικής πίεσης των ατμών του νερού σε μια ουσία προς την μερική πίεση των ατμών του νερού σε πρότυπη κατάσταση. Όσον αφορά τα τρόφιμα, στην πρότυπη κατάσταση μετράται η μερική πίεση των ατμών ύδατος σε περιβάλλον ίδιας θερμοκρασίας. Το καθαρό αποσταγμένο νερό έχει ενεργότητα ίση με 1 η οποία αυξάνει με την αύξηση της θερμοκρασίας, εκτός εάν τα προϊόντα περιέχουν αλάτι ή ζάχαρη. Γενικά ουσίες που έχουν υψηλές τιμές ενεργότητας νερού τείνουν να είναι περισσότερο ευπρόσβλητες από μικροοργανισμούς. Για να αναπτυχθούν τα βακτήρια χρειάζονται τουλάχιστον 0,91 ενεργότητα νερού ενώ η αντίστοιχη τιμή για τους μύκητες είναι 0,7. Η ελάχιστη τιμή για το *Penicillium* sp. είναι 0.85-0.9 ενώ ο *Aspergillus flavus*

δύναται να αναπτυχθεί σε τιμή 0,9 με κατώτατη τιμή θερμοκρασίας 15.9 °C. (Saranraj and Geetha, 2012)

Το προπιονικό οξύ και το προπιονικό ασβέστιο χρησιμοποιούνται συνήθως σε συγκεντρώσεις 0,1% και 0,2% αντίστοιχα. Στα επίπεδα αυτά έχει δείχτει ότι μπορούν να αναστείλουν το σχηματισμό μυκήτων για δύο ή και περισσότερες μέρες καθώς και να προλάβουν την εμφάνιση της σχοινώδους αλλοίωσης. Από την άλλη, το σορβικό οξύ είναι αποτελεσματικό για την αναστολή ανάπτυξης της μούχλας στο ψωμί και τα προϊόντα αρτοποιίας όταν χρησιμοποιείται σε συγκεντρώσεις από 0.125% έως και 0.3%. Συντηρητικά που προστέθηκαν σε συγκεντρώσεις από 0.025% έως 0.2% δεν είχαν σχεδόν καμία επίδραση στην αναστολή της μικροβιακής αποίκησης, με το 0.1% να έχει μια μικρή συντηρητική δράση ενώ ακόμη και το 0.2 να επιτρέπει την ανάπτυξη μυκήτων υπό συγκεκριμένες συνθήκες θερμοκρασίας, pH, και ενεργότητας νερού. (Marín *et al.*, 2003)

Εκτός από την προσθήκη και τη χρήση συντηρητικών οποιασδήποτε μορφής, υπάρχουν κάποιες απλές πρακτικές που όλα τα αρτοποιεία οφείλουν να εφαρμόζουν, ώστε να ελαχιστοποιείται η διασπορά μικροοργανισμών στο χώρο του, επομένως και η προσβολή των ζυμών και των καρβελιών από αυτούς. Οι πρακτικές αυτές αφορούν τη φροντίδα για την καλή ποιότητα των πρώτων υλών, η εφαρμογή των κανόνων υγιεινής σε όλους τους χώρους επεξεργασίας του ψωμιού, η πραγματοποίηση προσεκτικών χειρισμών από τους εργαζόμενους σε όλα τα στάδια και η τήρηση άριστων συνθηκών συντήρησης και αποθήκευσης. (Cauvain and Young, 2008)

Πιο συγκεκριμένα, όσον αφορά τη μυκητιακή αλλοίωση, χρειάζεται γρήγορο και σωστό κρύωμα του ψωμιού πριν από τη συσκευασία, τήρηση πολύ καλής καθαριότητας του εξοπλισμού και των χώρων επεξεργασίας, και τη διατήρηση των καρβελιών σε υψηλές θερμοκρασίες, Για την πρόληψη της ιξώδους αλλοίωσης από την άλλη, εκτός της καθαριότητας που επίσης απαιτείται να είναι άριστη σε όλους τους χώρους και τα μηχανήματα του αρτοποιείου, το ζυμάρι πρέπει να αφήνεται να ωριμάζει καλά, ώστε η παραγόμενη οξύτητα να λειτουργήσει ανασταλτικά στην ανάπτυξη του βακίλου. Στην περίπτωση του βακίλου θα πρέπει επίσης να δίνεται ιδιαίτερη βαρύτητα στο σωστό ψήσιμο, όσον αφορά τόσο στη θερμοκρασία όσο και το χρόνο, ούτως ώστε να καταστραφούν αποτελεσματικά τα σπόρια του μικροοργανισμού. Γρήγορη ψύξη του ψωμιού και διατήρηση σε χαμηλή θερμοκρασία κάτω από 32 βαθμούς κελσίου, είναι επίσης δύο τεχνικές πρόληψης της ιξώδους αλλοίωσης. (Buehler, 2014)

3.2. Τρόποι έλεγχου των μικροβίων

Οι τρεις βασικοί τρόποι για να προληφθούν και να ελεγχθούν οι μικροοργανισμοί στο ψωμί και τα υπόλοιπα προϊόντα αρτοποιίας είναι η αναδιαμόρφωση των προϊόντων, η κατάψυξή τους και η χρήση συντηρητικών.

