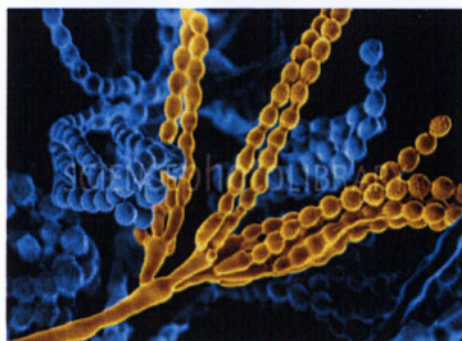


ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΚΟ ΕΚΠΑΙΔΕΥΤΙΚΟ ΙΔΡΥΜΑ ΚΑΛΑΜΑΤΑΣ
ΣΧΟΛΗ ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΑΣ ΓΕΩΠΟΝΙΑΣ
ΤΜΗΜΑ ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΑΣ ΓΕΩΡΓΙΚΩΝ ΠΡΟΪΟΝΤΩΝ

ΣΤΡΑΤΗΓΙΚΕΣ ΠΡΟΛΗΨΗΣ ΜΟΛΥΝΣΕΩΣ ΑΠΟ ΜΥΚΟΤΟΞΙΝΕΣ
ΣΕ ΤΡΟΦΙΜΑ ΚΑΙ ΖΩΟΤΡΟΦΕΣ

ΠΤΥΧΙΑΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ

ΓΕΩΡΓΑΚΑΣ ΗΛΙΑΣ



Επιβλέπων: Δρ. Φαρμάκης Λάμπρος

ΚΑΛΑΜΑΤΑ 2013

ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΚΟ ΕΚΠΑΙΔΕΥΤΙΚΟ ΙΔΡΥΜΑ ΚΑΛΑΜΑΤΑΣ
ΣΧΟΛΗ ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΑΣ ΓΕΩΠΟΝΙΑΣ
ΤΜΗΜΑ ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΑΣ ΓΕΩΡΓΙΚΩΝ ΠΡΟΪΟΝΤΩΝ

ΣΤΡΑΤΗΓΙΚΕΣ ΠΡΟΛΗΨΗΣ ΜΟΛΥΝΣΕΩΣ ΑΠΟ ΜΥΚΟΤΟΞΙΝΕΣ
ΣΕ ΤΡΟΦΙΜΑ ΚΑΙ ΖΩΟΤΡΟΦΕΣ

ΠΤΥΧΙΑΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ

ΓΕΩΡΓΑΚΑΣ ΗΛΙΑΣ

Επιβλέπων: Δρ. Φαρμάκης Λάμπρος

ΚΑΛΑΜΑΤΑ 2013

ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ

ΕΙΣΑΓΩΓΗ	3
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1	5
ΜΥΚΟΤΟΞΙΝΕΣ	5
1.1 Ιστορική αναδρομή.....	5
1.2 Ορολογία.....	6
1.3 Κυριότερα γένη μυκήτων.....	8
1.4 Κατηγορίες μυκοτοξινών.....	9
1.5 Τοξικότητα μυκοτοξινών.....	17
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2	24
2.1 Πρόληψη της μόλυνσης μυκοτοξίνης.....	24
2.2 Στρατηγικές πριν την συγκομιδή.....	25
2.2.1 Στρατηγικές πρόληψης μυκοτοξινών στα δημητριακά.....	25
2.2.1.1 Ανθεκτικές ποικιλίες.....	26
2.2.1.2 Διαχείριση χωραφιού.....	28
2.2.1.3 Περιβαλλοντικές συνθήκες.....	29
2.2.1.4 Χρήση βιολογικών και χημικών παραγόντων.....	30
2.2.2 Στρατηγικές πρόληψης των μυκοτοξινών στους καρπούς με κέλυφος...	31
2.2.2.1 Ανθεκτικές ποικιλίες.....	32
2.2.2.2 Διαχείριση χωραφιού.....	32
2.2.2.3 Περιβαλλοντικές συνθήκες.....	33
2.2.2.4 Χρήση βιολογικών και χημικών παραγόντων.....	33
2.3 Στρατηγικές πρόληψης μυκοτοξινών στα προϊόντα μήλου.....	34

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3.....	35
3.1 Διαχείριση συγκομιδής.....	35
3.2 Στρατηγικές ελέγχου μετά την συγκομιδή.....	37
3.2.1 Βελτίωση συνθηκών αποθήκευσης και αποξήρανσης.....	37
3.2.2 Χρήση φυσικών και χημικών παραγόντων.....	39
3.2.3 Ακτινοβολία.....	41
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4.....	43
4.1 Αποτοξικοποίηση των μυκοτοξινών.....	43
4.2 Απομάκρυνση μυκοτοξινών από μολυσμένα τρόφιμα.....	44
4.2.1 Φυσικός διαχωρισμός.....	44
4.2.2 Εξαγωγή με διαλύτες.....	46
4.3 Αδρανοποίηση μυκοτοξινών σε μολυσμένα τρόφιμα.....	46
4.3.1 Φυσικές μέθοδοι.....	46
4.3.2 Χημικές μέθοδοι.....	48
4.3.3 Βιολογικές μέθοδοι.....	51
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 5.....	53
5.1 Αναστολή της απορρόφησης στην γαστρεντερική οδό.....	53
ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ.....	58
ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ.....	60

ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Οι μυκοτοξίνες (mycotoxins) είναι τοξικές ουσίες που εκκρίνονται από μύκητες οι οποίοι αναπτύσσονται κάτω από υγρές και θερμές συνθήκες. Είναι μυκητιακοί δευτερεύοντες μεταβολίτες που συσχετίζονται με έντονες τοξικές επιδράσεις στα σπονδυλωτά και παράγονται από πολλούς φυτοπαθολογικούς μύκητες που προκαλούν σάπισμα στα τρόφιμα. Πολλές μυκοτοξίνες είναι τοξικές και ικανές να προκαλέσουν διάφορες μορφές καρκίνου, ασθένειες του ήπατος των νεφρών των πνευμόνων κ.ά. Από τις πιο γνωστές μυκοτοξίνες, είναι οι αφλατοξίνες (aflatoxins) και οι ωχρατοξίνες (ochratoxins). Η αφλατοξίνη Β₁ είναι από τα πιο ισχυρά καρκινογόνα που υπάρχουν στην φύση και όταν εισέλθει στον οργανισμό του ανθρώπου ή των ζώων μεταβολίζεται σε αφλατοξίνη Μ₁, ενώ οι ωχρατοξίνες έχουν συσχετιστεί με νεφροπάθειες.

Στις μέρες μας από τα 200.000 είδη μυκήτων που είναι γνωστά περίπου 100 είδη παράγουν τοξίνες επικίνδυνες για τον άνθρωπο και τα ζώα. Οι μυκοτοξίνες, σχηματίζονται σε τρόφιμα όπως οι ξηροί καρποί, τα δημητριακά, οι ελαιούχοι σπόροι, τα ξηρά φρούτα, το γάλα, το κρέας ζώων που τρέφονται με ζωοτροφές που περιέχουν μυκοτοξίνες και σε ζωοτροφές που έχουν σαν βάση τα δημητριακά και τους ελαιούχους σπόρους. Παλαιότερα, οι μυκοτοξίνες θεωρούνταν επιβλαβείς μόνο για τα ζώα που τις κατανάλωναν και κατά συνέπεια γινόντουσαν επιζήμιες για την οικονομία των εκτροφών. Στα ζώα, η λήψη μυκοτοξινών μέσω της τροφής οδηγεί σε διατάραξη της φυσιολογικής λειτουργίας του οργανισμού τους. Οι παθολογικές καταστάσεις που προκύπτουν ονομάζονται μυκοτοξικώσεις. Παρατηρούνται τρεις μορφές μυκοτοξικώσεων: α) οι οξείες, μετά από την λήψη μεγάλης ποσότητας μυκοτοξινών, που μπορεί να προκαλέσουν και θάνατο του ζώου, β) οι χρόνιες, μετά από μακροχρόνια λήψη μικρής ποσότητας, που προκαλεί αρνητικές επιπτώσεις στην ανάπτυξη των ζώων και γ) οι ασυμπτωματικές, ύστερα από την λήψη ακόμα και ελάχιστης ποσότητας μυκοτοξινών που εκδηλώνονται, κυρίως με ανοσοκαταστολή. Οι ασυμπτωματικές θέλουν ιδιαίτερη προσοχή λόγω της καθυστέρησης της διάγνωσης και των προβλημάτων που δημιουργούν κατά την διάρκεια αυτή.

Σήμερα, οι μυκοτοξίνες που είναι που είναι γνωστές δεν υπερβαίνουν τις 20 και εκτιμάται ότι ο αριθμός των δευτερογενών μεταβολιτών των μυκοτοξικογενών μυκήτων είναι πάνω από 200. Στις κυριότερες μυκοτοξίνες μαζί με τις αφλατοξίνες και τις ωχρατοξίνες είναι η ζεαραλενόνη (zearalenone), οι τριχοθεσίνες

(trichothecenes), η πατουλίνη, οι φουμονισίνες (fumonisins) και η οχρατοξίνη Α (OTA). Εξαιτίας των επιβλαβών επιδράσεων αυτών των μυκοτοξινών, αναπτύχθηκε ένας αριθμός στρατηγικών για την πρόληψη της ανάπτυξης των μυκοτοξικογενών μυκητών και για την απολύμανση και αποτοξίνωση των τροφών και ζωοτροφών που έχουν μολυνθεί από μυκοτοξίνες. Αυτές οι στρατηγικές περιλαμβάνουν

- Την πρόληψη μόλυνσης από μυκοτοξίνες
- Αποτοξίνωση των μυκοτοξινών που είναι παρούσες στα τρόφιμα
- Αναστολή της απορρόφησης στην γαστρεντερική οδό

Στην παρακάτω εργασία θα παρατηρήσουμε στρατηγικές που βοηθάνε στην πρόληψη των μολύνσεων από μυκοτοξίνες σε τρόφιμα και ζωοτροφές.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1

ΜΥΚΟΤΟΞΙΝΕΣ

1.1 ΙΣΤΟΡΙΚΗ ΑΝΑΔΡΟΜΗ

Η παθογόνος φύση μυκήτων στα φυτά έχει παρατηρηθεί από την αρχή της γεωργίας. Ακόμα και στα πρώτα στάδια της γεωργίας, οι αγρότες είχαν παρατηρήσει ότι η κατανάλωση μουχλιασμένων δημητριακών ή καρπών είχε σαν αποτέλεσμα την εμφάνιση ασθενειών. Αναφέρεται ότι, πολλές από τις μάστιγες της κεντρικής Ευρώπης έχουν συνδεθεί με την κατανάλωση ψημένου ψωμιού από μουχλιασμένα σιτηρά. Η πρώτη αναφορά τους στην βιβλιογραφία γίνεται την δεκαετία του 1960, όπου στη Μεγάλη Βρετανία πέθαναν πάνω από εκατό χιλιάδες γαλοπούλες². Αιτία αυτής της κρίσης ήταν η κατανάλωση ζωοτροφών που περιείχαν δευτερογενείς μεταβολίτες του μύκητα *Aspergillus flavus*. Αυτό έκανε τους επιστήμονες να σκεφτούν ότι, πιθανόν να υπάρχουν δύσκολα ανιχνεύσιμοι μεταβολίτες που προέρχονται από μούχλα, οι οποίοι μπορεί να προκαλέσουν ακόμα και θάνατο. Έτσι οι επιστήμονες επινόησαν τον όρο *μυκοτοξίνη* για να περιγράψουν αυτήν την τοξική συμπεριφορά που παρατηρήθηκε για αυτούς τους δευτερογενείς μεταβολίτες. Σύντομα, η κατηγορία των μυκοτοξινών συμπεριέλαβε πλήθος από ήδη γνώστες τοξίνες που προέρχονταν από μύκητες (ερисуβώση αλκαλοειδή, ergot alkaloids), κάποιες ενώσεις που αρχικά είχαν απομονωθεί ως αντιβιοτικά (Πατουλίνη) καθώς και ακόμα ένα πλήθος από καινούριους δευτερογενείς μεταβολίτες (Οχρατοξίνη Α). Στις δεκαετίες 1960 και 1970 παρατηρήθηκε μια εντατική έρευνα γύρω από την μελέτη των μυκοτοξινών. Συνολικά έχουν βρεθεί περίπου 300 με 400 ενώσεις που χαρακτηρίζονται ως μυκοτοξίνες εκ των οποίων περίπου οι είκοσι από αυτές έχει αποδειχτεί ότι απαντώνται στις τροφές σε συχνότητα και σε επίπεδα τέτοια, ώστε να θεωρούνται απειλή για την υγεία και των ανθρώπων³.

Οι μύκητες είναι οργανισμοί που δεν έχουν χλωροφύλλη. Εμφανίζονται ως απλοί μονοκύτταροι ή και πολυκύτταροι οργανισμοί, οι οποίοι παράγουν μούχλες, μανιτάρια και μαγιά. Οι μύκητες για να αναπτυχθούν τρέφονται με τα θρεπτικά συστατικά του ξενιστή που προσβάλλουν. Κατά την περίοδο της ανάπτυξής τους παράγουν ένα ευρύ φάσμα φυσικών προϊόντων, τους μεταβολίτες⁴. Ορισμένοι από

τους μεταβολίτες είναι επιβλαβείς για τον άνθρωπο, όπως οι μυκοτοξίνες ενώ άλλοι είναι επικερδείς όπως τα αντιβιοτικά.

1.2 ΟΡΟΛΟΓΙΑ

Η λέξη μυκοτοξίνη είναι σύνθετη και χωρίζεται στον όρο *μύκο-* που προέρχεται από τη λέξη μύκητας και *-τοξίνη* που σημαίνει τοξικό σε βιολογικά συστήματα. Οι μυκοτοξίνες είναι οι μεταβολίτες, οι οποίες παράγονται καθώς ο μύκητας αναπτύσσεται παρασιτικά στον ξενιστή που έχει προσβάλει. Οι μυκοτοξίνες ονομάζονται δευτερογενείς μεταβολίτες διότι δεν φαίνεται να είναι απαραίτητες για την φυσιολογική, βιομηχανική και αναπαραγωγική δραστηριότητα του κυττάρου. Παράγονται κατά τον κυτταρικό κύκλο από πρόδρομες ενώσεις που προέρχονται από τον πρωτογενή μεταβολισμό. Αν και έχουν αναπτυχθεί αρκετές θεωρίες για την παραγωγή των μυκοτοξινών (ανταγωνιστική αναστολή, μολυσματικοί παράγοντες) ο μηχανισμός παραγωγής αυτών των δευτερογενών μεταβολιτών είναι μάλλον άγνωστος. Ωστόσο είναι αρκετά γνωστός ο τρόπος με τον οποίο παράγονται κατά την διάρκεια της σταθερής φάσης της ανάπτυξης του μύκητα ή υπό συνθήκες στρες⁶.

Μεγάλο ρόλο για την ανάπτυξη των μυκοτοξινών παίζει το κλίμα, συνεπώς, η συγκέντρωση δεν είναι χρονικά σταθερή. Έχει παρατηρηθεί ότι, η ανάπτυξη του μύκητα ευνοείται όταν ο καρπός υφίσταται στρες από καιρικά φαινόμενα, π.χ. μακρά διάρκεια ξηρασίας ακολουθούμενη από ισχυρή βροχόπτωση, ή όταν υποστεί βλάβη από πουλιά, έντομα, ή ακόμα όταν υπάρχει ανταγωνισμός με άλλα βότανα (παράσιτα). Όλες αυτές οι συνθήκες προκαλούν αδυναμία στον καρπό και δίνουν την ευκαιρία στους σπόρους του μύκητα να τον προσβάλλουν. Η ανάπτυξη του μύκητα ευνοείται επίσης όταν η αποθήκευση των καρπών γίνεται σε συνθήκες υψηλής υγρασίας⁴.

Αξίζει να αναφερθεί ότι, η παρουσία μυκήτων δεν είναι πάντα στοιχείο ύπαρξης μυκοτοξινών. Με άλλα λόγια ο μύκητας μπορεί να υπάρχει αλλά να μην παράγει μυκοτοξίνες. Επιπλέον, η απουσία του μύκητα δεν αποκλείει την ύπαρξη μυκοτοξίνης αφού ο μύκητας μπορεί να προϋπήρχε και να έχει παράγει την τοξίνη σε προηγούμενο στάδιο παραγωγής ή επεξεργασίας της τροφής. Η μυκοτοξίνη μπορεί να παραμείνει στην τροφή πολύ μετά τον θάνατο του μύκητα χωρίς καταστραφεί ή να υποστεί οποιαδήποτε αλλοίωση υπό κανονικές συνθήκες³.

Οι μυκοτοξίνες είναι δύσκολο να ταξινομηθούν εξαιτίας των ποικίλων χημικών δομών που τις χαρακτηρίζουν, των διαφορετικών βιοσυνθετικών μηχανισμών που ακολουθούν, των μυριάδων βιολογικών αποτελεσμάτων που παρουσιάζουν καθώς και από το ευρύ φάσμα των μυκήτων από τους οποίους προέρχονται. Οι γιατροί τις κατατάσσουν με γνώμονα το όργανο, το οποίο προσβάλλουν. Έτσι, οι μυκοτοξίνες ταξινομούνται ως ηπατοξικές, νεφροτοξικές, νευροτοξικές ανοσοτοξίνες κ.τ.λ. Οι βιολόγοι τις κατατάσσουν σε γενικότερες ομάδες, ικανές να προκαλέσουν τερατογένεση, μετάλλαξη, καρκινογένεση και αλλεργία. Οι χημικοί τις ταξινομούν με βάση τη χημική δομή τους (λακτόνες κουμαρίνες), οι βιοχημικοί με βάση τη βιοσυνθετική προέλευσή τους (πολυκετίδια, polyketides, παράγωγα αμινοξέων) και οι μυκητολόγοι με βάση τους μύκητες από τους οποίους προέρχονται. Η αφλατοξίνη για παράδειγμα, είναι ηπατοτοξική, ικανή να προκαλέσει μετάλλαξη και καρκινογένεση. Περιέχει δύο φουράνια, προέρχεται από πολυκετίδιο, και παράγεται από τον μύκητα *Aspergillus*. Από τα παραπάνω φαίνεται ότι, η περιγραφή μιας και μόνο μυκοτοξίνης περιλαμβάνει εκτεταμένη ορολογία δεδομένου ότι πολλοί ερευνητές από διαφορετικές ειδικότητες παρατηρούν και εμπλουτίζουν την γνώση πάνω σε αυτές τις φυσικά απαντώμενες τοξίνες³.

Η ερευνητική δραστηριότητα σχετικά με τις μυκοτοξίνες περιλαμβάνει τρεις κύριες κατευθύνσεις: την μυκητολογία, την χημεία των μυκοτοξινών και την τοξικολογία. Η μυκητολογία περιλαμβάνει την ταξινόμηση των μυκήτων, τις διεργασίες και τους παράγοντες που απαιτούνται για τον αποικισμό του μύκητα (βλάστηση του σπόρου και ανάπτυξη του μύκητα) καθώς και τα βιοσυνθετικά μονοπάτια που ακολουθούνται για την δημιουργία των μυκοτοξινών στα τρόφιμα και στα πρωτογενή αγροτικά προϊόντα. Η χημεία των μυκοτοξινών είναι ουσιαστικά οι μέθοδοι και οι διαθέσιμες τεχνικές που υπάρχουν για την ταυτοποίησή τους, τον ποσοτικό προσδιορισμό τους και την μελέτη των χημικών ιδιοτήτων τους. Τέλος η τοξικολογία αναφέρεται στις επιπτώσεις που έχει η έκθεση του ανθρώπου και των ζώων στις μυκοτοξίνες, εφόσον οι ενώσεις αυτές, μπορεί να προκαλέσουν ένα ευρύ φάσμα από παθολογικά συμπτώματα (οξεία τοξίκωση ή χρόνιες ασθένειες)⁷.

1.3 ΚΥΡΙΩΤΕΡΑ ΓΕΝΗ ΜΥΚΗΤΩΝ

*Τοξίνες του γένους **Aspergillus***

Το γένος *Aspergillus* βρίσκεται σε πολλές περιοχές του κόσμου, ιδιαίτερα σε περιοχές με τροπικά κλίματα. Το γένος περιέχει πολλά είδη μυκήτων ικανά να αναπτυχθούν σε συνθήκες χαμηλής υγρασίας. Περιλαμβάνει περισσότερα από εκατό γνωστά είδη μυκήτων, πολλοί από τους οποίους είναι υπαίτιοι για την παραγωγή μυκοτοξινών. Οι μυκοτοξίνες αυτού του γένους με την μεγαλύτερη σημασία είναι η αφλατοξίνη B₁ (Aflatoxin B₁), η οχρατοξίνη A (Ochratoxin A), η στεριγματοκυστίνη (Sterigmatocystin), το κυκλοπιαζονικό οξύ (Cyclopiazonic acid), η κιτρινίνη (Citrinin), η πατουλίνη (Patoulin) και οι τρεμογόνες μυκοτοξίνες (Tremogen Group). Αν και έχει αποδειχθεί η καρκινογόνος δράση της αφλατοξίνης B₁, θα πρέπει να σημειωθεί ότι μερικά από τα είδη του γένους *Aspergillus*, έχουν και ωφέλιμες εφαρμογές, όπως η παραγωγή αφεψημάτων.

*Τοξίνες του γένους **Penicillium***

Το γένος *Penicillium* περιλαμβάνει περίπου εκατόν πενήντα γνωστά είδη μυκήτων. Η ανακάλυψη της Πενικιλίνης το 1929 ήταν η αρχή για την ανακάλυψη και άλλων μεταβολιτών του γένους αυτού με αντιβιοτικές ιδιότητες. Τουλάχιστον εκατό είδη μυκήτων από το γένος *Penicillium* έχουν χαρακτηριστεί ως υπεύθυνοι για την παραγωγή μυκοτοξινών. Οι πιο γνωστές μυκοτοξίνες του γένους *Penicillium* είναι: οι οχρατοξίνες A, B, C, η κιτροεβιριδίνη (Citreoviridin), η κιτρινίνη, το κυκλοπιαζονικό οξύ, η πατουλίνη, οι ρουμπρατοξίνες A, B (Rubratoxins A, B) και το πενικιλικό οξύ (Penicillic acid).

*Τοξίνες του Γένους **Fusarium***

Τα είδη που παράγονται από τις τοξίνες του γένους αυτού, είναι παθογόνα των φυτών και η ανάπτυξή τους πραγματοποιείται σε χαμηλές θερμοκρασίες. Μολύνουν συνήθως καρπούς δημητριακών, ελαιούχους σπόρους και μπιζέλια. Το γένος *Fusarium* παράγει τις περισσότερες μυκοτοξίνες σε σχέση με άλλα γένη μυκήτων. Οι κυριότερες μυκοτοξίνες που παράγονται από μύκητες αυτού του γένους είναι: οι

φουμινισίνες (Foumonisins), τα τριχοθεκένια (Trichothecenes), η ζεαραλενόνη (Zearalenone), κ.α.

Τοξίνες του γένους *Alternaria*

Το γένος αυτό βρίσκεται σε αφθονία, στην ατμόσφαιρα, στο έδαφος και στα πρωτογενή γεωργικά προϊόντα. Τα είδη του γένους αυτού προσβάλλουν τα φυτά στις καλλιέργειες (σιτάρι, ζαχαροκάλαμο, κριθάρι), παράλληλα μπορούν να βρεθούν σε φρούτα και λαχανικά κατά την αποθήκευσή τους σε ψυγεία. Περιλαμβάνουν τις τοξίνες αλτερναριόλη (Alternariol), αλτενουένιο (Altenuene), τενοαζονικό οξύ (Teniazonic acid) και τις αλτερτοξίνες (Alttoxins).

Τοξίνες του γένους *Claviceps*

Οι τοξίνες του γένους *Claviceps* προσβάλλουν τους καρπούς των δημητριακών, σίκαλη, σιτάρι. Τα είδη του μύκητα αυτού, αντικαθιστούν τα αναπαραγωγικά όργανα, του ξενιστή με σκληρώτιο, το οποίο περιέχει τοξικά αλκαλοειδή. Η μόλυνση γίνεται κατά την περίοδο άνθησης των φυτών προσβάλλοντας κυρίως τις ωθήκες τους αποτρέποντας έτσι την αναπαραγωγή τους. Το γένος περιλαμβάνει πολλά αλκαλοειδή παράγωγα του λυσαργικού οξέος (Lysergic acid), καθώς και την εργοκριπτίνη (Ergocryptine), εργοταμίνη (Ergotamine), εργοσίνη (Ergosine) και εργονοβίνη (Ergonovine).

