



Ινστιτούτο Γεωπονικών Επιστημών

Κληροδότημα Ιφιγένειας Ανδρέα Συγγρού

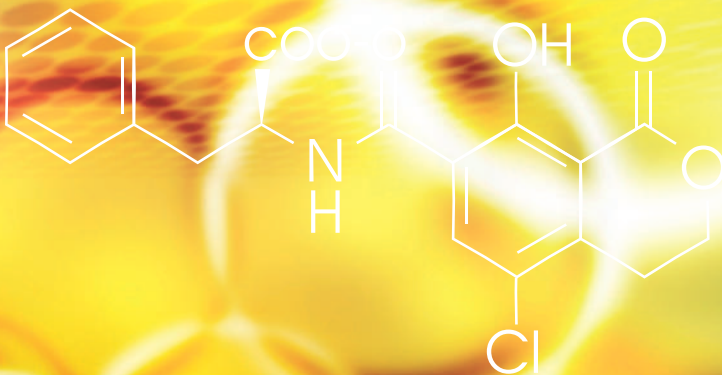
Ν.Π.Δ.Δ. Υπουργείο Αγροτικής Ανάπτυξης & Τροφίμων

Μυκοτοξίνες στα γεωργικά προϊόντα

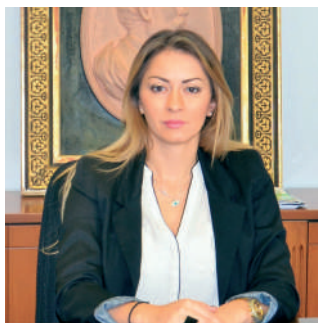
Ένας σοβαρός κίνδυνος
για την ασφάλεια των τροφίμων

Δημήτριος Ι. Τσιτσιγιάννης

Επίκουρος Καθηγητής Φυτοπαθολογίας, Γεωπονικό Πανεπιστήμιο Αθηνών



Αθήνα 2016



Το **Ινστιτούτο Γεωπονικών Επιστημών (Ι.Γ.Ε.)** είναι ένα Ν.Π.Δ.Δ. το οποίο τελεί υπό την αιγίδα του Υπουργείου Αγροτικής Ανάπτυξης και Τροφίμων και διαχειρίζεται το Κληροδότημα της Ιφιγένειας Ανδρέα Συγγρού.

Σήμερα, το Ι.Γ.Ε. με γνώμονα τις προκλήσεις και τις νέες τάσεις συμβάλλει αποτελεσματικά στην ανάπτυξη του αγροτικού τομέα, αξιοποιώντας με σεβασμό τη σπουδαία κληρονομιά της Ιφιγένειας Συγγρού. Ειδικότερα, συνεχίζει να παρέχει γεωργική εκπαίδευση και κατάρτιση με τη μορφή σεμιναριακών θεωρητικών και πρακτικών μαθημάτων, καλύπτοντας τους βασικούς τομείς της ελληνικής γεωργίας όπως Αμπελουργία, Δενδροκομία, Ελαιοκομία, Λαχανοκομία, Μελισσοκομία αλλά και Κηποτεχνία και Ανθοκομία κ.α., εμπλουτίζοντας συνεχώς το πρόγραμμα σπουδών του με καινοτόμα θεματολογία. Η πορεία του Ινστιτούτου κατά τα πρώτα βήματα της νέας χιλιετίας σημειώνει σταθερά μια ανοδική τάση τόσο ως προς τους αριθμούς των εκπαιδευομένων, όσο και ως προς την ποιότητα της παρεχόμενης εκπαίδευσης. Παράλληλα, το Ινστιτούτο Γεωπονικών Επιστημών διοργανώνει συνέδρια και ημερίδες γεωργικού ενδιαφέροντος και συμμετέχει ενεργά σε ερευνητικά προγράμματα.

Η ιστορία του ΙΓΕ, η μακρόχρονη εμπειρία του σε σεμινάρια αγροτικής εκπαίδευσης, μα κυρίως οι άνθρωποί του (διοίκηση και εκπαιδευτές) είναι αυτοί που συντελούν στην προσπάθεια αυτή.

Η παρούσα έκδοση συμβάλλει στην επικαιροποιημένη και ουσιαστικότερη ενημέρωση σχετικά με τις μυκοτοξίνες. Είναι ουσίες (δευτερογενείς μεταβολίτες) που παράγονται από ορισμένα είδη μυκήτων όταν αυτά αναπτύσσονται σε τρόφιμα και ζωοτροφές στον αγρό ή όταν αποθηκεύονται και διακινούνται υπό ακατάλληλες συνθήκες. Τα τελευταία χρόνια, η παραγωγή μυκοτοξινών έχει λάβει τεράστια προσοχή παγκόσμια λόγω του ότι αποτελεί κίνδυνο για την ανθρώπινη υγεία αλλά και για την υγεία των ζώων. Μέσα στη χρόνια τοξική δράση τους περιλαμβάνεται η καρκινογένεση καθώς και ηπατικές, νεφρικές και άλλες βλάβες. Για το λόγο αυτό η Ευρωπαϊκή Ένωση έχει θεσπίσει σειρά κανονισμών που καθορίζουν τα μέτρα ελέγχου που πρέπει να λαμβάνονται στα κράτη μέλη για τον έλεγχο της επιμόλυνσης των τροφίμων από μυκοτοξίνες.

Ως πρόεδρος του Ι.Γ.Ε. εύχομαι η έκδοση αυτή να αποτελέσει ένα χρήσιμο εργαλείο ενημέρωσης του αγροτικού κόσμου και του πολίτη γενικότερα.

Η Πρόεδρος του Ι.Γ.Ε.

Άννα-Μαρία Γιάντση
MSc Δασολόγος

Οι μυκοτοξίνες αποτελούν μία από τις μεγαλύτερες απειλές για την ασφάλεια και την ποιότητα των τροφίμων σε παγκόσμιο επίπεδο. Είναι ιδιαίτερα τοξικοί και καρκινογόνοι δευτερογενείς μεταβολίτες που παράγονται από ορισμένα είδη μυκήτων. Μεταξύ των σημαντικότερων μυκοτοξινών είναι οι αφλατοξίνες, φουμονισίνες, τριχοθηκίνες, ωκρατοξίνη, ζεαραλενόνη, πατουλίνη και ορισμένα αλκαλοειδή. Η κατανάλωση γεωργικών προϊόντων που περιέχουν μυκοτοξίνες μπορεί να προκαλέσει πολύ σοβαρά προβλήματα στην υγεία του ανθρώπου και των ζώων (οξεία τοξικότητα, καρκινογενέσεις, μεταλλαξογενέσεις και τερατογενέσεις). Οι απώλειες τροφίμων που οφείλονται σε μυκοτοξίνες και οι δαπάνες της διαχείρισής τους αυξάνονται σε ανησυχητικό επίπεδο παγκοσμίως. Το τελευταίο διάστημα, διάφορα διατροφικά σκάνδαλα που εμπλέκουν μυκοτοξίνες έχουν έρθει στο φως της δημοσιότητας. Η νομοθεσία της Ευρωπαϊκής Ένωσης για την παρουσία των μυκοτοξινών σε διάφορα προϊόντα είναι πολύ αυστηρή και κάνει επιτακτική την ανεύρεση αποτελεσματικών λύσεων. Η παρουσία μυκοτοξινών στα γεωργικά προϊόντα επηρεάζεται από ορισμένους περιβαλλοντικούς παράγοντες και ως εκ τούτου, η έκταση της μόλυνσης ποικίλει με τη γεωγραφική θέση, τις γεωργικές και αγρονομικές εφαρμογές, και την ευαισθησία των προϊόντων στη μόλυνση στις περιόδους πριν τη συγκομιδή, την αποθήκευση και επεξεργασία. Η αντιμετώπιση των μυκοτοξινών κρίνεται ιδιαίτερα δύσκολη και ο στόχος είναι κυρίως η πρόληψη του σχηματισμού τους.

Εισαγωγή

Οι μυκοτοξίνες αποτελούν μία από τις μεγαλύτερες απειλές για την ασφάλεια και την ποιότητα των τροφίμων σε παγκόσμιο επίπεδο. Είναι ιδιαίτερα τοξικοί και καρκινογόνοι δευτερογενείς μεταβολίτες χαμηλού μοριακού βάρους που παράγονται από ορισμένα είδη μυκήτων. Το πρόβλημα με τις μυκοτοξίνες στη διατροφή των ανθρώπων και των ζώων βρίσκεται συχνά στην επικαιρότητα και προκαλεί δικαιολογημένα ανησυχίες. Πρόκειται για έναν παγκόσμιο κίνδυνο που θεωρείται ως μία από τις πλέον σοβαρές προκλήσεις για την ασφάλεια των τροφίμων, την υγεία των ανθρώπων και των ζώων και τη σύγχρονη τοξικολογία. Ωστόσο πολύ λίγοι άνθρωποι γνωρίζουν το σοβαρό κίνδυνο των μυκοτοξινών και τους κινδύνους που εγκυμονούν για την υγεία μας.