3.2.1. Αναδιαμόρφωση προϊόντων

Η αναδιαμόρφωση ενός προϊόντος αναφέρεται στη μετατροπή κάποιων ιδιοτήτων του, για παράδειγμα της ενεργότητας νερού, προκειμένου το προϊόν να αποκτήσει μεγαλύτερη διάρκεια ζωής. Μείωση της ενεργότητας νερού μπορεί να επιτευχθεί με αφυδάτωση των προϊόντων, με μεθόδους εξάτμισης, καθώς επίσης και με μέθοδο ψυχρής αφυδάτωσης (λυοφιλίωση). Ένας επιπλέον τρόπος είναι η μεταβολή των ωσμωτικών ιδιοτήτων μέσω προσθέτων όπως διάφορα σάκχαρα και άλατα που ενσωματώνονται απευθείας στο προϊόν. Το νερό που περιέχεται στο διαλύματα σακχάρων και αλάτων δεν είναι ευπρόσβλητο από μικροοργανισμούς γιατί περιέχει αυξημένη συγκέντρωση κρυσταλλοειδών, και άλλωστε τα μικρόβια υφίστανται καταστροφή άμεσα λόγω συγκεκριμένης ωσμωτικής συμπεριφοράς των προϊόντων. Αυτό ενδεχομένως οφείλεται στη μείωση της ενεργότητας νερού, δεδομένου ότι όλες οι χημικές αντιδράσεις που λαμβάνουν χώρα για την επιβίωση των μικροοργανισμών απαιτούν ένα καλά ενυδατωμένο περιβάλλον. Αξίζει να σημειωθεί ότι η συμπεριφορά μεταξύ των διάφορων μικροβίων ποικίλλει για δεδομένη τιμή ενεργότητας νερού σε διαφορετικά περιβάλλοντα, γι' αυτό η μείωση της μπορεί να έχει διαφορετικά αποτελέσματα κάθε φορά. (Brudy, 1996)

Μια τιμή ενεργότητας νερού περίπου 0.75 μπορεί να περιορίσει τη δραστηριότητα των μυκήτων μούχλας δίνοντας παράταση μέχρι και έξι μήνες στη ζωή του προϊόντος. Επίπεδα ενεργότητας νερού πιο υψηλά, πάνω από 0.77 οδηγεί μόνο σε μικρή παράταση του χρόνου ζωής. Ωστόσο, η μείωση της ενεργότητας νερού πρέπει να επιχειρείται με προσοχή, διότι οι πολύ χαμηλές τιμές της μπορούν να προκαλέσουν αλλαγές στο σχήμα και την υφή του προϊόντος, επηρεάζοντας αρνητικά την ποιότητα. (Brudy, 1996)

3.2.2. Κατάψυξη προϊόντων

Η μέθοδος της ψύξης για συντήρηση έχει χρησιμοποιηθεί στην αρτοποιία αλλά αφορά περισσότερο τα άλλα προϊόντα αρτοποιίας, παρά το ψωμί. Η ταχεία κατάψυξη είναι σημαντική για την αρχική δημιουργία κρυστάλλων πάγου. Οι μεγάλοι κρύσταλλοι πάγου δημιουργούνται με την βραδεία κατάψυξη και είναι αυτοί που

μπορούν να διαταράξουν εσωτερικές κυτταρικές δομές των μικροοργανισμών καθώς και τις εξωτερικές μεμβράνες τους. (Saranraj and Geetha, 2012)

3.2.3. Χρήση συντηρητικών

Τα συντηρητικά χρησιμοποιούνται συνήθως για τον έλεγχο της ανάπτυξης μούχλας στα προϊόντα. Ο ορισμός των συντηρητικών σύμφωνα με τον ομοσπονδιακό κανονισμό περιλαμβάνει τους αντιμικροβιακούς εκείνους παράγοντες που χρησιμοποιούνται για τη διατήρηση των τροφίμων και την πρόληψη της ανάπτυξης των μικροοργανισμών και της επακόλουθης αλλοίωσης. Τα διάφορα συντηρητικά ταξινομούνται σε χημικά και φυσικά. Τα χημικής προέλευσης συντηρητικά που επιτρέπονται να προστίθενται στα τρόφιμα περιλαμβάνουν το οξικό οξύ, το προπιονικό οξύ και το σορβικό οξύ καθώς και τα άλατά τους (πίνακας 1). Τα φυσικά συστατικά μπορούν να είναι το ξύδι ή διάφορα άλλα προϊόντα καλλιέργειας, όπως οι σταφίδες και αναγράφονται πάντα στην ετικέτα με τα συστατικά του προϊόντος. (Saranraj and Geetha, 2012)

Πίνακας 1. Στοιχεία για το εύρος των αντιμικροβιακών παραγόντων που προστίθενται ως συντηρητικά στον ψωμί.