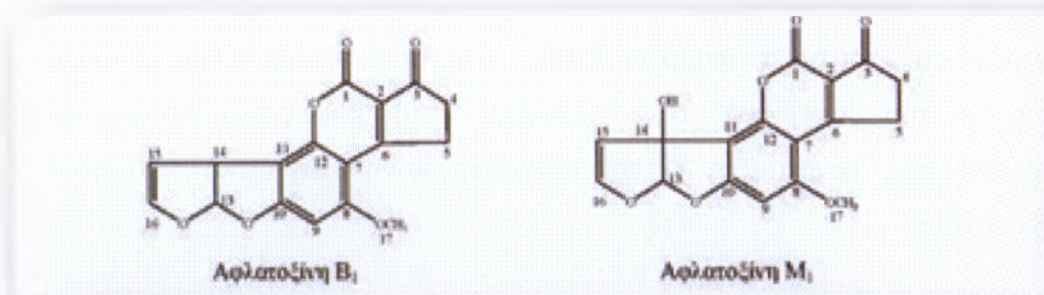
1.4 ΚΑΤΗΓΟΡΙΕΣ ΜΥΚΟΤΟΞΙΝΩΝ

Αφλατοξίνες (Aflatoxins)

Μια από τις πιο εντατικά μελετημένες ομάδες μυκοτοξινών είναι αυτή των Αφλατοξινών. Το όνομα *Aflatoxin* προκύπτει από A (*Aspergillus*) + FLA (*Flavus*) + Toxin. Όπως αναφέρθηκε και παραπάνω, στις αφλατοξίνες αποδόθηκε ο θάνατος εκατό χιλιάδων γαλόπουλων στις αρχές του 1960 στην Βρετανία. Όταν ο υπό εξέταση καρπός μελετήθηκε με υπεριώδη ακτινοβολία (UV) παρατηρήθηκε μπλε (B μεταβολίτης) και πράσινος (G μεταβολίτης) φθορισμός. Ο διαχωρισμός αυτών των

δύο διαφορετικών ενώσεων με χρωματογραφία λεπτής στιβάδας έδωσε δύο διαφορετικές ενώσεις για τους Β μεταβολίτες και G μεταβολίτες. Η έρευνα απέδειξε ότι τελικά υπάρχουν τέσσερις φυσικά απαντώμενες αφλατοξίνες οι: B₁, B₂, G₁, G₂, ο δείκτης υποδηλώνει τον τρόπο του διαχωρισμού τους με τη χρωματογραφία λεπτής στιβάδας. Από τις τέσσερις αυτές μυκοτοξίνες η αφλατιξίνη B₁ βρίσκεται σε αφθονία και είναι η περισσότερο ταξική. Άλλα μέλη της ομάδας παράγωγα των πρώτων, είναι οι αφλατοξίνες M₁, M₂, P₁, Q₁ και η αφλατοξιτόλη, οι οποίες είναι τα προϊόντα μεταβολισμού βιολογικών συστημάτων ή προϊόντα χημικών αντιδράσεων όπως B_{2a}, G_{2a} και D₁. Οι αφλατοξίνες M₁, M₂, είναι ιδιαίτερης σημασίας για τον άνθρωπο καθώς έχουν βρεθεί στο γάλα. Παράγονται από τα θηλαστικά κατά την κατανάλωση τροφής μολυσμένη με αφλατοξίνες, όπου μέσω του μεταβολισμού τους βιομετασχηματίζονται. Οι κυριότεροι εκπρόσωποι της ομάδας παρουσιάζονται στο (Σχήμα 1.1).

Οι αφλατοξίνες μολύνουν τον καρπό πριν την συγκομιδή του, αλλά και κατά την αποθήκευση του. Αυτές βρίσκονται σε μία πληθώρα από γεωργικά αγαθά όπως δημητριακά, σύκα, ελαιούχους σπόρους καρύδια, καπνά, κ.α.⁹



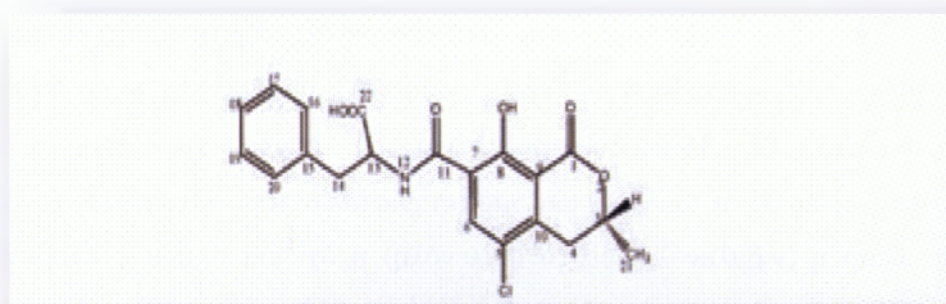
Σχήμα 1.1 Χημικός τύπος και αρίθμηση των αφλατοξινών B₁ και M₁

Οχρατοξίνες (Ochratixins)

Μια ακόμα ομάδα μυκοτοξινών όπου έχει κεντρίσει το ενδιαφέρον των επιστημών είναι αυτή των οχρατοξινών. Σε αντίθεση με τις αφλατοξίνες των οποίων η μελέτη κατέστη απαραίτητη έπειτα από την επιδημία που ξέσπασε στο Λονδίνο, οι οχρατοξίνες ανακαλύφθηκαν στη νότιο Αφρική, έπειτα από εργαστηριακή έρευνα. Οι μύκητες που παράγουν τις οχρατοξίνες βρίσκονται κυρίως σε τροπικά κλίματα. Από

χημικής άποψης, οι οχρατιξίνες αποτελούνται από μία κουμαρινική ομάδα, η οποία ενώνεται μέσω μιας καρβοξυλικής ομάδας με την 1-β-φαινυλαλανίνη¹⁰.

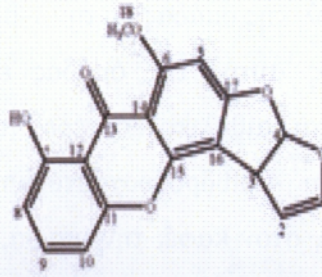
Ο κύριος εκπρόσωπος αυτής της ομάδας είναι η οχρατοξίνη Α (OTA), ακολουθούν οι μεθυλικοί και αιθυλικοί εστέρες της, η οχρατοξίνη Β με τους αντίστοιχους εστέρες και η 4-διϋδροξυοχρατοξίνη Α. Απαντώνται κυρίως στα δημητριακά, στο καλαμπόκι, στον καφέ, την μπύρα, στα αποξηραμένα φρούτα, στο κρασί, στο κακάο και στους ξηρούς καρπούς. Στο (Σχήμα 1.2), που ακολουθεί εμφανίζεται ο χημικός τύπος και αρίθμηση της οχρατοξίνης Α. Η απουσία του χλωρίου στη θέση C5 (Σχήμα 1.2) διαφοροποιεί την οχρατοξίνη Β από την οχρατοξίνη Α.



Σχήμα 1.2 Χημικός τύπος και αρίθμηση της οχρατοξίνης Α (OTA)

Στεριγματοκυστίνες (Sterigmatocystins)

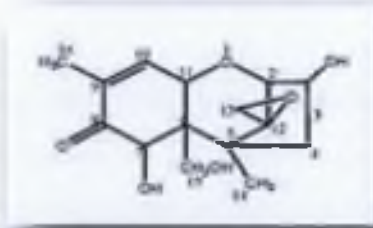
Οι στεριγματοκυστίνες είναι μια ομάδα μυκοτοξινών με παρόμοια χημικά χαρακτηριστικά με τους μεταβολίτες που παράγονται από τα γένη *Aspergillus* και *Bipolaris*. Χημικά, χαρακτηρίζονται από μία ομάδα ξανθόνης ενωμένης με μια ομάδα διϋδροδιφουρανίου ή τετραϋδροδιφουρανίου. Οι χημικές διαφορές ανάμεσα στα μέλη της ομάδας εντοπίζονται στην παρουσία ή όχι του διπλού δεσμού στις θέσεις C1 και C2 καθώς και στην υποκατάσταση στις θέσεις C3, C6, C7 και C10. Κυρίως αντιπρόσωπος είναι η στεριγματοκυστίνη (Σχήμα 1.3), η οποία, καθώς και άλλα μέλη της ομάδας, είναι πρόδρομοι στην βιοσύνθεση των αφλατοξινών. Απαντώνται σε ακατέργαστες τροφές όπως σιτάρι, κριθάρι, καρύδια και ζωοτροφές⁹.



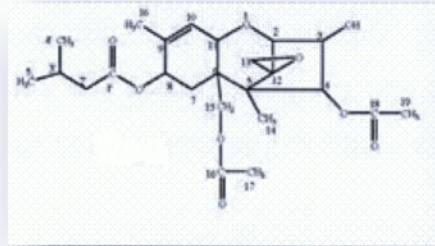
Σχήμα 1.3 Χημικός τύπος και αρίθμηση της στεριγματοκυστίνης

Τριχοθεκένια (*Trichothecenes*)

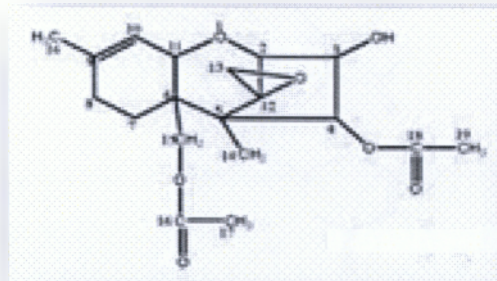
Τα τριχοθεκένια παράγονται από ένα μεγάλο εύρος μυκήτων, αποτελούνται από μία ομάδα σεσκιτερπενίων (τρεις ισοπρενικές ομάδες) και χαρακτηρίζονται από το σκελετό 12, 13-εποξυ-τριχοθεκένιο. Η ομάδα χωρίζεται σε τέσσερις υποκατηγορίες βάση των χημικών χαρακτηριστικών τους. Οι πρώτες δύο διαφέρουν στην ύπαρξη (νιβαλενόλη, δεοξυνιβαλενόλη) ή όχι μια ομάδα α καρβονυλίου στη θέση C8 (T-2 τοξίνη, διακετοξυσκριπενόλη). Οι άλλες δύο ομάδες είναι οι ροριδίνες (ροριδίνη A) και οι βερρουκαρίνες (βερρουκαρίνη A) όπου περιλαμβάνουν μια μακροκυκλική εστερική γέφυρα ανάμεσα στους άνθρακες στις θέσεις C4 και C5. Οι ροριδίνες είναι μακροκυκλικοί διεστέρες της βερρουκαρόλης ενώ οι βερρουκαρίνες είναι μακροκυκλικοί τριεστέρες της βερρουκαρόλης¹⁰. Μελέτες έχουν δείξει ότι τα τριχοθεκένια απαντώνται κυρίως στα δημητριακά, μύρα, πατάτες, μπανάνες, μάνγκο, και στους καρπούς της μουστάρδα και του ηλιόσπορου⁹. Στο σχήμα 1.4 εμφανίζονται οι χημικοί τύποι των κυριότερων μυκοτοξινών αυτής της κατηγορίας.



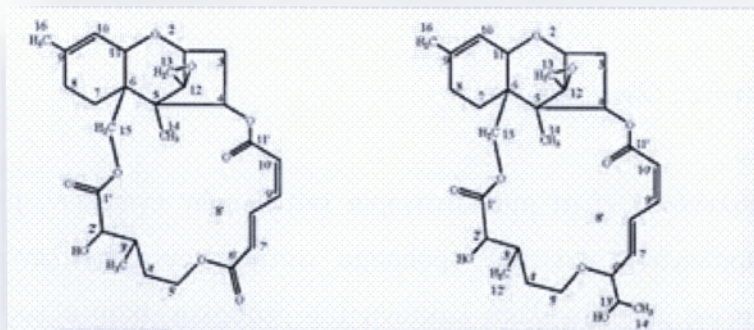
Δεοξυνιβαλενόλη (DON)



T-2 Τοξίνη



Διακετοξυσκριπενόλη (DAS)



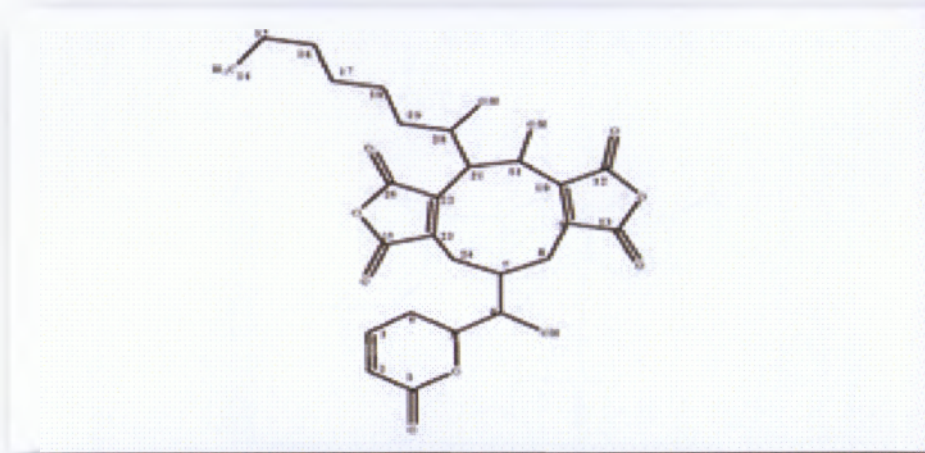
Βερρουκαρίνη Α

Ροριδίνη Α

Σχήμα 1.4 Χημικός τύπος και αρίθμηση των τριχοθεκενίων. Δεοξυνιβαλενόλη (DON), T-2 τοξίνη, Διακετοξυσκριπενόλη (DAS), Βερρουκαρίνη Α και Ροριδίνη Α.

Ρουμπρατοξίνες (Rubratoxins)

Η ομάδα αυτή περιλαμβάνει δύο μέλη την ρουμπρατοξίνη Α και την ρουμπρατοξίνη Β, με χημικό χαρακτηριστικό ένα ακόρεστο λακτονικό δάκτυλο και μία ομάδα (ρουμπρατοξίνη Α) ή δύο ομάδες (ρουμπρατοξίνη Β) ανυδριτών. Μελέτες έχουν δείξει ότι, η παρουσία της ρουμπρατοξίνης Β, στα τρόφιμα είναι πιο συχνή σε σχέση με την ρουμπρατοξίνη Α και ότι είναι πιο τοξική από αυτήν. Βρίσκεται στο έδαφος και προσβάλλει την τροφή των ζώων, αλλά και πολλά γεωργικά προϊόντα, όπως όσπρια, δημητριακά, ξηρούς καρπούς, πίτουρο και ηλιόσπορους. Η ρουμπρατοξίνη Α διαφέρει, από την ρουμπρατοξίνη Β στην παρουσία υδροξυλίου στη θέση C25 (Σχήμα 1.5), εν αντιθέσει του καρβονυλίου που φέρει η ρουμπρατοξίνη Β.

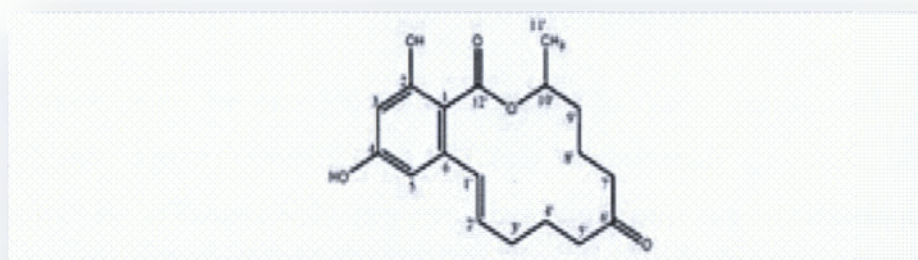


Σχήμα 1.5 Χημικός τύπος και αρίθμηση της ρουμπρατοξίνης Β

Ζεαραλενόνες (Zearalenones)

Οι ζεαραλενόνες είναι μια κατηγορία φαινολικών ενώσεων, με δύο κύρια μέλη, την ζεαραλενόνη και τον πρόδρομο αυτής, την ζεαραλενόνη. Χημικά χαρακτηρίζονται ως μια φαινολική λακτόνη του ρεσορκυκλικού οξέος (resorcyclic acid). Το όνομα τους προκύπτει από τον κύριο ξενιστή που προσβάλλει το καλαμπόκι -ζεα- (Zea) από τη συντόμευση του ρεσορκυκλικού οξέως -ραι-, από τον διπλό δεσμό στις θέσεις C1 και C2 -εν- και από την ομάδα της κετόνης στη θέση C6 -ονη (Σχήμα 1.6). Παράγονται κυρίως σε ψυχρά και υγρά κλίματα κατά την διάρκεια της

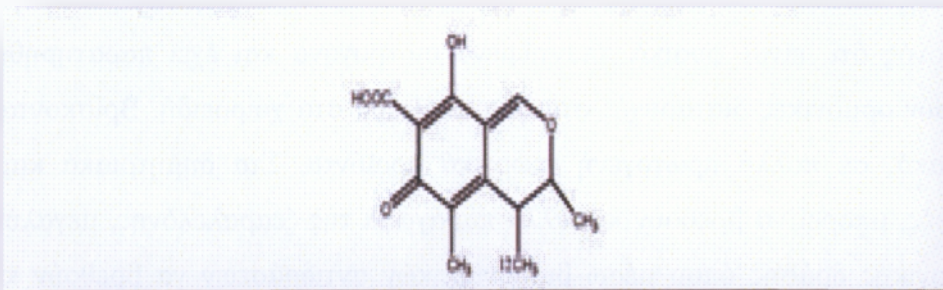
συγκομιδής και της αποθήκευσης. Το μεγάλο ενδιαφέρον για τη μελέτη τους έγκειται στο γεγονός ότι, είναι φυσικά απαντώμενα οιστρογόνα και έχει παρατηρηθεί ότι προκαλούν ορμονικές διαταραχές στα ζώα ιδιαίτερα στα χοιροειδή. Βρίσκονται στα δημητριακά, σε πολλά πρωτογενή γεωργικά προϊόντα. Στα δημητριακά και στις ζωοτροφές, μπορεί να βρεθούν και άλλα παράγωγα της ζεαραλελόνης, μεγαλύτερης οιστρογονικής δράσης όπου μέσω βιασυνθετικών αντιδράσεων να βρεθούν και σε άλλα τρόφιμα όπως γάλα.



Σχήμα 1.6 Χημικός τύπος και αρίθμηση Ζεαραλελόνης

Κιτρινίνη (Citrinin)

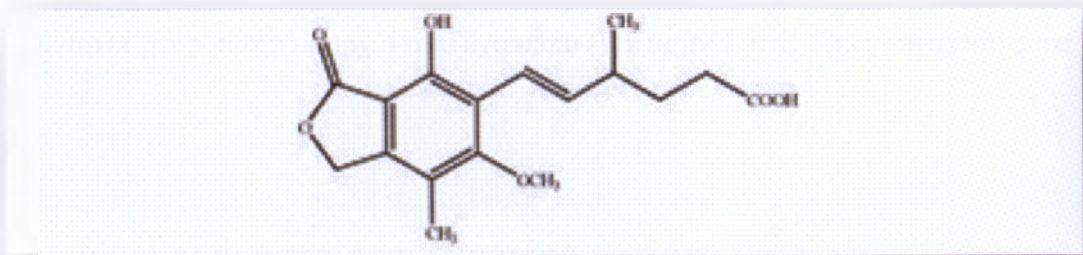
Η κιτρινίνη αρχικά απομονώθηκε από τον μύκητα *Penicillium citrinum*, το 1931 από όπου πήρε και το όνομά της. Είναι 1-μέθυλο-κινόνη, της οποίας οι κρύσταλλοι έχουν χρώμα κίτρινο λεμόνι. Η κιτρινίνη βρίσκεται κυρίως στο ρύζι. Σε αυτή είχε αποδοθεί η ασθένεια του «κίτρινου ρυζιού» που μάστιζε τις ασιατικές χώρες. Οι μύκητες που παράγουν την κιτρινίνη παράγουν αντίστοιχα την οχρατοξίνη Α. Για τον λόγο η παρουσία και των δύο στα δημητριακά είναι σύνηθες και η δράση τους συνεργεστική⁹. Στο (Σχήμα 1.7) απεικονίζεται ο χημικός τύπος της κιτρινίνης.



Σχήμα 1.7 Χημικός τύπος της Κιτρίνης

Μυκοφαινολικό οξύ (Mycophenolic acid)

Το μυκοφαινολικό οξύ παράγεται κυρίως από το γένος *Penicillium*. Από χημικής άποψης αποτελείται από δύο συμπληρωματικούς δακτυλίους, μια βουτυρολακτόνη και μια τριυποκατεστημένη βενζοφαινόλη. Η παρουσία του μυκοφαινολικού οξέος σε αποθηκευμένες ζωοτροφές αγγίζει το ποσοστό του 32%¹¹. Το μυκοφαινολικό οξύ παρεμποδίζει τον πολλαπλασιασμό των λεμφοκυττάρων και αναστέλλει το σχηματισμό αντισώματος και την παραγωγή κυτοτοξικών Τ-κυτάρων. Για αυτό το λόγο το μυκοφαινολικό οξύ έχει χρησιμοποιηθεί ως ανοσοκατασταλτικό έπειτα από μεταμόσχευση οργάνων¹³. Δεδομένου ότι, η παρουσία του μυκοφαινολικού οξέος σε βιολογικά συστήματα συνδυάζεται με μεγάλη τοξικότητα ο έλεγχος για την πιθανή παρουσία του στα τρόφιμα πρέπει να είναι εντατικός. Εντούτοις σε καμία χώρα δεν έχει θεσπιστεί νομοθεσία για τα κατώτερα όρια ανίχνευσής του. Στο (Σχήμα 1.8) απεικονίζεται ο χημικός τύπος του μυκοφαινολικού οξέος.



Σχήμα 1.8 Χημικός τύπος του Μυκοφαινολικού οξέος

1.5 ΤΟΞΙΚΟΤΗΤΑ ΤΟΝ ΜΥΚΟΤΟΞΙΝΩΝ

Ο άνθρωπος μπορεί να επιβαρυνθεί με μυκοτοξίνες από μολυσμένα με μύκητες τροφή ή μέσω της τροφικής αλυσίδας, δηλαδή από προϊόντα που παράγονται από ζώα (αυγά, κρέας, γάλα), τα οποία έχουν εκτραφεί από μουχλιασμένες ζωοτροφές. Η τροφική επίδραση των μικροτοξινών στον άνθρωπο και στα ζώα είναι γνωστή ως μυκοτοξίκωση και η σφοδρότητά της εξαρτάται από την τοξικότητα της μυκοτοξίνης, το βαθμό της έκθεσης, την ηλικία, το φύλο και άλλους συνεργατικούς παράγοντες. Όπως αναφέρθηκε και προηγουμένως, η έκθεση του ανθρώπου σε τροφές μολυσμένες με μυκοτοξίνες έχει παρατηρηθεί από τα αρχαία χρόνια. Για παράδειγμα στον μεσαίωνα, υπήρξαν μαζικές εκδηλώσεις εργοτισμού από ερισυβώδη αλκαλοειδή, που παράγονταν από το μύκητα *Claviceps purpurea*. Ο εργοτισμός έφτασε στα ποσοστά της επιδημίας και οδήγησε πολλούς ανθρώπους της Κεντρικής Ευρώπης στον ακρωτηριασμό και το θάνατο. Η ασθένεια είναι γνωστή σαν «η φωτιά του Αγίου Αντωνίου, διότι εκείνη την περίοδο πιστεύονταν πως, το προσκύνημα στον τάφο του Αγίου Αντωνίου θα έφερνε ανακούφιση από την έντονη αίσθηση καψίματος. Τα θύματα είχαν εκτεθεί σε ένα παραισθησιογόνο το διαιθυλαμίδιο του λυσεργικού οξέος (LSD), το οποίο παραγόταν κατά το ψήσιμο ψωμιού από κριθάρι, μολυσμένο με ερισυβώδη αλκαλοειδή και άλλα παραισθησιογόνα. Ωστόσο, ο εργοτισμός δεν θεωρείται πλέον απειλή για την υγεία των ανθρώπων. Πολλές μυκοτοξίνες έχουν απομακρυνθεί από τη διατροφή του ανθρώπου εξαιτίας των αυστηρών ελέγχων υγιεινής και των νέων μεθόδων επεξεργασίας των πρώτων υλών.

Η μυκοτοξίκωση μπορεί να εμφανιστεί τόσο σε βιομηχανοποιημένες όσο και σε αναπτυσσόμενες χώρες. Επειδή το εμπόριο πραγματοποιείται σε παγκόσμια κλίμακα το πρόβλημα με τα αγροτικά προϊόντα μολυσμένα με μυκοτοξίνες συνδυάζει πολλές διαφορετικές προϋποθέσεις όπως περιβαλλοντικές κοινωνίες και οικονομίες. Η ανάπτυξη των μυκήτων στις τροφές μπορεί να γίνει κατά το στάδιο της παραγωγής, της επεξεργασίας, της μεταφοράς ή της αποθήκευσης της τροφής. Οι παράγοντες που επηρεάζουν την ανάπτυξη του μύκητα αλλά και την παραγωγή μυκοτοξινών είναι κυρίως η υγρασία, η θερμοκρασία, το pH της τροφής κ.α.

