



ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ
ΘΕΣΣΑΛΙΑΣ

Παραδοτέο Π3.1 Έκθεση αναφοράς για την επίδραση της ΓΔ στο μικροβιακό φορτίο των διαφόρων προϊόντων σε εργαστηριακές συνθήκες και πραγματικές συνθήκες εφαρμογής

Τύπος: Έκθεση

Υπο-παραδοτέο Π3.1.1 «Επισκόπηση της σημασίας της παρουσίας του μικροβιακού φορτίου στα αποθηκευμένα προϊόντα του συνεταιρισμού»



DiatomiteThem

DiatomiteThem

Τίτλος Έργου:

Προστασία των αποθηκευμένων δημητριακών με τη χρήση γης διατόμων

«Το έργο αυτό υλοποιείται στο πλαίσιο της Δράσης ΕΡΕΥΝΩ-ΔΗΜΙΟΥΡΓΩ-ΚΑΙΝΟΤΟΜΩ και συγχρηματοδοτήθηκε από το Ευρωπαϊκό Ταμείο Περιφερειακής Ανάπτυξης (ΕΤΠΑ) της Ευρωπαϊκής Ένωσης και εθνικούς πόρους μέσω του Ε.Π. Ανταγωνιστικότητα, Επιχειρηματικότητα & Καινοτομία (ΕΠΑνΕΚ) (κωδικός έργου: Τ2ΕΔΚ-03532)»



ΕΠΑνΕΚ 2014-2020
ΕΠΙΧΕΙΡΗΣΙΑΚΟ ΠΡΟΓΡΑΜΜΑ
ΑΝΤΑΓΩΝΙΣΤΙΚΟΤΗΤΑ
ΕΠΙΧΕΙΡΗΜΑΤΙΚΟΤΗΤΑ
ΚΑΙΝΟΤΟΜΙΑ



Με τη συγχρηματοδότηση της Ελλάδας και της Ευρωπαϊκής Ένωσης



ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ

1. Εισαγωγικά Στοιχεία	3
2. Μικροβιακό φορτίο των σιτηρών και οσπρίων	5
3. Κίνδυνοι αλλοιώσεων με βάση τις συνθήκες αποθήκευσης	9
4. Κίνδυνοι αλλοιώσεων με βάση ενδογενείς παράγοντες ανάπτυξης	10
5. Πηγές επιμόλυνσης των σιτηρών και οσπρίων με παθογόνους μικροοργανισμούς	12
6. Βιβλιογραφία	14



1. Εισαγωγικά στοιχεία

Τα αγροτικά προϊόντα αποτελούν βασικό πυλώνα της διατροφής του ανθρώπου είτε με την άμεση κατανάλωσή τους είτε με την χρήση τους ως ζωοτροφές οικόσιτων ζώων, ιδιαίτερα μετά τις τελευταίες εξελίξεις εν μέσω αύξησης των τιμών πολλών προϊόντων, όπως το σιτάρι, ο αραβόσιτος και το ρύζι. Συνεπώς, η ασφαλής αποθήκευση των αγροτικών προϊόντων είναι ύψιστης σημασίας, καθώς διασφαλίζει την επάρκεια τροφής καθ' όλη την διάρκεια του έτους, σε αντίθεση με την εποχιακή παραγωγή των προϊόντων αυτών. Ειδικά στην περίπτωση των σιτηρών και των οσπρίων όπου αποτελούν συμπτυκνωμένες τροφές με μικρή περιεκτικότητα σε υγρασία, η αποθήκευση και διαχείρισή τους είναι εύκολη, καθώς απαιτούν μικρό χώρο αποθήκευσης σε σχέση με την αξία τους, δεν επηρεάζονται σε μεγάλο βαθμό από τις ακραίες μικρο-κλιματικές εναλλαγές (ψύχος, ζέστη, ξηρασία κ.α.) και όντας σκληροί επιτρέπουν την διαχείρισή τους με μηχανήματα συλλογής, μεταφοράς και αποθήκευσης χωρίς να αλλοιώνονται ή να καταστρέφονται. Ωστόσο, τα σιτηρά και τα όσπρια προσβάλλονται από διάφορους εχθρούς και ασθένειες κατά την διάρκεια της αποθήκευσης ή μεταποίησής τους. Συνεπώς, τόσο οι παραγωγοί όσο και οι έμποροι θα πρέπει να διασφαλίσουν την ορθή διαχείριση των προϊόντων με σκοπό την αμετάβλητη ποσότητα αλλά και ποιότητα αυτών, καθώς η ασφάλεια των δημητριακών είναι σημαντική και για την διασφάλιση της διαθεσιμότητας τροφίμων (Vanderzant and Splittstoesser, 1992, Forsythe, 2000).