Αντιμικροβιακός παράγοντας	Επιτρεπόμενο εύρος	Προτιμώμενο εύρος	Βέλτιστο εύρος
Σορβικό οξύ	1%-40%	5%-20%	7%-10%
Ναταμυκίνη	0.1%-10%	0.5%-5%	1%-2%
Διοξικό Νάτριο	1%-40%	5%-30%	10%-20%
Προπιονικό Ασβέστιο	1%-40%	5%-30%	10%-20%
Προπιονικό Νάτριο	1%-40%	5%-30%	10%-20%
Σορβικό κάλιο	1%-40%	5%-30%	10%-20%
Φουμαρικό οξύ	1%-40%	5%-30%	10%-15%
Κιτρικό οξύ	1%-40%	5%-30%	10%-20%
Πολυλυσίνη	0.5%-40%	5%-30%	10%-20%
Βενζοϊκό νάτριο	1%-40%	10%-30%	15%-25%
Κανέλλα	1%-40%	5%-30%	10%-20%
Υδατάνθρακες που έχουν υποστεί ζύμωση	1%-40%	5%-30%	10%-25%

* Στην πρώτη στήλη υπάρχει ολόκληρο το επιτρεπόμενο εύρος, στη δεύτερη στήλη αυτό που συχνά προτιμάται και στην τρίτη στήλη το βέλτιστο εύρος που διαφυλάσσει την ποιότητα και την εμφάνιση του προϊόντος πέρα από την προστασία που του παρέχει. (Stinson and Feng, 2012)

3.3. Ανασκόπηση της αποτελεσματικότητας των διαφόρων χημικών συντηρητικών.

Οι μύκητες σε γενικές γραμμές είναι μικροοργανισμοί περισσότερο ανθεκτικοί σε όξινες συνθήκες από ότι τα βακτήρια και μάλιστα ευνοούνται από ένα όξινο pH μεταξύ 3.5 και 5.5. Έτσι, τα προϊόντα με τιμή pH μικρότερη από 4.5 δεν κινδυνεύουν τόσο να υποστούν σχοινώδη αλλοίωση, αλλά κινδυνεύουν να προσβληθούν από μύκητες και να εμφανίσουν μούχλα. Η ενεργότητα νερού σε συνδυασμό με την θερμοκρασία έχει βρεθεί πως αλληλεπιδρούν στην μυκηλιακή ανάπτυξη του *Eurotium* sp., Η θερμοκρασία όσον αφορά τους μυκηλιακούς μύκητες και τη βλάστηση των σπορίων τους, παίζει μεγάλο ρόλο, με τις βέλτιστες τιμές για την ανάπτυξή τους να είναι μεταξύ 18.3 και 29.4 βαθμών Κελσίου. Η μείωση δε της θερμοκρασίας από 27 σε 21 βαθμούς Κελσίου διπλασίασε το χρόνο ζωής του μύκητα, γεγονός που τονίζει την ανάγκη για διασφάλιση της σωστής θερμοκρασίας κατά τη διανομή και αποθήκευση του ψωμιού και των άλλων ειδών αρτοποιίας. Οι ρυθμοί ανάπτυξης των μυκηλίων των *Penicillium aurantiogriseum*, *Penicillium*

chrysogenum, *Penicillium corylophilum* και *Aspergillus flavus* σε δείγματα από παντεσπάνι έδειξαν ότι εξαρτώνται τόσο από την ενεργότητα του νερού όσο κι από την θερμοκρασία. (Abellana *et al.*, 1999)

Διάφορες έρευνες μελετούν την αντίδραση των μικροοργανισμών σε συνδυασμό χρήσης συντηρητικών και συγκεκριμένων τιμών φυσικών παραγόντων. Για παράδειγμα, για τους μικροοργανισμούς *Eurotium amstelodami*, *Eurotium chevalieri*, *Eurotium herbariorum*, *Eurotium rubrum* και *Wallemia sebi* έχει πραγματοποιηθεί έρευνα που έδειξε ότι το *Eurotium* sp. ήταν πιο ανθεκτικό από *Wallemia sebi*. ενώ οι μη ωσμόφιλοι μύκητες ελέγχονταν πιο αποτελεσματικά με τη χρήση σορβικού οξέος από ότι με τη χρήση προπιονικού ασβεστίου. (Saranraj and Geetha, 2012)

Δείγματα από παντεσπάνι χρησιμοποιήθηκαν για τη μελέτη της σχέσης μεταξύ των επιπέδων pH, ενεργότητας νερού, θερμοκρασίας και διοξειδίου του άνθρακα με την ανάπτυξη των επτά πιο συνηθισμένων μυκήτων που αλλοιώνουν τα προϊόντα αρτοποιίας (*Eurotium amstelodami*, *Eurotium herbariorum*, *Eurotium repens*, *Eurotium rubrum*, *Aspergillus niger*, *Aspergillus flavus* και *Penicillium corylophilum*). Η ενεργότητα δραστηριότητα νερού σε αλληλεπίδραση με τα επίπεδα διοξειδίου του άνθρακα ήταν ο κυριότερος παράγοντας που επηρέασε την ανάπτυξη των μικροοργανισμών. Επιπλέον, καμία ανάπτυξη μυκήτων δεν παρατηρήθηκε για 28 ημέρες επώασης στους 28 βαθμούς Κελσίου, όταν τα δείγματα συσκευάζονταν παρουσία 100% διοξειδίου του άνθρακα ασχέτως από την τιμή της ενεργότητας του νερού. (Guynot *et al.*, 2003)