Οι μυκοτοξίνες θεωρείται ότι είναι υπαίτιες για την εμφάνιση ασθενειών, σε περιπτώσεις όπου τα συμπτώματα εμφανίζονται σε πολλά άτομα χωρίς καμία εμφανή σύνδεση μεταξύ τους. Τα συμπτώματα της μυκοτοξίκωσης είναι περίπου όμοια για όλες τις μυκοτοξίνες. Συχνά, παρουσιάζονται δυσκολίες στη διάγνωση λόγω των

όμοιων συμπτωμάτων που έχουν με άλλες παθολογικές καταστάσεις⁶, π.χ. καρκινογένεση, τερατογένεση, μετάλλαξη κ.α. Γενικά, οι παθολογικές αυτές καταστάσεις: α) δεν μπορούν να αντιμετωπιστούν με αντιβιοτικά και άλλα φάρμακα, β) τα συμπτώματά τους συνδέονται με την τροφή και με πρωτογενή αγροτικά προϊόντα, γ) δεν είναι μεταδοτικές, δ) είναι περισσότερο εποχιακές και ε) η δράση τους στον άνθρωπο και στα ζώα είναι συνάρτηση του φύλου, της ηλικίας και της βιολογικής κατάστασης του οργανισμού. Επιπλέον, οι μυκοτοξίνες δεν είναι αντιγονικές και έτσι τα ζώα και ο άνθρωπος δεν εμφανίζουν ανοσία εναντίων τους. Η παρουσία των μυκοτοξινών έχει συνδεθεί με μεταλλάξεις στα ζώα, δυσλειτουργίες στο νευρικό σύστημα, καρκινώματα στο ήπαρ, νεφρά πνεύμονες, καθώς και στο ουρικό και πεπτικό σύστημα⁴.

Η επίσημη μέθοδος για την αξιολόγηση της άμεσης χημικής τοξικότητας μιας ένωσης, καθορίζεται μέσω του προσδιορισμού της τιμής LD₅₀ (Lethal Dose). Η τιμή LD₅₀ αντιστοιχεί στην ποσότητα μιας μυκοτοξίνης ανά χιλιόγραμμο σωματικού βάρους, η οποία είναι θανατηφόρα για το 50% των πειραματόζωων. Στο τέλος της παραγράφου συνοψίζονται σε συγκεκριμένο πίνακα (Πίνακα 1) οι τιμές LD₅₀ για ορισμένες μυκοτοξίνες σε διαφορετικά βιολογικά συστήματα. Για τις μυκοτοξίνες οι τιμές LD₅₀ ποικίλουν, διότι εξαρτούνται από διαφορετικούς μεταξύ τους παράγοντες¹⁴ όπως η ηλικία, το φύλο, το βάρος κ.α. Τα όργανα που συνήθως προσβάλλουν είναι το ήπαρ και τα νεφρά. Πολλές μυκοτοξίνες έχουν βρεθεί ότι αλληλεπιδρούν στην πρωτεϊνοσύνθεση δημιουργώντας παρενέργειες που εμφανίζονται από άλλες δερματικές ευαισθησίες μέχρι έντονες ανοσολογικές ανεπάρκειες¹⁵.

Αφλατοξίνες

Στις αφλατοξίνες έχει αποδοθεί οξεία τοξικότητα και καρκινογένεση σε ανθρώπους και σε ζώα. Οι ασθενείς που προκαλούνται από αυτήν την ομάδα μυκοτοξινών έχουν την γενικότερη ονομασία αφλατοξίνης. Η οξεία αφλατοξίνωση οδηγεί στο θάνατο, ενώ η χρόνια προκαλεί καρκίνο, ανοσολογική ανεπάρκεια κ.α. με το ήπαρ ως το σύνηθες όργανο που καταστρέφεται. Η αξιολόγηση επιδημιολογικών και ερευνητικών αποτελεσμάτων που πραγματοποιήθηκε από τον διεθνή οργανισμό για την έρευνα του καρκίνου (International Agency for Research on Cancer, IARC)¹⁶

το 1987 απέδειξε ότι η έκθεση του ανθρώπου στις αφλατοξίνες συσχετίζεται με καρκινογενέσεις, ταξινομώντας έτσι την ομάδα των αφλατοξινών στην πρώτη ομάδα των καρκινογόνων ουσιών. Τα ποσοστά του καρκίνου του ήπατος στον ανθρώπινο πληθυσμό ποικίλουν από χώρα σε χώρα με υψηλότερα ποσοστά στα μέρη όπου οι κλιματολογικές συνθήκες ευνοούν την ανάπτυξη μυκήτων στις τροφές και κατά συνέπεια την παραγωγή φλατοξινών³. Η οξεία τοξικότητα των αφλατοξινών έχει εμφανιστεί και σε πολλά άλλα είδη, θηλαστικά, ψάρια, κουνέλια, πουλερικά και σκύλους. Έχει βρεθεί ότι τα νεαρά ζώα και κυρίως τα αρσενικά είναι περισσότερο ευπαθή στην προσβολή από μυκοτοξίνες.

Η Αφλατοξίνη Β₁ είναι ένα ισχυρό μεταλλαξογόνο, που μεταλλάσσει τα χρωμοσώματα των φυτών, ζώων και ανθρώπων. Έχει βρεθεί ότι, σχηματίζεται ομοιοπολικός δεσμός ανάμεσα στο N-7άτομο της γουανίνης με το ενεργό παράγωγο της Αφλατοξίνης Β₁. Αυτό το προϊόν της προσθήκης που σχηματίζεται, αναστέλλει την σύνθεση του DNA⁹.

Οχρατοξίνη Α

Η οχρατοξίνη Α είναι κυρίως νεφροτοξική, ηπατοτοξική, ανοσοτοξική. Επίσης, προκαλεί τερατογένεση και καρκινογένεση. Ο διεθνής οργανισμός για την έρευνα του καρκίνου, έχει ταξινομήσει την οχρατοξίνη Α στην δεύτερη ομάδα των καρκινογόνων ουσιών. Η οχρατοξίνη Α διαταράσσει την κυτταρική λειτουργία με πολλούς τρόπους. Η δράση της εστιάζεται κυρίως στα ένζυμα που επιδρούν στο μεταβολισμό της φαινυλαλανίνης, αναστέλλοντας την δράση του ενζύμου που ευθύνεται για την σύνθεση του συμπλόκου φαινυλαλανίνη-tRNA. Έχει ανιχνευτεί στο αίμα και στο γάλα των ζώων και των ανθρώπων. Θεωρείται υπεύθυνη για την νεφροπάθεια που παρουσιάζουν τα χοιροειδή στις σκανδιναβικές χώρες, όπου συσχετίζονται τα ποσοστά στην νεφρική ανεπάρκεια των χοιροειδών και η μόλυνση των ζωοτροφών με οχρατοξίνη. Αρκετές τοξικολογικές μελέτες έχουν πραγματοποιηθεί για την οχρατοξίνη Α και το όριο το οποίο θεσπίζεται είναι κάτω του 5 mg/Kg ανάλογα με το βάρος του σώματος.

Στεριγματοκουστίνη

Οι τοξικές επιπτώσεις της στεριγματοκουστίνης είναι περίπου όμοιες με αυτές της αφλατοξίνης Β₁. Η στεριγματοκουστίνη μπορεί να προκαλέσει καρκινογένεση, μετάλλαξη και τερατογένεση. Μελέτες σε πειραματόζωα έδειξαν ότι η χρόνια έκθεση σε στεριγματοκουστίνη προκαλεί ηπατώματα, καρκίνο στους πνεύμονες νεφρικές και ηπατικές αλλοιώσεις. Στα βοοειδή έχει παρατηρηθεί διάρροια αίματος, μειωμένη παραγωγή γάλατος ακόμα και θάνατος σε περιπτώσεις όπου τα όρια της στεριγματοκουστίνης ήταν περίπου 8 mg/Kg ανά βάρος σώματος. Αξίζει να σημειωθεί ότι, καμία χώρα δεν έχει νομοθεσία που να θεσπίζει τα όρια ανίχνευσης της στεριγματοκουστίνης για την προστασία των καταναλωτών⁹.

Τριχοθεκένια

Τα τριχοθεκένια προκαλούν ένα ευρύ φάσμα παθολογικών καταστάσεων λόγω, της ποικιλομορφίας που χαρακτηρίζει αυτήν την ομάδα των μυκοτοξινών. Χαρακτηρίζεται κυρίως ως νευροτοξικές και κυττοτοξικές. Η ανοσολογική τοξικότητα που εμφανίζουν οφείλεται κυρίως στην υποκατάσταση που φέρουν στη θέση C8 του μορίου, στον οξιρανικό δακτύλιο στις θέσεις C12, C13 καθώς και στην παρουσία διπλού δεσμού στις θέσεις C9=C10 (Σχήμα 1.4). Μελέτες έχουν αποδείξει ότι, τα μέλη της ομάδας των τριχοθεκενίων, είναι πολύ ισχυροί αναστολείς στην πρωτεϊνοσύνθεση ευκαρυωτικών κυττάρων. Έχει βρεθεί ότι αναστέλλουν τη δράση της πεπτιδοτρανσφεράσης, απαραίτητο ένζυμο σε όλες τις διαδικασίες της μεταγραφής (tRNA) και ότι προκαλούν απόπτωση των πολυριβωσωμάτων^{7,17}.

Τα τριχοθεκένια επιδρούν σχεδόν σε όλα τα όργανα του ανθρώπου. Η τοξική διατροφική αλευκία είναι μια καλά μελετημένη ασθένεια που έχει αποδοθεί στις τριχοθεκένια. Η ασθένεια προκαλεί μια πληθώρα γαστρονομικών διαταραχών όπως διάρροια, εμετό, φλεγμονές, δερματικούς ερεθισμούς, αναιμία, και νευρολογικές παθήσεις. Στην οξεία της φάση τα συμπτώματα είναι νεύρωση στην στοματική κοιλότητα, αιμορραγία από τη μύτη και τα γεννητικά όργανα καθώς και κλονισμό του νευρικού συστήματος⁷. Μια άλλη ασθένεια που αποδίδεται στις τριχοθεκένια είναι η σταχυβοτροτοξίκωση (*stachybotryotoxicosis*). Σε αυτήν την ασθένεια είχαν αποδοθεί αρχικά, οι αυξανόμενοι θάνατοι αλόγων και είχαν συνδεθεί με μουχλιασμένο άχυρο και σανό. Μέχρι πρόσφατα θεωρούνταν ότι ο άνθρωπος

δύσκολα μπορεί να προσβληθεί από αυτή την ασθένεια. Μελέτες όμως απέδειξαν ότι ο μύκητας *Stachybotrys* αναπτύσσεται σε όλα τα οικοδομικά υλικά που περιέχουν κυτταρίνη (υλικά μόνωσης, κεραμίδια, κλιματιστικά). Τα συμπτώματα που εμφανίζονται είναι υποθερμία στην μύτη και στο στόμα, ανορεξία, κατάπτωση, αιμορραγίες. Δεδομένου ότι η ομάδα των τριχοθεκενίων περιλαμβάνει πολλά μέλη, αυτά παρουσιάζουν διαφορετική βιολογική δραστηριότητα με αποτέλεσμα οι τιμές LD₅₀ ποικίλουν.

Ρουμπρατοξίνες

Μελέτες σε ενδοκυτταρικό επίπεδο έχουν δείξει ότι ο μηχανισμός δράσης των τοξινών αυτών, είναι η αναστολή της μιτοχονδριακής αναπνοής, της παραγωγής ΑΤΡ και της πρωτεϊνσύνθεσης. Το ήπαρ είναι το όργανο που κυρίως καταστρέφουν οι τοξίνες αυτής της κατηγορίας, καθώς και τα νεφρά, σπλήνα, πνεύμονες και οισοφάγο. Αλλοίωση έχει παρατηρηθεί στην λειτουργία του ήπατος, όπου κύτταρα εμφανίζουν εκφυλισμό και νέκρωση (ίκτερος, θρόμβωση). Άλλα κλινικά συμπτώματα όπου έχουν αποδοθεί στις ρουμπρατοξίνες είναι η κατάθλιψη, ανορεξία, απώλεια βάρους, θρόμβωση και οι αιμορραγίες.

Ζεαραλενόνη

Η ζεαραλενόνη επιδρά κυρίως στο αναπαραγωγικό σύστημα. Η κυριότερη βιολογική δράση που εμφανίζει είναι υπερ-οιστρογενισμός, ο οποίος θεωρείται χρόνια τοξίκωση. Μελέτες σε χοιριοειδή έχουν δείξει ότι η ζεαραλενόνη απορροφάται γρήγορα μέσω της στοματικής κοιλότητας και μεταβολίζεται στα έντερα στις μορφές α- και β- ζεαραλενόνη, όπου εν συνεχεία συζευγνύονται με το γλυκουρονικό οξύ⁹. Στα θηλυκά χοιριοειδή το σύνδρομο εμφανίζεται με διόγκωση του αιδοίου και των μαστικών αδένων, υπερπλασία της μήτρας, ατροφία των ωοθηκών, πρωκτική και κολπική πρόπτωση. Στα αρσενικά χοιριοειδή μπορεί να προκαλέσει εκθηλυσμό, όπου εμφανίζεται με ατροφία στους όρχεις και υπερτροφία των μαστικών αδένων. Επίσης, παρατηρείται μειωμένη αναπαραγωγή, μείωση της ωορρηξίας και αρνητικές επιδράσεις στην εμβρυακή ανάπτυξη. Η ζεαραλενόνη, ζεαραλενόνη λόγω της μεγάλης οιστρογενικής δραστηριότητας (increased estrogenic activity), έχουν χρησιμοποιηθεί για τον έλεγχο της εμμηνόπαυσης και ως

αντισυλληπτικά. Αν και η επικινδυνότητα της ζεαραλενόνης για τον άνθρωπο δεν έχει ακόμα εξακριβωθεί, είχε θεωρηθεί υπαίτια για τις πρόωρες έμμηνο ρήσεις των εφήβων στο Πόρτο Ρίκο, κάτι το οποίο δεν επιβεβαιώθηκε από τον Παγκόσμιο Οργανισμό Φαρμάκων. Η συνιστώμενη ημερήσια έκθεση στη ζεαραλενόνη είναι 0,05 mg/Kg ανά βάρος σώματος. Εντούτοις, τα όρια για την παρουσία της ζεαραλενόνης στις τροφές, δεν έχουν ακόμα θεσπιστεί νομοθετικά³.

Κιτρινίνη

Αρχικά στην κιτρινίνη είχαν αποδοθεί αντιβιοτικές αλλά οι ισχυρές παρενέργειες που παρουσίασε στα νεφρά θηλαστικών, άλλαξε γρήγορα αυτήν την πεποίθηση. Το 1951 στην Ιαπωνία το εισαγόμενο ρύζι από την Ταϊλάνδη με κίτρινο χρώμα εξετάστηκε και περιείχε κιτρινίνη. Έκτοτε έχουν γίνει πολλές αναφορές για την παρουσία κιτρινίνης στο ρύζι και έχει μείνει στην ιστορία σαν την «ασθένεια του κίτρινου ρυζιού», μια θανάσιμη μορφή μπέρι-μπέρι, με συμπτώματα όπως η δύσπνοια, παράλυση και τύφλωση. Η κιτρινίνη θεωρείται ηπατοτοξική και νεφροτοξική και δρα συνεργατικά με την οχρατοξίνη A με την οποία συνήθως συνυπάρχει. Αυτό σε συνδυασμό με το γεγονός ότι η παρουσία της στις τροφές είναι σπανιότερη και οι συγκεντρώσεις χαμηλότερες σε σχέση με την οχρατοξίνη A, θεωρείται ότι συμβάλει περισσότερο στην ηπατοτοξικότητα και παρατηρείται στα ζώα παρα ότι την προκαλεί. Η τιμή LD_{50} για τα ποντίκια είναι 70 mg/Kg ανά βάρος σώματος⁷.

Ο Πίνακας 1 που ακολουθεί, συγκεντρώνει τις LD_{50} τιμές για τις κυριότερες μυκοτοξίνες όπου αναφερθήκαμε παραπάνω.

Πίνακας 1: Τοξικότητα ορισμένων μυκοτοξινών σε διάφορα βιολογικά συστήματα

Είδος	Μυκοτοξίνη	LD ₅₀ (mg ανά Kg σώματος)
Κουνέλι	Αφλατοξίνη Β ₁	0,30
Χοιροειδή	Αφλατοξίνη Β ₁	0,62
Μαϊμού	Αφλατοξίνη Β ₁	2,2
Ποντίκια	Οχρατοξίνη Α	21 4-30,3
Κοτόπουλα	Οχρατοξίνη Β	24
Μαϊμού	Στερνυματοκουστίνη	32
Ποντίκια	Δεοξυνιβαλενόλη	70
Ποντίκια	Διακετοξισκριπενόλη	23
Ποντίκια	Νεοσολανιόλη	14,5
Ποντίκια	ΗΓ-2 τοξίνη	9,0
Ποντίκια	Τ-2 τοξίνη	5,2
Ποντίκια	Νιβαλενόλη	4,1
Ποντίκια	Βερρουκαρίνη Α	0,5
Ποντίκια	Ρουμπρατοξίνη Β	83
Ποντίκια	Τενουαζανικό οξύ	81-225
Κοτόπουλα	Τενουαζανικό οξύ	37,5
Σκύλοι	Τενουαζανικό οξύ	2,5-10
Χοιροειδή	Τρεμογόνες τοξίνες	0,005
Κοτόπουλα	Πατουλίνη	170
Ποντίκια	Πενικιλλικό οξύ	250
Ποντίκια	Ζεαραλενόλη	10.000
Χοιροειδή	Ζεαραλενόλη	5.000
Ποντίκια	Κιτρινίνη	70

*LD₅₀ είναι η ποσότητα μυκοτοξίνης ανά kg σώματος, ικανή να προκαλέσει το θάνατο στο 50% των πειραματόζωων.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2

2.1 ΠΡΟΛΗΨΗ ΤΗΣ ΜΟΛΥΝΣΗΣ ΜΥΚΟΤΟΞΙΝΗΣ

Το χωράφι μπορεί να μολυνθεί από μυκοτοξίνες πριν την συγκομιδή, κατά την διάρκεια της συγκομιδής ή κατά την διάρκεια της αποθήκευσης και της επεξεργασίας, άρα οι μέθοδοι για την πρόληψη της μόλυνσης μπορούν άνετα να διαιρεθούν σε στρατηγικές προ- συγκομιδής, συγκομιδής και μετά- συγκομιδής¹⁴. Ενώ έχουν βρεθεί συγκεκριμένες θεραπείες για να μειωθεί ο σχηματισμός μυκοτοξινών σε διάφορα προϊόντα η εξάλειψη πλήρως των μολυσμένων με μυκοτοξίνες προϊόντων είναι προς το παρόν μη πραγματοποιήσιμο.

Πολλές τακτικές έχουν αναπτυχθεί από την Επιτροπή του Κώδικα Τροφίμων(Codex Alimentaria) για την πρόληψη και μείωση των μυκοτοξινών στα δημητριακά, στις αραχίδες, στα προϊόντα μήλου και στις πρώτες ύλες. Η επεξεργασία και η αποδοχή του Γενικού Κώδικα Τακτικής από την Codex παρέχει μια ενιαία οδηγία για όλες τις χώρες για να ελεγχθεί και να αντιμετωπιστεί η μόλυνση από διάφορες μυκοτοξίνες. Για να έχει αποτέλεσμα αυτή η τακτική είναι απαραίτητο για τους παραγωγούς σε κάθε χώρα να λαμβάνουν υπ' όψιν τις γενικές αρχές του Κώδικα, γύρω από τις σοδειές, το κλίμα και τις αγρονομικές τακτικές κάθε περιοχής, πριν να εφαρμόσουν τις διατάξεις που βρίσκονται στον κώδικα. Οι συστάσεις για την μείωση των διαφόρων μυκοτοξινών στα δημητριακά χωρίζονται σε δύο μέρη: 1) συστημένες τακτικές βασισμένες στην ορθή γεωργική πρακτική (GAP), 2) στην ορθή παρασκευαστική τακτική(GMP).

Επίσης, ένα συμπληρωματικό σύστημα αντιμετώπισης είναι η χρήση της ανάλυσης κρίσιμου σημείου ελέγχου (HACCP).¹⁵

2.2 ΣΤΡΑΤΗΓΙΚΕΣ ΠΡΙΝ ΤΗΝ ΣΥΓΚΟΜΙΔΗ

Είναι γνωστό ότι οι μολύνσεις από μυκοτοξίνες στα αγροτικά προϊόντα μπορούν να εμφανιστούν στο χωράφι, αλλά και κατά την διάρκεια της αποθήκευσης, μιας και οι φυτοπαθογόνοι μύκητες όπως το *Fusarium* και *Alternaria spp* μπορούν να παράγουν μυκοτοξίνες πριν ή αμέσως μετά την συγκομιδή^{16,17}. Βάση αυτού, έχουν αναπτυχτεί πολλές στρατηγικές συμπεριλαμβανομένων και των βιολογικών και των καλλιεργητικών πρακτικών ελέγχου για να βοηθήσουν την μόλυνση από μυκοτοξίνες που δημιουργείται κατ' αυτόν τον τρόπο. Οι στρατηγικές ελέγχου μπορούν να διαιρεθούν πριν την συγκομιδή, ανάλογα με την χρήση τους σε διαφορετικά προϊόντα, όπως στα σιτηρά, στους ξηρούς καρπούς, στα φρούτα κ.τ.λ. για την πρόληψη και την μείωση των μυκοτοξινών.

2.2.1 ΣΤΡΑΤΗΓΙΚΕΣ ΠΡΟΛΗΨΗΣ ΜΥΚΟΤΟΞΙΝΩΝ ΣΤΑ ΔΗΜΗΤΡΙΑΚΑ

Οι βασικοί κίνδυνοι μυκοτοξινών που συσχετίζονται με την συγκομιδή σιταριού στην Ευρώπη είναι οι τοξίνες που παράγονται από μύκητες που ανήκουν στο γένος *Fusarium*. Οι μυκοτοξίνες που παράγονται από αυτούς τους μύκητες περιλαμβάνουν την ζεαραλενόνη (ZEN), καθώς και τριχοθεσίνες, νιβαλενόλη (NIV), δεοξιβαλενόλη (DON), και τοξίνη T-2 (πίνακας 2). Τα είδη του *Fusarium* είναι υπεύθυνα για μια σοβαρή νόσο που λέγεται περονόσπορος (FHB), η οποία μπορεί να φέρει σημαντικές απώλειες τόσο στην απόδοση των καλλιεργειών όσο και στην ποιότητά τους. Είναι σημαντικό να σημειώσουμε ότι παρόλο που η μόλυνση από το *Fusarium* γενικά θεωρείται ότι είναι πρόβλημα προ- συγκομιδής, είναι πιθανό φτωχές πρακτικές αποξήρανσης να οδηγήσουν σε μια αυξημένη ευαισθησία στη μόλυνση από μυκοτοξίνες κατά την διάρκεια της αποθήκευσης¹⁸.

Πινάκας 2: Είδη μυκήτων, μυκοτοξίνες που παράγουν και οι κυριότεροι μεταβολίτες των μυκοτοξινών στον οργανισμό.