Ένας από τους σπουδαιότερους κινδύνους που αντιμετωπίζουμε κατά την αποθήκευση ή μεταποίηση των αγροτικών προϊόντων είναι η ύπαρξη και ανάπτυξη διαφόρων παθογόνων μικροοργανισμών. Έτσι, για την ορθή διαχείριση τέτοιων παθογόνων με σκοπό την διάθεση στην αγορά ασφαλών τροφίμων και ζωοτροφών αναπτύχθηκε ως ξεχωριστή επιστήμη η Μικροβιολογία Τροφίμων. Ο κλάδος αυτός καλύπτει διάφορα πεδία που αφορούν την συντήρηση των τροφίμων με στόχο την καταστροφή των μικροβίων που υπάρχουν σε αυτά, την μελέτη των τροφογενών ασθενειών, μικροβίων και βακτηρίων καθώς και των παραγόντων που συμβάλλουν στην ανάπτυξη αυτών, στην συσχέτιση μεταξύ των διαφόρων μικροοργανισμών και των αλλοιώσεων που αυτοί επιφέρουν στα τρόφιμα και στην μελέτη του ρόλου των απαραίτητων οργανισμών για την παραγωγή διαφόρων προϊόντων μέσω της διαδικασίας της ζύμωσης, όπως για παράδειγμα το ξύδι, η μπύρα, το κρασί, τα τυριά και



άλλα (Κοτζεκίδου-Ρούκα, 1993, Dijksterhuis and Samson, 2007, Κιοσέογλου και Μπλέκας, 2009).

Συνεπώς, είναι υποχρέωση του κάθε υπεύθυνου να εναρμονίζεται με τις ορθές πρακτικές διαχείρισης στο εκάστοτε στάδιο της αλυσίδας των τροφίμων και ζωοτροφών που η Μικροβιολογία Τροφίμων ορίζει, προκειμένου να διασφαλίσει την ασφάλεια των προϊόντων που διαχειρίζεται. Παράλληλα, θεσπίστηκαν και κανονισμοί σχετικά με την υγιεινή των ζωοτροφών (ΕΚ αριθ. 183/2005) και με την υγιεινή των τροφίμων (ΕΚ αριθ. 852/2004), όπου αναγνωρίζουν τη θετική συμβολή των ορθών πρακτικών υγιεινής στην επίτευξη των στόχων για την ασφάλεια των τροφίμων, ενθαρρύνοντας την κατάρτιση οδηγών ορθής πρακτικής από τους κλάδους επιχειρήσεων τροφίμων και ζωοτροφών για την συλλογή, την αποθήκευση, την εμπορία, τον χειρισμό και την μεταφορά αγαθών όπως τα σιτηρά και τα όσπρια. Ως υγιεινή των τροφίμων/ζωοτροφών ορίζονται τα μέτρα και οι όροι που είναι αναγκαία για τον έλεγχο των πηγών κινδύνου και για την εξασφάλιση της καταλληλότητας των τροφίμων για ανθρώπινη κατανάλωση [κανονισμός (ΕΚ) αριθ. 852/2004] ή για κατανάλωση από τα ζώα [κανονισμός (ΕΚ) αριθ. 183/2005], λαμβανομένης υπόψη της σκοπούμενης αξιοποίησή τους. Ο σκοπός των οδηγών ορθής πρακτικής έγκειται στο να συμβάλλουν στη διασφάλιση της συμμόρφωσης με τα ευρωπαϊκά πρότυπα υγιεινής, να ελέγξουν τους κινδύνους ασφαλείας των τροφίμων και ζωοτροφών και να προστατεύσουν την ασφάλεια των τροφίμων και των ζωοτροφών που διατίθενται στην αγορά. Οι οδηγοί βοηθούν επίσης τους υπεύθυνους επιχειρήσεων να ανταποκρίνονται στις απαιτήσεις των αγοραστών (Gooding and Davies, 1997, Jayas and Cenkowski, 2006, Mohammadi and Atungulu, 2019).