Έχουν εντοπιστεί εκατοντάδες είδη μυκοτοξινών, που διαφέρουν από χημική άποψη, αλλά έχουν ως κοινή ιδιότητα ότι μολύνουν τρόφιμα και ζωοτροφές και μπορούν να προκαλέσουν οξεία ή χρόνια τοξικότητα στον άνθρωπο και τα ζώα. Η κατανάλωση γεωργικών προϊόντων που περιέχουν μυκοτοξίνες μπορεί να προκαλέσει πολύ σοβαρά προβλήματα στην υγεία του ανθρώπου και των ζώων, με αποτέλεσμα την εμφάνιση σοβαρών ασθενειών, γνωστές ως μυκοτοξικές. Πρόκειται για ασθένειες που προκαλούνται άμεσα με την εισπνοή ή την κατάποση μυκηλίου ή σπορίων των μυκοτοξικογόνων μυκήτων, αλλά κυρίως με την κατανάλωση γεωργικών προϊόντων (δημητριακά, αλεύρι, ξηροί καρποί, αποξηραμένα φρούτα, χυμοί φρούτων, σταφύλια, σταφίδες, κρασί, μπύρα, κ.α.) που έχουν προσβληθεί από μυκοτοξικογόνους μύκητες, **(Εικ. 1)** καθώς και προϊόντων ζωικής προέλευσης (γαλακτοκομικά, κρέας, αυγά, κ.α.) από ζώα που έχουν εκτραφεί με ζωοτροφές που περιέχουν μυκοτοξίνες. Οι τοξικές επιδράσεις στον άνθρωπο και τα ζώα είναι οξεία τοξικότητα, καρκινογενέσεις, μεταλλαξογενέσεις και τερατογενέσεις, καθώς και καταστολή του ανοσοποιητικού συστήματος των περισσότερων θηλαστικών, ηπατικές, νεφρικές και άλλες βλάβες (3, 4).



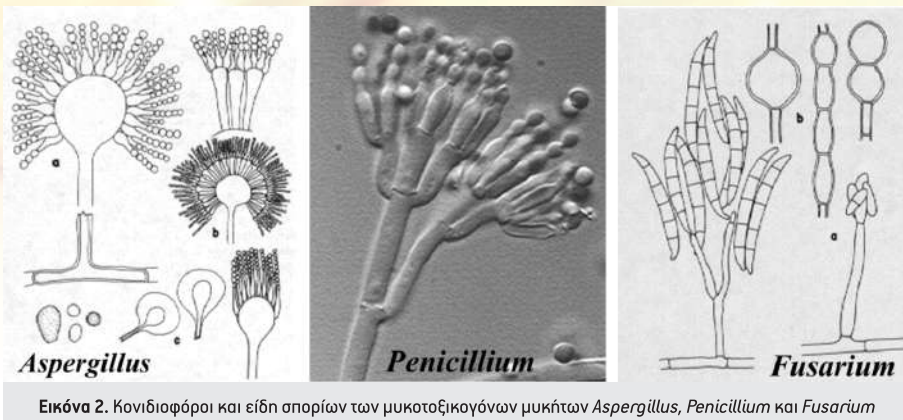
Εικόνα 1. Μόλυνση σπάδικα καλαμποκιού με το μυκοτοξικογόνο μύκητα *Fusarium verticillioides*

Οι απώλειες τροφίμων που οφείλονται σε μυκοτοξίνες και οι δαπάνες της διαχείρισής τους αυξάνονται σε ανησυχητικό επίπεδο παγκοσμίως. Από στοιχεία του Παγκόσμιου Οργανισμού Τροφίμων και Γεωργίας (FAO) και της Ευρωπαϊκής Αρχής για την Ασφάλεια των Τροφίμων (EFSA) προκύπτει ότι κάθε χρόνο περισσότερο από το 25-30% των γεωργικών προϊόντων μολύνονται με μυκοτοξίνες σε παγκόσμιο επίπεδο, προκαλώντας σοβαρές απώλειες με σημαντικό οικονομικό αντίκτυπο στη γεωργική παραγωγή, τη βιομηχανία τροφίμων, την κτηνοτροφία και την εθνική και παγκόσμια οικονομία, αλλά και σοβαρές επιπτώσεις στον άνθρωπο και τα ζώα. Αξιοπίστες λύσεις για τον περιορισμό των μυκοτοξινών είναι ακόμα ελάχιστες και πρακτικά ανεφάρμοστες. Η νομοθεσία της Ευρωπαϊκής Ένωσης για την παρουσία των μυκοτοξινών σε διάφορα προϊόντα είναι πολύ αυστηρή και κάνει επιτακτική την ανεύρεση αποτελεσματικών λύσεων (3, 4, 16)

Οι κατασχέσεις και αποσύρσεις τροφίμων και γεωργικών προϊόντων που έχουν μολυνθεί με μυκοτοξίνες είναι πλέον ένα συχνό φαινόμενο και στην Ελλάδα. Συχνά πραγματοποιείται κατάσχεση φορτίων με κελυφωτά φιστίκια (τύπου Αιγίνης), σύκα, αράπικα φιστίκια και μπαχαρικά προερχόμενα από διάφορες χώρες (π.χ. Κίνα, Τουρκία, Ιράν) από τις αρμόδιες διευθύνσεις των Νομαρχιών καθώς αναλύσεις από το Γενικό Χημείο του Κράτους, διαπιστώνουν την παρουσία μυκοτοξινών πάνω από τα επιτρεπτά όρια. Οι περισσότεροι παραγωγοί και καταναλωτές όμως δεν γνωρίζουν ούτε το μέγεθος του κινδύνου, ούτε τη δυσκολία της αντιμετώπισής τους (4, 16).

Ομάδες και τοξικότητα μυκοτοξινών

Ο προσδιορισμός της σοβαρότητας της δράσης μιας μυκοτοξίνης βασίζεται στη συχνότητα εμφάνισής της ή/και στο είδος της ασθένειας που προκαλεί, ειδικά εάν είναι γνωστή η καρκινογόνος δράση της. Οι σημαντικότεροι μυκοτοξικογόνοι μύκητες ανήκουν στα γένη *Aspergillus*, *Fusarium*, *Penicillium*, *Claviceps* και *Alternaria* (Εικ. 2). Οι μύκητες αυτοί παράγουν ένα πλήθος τοξικών δευτερογενών μεταβολιτών οι σπουδαιότεροι των οποίων είναι οι **αφλατοξίνες** που παράγονται κύρια από είδη του γένους *Aspergillus spp.*, οι **ωχρατοξίνες** που παράγονται από είδη των γενών *Aspergillus spp.* και *Penicillium spp.*, οι **φουμονισίνες**, οι **τριχοθηκίνες** και η **ζεαραλενόνη** που παράγονται από είδη του γένους *Fusarium spp.* και η **πατουλίνη** που παράγεται από είδη των γενών *Aspergillus spp.* και *Penicillium spp.* (Πίνακας 1). Υπάρχει ένας μεγάλος αριθμός μυκοτοξινών και οι επιστήμονες συνεχώς ανακαλύπτουν καινούργιες.



Εικόνα 2. Κονιδιοφόροι και είδη σπορίων των μυκοτοξικογόνων μυκήτων *Aspergillus*, *Penicillium* και *Fusarium*

Μυκοτοξίνη	Μύκητες
Αφλατοξίνες	<i>Aspergillus flavus, Aspergillus parasiticus</i>
Φουμονοσίνες	<i>Fusarium verticillioides, Aspergillus niger, Fusarium proliferatum</i>
Τριχοθηκίνες	<i>Fusarium graminearum, Fusarium culmorum, Fusarium sporotrichioides</i>
Ζεαραλενόνη	<i>Fusarium graminearum, Fusarium culmorum</i>
Οχρατοξίνες	<i>Aspergillus ochraceus, Aspergillus carbonarius, Aspergillus niger και Penicillium verrucosum</i>
Πατουλίνη	<i>Penicillium expansum, Aspergillus clavatus</i>
Αλκαλοειδή	<i>Claviceps purpurea</i>

Οι μυκοτοξικογόνοι μύκητες χαρακτηρίζονται από ένα ευρύτατο κύκλο φυτών-ξενιστών που μπορούν να μολύνουν και μπορούν να αναπτυχθούν σε ένα μεγάλο εύρος φυτικών υποστρωμάτων, τόσο στον αγρό όσο και μετασυλλεκτικά και σε διάφορες συνθήκες υγρασίας και θερμοκρασίας. Έτσι, τα περισσότερα τρόφιμα μπορεί να μολυνθούν άμεσα (φυτικά προϊόντα) ή έμμεσα (ζωικά προϊόντα) με μυκοτοξίνες. Απουσία των μυκοτοξικογόνων μυκήτων από τα γεωργικά προϊόντα δεν σημαίνει απαραίτητα και απουσία μυκοτοξινών, διότι οι δευτερογενείς αυτοί μεταβολίτες μπορούν να παραμείνουν στα τρόφιμα για μεγάλα χρονικά διαστήματα και μετά τη νέκρωση του παθογόνου ή μπορούν να παραχθούν ακόμα και σε περιπτώσεις που η μυκητολογική προσβολή δεν είναι ορατή με γυμνό μάτι (4). Ένας μεγάλος αριθμός μυκοτοξινών απαντώνται συνήθως σε τρόφιμα με χαμηλό ποσοστό υγρασίας όπως είναι το καλαμπόκι (Εικ. 3), τα προϊόντα καλαμποκιού, το σιτάρι, οι ξηροί καρποί που έχουν διατηρηθεί σε συνθήκες υψηλής θερμοκρασίας και υγρασίας. Επίσης σιτηρέσια αγροτικών ζώων που περιέχουν καρπούς διατηρημένους στις προαναφερόμενες συνθήκες, αποτελούν πιθανή πηγή αφλατοξινών οι οποίες αποθηκεύονται στον οργανισμό γαλακτοπαραγωγικών ζώων και ακολούθως στο εκκρινόμενο από αυτά, γάλα.