Μύκητες	Μυκοτοξίνες	Κυριότεροι μεταβολίτες
<i>Aspergillus flavus</i> <i>Aspergillus parasiticus</i>	Αφλατοξίνες (B1, B2, G1, G2)	M1 (μεταβολίτης της B1)
<i>Penicillium verrucosum</i> <i>Aspergillus ochraceus</i>	Ωχροτοξίνη Α	
<i>Fusarium graminearum</i> <i>Fusarium culmorum</i> <i>Fusarium graminearum</i> <i>Fusarium culmorum</i> <i>Fusarium sporotrichioides</i>	Δεοξυνηβαλενόλη Τ2 τοξίνη	 HT2 τοξίνη
<i>Fusarium graminearum</i> <i>Fusarium culmorum</i>	Ζεαρολενόνη	α-ζεαρολενόλη β-ζεαρολενόλη
<i>Fusarium moniliforme</i> <i>Fusarium proliferatum</i>	Φουμονισίνες: B1, B2, B3	

2.2.1.1 Ανθεκτικές ποικιλίες

Πολλές διαφορές μπορούν να βρεθούν στην ευαισθησία των διαφόρων ειδών σιτηρών στο FHB, οι οποίες αντικατοπτρίζονται σε διαφορές στο βαθμό μόλυνσης μυκοτοξινών όπου κάθε είδος δείχνει ευαισθησία. Οι διαφορές μεταξύ ειδών καλλιέργειας ποικίλουν ανά χώρα. Αυτό πιθανόν γίνεται εξαιτίας των διαφορών στις γενετικές ομάδες μέσα στο αναπαραγωγικό πρόγραμμα της κάθε χώρας και των περιβαλλοντικών και αγρονομικών συνθηκών κατά τις οποίες καλλιεργούνται οι σοδειές. Ο Tekauz³¹ έχει αποδείξει ότι τα επίπεδα DON στο σιτάρι, στο κριθάρι και στη βρώμη ήταν ίδια όταν αναπτύσσονταν κάτω από τις ίδιες συνθήκες σε χωράφια σε περιοχές του Δυτικού Καναδά το 2001. Ωστόσο, οι Langesth και Rudberget²⁰ έχουν δείξει ότι η βρώμη είχε υψηλότερα επίπεδα μόλυνσης DON από το κριθάρι και το σιτάρι σε περιοχές στην Νορβηγία από το 1996-1999. Έχει γίνει λόγος επίσης ότι στο σιτάρι, τα ψηλά φυτά χωρίς άγανα και τα φυτά με χαλαρά στάχυα τείνουν να

έχουν χαμηλότερες τιμές φυσικής μόλυνσης από τα φυτά που είναι κοντά, με άγωνα ή που έχουν μεγάλη πυκνότητα σταχυών²¹⁹. Μόνο οι ποικιλίες που συνιστούνται για χρήση σε μια συγκεκριμένη περιοχή μιας χώρας, θα πρέπει να φυτεύονται σ' αυτήν την συγκεκριμένη περιοχή. Σύμφωνα με τον Mesterhazy²², οι ποικιλίες που είναι πιο ανθεκτικές στο FHB έδειξαν να μειώνουν την παραγωγή DON σε θερμοκρασίες κοντά στο μηδέν. Στην πραγματικότητα, η ανθεκτικότητα έδειχνε να εξαρτάται σε μεγάλο βαθμό στην αναστολή της παραγωγής τοξίνης, μιας και η πιο επιθετική παραγωγή γενών μυκήτων που προκαλούν την νόσο ήταν αυτά που παρήγαγαν και τα υψηλότερα επίπεδα DON. Έγινε πρόταση από τον ίδιο ότι μια αυξανόμενη διαθεσιμότητα ανθεκτικών ποικιλιών σε συνδυασμό με την χρήση κατάλληλων μυκητοκτόνων ήταν το κλειδί για μια ενσωματωμένη προσέγγιση στον έλεγχο της μυκοτοξίνης που σχετίζεται με το *Fusarium*. Ομοίως, σε άλλους έλεγχους που έγιναν σε χωράφια, βρέθηκε πως πολλές ποικιλίες σιταριού έχουν μεγάλη ανθεκτικότητα στην μόλυνση από FHB και από DON²³.

Αποδείχθηκε δύσκολο να επιτευχθούν υψηλά επίπεδα εγγενούς γενετικής ανθεκτικότητας στον τοξικό μύκητα σε πολλά είδη σοδειάς. Τέτοιου είδους προβλήματα επικεντρώνονται κυρίως στην έλλειψη γονότυπων ελέγχου και στην έλλειψη συμμετοχής βασικών μεμονωμένων γονιδίων.

Σχετικά με την γενετική αντοχή στην μόλυνση από *Aspergillus* και την παραγωγή αφλατοξίνης από τις αρχές του 1970, έχει γίνει αρκετή δουλειά για να αναγνωριστούν γενετικά ανθεκτικά γενοτύπα καλλιεργειών τόσο σε πειράματα στο εργαστήριο όσο και στο χωράφι για να μπορέσει να ελεγχθεί η ανάπτυξη αφλατοξιγενούς μούχλας και βιοσύνθεσης αφλατοξίνης¹⁴. Αυτό οδήγησε στον προσδιορισμό ενός αριθμού καλώς χαρακτηρισμένων πηγών τόσο για την ανθεκτικότητα στην μόλυνση από τον *Aspergillus flavus* όσο και στην παραγωγή αφλατοξίνης. Αυτά περιλαμβάνουν πρωτεΐνες πυρήνα όπως η ανασταλτική σε τρυψίνη πρωτεΐνη 14-kDa και άλλες συμπεριλαμβανομένων της σφαιρίνης 1 και 2 και την πρωτεΐνη 22-kDa ζεαματίνη. Επίσης έχουν ήδη αναγνωριστεί οι πρωτεΐνες του πυρήνα των γενοτύπων του καλαμποκιού GT-MAS και Mp420, οι οποίες εμπλέκονται στην ανθεκτικότητα στην μόλυνση από το *A. flavus* και από την αφλατοξίνη, εξαιτίας μεγαλύτερης στίλβωσης στις επιφάνειες του πυρήνα σε GT-MAS και Mp420 τα οποία μπορούν να εμποδίσουν ή να περιορίσουν την είσοδο της αφλατοξικογενούς μούχλας. Προσφάτως, ανάλυση των πρωτεϊνών του πυρήνα από

πολλά γενότυπα έδειξε ότι η πρωτεΐνη που απενεργοποιεί τα ριβοσώματα (RIP) και η ζεαματίνη είναι ανθεκτικές στην μόλυνση από το *A. Flavis*²⁴.

Επίσης το βακτηριακό γονίδιο *χλωροπεροξιδέση* έχει αναφερθεί ότι εντείνει την αντίσταση στην μυκητιακή νόσο στα φυτά καπνού, όσο και στην δημιουργία αφλατοξίνης στον βαμβακόσπορο. Ομοίως, αναγνωρίστηκαν τρία γονίδια που αυξάνουν την ανθεκτικότητα του καπνού στις τριχοθεσίνες. Στο καλαμπόκι, παρήχθησαν υβρίδια γενετικά κατασκευασμένα για την αποδόμηση της φουμονισίνης (με την εισχώρηση ενός γονιδίου, με κωδικοποιημένο ένα ένζυμο φουμονισίνης εστεράσης, από ένα gram⁺ βακτήριο). Αυτά τα διαγονιδιακά φυτά καλαμποκιού μπορούν να αποδομήσουν την φουμονισίνη B₁ (FB₁) στο προϊόν υδρόλυσής του (αμινοπεντόλη), μια ένωση που ωστόσο διατηρεί την περισσότερη από την τοξικότητα FB₁²⁵.

2.2.1.2 Διαχείριση χωραφιού

Ξέρουμε ότι οι κατάλληλες τακτικές όπως είναι η εναλλαγή των καλλιεργειών, η καλλιέργεια του εδάφους και η άρδευση επηρεάζουν τον σχηματισμό μυκοτοξίνης στο χωράφι. Η εναλλαγή των καλλιεργειών είναι αρκετά σημαντική γιατί έχει σαν στόχο την διάσπαση της αλυσίδας παραγωγής του υλικού που έχει μολυνθεί. Ένας τέτοιος τρόπος εναλλαγής είναι οι εναλλαγές σιτηρών και οσπρίων, εκτός καλαμποκιού γιατί είναι ευαίσθητο στο *Fusarium* και μπορεί να το μεταδώσει μέσω υπολειμμάτων στελεχών που ίσως απομείνουν στο χωράφι. Η Codex έχει προτείνει ότι κάποιες σοδειές όπως της πατάτας, τριφυλλιού και μηδικής που είναι ξενιστές του είδους *Fusarium* θα πρέπει να χρησιμοποιούνται σε εναλλαγή για να μειωθεί η μόλυνση στο χωράφι¹⁵.

Η καλλιέργεια του εδάφους μπορεί να διαιεθεί με όργωμα, όπου γίνεται αναμόχλευση βάθους 10-30 cm. Ακόμα, γίνεται βαθιά άρση όπου ανακατεύεται η νεκρή ύλη της σοδειάς με τα πιο πάνω στρώματα του εδάφους. Σε οποιαδήποτε καλλιέργεια γίνεται απομάκρυνση, καταστροφή των κατάλοιπων της σοδειάς που είχε μολυνθεί, έχει μεγάλες πιθανότητες η επόμενη σοδειά να μην έχει το ίδιο ποσοστό μόλυνσης από τον μύκητα *Fusarium*. Σε μεσογειακά κλίματα είναι καλό να αφήνεται η οργωμένη Γή εκτεθειμένη στον ήλιο όλο το φθινόπωρο, έτσι ώστε ο ήλιος να λειτουργήσει σαν μέσω καταστροφής του μυκητιακού υλικού που σε περίπτωση παραμονής του, θα μόλυνε την επόμενη σοδειά²⁶.

Η άρδευση επίσης είναι μια σημαντική μέθοδος μείωσης της καταπόνησης των φυτών σε καταστάσεις βλάστησης και ο σωστός τρόπος άρδευσης βοηθάει στην αποφυγή μολύνσεων του φυτού. Βέβαια είναι γνωστό ότι η μεγάλη ποσότητα νερού κατά την διάρκεια της άνθισης και της ωρίμανσης της σοδειάς και κυρίως του σιταριού, της σίκαλης και του κριθαριού πρέπει να αποφεύγεται γιατί μπορεί να δημιουργήσει μεγάλα προβλήματα στην καλλιέργεια.

Το έδαφος πρέπει πρώτα να εξετάζεται για να καθοριστεί αν υπάρχει ανάγκη εφαρμογής λιπασμάτων ή βελτιωτικών εδάφους ώστε να διαβεβαιωθεί η επάρκεια του pH στο έδαφος για να αποφευχθούν οι καταπονήσεις των φυτών κυρίως κατά την διάρκεια ανάπτυξης του σπόρου. Σε έρευνά που έχει γίνει, παρατηρήθηκε ότι αυξάνοντας το άζωτο (N) από 70 σε 170 kg/ha μαζί αυξανόταν και η μόλυνση του σιταριού του κριθαριού και του τριτικάλε από τον κόκκο του *Fusarium*. Αποτέλεσμα της έρευνας αυτής είναι ότι η μόλυνση από FHB δεν μπορεί να είναι ελεγχόμενη μόνο από τον χειρισμό της εισροής N^{27,28}.



Εικόνα 1: μόλυνση σιταριου με το μυκητα *Fusarium* με μερική ωρίμανση της κεφαλής στο σταδιο ωρίμανσης

2.2.1.3 Περιβαλλοντικές συνθήκες

Οι συνθήκες αυτές όπως η σχετική υγρασία και η θερμοκρασία, έχουν σημαντική επίδραση στην επίθεση του FHB. Για παράδειγμα, οι συνθήκες υγρασίας κατά την διάρκεια της άνθισης παίζουν σημαντικό ρόλο στην μόλυνση των σταχιών από *Fusarium*, ενώ το ίδιο ακριβώς πρόβλημα αντιμετωπίζουν τα φυτά που έχουν υποστεί ζημία από ξηρασία. Βάση αυτών, το φύτεμα του σπόρου θα πρέπει να

προγραμματίζεται έτσι ώστε να αποφεύγονται οι υψηλές θερμοκρασίες, η καταπόνηση από την ξηρασία, όπως και οι υψηλή σχετική υγρασία κατά την περίοδο ανάπτυξης και ωρίμανσης του σπόρου. Η καθυστερημένη συγκομιδή σιτηρών που ήδη έχουν μολυνθεί από *Fusarium* προκαλούν σημαντική αύξηση στο ποσοστό μυκοτοξίνης της εκάστοτε σοδειάς.

2.2.1.4 Χρήση βιολογικών και χημικών παραγόντων

Τα έντομα, τα πουλιά και τα τρωκτικά είναι παράγοντες που μπορούν να αυξήσουν την τοξική εισβολή της μούχλας στα γεωργικά προϊόντα. Ο έλεγχος σε περίπτωση βλάβης του φυτού από έντομα, η προσβολή από μύκητα πρέπει να γίνεται από κοντά έτσι ώστε να διαπιστώνεται η κατάλληλη χρήση εντομοκτόνων, μυκητοκτόνων και άλλες κατάλληλες πρακτικές για την σωστή αντιμετώπιση. Στην Γαλλία, το υπουργείο Γεωργίας επέτρεψε έναν μεγάλο αριθμό μυκητοκτόνων όπως το tebuconazole και το metconazole για τον έλεγχο και την αντιμετώπιση του FHB. Στην Ευρωπαϊκή Ένωση, τα μυκητοκτόνα πρέπει πρώτα να αποδεικνύεται ότι είναι φιλικά προς το περιβάλλον και τον άνθρωπο και μετά να εγκρίνονται για χρήση. Με την χρήση των μυκητοκτόνων αυτών έχει παρατηρηθεί μείωση της σύνθεσης της τοξίνης σε χωράφια που είχαν μολυνθεί. Από την άλλη, με την χρήση των μυκητοκτόνων αυτών βρέθηκε μια επιπλοκή όσον αφορά τις τριχοθεσίνες και φαίνεται ότι κάτω από κάποιες συνθήκες η χρήση μυκητοκτόνων μπορεί να διεγείρει την παραγωγή τοξίνης²⁹.

Στοιχεία έρευνας που έχει γίνει, αποδεικνύουν ότι η χρήση μυκητοκτόνων για το FHB έχει διαφορετικές επιδράσεις απέναντι σε τοξικογενή είδη του *Fusarium* και σχετικά μη τοξικά παθογόνα όπως το *Microdosium nivale*. Το αποτέλεσμα της χρήσης των μυκητοκτόνων δείχνει να εξαρτάται από τα είδη των μυκήτων που παρουσιάζονται και από την επίδραση που έχει το συγκεκριμένο μυκητοκτόνο σε αυτά τα είδη. Για παράδειγμα, η Αρχή του Σπιτικού Δημητριακού (Home Grown Cereal Authority) σε ένα πείραμα, όπου ήταν παρόντα το *Fusarium culmorum* και το *M.nivale* έγινε χρήση του azixystrobin και έδειξε ότι υπήρξε σημαντική μείωση της νόσου ενώ παράλληλα αυξήθηκαν τα επίπεδα του DON στα σιτηρά. Αυτό θεωρήθηκε ότι ήταν αποτέλεσμα επιλεκτικής αναχαίτισης του *M.nivale* από το azixystrobin. Το *M.nivale* είναι φυσικός ανταγωνιστής των τοξικογενών ειδών *Fusarium* και κυρίως

του *F.culmorum* και η απομάκρυνση του από το μυκητοκτόνο πιθανόν επέτρεψε την ανάπτυξη των τοξικογενών ειδών στην θέση του με μια παράλληλη αύξηση της δημιουργίας τοξίνης. Αυτή είναι μια σημαντική ανακάλυψη καθώς δείχνει ότι η επίδραση του μυκητοκτόνου δεν σχετίζεται άμεσα με την παραγωγή μυκοτοξίνης. Έτσι, βγαίνει το συμπέρασμα ότι όπου προκαλείται FHB από είδη *Fusarium* κατά την απουσία του *Microdochium*, η ανάπτυξη της νόσου σχετίζεται με υψηλότερα επίπεδα τοξίνης.

2.2.2 ΣΤΡΑΤΗΓΙΚΕΣ ΠΡΟΛΗΨΗΣ ΤΩΝ ΜΥΚΟΤΟΞΙΝΩΝ ΣΤΟΥΣ ΚΑΡΠΟΥΣ ΜΕ ΚΕΛΥΦΟΣ

Ο προ συγκομιδής έλεγχος της μόλυνσης από αφλατοξίνη στα φιστίκια πρέπει να λαμβάνει υπόψη όλους τους ποικίλους περιβαλλοντικούς και αγρονομικούς παράγοντες που επηρεάζουν την μόλυνση του καρπού και του σπόρου από τον αφλατοξιγενή μύκητα, έως και την παραγωγή αφλατοξίνης. Αυτοί οι παράγοντες μπορούν να ποικίλουν σημαντικά από τη μία τοποθεσία στην άλλη και μεταξύ των εποχών στην ίδια τοποθεσία. Μερικά περιβάλλοντα μπορεί να ευνοούν περισσότερο την μυκητιακή μόλυνση και την επακόλουθη μόλυνση των καρπών από αφλατοξίνη, όπου υπό αυτές τις προϋποθέσεις θα ήταν αναγκαίο να εξεταστεί αν η σοδειά θα αναπτυσσόταν ή όχι σε τέτοιες περιοχές. Όμως, για τις περισσότερες περιπτώσεις θα έπρεπε να βρεθούν νέες αγροτικές τεχνικές που θα μείωναν την μόλυνση από αφλατοξίνη στα φιστίκια³⁰.

Για παράδειγμα, το φιστίκι Αιγίνης, είναι ένα ημίξηρο πυρινόκαρπο που αποτελείται από μια μονή ψίχα κλεισμένη σε ένα λεπτό κέλυφος, το οποίο είναι περιβεβλημένο από ανθικό περίβλημα. Το βασικό πρόβλημα με τα φιστίκια Αιγίνης είναι το πρώιμο άνοιγμα που προηγείται της συγκομιδής. Το κέλυφος ανοίγει εν μέρει, σε ποικίλες εκτάσεις τουλάχιστον ένα μήνα πριν την ωρίμανση και την συγκομιδή. Το ανθικό περίβλημα που καλύπτει το κέλυφος συνήθως παραμένει ανέπαφο, προστατεύοντας τις ψίχες από εισβολές από μούχλες και έντομα. Κανονικά, το ανθικό περίβλημα δεν διαρρηγνύεται όταν το κέλυφος ανοίγει στον άγουρο καρπό του φιστικιού Αιγίνης. Όμως, σε ένα μικρό ποσοστό των φιστικιών Αιγίνης, το κέλυφος και το ανθικό περίβλημα που είναι ακόμα κολλημένο ανοίγουν μαζί. Αυτοί η διάρρηξη, που αναφέρεται ως πρώιμο άνοιγμα, είναι ένα πολύ σημαντικό γεγονός για την μόλυνση από τους αφλατοξιγενείς μύκητες *A. flavus/A. parasiticus*. Ένας καρπός

πρώιμα ανοιγμένος έχει ως χαρακτηριστικά ένα ευδιάκριτο σκούρο και στρογγυλεμένο άνοιγμα στο ανθικό περίβλημα. Τα πιο παλιά πρώιμα ανοίγματα έχουν σκληρά και ζαρωμένα ανθικά περιβλήματα και περιέχουν τα υψηλότερα επίπεδα αφλατοξίνης, περιέχουν σχεδόν έως και 99% από όλη την αφλατοξίνη που έχει ανιχνευτεί. Το περιεχόμενο της αφλατοξίνης σε μεμονωμένους καρπούς έχει αποκαλύψει ότι πολλά από τα πρώιμα ανοίγματα περιέχουν περισσότερο από 20μg kg⁻¹ και κάποια πάνω από 1000 μg kg⁻¹.³¹

2.2.2.1 Ανθεκτικές ποικιλίες

Ένας σημαντικός παράγοντας είναι η επιλογή της ποικιλίας του φιστικιού, επομένως πριν το φύτεμα οι αγρότες θα πρέπει να συμβουλευούνται τις κατάλληλες αρχές για την καλλιέργεια των φυτών ή τις υπηρεσίες αγροτικής επέκτασης για να εξακριβωθεί η καλλιεργητική ποικιλία των φιστικιών που έχουν προσαρμοστεί στην εκάστοτε περιοχή, και την διαθεσιμότητα των ποικιλιών που είναι ανθεκτικά στους διάφορους παράγοντες όπως την επίθεση εντόμων και η μικροβιακή και μυκητιακή επίθεση που μπορεί να έχει κάποια επίδραση στην ασφάλεια και την ποιότητα των φιστικιών που παράγονται³⁰.

2.2.2.2. Διαχείριση χωραφιού.

Η συνεχής καλλιέργεια φιστικιών στην ίδια γη μπορεί να οδηγήσει σε μεγάλη συγκέντρωση του πληθυσμού των *A.flavus/A.parasiticus* στο έδαφος, γεγονός που θα αυξήσει την πιθανότητα μόλυνσης από αφλατοξίνη. Έχουν γίνει κάποιες μελέτες για την επίδραση της εναλλασσόμενης καλλιέργειας στην μόλυνση από αφλατοξίνες, αλλά σε ημίξηρα περιβάλλοντα οι πληθυσμοί του *Aspergillus* να είναι τόσο υψηλοί ώστε οι αλλαγές να έχουν μικρή επίδραση στην μυκητιακή δραστηριότητα. Έχει αποδειχτεί ότι τα φιστίκια που έχουν αναπτυχθεί σε διαφορετικούς τύπους χώματος μπορεί να έχουν σημαντικά διαφορετικά επίπεδα μόλυνσης από μούχλα. Το ελαφρύ αμμώδες έδαφος για παράδειγμα, βοηθάει τον γρήγορο πολλαπλασιασμό των μυκήτων, κυρίως κάτω από ξηρές περιόδους. Τα βαρύτερα εδάφη έχουν μεγαλύτερη ικανότητα να κρατήσουν το νερό οπότε, υπάρχει πιθανότητα να παρουσιαστεί ξηρασία, η οποία πιθανόν να είναι υπεύθυνη για τα χαμηλότερα του μέσου όρου επίπεδα μόλυνσης από αφλατοξίνη σε φιστίκια που αναπτύσσονται σ' αυτά τα εδάφη.

Πολύ σημαντικό είναι, πριν την εφαρμογή λιπάσματος ή βελτιωτικού εδάφους για να αποφευχθεί η καταπόνηση του φυτού, να γίνονται τα κατάλληλα τέστ εδάφους έτσι να ώστε να καθοριστεί αν υπάρχει ανάγκη χρήσης τους. Προτείνεται επίσης ,να χρησιμοποιείται και άρδευση για να βοηθήσει στην καταπολέμηση της καταπόνησης από ζέστη και ξηρασία³⁰.

2.2.2.3 Περιβαλλοντικές συνθήκες

Ενώ υπάρχουν πολλοί παράγοντες που επηρεάζουν την παραγωγή μυκοτοξινών στο χωράφι ένας από τους πιο σημαντικούς είναι η καταπόνηση από την ξηρασία κατά την διάρκεια ανάπτυξης του φυτού, όπου κατά την διάρκεια της ωρίμανσης αυξάνει την ευαισθησία της εισβολής αφλατοξικογενούς μούχλας με παράγωγή αφλατοξινών.

2.2.2.4 Χρήση βιολογικών και χημικών παραγόντων.

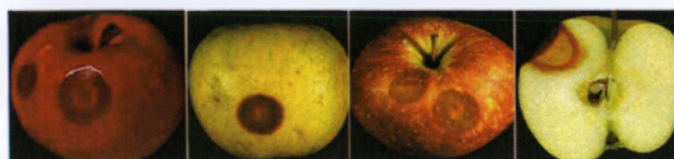
Βιολογικοί και χημικοί παράγοντες έλεγχου έχουν την δυνατότητα να εμποδίζουν την ανάπτυξη αφλατοξικογενούς μούχλας. Η εφαρμογή ανταγωνιστικών, μη αφλατοξικογόνων ποικιλιών των *A.flavus* και *A.parasiticus* μειώνει την μόλυνση από αφλατοξίνες στα αγροτικά προϊόντα όπως το ρύζι, τα φιστίκια, το καλαμπόκι και ο μπαμπακόσπορος, μέσω ανταγωνισμού για έδαφος και μέσω παραγωγής ανασταλτικών μεταβολιτών.

Μια άλλη λύση για τον έλεγχο της παραγωγής μυκοτοξίνης είναι η χρήση φυτοφαρμάκων και μυκητοκτόνων παρότι παραπάνω αναφέρεται ότι τα φυτοφάρμακα είναι αναποτελεσματικά στον έλεγχο παραγωγής μυκοτοξίνης στα είδη *Fusarium* και *Aspergillus*. Σίγουρα, ο πρωταρχικός ρόλος των φυτοφαρμάκων είναι η αντιμετώπιση της δράσης των εντομών στα φυτά, όμως με αυτόν τον τρόπο έρχεται και η μείωση του κινδύνου εισβολής μυκοτοξικογενούς μούχλας. Μελέτες που έχουν γίνει έδειξαν ότι τα μυκητοκτόνα όπως τα organophosphorus fungicide, thiabendazole, propiconazole και tolclofos-methyl μπορούν να χρησιμοποιηθούν για να ελέγξουν τον σχηματισμό μυκοτοξίνης αφού πρώτα έχει γίνει έλεγχος για την σωστή εκλογή χρόνου για την χρήση των φυτοφαρμάκων¹⁶.