2. Μικροβιακό φορτίο των σιτηρών και οσπρίων

Πληθώρα ειδών μικροβίων σε διάφορους αριθμούς, το μικροβιακό φορτίο δηλαδή, φέρουν όλα τα τρόφιμα, μικρόβια που μπορεί να είναι είτε παθογόνα, προκαλώντας τροφογενείς λοιμώξεις – τοξινώσεις, είτε σαπρόφυτα προκαλώντας αλλοιώσεις στα τρόφιμα (Αρβανιτογιάννης και άλλοι, 2001). Συνεπώς, το μικροβιακό φορτίο ενός τροφίμου φέρει διάφορες διαβαθμίσεις που αντιστοιχούν στην ποιότητα αυτού (Ζαμπετάκης και άλλοι, 2011). Για παράδειγμα, ένα τρόφιμο χαρακτηρίζεται ως καλής ποιότητας όταν δεν περιέχει παθογόνα μικρόβια και/ή τοξίνες, δεν έχει υποστεί ανεπιθύμητες αλλοιώσεις λόγω των μικροβίων και μπορεί να συντηρηθεί για μεγάλο σχετικά διάστημα. Δεδομένης της πολύ υψηλής θρεπτικής αξίας των σπόρων σιτηρών και οσπρίων έχουν πάντοτε μικροβιακό φορτίο, το οποίο εκφράζεται ανά ml τροφίμου και εξαρτάται από την χημική και την μηχανική σύσταση του τροφίμου, την περιεκτικότητα αυτού σε συστατικά που παρεμποδίζουν την ανάπτυξη των μικροβίων (διάφορα συντηρητικά, αλάτι, αντιβιοτικά κ.α.), την περιεκτικότητα σε υγρασία, τον βαθμό έκθεσης του τροφίμου σε ρυπογόνους παράγοντες, τον τρόπο επεξεργασίας αλλά και χειρισμού του τροφίμου που μεσολαβεί μεταξύ συγκομιδής ή παραγωγής και της κατανάλωσής του και άλλα (Bullerman and Bianchini, 2009).

Από τα παραπάνω συμπεραίνουμε ότι η υγιεινή και η ασφάλεια των σιτηρών και των οσπρίων αλλά και των παραγόμενων προϊόντων από αυτά είναι πολύ σημαντική και απαιτεί συνεχείς ελέγχους, αφού οι πηγές μικροβιακών μολύνσεων μέσα στο εκάστοτε περιβάλλον όπου αποθηκεύονται επεξεργάζονται, μεταφέρονται ή συλλέγονται οι σπόροι είναι πολλές. Οι παθογόνοι οργανισμοί μπορεί να μεταφερθούν από το περιβάλλον στους σπόρους μέσω του αέρα, του νερού, του εδάφους, των εντόμων, των τρωκτικών, των ανθρώπων, των μηχανημάτων, των περιβαλλοντικών συνθηκών και άλλων. Συνεπώς καταλαβαίνουμε ότι οι σπόροι είναι εκτεθειμένοι σε μια πληθώρα παθογόνων καθ' όλη την διάρκεια των μετασυλλεκτικών σταδίων, τα οποία μπορούν να μεταφερθούν στο τελικό προϊόν. Το ίδιο ισχύει και για παράγωγά τους.

Η επιφάνεια των σπόρων φέρει διάφορα παθογόνα, τα οποία περιμένουν τις κατάλληλες συνθήκες για την ανάπτυξή τους. Στα παθογόνα περιλαμβάνονται μύκητες, ζύμες, βακτήρια,



γαλακτικά βακτήρια, βάκιλλοι, εντεροβακτήρια κ.α. Αναλυτικότερα, οι κύριες κατηγορίες αλλοιογόνων μικροοργανισμών είναι οι εξής:

1. τα οξεοπαραγωγικά μικρόβια που προκαλούν την οξίνιση τροφίμων, όπως τα γαλακτικά βακτήρια που παράγουν το γαλακτικό οξύ (*Lactococcus*, *Streptococcus*, *Lactobacillus*, *Leuconostoc*, *Pediococcus*), τα οξικά βακτήρια που παράγουν το οξικό οξύ (*Acetobacter aceti*), τα προπιονικά βακτήρια (*Propionibacterium freundenreichii*), τα βουτυρικά βακτήρια (*Clostridium butyricum*), τα εντεροβακτήρια (Enterobacteriaceae) καθώς και διάφορα είδη μυκήτων,
2. τα πρωτεολυτικά μικρόβια (putrefactive) που προκαλούν πρωτεόλυση-σήψη, δυσάρεστες οσμές πρωτεόλυσης, υδρόθειο, απώλεια δομής (μαλάκωμα) και αύξηση του pH του προϊόντος (όπως τα πρωτεολυτικά βακτήρια *Bacillus*, *Clostridium*, *Micrococcus*, *Staphylococcus*, *Pseudomonas*, *Alteromonas*, *Flavobacterium*, *Alcaligenes*, *Proteus* αλλά και διάφοροι μύκητες),
3. τα λιπολυτικά μικρόβια που προκαλούν λιπόλυση, τάγγιση, οσμές εστέρων λιπαρών οξέων (*Micrococcus*, *Staphylococcus*, *Pseudomonas*, *Alteromonas*, *Flavobacterium* αλλά και διάφοροι μύκητες)
4. τα σακχαρολυτικά μικρόβια που προκαλούν οξίνιση, μαλάκωμα υφής σε φρούτα-λαχανικά, παραγωγή αλκοόλης και διοξειδίου του άνθρακα (*Bacillus*, *Clostridium*, *Aeromonas*, *Pseudomonas*, *Enterobacter*, *Erwinia* και διάφοροι μύκητες)
5. τα αεριογόνα μικρόβια που παράγουν δυσάρεστες οσμές, φούσκωμα σε συσκευασμένα τρόφιμα και σκάσιμο τυριών, όπως τα *Leuconostoc*, *Lactobacillus*, *Desulfotomaculum*, *Clostridium*, *Escherichia*, *Enterobacter*, *Propionibacterium* και διάφορες ζύμες (π.χ. *Saccharomyces*)
6. Βακτήρια που παράγουν τη λεγόμενη «γλίτσα» (πολυσακχαρίτες, πρωτεογλυκάνες) (*Pseudomonas*, *Xanthomonas*, *Alcaligenes*, διάφορες ζύμες καθώς και διάφοροι μύκητες)
7. Βακτήρια που προκαλούν αποχρωματισμό (*Pseudomonas*, *Weissella*, *Leuconostoc*, ζύμες-μύκητες) (Ζαμπετάκης και άλλοι, 2011).