Παρόμοια μελέτη έχει διεξαχθεί για την ανάπτυξη των μυκήτων ως συνάρτηση της ενεργότητας νερού, του pH και της συγκέντρωσης σορβικού καλίου. Για τιμές pH 4.5 διαπιστώθηκε ότι υπάρχει δυνατότητα να μειωθεί σε κάποιο βαθμό το σορβικό κάλιο αλλά μόνο για χαμηλές τιμές ενεργότητας νερού. Αντίθετα, σε τιμές pH 5.5 η ανάπτυξη των μυκήτων ήταν παρούσα ακόμη και με την προσθήκη 0,3% σορβικού καλίου. Πολλές μελέτες επιβεβαιώνουν την σημαντική μείωση των μυκήτων με μείωση της ενεργότητας νερού, της θερμοκρασίας και του pH καθώς και τα αποτελέσματα που αφορούσαν τον συνδυασμό προσθήκης συντηρητικού και χαμηλού pH. Επίσης για συγκεκριμένες συνθήκες, μελετάται η ανταγωνιστικότητα μεταξύ των μυκήτων στην ανάπτυξη, για παράδειγμα τα είδη *Penicillium verrucosum* και *Aspergillus ochraceus* για δεδομένες τιμές ενεργότητας νερού, pH, θερμοκρασίας και συντηρητικών παραγόντων υπερίσχυαν διατροφικά των άλλων ειδών. (Saranraj and Geetha, 2012)

Άλλες έρευνες μελετούν την επίδραση που έχει το αλάτι ως προς την ανοχή του ψωμιού στην ανάπτυξη μικροοργανισμών. Κάποια από τα συμπεράσματα αυτών είναι ότι το χλωριούχο νάτριο έχει μεγαλύτερη ανασταλτική δράση για τον *Aspergillus niger*, ενώ το χλωριούχο μαγνήσιο για τον *Penicillium roqueforti*, δεδομένων ισοδύναμων συγκεντρώσεων νερού. Επιπλέον, το θειικό μαγνήσιο είχε τη μικρότερη αντιμυκητιακή δράση, ενώ για την ίδια μοριακή συγκέντρωση ουσιών, το

χλωριούχο ασβέστιο είχε τη μεγαλύτερη δράση. Αξίζει να σημειωθεί ότι δεν υπήρχε διαφορά στην ανάπτυξη του *Penicillium roqueforti* σε δείγματα ψωμιού που είχαν 30% λιγότερο χλωριούχο νάτριο σε σχέση με δείγματα στα οποία το ποσοστό αυτό είχε αντικατασταθεί από μίγμα χλωριούχου καλίου και βασικού άλατος. (Samarundo *et al.*, 2010)

Σύμφωνα με μελέτες για την πρόληψη της ανάπτυξης των μυκήτων και ειδικότερα των πιο συνηθισμένων που απασχολούν την αρτοποιία, όπως είναι τα γένη *Eurotium*, *Aspergillus* και *Penicillium*, έχει διαπιστωθεί πως το σορβικό κάλιο είναι το πιο κατάλληλο συντηρητικό για χρήση σε συνηθισμένα επίπεδα pH και ενεργότητας νερού. Το ίδιο συντηρητικό αποδείχθηκε επίσης πιο αποτελεσματικό για τον έλεγχο των μυκήτων που προκαλούν αλλοίωση στα προϊόντα αρτοποιίας που έχουν ένα βαθμό υγρασίας, ειδικά για τους *Eurotium* sp., *Aspergillus* sp. και *Penicillium corylophilum*. Η αποτελεσματικότητα του υπάρχει στη προσθήκη του στη μέγιστη συγκέντρωση (0,3%) και άσχετα από την τιμή της ενεργότητας του νερού, ωστόσο είναι ελαφρά μειωμένη σε τιμές pH 5.5. Μόνο σε χαμηλές τιμές ενεργότητας νερού το προπιονικό ασβέστιο και το βεζνοϊκό νάτριο είναι αποτελεσματικά. (Marin *et al.*, 2002)