Η δράση των μυκοτοξινών είναι αθροιστική και συσσωρεύεται κατά την κατανάλωση επιμολυσμένων τροφίμων δημιουργώντας μακροπρόθεσμα, βλάβη στον ανθρώπινο οργανισμό. Επιπλέον, πολλές μυκοτοξίνες είναι θερμοανθεκτικές και για αυτό δεν καταστρέφονται κατά το μαγείρεμα των τροφίμων από τα οποία περιέχονται. Οι παράγοντες που επιδρούν στην παραγωγή μυκοτοξινών από τους μύκητες είναι η θερμοκρασία (7,5°C - 40°C), η υγρασία (>80% σχετική υγρασία), το φως (μεγαλύτερη παραγωγή μυκοτοξινών σε απουσία φωτός), το pH (ιδανικό 4 - 4,6), το υπόστρωμα (ευνοϊκό υπόστρωμα είναι τα προϊόντα φυτικής προέλευσης), η παρουσία μυκοστατικών (NaCl, σορβικό οξύ, καφεΐνη, θεοφυλλίνη, κ.ά.).



Εικόνα 3. Μόλυνση σπάδικα καλαμποκιού με μύκητες του γένους *Fusarium spp.*

Πολλοί άνθρωποι διερωτώνται εάν είναι ασφαλές να τρώμε ένα τρόφιμο από το οποίο αφαιρούμε ένα μέρος του στο οποίο υπάρχει σήψη-μούχλα. Η σήψη όμως δεν βρίσκεται μόνο στην επιφάνεια των τροφίμων αλλά και σε μεγαλύτερο βάθος. Η σήψη-μούχλα που βλέπουμε πάνω στα τρόφιμα (φρούτα, λαχανικά, ψωμί, τυρί, επιδόρπια, μαρμελάδες) είναι μόνο το μέρος της ανάπτυξης των μυκήτων που είναι ορατό στην επιφάνεια των τροφίμων. Συνήθως οι μύκητες έχουν προχωρήσει με τις υφές τους βαθιά μέσα στο τρόφιμο και αν παράγουν και μυκοτοξίνες αυτές μπορούν να διαχέονται σε όλο το προϊόν καθιστώντας το μη ασφαλές. Υπάρχουν βέβαια και ορισμένες κατηγορίες σήσεων-μούχλας που δεν είναι βλαβερές για τον άνθρωπο. Μερικές μάλιστα χρησιμοποιούνται για την κατασκευή τυριών (ροκφόρ, καμαμπέρ) και σε αυτές τις περιπτώσεις η σήψη-μούχλα μπορεί να είναι στην επιφάνεια ή να επεκτείνεται και στο βάθος του τυριών. Η κατανάλωση τυριών με αυτού του είδους τις σήσεις είναι ασφαλής για τον άνθρωπο.

Πολλές χώρες σε όλο τον κόσμο έχουν θεσπίσει ένα επιτρεπτό όριο «ανοχής» της παρουσίας μυκοτοξινών στα τρόφιμα που θα χρησιμοποιηθούν για ανθρώπινη ή ζωική κατανάλωση. Ενώ οι αναπτυγμένες χώρες έχουν βέβαια τις σύγχρονες υποδομές για τον έλεγχο τροφίμων σύμφωνα με τα ποιοτικά πρότυπα, οι άνθρωποι στις αναπτυσσόμενες χώρες δεν προστατεύονται από τον ποιοτικό έλεγχο τροφίμων και την επιβολή των ασφαλών προτύπων μέσα στις χώρες τους. Στις λιγότερο ανεπτυγμένες χώρες έχουν αναφερθεί ποσοστά μόλυνσης μυκοτοξινών που κυμαίνονται από 22% για φουμονισίνες έως 56% σε ΑΦ και πολλά άτομα εκτίθενται μακροχρόνια σε υψηλά επίπεδα μυκοτοξινών στην καθημερινή διατροφή τους. Καμία οικονομικά εφικτή διαδικασία επεξεργασίας δεν είναι διαθέσιμη σήμερα για να αφαιρέσει τις μυκοτοξίνες από τα τρόφιμα που είναι ήδη μολυσμένα. Η Ευρωπαϊκή Ένωση έχει θεσπίσει σειρά κανονισμών που καθορίζουν τα μέτρα ελέγχου που πρέπει να λαμβάνονται στα κράτη μέλη για τον έλεγχο της μόλυνσης των τροφίμων από μυκοτοξίνες. Οι κρατικοί έλεγχοι αποκλείουν την εισαγωγή και αποτρέπουν τη διακίνηση προϊόντων που περιέχουν ανεπιθύμητα επίπεδα μυκοτοξινών.

Ανίχνευση μυκοτοξινών

Το 2002 αναθεωρήθηκαν οι γενικές αρχές της νομοθεσίας για τα τρόφιμα καθώς και οι διαδικασίες σχετικά με την ασφάλεια των τροφίμων, οι οποίες εφαρμόζονται επίσης στις ζωοτροφές. Οι έλεγχοι και η παρακολούθηση πραγματοποιούνται σε ολόκληρη την τροφική αλυσίδα «από τον αγρό στο τραπέζι». Για την ανίχνευση των μυκοτοξινών στα τρόφιμα έχει αναπτυχθεί ένα ευρύ φάσμα αναλυτικών μεθόδων. Η ανάπτυξη πολυδύναμων αναλυτικών μεθόδων είναι συχνά χρήσιμη για τρόφιμα που μπορεί να έχουν μολυνθεί από διάφορες μυκοτοξίνες, οι οποίες έχουν παραχθεί από τον ίδιο μύκητα ή από διαφορετικά είδη μυκήτων. Ένα σημαντικό όμως πρόβλημα στην ορθή επιλογή αντιπροσωπευτικού δείγματος είναι η μη ομοιόμορφη κατανομή μυκοτοξινών στο δείγμα, με την παρουσία εστιών (hot spots) στο γεωργικό προϊόν. Εξαιτίας αυτού χρειάζονται ειδικές μέθοδοι δειγματοληψίας σε κάθε προϊόν σύμφωνα με ειδικά πρωτόκολλα που έχει θεσπίσει η Ευρωπαϊκή Ένωση [3,4].

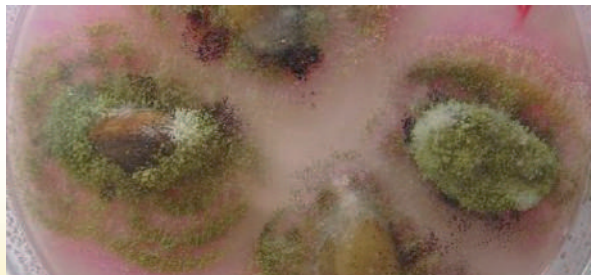
Αφλατοξίνες:

οι πιο ισχυρά καρκινογόνες ουσίες

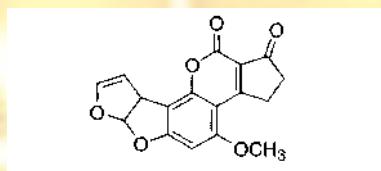
Οι αφλατοξίνες είναι οι πιο γνωστές μυκοτοξίνες και οι πρώτες για τις οποίες διαπιστώθηκε η τοξική δράση τους στον άνθρωπο. Οι τοξίνες αυτές παράγονται από διάφορα είδη του γένους *Aspergillus* (*A. flavus*, *A. parasiticus*, *A. pseudotamarii*, *A. ochraceoroseus*, *A. bombycis*, *A. nomius*, κ.α.), κυρίως όμως από τα είδη *A. flavus* και *A. parasiticus*. Μεταξύ των 4 κύριων αφλατοξινών (B_1 , B_2 , G_1 και G_2) και των μεταβολιτών τους (M_1 , M_2 , Q_1 , aflatoxicol) η αφλατοξίνη B_1 ανήκει στις πιο ισχυρά καρκινογόνες ουσίες (Class 1, IARC) (Εικ. 4). Οι αφλατοξίνες M_1 , M_2 είναι μεταβολικά προϊόντα της αφλατοξίνης B_1 και B_2 και έχουν εντοπισθεί κυρίως στο γάλα και στα ούρα ζώων που έχουν καταναλώσει τρόφιμα ή ζωοτροφές που περιείχαν αφλατοξίνες. Η έκθεση του ανθρώπου στις αφλατοξίνες προέρχεται κυρίως άμεσα από την κατανάλωση προσβεβλημένων ξηρών καρπών (πχ. κελυφωτά φιστίκια (Εικ. 4), αράπικα φιστίκια, καρύδια, αμύγδαλα κ.α.), ξηρών φρούτων, δημητριακών και άλλων αγροτικών προϊόντων, όπως επίσης και έμμεσα με την κατανάλωση γάλακτος, κρέατος και αυγών από ζώα που έχουν τραφεί με μολυσμένη ζωοτροφή (πχ. καλαμπόκι, σιτάρι, βρώμη, κριθάρι κ.α.). Επίσης αφλατοξίνη είναι δυνατόν να ανιχνευτεί σε διάφορα γαλακτοκομικά προϊόντα, παγωτά, προϊόντα με βάση καλαμποκιού ή φιστικιών που έχουν επιμολυνθεί με αφλατοξίνες.

Οι τοξικές επιδράσεις των αφλατοξινών στον άνθρωπο και τα ζώα είναι οξεία τοξικότητα, καρκινογένεσις, μεταλλαξιογένεσις και τερατογένεσις, καθώς και καταστολή του ανοσοποιητικού συστήματος των περισσότερων θηλαστικών. Η οξεία αφλατοξίκωση, εμφανίζεται όταν καταναλωθεί σε μία μόνο φορά, υπερβολική δόση αφλατοξίνης με συμπτώματα αιμορραγίας, καταστροφή του ήπατος, αναστροφής της πέψης και του μεταβολισμού των τροφών με πιθανό αποτέλεσμα τον θάνατο. Η χρόνια κατανάλωση μικρών ποσοτήτων αφλατοξινών οδηγούν στην καρκινογένεση και στην ογκογένεση (κίρρωση και καρκίνο του ήπατος). Αξίζει να σημειωθεί ότι στη Δυτική Αφρική τα μέσα επίπεδα αφλατοξινών είναι >100 ppb σε $>50\%$ των σιτηρών που είναι αποθηκευμένα. Ερευνητικά δεδομένα έδειξαν ότι σε αποθήκες σιτιτών στη Δυτική Αφρική, το 90% καλαμποκάλευρου ήταν μολυσμένο με *A. flavus* και από 480 παιδιά που εξετάστηκαν το 99% είχε αφλατοξίνη στο αίμα τους. Επίσης, 124 κενυάτες πέθαναν λόγω λήψης μολυσμένου καλαμποκιού με αφλατοξίνες (20-8000 ppb) το 2004 [3, 4].