2.3 ΣΤΡΑΤΗΓΙΚΕΣ ΠΡΟΛΗΨΗΣ ΜΥΚΟΤΟΞΙΝΩΝ ΣΤΑ ΠΡΟΪΟΝΤΑ ΜΗΛΟΥ

Η πατουλίνη έχει βρεθεί ως μολυσματική ουσία σε πολλά μουχλιασμένα φρούτα, λαχανικά, δημητριακά και άλλα τρόφιμα, ωστόσο, οι βασικές πηγές μόλυνσης είναι τα μήλα και τα προϊόντα μήλων. Η πατουλίνη απαντάται κυρίως σε χαλασμένα από μούχλα φρούτα, παρ' όλο που η παρουσία μούχλας δεν σημαίνει ότι θα είναι παρούσα η πατουλίνη σε ένα φρούτο, αλλά ότι μπορεί και να είναι. Σε μερικές περιπτώσεις, εσωτερική ανάπτυξη μούχλας μπορεί να προκύψει από έντομα ή άλλες εισβολές στον υγιή ιστό, καταλήγοντας στην παρουσία πατουλίνης στο φρούτο το οποίο εξωτερικά φαίνεται υγιές. Γι' αυτό το λόγο, η αφαίρεση και το κόψιμο όλων των άρρωστων ξύλων και μουμεμοποιημένων φρούτων κατά τη διάρκεια της χειμερινής περιόδου μπορεί να είναι αποτελεσματικά στην μείωση της μόλυνσης από πατουλίνη. Ένας ακόμη εξίσου σημαντικός παράγοντας είναι ο έλεγχος των παρασίτων και νόσων που προκαλούν άμεσο σάπισμα των φρούτων ή επιτρέπουν σημεία εισχώρησης για μούχλες που παράγουν πατουλίνη. Αυτά περιλαμβάνουν καρκίνωμα δέντρου, εξέλκωση της μηλιάς (*Botrytis spp* και *Nectria spp*), καρπόκαψα, κοχυλίδα που τρυπάει το φρούτο, αποφυλλωτική κάμπια, κοχυλίδα του δένδρου, τενθρεδινίδες, και πλευρική τενθρεδινίδα.

Τα μήλα που είναι ελλιπή σε σύνθεση μετάλλων είναι πιο πιθανό να υποστούν φυσικές διαταραχές κατά την αποθήκευση, έτσι είναι πιο επιρρεπή σε συγκεκριμένα είδη σαπίσματος κυρίως από *Gloesporium spp* (Εικόνα 2) και δευτερεύοντα είδη σαπίσματος όπως το *Penicillium*. Εάν στα φρούτα τα επίπεδα μετάλλων είναι χαμηλά και απέχουν πολύ από τα κανονικά επίπεδα, με την βελτίωση των επιπέδων ασβεστίου και φωσφόρου και αυξάνοντας κυρίως την αναλογία ασβεστίου /καλίου με την χρήση ενός ελεγχόμενου λιπάσματος, θα βελτιωθεί η δομή των κυττάρων, όπου με την σειρά τους θα μειώσουν την επιρρέπεια στο σάπισμα³².



Εικόνα 2: Καρποί μήλων προσβεβλημένοι από τον μύκητα *Gloesporium*

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3

3.1 ΔΙΑΧΕΙΡΗΣΗ ΣΥΓΚΟΜΙΔΗΣ

Δημητριακά

Η συγκομιδή είναι το πρώτο στάδιο στην αλυσίδα παραγωγής όπου η διαχείριση της υγρασίας γίνεται το κυρίαρχο μέτρο ελέγχου στην πρόληψη της ανάπτυξης της μυκοτοξίνης. Μιας και το περιεχόμενο σε υγρασία μέσα στο ίδιο χωράφι μπορεί να ποικίλει σημαντικά, ο έλεγχος της υγρασίας σε αρκετά σημεία του κάθε φορτίου του συλλεγμένου σιταριού κατά την διάρκεια της συγκομιδής είναι πολύ σημαντική. Ένα άλλο εξίσου σημαντικό μέτρο ελέγχου, είναι η επαρκής αξιολόγηση για την παρουσία νόσου όπως το FHB. Αυτό θα πρέπει να ακολουθείται από μια αποτελεσματική στρατηγική για τον διαχωρισμό των νοσούντων υλικών από τους υγιείς σπόρους. Υπάρχουν στοιχεία ότι η μυκητιακή μόλυνση μπορεί να ελαχιστοποιηθεί με την αποφυγή της μηχανικής βλάβης στον σπόρο και την αποφυγή επαφής με το έδαφος στο στάδιο αυτό¹⁵.

Καρποί με κέλυφος

Η συλλογή των φυτών σε βέλτιστη ωρίμανση και ο χειρισμός της συγκομιδής για να αποφευχθεί η βλάβη στο γεωργικά προϊόντα είναι σημαντικοί παράγοντες που πρέπει να λάβουμε υπ' όψη για να προλάβουμε την μόλυνση από μυκοτοξίνες. Παράδειγμα, τα υψηλότερα επίπεδα μόλυνσης από αφλατοξίνη αναφέρθηκαν σε υπερ- ώριμα ή άγουρα φιστίκια³⁴. Κατά την διάρκεια της διαδικασίας συγκομιδής πρέπει να γίνεται κάθε προσπάθεια για την αποφυγή φυσικής βλάβης στα γεωργικά προϊόντα, γιατί γεωργικά προϊόντα που έχουν υποστεί φυσική βλάβη είναι πιο επιρρεπείς στην ανάπτυξη μυκήτων. Έχει αναφερθεί ότι αβλαβείς σπόροι φιστικιών κατά τη διάρκεια της εποχής μετά τις βροχές ακόμα και υπό συνθήκες καταπόνησης ξηρασίας, διατρέχουν χαμηλότερο κίνδυνο για μόλυνση από αφλατοξίνες. Όπου γίνεται η συγκομιδή σε ξηρό καιρό δεν υπάρχει κάποιο πρόβλημα μόλυνσης από αφλατοξίνες. Γίνεται ωστόσο πρόβλημα όπου η συγκομιδή γίνεται σε πολύ υγρό καιρό. Σε πολλές αναπτυσσόμενες χώρες, ο συνδυασμός ανεπαρκούς εξοπλισμού ξηρασίας σε συνδυασμό με τις υγρές ατμοσφαιρικές συνθήκες καταλήγει σε μη

αποδεκτά επίπεδα αφλατοξίνης σε φιστίκια, καρύδια και άλλα τρόφιμα που έχουν συλλεχτεί. Η επιλογή της ώρας της συγκομιδής μπορεί επίσης να είναι σημαντική σε συνάρτηση με το επίπεδο του ανοίγματος του κελύφους που μπορεί να προκύψει στα φιστίκια Αιγίνης, έτσι ώστε η μόλυνση από αφλατοξίνη μπορεί να ελαχιστοποιηθεί σ' αυτό το στάδιο³³. Πολλοί ερευνητές έχουν αποδείξει ότι τα φιστίκια που έχουν συλλεχτεί μηχανικά είναι πιο ευαίσθητα σε εισβολή μούχλας κατά τη διάρκεια επακόλουθης σκλήρυνσης και αποθήκευσης από τα συλλεγμένα στο χέρι φιστίκια.

Προϊόντα μήλου

Η ποιότητα του φρούτου που προκύπτει από την συγκομιδή είναι το πρώτο βήμα για τον έλεγχο των επιπέδων πατουλίνης. Όλα τα φρούτα πρέπει να έχουν όσο πιο απαλό χειρισμό γίνεται για να αποφευχθεί η φυσική βλάβη. Τα υψηλής ποιότητας συλλεγμένα φρούτα που έχουν συλλεχτεί με το χέρι χρησιμοποιούνται μόνο για λιανική πώληση, ενώ τα επεξεργασμένα προϊόντα μήλου, συνήθως παράγονται από φρούτα που έχουν συλλεχτεί μέσω μηχανικής συγκομιδής, τα οποία συνήθως είναι κατεστραμμένα από έντομα ή έχουν δεχτεί κάποιες φυσικές βλάβες. Χτυπήματα, σκισίματα και άλλες φυσικές βλάβες μέσα σ' αυτά τα μήλα παρέχουν ένα τέλειο σημείο εισχώρησης για το *Penicillium expansum* και άλλα είδη που προκαλούν πατουλίνη μέσα στο φρούτο. Σε μια πρόσφατη μελέτη, η πατουλίνη αναφέρθηκε να είναι μη ανιχνεύσιμη σε 7 ποικιλίες για την παραγωγή μηλίτη που είχαν μαζευτεί από δέντρο, ενώ βρέθηκε μεταξύ 40,2 και 374 $\mu\text{g l}^{-1}$ σε 4 ποικιλίες που είχαν μαζευτεί από το έδαφος³⁵. Είναι ευρέως αποδεκτό ότι το μάζεμα των φρούτων σε ξηρές συνθήκες, η τοποθέτησή τους σε καθαρά τελάρα ή άλλα δοχεία, η μεταφορά τους κατευθείαν στο μαγαζί, η τοποθέτησή τους σε κρύο αποθηκευτικό μέρος μέσα σε 18 ώρες από τη συγκομιδή και η ψύξη τους στις προτεινόμενες θερμοκρασίες (1,5 – 4,0°C), είναι όλα πολύ σημαντικά βήματα που πρέπει να ακολουθούνται για να μειωθούν τα συνολικά επίπεδα μόλυνσης από μούχλα³².

3.2 ΣΤΡΑΤΗΓΙΚΕΣ ΕΛΕΓΧΟΥ ΜΕΤΑ ΤΗΝ ΣΥΓΚΟΜΙΔΗ

Οι στρατηγικές μετά την συγκομιδή είναι σημαντικές στην πρόληψη μόλυνσης από μυκοτοξίνη και περιλαμβάνουν βελτιωμένες συνθήκες αποξήρανσης μαζί με την χρήση φυσικών και χημικών παραγόντων καθώς και ιονίζουσας ακτινοβολίας.

3.2.1 Βελτίωση των συνθηκών αποθήκευσης και αποξήρανσης

Οι τακτικές που μειώνουν την μόλυνση από μυκοτοξίνη μπορεί να διαφέρουν ανάλογα με τύπο της σοδειάς και με το κλίμα της περιοχής. Ωστόσο, για κάθε είδος τροφίμων υπάρχουν γενικές τακτικές για να αποφευχθεί η μόλυνση τις οποίες θα τις δούμε παρακάτω.

Δημητριακά

Η μυκητιακή ανάπτυξη μπορεί να προκύψει σαν αποτέλεσμα της μεταβλητότητας της υγρασίας μέσα στον ίδιο τον καρπό ή σαν αποτέλεσμα της αποδημίας της υγρασίας από την ψύξη των καρπών που βρίσκονται κοντά στο τμήμα της διαχωριστικής επιφάνειας με τον τοίχο του δοχείου/σιλό. Έτσι, ο έλεγχος του επαρκούς αερισμού και συνεχούς παρακολούθησης του περιεχομένου υγρασίας των σιλό παίζει σημαντικό ρόλο στον περιορισμό της μόλυνσης από μυκοτοξίνη κατά τη διάρκεια της περιόδου αποθήκευσης³⁶.

Τα επίπεδα υγρασίας της αποθηκευμένης σοδειάς είναι ένας από τους πιο κρίσιμους παράγοντες στην ανάπτυξη μυκοτοξικογενους μούχλας και είναι ένας από τους βασικούς λόγους για τα προβλήματα μυκοτοξινων που παρουσιάζονται στους καρπούς οι οποίοι, παράγονται σε αναπτυσσόμενες χώρες. Οι καρποί των δημητριακών είναι ιδιαίτερα επιρρεπείς στην ανάπτυξη του *Aspergilli* σε περιβάλλον αποθήκευσης. Τα βασικά τοξικογενή είδη είναι, τα *A.flavus* και *A.parasiticus* τα οποία είναι υπεύθυνα για την παραγωγή αφλατοξινών και το *Penicillium verrucosum* για τα δημητριακά που ευθύνεται για την παράγωγη οχρατοξίνης A³⁷. Έρευνες έχουν δείξει ότι δεν μπορεί να εισβάλει σε καρπούς ελαιούχων σπόρων όταν η σχετική τους υγρασία είναι 70% ή μικρότερη. Σε αυτή την σχετική υγρασία, το περιεχόμενο του νερού στο σιτάρι είναι περίπου 15% και περίπου 14% στο καλαμπόκι, είναι όμως χαμηλότερο για σπόρους που περιέχουν περισσότερα έλαια όπως τα φιστίκι και ο

μπαμπακόσπορος που έχουν 7 και 10% αντίστοιχα. Το ελάχιστο ποσοστό υγρασίας για να αναπτυχθεί το *P. verrucosum* είναι 16-17%, ενώ για να παραχθεί η οχρατοξίνη Α το ποσοστό υγρασίας πρέπει να είναι 1% υψηλότερο¹⁵.

Ο δεύτερος κρίσιμος παράγοντας που επηρεάζει την μούχλα μετά την συγκομιδή και την παραγωγή μυκοτοξίνης είναι η θερμοκρασία. Τα στελέχη του μύκητα *Aspergillus* που παράγουν αφλατοξίνη μπορούν να αναπτυχθούν σε θερμοκρασίες από 10-43°C, με καλύτερη θερμοκρασία ανάπτυξης τους 32-33°C. Μελέτες έχουν δείξει ότι σε τροπικές και υποτροπικές περιοχές υπάρχει σχετικά μεγάλη ύπαρξη αφλατοξινών και οχρατοξινών στα τρόφιμα και αυτό οφείλεται στα υψηλά ποσοστά υγρασίας και θερμοκρασίας που υπάρχουν στις συγκεκριμένες περιοχές. Κατά την αποθήκευση του καρπού πρέπει να γίνεται έλεγχος της θερμοκρασίας σε τακτά χρονικά διαστήματα, ώστε να αποφεύγεται η ανάπτυξη μούχλας, για τη με την άνοδο της θερμοκρασίας 2 ή 3°C μπορεί να επέλθει μούχλα ή μόλυνση από έντομα.

Η Επιτροπή του Κώδικα Τροφίμων έχει κάνει πρόταση την οποία έχουν ακολουθήσει πολλές χώρες παγκοσμίως, οι εγκαταστάσεις αποθήκευσης να είναι ξηρές, καλά δομημένες κατασκευές που παρέχουν προστασία από την βροχή άντληση του νερού από την βάση και προστασία από την είσοδο τρωκτικών και πουλιών, με σταθερή ή ελάχιστη διακύμανση της θερμοκρασίας¹⁵.

Ξηροί καρποί

Ο πρωταρχικός στόχος για την πρόληψη κατά της αφλατοξίνης στην αποθήκευση είναι να εμποδιστεί η ανάπτυξη μούχλας εξαιτίας των διαρροών της αποθήκης. Ξέρουμε ότι οι υψηλές συνθήκες υγρασίας και θερμοκρασίας αυξάνουν τις πιθανότητες μόλυνσης από αφλατοξίνες. Στα φιστίκια για παράδειγμα, η αποθήκευση και η στοίβαξη τους μπορεί να προκαλέσει συσσώρευση θερμότητας και συγκέντρωση υγρασίας με αποτέλεσμα την ανάπτυξη μούχλας και μόλυνση από αφλατοξίνη. Για να αποφευχθεί αυτό πρέπει κατά την αποθήκευση και την μεταγωγή να ελέγχεται το περιεχόμενο υγρασίας, η θερμοκρασία του περιβάλλοντος και οι συνθήκες υγιεινής³⁰. Τα φιστίκια είναι ιδιαίτερα επιρρεπή στην μόλυνση από *Aspergilli* και φαίνεται στο ελάχιστο περιεχόμενο για την ανάπτυξη του *A. flavus* το οποίο είναι 8-10% σε περίπου 82% σχετικής υγρασίας. Στα φιστίκια Αιγίνης για να αποφευχθεί η μόλυνση από *Aspergilli*, πρέπει να βγουν από το περιβλημά τους και να

αποξηρανθούν σε περιεχόμενο υγρασίας 5-7% όσο πιο γρήγορα γίνεται μετά την συγκομιδή, συνήθως μέσα σε 48 ώρες³¹.

Έχει αποδειχτεί ότι η άμεση αποξήρανση της σοδειάς βοηθάει στον έλεγχο για την ανάπτυξη αφλατοξίνης κατά την διάρκεια της αποθήκευσης και ότι οι σοδειές που περιέχουν διαφορετικά επίπεδα υγρασίας δεν μπορούν να αποθηκευτούν μαζί. Η αρνητική επίδραση της υγρασίας μπορεί να προκύψει και σε σοδειές που έχουν πολύ χαμηλή περιεκτικότητα υγρασίας, όπως αυτές που συλλεχτήκαν σε χώρες της Ασίας και της Αφρικής¹⁴.

Ένας άλλος τρόπος για να εμποδιστεί η παραγωγή μυκοτοξινών είναι η τροποποίησης ατμοσφαιρικών αερίων σε σιλό αποθήκευσης, όπως το διοξείδιο του άνθρακα, το άζωτο, το μονοξείδιο του άνθρακα και το διοξείδιο του θείου μιας και οι οργανισμοί που προκαλούν το μούχλιασμα των καρπών είναι αποκλειστικά αερόβιοι.

Προϊόντα μήλου

Οι συνθήκες αποθήκευσης για τα προϊόντα μήλου παίζουν σημαντικό ρόλο για την ανάπτυξη μούχλας σε αυτά. Η ταχεία ψύξη και η συντήρηση των συνθηκών της ατμόσφαιρας βελτιώνουν την κατάσταση του φρούτου. Επιπλέον, οι ελεγχόμενες συνθήκες ατμόσφαιρας οι οποίες μπορούν να επιτευχθούν μέσα σε 7-10 μέρες από την έναρξη του φορτώματος και σε πολύ χαμηλά συστήματα O₂ (λιγότερο από 1.8% O₂) να μειώσουν την ανάπτυξη της μούχλας στους καρπούς³². Για παράδειγμα, η ανάπτυξη του *Botrytis cinerea* σε αποθηκευμένα μήλα, έχει αποδειχθεί ότι καθυστερείται από τα αυξημένα επίπεδα CO₂ από 0 έως 15%, ενώ η ανάπτυξη των *Rhizopus stolonifer*, *B.cinerea* και *P.discolor* έχει αποδειχθεί ότι εμποδίζεται από μια συνδυαστική αγωγή με 80% O₂ και 20% CO₂. Εναλλακτικές λύσεις στην αποθήκευση είναι η χρήση υλικών συσκευασίας όπως το πολυαιθυλένιο, το οποίο μέσω ατμοσφαιρικού ελέγχου, δείχνει ότι μειώνει την παραγωγή πατουλίνης στα μήλα³⁸.

3.2.2 Χρήση φυσικών και χημικών παραγόντων

Πολλοί φυσικοί και χημικοί παράγοντες είναι γνωστό ότι εμποδίζουν τον σχηματισμό μυκοτοξίνης. Για παράδειγμα η φωσφίνη, είναι ένα πολύ τοξικό αέριο που χρησιμοποιείται για την προστασία των δημητριακών από τα έντομα και την εισβολή της μούχλας και γίνεται πολύ αποτελεσματική σε συγκεντρώσεις που

κυμαίνονται από 1000-2000 ppm όπου σταματάει την ανάπτυξη *A.flavus* και *A.parasiticus*^{39,40}. Η επίδραση των μυκητοκτόνων στην ανάπτυξη μούχλας και στη βιοσύνθεση μυκοτοξίνης επηρεάζεται από αρκετούς παράγοντες όπως ο χημικός τύπος, ο ρυθμός της εφαρμογής, ο τύπος της σοδειάς, το είδος του μύκητα και οι συνθήκες αποθήκευσης. Άλλα γνωστά μυκητοκτόνα που εμποδίζουν την ανάπτυξη αφλατοξινών είναι τα malathion, diazinion και landrin.

Το σορβικό οξύ, τα νιτρικά άλατα και το βενζοϊκό νάτριο είναι επίσης αποτελεσματικά στην αντιμετώπιση για την ανάπτυξη αφλατοξικογενούς μούχλας. Επίσης το SO₂ εμποδίζει την ανάπτυξη των ειδών του μύκητα *Byssochlamus* που σχετίζεται με την παραγωγή πατουλίνης.

Μια πιο υποσχόμενη προσέγγιση και μια πιθανή εναλλακτική λύση στα μυκητοκτόνα για την πρόληψη του σχηματισμού μυκοτοξίνης, κυρίως μετά την συγκομιδή, είναι η πιθανή χρήση ανταγωνιστικών βακτηριδίων, μυκήτων και ενζύμων (πίνακας 3). Είναι γνωστό ότι τα ανταγωνιστικά ένζυμα μπορούν να μειώσουν την ανάπτυξη μούχλας και την αλλοίωση τροφίμων σε συνθήκες αποθήκευσης⁴¹.

Επίσης τα βακτήρια του λακτικού οξέος ή οι αντιμυκητιακοί μεταβολίτες τους, έχουν μελετηθεί ως φυσικά συντηρητικά για την παρεμπόδιση ανάπτυξης της μυκοτοξιγενούς μούχλας. Παρ' όλο που σε πολλές περιπτώσεις οι αντιμυκητιακές και αντιμυκοτοξικές δυνατότητες των βακτηριδίων του λακτικού οξέος είναι ακόμα άγνωστες, υπάρχει η πεποίθηση ότι η παρεμπόδιση σύνθεσης μυκοτοξίνης γίνεται εξαιτίας του ανταγωνισμού των μικροβίων, της εξάλειψης των θρεπτικών συστατικών, του χαμηλού pH και εξαιτίας της παραγωγής σταθερής θερμότητας και χαμηλού βάρους των μορίων των μεταβολιτών που παράγονται από τα βακτήρια λακτικού οξέος.

Μια ακόμα λύση στο πρόβλημα της ανάπτυξης μούχλας και μυκοτοξινών σε τρόφιμα είναι τα φυσικά εκχυλίσματα φυτών και μπαχαρικών κυρίως από Αιγυπτιακά φυτά όπως το *Lupinus albus* (Leguminosea), *Ammi visnaga* (Umbelliferae) και *Xanthium pungens* (Cosmositae), έχουν δείξει ότι εμποδίζουν αποτελεσματικά την ανάπτυξη του *A.flavus*. Τα έλαια του *Ocimum basilicum* (βασιλικός), του *Syzygium aromaticum* (γαρύφαλλο), *Thymus vulgaris* (θυμάρι) και *Cinnamomum zeylanicum* (κανέλλα) μεταξύ άλλων είναι γνωστό ότι εμποδίζουν την ανάπτυξη του *A.flavus* στον πυρήνα των καλαμποκιών⁴².