Στελέχη μικροοργανισμών που το γενετικό τους υλικό μελετήθηκε με τη μέθοδο της αλυσιδωτής αντίδρασης πολυμεράσης (PCR) βρέθηκαν ότι μπορούν να παράγουν προϊόντα ζύμωσης με αντιμυκητιακή δράση όταν ανεπτύχθησαν σε σκευάσματα με βάση το αλεύρι. Κυρίως η δράση τους εστιάζει στους μύκητες *Aspergillus niger*, *Penicillium roqueforti* και *Endomyces fibuliger* και είναι ισχυρά ανασταλτική, σε επίπεδα συγκρίσιμα με αυτά του προπιονικού ασβεστίου 0,3%, που είναι το συνηθέστερα χρησιμοποιούμενο χημικό συντηρητικό. Αντιμυκητιακή δράση και μάλιστα μεγαλύτερη πολλές φορές αν όχι ίση του προπιονικού ασβεστίου βρέθηκαν να έχουν επίσης οι *Lactobacillus citreum*, *Lactobacillus rossiae* και *Weissella cibaria*, ωστόσο το θέμα χρειάζεται περαιτέρω διερεύνηση και επιστημονική τεκμηρίωση. (Valerio *et al.*, 2009)

Το σορβικό οξύ και τα σορβικά άλατα έχουν αποδειχθεί γενικά αποτελεσματικά ως αντιμικροβιακοί παράγοντες αλλά και σχετικά ασφαλή για την προσθήκη τους στα τρόφιμα. Πρόκειται αποτελεσματικές ουσίες έναντι στα βακτήρια και τους μύκητες που προκαλούν τη μούχλα. Η κύρια εμπορική χρήση του σορβικού καλίου είναι για μυκητοστατική δράση, η οποία έχει επιβεβαιωθεί από πλήθος μελετών. Η συγκέντρωση που χρησιμοποιείται στην αρτοποιία είναι από 0.001 έως και 0.3%, ενώ οι κύριοι μικροοργανισμοί έναντι των οποίων έχει ισχυρή αποτελεσματικότητα είναι ο *Aspergillus niger* και τα είδη *Penicillium*. Ενδεικτικά αξίζει να αναφερθεί πως με χρήση 0.5 % σορβικού καλίου η αλλοίωση της «μούχλας» μπορεί να ανασταλεί μέχρι και για διάστημα δυο εβδομάδων. Ωστόσο τα υψηλά επίπεδα σορβικού καλίου μπορούν να προκαλέσουν ανεπιθύμητες αλλοιώσεις στη γεύση και το άρωμα των προϊόντων. (Saranraj and Geetha, 2012)

Τα σορβικά άλατα είναι πάνω από δυο φορές πιο αποτελεσματικά στα προϊόντα αρτοποιίας που ψήνονται σε σχέση με τα προπιονικά, ωστόσο έχουν αρνητικές επιπτώσεις στη μαγιά και μειώνουν τον όγκο του καρβελιού. Επιπλέον, κάνουν τη ζύμη να κολλάει και να μην μπορεί εύκολα να ζυμωθεί. Αυτά τα προβλήματα συνήθως αντιμετωπίζονται με ψεκασμό του σορβικού άλατος επάνω στην επιφάνεια του ψωμιού μετά το ψήσιμο, ή, εναλλακτικά με την ανάμιξη του άνυδρου σορβικού οξέος με λιπαρά οξέα όπως το παλμιτικό. Το τελευταίο έχει την επιπλέον δυνατότητα να ελέγχει την ανάπτυξη των μυκήτων χωρίς να παρεμβαίνει με κάποιο αρνητικό τρόπο στη διαδικασία της ζύμωσης. Από την υδρόλυση του μίγματος εξαιτίας της θερμότητας κατά τη διαδικασία ψησίματος απελευθερώνεται σορβικό οξύ που εμποδίζει την ανάπτυξη της των μυκήτων και επιμηκύνει την διάρκεια αποθήκευσης των προϊόντων. Για επίτευξη ακόμη μεγαλύτερης διάρκειας ζωής, το σορβικό οξύ μπορεί να δράσει συνεργιστικά με χλωριούχο νάτριο, προπιονικό ασβέστιο, προπιονικό νάτριο, κιτρικό οξύ και σακχαρόζη. (Saranraj and Geetha, 2012; Sofos and Busta, 1991)

Το προπιονικό οξύ, είναι ένα αμινοκαρβοξυλικό, φυσικό οργανικό οξύ, που έχει τη μορφή ελαιώδους υγρού και μια δυσάρεστη ταγκή οσμή. Τα άλατά του είναι λευκά, σε μορφή σκόνης και έχουν μια οσμή σαν τυρί. Το συγκεκριμένο συντηρητικό έχει επιλεγεί εξαιτίας του υψηλού μοριακού του βάρους, που θεωρείται ότι προσδίδει υψηλότερη αντιμικροβιακή προστασία. Είναι η ουσία που συνήθως χρησιμοποιείται για την πρόληψη της σχοινώδους αλλοίωσης του ψωμιού. Σε συνέργεια με το αλάτι επίσης, κάποιες έρευνες έχουν δείξει ότι μπορεί να είναι αποτελεσματικό και στην εμπόδιση του σχηματισμού της «μούχλας». Η συγκέντρωση προπιονικού που απαιτείται για την πρόληψη της ανάπτυξης μυκήτων είναι 8-12% αλλά δεν είναι όλα τα είδη μυκήτων το ίδιο ευαίσθητα στο συγκεκριμένο συντηρητικό. Για παράδειγμα σε συγκέντρωση προπιονικού 0.3%, παρατηρήθηκε αναστολή ανάπτυξης των *Monilia sitophila* και *Pencillium viridiicatum* για δύο και μισή μέρα αντίστοιχα. Σε συγκέντρωση 0.3% προπιονικού επίσης, σε όλες τις συνθήκες εκτός υψηλής ενεργότητας νερού (0.97) και υψηλού pH (4.8) ανέστειλε την ανάπτυξη μυκήτων εντελώς για διάστημα δύο εβδομάδων, με εξαίρεση τις αποικίες των *Penicillium roqueforti*, και *Eurotium rubrum*. (Saranraj and Geetha, 2012; Marin *et al.*, 2002)