Η πρόληψη της έκθεσης των ανθρώπων στις αφλατοξίνες είναι μία από τις μεγαλύτερες προκλήσεις για την τοξικολογία στην εποχή μας. Δυστυχώς οι αφλατοξίνες θεωρούνται ως αναπόφευκτη επιμόλυνση των τροφίμων και ζωοτροφών. Ακόμη και όταν ακολουθούνται οι καλύτερες διαδικασίες παραγωγής, είναι αδύνατον να μην υπάρχουν κάποια επίπεδα αφλατοξινών σε αυτά. Η συνεχής παρακολούθηση των συγκεντρώσεων αφλατοξινών στα προϊόντα ανθρώπινης και ζωικής κατανάλωσης είναι απαραίτητη πριν από τη διάθεσή τους προς πώληση. Όταν διαπιστώνεται συγκέντρωση αφλατοξινών πάνω από τα επιτρεπόμενα όρια τα μολυσμένα προϊόντα πρέπει να αποσύρονται άμεσα. Η διεθνής επιστημονική κοινότητα έχει ορίσει σε πολλά προϊόντα ως ανώτατο επιτρεπτό όριο τα 2 - 12 $\mu\text{g}/\text{kg}$ (ppb) για την B_1 και τα 4 - 15 ppb για το σύνολο των B_1 , B_2 , G_1 και G_2 .



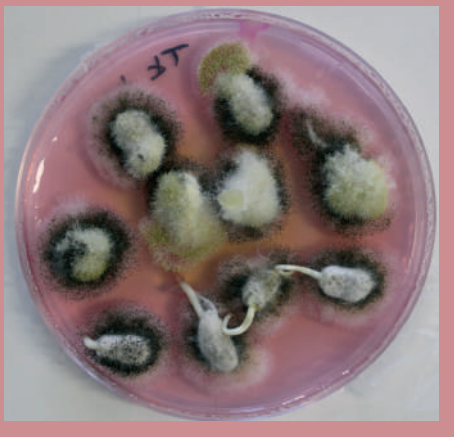
Εικόνα 4. Παρουσία μυκήτων του γένους *Aspergillus* σε κελυφωτά φιστίκια (προσφορά Μ. Γεωργιάδου) και χημικός τύπος της αφλατοξίνης B_1 .



Αφλατοξίνες και κελυφωτά φιστίκια

Οι μύκητες *A. flavus* και *A. parasiticus* είναι σαπροφυτικοί μύκητες και θεωρούνται ασθενή παράσιτα, τα οποία συνήθως εισέρχονται στον καρπό από πληγές χωρίς όμως να αποκλείεται και η απευθείας είσοδος τους χωρίς την ύπαρξη πληγής, όπως έχουν δείξει σύγχρονες μελέτες σε διάφορους ξενιστές. Ως σαπρόφυτα βρίσκονται στο έδαφος των αγρών και δενδροκομείων, σε σκόνη και σκουπίδια αποθηκών, σε ξηρές ταξιανθίες και σε καρπούς που έχουν πέσει στο έδαφος. Τα υποστρώματα αυτά αποτελούν σημαντικές εστίες μόλυνσης, από τις οποίες τα σπόρια μεταφέρονται με τον αέρα στους καρπούς των ετήσιων καλλιιεργειών ή δένδρων αλλά και στους συγκομισμένους και αποθηκευμένους καρπούς. Πιο πολλές μολύνσεις παρατηρούνται κυρίως σε καρπούς των οποίων η "φλούδα" έχει σχιστεί πρόωρα ή φέρει σκασίματα λόγω υπερωρίμανσης ή φαγώματα από πουλιά ή πληγές από έντομα. Διάφορες έρευνες επίσης έχουν δείξει ότι οι τοξικογόνοι μύκητες μπορούν και διεισδύουν στους καρπούς των οποίων το ενδοκάρπιο δεν έχει ανοίξει (π.χ. στα κελυφωτά φιστίκια) από το σημείο πρόσφυσης του ποδίσκου (8, 10).

Οι αφλατοξικογόνοι αυτοί μύκητες ανιχνεύονται στην επιφανειακή μικροχλωρίδα άωρων καρπών αλλά σπάνια σε άωρα σπέρματα ή σε άωρους αποφλοιωμένους καρπούς. Στα κελυφωτά φιστίκια, αποφλοιωμένοι αποθηκευμένοι καρποί παρουσιάζουν εκτεταμένη μόλυνση και φαίνεται ότι τα μολύσματα μεταφέρονται με το νερό που χρησιμοποιείται κατά την αποφλοίωση και κατά το διαχωρισμό των άσπερμων (κούφιων) φιστικιών (Εικ. 5). Καρποί με προσβεβλημένο σπέρμα πάνω στα δέντρα είναι πολύ συχνοί κυρίως κατά τα τελευταία στάδια ωρίμανσης και ανάπτυξης και στις περισσότερες περιπτώσεις περιέχουν αφλατοξίνες σε υψηλές τιμές. Σε γενικές γραμμές καρποί κακής ποιότητας που παρουσιάζουν μεταχρωματισμούς, παραμορφώσεις του ενδοκαρπίου, υπολείμματα περικαρπίου ή έχουν γεύση «ταγγισμένου προϊόντος» είναι συχνά μολυσμένοι με αφλατοξίνες (Εικ. 6,7). Για αυτό και η διαλογή και η απομάκρυνση αυτών των καρπών μειώνει την περιεκτικότητα του προϊόντος σε αφλατοξίνες (7, 12, 17).



Εικόνα 6. Αποικίες *Aspergillus* spp. section *Nigri* και section *Flavi* μετά από επώαση κελυφωτών φιστικιών σε τρυβλίο με θρεπτικό υπόστρωμα Rose Bengal



Εικόνα 5. Σκισίματα της φλούδας κελυφωτών φιστικιών και μολύνσεις με μύκητες του γένους *Aspergillus* spp. στους σκουρόχρωμους αφυδατωμένους καρπούς



Εικόνα 7. Κούφιοι καρποί κελυφωτών φιστικιών μολυσμένοι από μύκητες του γένους *Aspergillus* spp.

Πειράματα σε κελυφωτά φιστίκια που διεξήχθησαν από το Εργαστήριο Μηχανικής Τροφίμων, Επεξεργασίας και Συντήρησης Γεωργικών Προϊόντων σε συνεργασία με το Εργαστήριο Φυτοπαθολογίας του Γεωπονικού Πανεπιστημίου Αθηνών, έδειξαν ότι το πιο κρίσιμο στάδιο για την παραγωγή αφλατοξίνης είναι η ωρίμανση, λόγω του ότι ήταν το πρώτο στάδιο που ανιχνεύθηκε αφλατοξίνη πάνω από τα επιτρεπτά όρια σε πειραματικούς αγρούς σε διάφορες περιοχές της χώρας μας. Στη συγκομιδή, η συγκέντρωση αφλατοξίνης ήταν ακόμα υψηλότερη. Μετά τη συγκομιδή, οι διαφορές μεταξύ των φυσικιών ως προς την ποσότητα αφλατοξίνης εξαρτιόνταν κυρίως από την ποσότητα της αφλατοξίνης που είχαν οι καρποί πριν τη συγκομιδή, τη μέθοδο αποξήρασης και τις συνθήκες αποθήκευσης. Τα αποτελέσματα από τις απομονώσεις των μυκήτων έδειξαν ότι στην αρχή της ωρίμανσης ο μύκητας *A. flavus* ήταν παρών σε προβληματικούς καρπούς ενώ στα επόμενα στάδια μπορούσε να απομονώνεται και από εξωτερικά υγιείς καρπούς οι οποίοι είχαν επίσης σημαντικά επίπεδα αφλατοξίνης (8). Η παρουσία ενός πολύ μικρού ποσοστού στο δένδρο καρπών μολυσμένων με αφλατοξίνες έχει μεγάλη σημασία γιατί η παρουσία αφλατοξινών προϋποθέτει μόλυνση από τοξικογόνους μύκητες που μπορούν να πολλαπλασιαστούν ταχύτατα μετά τη συγκομιδή αν καθυστερήσει η αποφλοίωση και επικρατήσουν ευνοϊκές συνθήκες για την ανάπτυξη τους. Τα πειράματα επίσης έδειξαν ότι σε φυσικιώνες που δεν εφαρμόζονται ψεκασμοί για την καταπολέμηση εντόμων ή άλλων μυκητολογικών ασθενειών (π.χ. Σειπορίωση, Καμαροσπόριο) τα ποσοστά μολύνσεων των κελυφωτών φιστικιών με αφλατοξίνες είναι σημαντικά μεγαλύτερα (1, 2).