Πίνακας 3: Επίδραση των ανταγωνιστικών μικρ/μών για την παραγωγή μυκοτοξινών

Antagonistic micro.	Activity against to:	Effects observed	Reference
<i>Lb. casei</i>	<i>A. parasiticus</i> NRRL 2999	AFB ₁ and AFG ₁ production diminished by 36% and 23%, respectively	El-Gendy and Marth (1981) ¹²⁴
<i>Streptococcus lactis</i> ATCC 11454	<i>A. flavus</i> (V3734/10)	Significant reduction of the aflatoxin production	Coaliter-Ascali and Idriak (1985) ¹²⁵
<i>Lb. acidophilus</i>	<i>A. parasiticus</i> NRRL 2999	Prevention of aflatoxin production	Karunaratne et al. (1990) ¹²⁶
<i>Lb. delb. subsp. bulgaricus</i>	<i>A. parasiticus</i> NRRL 2999	Prevention of aflatoxin production	Karunaratne et al. (1990) ¹²⁶
<i>Lb. plantarum</i>	<i>A. parasiticus</i> NRRL 2999	Prevention of aflatoxin production	Karunaratne et al. (1990) ¹²⁶
<i>Pediococcus pentosaceus</i>	<i>A. parasiticus</i> CBS 92170	Aflatoxin production completely prevented	Lachese et al. (1992) ¹²⁷
<i>Lb. plantarum</i> CH	<i>A. parasiticus</i> CBS 92170	Aflatoxin production completely prevented	Lachese et al. (1992) ¹²⁷
<i>Lb. alimonum</i> CH33	<i>A. parasiticus</i> CBS 92170	Aflatoxin production completely prevented	Lachese et al. (1992) ¹²⁷
<i>Lb. sake</i> CH10	<i>A. parasiticus</i> CBS 92170	Aflatoxin production completely prevented	Lachese et al. (1992) ¹²⁷
<i>Lactobacillus</i> spp	<i>A. flavus</i>	Prevention of aflatoxin production	Gourama and Bellerman (1995) ¹³⁴
<i>Lactococcus</i> spp.	<i>A. parasiticus</i>	Stimulation of aflatoxin production	Gourama and Bellerman (1995) ¹³⁴
<i>Lb. casei</i> CCM 1825	<i>P. citrinum</i>	73.2% reduction in citrinin production	Gourama (1997) ¹³⁰
<i>Lb. casei</i> CCM 1825	<i>P. expansum</i>	74.3% reduction in patulin production	Gourama (1997) ¹³⁰
<i>Lb. casei</i> pseudoplatarium	<i>A. parasiticus</i> NRRL 2999	Production of AFB ₁ and AFG ₁ decreased by 80 and 92%, respectively	Gourama and Bellerman (1997) ¹³⁵
<i>Brevibacterium linens</i>	<i>Aspergillus flavus</i>	Prevention of fungal growth and aflatoxin formation	Osman (2004) ¹⁴⁵
<i>Pichia anomala</i>	<i>P. verrucosum</i>	Decreased OTA production to non-detectable levels	Petersson et al. (1998) ¹¹⁸
<i>Saccharomyces cerevisiae</i>	<i>P. verrucosum</i>	Decreased OTA production to non-detectable levels	Petersson et al. (1998) ¹¹⁸
<i>Bacillus pasteurii</i>	<i>A. parasiticus</i> NRRL 2999	98.4–99.9% reduction in aflatoxin formation	Munimbezi and Bellerman (1998) ¹²³
<i>Fusarium proliferatum</i>	<i>A. flavus</i>	Significantly reduction in aflatoxin formation	Picco et al. (1999) ¹²⁰
<i>Pseudomonas fluorescens</i>	<i>P. expansum</i>	Patulin production diminished by 44–70%	Florianowicz (2001) ¹⁴³

Πηγή: Food Science and Nutrition

3.2.3 Ακτινοβολία

Η ακτινοβολία συνήθως κατηγοριοποιείται είτε ως ιοντίζουσα (IR) είτε μη ιοντίζουσα (NIR), με την IR να περιλαμβάνει ακτίνες X και gamma (γ) και την NIR να περιλαμβάνει ακτίνες UV, μικροκύματα, υπέρυθρες, και ραδιοκύματα. Παρ' όλη την μεγάλη συζήτηση που έχει γίνει για την ασφάλεια των ακτινοβολημένων τροφών, χρησιμοποιείται όλο και πιο συχνά για την αποστείρωση τους. Το 1980 η FAO Ειδική Επιτροπή για την ακτινοβολία σε τρόφιμα, έδειξε ότι η ακτινοβολία σε οποιοδήποτε τρόφιμο μέχρι τη μέση δόση των 10kGy δεν προκαλεί κανένα τοξικολογικό κίνδυνο και κανένα μικροβιολογικό ή θρεπτικό πρόβλημα^{43,44}. Η ακτινοβολία έχει χρησιμοποιηθεί για να εμποδίσει την ανάπτυξη της μυκοτοξίνης κατά την αποθήκευση και παράλληλα με την χρήση της ακτινοβολίας γίνονται

μελέτες για την χρήση ακτινοβολίας γ για την παρεμπόδιση της μούχλας και τον σχηματισμό μυκοτοξίνης

Ωστόσο, δεν αντιδρούν όλοι οι μύκητες στην ακτινοβολία με τον ίδιο τρόπο. Η επιρροή της ακτινοβολίας στο να αναπτυχθεί η μούχλα εξαρτάται από το γένος του κάθε μύκητα και την δόση της ακτινοβολίας, καθώς επηρεάζεται από την υγρασία και τις συνθήκες αποθήκευσης^{45,46}.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4

4.1 ΑΠΟΤΟΞΙΚΟΠΟΙΗΣΗ ΤΩΝ ΜΥΚΟΤΟΞΙΝΩΝ

Η πρόληψη για μόλυνση από μυκοτοξίνες πριν και μετά την συγκομιδή και κατά την διάρκεια της αποθήκευσης δεν σημαίνει ότι πάντα γίνεται απολύμανση στα προϊόντα έτσι ώστε να είναι έτοιμα για χρήση. Υπάρχουν πολλές διεργασίες απολύμανσης που παίζουν σημαντικό ρόλο στην παρεμπόδιση έκθεσης του τροφίμου στην καρκινογόνο επίδραση των μυκοτοξινών. Η αποτοξικοποίηση επιτυγχάνεται συνήθως με την αφαίρεση των μολυσμένων προϊόντων ή με την απενεργοποίηση των μυκοτοξινών με φυσικές, χημικές ή βιολογικές μεθόδους. Στην Ε.Ε δεν επιτρέπεται η ανάμιξη των μολυσμένων προϊόντων με καλής ποιότητας προϊόντα όπως επίσης και οι χημικές αγωγές.

Σύμφωνα με την Ειδική Επιτροπή Ακτινοβολίας στα Τρόφιμα, οποιαδήποτε διαδικασία απολύμανσης για την μείωση των τοξικών και οικονομικών επιπτώσεων των μυκοτοξινών χρειάζεται τις παρακάτω προϋποθέσεις⁴⁷.

- Θα πρέπει να καταστρέφει ή να αφαιρεί τις μυκοτοξίνες.
- Θα πρέπει να μην παράγει ή να αφήνει τοξικά ή καρκινογόνα υπολείμματα στο τελικό προϊόν ή στα προϊόντα τροφίμων που προέρχονται από ζώα τα οποία έχουν ταϊστεί με μολυσμένη τροφή.
- Δεν θα πρέπει να επηρεάζει αρνητικά τις επιθυμητές φυσικές ιδιότητες του προϊόντος.
- Θα πρέπει να είναι τεχνικά και οικονομικά εφικτές.
- Θα πρέπει να είναι ικανή να καταστρέφει τα μυκητιακά σπόρια, ώστε να αποφευχθεί ο σχηματισμός μυκοτοξίνης κάτω από ευνοϊκές συνθήκες.

4.2 ΑΠΟΜΑΚΡΝΣΗ ΜΥΚΟΤΟΞΙΝΩΝ ΑΠΟ ΜΟΛΥΣΜΕΝΑ ΤΡΟΦΙΜΑ

4.2.1 Φυσικός διαχωρισμός

Από την στιγμή που η αποτοξικοποίηση με χημικές μεθόδους δεν είναι αποδεκτή σε πολλές περιοχές, άμεσα η πιο σημαντική επιλογή για τον παραγωγό γίνεται ο διαχωρισμός των μολυσμένων σοδειών από αυτές που δεν έχουν υποστεί κάποια μόλυνση. Έτσι χρησιμοποιούνται οι παρακάτω πρακτικές:

Διαλογή

Κατά την διαλογή, είναι εύκολο να γίνει απομάκρυνση των μολυσμένων από μυκοτοξίνες σπόρων γιατί υπάρχουν εμφανή σημάδια μούχλας και ένας έντονος αποχρωματισμός.

Υπάρχουν πολλοί μέθοδοι που μπορούν να χρησιμοποιηθούν για τον διαχωρισμό των σοδειών, όπως οι χειρονακτικές, οι μηχανικές, και οι ηλεκτρονικές. Η χειρονακτική διαλογή βασίζεται στο ότι οι χαλασμένοι σπόροι θα ποικίλουν σε σχήμα, χρώμα και μέγεθος και ότι θα είναι ορατά τα σημάδια μούχλας στους σπόρους που έχουν πληγωθεί. Ενώ η χειρονακτική διαλογή είναι ο πιο εύκολος τρόπος για την φυσική απομάκρυνση των μολυσμένων σπόρων είναι μια χρονοβόρα διαδικασία και κάποιες φορές περιορίζει την δυνατότητα εφαρμογής. Οι συσκευές ηλεκτρονικής διαλογής είναι εξίσου χρήσιμες στην εξάλειψη των μολυσμένων σπόρων και δεν μπορούν να χρησιμοποιηθούν σε μεγάλη κλίμακα γιατί είναι πολύ μεγάλα τα κόστη χρησιμοποίησής τους. Η μηχανική διαλογή έχει σαν σημάδι προσέγγισης, την μαύρη κηλίδα που βρίσκετε στα χείλη των κελυφών των πρώιμων ανοιγμάτων. Ωστόσο, τα τελευταία χρόνια στις Ηνωμένες Πολιτείες έχει αναπτυχθεί μια συνδυαστική ηλεκτρονική και χειρονακτική αγωγή από την βιομηχανία φιστικιών, η οποία, είναι αποτελεσματική στην μείωση αφλατοξίνης σε προϊόντα φιστικιού τα οποία είναι για κατανάλωση.

Διαχωρισμός πυκνότητας

Μια άλλη αποτελεσματική μέθοδος είναι η χρήση διαχωρισμού επίπλευσης και πυκνότητας, η οποία έχει βρεθεί ότι μειώνει σημαντικά το περιεχόμενο

μυκοτοξίνης στις σοδειές κυρίως στους τοξικούς πυρήνες του καλαμποκιού. Οι χτυπημένοι από μούχλα πυρήνες παρουσιάζουν διαφορετικές φυσικές ιδιότητες από τους υγιείς πυρήνες καρπού και έτσι έχουν την δυνατότητα να διαχωριστούν με διαχωρισμό πυκνότητας μέσα σε υγρά όπως το νερό και το χλωριούχο νάτριο ή με κλασματικό διαχωρισμό σύμφωνα με συγκεκριμένους πυκνομετρικούς διαχωριστήρες. Ο διαχωρισμός πυκνότητας και η απομάκρυνση των πυρήνων καρπού που επιπλέουν στο νερό και σε κορεσμένο χλωριούχο νάτριο είναι γνωστό ότι μειώνουν τις δεξιοβαλενόνη, ζεαραλενονη και τα επίπεδα αφλατοξίνης στα δημητριακά. Έχει επίσης αναφερθεί ότι ο διαχωρισμός με βαρύτητα μπορεί να αποδειχθεί πολύ χρήσιμος στην μείωση των επιπέδων δεξιοβαλενόνης στους σπόρους.

Επίσης η χρήση συγκεκριμένων πυκνομετρικών διαχωριστήρων οι οποίοι επιτρέπουν την απομάκρυνση των λιγότερο πυκνών τοιχωμάτων τα οποία περιέχουν τους θυσάνους των πυρήνων των καρπών μπορούν να μειώσουν την μόλυνση από DON από 68-85% με περιεχόμενο τοξίνης 4-7 mg/kg⁴⁹.

Πλύσιμο

Μια απλή μέθοδος για να μειώσεις τις μυκοτοξίνες στους σπόρους είναι η διαδικασίες πλύσης τους με νερό ή με διάλυμα ανθρακικού νατρίου. Το πλύσιμο με αποσταγμένο νερό σε σπόρους καλαμποκιού και κριθαριού έχει αποδειχθεί ότι μειώνει τα επίπεδα αφλατοξινών έως και 69%. Με το πλύσιμο φαίνεται ότι επιτυγχάνεται μείωση στα επίπεδα πατουλίνης στα μήλα, όπου μπορούν να φτάσουν από 920 ng/g σε 190 ng/g⁵⁰. Επίσης, η απομάκρυνση των χαλασμένων καρπών από τους υγιείς με τα χέρια, βοηθάει σε μεγάλο βαθμό στη μείωση των επιπέδων πατουλίνης που υπάρχει στους καρπούς μήλων. Έχει αποδειχθεί ότι το πλύσιμο στα μήλα είναι πολύ σημαντικό κομμάτι για την απομάκρυνση της πατουλίνης από αυτά με μέσο όρο μείωσης αυτής έως και 54%.

Άλεση

Είναι πιθανόν ότι η απομάκρυνση συγκεκριμένων συστατικών σιτηρών κατά τη διάρκεια της άλεσης μπορεί να έχει ως αποτέλεσμα τη μείωση σε τοξικά επίπεδα στα μολυσμένα σιτηρά. Στην εμπορική ξηρή άλεση, οι φουμονισίνες βρίσκονται

στους απολεπισμένους κόκκους, στο αλεύρι, στις φύτερες και στα πίτουρα. Το πρότυπο διανομής μετά την πειραματική ξηρή άλεση ποικίλει ελαφρά για διάφορους τύπους καλαμποκιού, αλλά γενικά τα επίπεδα είναι χαμηλότερα στους κόκκους και ψηλότερα στις φύτερες, στα πίτουρα και στα ψίχουλα. Η διανομή του DON στα διάφορα τμήματα της άλεσης σιταριού εξαρτάται σε μεγάλο βαθμό στο βαθμό μυκητιακής εισχώρησης του ενδοσπέρματος, επομένως η άλεση σπόρων που έχουν μολυσμένη επιφάνεια καταλήγει σε αλεύρι με χαμηλά επίπεδα μυκοτοξίνης⁴⁹.

4.2.2 Εξαγωγή με διαλύτες

Ένας άλλος τρόπος αντιμετώπισης των μυκοτοξινών είναι η χρήση διαλυτών. Κάποιος αριθμός διαλυτών είναι ικανός να εξάγει μυκοτοξίνες από υλικά τροφών όπως το φιστίκι, οι ελαιούχοι σπόροι και ο μπαμπακόσπορος. Ενώ η εξαγωγή διαλυτών μπορεί να απομακρύνει αποτελεσματικά τις αφλατοξίνες από τις ελαιούχες τροφές χωρίς να σχηματίζονται τοξικά υποπροϊόντα, ούτε να υπάρχει μείωση στις θρεπτικές αξίες ή την ποιότητα, η εφαρμογή αυτής της τεχνικής σε μεγάλη κλίμακα είναι περιορισμένη, γιατί υπάρχει υψηλό κόστος και προβλήματα που σχετίζονται με την διάθεση των τοξικών εκχυλισμάτων⁴⁸. Παρ' όλο που μερικοί πολιικοί διαλύτες όπως η μεθανόλη και η αιθανόλη είναι αποτελεσματικοί στην μείωση αφλατοξινών από μολυσμένα τρόφιμα, υπάρχουν προβλήματα με την πρόσθετη συν-εξαγωγή στερεών από αυτά τα υλικά. Για παράδειγμα, έχει σημειωθεί, ότι εξαγωγή με 80% ισοπροπανόλη απομάκρυνε εντελώς τις αφλατοξίνες στον μπαμπακόσπορο και σε θρυμματισμένο φιστίκι, αλλά επίσης απομάκρυνε μεταξύ 8,7% και 9,5% σε διαλυμένα στερεά⁵¹.

4.3 ΑΔΡΑΝΟΠΟΙΗΣΗ ΜΥΚΟΤΟΞΙΝΩΝ ΣΕ ΜΟΛΥΣΜΕΝΑ ΤΡΟΦΙΜΑ

4.3.1 Φυσικές μέθοδοι

Για την αντιμετώπιση των μυκοτοξινών έχουν εφαρμοστεί πολλές μέθοδοι. Κάποιες από αυτές είναι η θερμική αδρανοποίηση και η αδρανοποίηση μέσω ακτινοβολίας.

Αγωγή με θερμότητα: οι περισσότερες μυκοτοξίνες είναι ανθεκτικές στην θερμότητα, οπότε και στις θερμοκρασίες στις οποίες επεξεργάζονται τα τρόφιμα

δηλαδή 80-120° C. Βάση αυτού προκύπτει ότι στις φυσιολογικές συνθήκες μαγειρέματος όπως το βράσιμο και το τηγάνισμα, ακόμα και στην παστερίωση υπάρχει ελάχιστη ως καθόλου καταστροφή των μυκοτοξινών. Η ευαισθησία των μυκοτοξινών σε αγωγή θερμότητας επηρεάζεται από πολλούς παράγοντες όπως το περιεχόμενο σε υγρασία, pH, και η ιονική ισχύς της τροφής⁴⁸. Το ψήσιμο ή το τηγάνισμα για διαστήματα έως 30 λεπτά σε θερμοκρασίες μεταξύ 150-200 °C μπορεί να καταλήξει σε υπολειμματικά επίπεδα μυκοτοξινών μεταξύ 20-60%. Η αποδόμηση από αγωγή με θερμότητα εξαρτάται από τον τύπο της μυκοτοξίνης και την συγκέντρωσή της αλλά και την έκταση του δεσμού μεταξύ της μυκοτοξίνης και του χρόνου επεξεργασίας. Η καταστροφή των μυκοτοξινών στα τρόφιμα από διάφορες αγωγές με θερμότητα συνοψίζεται στον (πίνακα 4). Οι αφλατοξίνες έχουν θερμοκρασίες αποσύνθεσης που κυμαίνονται από 237 °C έως 306 °C. Η πατουλίνη έχει σημείο τήξης στους 111 °C και έχει αναφερθεί ότι σχεδόν 90% πατουλίνης μπορεί να αποδομηθεί από αγωγή με θερμότητα στους 105 °C για 29 ώρες⁵².

Πίνακας 4: Καταστροφή των μυκοτοξινών στα τρόφιμα από διαφορετική θερμική επεξεργασία

Treatment	Food	Mycotoxin	Initial level ($\mu\text{g g}^{-1}$)	Destruction(%)	Reference
Heating: 90°C, 20 min	Apple juice	Patulin	0.22	18.8	Kadakal and Nas (2003) ¹⁰⁰
Heating: 100°C, 20 min	Apple juice	Patulin	0.22	26.0	Kadakal and Nas (2003) ¹⁰⁰
Heating: 100°C, 30 min	Buffer solution	DON	2	Negligible	Wolf and Bullerman (1998) ²⁰²
Heating: 60°C, 60 min	Milk	CPA	1	9	Prasongsidh et al. (1998) ²⁰²
Heating: 80°C, 60 min	Milk	CPA	1	18	Prasongsidh et al. (1998) ²⁰²
Heating: 100°C, 60 min	Milk	CPA	1	30	Prasongsidh et al. (1998) ²⁰²
Roasting: 150°C, 30 min	Peanuts	AFB ₁	1	38	Ozkarsh (2003) ¹⁰⁶
Roasting: 150°C, 30 min, 2% NaCl	Peanuts	AFB ₁	1	41.5	Ozkarsh (2003) ¹⁰⁶
Roasting: 150°C, 30 min, 5% NaCl	Peanuts	AFB ₁	1	47.6	Ozkarsh (2003) ¹⁰⁶
Microwave roasting: 0.7 kw, 8.5 min	Peanuts	AFB ₁	1	48-61	Fluyer et al. (1987) ¹⁰⁵
Microwave roasting: 0.9 kw, 1.5 min	Peanuts	AFB ₁	1	50.3	Ozkarsh (2003) ¹⁰⁶
Microwave roasting: 0.9 kw, 1.5 min, 2% NaCl	Peanuts	AFB ₁	1	30.5	Ozkarsh (2003) ¹⁰⁶
Microwave roasting: 0.9 kw, 1.5 min, 5% NaCl	Peanuts	AFB ₁	1	38.6	Ozkarsh (2003) ¹⁰⁶
Evaporation: 70°C, 20 min	Apple Juice	Patulin	0.22	9.5	Kadakal and Nas (2003) ¹⁰⁰
Evaporation: 80°C, 20 min	Apple Juice	Patulin	0.22	14.1	Kadakal and Nas (2003) ¹⁰⁰
Extrusion: 120°C, 18% moisture	Corn Grits	ZEN	4.4	83	Ryu et al. (1999) ²⁰⁰
Extrusion: 140°C, 18% moisture	Corn Grits	ZEN	4.4	83	Ryu et al. (1999) ²⁰⁰
Extrusion: 160°C, 18% moisture	Corn Grits	ZEN	4.4	77	Ryu et al. (1999) ²⁰⁰
Extrusion: 180°C, 15% moisture	Corn Flour	AFB ₁	0.05	25	Cuzzaniga et al. (2001) ⁹
Extrusion: 180°C, 15% moisture	Corn Flour	DON	5	98	Cuzzaniga et al. (2001) ⁹

Πηγή: Food Science and Nutrition

Οι Kadakal και Nas⁵³ έχουν αποδείξει ότι οι αγωγές με θερμότητα στους 90 και 100 °C έχουν ως αποτέλεσμα την αποδόμηση των επιπέδων πατουλίνης 18,8% και 26% αντίστοιχα.

Η ζεαραλενόνη είναι αρκετά ανθεκτική στην θερμότητα και μπορεί να επιβιώσει σε θερμοκρασίες των 120 °C για 4 ώρες, αν και σε κάποια υδατικά ρυθμιστικά διαλύματα με διάφορες τιμές pH, η ολοκληρωτική απομάκρυνση της ζεαραλενόνης μπορεί να γίνει σε λιγότερο από 30 λεπτά στους 225 °C.

Βάση των παραπάνω βγάζουμε το συμπέρασμα ότι, η χρήση υψηλών θερμοκρασιών για την αποτοξίνωση των μολυσμένων τροφών μπορεί να προκαλέσει και βλάβη στις θρεπτικές ουσίες και στις οργανοληπτικές ιδιότητες των τροφών μιας και σε τόσο υψηλές θερμοκρασίες προκαλείται η διάσπασή τους. Ωστόσο, οι αγωγές όπως η απομάκρυνση των τοξινών μέσω μαγειρέματος μπορεί να αποβούν χρήσιμες στα μελλοντικά προγράμματα.

Ιονίζουσα ακτινοβολία: όπως αναφέρουμε παραπάνω η ακτινοβολία έχει υπάρξει χρήσιμη στον έλεγχο των μυκοτοξινών μετά την συγκομιδή και κατά την αποθήκευση. Επίσης, γίνονται μελέτες που περιλαμβάνουν την χρήση ακτινών χ και γ ώστε να χρησιμοποιούνται ως μέθοδοι στην αποδόμηση των μυκοτοξινών. Η ακτινοβόληση είναι μια θερμική αγωγή που καλείται και σαν κρύα παστερίωση, αφού μπορεί να εξαλείψει παθογόνα που προκαλούνται στα τρόφιμα χωρίς να αυξηθεί η θερμοκρασία στο προϊόν⁴³. Η αδρανοποίηση των μυκοτοξινών από ακτινοβολία- γ εξαρτάται από το βαθμό της δόσης της ακτινοβολίας, και από τον τύπο της τροφής και της μυκοτοξίνης. Επιπλέον, το νερό παίζει κρίσιμο ρόλο στην καταστροφή της αφλατοξίνης από ακτινοβολία γ , μιας και η ραδιόλυση του νερού ξεκινάει αντιδράσεις ελεύθερων ριζών που καταλήγουν σε αποδόμηση αφλατοξίνης. Οι αφλατοξίνες είναι επίσης ευαίσθητες στην UV ακτινοβολία στα 222, 265, και 362 nm, με την μεγαλύτερη απορρόφηση να γίνεται στα 362 nm⁴⁴. Βάση αυτού, μια εναλλακτική λύση για την καταστροφή μυκοτοξινών, είναι η ηλιακή ενέργεια λόγω των ακτινών UV που υπάρχουν στο φως του ήλιου. Υπάρχουν 3 είδη UV ακτινοβολίας: η UV-A που κυμαίνεται από 315-400nm, η UV-B από 280-315nm και η UV-C από 40 έως 280nm με τη τελευταία να είναι η πιο επικίνδυνη αφού με την χρήση της σε εργαστήρια έχουν παρατηρηθεί μεταλλάξεις.

4.3.2 Χημικές μέθοδοι

Μια μεγάλη σειρά χημικών έχει αποδειχθεί ότι μειώνουν, καταστρέφουν ή απενεργοποιούν τις μυκοτοξίνες. Αυτά τα χημικά περιλαμβάνουν 1) οξέα (π.χ. υδροχλωρικό οξύ), 2) βάσεις (π.χ. αμμωνία, υδροξείδιο του νατρίου), 3) μέσα

οξειδωσης (π.χ. υπεροξειδίο του υδρογόνου, όζον), 4) αναγωγικά μέσα (π.χ. διθειώδες), 5) μέσα χλωρίωσης (π.χ. υποχλωριώδες νάτριο, διοξειδίο του χλωρίου και αέριο χλώριο), και 6) διάφορα αντιδραστήρια όπως η φορμαλδεύδη⁵⁴.

Κατεργασία με οξέα: Η κατεργασία με οξέα των αφλατοξινών, AFB₁ και AFG₁ έχει ως αποτέλεσμα στην μετατροπή τους σε ημιακετάλες AFB_{2a} και AFG_{2a}, μέσω ενσωμάτωσης νερού, ενώ η κατεργασία με HCl έχει αναφερθεί ότι μειώνει τα επίπεδα AFB₁ έως 19,3% μέσα σε 24h⁵².

Κατεργασία με βάσεις: Οι ανόργανες και οργανικές βάσεις είναι αποτελεσματικά και σχετικά οικονομικά χημικά με τα οποία μπορούν να αφαιρεθούν τα τοξικά στοιχεία και άλλες σημαντικές μυκοτοξίνες από μεγάλες ποσότητες μολυσμένων αγροτικών προϊόντων. Μεταξύ αυτών των χημικών μέσων, η αμμωνιοποίηση είναι μια εγκεκριμένη διαδικασία για την απομάκρυνση των τοξικών των μολυσμένων με αφλατοξίνη αγροτικών προϊόντων και τροφών⁵². Την μέθοδο αυτή την επιλέγουν σε κάποιες νότιες περιοχές των ΗΠΑ όπως Αριζόνα, Τέξας, Αλαμπάμα αλλά και στην Γαλλία και την Σενεγάλη. Το αμμωνιοποιημένο άλευρο φιστικιού εισάγεται τακτικά από αρκετές χώρες μέλη της Ευρωπαϊκής Ένωσης. Αντίθετα, η υπηρεσία τροφίμων και φαρμάκων των ΗΠΑ (FDA) δεν έχει επιτρέψει ακόμα τις διακρατικές αποστολές εναμμωνιωμένου μπαμπακόσπορου ή καλαμποκιού⁵⁵. Η διαδικασία της εναμμωνίωσης χρησιμοποιεί υδροξειδίο του αμμωνίου ή αέριο αμμωνίας, τα οποία και τα δύο είναι εξίσου αποτελεσματικά στην αποτοξικοποίηση των αφλατοξινών στα φιστίκια, το μπαμπάκι και τα καλαμποκάλευρα. Η επιτυχία της αποτοξικοποίησης των αφλατοξινών με αγωγή αμμωνίας διέπεται από την ποσότητα που έχει χρησιμοποιηθεί, το χρόνο αντίδρασης, καθώς και τα επίπεδα της θερμοκρασίας και της πίεσης που χρησιμοποιούνται. Οι αγωγές με υψηλή πίεση είναι πιο αποτελεσματικές στην αποτοξικοποίηση αφλατοξίνης παρά οι αγωγές υπό ατμοσφαιρική πίεση, με ένα επιπλέον όφελος ότι η εναμμωνίωση υπό υψηλή πίεση απαιτεί χαμηλότερα επίπεδα αμμωνίας με λιγότερο χρόνο επεξεργασίας.