Εκτός των χημικών συντηρητικών, υπάρχουν και τα βιοσυντηρητικά, δηλαδή οι μεταβολίτες συγκεκριμένων μικροοργανισμών που παρατείνουν τη διάρκεια ζωής των τροφίμων. Η χρήση τους γίνεται αρκετά δημοφιλής τα τελευταία χρόνια, δεδομένου ότι οι καταναλωτές ζητούν να στραφεί η αρτοποιία σε πιο φυσικές αντιμικροβιακές μεθόδους. Τα βακτήρια γαλακτικού οξέος για παράδειγμα, είναι σε θέση να παράγουν πολλά διαφορετικά είδη βιοδραστικών μορίων, όπως οργανικά και λιπαρά οξέα, υπεροξειδίου του υδρογόνου και τοξίνες εναντίον βακτηρίων ενώ και η αντιμυκητιασικές τους ιδιότητες είναι τεκμηριωμένες επαρκώς. Επιπλέον, η δράση τους έναντι των *Bacillus subtilis* και *Bacillus licheniformis* που προκαλούν την σχοινώδη αλλοίωση είναι αρκετά αποτελεσματική, για συγκεκριμένες συνθήκες pH. (Hassan and Bullerman, 2008; Saranraj and Geetha, 2012)

Τα προζύμια που έχουν υποστεί ζύμωση υπό τα αντιμικροβιακά προϊόντα του *Lactobacillus plantarum* έχουν ερευνηθεί για την ικανότητά τους να μειώνουν την πιθανότητα μυκητιακής προσβολής στο ψωμί. Τα αποτελέσματα δείχνουν ότι οι μύκητες *Aspergillus niger*, *Fusarium culmorum* και *Penicillium expansum* και τα σπόρια τους επηρεάζονται πολύ στο ψωμί ολικής άλεσης με προζύμι. Στο ψωμί σίτου, η ανάπτυξη των σπορίων του *Penicillium roqueforti* δεν επηρεάστηκε, ενώ όταν σε συνεργασία με το συγκεκριμένο προζύμι προστέθηκαν και 300 ppm προπιονικό ασβέστιο, η ανάπτυξη του μύκητα επηρεάστηκε. Σε γενικές γραμμές, η προσθήκη αντιμυκητιακών παραγόντων των οξυγαλακτικών βακτηρίων, έχει βρεθεί πως μπορεί να μειώσει ως και 50% τα επίπεδα του προπιονικού οξέος που χρησιμοποιούνται. (Saranraj and Geetha, 2012; Ryan *et al.*, 2008)

Συμπεράσματα

Τα προϊόντα αρτοποιίας, και ιδιαίτερα το ψωμί, είναι βασικά τρόφιμα στους πολιτισμούς των περισσότερων χωρών με τα δημητριακά να αποτελούν μια κύρια τροφή από τα προϊστορικά έτη. Η ποικιλίες των ψωμιών έχουν αυξηθεί ιδιαίτερα τα τελευταία χρόνια και η βιομηχανική πρόοδος έχει φέρει μεγάλους όγκους από ψωμί στην αγορά. Το ψωμί περιέχει πρωτεΐνες, λιπίδια, βιταμίνες, μέταλλα και υδατάνθρακες, με τους τελευταίους να είναι το πιο βασικό ποσοτικά συστατικό με τη μορφή του αμύλου.

Οι μύκητες είναι η πιο κοινή αιτία που αλλοιώνει το ψωμί, καθώς και αρκετά άλλα προϊόντα της αρτοποιίας. Η μόλυνση γίνεται από το περιβάλλον και στις περισσότερες περιπτώσεις αφορά χρονικά την περίοδο μετά το ψήσιμο. Η μυκητιακή αλλοίωση εννοείται από την πολύωρη έκθεση του ψωμιού σε αέρα που είναι μολυσμένος ή σε ρεύματα αέρα, από τον τεμαχισμό και το περιτύλιγμα του ψωμιού, ειδικά όταν πρόκειται για ζεστό ψωμί σε κλειστές σακούλες. Τέλος, το υγρό και ζεστό περιβάλλον και ο μη καλός αερισμός του σημείου που τοποθετείται το ψωμί για να κρυώσει είναι πολύ ευνοϊκοί παράγοντες για την ανάπτυξη των μυκήτων. Μυκητιακής προέλευσης μόλυνση του ψωμιού μπορεί να γίνει και από ανάπτυξη των μυκήτων που περιέχονται στη μαγιά.