Η προσβολή των σπόρων από παθογόνα βακτήρια όπως διάφορα εντεροβακτήρια, σπορογόνα και γαλακτικά βακτήρια οφείλεται στις περισσότερες των περιπτώσεων σε λανθασμένους χειρισμούς υγιεινής και συνθηκών επεξεργασίας, αφού για να αναπτυχθούν



στην επιφάνεια των σπόρων απαιτούν πολύ υψηλές τιμές υγρασίας ή ενεργότητας του νερού. Τα βακτήρια είναι προκαρυωτικοί, μονοκύτταροι οργανισμοί, που ζουν μεμονωμένα ή σε συσσωματώματα, αναπαράγονται με απλή διχοτόμηση ενώ μερικά μπορούν να παράγουν ενδοσπόρια, όργανα που είναι πολύ ανθεκτικά σε ακραίες περιβαλλοντολογικές συνθήκες. Κατά γενικό κανόνα πάντως, τα βακτήρια βρίσκονται σπάνια ή δεν προσβάλλουν σημαντικά τα αποθηκευμένα δημητριακά και όσπρια, εκτός από τις περιπτώσεις όπου καταφέρνουν να επιβιώσουν και να μεταφερθούν στα μετέπειτα μεταποιημένα προϊόντα, όπως για παράδειγμα στο αλεύρι και μετέπειτα στα ζυμαρικά. Από την άλλη πλευρά, οι μύκητες αποτελούν ένα πολύ βασικό κομμάτι της υγιεινής των σιτηρών και οσπρίων, και φαίνεται ότι είναι ίσως τα σημαντικότερα παθογόνα στα προϊόντα αυτά (Bullerman and Bianchini, 2009).

Περισσότερα από 150 είδη μυκήτων μπορούν να προσβάλλουν τα αποθηκευμένα σιτηρά, ωστόσο το κάθε είδος αναπτύσσεται κάτω από συγκεκριμένες συνθήκες αποθήκευσης (Καραγκούνη-Κύρτσου, 2012). Η υγρασία και η θερμοκρασία των σπόρων είναι οι κύριοι παράγοντες που ουσιαστικά καθορίζουν το είδος και την διαδοχή της ανάπτυξης των μυκήτων πάνω στα αποθηκευμένα προϊόντα. Η προσβολή των αποθηκευμένων προϊόντων από μύκητες είναι πολύ σημαντική, καθότι μπορούν να προκαλέσουν μείωση της βλαστικής ικανότητας των σπόρων μέσω της καταστροφής του εμβρύου αυτών, αποχρωματισμούς των σπόρων, αύξηση της θερμοκρασίας (άναμα) μέσω των μεταβολικών δραστηριοτήτων των μυκήτων, μείωση του βάρους των σπόρων, αλλοίωση-μεταβολή των οργανοληπτικών χαρακτηριστικών των σπόρων (υδρόλυση των πρωτεϊνών και υδατανθράκων κ.α.), δημιουργία μυκοτοξινών που θεωρούνται ως ισχυρά καρκινογόνες ουσίες και παράγονται από συγκεκριμένα είδη μυκήτων, συσσωματώματα αλλοιωμένων σπόρων και άλλα. Στις περισσότερες των περιπτώσεων, τα αποθηκευμένα σιτηρά και όσπρια προσβάλλονται από ξηροφιλικούς μύκητες όπως οι *Aspergillus*, *Eurotium*, *Wallemia*, οι οποίοι προκαλούν αποχρωματισμούς, δυσάρεστες οσμές (πτητικά προϊόντα), ελεύθερα λιπαρά οξέα και άλλα. Μαύρα στίγματα στους σπόρους του σκληρού σιταριού εξαιτίας της παρουσίας των γενών *Alternaria* και *Cladosporium*, επηρεάζουν αρνητικά την ποιότητα του παραγόμενου σιμιγδαλιού, αποτελώντας σημαντικά τη βιομηχανία ζυμαρικών. Το σημαντικότερο ωστόσο πρόβλημα της ύπαρξης μυκήτων στα τρόφιμα είναι η παραγωγή των τοξικών μεταβολιτών (μυκοτοξινών) των γενών μυκήτων *Aspergillus*, *Penicillium* και *Fusarium*, οι οποίες