Άλλες μυκοτοξίνες όπως η FB₁ έχουν δείξει ότι αποδομούνται μετά την εναμμωνίωση με αμμωνία σε υψηλή πίεση (60psi)/ατμοσφαιρική θερμοκρασία ή ατμοσφαιρική πίεση/υψηλή θερμοκρασία (125 °C) που έχει ως αποτέλεσμα 79% καταστροφής σε μολυσμένο καλαμπόκι⁵⁵.

Η επίδραση των αλκαλικών μέσων όπως το νάτριο, το κάλιο ή των υδροξειδίων του ασβεστίου στην καταστροφή των μυκοτοξινών είναι κάπως λιγότερη

απ' ότι στην αγωγή με αμμωνία. Η σειρά καταστροφής των διαφορετικών αλκαλίων σε AFB₁ σε διάλυμα στους 110° C είναι υδροξείδιο του καλίου > υδροξείδιο του νατρίου > ανθρακικό κάλιο > ανθρακικό νάτριο > διττανθρακικό κάλιο > υδροξείδιο του καλίου > διττανθρακικό νάτριο > ανθρακικό αμμώνιο. Η αγωγή στο άλευρο του φιστικιού (που περιέχει 30% υγρασία) με 2% υδροξείδιο του νατρίου στους 100°C για 120 min μείωσε το AFB₁ σε ποσότητες ίχνους⁵⁶.

Οξειδωτικοί παράγοντες: Το όζον ή το τριατομικό οξυγόνο (O₃) είναι ένα ισχυρό οξειδωτικό και αντιδρά σε αρκετές χημικές ομάδες, παρ' όλο που είναι πολύ αποτελεσματικό με τους ολεφινικούς διπλούς δεσμούς. Αρκετοί οξειδωτικοί παράγοντες έχουν χρησιμοποιηθεί επιτυχώς για την απομάκρυνση τοξικών ουσιών στις μυκοτοξίνες από μολυσμένα αγροτικά προϊόντα. Η αγωγή με υδατικό O₃ έχει αποδειχθεί ότι καταστρέφει τις αφλατοξίνες. Είναι επίσης γνωστό ότι ο ακόρεστος διπλός δεσμός C=C του ακραίου δακτυλίου όπως τα AFB₂, AFG₁ και AFM₁ είναι ευαίσθητα στο O₃ και σε άλλους οξειδωτικούς παράγοντες. Ωστόσο, οι αφλατοξίνες που υπολείπονται δακτύλιο διπλού δεσμού στον ακραίο δακτύλιο φουρανίου όπως τα AFB₂, AFG₂ και AFM₂ είναι ανθεκτικές στην οξείδωση από όζον.

Πολλές μελέτες έχουν δείξει ότι η αγωγή με O₃ μειώνει τα επίπεδα μέχρι 91% στο άλευρο μπαμπακόσπορου που περιέχει υγρασία 22% μετά από έκθεση σε θερμοκρασία 100 °C για 2 ώρες⁵⁶.

Μέσα χλωρίωσης: Η υδατική χλωρίνη χρησιμοποιείται συχνά στην βιομηχανία τροφίμων για να απολυμάνει τον εξοπλισμό επεξεργασίας των τροφίμων και να καθαρίσει έναν αριθμό ωμών υλικών όπως τα φρούτα, τις ψίχες των ξηρών καρπών, τα ψάρια και το κρέας πριν την επεξεργασία. Επιπλέον τα μέσα χλωρίωσης όπως η χλωρίνη και το υποχλωριώδες νάτριο είναι γνωστό ότι καταστρέφουν τις μυκοτοξίνες και μέσα από πειράματα έχει γίνει γνωστό ότι με την εφαρμογή αέριας χλωρίνης μπορεί να αποδομηθεί μέχρι και το 90% των αφλατοξινών σε κάποια τρόφιμα⁵⁵.

Άλλες αγωνές: Ένας αριθμός από άλλα χημικά όπως η φορμαλδεΐδη, το υπερμαγγανικό κάλιο, το βορικό νάτριο και 75% μεθανόλη έχουν δείξει ότι είναι αποτελεσματικά στην απομάκρυνση τοξικών ουσιών διαφόρων μυκοτοξινών, με 0,5% φορμαλδεΐδης να μειώνει τα επίπεδα AFM₁ από 1,1 μg σε 0,05 μg σε ορισμένα δείγματα γάλακτος. Ωστόσο, η χρήση πολλών από αυτά τα μέσα στις τροφές είναι περιορισμένη εξαιτίας προβλημάτων ασφαλείας που μπορεί να επιφέρουν τοξικά κατάλοιπα⁵⁴.

Επομένως, ενώ πολλές από τις χημικές αγωγές που αναλύονται παραπάνω μπορεί να εξολοθρεύσουν τις μυκοτοξίνες που βρίσκονται στα τρόφιμα, σε πολλές περιπτώσεις μειώνουν σημαντικά την θρεπτική αξία των τροφών ή παράγουν τοξικά ή άλλα προϊόντα με ανεπιθύμητα αποτελέσματα, έτσι μειώνεται και η εκτεταμένη χρήση τους.

4.3.3 Βιολογικές μέθοδοι

Όπως αναλύεται πιο πάνω, η χρήση πολλών διαθέσιμων φυσικών και χημικών μεθόδων για την απομάκρυνση των τοξικών ουσιών από τα αγροτικά προϊόντα που είναι μολυσμένα από μυκοτοξίνες είναι περιορισμένη εξαιτίας προβλημάτων που έχουν σχέση με την ασφάλεια, πιθανές απώλειες στην θρεπτική ποιότητα των προϊόντων που έχουν δεχθεί επεξεργασία, σε συνδυασμό με την περιορισμένη αποτελεσματικότητα και τους υπαινιγμούς υψηλού κόστους. Αυτό οδήγησε στην έρευνα για εναλλακτικές στρατηγικές όπως τα βιολογικά μέσα. Οι εξελίξεις σ' αυτόν τον τομέα έχουν ενισχυθεί από πρόσφατες προόδους στην μοριακή βιολογία, την γενετική μηχανική και την γενωμική μικροβίων σε σχέση με την ανακάλυψη καταβολικής δυνατότητας παρούσας μέσα στον μικροβιακό κόσμο.

Ένας αριθμός διάφορων καλλιεργειών μυκήτων έδειξαν ότι απομακρύνουν την τοξική ουσία AFB₁. Τα μυκητιακά στελέχη όπως το *Trichoderma sp* 639, το *Phoma sp.*, το *Rhizopus sp.* 668, *Rhizopus sp.* 720, το *Sporotrichum sp.* ADA, το *Sporotrichum sp.* SF, και το *Alternaria sp.* έχουν δείξει ότι αποδομούν το AFB₁ σε επίπεδα μεταξύ 65% και 99% σε 5 μέρες στους 28±2°C⁵⁷.

Πολλές διαδικασίες ζύμωσης έχουν επίσης αποδειχθεί ότι μειώνουν τα τοξικά αποτελέσματα των μυκοτοξινών. Για παράδειγμα το μολυσμένο καλαμπόκι με τοξίνη F₂ όταν χρησιμοποιείται σαν βάση για *Candida intermedia*, η ζύμωση είχε ως αποτέλεσμα μια δεκάπλευρη μείωση στην τοξική δραστηριότητα. Σε παραδοσιακές ζυμώσεις μύρας έχει αναφερθεί διάλυση 49% του ZEN, ενώ το 69% του παρόντος ZEN μετατράπηκε στη λιγότερο τοξική β-ζεαραλενονη, κατά τη διάρκεια ζύμωσης από το *S.cerevisiae*. Ξέροντας ότι τα χαμηλά επίπεδα αφλατοξίνης και α ή β-ζεαραλενονης που βρέθηκαν σε Καναδικές και Ευρωπαϊκές μύρες, σε συνδυασμό με τα αρκετά χαμηλά επίπεδα ΟΤΑ, προκύπτει ότι οι μυκοτοξίνες που βρίσκονται στα γεωργικά προϊόντα μπορούν να απομακρυνθούν με ζύμωση αιθανόλης. Ομοίως, η

πατουλίνη στον χυμό μήλου και το ΟΤΑ στο κριθάρι έχει γνωστοποιηθεί ότι καταστρέφονται με ζύμωση αιθανόλης^{58,59}.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 5

5.1 ΑΝΑΣΤΟΛΗ ΤΗΣ ΑΠΟΡΡΟΦΗΣΗΣ ΜΥΚΟΤΟΞΙΝΗΣ ΣΤΗΝ ΓΑΣΤΡΕΝΤΕΡΙΚΗ ΟΔΟ

Μια από τις πιο καινούργιες προσεγγίσεις για την πρόληψη από την φλεγμονή από μυκοτοξίνες στο ζωικό κεφάλαιο είναι η πρόσθεση μη θρεπτικών προσροφητικών μέσων στην διατροφή τα οποία δεσμεύουν τις μυκοτοξίνες στην γαστρεντερική οδό και που είναι ικανά να μειώσουν την βιοδιαθεσιμότητα τους. Η προσθήκη προσροφητικών μέσων στα τρόφιμα είναι ο πιο ευρέως εφαρμοζόμενος τρόπος προστασίας των ζώων από τις μυκοτοξίνες. Ο ενεργός άνθρακας (AC), ένυδρο αργιλοπυριτικό ασβέστιο νάτριο (HSCAS), ζεολίτες, μπεντονίτες, και συγκεκριμένοι άργιλοι είναι τα πιο μελετημένα προσροφητικά μέσα και κατέχουν υψηλή συγγένεια για τις μυκοτοξίνες. Τα αργιλιασβέστια είναι τα προτιμώμενα προσροφητικά μέσα, ακολουθούμενα από ενεργό άνθρακα και ειδικά πολυμερή, ωστόσο, η προσροφητική ικανότητα εξαρτάται στην χημική δομή τόσο του προσροφητικού μέσου και της μυκοτοξίνης⁴⁹. Επιπλέον, μια εστεροποιημένη γλυκομανάνη που παράγεται από κυτταρική μεμβράνη ενζύμου έχει ελεγχθεί για την προσρόφηση των μυκοτοξίνων. Οι κυτταρικές μεμβράνες πολυζακχαριτών (γλυκάνη και μανάνη), πρωτεϊνών και λιπιδίων έχει αναφερθεί ότι παρουσιάζει πολλούς διαφορετικούς μηχανισμούς προσρόφησης, π.χ. δεσμοί υδρογόνου, ιονική ή υδροφοβική αλληλεπίδραση.

Η φυσική δομή της συμπεριλαμβανομένης δόσης, το ολικό φορτίο και η κατανομή φορτίου, το μέγεθος των πόρων και η περιοχή της επιφάνειας, καθώς και οι φυσικοχημικές ιδιότητες των μυκοτοξίνων παίζουν σημαντικό ρόλο στην επίτευξη του δεσμού των μυκοτοξίνων από προσροφητικά υλικά. Οι μυκοτοξίνες που περιέχουν πολικές χαρακτηριστικές ομάδες όπως οι αφλατοξίνες μπορούν να προσροφηθούν από πολλά αποτελεσματικά προσροφητικά μέσα όπως συγκεκριμένοι άργιλοι π.χ. μοντιμοριλονίτης και ζεόλιθος-κλινοπτόλιθος. Ωστόσο, σχεδόν μη πολικές μυκοτοξίνες όπως η ζεαραλενόνη και η οχρατοξίνη A δεν προσροφούνται αποτελεσματικά στις αρνητικά φορτισμένες υδροφιλικές επιφάνειες αυτών των μη τροποποιημένων μεταλλικών στοιχείων. Στον (πίνακα 5) φαίνονται τα αποτελέσματα μερικών μελετών που διεξήχθησαν *in vitro* για την απομάκρυνση των τοξίνων από ποικίλα προσροφητικά μέσα.

Το AC είναι μια από τις πιο αποτελεσματικές και μη τοξικές ομάδες ροφητικών ουσιών με υψηλή επιφάνεια σε λόγο μάζας (500-3500m²/g)⁴⁷. Σχηματίζονται με πυρόλυση διαφόρων οργανικών ενώσεων. Παλαιότερα είχε αναφερθεί ότι οι δεσμοί υδρογόνου παίζουν σημαντικό ρόλο στον μηχανισμό σχηματισμού δεσμών για τον ενεργό άνθρακα⁶⁰. Καθόρισαν το HSCAS και οι δεσμοί ενεργού ξυλάνθρακα ήταν σχεδόν 100% διαθέσιμοι τόσο στο νερό όσο και στην προσομοίωση των γαστρεντερικών υγρών.

Πίνακας 5: *In vitro* προσρόφηση των μυκοτοξινών από διαφορετικά προσροφητικά

Adsorbent	Mycotoxin	Adsorption Index (%)	Reference
Activated carbon	AFB ₁	>99	Diaz et al. (2002) ²⁵³
Activated carbon	AFB ₁	>90	Lemke et al. (2001) ²⁵⁵
Activated carbon	OTA	0.8-99.8	Galvano et al. (1998) ²⁵⁶
Activated carbon	DON	1.8-98.9	Galvano et al. (1998) ²⁵⁶
HSCAS	AFB ₁	>90	Lemke et al. (2001) ²⁵⁵
HSCAS	OTA	13.2	Galvano et al. (1998) ²⁵⁶
HSCAS	DON	3.9	Galvano et al. (1998) ²⁵⁶
Zeolite	AFB ₁	99	Tomasevic-Canovic et al. (2003) ²⁵⁴
Zeolite	ZEN	5	Tomasevic-Canovic et al. (2003) ²⁵⁴
Zeolite	OTA	40	Tomasevic-Canovic et al. (2003) ²⁵⁴
Organozeolite	OTA	41-52	Dakovic et al. (2003) ²⁶¹
Sepiolite	OTA	10.5	Galvano et al. (1998) ²⁵⁶
Sepiolite	DON	4.5	Galvano et al. (1998) ²⁵⁶
Clinoptilolite	AFB ₁	6	Lemke et al. (2001) ²⁵⁵
Na-bentonite	AFB ₁	95-98.5	Diaz et al. (2002) ²⁵³
Ca-bentonite	AFB ₁	98.5	Diaz et al. (2002) ²⁵³
Esterified glucomannan	AFB ₁	96.6	Diaz et al. (2002) ²⁵³

Πηγή: Food Science and Nutrition

Το HSCAS από φυσικό ζεολίτη είναι το πιο εκτενώς ερευνόμενο προσροφητικό μέσο επειδή κατέχει υψηλή συγγένεια για τις αφλατοξίνες. Αρκετά πειράματα *in vivo* και *in vitro* έδειξαν ότι το HSCAS είναι το πιο αποτελεσματικό μέσο προσρόφησης για χρήση ενάντια στις αφλατοξίνες⁴⁷. Σε μια πολύ εκτεταμένη μελέτη, οι Edrington et al. παρατήρησαν μια σημαντική μείωση στη μεταφορά AFM₁ σε μικρά γαλόπουλα που είχαν ταϊστεί 0,75 mg AFB₁ kg⁻¹ σωματικού βάρους μαζί με 0,5% AC ή 0,5% HSCAS (πίνακας 6). Ομοίως, έχει αναφερθεί ότι η χρήση 0,5% HSCAS είχε ως αποτέλεσμα μια σημαντική μείωση στην μεταφορά του AFM₁ σε δείγματα ούρων.

Οι ζεολίτες είναι κρυσταλικά, ένυδρα αργιλοπυριτικά αλκάλι κατιόντα αλκαλικών γαιών που έχουν ως χαρακτηριστικό άπειρη τρισδιάστατη δομή⁴⁷. Συγκρινόμενος με ζεολίτη, το HSCAS έδειξε πολύ υψηλότερες προσροφητικές ικανότητες απέναντι στις αφλατοξίνες. Όταν προστεθούν HSCAS ή ζεολίτης σε συγκέντρωση 0,5% σε τροφή για ποντίκια με 2 mg AF kg⁻¹ σωματικό βάρος, η απέκκριση του AFM₁ στα ούρα των αρουραίων μειώθηκε σημαντικά.

Πίνακας 6: *In vivo* προσρόφηση των μυκοτοξινών από διάφορα προσροφητικά

Adsorbent	Concentration (%)	Mycotoxin	Effects observed	Reference
Activated carbon	0.5	AFB ₁	Reduced excretion of AFM ₁ in turkey poult, no protective effects against aflatoxicosis	Edrington et al. (1996) ²⁵⁷
Activated carbon	1	AFB ₁	76% reduction in AFM ₁ concentration in milk of lactating goats	Nageswara Rao and Chopra (2001) ²⁴⁸
Activated carbon	2	AFB ₁	Carry-over reduction of AFM ₁ in milk of lactating cows diminished by 50%	Galvano et al. (1998) ²⁵⁶
HSCAS	0.5	AFB ₁	Significant reduction of urinary excretion of AFM ₁ in rats	Sarr et al. (1995) ²⁵⁸
HSCAS	0.5	AFB ₁	Significant decrease of urinary excretion of AFM ₁ in turkey poult	Edrington et al. (1996) ²⁵⁷
HSCAS	0.5	AFB ₁	Reduced excretion of AFM ₁ in urine of rats	Abdel-Wahhab and Nada (1998) ²⁵⁹
HSCAS	2	AFB ₁	Carry-over reduction of AFM ₁ in milk of lactating cows diminished by 36%	Galvano et al. (1998) ²⁵⁶
HSCAS	0.5	AFB ₁	Significant decrease of urinary excretion of AFM ₁ in rats	Mayura et al. (1998) ²⁶³
HSCAS	0.5	AF	Decrease of bioavailability of AF in the gastrointestinal tract of rats; protection against aflatoxicosis in animals	Abdel-Wahhab et al. (2002) ²⁶⁰
Zeolite	0.5	AFB ₁	No significant effect (rats)	Mayura et al. (1998) ²⁶³
Montmorillonite	0.5	AF	Reduction of bioavailability of AF in the gastrointestinal tract of rats; protection against aflatoxicosis in rats	Abdel-Wahhab et al. (2002) ²⁶⁰
Clinoptilolite	1.5 -2.5	AFB ₁	Protection against aflatoxicosis	Oğuz et al. (2000) ²⁶²
Bentonite	2	AFB ₁	80% reduction of AFB ₁ level in liver and kidney of fish	Ellis et al. (2000) ²⁶²
Bentonite	1	AFB ₁	66% reduction in AFM ₁ level in milk of lactating goats	Nageswara Rao and Chopra (2001) ²⁴⁸

Πηγή: Food Science and Nutrition

Επίσης έχει παρατηρηθεί ότι οι τοξικές επιδράσεις της οχρατοξίνης A στην γαστρεντερική οδό μπορούν να προληφθούν χρησιμοποιώντας οργανικό ζεολίτη στις ζωοτροφές.

Τα τελευταία χρόνια, έχει αυξηθεί το ενδιαφέρον στην υπόθεση ότι η προσρόφηση στο φαγητό προς κατανάλωση μπορεί να εμποδιστεί από μικροοργανισμούς στην γαστρεντερική οδό. Πολλοί ερευνητές έδειξαν ότι μερικά γαλακτοκομικά στελέχη από βακτήρια λακτικού οξέος και βακτήρια *bifidus* κατάφεραν να δεσμεύσουν αποτελεσματικά τις αφλατοξίνες. Η ικανότητα δέσμευσης αφλατοξινών από τα βιώσιμα και νεκρά από θερμότητα βακτήρια παρουσιάζεται στους πίνακες 7 και 8, αντίστοιχα. Παρόλο που οι μηχανισμοί δέσμευσης της αφλατοξίνης από συγκεκριμένα βακτήρια λακτικού οξέος έχει προταθεί ότι μειώνει την απορρόφηση μεταλλαξιογόνων και καρκινογόνων ουσιών από δέσμευση βακτηρίων στο λεπτό έντερο. Η δέσμευση του AFB₁ από τα βακτήρια λακτικού οξέος

θεωρείται ότι είναι ένα φυσικό φαινόμενο που σχετίζεται με την δομή της κυτταρικής μεμβράνης.

Πίνακας 7: Πρόσδεση των αφλατοξινών από βιώσιμα βακτήρια σε συνθήκες *in vitro*

Bacteria	Bacterial conc'n (CFU ml ⁻¹)	AF conc'n (μg ml ⁻¹)	% AF bound	Reference
<i>Lb. acidophilus</i> E-94507	1 × 10 ¹⁰	5 AFB ₁	18.2	Peltonen et al. (2001) ²⁷³
<i>Lb. acidophilus</i> CSCC 5361	1 × 10 ¹⁰	5 AFB ₁	20.7	Peltonen et al. (2001) ²⁷³
<i>Lb. acidophilus</i> ATCC 4356	1 × 10 ¹⁰	5 AFB ₁	48.4	El-Nezami et al. (1998) ²⁶³
<i>Lb. acidophilus</i> LA1	10 ⁸	0.15 AFM ₁	18.3	Picrides et al. (2000) ²⁷²
<i>Lb. acidophilus</i> NCC 12	10 ⁸	0.1 AFM ₁	30.5	Kabak and Var (2004) ²⁷⁵
<i>Lb. acidophilus</i> NCC 36	10 ⁸	0.1 AFM ₁	28.0	Kabak and Var (2004) ²⁷⁵
<i>Lb. acidophilus</i> NCC 68	10 ⁸	0.1 AFM ₁	25.7	Kabak and Var (2004) ²⁷⁵
<i>Lb. rhamnosus</i> E-97800	1 × 10 ¹⁰	5 AFB ₁	22.7	Peltonen et al. (2001) ²⁷³
<i>Lb. rhamnosus</i> CSCC 2420	1 × 10 ¹⁰	5 AFB ₁	33.1	Peltonen et al. (2001) ²⁷³
<i>Lb. rhamnosus</i> LBGG	10 ¹⁰	5 AFB ₁	75.3	El-Nezami et al. (1998) ²⁶³
<i>Lb. rhamnosus</i> LC705	10 ¹⁰	5 AFB ₁	76.1	El-Nezami et al. (1998) ²⁶³
<i>Lb. rhamnosus</i> LBGG	2 × 10 ¹⁰	5 AFB ₁	78.5	Kamkarpoor et al. (2000) ²⁶⁴
<i>Lb. rhamnosus</i> GG	10 ⁸	0.15 AFM ₁	50.7	Picrides et al. (2000) ²⁷²
<i>Lb. rhamnosus</i> LC705	10 ⁸	0.15 AFM ₁	46.3	Picrides et al. (2000) ²⁷²
<i>Lb. rhamnosus</i> U3	10 ⁸	0.15 AFM ₁	18.1	Picrides et al. (2000) ²⁷²
<i>Lb. rhamnosus</i> GG	10 ¹⁰	5 AFB ₁	76	Haskard et al. (2000) ²⁷⁰
<i>Lb. rhamnosus</i> LC705	10 ¹⁰	5 AFB ₁	77	Haskard et al. (2000) ²⁷⁰
<i>Lb. plantarum</i> E-79098	1 × 10 ¹⁰	5 AFB ₁	28.4	Peltonen et al. (2001) ²⁷³
<i>Lb. paracasei</i> F19	10 ¹⁰	5 AFB ₁	28	Peltonen et al. (2000) ²⁶⁹
<i>Lb. crispatus</i> M247	10 ¹⁰	5 AFB ₁	6	Peltonen et al. (2000) ²⁶⁹
<i>Lb. crispatus</i> MU5	10 ¹⁰	5 AFB ₁	20	Peltonen et al. (2000) ²⁶⁹
<i>Lb. fermentum</i> CSCC 5362	1 × 10 ¹⁰	5 AFB ₁	22.6	Peltonen et al. (2001) ²⁷³
<i>Lb. johnsonii</i> CSCC 5142	1 × 10 ¹⁰	5 AFB ₁	30.1	Peltonen et al. (2001) ²⁷³
<i>Lb. johnsonii</i> L.J-1	10 ¹⁰	5 AFB ₁	31	Peltonen et al. (2000) ²⁶⁹
<i>B. lactis</i> CSCC 5094	1 × 10 ¹⁰	5 AFB ₁	34.7	Peltonen et al. (2001) ²⁷³
<i>B. lactis</i> Bb-12	10 ¹⁰	5 AFB ₁	17	Peltonen et al. (2000) ²⁶⁹
<i>B. longum</i> CSCC 5304	1 × 10 ¹⁰	5 AFB ₁	37.5	Peltonen et al. (2001) ²⁷³
<i>B. longum</i> B1 24	10 ⁸	0.1 AFM ₁	26.7	Kabak and Var (2004) ²⁷⁵
<i>B. bifidum</i> Bb13	10 ⁸	0.1 AFM ₁	32.5	Kabak and Var (2004) ²⁷⁵
<i>Propionibacterium freu. ssp. shermanii</i> JS	10 ¹⁰	5 AFB ₁	34.1	El-Nezami et al. (1998) ²⁶³
<i>P. freu. ssp. shermanii</i> JS	10 ¹⁰	5 AFB ₁	22	Haskard et al. (2000) ²⁷⁰

Πηγή: Food Science and Nutrition

Οι πεπτιδογλυκάνες και οι πολυζακαχαρίτες της κυτταρικής μεμβράνης θεωρούνται ότι είναι τα δύο πιο σημαντικά στοιχεία που ευθύνονται για την δέσμευση από τα βακτήρια λακτικού οξέος. Ομοίως, οι El-Nezami et al⁶¹. ανέφεραν ότι όλα τα θετικά gram γένη που δοκιμάστηκαν ήταν πιο αποτελεσματικά από το *Escherichia coli*, κάτι που δείχνει ότι η δυνατότητα των βακτηρίων να απομακρύνουν το AFB₁ εξαρτάται από την δομή της κυτταρικής μεμβράνης. Επιπλέον, έχει αναφερθεί, ότι οι διαφορές στην δέσμευση AFB₁ από τα δοκιμασμένα γένη είναι πιθανόν εξαιτίας των διαφορετικών κυτταρικών μεμβρανών των βακτηρίων και του περιβλήματος της δομής της κυτταρικής μεμβράνης. Ωστόσο, είναι πιθανόν ότι πολλαπλές συνιστώσες σχετίζονται με την δέσμευση AFB₁.