Οι μύκητες *A. flavus* και *A. parasiticus* αναπτύσσονται σε θερμοκρασίες 17-42 °C ενώ υψηλότερες θερμοκρασίες παρεμποδίζουν την ανάπτυξη τους. Σπόρια (κονίδια) του *A. flavus* που έχουν παραμείνει επί 4h στους 50 °C παρουσιάζουν ποσοστό βιώσιμων σπορίων 2%. Αναμένεται επομένως σημαντική μείωση του ποσοστού βιώσιμων σπορίων κατά την αποξήραση των καρπών σε φούρνους ή/και στον ήλιο ακόμα. Υπάρχει όμως πάντα ο κίνδυνος της επαναμόλυνσης των καρπών αυτών κατά την αποθήκευση. Η βέλτιστη θερμοκρασία για την παραγωγή αφλατοξινών είναι 20-30 °C. Ο σημαντικός περιοριστικός παράγοντας για την προσβολή των ξηρών καρπών από τους μύκητες *A. flavus* και *A. parasiticus* αποτελεί η χαμηλή περιεκτικότητα σε υγρασία των μη λιπαρών συστατικών των σπερμάτων. Η περιεκτικότητα σε υγρασία των σπερμάτων κελυφωτού φιστικού μετά την αποξήραση στον ήλιο για 3-4 ημέρες φτάνει περίπου στο 8-9% όταν η σχετική υγρασία του περιβάλλοντος είναι 65%. Καθ' όλη τη διάρκεια της αποξήρασης των καρπών αυτών στον ήλιο ο κίνδυνος παραγωγής αφλατοξίνης είναι πολύ μεγάλος (Εικ. 8). Επίσης, όταν η σχετική υγρασία του περιβάλλοντος αυξηθεί, θα αυξηθεί και η περιεκτικότητα υγρασίας των σπερμάτων και φυσικά και ο κίνδυνος μόλυνσης με τους Ασπεργίλλους και τις αφλατοξίνες. Για αυτό και προτιμάται η αποξήραση σε φούρνους π.χ. για τα κελυφωτά φιστίκια στους 65 °C για 8 ώρες, ώστε η υγρασία των σπερμάτων να φτάσει γρήγορα σε ποσοστά 5-6% και να ελαχιστοποιηθεί ο κίνδυνος παραγωγής αφλατοξίνης κατά τη διάρκεια της ξήρασης (12).



Εικόνα 8. Αποξήραση κελυφωτού φιστικού στον ήλιο με υψηλό κίνδυνο παραγωγής αφλατοξίνης

Διατροφικά Σκάνδαλα με αφλατοξίνες



Εικόνα 9.
Μόλυνση σπάδικα καλαμποκιού με μύκητες του γένους *Aspergillus spp.*

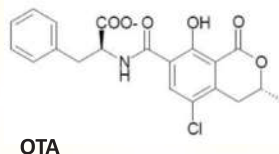


Εικόνα 10. Αποικίες *Aspergillus flavus* μετά από επώαση σπόρων καλαμποκιού σε τρυβλίο με θρεπτικό υπόστρωμα Rose Bengal

Το τελευταίο διάστημα διάφορα διατροφικά σκάνδαλα που εμπλέκουν μυκοτοξίνες έχουν έρθει στο φως της δημοσιότητας. Για παράδειγμα, το Φεβρουάριο του 2012, βρέθηκαν υψηλές συγκεντρώσεις αφλατοξινών σε 30 δείγματα γάλακτος 10 διαφορετικών εταιρειών στη Σερβία. Οι συγκεντρώσεις κυμαίνονταν από 10% έως και 200% άνω του επιτρεπόμενου ορίου. Στη συνέχεια το σκάνδαλο διευρύνθηκε σε πολλές βαλκανικές χώρες. Το αποτέλεσμα ήταν η παύση παραγωγής γάλακτος σε 73 φάρμες στη Σερβία από την Κτηνιατρική Υπηρεσία της χώρας, έπειτα από την ανίχνευση αφλατοξίνης σε υψηλότερα επίπεδα, άνω των επιτρεπομένων, στο γάλα. Το 2012 ήταν έτος μεγάλης ξηρασίας στη Σερβία, στοιχείο που συνέβαλε στη μόλυνση του καλαμποκιού με αφλατοξίνες από μύκητες του γένους *Aspergillus* (Εικ. 9). Το μολυσμένο καλαμπόκι χρησιμοποιήθηκε ως ζωοτροφή με αποτέλεσμα να περάσουν οι αφλατοξίνες στο γάλα των αγελάδων. Εκτιμήσεις αναφέρουν ότι ως και το 70% της παραγωγής σερβικού καλαμποκιού το 2012 ήταν μολυσμένο. Η καρκινογόνος ουσία αφλατοξίνη Β1 ανιχνεύτηκε επίσης σε επίπεδα που ξεπερνούν το ανώτατο επιτρεπτό όριο σε ζωοτροφή καλαμποκιού την οποία προμηθεύτηκαν τουλάχιστον 3.500 αγροτικές επιχειρήσεις στη Γερμανία. Σύμφωνα με το Υπουργείο Γεωργίας της Κάτω Σαξονίας, σχεδόν 10.000 τόνοι του καλαμποκιού αυτού από τη Σερβία παραδόθηκαν σε 13 παρασκευαστές ζωοτροφών στο βόρειο κρατίδιο της Κάτω Σαξονίας, οι οποίοι το χρησιμοποιήσαν για την παραγωγή τροφής για βοοειδή, χοίρους και πουλινερίκα (Εικ. 10). Αντίστοιχα προβλήματα εμφανίστηκαν στις ΗΠΑ, όπου η ξηρασία του 2012 οδήγησε στην προσβολή του 50% της σοδειάς καλαμποκιού του Missouri από *Aspergillus*.

Ωχρατοξίνες και κρασί

Οι ωχρατοξίνες είναι μυκοτοξίνες που παράγονται από πολλά είδη μυκήτων των γενών *Aspergillus* και *Penicillium*. Η πιο μελετημένη είναι η ωχρατοξίνη Α (OTA) η οποία έχει καρκινογόνες (Class 2B, IARC), νεφροτοξικές, τερατογόνες, ανοσοτοξικές και ενδοχρόνως νευροτοξικές ιδιότητες. Η τοξίνη αυτή έχει συνδεθεί επίσης με την εμφάνιση νεφροπάθειας στους ανθρώπους. Η OTA μπορεί να έχει μεγάλο χρόνο ημιζωής στους ανθρώπους. Εμφανίζεται σε ολόκληρο τον κόσμο και σε πολλά φυτικά προϊόντα, όπως δημητριακά, κόκκοι καφέ, κακάο, ξηροί καρποί, αποξηραμένα φρούτα (κυρίως σταφίδες). Έχει επίσης ανιχνευθεί σε επεξεργασμένα προϊόντα όπως αυτά με βάση τα δημητριακά, ο καφές, το κρασί, η μπύρα και ο χυμός σταφυλιών, αλλά και σε προϊόντα ζωικής προέλευσης όπως τα χοιρινά νεφρά. Από έρευνες όσον αφορά τη συχνότητα και τις τιμές OTA σε δείγματα τροφίμων και ανθρώπινου αίματος προκύπτει ότι η παρουσία ωχρατοξίνης στα τρόφιμα είναι συχνή (4).



Εικόνα 11. Χημικός τύπος της ωχρατοξίνης Α



Εικόνα 12. Μόλυνση σταφυλιών λευκής ποικιλίας με μύκητες του γένους *Aspergillus* spp.



Εικόνα 13. Μόλυνση σταφυλιών ερυθρής ποικιλίας με μύκητες του γένους *Aspergillus* spp.



Εικόνα 14. Αποικίες *Aspergillus* spp. section *Nigri* μετά από επώαση ραγών αμπέλου σε τρυβλίο με θρεπτικό υπόστρωμα Rose Bengal

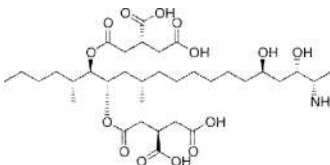
Οι μύκητες του γένους *Aspergillus* προκαλούν την ασθένεια όξινη σήψη (sour rot) στην άμπελο, η οποία εντοπίζεται μόνο στις ράγες (Εικ. 12). Οι προσβεβλημένες ράγες παρουσιάζουν μαλακή σήψη, γίνονται υδαρείς με ελαφρύ μεταχρωματισμό καστανού χρώματος και εκροή χυμού. Τα συμπτώματα αυτά έχουν ως αποτέλεσμα την εύκολη αποκόλληση της ράγας από τον ποδίσκο. Η έναρξη των προσβολών έχει άμεση σχέση με την ύπαρξη πληγών, οι οποίες μπορεί να είναι αποτέλεσμα εντομολογικών προσβολών ή τραυματισμών. Στην τελευταία αυτή περίπτωση εντάσσονται τα συμπτώματα που εμφανίζονται σε πυκνόραγες ποικιλίες λόγω των πιέσεων που ασκούνται μεταξύ των ραγών και συνήθως οδηγούν στην διάρρηξη της επιδερμίδας (Εικ. 13, 14). Αυτό συμβαίνει κατά την περίοδο του γυαλισματος μέχρι την ωρίμανση, διότι κατά την περίοδο που η επιδερμίδα των ραγών λεπτύνεται, η ωσμωτική πίεση αυξάνει και γενικώς ο καρπός είναι μαλακότερος και ως εκ τούτου περισσότερο ευαίσθητος. Συμπτώματα της όξινης σήψης παρατηρούνται στους βότρες όταν το επίπεδο των σακχάρων στις ράγες είναι περίπου 10%. Χαρακτηριστικό της σήψης αυτής είναι η έντονη οσμή όξους η οποία αναδύεται από τους προσβεβλημένους βότρες. Η μαλακή σήψη επεκτείνεται με γοργούς ρυθμούς, καθώς ο χυμός κυλά στις κατώτερες αλλά και τις εσωτερικές ράγες. Δείγματα από σταφύλια και διάφορα παράγωγα προϊόντα τους όπως σταφίδες, χυμοί σταφυλιού και κρασιά από τη νότια Ευρώπη έχουν βρεθεί συχνά μολυσμένα με ΟΤΑ και σε σημαντικό μεγαλύτερο βαθμό μολυσμένα από τα αντίστοιχα της βόρειας Ευρώπης (13,14). Επίσης, τα κόκκινα κρασιά βρέθηκαν σε συχνότερο βαθμό θετικά σε ΟΤΑ και με πιο υψηλά επίπεδα μόλυνσης συγκριτικά με τα λευκά. Οι πρώτες εκτιμήσεις της Επιτροπής του Κώδικα Διατροφής (Codex Alimentarius Commission), βασισμένες σε περιορισμένα Ευρωπαϊκά στοιχεία, πρότειναν ότι το κόκκινο κρασί είναι η δεύτερη σημαντικότερη πηγή ανθρώπινης έκθεσης σε ΟΤΑ, μετά από τα δημητριακά και ακολουθούν ο καφές και η μπύρα. Η ΕΕ έχει θεσπίσει αυστηρή νομοθεσία με μέγιστο επιτρεπτό όριο για ΟΤΑ τα 2 μγ/L σε μούστο και χυμούς και των 10 μγ/kg για σταφίδες (Commission Regulation No 123/2005). Αξίζει να σημειωθεί ότι στο παρελθόν τα μέγιστα όρια είχαν διαπιστωθεί στις μεσογειακές χώρες. Σύμφωνα με εκτιμήσεις της ΕΕ η κατανάλωση κρασιού συμβάλει κατά 13% στην πρόσληψη ΟΤΑ από ανθρώπους (19) (Εικ. 15). Η αντιμετώπιση του μύκητα είναι ιδιαίτερα δύσκολη και χρειάζεται την πολλαπλή εφαρμογή διασυστηματικών μυκητοκτόνων (π.χ. cyprodinil/fludioxonil).