Η δεύτερη πιο σημαντική αιτία αλλοίωσης του ψωμιού είναι αυτή που προκαλείται από βακτήρια του γένους *Bacillus* που προκαλούν μια εμφάνιση δίκην σχοινού στη μάζα του ψωμιού, η οποία ονομάζεται ιξώδης αλλοίωση. Ο τύπος αυτής της μόλυνσης ταλαιπωρεί ιδιαίτερα τους αρτοποιούς οι οποίοι την αντιμετωπίζουν, γιατί η πλήρης εξάλειψή της απαιτεί ιδιαίτερη επιμονή και υπομονή προκειμένου να καθαριστούν όλα τα τμήματα του εργαστηρίου και ειδικά οι συσκευές που έρχονται σε επαφή με τη ζύμη του ψωμιού. Η μόλυνση της ζύμης με σπόρια του περιβάλλοντος, η αργή ψύξη των καρβελιών αφού ψηθούν, το αυξημένο pH του περιβάλλοντος (άνω του 5.5) και οι συνθήκες υψηλής υγρασίας και θερμοκρασίας

(άνω των 32 βαθμών Κελσίου), είναι παράγοντες που ευνοούν το συγκεκριμένο τύπο αλλοίωσης.

Οι μικροβιακές αλλοιώσεις στο ψωμί είναι ένα σοβαρό πρόβλημα που δημιουργεί ιδιαίτερες δαπάνες στην αρτοποιία και η χρήση συντηρητικών είναι ένα ελκυστικό μέσο για να μειωθούν οι πιθανότητες προσβολής και να εξασφαλιστεί περισσότερο η ασφάλεια των προϊόντων. Ωστόσο, οι καταναλωτές τη σημερινή εποχή, δεν τάσσονται υπέρ των πρόσθετων συντηρητικών, και υπάρχει μια τάση να μειωθούν οι ποσότητες που χρησιμοποιούνται στην αρτοποιία. Αυτό όμως καθιστά το πρόβλημα των αλλοιώσεων περισσότερο επικίνδυνο, γιατί η ανάπτυξη κυρίως των μυκήτων είναι ο μείζων παράγοντας που περιορίζει τη ζωή των προϊόντων και δημιουργεί οικονομικές απώλειες.

Πολλές μελέτες έχουν αναδείξει τη χρησιμότητα των χημικών συντηρητικών ώστε να αυξάνεται η διάρκεια ζωής του ψωμιού. Τα συντηρητικά που χρησιμοποιούνται συχνότερα είναι το προπιονικό νάτριο, το προπιονικό ασβέστιο και διάφορα οξέα. Επιπλέον, σε μια προσπάθεια στροφής της αρτοποιίας σε πιο φυσικές αντιμικροβιακές μεθόδους, μπορούν να ενσωματωθούν στη ζύμη μικροοργανισμοί όπως γαλακτικά οξέα, τα προϊόντα των οποίων έχουν μικροβιοκτόνο δράση.

Απώλειες λόγω μυκητιακής ή βακτηριακής αλλοίωσης οδηγούν σε απώλεια εσόδων για τις βιομηχανίες αρτοποιίας. Ως εκ τούτου, οι μέθοδοι για τον έλεγχο της ανάπτυξης των μυκήτων που θα παρατείνουν το χρόνο ζωής των προϊόντων αρτοποιίας έχουν μεγάλη οικονομική σημασία για τη βιομηχανία αρτοποιίας όπου συνεχώς δέχεται αύξηση της ζήτησης παγκοσμίως. Άλλα μέτρα, όπως η καλή υγιεινή στο αρτοποιεία, καθώς και θερμικές επεξεργασίες μετά τη συσκευασία, εάν είναι απαραίτητες, ή επιπλέον τροποποίηση στο περιβάλλον της συσκευασίας, είναι οι καλύτερες εναλλακτικές λύσεις.

Βιβλιογραφία

Deak, T., & Beuchat, L. (1996). Handbook of Food Spoilage Yeasts (Contemporary Food Science). CRC Press.

Hermann, G., & Reinhold, M. (2002). Τρόφιμα, Χημεία και Μικροβιολογία. ΕΤΕ.

Needhama, R., Williamsb, J., Bealesb, N., Voyseyb, P., & Magana, N. (2004). Early detection and differentiation of spoilage of bakery products. Sensors and Actuators B Chemical, 106(1), pp. 20-23.

Abellana , M., Magrí, X., Sanchis, V., & Ramos , A. (1999). Water activity and temperature effects on growth of *Eurotium amstelodami*, *E. chevalieri* and *E. herbariorum* on a sponge cake analogue. Int J Food Microbiol., 52(1-2), pp. 97-103.

Ashton, J. (2015). The History of Bread: From Pre-Historic to Modern Times. CreateSpace Independent Publishing Platform .

Brudy , A. (1996). Controlled/Modified Atmosphere/Vacuum Packaging of Foods. CRC Press .