αποτελούν καρκινογόνες ουσίες για το συκώτι και άλλα όργανα όταν βιοσυσσωρεύονται ενώ προκαλούν τροφική δηλητηρίαση σε υψηλές συγκεντρώσεις. Σε γενική περίπτωση πάντως, η ανεύρεση μεγάλου αριθμού, έστω και μη παθογόνων μικροβίων, φανερώνει ότι οι συνθήκες επεξεργασίας και συντήρησής τους δεν είναι ικανοποιητικές, ενώ το ίδιο ισχύει και για τις συνθήκες υγιεινής του χώρου (Bullerman and Bianchini, 2009).



3. Κίνδυνοι αλλοιώσεων με βάση τις συνθήκες αποθήκευσης

Η ρύθμιση της υγρασίας αποτελεί βασικό παράγοντα για την ασφαλή αποθήκευση των αγροτικών προϊόντων με απουσία ανάπτυξης παθογόνων μικροοργανισμών σε αυτά. Αρχικά, η περιεκτικότητα των σπόρων σε υγρασία είναι κύριος παράγοντας που καθορίζει τόσο την ημερομηνία συλλογής από το χωράφι αλλά και την διάρκεια της αποθήκευσης χωρίς σημαντικές αλλοιώσεις από παθογόνους μικροοργανισμούς. Κατά γενικό κανόνα, σπόροι με <13% υγρασία θεωρούνται κατάλληλοι για αποθήκευση συνολικής διάρκειας ενός χρόνου, ενώ σε αντίθετη περίπτωση σημαντικό ρόλο παίζουν και οι συνθήκες θερμοκρασίας και ο χρόνος αποθήκευσης. Από την άλλη πλευρά, η σχετική υγρασία της μάζας των σπόρων είναι επίσης ένας πολύ σημαντικός παράγοντας, που εξαρτάται από την ισορροπία μεταξύ της θερμοκρασίας του χώρου και της υγρασίας του σπόρου. Σε περίπτωση που δεν υπάρχει ισορροπία μεταξύ των συνθηκών αυτών, τότε είτε ο σπόρος θα αρχίσει να απορροφά υγρασία από το περιβάλλον, ενώ παράλληλα σταγονίδια νερού συσσωρεύονται στην επιφάνεια των σπόρων, όπου και καθίσταται πιο εύκολη η ανάπτυξη διαφόρων παθογόνων τα οποία πολλαπλασιάζονται ιδιαίτερα γρήγορα (Henry and Kettlewell, 1996, Παπακώστα - Τασοπούλου, 2012, Mohammadi and Atungulu, 2019).

Τα παθογόνα από την άλλη πλευρά, έχουν απαιτήσεις και στο θερμοκρασιακό εύρος στο οποίο μπορούν να αναπτυχθούν, αφού η θερμοκρασία επηρεάζει σημαντικά την ενζυμική δραστηριότητα και συνεπώς τον μεταβολισμό των οργανισμών. Κατά γενικό κανόνα, θερμοκρασίες πάνω από το μέγιστο όριο επιφέρουν θανάτωση των οργανισμών, ενώ κάτω από το ελάχιστο όριο προκαλείται αναστολή αλλά όχι θάνατος, με εξαίρεση κάποια κύτταρα που μπορεί να τραυματιστούν και να θανατωθούν. Ανάλογα με τις βέλτιστες θερμοκρασίες ανάπτυξης, τα παθογόνα διακρίνονται σε ψυχρόφιλα (0-20°C), ψυχρότροφα (0-30 °C), μεσόφιλα (20-45 °C) και θερμόφιλα (45-80 °C). Τα περισσότερα βακτήρια είναι μεσόφιλα, ενώ οι ζύμες και οι μύκητες θεωρούνται ψυχρόφιλα και θανατώνονται κυρίως με παστερίωση (Κοτζεκίδου-Ρούκα, 1993, Χίνη και άλλοι, 2006).



4. Κίνδυνοι αλλοιώσεων με βάση ενδογενείς παράγοντες ανάπτυξης

Πέρα από τους εξωγενείς παράγοντες, διάφοροι ενδογενείς παράγοντες μπορούν επίσης να συμβάλλουν στην ανάπτυξη των παθογόνων μικροοργανισμών, όπως η χημική σύσταση, η ενεργότητα του νερού (a_w), το pH και η οξύτητα του τροφίμου, η συγκέντρωση του οξυγόνου και το οξειδωαναγωγικό δυναμικό, τα αντιμικροβιακά συστατικά που μπορεί να περιέχει, η δομή και η υφή του και άλλα. Αυτοί οι παράγοντες μπορούν να ληφθούν σοβαρά υπόψη, στο πλαίσιο μιας στρατηγικής ορθής αποθήκευσης για την αντιμετώπιση των παθογόνων (Dijksterhuis and Samson, 2007).