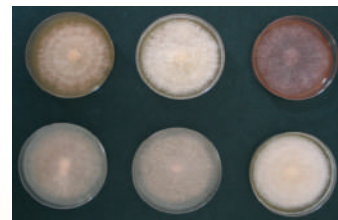
Εικόνα 15. Σταφύλια για οινοποίηση με έντονα συμπτώματα όξινης σήψης

Φουμονισίνες και καλαμπόκι

Οι φουμονισίνες είναι μυκοτοξίνες που παράγονται από διάφορα είδη του γένους *Fusarium* με κυριότερα τα είδη *Fusarium verticillioides* (συν.=*F. moniliforme*) και *F. proliferatum* (Εικ. 16). Οι μύκητες αυτοί προκαλούν σήψεις κυρίως στους σπάδικες και σπόρους σε προσυλλεκτικό ή μετασυλλεκτικό επίπεδο και λιγότερο συχνά, τήξεις φυταρίων και σήψεις των ριζών και του στελέχους. Οι φουμονισίνες είναι καρκινογόνες ουσίες που εμπλέκονται στο μεταβολισμό των σφιγγολιπιδίων και προκαλούν διάφορες χρόνιες ή οξείες τοξικότητες στα θηλαστικά, εγκεφαλοπάθειες σε ζώα και καρκίνο του οισοφάγου σε ανθρώπους. Η Ευρωπαϊκή νομοθεσία έχει θεσπίσει ένα επιτρεπτό όριο «ανοχής» της παρουσίας των φουμονισινών FB1, FB2 και FB3 στα τρόφιμα που θα χρησιμοποιηθούν για ανθρώπινη ή ζωική κατανάλωση [0,2- 2 ppm (μg/γρ) για τους ανθρώπους και 5-100 ppm για τα ζώα] (4).



Εικόνα 16Α. Χημικός τύπος φουμονισίνης



Εικόνα 16Β. Αποικίες *Fusarium spp.* που απομονώνονται από μολυσμένους σπάδικες καλαμποκιού

Διάφορα πειράματα έχουν αποδείξει ότι η περιεκτικότητα των σπόρων σε φουμονισίνες δεν μπορεί να συσχετιστεί άμεσα με τη σοβαρότητα της ασθένειας (ποσοστό προσβολής σπάδικα) (Εικ. 17) διότι ανησυχτικά επίπεδα μυκοτοξινών μπορούν να εντοπιστούν και σε μη συμπτωματικούς σπόρους (Εικ. 18).



Εικόνα 19. Εγκάρσια τομή σπάδικα καλαμποκιού όπου διακρίνονται οι μολύνσεις από μύκητες του γένους *Fusarium spp.* και *Aspergillus spp.*

Η μόλυνση των σπόρων μέσω των στύλων του σπάδικα (από βλαστικές υφές κονιδίων που μεταφέρονται μέσω του αέρα) αποτελεί τη σημαντικότερη πηγή εισόδου και μόλυνσης των παθογόνων (Εικ. 19). Η διασυστηματική μετακίνηση του μύκητα από το μολυσμένο σπόρο μέσω του στελέχους στον σπάδικα και στους σπόρους έχει επίσης παρατηρηθεί. Συχνά οι μολύνσεις συνδέονται με εντομολογικές προσβολές λόγω των πηληγών και εύκολης πηγών εισόδου του μολύσματος (Εικ. 20). Οι συνθήκες που ευνοούν την εξέλιξη της ασθένειας και τη βιοσύνθεση των φουμονισινών είναι συνήθως ζεστός και ξηρός καιρός, που ακολουθείται από περιόδους υψηλής υγρασίας.



Εικόνα 17. Μόλυνση σπάδικα καλαμποκιού και εμφάνιση ροζ ραβδώσεων λόγω προσβολής από μύκητες του γένους *Fusarium spp.*



Εικόνα 18. Μόλυνση σπάδικα καλαμποκιού από μύκητες του γένους *Fusarium spp.* και εμφάνιση λευκών ραβδώσεων από την κορυφή του σπόρου που εκτείνονται προς τη βάση (starblasting).

Πρέπει όμως να τονιστεί ότι η επιδημιολογία της ασθένειας δεν είναι πλήρως γνωστή. Επειδή η χημική προστασία κατά των συγκεκριμένων παθογόνων δεν έχει δώσει τα αναμενόμενα αποτελέσματα και δεν είναι πάντα οικονομικά συμφέρουσα για το παραγωγό, τα σοβαρά προβλήματα που μπορούν να προκαλέσουν οι φουμονισίνες και οι μύκητες που τις παράγουν στα τρόφιμα και ζωοτροφές μπορούν να αντιμετωπιστούν κυρίως με δυναμικά προγράμματα βελτίωσης και βιοτεχνολογίας, που στοχεύουν στη μείωση της συγκέντρωσης φουμονισινών στο καλαμπόκι (20).

Εικόνα 20. Μόλυνση σπάδικα καλαμποκιού από μύκητες του γένους *Fusarium spp.* σε συνδυασμό με εντομολογικές προσβολές.

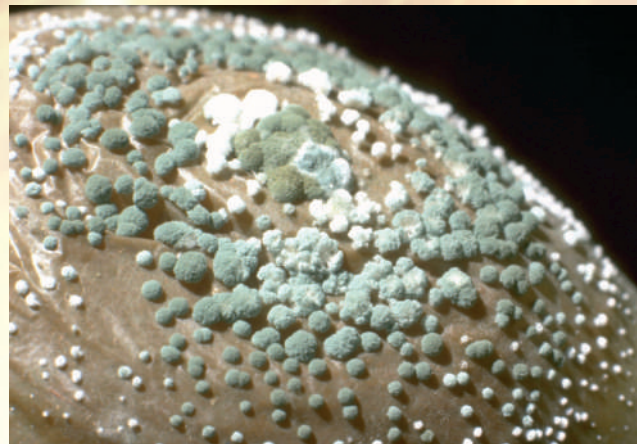


Πατουλίνη και μήλα - αχλάδια

Η πατουλίνη παράγεται από αρκετά είδη του γένους *Penicillium*, τα οποία αναπτύσσονται σε αρκετά φρούτα όπως μήλα, αχλάδια, ροδάκινα προκαλώντας σήψεις (Εικ. 21). Η πατουλίνη είναι γονιδοτοξική με μεταλλαξιογόνα και καρκινογόνα δράση. Η πατουλίνη έχει επίδραση στο μεταβολισμό των υδρογονανθράκων του οργανισμού, έχει κατηγορηθεί ότι αλληλεπιδρά με τη μεμβράνη του πυρήνα των κυττάρων και ότι διασπά το DNA. Εμφανίζεται σε μouxλιασμένα φρούτα, σπόρους και άλλα τρόφιμα, όμως οι κύριες πηγές μόλυνσης από πατουλίνη είναι τα προϊόντα του μήλου, δηλ. χυμός, αλκοολούχα ποτά, μηλίτης, άλλα ποτά που περιέχουν χυμό μήλου, κομπόστα μήλου και πολτός μήλου (Εικ. 22). Συμπτώματα σε βοοειδή που έχουν εκτεθεί στην πατουλίνη περιλαμβάνουν αιμορραγία στον πεπτικό σωλήνα. Η πατουλίνη καταστρέφεται κατά τη διεργασία της αλκοολικής ζύμωσης για την παρασκευή αλκοολούχων ποτών και ξυδιού. Σε χυμούς όμως φρούτων παρουσιάζει σχετική σταθερότητα κατά τη διαδικασία της παστερίωσης κάνοντας απαραίτητη τη διαλογή και κυρίως την απομάκρυνση των φρούτων που έχουν προσβληθεί από μύκητες των φρούτων πριν την επεξεργασία τους. Ερευνητές έχουν αποδείξει ότι απομακρύνοντας τα προσβεβλημένα μήλα από τη γραμμή παραγωγής χυμού μήλου, η μείωση της περιεκτικότητας του χυμού σε πατουλίνη φτάνει το 90%. Η ποσότητα πατουλίνης σε προϊόντα μήλου θεωρείται γενικά σημαντική ποιοτική παράμετρος για τα μήλα που χρησιμοποιούνται στην παραγωγή τροφίμων. Ερευνητές από το Πανεπιστήμιο της Γρανάδα, στην Ισπανία, διαπίστωσαν ότι περισσότερο από το 50% των δειγμάτων χυμού μήλου που αναλύθηκαν υπερέβαινε το ανώτατο επιτρεπτό όριο για την πατουλίνη. Ως αποτέλεσμα αυτών των ζητημάτων υγείας, η Ευρωπαϊκή Ένωση έχει θέσει ως μέγιστη επιτρεπτή περιεκτικότητα σε πατουλίνη για το χυμό φρούτων τα 50 ppb, ενώ για τις παιδικές τροφές, τα 10 ppb.