Buehler, E. (2014). Bread Science: The Chemistry and Craft of Making Bread. Two Blue Books.

Cauvain, S., & Young, L. (2008). Technology of Breadmaking.

Collins , C., Lyne, P., & Grange, J. (1989). Collins and Lyne's Microbiological Methods. Butterworths.

Collins, C., Kirschner, L., & Von Holy, A. (1991). Characterization of *Bacillus* isolates from ropey bread, bakery equipment and raw materials. South African Journal of Science, 87, pp. 62-66.

Couvain, S., & Young, L. (2008). Bakery Food Manufacture and Quality: Water Control and Effects (2 ed.). Wiley-Blackwell.

Dear, T., & Beuchat, L. (1996). Handbook of Food Spoilage Yeasts, Second Edition (Contemporary Food Science). CRC Press.

Germain, G., & Summerbell, R. (2010). Identifying Fungi (2 ed.). Star Pub Co.

Guynot , M., Marín , S., Sanchis , V., & Ramos , A. (2003). Modified atmosphere packaging for prevention of mold spoilage of bakery products with different pH and water activity levels. J Food Prot., 66(10), pp. 1864-72.

Hassan , Y., & Bullerman , L. (2008). Antifungal activity of *Lactobacillus paracasei* ssp. *tolerans* isolated from a sourdough bread culture. Int J Food Microbiol., 121(1), pp. 112-5.

- Legan, J. (1993). Mould spoilage of bread: The problem and some solutions. *International J Biodeterioration and Biodegradation*, 32, pp. 33-53.
- Legan, J., & Voysey, P. (1991). Yeast spoilage of bakery products and ingredients. *J Appl Bacteriol.*, 70(5), pp. 361-71.
- Marín, S., Abellana, M., Rubinat, M., Sanchis, V., & Ramos, A. (2003). Efficacy of sorbates on the control of the growth of Eurotium species in bakery products with near neutral pH. *Int J Food Microbiol.*, 87(3), pp. 251-8.
- Marin, S., Guynot, M., Sanchis, V., Arbones, J., & Ramos, A. (2002). *Aspergillus flavus*, *Aspergillus niger* and *Penicillium coryophilum* spoilage weak-acid preservatives. *Journal of food science*, 64, p. 2271.
- Osborne, B. (1980). The occurrence of ochratoxin A in mouldy bread and flour. *Food Cosmet Toxicol.*, 18(6), pp. 615-7.
- Ryan, L., Bello, F., & Arendt, E. (2008). The use of sourdough fermented by antifungal LAB to reduce the amount of calcium propionate in bread. *Int J Food Microbiol*, 125(3), pp. 274-8.
- Samapundo, S., Deschuyffeleer, N., Van Laere, D., De Leyn, I., & Devlieghere, F. (2010). Effect of NaCl reduction and replacement on the growth of fungi important to the spoilage of bread. *Food Microbiol.*, 27(6), pp. 749-56.
- Saranraj, P., & Geetha, M. (2012). Microbial Spoilage of Bakery Products and Its Control by Preservatives. *International Journal of Pharmaceutical & Biological Archives*, 3(1), pp. 38-48.
- Simpson, B. (2012). *Food Biochemistry and Food processing*. Wiley-Blackwell.
- Slavin, J. (2004). Whole grains and human health. *Nutrition Research Reviews*, 17, pp. 1-9.
- Sofos, J., & Busta, F. (1991). Antimicrobial activity of sorbate. *Journal of Food Protection*, 44, pp. 614-621.
- Stinson, J., & Feng, G. (2012). Patent No. WO2012135282 A2.
- Stryer, L., Berg, J., & Tymoczko, J. (2002). *Biochemistry* (5 ed.). W.H. Freeman & Co Ltd.
- Thompson, J., Dodd, C., & Waites, W. (1993). Spoilage of Bread by *Bacillus*. *International Biodeterioration & Biodegradation*, 32, pp. 55-66.
- Thomson, J., Waites, W., & Dodd, C. (1998). Detection of rope spoilage in bread caused by *Bacillus* species. *Journal of Applied Microbiology*, 85, pp. 481-486.

Valerio , F., Favilla, M., De Bellis , P., Sisto , A., de Candia , S., & Lavermicocca , P. (2009). Antifungal activity of strains of lactic acid bacteria isolated from a semolina ecosystem against *Penicillium roqueforti*, *Aspergillus niger* and *Endomyces fibuliger* contaminating bakery products. *Syst Appl Microbiol.*, 32(6), pp. 438-48.

Volavsek, P., Kirschner, L., & Von Holy, A. (1992). Accelerated methods to predict the rope inducing potential of bread raw materials. *South African Journal of Science*, 88(2), pp. 99-102.

Γεωργόπουλος, Θ. (2010). Εργαστήριο τεχνολογίας και ποιοτικού ελέγχου αρτοσκευασμάτων.

Ζησόπουλος , Α., Παγιατάκης, Θ., & Πρωτοψάλτης, Α. (2013). Εκπαιδευτική και επαγγελματική αρτοποιία. *Le Monde / Les Livres du Tourisme*.