Οι μικροοργανισμοί απαιτούν συγκεκριμένες χημικές ενώσεις για να μπορέσουν να αναπτυχθούν πάνω σε δεδομένο υπόστρωμα-τρόφιμο. Αναλυτικότερα, το υπόστρωμα θα πρέπει να προσφέρει μια πηγή άνθρακα, όπως για παράδειγμα σάκχαρα, αμινοξέα, λιπίδια και άλλα, για την παραγωγή ενέργειας (ATP) και την σύνθεση των πολυσακχαριτών από τον μικροοργανισμό-ξενιστή, μια πηγή αζώτου όπως για παράδειγμα πρωτεΐνες, πεπτίδια, αμινοξέα, άλατα, νιτρώδη, νιτρικά και αμμωνιακά, για την βιοσύνθεση πρωτεϊνών και ενζύμων, μέταλλα και ιχνοστοιχεία όπως κάλιο, μαγνήσιο, σίδηρο, μαγγάνιο, ασβέστιο και άλλα, την βιοσύνθεση βιταμινών και ενζύμων και την αντίσταση στην ωσμωτική πίεση, και διάφορους άλλους ενισχυτικούς παράγοντες, όπως βιταμίνες που μπορούν να ενισχύσουν την περαιτέρω ανάπτυξη των μικροοργανισμών στο υπόστρωμα-τρόφιμο. Κατά γενικό κανόνα, τα βακτήρια προτιμούν υποστρώματα πλούσια σε πρωτεΐνες ζωικής κυρίως προέλευσης, ενώ οι μύκητες και οι ζύμες αμυλούχα τρόφιμα φυτικής προέλευσης, ακόμα και σε υποστρώματα φτωχά σε θρεπτικά συστατικά, δεδομένου ότι μπορούν να βιοσυνθέτουν μια ευρεία γκάμα ενζύμων και βιολογικών μορίων που χρειάζονται για την ανάπτυξή τους (Καραγκούνη-Κύρτσου, 2012).

Εκτός των θρεπτικών, η ενεργότητα του νερού (a_w) είναι επίσης σημαντικός παράγοντας που καθορίζει την ανάπτυξη των μικροβίων στο τρόφιμο. Ως ενεργότητα νερού ορίζουμε το δείκτη ελευθέρου νερού του τροφίμου ($a_w = \text{τάση ατμών του τροφίμου} / \text{τάση ατμών απεσταγμένου νερού}$), δηλαδή την ποσότητα του νερού που δεν είναι δεσμευμένη σε άλλα μόρια όπως για παράδειγμα σε πολυσακχαρίτες ή πρωτεΐνες, και άρα είναι διαθέσιμο για την χρήση του ως διαλύτης ή ως συστατικό βιοχημικών αντιδράσεων υδρόλυσης από τα μικρόβια. Σε περίπτωση που η ενεργότητα του νερού είναι κάτω από το ελάχιστο όριο



ανάπτυξης ενός μικροβίου τότε προκαλείται αναστολή της ανάπτυξης του και θάνατο από οσμωτικό stress (καταπόνηση) (Ζερβάκης, 2017).

Τα περισσότερα των μικροβίων αναπτύσσονται σε τιμές pH μεταξύ των 4.0 και 7.0, με τα βακτήρια να είναι ευαίσθητα σε πιο όξινα περιβάλλοντα ενώ οι ζύμες και οι μύκητες να είναι ανεκτικά σε μεγαλύτερο εύρος τιμών. Για παράδειγμα, τα περισσότερα παθογόνα δεν μπορούν να αναπτυχθούν κάτω από 4.0 pH, ωστόσο εξαίρεση αποτελούν οι μυκοτοξίνες των μυκήτων *Aspergillus*, *Penicillium* και *Fusarium*, που όπως έχει αναφερθεί και προτίστως, είναι εξαιρετικά καρκινογόνες ουσίες για τον άνθρωπο. Η οξύτητα είναι από τους σημαντικότερους αναστολείς της μικροβιακή ανάπτυξης, με τα διαφορετικά οργανικά ή ανόργανα οξέα να επηρεάζουν σε διαφορετικό βαθμό την ανάπτυξη των διαφόρων παθογόνων (Αγγελής, 2007, Ζερβάκης, 2017).