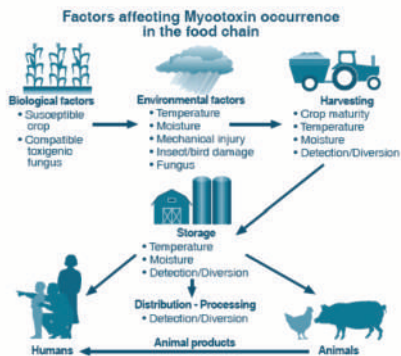


Εικόνα 21.
Μόλυνση μήλου
από το μύκητα
Penicillium expansum



Εικόνα 22.
Κονιδιοφόροι του μύκητα
Penicillium expansum
σε καρπό μήλου

ΑΝΤΙΜΕΤΩΠΙΣΗ ΜΥΚΟΤΟΞΙΚΟΓΟΝΩΝ ΜΥΚΗΤΩΝ



Εικόνα 23. Παράγοντες που επηρεάζουν την παρουσία μυκοτοξινών στην τροφική αλυσίδα (4).

Η παρουσία μυκοτοξινών στα γεωργικά προϊόντα επηρεάζεται από ορισμένους περιβαλλοντικούς παράγοντες και ως εκ τούτου, η έκταση της μόλυνσης ποικίλει με τη γεωγραφική θέση, τις γεωργικές και αγρονομικές εφαρμογές, και την ευαισθησία των προϊόντων στη μόλυνση στις περιόδους πριν τη συγκομιδή, την αποθήκευση και επεξεργασία (Εικ. 23).

Η αντιμετώπιση των μυκοτοξικογόνων μυκήτων επιχειρείται σήμερα κυρίως με την εφαρμογή κατάλληλων μετασπληνεκτικών χειρισμών, όπως η αποθήκευση των προϊόντων σε ξηρό περιβάλλον και χαμηλή θερμοκρασία ή σε περιβάλλοντα με τροποποιημένες ατμόσφαιρες (π.χ. μειωμένη συγκέντρωση O_2 , εφαρμογές όζοντος), η εφαρμογή χημικών και φυσικών μεθόδων αποτοξικοποίησης των μυκοτοξινών (θερμική αποδόμηση, επεξεργασία με οξέα, αμμωνιοποίηση, οζονοποίηση, τροφικά πρόσθετα, κ.α.) σε νωπά και μεταποιημένα γεωργικά προϊόντα, η εφαρμογή βιολογικών παραγόντων και αντιμικροβιακών ενώσεων, η χρήση

κατάλληλων προσροφητικών ουσιών (προσθήκη δεσμευτικών στις ζωτροφές, κ.α. (6, 9, 11, 15, 18)). Όλες όμως οι προαναφερθείσες μέθοδοι έχουν μικρή αποτελεσματικότητα και οι περισσότερες από αυτές είναι πρακτικά μη εφαρμόσιμες και οικονομικά μη αποδεκτές και ελάχιστες σήμερα βρίσκουν εφαρμογή κυρίως κατά την αποθήκευση και μεταποίηση των αγροτικών προϊόντων. Οι υπάρχουσες επιστημονικές και τεχνικές γνώσεις, καθώς και οι βελτιώσεις των πρακτικών παραγωγής και αποθήκευσης, δεν προλαμβάνουν τη μόλυνση των γεωργικών προϊόντων και δεν παρεμποδίζουν την ανάπτυξη των μυκήτων αυτών και κατά συνέπεια δεν καθιστούν συχνά δυνατό τον έλεγχο της παρουσίας μυκοτοξινών στα τρόφιμα. Ακόμα και με τις σύγχρονες τεχνολογίες, όταν τα γεωργικά προϊόντα έχουν προσβληθεί από μυκοτοξικογόνους μύκητες, είναι πολύ δύσκολη η πρόβλεψη ή αποτροπή της ύπαρξης μυκοτοξινών κατά τη διάρκεια της αποθήκευσης, επεξεργασίας και διακίνησης των γεωργικών προϊόντων. Κατά συνέπεια κρίνεται επιτακτική και άμεση η ανάγκη εξεύρεσης αποτελεσματικότερων και ασφαλέστερων μεθόδων αντιμετώπισης των μυκοτοξικογόνων μυκήτων και διαχείρισης των μυκοτοξινών, με βελτίωση των συνθηκών παραγωγής και φυτοπροστασίας των γεωργικών προϊόντων.

Παρ' όλες ωστόσο τις δυσκολίες αντιμετώπισης των μυκοτοξινών αυτό που κυρίως μπορούμε να κάνουμε είναι η πρόληψη του σχηματισμού τους. Η διατήρηση μιας υγιούς καλλιέργειας με τη δημιουργία ενός ευνοϊκού περιβάλλοντος για την ανάπτυξη των φυτών και την ελαχιστοποίηση των δυσμενών παραγόντων που μπορεί να προκαλέσουν «στρες» στα φυτά (ξηρασία, εντομολογικές προσβολές, τροφопενίες κ.α.) καθώς και η δημιουργία ιδανικών συνθηκών αποθήκευσης των καρπών, δημητριακών ελαιούχων σπόρων και ζωτροφών, μπορούν να περιορίσουν την προσβολή τους με μύκητες. Μεταξύ όλων των διαθέσιμων προσεγγίσεων, η αντιμετώπιση των μυκοτοξικογόνων μυκήτων θα πρέπει να βασίζεται σήμερα κυρίως στις ακόλουθες πρακτικές που φαίνεται να περιορίζουν την προσβολή των φυτών και των φυτικών προϊόντων από μυκοτοξίνες στο χωράφι και στους χώρους αποθήκευσης:

- Περιορισμοί στην εγκατάσταση και εξάπλωση των παθογόνων στον αγρό
 - καλλιεργητικές πρακτικές π.χ. κλάδεμα, καταστροφή ζιζανίων, μείωση ή αύξηση της υγρασίας ανάλογα με το είδος του μύκητα που πρέπει να αντιμετωπιστεί (π.χ. άρδευση της καλλιέργειας σε θερμό και ξηρό καιρό για αποφυγή καταπόνησης της καλλιέργειας), καταστροφή των υπολειμμάτων καλλιέργειας, αμειψισπορά (εναλλαγή καλλιεργειών)
 - αποφυγή δημιουργίας πληγών στους καρπούς και στους σπόρους στον αγρό και κατά τη συγκομιδή
 - χρήση μυκητοκτόνων (ελάχιστα είναι εγκεκριμένα και αποτελεσματικά)
 - βιολογική καταπολέμηση με συγγενείς μύκητες που δεν παράγουν μυκοτοξίνες (5, 15)
 - καταπολέμηση εντόμων (ως φορείς σπορίων των μυκήτων ή ως παράγοντες δημιουργίας πληγών).
 - χρήση υγιούς πιστοποιημένου πολλαπλασιαστικού υλικού και ανθεκτικών ή ανεκτικών ποικιλιών σε έντομα και μύκητες (αν είναι διαθέσιμες)

Σχετικά με τη βιολογική αντιμετώπιση, μερικές φυσικές απομονώσεις του *A. flavus* δεν έχουν την ικανότητα παραγωγής αφλατοξίνης, είναι δηλαδή μη τοξικογόνες, και κάποιες από αυτές έχουν την ικανότητα να ανταγωνίζονται αποτελεσματικά τα τοξικογόνα στελέχη στον αγρό και να μειώνουν σημαντικά τα επίπεδα αφλατοξινών. Ένα τέτοιο στέλεχος το AF36 κυκλοφορεί ως βιολογικό πλέον σκεύασμα για τον ανταγωνιστικό αποκλεισμό των μυκήτων που παράγουν αφλατοξίνες σε βαμβάκοσπορο, καλαμπόκι, κελυφωτά φιστίκια. Η ικανότητα του στελέχους AF36 να αντικαθιστά σχεδόν πλήρως μέσα σε ένα χρόνο τα τοξικογόνα στελέχη του *A. flavus* και να μειώνει σημαντικά την παρουσία της αφλατοξίνης είναι ιδιαίτερα εντυπωσιακή. Εκτός από το στέλεχος AF36, τα τελευταία χρόνια και άλλα μη τοξικογόνα στελέχη έχουν απομονωθεί σε διάφορες χώρες και εφαρμόζονται πειραματικά σε αραχίδα και καλαμπόκι μειώνοντας τα επίπεδα αφλατοξινών στον αγρό από 70-99% [5,15].