Πίνακας 8: Πρόσδεση των αφλατοξινών από βακτήρια που θανατώνονται με θερμότητα σε *in vitro* συνθήκες.

Bacteria	Bacterial conc'n (CFU ml ⁻¹)	AF conc'n (µg ml ⁻¹)	% AF bound	Reference
<i>Lh. rhamnosus</i> GG	10 ¹⁰	5 AFB ₁	30.5	El-Nezzami et al. (1998) ²⁵⁶
<i>Lh. rhamnosus</i> GG	10 ¹⁰	5 AFB ₁	83	Haskard et al. (2000) ²⁷⁰
<i>Lh. rhamnosus</i> GG	10 ⁸	0.15 AFM ₁	57.8	Pierides et al. (2000) ²⁷²
<i>Lh. rhamnosus</i> LC 705	10 ¹⁰	5 AFB ₁	28.5	El-Nezzami et al. (1998) ²⁵⁶
<i>Lh. rhamnosus</i> LC 705	10 ⁸	0.15 AFM ₁	51.6	Pierides et al. (2000) ²⁷²
<i>Lh. rhamnosus</i> U3	10 ⁹	0.15 AFM ₁	39.9	Pierides et al. (2000) ²⁷²
<i>Lh. acidophilus</i> LA1	10 ⁹	0.15 AFM ₁	25.5	Pierides et al. (2000) ²⁷²
<i>Lh. acidophilus</i> LC1	10 ¹⁰	5 AFB ₁	74.7	Haskard et al. (2001) ²⁷⁶
<i>Lh. acidophilus</i> ATCC 4356	10 ¹⁰	5 AFB ₁	69.7	Haskard et al. (2001) ²⁷⁶
<i>Lh. gasseri</i> ATCC 33233	10 ⁹	0.15 AFM ₁	61.5	Pierides et al. (2000) ²⁷²
<i>Lc. lactis</i> ssp <i>cremoris</i> ARH74	10 ⁹	0.15 AFM ₁	38.9	Pierides et al. (2000) ²⁷²
<i>Lc. lactis</i> ssp <i>cremoris</i>	10 ¹⁰	5 AFB ₁	40.1	Haskard et al. (2001) ²⁷⁶
<i>Lc. lactis</i> ssp <i>lactis</i>	10 ¹⁰	5 AFB ₁	58.1	Haskard et al. (2001) ²⁷⁶
<i>Bifidobacterium</i> spp. JO3	10 ¹⁰	10 AFB ₁	41	Oatley et al. (2000) ²⁶⁸
<i>Bifidobacterium</i> spp. JR20	10 ¹⁰	10 AFB ₁	37	Oatley et al. (2000) ²⁶⁸
<i>Bifidobacterium</i> spp. CH4	10 ¹⁰	10 AFB ₁	37	Oatley et al. (2000) ²⁶⁸
<i>Bifidobacterium</i> spp. Bf 6	10 ¹⁰	10 AFB ₁	25	Oatley et al. (2000) ²⁶⁸
<i>B. adolescentis</i> I4	10 ¹⁰	10 AFB ₁	31	Oatley et al. (2000) ²⁶⁸
<i>B. bifidum</i> BGN4	10 ¹⁰	10 AFB ₁	46	Oatley et al. (2000) ²⁶⁸

Πηγή: Food Science and Nutrition

ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ

Συζητήθηκαν στρατηγικές για την πρόληψη μόλυνσης από μυκοτοξίνες στα τρόφιμα και τις ζωοτροφές. Είναι σαφές ότι οι μυκοτοξίνες μπορούν να μολύνουν τα αγροτικά προϊόντα τόσο στον αγρό όσο και κατά τη διάρκεια αποθήκευσης. Η χρήση στρατηγικών πρόληψης πριν τη συγκομιδή για ποικιλίες τέτοιας ανθεκτικότητας, η διαχείριση του χωραφιού, η χρήση βιολογικών και χημικών παραγόντων, η διαχείριση της συγκομιδής και οι εφαρμογές μετά την συγκομιδή, συμπεριλαμβανομένων των συνεχών βελτιούμενων συνθηκών αποξήρανσης και αποθήκευσης, μαζί με την χρήση φυσικών και χημικών παραγόντων, και ακτινοβολίας, έδειξαν καθαρά ότι είναι σημαντικές στην πρόληψη μυκοτοξιγενούς ανάπτυξης μούχλας και στον σχηματισμό μυκοτοξινών. Η σημασία της αποξήρανσης και του ελέγχου υγρασίας κατά την αποθήκευση είναι γενικά καλώς κατανοητή από την βιομηχανία από την άποψη της σημασίας της πρόληψης μόλυνσεως από μύκητες. Ενδιαφέροντα αποτελέσματα αναφέρθηκαν για την πιθανή χρήση βιοανταγωνιστικών παραγόντων σε διάφορες στρατηγικές βιολογικού ελέγχου για την πρόληψη μόλυνσης από αφλατοξίνες πριν τη συγκομιδή σε σοδειές όπως φιστικιών, ρυζιού, καλαμποκιού και μπαμπακόσπορου. Είναι εμφανές ότι πολύ περισσότερη δουλειά πρέπει να διεξαχθεί για να αναγνωριστούν τα γενότυπα των διαφόρων σοδειών τα οποία είναι ανθεκτικά στην μόλυνση από μυκοτοξιγενείς μύκητες και κατά συνέπεια από το σχηματισμό μυκοτοξίνης. Είναι επίσης εμφανές ότι ένας συνδυασμός ανάπτυξης ειδών καλλιέργειας με αντοχή στους τοξιγενείς μύκητες και βιοανταγωνιστικές τεχνολογίες μη μυκοτοξιγενών ειδών μπορούν να αποδώσουν μια από τις πιο αποτελεσματικές στρατηγικές για την πρόληψη μόλυνσης από μυκοτοξίνες.

Πολλά φυσικά εκχυλίσματα φυτών και αιθέριων ελαίων μπαχαρικών όπως ευγενόλης, κανέλας, ρίγανης, κρεμμυδιών, lemongrass, τουρμερίνης, μέντας και χημικών ενώσεων (μυκητοκτόνων, ζιζανιοκτόνων και επιφανειοδραστικών) είναι γνωστό ότι εμποδίζουν τόσο την ανάπτυξη μυκοτοξιγενούς μούχλας όσο και τον σχηματισμό μυκοτοξίνης κατά τη διάρκεια της περιόδου μετά την συγκομιδή. Μαζί με την εφαρμογή φυτικών εκχυλισμάτων και χημικών παραγόντων, καθώς και ανταγωνιστικών προϊόντων όπως τα βακτήρια λακτικού οξέος με τις αντιμυκητιακές

του ιδιότητες, δείχνουν να είναι πολύ αποτελεσματικά στην πρόληψη σχηματισμού μυκοτοξινών.

Πολλές φυσικές και χημικές στρατηγικές έχουν επίσης αναπτυχθεί για να βοηθήσουν στην πρόληψη της μόλυνσης από μυκοτοξίνες, όπως ο φυσικός διαχωρισμός και η προσρόφηση. Ο καθαρισμός του καλαμποκιού, του μπαμπακόσπορου και των σύκων με φθορισμό κάτω από λάμπα UV ακτινοβολίας είναι ο πιο ανέξοδος και ο πιο απλός αποδεκτός τρόπος για τον εντοπισμό των αφλατοξινών. Είναι εμφανές ότι καμία μεμονωμένη διαθέσιμη φυσική ή χημική μέθοδος απομάκρυνσης τοξινών δεν είναι κατάλληλη για όλα τα τρόφιμα και τις ζωοτροφές. Η αποτελεσματικότητα μιας μεθόδου στην απομάκρυνση μυκοτοξινών εξαρτάται από τη φύση της τροφής, τις περιβαλλοντικές συνθήκες όπως το περιεχόμενο υγρασίας, τη θερμοκρασία, καθώς και από τον τύπο της μυκοτοξίνης, την συγκέντρωσή της και την έκταση των δεσμών μεταξύ των μυκοτοξινών και των συστατικών. Ενώ ένας αριθμός χημικών ενώσεων, όπως το υδροχλωρικό οξύ, η αμμωνία, το υπεροξειδίο του υδρογόνου, το O_3 , το διθειώδες νάτριο και η χλωρίνη δείχνουν να έχουν μεγάλη δυνατότητα στην απομάκρυνση τοξινών των μυκοτοξινών, δυστυχώς η χρήση τους μειώνει σημαντικά την θρεπτική αξία των τροφίμων ή παράγει τοξικά παράγωγα στο προϊόν που έχει δεχθεί αγωγή με ανεπιθύμητες αισθητηριακές ιδιότητες. Αυτό περιορίζει σημαντικά την διαδεδομένη χρήση τους. Ταυτόχρονα, θα πρέπει να σημειωθεί ότι η χημική αγωγή δεν επιτρέπεται μέσα στην EC για τρόφιμα που προορίζονται για κατανάλωση από τον άνθρωπο.

Η πιο πρόσφατη προσέγγιση στο πρόβλημα είναι η χρήση παραγόντων που δεσμεύουν την μυκοτοξίνη στην τροφή που θα διαχωρίσει την μυκοτοξίνη στην γαστρεντερική οδό και έτσι θα εμποδίσει την βιοδιαθεσιμότητά της. Παρόλο που ο ενεργός άνθρακας, το HSCAS, το αργίλοπυριτικό και ο ζεολίτης έχουν δείξει να αποτελούν μια καλή λύση για χρήση στις ζωοτροφές ώστε ξεπεραστεί η αφλατοξίκωση, το μέλλον των ερευνών πρέπει να εστιαστεί σε άλλες προβληματικές μυκοτοξίνες, οι οποίες εγκυμονούν κινδύνους στην ασφάλεια των τροφίμων.

BIBΛIOΓPAΦIA

1. Peraica M, Radic B, Lucic A, Pavlovic M, Diseases Caused by Molds in Humans. *Buletin of the World Health Organization*, 1999
2. Miller J.D., Trenholm H.L., Mycoloxins in Grain, Compounds Other Than Aflatoxin, Aegen Press, U.S.A., 1994, p.3
3. Bennet J.W., Klich M., Mycotoxins CIm, *Microb. Rev.* 2003, 16. 497-516
4. "Grain Fungal Diseases & Microtoxins Reference" GIPSA Technical Services Division, Kansas, 1999
5. Calvo A. M., Wilson R.A., Bok J.W., Keller N.P., Relationship between Secondary Metabolism and Fungal Development, *Microb. Mol. Biol Rev.* 2002, 66, 447-459
6. Blackwell B.A., Savard M.E., Mycotoxins Natural Products of Agriculture Importance, *Can Chem. News* 2000, 15-17
7. Kotsonis F.N., Burdock G.A., Flamm W.G., Food toxicology In Casarett & Duoll's toxicology, the basic science of poisons. C.D. Klaassen, New York, 1996
8. Pazoutova S., The Evolution Strategy of Claviceps, White J.F., Bacon C.W., Hywel -Jones N.L. (Eds) Marcel Dekker, New York, 2002, pp 329-345
9. European Mycotoxins Awareness Network (EMAN)
<http://www.lfra.co.uk/eman2/factsheet.asp>
10. Cole R.J., Cox R.H., Handbook of toxic fungal metabolites Academic Press, New York, 1981
11. Bauer J., Schneweiss I., Meyer K., Roquefortine C and mycophenolic acid in silages, significance for animal health, *Hungar, Vet. J.* 2001, 123, 679-685
12. Allison A.C., Eugui E.M., Mycophenolate mofetil and its mechanism of action *Immatopharmacology* 2000, 47, 85-118
13. Mele T., Halloran P.F., The use of mycophenolate mofelit in transplant recipients, *Immatopharmacology* 2000, 47, 215-245
14. Ozkaya, S., Tayda,s, E.E., Ba,aran, A., Avci, B., and Hızlı, S. 1999. Tarım ve Koyisleri Bakanlığı Ankara İl Kontrol Laboratuvarı aflatoksin analiz kurs notları. 7-14 Agustos, Ankara.

15. Codex Alimentarius Commission 2002. Proposed draft code of practice for the prevention (reduction) of mycotoxin contamination in cereals, including annexes on ochratoxin A, zearalenone, fumonisins, CX/FAC 02/21 , Food Standards Programme, Rotterdam, Netherlands.
16. EC report (European Commission report). 1999. Opinion on the relationship between the use of plant protection products on food plants and the occurrence of mycotoxins in foods, *European Commission SCP/RESI/063*, Belgium.
17. Klich, M.A. 1998. Soil fungi of some low-altitude desert cotton fields and ability of their extracts to inhibit *Aspergillus flavus*. *Mycopathologia*, **142**:97–100.
18. Aldred, D., and Magan, N. 2004. Prevention strategies for trichothecenes. *Toxicol. Lett.*, **153**:165–171.
19. Tekauz, A. 2002. *Fusarium* head blight of oat in Western Canada—preliminary studies on *Fusarium* species involved and level of mycotoxin in grain. *J. Appl. Genet.*, **43**:197–206.
20. Langesth, W., and Rudberget, T. 1999. The occurrence of HT-2 toxin and other trichothecenes in Norwegian cereals. *Mycopathologia*, **147**:157–165.
21. Snijders, C.H.A. 2004. Resistance in wheat to *Fusarium* infection and trichothecene formation. *Toxicol. Lett.*, **153**:37–46.
22. Mesterhazy, A. 2002. Role of deoxynivalenol in aggressiveness of *Fusarium graminearum* and *F. culmorum* and in resistance to *Fusarium* head blight. *Eur. J. Plant Pathol.*, **108**:675–684.
23. Bai, G.H., Plattner, R., Desjardins, A. and Kolb, F. 2001. Resistance to *Fusarium* head blight and deoxynivalenol accumulation in wheat. *Plant Breeding*, **120**:1–6.
24. Cleveland, T., Dowd, P.F., Desjardins, A.E., Bhatnagar, D., and Cotty, P.J. 2003. United States Department of Agriculture-Agricultural research service research on pre-harvest prevention of mycotoxins and mycotoxigenic fungi in US crops. *Pest Manag. Sci.*, **59**:629–642, with permission from John Wiley & Sons.
25. EMAN (European Mycotoxin Awareness Network), Fact sheets on evaluation and risk issues, fact sheet 1, decontamination, processing effect and risk analysis aspects. Available online at: <http://193.132.190.215/eman2/index.asp>
26. Nicholson, P., Turner, J.A., Jenkinson, P., Jennings, P., Stonehouse, J., Nuttall, M., Dring, D., Weston, G., and Thomsett, M. 2003. Maximising control with fungicides of *Fusarium* ear blight (FEB) in order to reduce toxin contamination of wheat. Project report No. 297, HGCA, London.
27. Martin, R.A., MacLeod, J.A., and Caldwell, C. 1991. Influences of production inputs on incidence of infection by *Fusarium* species on cereal seed. *Plant Dis.*, **75**:784–788.

28. Lemmens, M., Haim, K., Lew, H., and Ruckenbauer, P. 2004. The effect of nitrogen fertilization on *Fusarium* head blight development and deoxynivalenol contamination in wheat. *J. Phytopathol.*, **152**:1–8.
29. Iqbal, R., Belhadj, A., Menez, M., and Faure, A. 2005. The effects of fungicides on *Fusarium* spp. and *Microdochium nivale* and their associated trichothecene mycotoxins in French naturally-infected cereal grains. *Crop Prot.*, **24**:894–902.
30. Codex Alimentarius Commission. 2004. Code of Practice for the prevention and reduction of aflatoxin contamination in peanuts. CAC/RCP **55**.
31. Codex Alimentarius Commission. 2002. Discussion paper on aflatoxins in pistachios. CX/FAC 02/22, *Joint FAO/WHO Food Standards Programme*, Rotterdam, Netherlands.
32. Codex Alimentarius Commission. 2002. Proposed draft code of practice for the prevention of patulin contamination in apple juice and apple juice ingredients in other beverages, CX/FAC 02/20, *Joint FAO/WHO Food Standards Programme*, Rotterdam, Netherlands.
33. Bertelsen, D., Harwood, J., Lee, H., Somwaru, A., and Zepp, G. 1995. Pistachios: An economic assessment of the feasibility of providing multiple-peril crop insurance, Prepared by the Economic Research Service, USDA for the Consolidated Farm Service Agency, Office of Risk Management.
34. Boutrif, E. 1998. Prevention of aflatoxin in pistachios. *Food Nutr. Agric.*, **21**:32–39.
35. Jackson, L.S., Beacham-Bowden, T., Keller, S.E., Adhikari, C., Taylor, K.T., Chirtel, S.J., and Merker, R.I. 2003. Apple quality, storage, and washing treatments affect patulin levels in apple cider, *J. Food Prot.*, **66**:618–624.
36. Heathcote, J.G., and Hibbert, J.R. 1978. *Aflatoxin Chemical and Biological Aspects*. Elsevier Scientific Publishing Company, Amsterdam.
37. Lund, F., and Frisvad, J.C. 2003. *Penicillium verrucosum* in wheat and barley indicates presence of ochratoxin A, *J. Appl. Microbiol.*, **95**:1117–1123.
38. Moodley, R.S., Govinden, R., and Odhav, B. 2002. The effect of modified atmospheres and packaging on patulin production in apples. *J. Food Prot.*, **65**:867–871.
39. Fernanda, M., De Castro, P.P.M., Pachelo, I.A., Soares, M.V., Furlant, R.P.Z., De Paula, D.C., and Bolonhezi, S. 1996. Warehouse control of *Aspergillus flavus* link and *Aspergillus parasiticus* spore on peanuts (*Arachis hypogaea*) by phosphine fumigation and its effect on aflatoxin production *J. Food Prot.*, **59**:407–411, with permission from Journal of Food Protection.
40. Antonacci, L., Salvat, A.E., Faifer, C., and Godoy, H.M. 1999. Suppression of spore germination and aflatoxin biosynthesis in *Aspergillus parasiticus* during and after exposure to high levels of phosphine. *Mycopathologia*, **147**:83–87.

41. Zohri, A.A., Saber, S.M., and Mostafa, E. 1997. Effect of selenite and tellurite on the morphological growth and toxin production of *Aspergillus parasiticus* var. *globosus* IMI 120920. *Mycopathologia*, 139:51– 57.
42. Mahmoud, A.L. 1999. Inhibition of growth and aflatoxin biosynthesis by *Aspergillus flavus* by extracts of some Egyptian plants. *Lett. Appl. Microbiol.*, 29:334–336, with permission from Blackwell Publishing.
43. Molins, R.A., Motarjemi, Y., and K^oferstein, F. K. 2001. Irradiation: acritical control point in ensuring the microbiological safety of raw foods. *Food Control*, 12:347–356, with permission from Elsevier.
44. Raso, J., and Barbosa-Canovas, G.V. 2003. Nonthermal preservation of foods using combined processing techniques. *Crit. Rev. Food Sci. Nutr.*, 43:265–285.
45. Aziz, N.H., El-Zeany, S.A., and Moussa, L.A.A. 2002. Influence of γ - irradiation and maize lipids on the production of aflatoxin B1 by *Aspergillus flavus*. *Nahrung*, 5:327–331.
46. Refai, M.K., Aziz, N.H., El-Far, F., and Hassan, A.A. 1996. Detection of ochratoxin produced by *Aspergillus ochraceus* in feedstuffs and its control by γ -radiation. *Appl. Radiat. Isotopes*, 47:617–621, with permission from Elsevier.
47. Galvano, F., Piva, A., Ritieni, A., and Galvano, G. 2001. Dietary strategies to counteract the effects of mycotoxins: A review. *J. Food Prot.*, 64:120– 131, with permission from Journal of Food Protection.
48. Rustom, I.Y.S. 1997. Aflatoxin in food and feed: occurrence, legislation and inactivation by physical methods. *Food Chem.*, 59:57–67, with permission from Elsevier.
49. EMAN, Evaluation and Risk-Training Course 1, Decontamination of mycotoxin contaminated raw materials. Available online at: <http://193.132.190.215/eman2/index.asp>
50. Sydenham, E.W., Vismer, H.F., Marasas, W.F.O., Brown, N., Schlechter, M.W.L., and Rheeder, J.P. 1995. Reduction of patulin in apple juice samples-influence of initial processing. *Food Control*, 6:195–200, with permission from Elsevier.
51. Rayner, E.T., Koltun, S.P., and Dollear, F.G. 1977. Solvent extraction of aflatoxins from contaminated agricultural products. *J. Am. Oil. Chem. Soc.*, 54:242A.
52. Doyle, M.P., Applebaum, R.S., Brackett, R.E., and Marth, E.M. 1982. Physical, chemical and biological degradation mycotoxins in foods and agricultural commodities, *J. Food Prot.*, 45:964–971, with permission from Journal of Food Protection.

53. Kadakal, C., and Nas, S. 2003. Effect of heat treatment and evaporation on patulin and some other properties of apple juice. *J. Sci. Food Agric.*, **83**:987–990, with permission from John Wiley & Sons.
54. Samarajeewa, U., Sen, A.C., Cohen, M.D., and Wei, C.I. 1990. Detoxification of aflatoxins in foods and feeds by physical and chemical methods. *J. Food Prot.*, **53**:489–501, with permission from Journal of Food Protection.
55. Scott, P.M. 1998. Industrial and farm detoxification processes for mycotoxins. In: Le Bars, J., and Galtier, P. Eds., *Mycotox'98 International symposium*. 2-4 July, Toulouse, France, 543–548.
56. Heathcote, J.G., and Hibbert, J.R. 1978. *Aflatoxin Chemical and Biological Aspects*. Elsevier Scientific Publishing Company, Amsterdam.
57. Shantha, T. 1999. Fungal degradation of aflatoxin B1. *Nat. Toxins*, **7**:175–178, with permission from John Wiley & Sons.
58. Bennett, G.A., and Richard, J.L. 1996. Influence of processing on *Fusarium* mycotoxins in contaminated grains. *Food Technol.*, (May):235–238.
59. Cabanes, F.J., Accensi, F., Bragulat, M.R., Abarca, M. L., Castell'a, G., Minguez, S., and Pons, A. 2002. What is the source of ochratoxin A in wine?, *Int. J. Food Microbiol.*, **79**:213–215, with permission from Elsevier.
60. Lemke, S.L., Ottinger, S.E., Mayura, K., Ake, C.L., Pimpukdee, K., Wang, N., and Phillips, T.D. 2001. Development of a multi-tiered approach to the in vitro prescreening of clay-based enterosorbents. *Anim. Feed Sci. Technol.*, **93**:17–29, with permission from Elsevier.
61. El-Nezami, H., Kankaanpaa, P., Salminen, S., and Ahokas, J. 1998. Ability of dairy strains of lactic acid bacteria to bind a common food carcinogen, aflatoxin B1. *Food Chem. Toxicol.*, **36**:321–326, with permission from Elsevier.