Το οξειδωαναγωγικό δυναμικό (Redox potential - Eh) αναφέρεται στην τάση ενός τροφίμου να ανταλλάσσει ηλεκτρόνια. Τα παθογόνα χαρακτηρίζονται ως αερόβια (π.χ. *Pseudomonas*, μύκητες), αυστηρά αναερόβια (π.χ. *Clostridium*, *Desulfotomaculum*) και προαιρετικά αναερόβια (π.χ. *Listeria*), ανάλογα με τις απαιτήσεις του εκάστοτε παθογόνου στο οξειδωαναγωγικό δυναμικό και στην παρουσία οξυγόνου στο υπόστρωμα. Από την άλλη πλευρά, τα τρόφιμα μπορεί να περιέχουν ουσίες με αντιμικροβιακές ιδιότητες. Για παράδειγμα, τα αιθέρια έλαια των αρωματικών φυτών, οι φαινόλες του τσαγιού, του κρασιού κ.α., το καφεϊκό, φερουλικό και κουμαρικό οξύ στα φρούτα και τα λαχανικά, λυσοζύμη και η κοναλβουμίνη στα αυγά, οι βακτηριοσίνες ή τα αντιβιοτικά από *Bacillus* ή *Streptomyces* είναι ουσίες που λειτουργούν αποτρεπτικά στην ανάπτυξη των παθογόνων. Τέλος, υπάρχει και η φυσική προστασία των τροφίμων από επιμολύνσεις παθογόνων λόγω της δομής ή της υφής του τροφίμου, για παράδειγμα το κέλυφος από τα αυγά, τους καρπούς ή τους σπόρους, η επιφάνεια των σπόρων με τριχίδια και άλλα.



5. Πηγές επιμόλυνσης των σιτηρών και οσπρίων με παθογόνους μικροοργανισμούς

Διάφορες είναι οι πηγές από όπου μπορεί ένα τρόφιμο να επιμολυνθεί με κάποιο παθογόνο. Για παράδειγμα, σκεύη, εργαλεία και μηχανήματα επεξεργασίας τροφίμων μπορεί να φέρουν παθογόνα. Για τον λόγο αυτό είναι επιτακτική η ανάγκη να καθαρίζονται και απολυμαίνονται ενδελεχώς σε τακτικά χρονικά διαστήματα. Το προσωπικό θα πρέπει να φροντίζει για την ορθή ατομική υγιεινή του, χρησιμοποιώντας όλες τις απαραίτητες μεθόδους όπως το τακτικό πλύσιμο χεριών, ποδιές, γάντια, μάσκες, αποφυγή επαφής με εστίες μόλυνσης κλπ. Από την άλλη πλευρά, έντομα και τρωκτικά είναι κοινοί φορείς πολλών παθογόνων και παρασίτων. Αντίστοιχα και το νερό πρέπει να είναι χλωριωμένο για τον ίδιο λόγο (Henry and Kettlewell, 1996).

Διάφορα αγροτικά προϊόντα, είτε επεξεργασμένα είτε όχι, είναι πάντα ύποπτα για φορείς παθογόνων, όπως για παράδειγμα το γάλα και το κρέας που μπορεί να είναι επιμολυσμένα με *Salmonella* και *Listeria monocytogenes* μέσω των ζωοτροφών, ή τα πρόσθετα τροφίμων (καρυκεύματα, πρωτεΐνη ορού γάλακτος, σκόνη γάλακτος/αυγού, ζελατίνη, κλπ.) που μπορεί να περιέχουν ζύμες και σε περιπτώσεις κακής θερμοκρασιακής μεταχείρισης κατά την παραγωγή ή συντήρηση μπορεί να περιέχουν μη σπορογόνα παθογόνα (π.χ. *Salmonella*). Αγρο-βιομηχανικά απόβλητα και αστικά λύματα θα πρέπει πάντα να επεξεργάζονται για την αποφυγή διαρροών αποβλήτων ικανών να μολύνουν με παθογόνα ιδιαίτερα μεγάλες περιοχές (Παπακώστα-Τασοπούλου, 2012, Ζαμπετάκης και άλλοι, 2011)

Για παράδειγμα, έχουμε την υπόθεση της παραγωγής αλευριού σε έναν αλευρόμυλο. Αρχικά, στο χωράφι, παθογόνοι μικροοργανισμοί είναι δυνατόν να επιμολύνουν το σιτάρι προερχόμενοι από το έδαφος, τον αέρα, το νερό άρδευσης, τα έντομα ή το ακόμα και από τα μηχανήματα. Το παθογόνο θα εισέλθει στον σπόρο του σιταριού, και θα παραμείνει εκεί μέχρι να βρει τις κατάλληλες συνθήκες ανάπτυξης. Έπειτα, το σιτάρι συγκομίζεται και αποθηκεύεται πριν περάσει στον μύλο όπου θα αλεστεί. Και σε αυτό το στάδιο, το σιτάρι μπορεί να επιμολυνθεί κατά τη συγκομιδή και την αποθήκευση. Σημαντικό ρόλο στην αποθήκευση παίζει η υγρασία του σιταριού όπου δεν πρέπει να υπερβαίνει το 11 – 12%, ποσοστό που καθορίζει την ανάπτυξη των μυκήτων. Ο σωστός αερισμός των σπόρων κατά την αποθήκευση, και ειδικά για μεγάλο χρονικό διάστημα, είναι επίσης σημαντικός για τον περιορισμό ανάπτυξης ζυμών και μυκήτων. Έως εδώ δεν έχει περάσει από κάποιο στάδιο