- Περιορισμοί στην εγκατάσταση και εξάπλωση των παθογόνων στην αποθήκη

- γρήγορη και κατάλληλη αποξήρανση των σπόρων (π.χ. σε ξηραντήρες) ώστε να μειωθεί το ποσοστό υγρασίας σε ασφαλή επίπεδα π.χ. 12-13% για σιτηρά και 7% για ελαιούχους σπόρους
- κατάλληλες συνθήκες αποθήκευσης π.χ. κατάλληλα μέτρα υγιεινής στις αποθήκες και στον εξοπλισμό, καλή κυκλοφορία αέρα, διατήρηση χαμηλής θερμοκρασίας και υγρασίας, χρήση εγκεκριμένων βιοκτόνων, χρήση συντηρητικών ουσιών, συστηματικός οπτικός έλεγχος για παρουσία μούχλας

- Χημικοί έλεγχοι ανίχνευσης μυκοτοξινών σε όλα τα στάδια της παραγωγικής διαδικασίας

Τα τελευταία χρόνια γίνεται αρκετή προσπάθεια, τόσο από κρατικά και πανεπιστημιακά εργαστήρια, όσο και από μεγάλες εταιρείες παραγωγής φυτοφαρμάκων, για την αναγνώριση μυκοτοκτόνων και βιολογικών παραγόντων (βιο-αντιπαθογονικά) αποτελεσματικών στην αντιμετώπιση μυκοτοξικογόνων μυκήτων και την ανάπτυξη κατάλληλων στρατηγικών φυτοπροστασίας με σκοπό την πρόληψη της προσβολής γεωργικών προϊόντων και την προστασία των καλλιεργειών στον αγρό [6, 9, 11, 15, 18].

Συμπεράσματα

Οι συνεχώς αυξανόμενες απαιτήσεις των διεθνών αγορών για ασφαλή για τον άνθρωπο τρόφιμα, οδηγούν στην ανάπτυξη και εφαρμογή κατάλληλων προγραμμάτων φυτοπροστασίας για αποτελεσματικότερη γεωργία και βιώσιμη ανάπτυξη, αλλά και συστημάτων πιστοποίησης και ελέγχου των γεωργικών προϊόντων. Η μαζική παραγωγή τροφίμων και το άνοιγμα των διεθνών αγορών για την ελεύθερη διακίνηση αγαθών, έχει ως αποτέλεσμα την ανάγκη παραγωγής ανταγωνιστικών προϊόντων, αλλά και τη διασφάλιση της ποιότητας των γεωργικών προϊόντων. Οι συνεχείς αναθεωρήσεις και τροποποιήσεις των κανονισμών της Ευρωπαϊκής Ένωσης για τον καθορισμό των μέγιστων επιτρεπτών ορίων των μυκοτοξινών στα τρόφιμα και τις ζωοτροφές, φανερώνει ότι για πολλούς από τις τοξίνες αυτές δεν υπάρχουν επαρκώς τεκμηριωμένα επιστημονικά δεδομένα για τον κίνδυνο οξείας και κυρίως χρόνιας τοξικότητας στον άνθρωπο και τα ζώα. Επιπλέον, παρά τα σημαντικά προβλήματα που προκαλούν οι μύκητες αυτοί στη γεωργία και κτηνοτροφία, λίγα είναι γνωστά σχετικά με την επιδημιολογία, τη γεωγραφική εξάπλωση και χωρική κατανομή των μυκοτοξικογόνων ειδών, τον ασφαλή προσδιορισμό και έλεγχο των μυκοτοξινών στα γεωργικά προϊόντα κρίνοντας επιτακτική την περαιτέρω διερεύνησή τους.



Βιβλιογραφία

1. Agoritsis S.P., Zakynthinos G., Varzakas T.H., Tjamos S.E., Antoniou P.P., Dimakopoulou M., Karnavas G., Paplomatas E.I., Tjamos E.C., Michailides T.J. and Tsitsigiannis D.I. 2014. Ecology, epidemiology and control of the mycotoxigenic fungi *Aspergillus* spp. in pistachio orchards in Fthiotida county. *Phytopathologia Mediterranea* 53 (2): 361
2. Bayman P., Baker J.L., Mahoney N.E. 2002. *Aspergillus* on tree nuts: incidence and associations. *Mycopathologia*, 155: 161169
3. Cardwell K.F., Desjardins A., Henry S.H., Munkvold G. and Robens J. 2001. Mycotoxins: the Cost of Achieving Food Security and Food Quality. *APSnet Features*. Online. doi: 10.1094/APSnetFeature-2001-0901
4. CAST (Council for Agricultural Science and Technology). 1989. Mycotoxins: Economic and Health Risks. Task Force Report No. 116.
5. Cotty, P.J. and Mellon J.E. 2006. Ecology of aflatoxin producing fungi and biocontrol of aflatoxin contamination. *Mycotoxin Research*. 22:110-117
6. Demakopoulou M., Tjamos S.E., Antoniou P.P., Pietri A., Battilani P., Avramidis N., Markakis E.A. and Tjamos E.C. 2008. Phyllosphere grapevine yeast *Aureobasidium pullulans* reduces *Aspergillus carbonarius* (sour rot) incidence in wine-producing vineyards in Greece. *Biological Control*, 46: 158165.
7. Doster M.A., and Michailides T.J. 1994. *Aspergillus* molds and aflatoxins in pistachio nuts in California. *Phytopathology* 84:583-590
8. Georgiadou M., Dimou A., Yanniotis S. 2012. Aflatoxin contamination in pistachio nuts: A farm to storage study. *Food Control*, 26: 580-586
9. Iliadi, M.K., Gkatzouni A.A., Terzopoulos P., Paplomatas E.J. and Tsitsigiannis D.I. 2015. Elucidation of the interactions between the mycotoxigenic fungi *Fusarium proliferatum* - *Fusarium verticillioides* and maize germplasm. *Phytopathologia Mediterranea* 54 (1): 192
10. Logrieco A., Bottalico A., Mule G., Moretti A., Perron G. 2003. Epidemiology of toxigenic fungi and their associated mycotoxins for some Mediterranean crops. *European Journal of Plant Pathology* 109, 64567.
11. Παππάς, Α.Χ., Τσιπλάκου, Ε., Γεωργιάδου, Μ., Ηλιάδης, Μ., Τσιτσιγιάννης, Δ.Ι., Ζέρβας, Γ. (2014). Επίδραση της προσθήκης μυκοδεσμευτικών σε επιμολυσμένο με μυκοτοξίνες σιτηρέσιο ορνιθίων κρεοπαραγωγής στα παραγωγικά χαρακτηριστικά τους. Επιθεώρηση Ζωοτεχνικής Επιστήμης, *Animal Science Review*, 40: 74-75
12. Teviotdale B.L., Michailides T.J. and Pscheidt J.W. 2002. Compendium of Nut Crop Diseases in Temperate Zones. APS Press
13. Tjamos S.E., Antoniou P.P. and Tjamos E.C.. 2006. *Aspergillus* spp., distribution, population composition and ochratoxin A production in wine producing vineyards in Greece. *International Journal of Food Microbiology*, 11: S61-66.
14. Tjamos, S.E., Antoniou P.P., Kazantzidou A., Antonopoulos D.F., Papageorgiou I. and Tjamos E.C. 2004. *Aspergillus niger* and *Aspergillus carbonarius* in corinth raisin and wine producing vineyards in Greece: Population composition ochratoxin A production and chemical control. *Journal of Phytopathology*, 152, 250-255.
15. Tsitsigiannis, D.I., Dimakopoulou M., Antoniou P.P., Tjamos E.C. 2012. Biological control strategies of mycotoxigenic fungi and associated mycotoxins in Mediterranean basin crops. *Phytopathologia Mediterranea*, 51(1): 158-174
16. Tsitsigiannis D.I. 2009. Mycotoxins: a significant factor for the production of safe and high quality food. *Phytopathologia Mediterranea* 48(2):309-310
17. Tsitsigiannis, D.I., Georgiadou M., Agoritsis S., Zakynthinos G., Varzakas T.H., Tjamos S., Antoniou P., Dimakopoulou M., Karnavas G., Paplomatas E., Gianniotis S. and Tjamos E.C. 2010. Ecology, epidemiology and control of *Aspergillus* spp. in pistachio orchards in Greece. 13th Congress of the Mediterranean Phytopathological Union, 20-25 June 2010, Rome, Italy. *Petria* 20:95-96.
18. Tsitsigiannis, D.I., S. Kunze, D.K. Willis, I. Feussner and N.P. Keller. 2005. *Aspergillus* infection inhibits the expression of peanut 13S-HPODE-forming seed lipoxygenases. *Molecular Plant-Microbe Interactions*, 18: 1081-1089.
19. European Commission 2002. SCOOP task 3.2.7. Assessment of dietary intake of Ochratoxin A by the population in EU Member States. European Commission, January 2002. URL: http://ec.europa.eu/food/food/chemicalsafety/contaminants/task_3-2-7_en.pdf
20. Nelson, P. E., Desjardins, A. E., and Plattner, R. D. 1993. Fumonisin, mycotoxins produced by *Fusarium* species: Biology, chemistry, and significance. *Annu. Rev. Phytopathol.* 31:233-252

Δημήτριος Ι. Τσιτσιγιάννης

Επίκουρος Καθηγητής Φυτοπαθολογίας, Γεωπονικό Πανεπιστήμιο Αθηνών

Σχολή Αγροτικής Παραγωγής, Υποδομών και Περιβάλλοντος, Τμήμα Επιστήμης Φυτικής Παραγωγής, Εργαστήριο Φυτοπαθολογίας
Ιερά Οδός 75, 11855 Αθήνα, e-mail: dimtsi@aua.gr

Ινστιτούτο Γεωπονικών Επιστημών

Λεωφόρος Κηφισίας 182, Κηφισιά, Τηλ.: 210 80 11 146 - 210 80 83 312

e-mail: ige1@otenet.gr, <http://www.ige.gr>