κατά το οποίο οι παθογόνοι μικροοργανισμοί να θανατωθούν, οπότε και όλα τα παθογόνα που βρίσκονται στον σπόρο από το χωράφι ή την αποθήκη θα μεταφερθούν μαζί με το αλεύρι στον μύλο, όπου θα επεξεργαστεί για να παραχθεί το αλεύρι. Για τη μείωση του μικροβιακού φορτίου και τη θανάτωση των παθογόνων μικροοργανισμών είναι απαραίτητο να υπάρξει μεταγενέστερο στάδιο, στο οποίο το αλεύρι θα υποστεί κάποια θερμική επεξεργασία. Ο καλύτερος τρόπος για να διασφαλίσουμε ότι η θερμική επεξεργασία επέφερε τα επιθυμητά αποτελέσματα είναι ο έλεγχος του μικροβιακού φορτίου του πριν και μετά τη θερμική επεξεργασία. Σήμερα, η θερμική εφαρμογή σε χώρους αποθήκευσης και επεξεργασίας αποτελεί μια ευρέως χρησιμοποιούμενη μέθοδο διαχείρισης σε αρκετά σενάρια μετασυλλεκτικών εφαρμογών (Αρβανιτογιάννης και άλλοι, 2001).



6. Βιβλιογραφία

Αρβανιτογιάννης Ι., Σάνδρου Δ., Κούρτης Λ. (2001), Ασφάλεια Τροφίμων – Εφαρμογή της Ανάλυσης Επικινδυνότητας και Κρίσιμων Σημείων Ελέγχου (HACCP) στις Βιομηχανίες Τροφίμων και Ποτών, University Studio Press.

Αγγελής Γ., (2007). Μικροβιολογία και Μικροβιακή Τεχνολογία, Εκδόσεις Σταμούλης.

Ζαμπετάκης Γ., Θεοχάρης Σ., Καραντώνης Χ., Κιρκιλής Χ., Παντελόγλου Α., Στασινός Σ., (2011). Νομοθεσία τροφίμων και διατροφικοί κίνδυνοι. Αθ. Σταμούλης.

Ζερβάκης Γ., (2017). Εισαγωγή στην Μυκητολογία, Πανεπιστημιακές Σημειώσεις, γεωπονικό Πανεπιστήμιο Αθηνών, Αθήνα.

Καραγκούνη-Κύρτσου Α. (2012), Γενική Μικροβιολογία Εκδόσεις Σταμούλη.

Κιοσέογλου Β., Μπλέκας Γ., (2009). Αρχές τεχνολογίας τροφίμων. Εκδόσεις Γαρταγάνη. Θεσσαλονίκη.

Κοτζεκίδου-Ρούκα Π., (1993). Μικροβιολογική Ανάλυση Τροφίμων, Εκδόσεις ΑΠΘ, Θεσσαλονίκη.

Παπακώστα-Τασοπούλου Δ., (2012). Ειδική Γεωργία: Σιτηρά και Ψυχανθή. Εκδόσεις Σύγχρονη Παιδεία.

Χίνη Θ., Τύμπης Δ., Πετράκης Ε. (2006). Εργαστηριακές Ασκήσεις Μικροβιολογίας Τροφίμων. ΤΕΙ Αθήνας, Αθήνα.

Bullerman L.B., Bianchini A. (2009). Food safety issues and the microbiology of cereals and cereal products. In: N. Heredia, I. Wesley, & S. Garcia (Eds.), Microbiologically Safe Foods. John Wiley & Sons, New York, U.S.A. pp. 315–335

Henry R.J., Kettlewell P.S. (1996). Cereal grain quality. Chapman and Hall, London, UK.

Forsythe S.J., (2000). The Microbiology Of Safe Foods, Blackwell Science, U.K



Gooding M.J., Davies W.P. (1997). Wheat production and utilization, systems, quality and the environment. New York USA. Cab International.

Dijksterhuis J., Samson R.A., (2007). Food Mycology: A multifaceted approach to fungi and food, CRC Press. ISBN 13:978-08493-9818-6.

Jayas D., Cenkowski S. (2006). Grain property values and their measurement. Handbook of Industrial Drying, 4th Edition. 10.1201/9781420017618.ch24.

Mohammadi S.Z., Atungulu G.G. (2019). Post-harvest kernel discoloration and fungi activity in long-grain hybrid, pureline and medium-grain rice cultivars as influenced by storage environment and antifungal treatment. Journal of stored products research, 81: 91–99.

Vanderzant C., Splittstoesser, F. (1992) Compendium of methods for the microbiological examination of foods, American Public Health, USA