



**ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΘΕΣΣΑΛΙΑΣ**

**Σχολή Γεωπονικών Επιστημών**

**Τμήμα Γεωπονίας Φυτικής Παραγωγής και Αγροτικού Περιβάλλοντος**

**ΠΡΟΓΡΑΜΜΑ ΜΕΤΑΠΤΥΧΙΑΚΩΝ ΣΠΟΥΔΩΝ**

**Αειφόρος Αγροτική Παραγωγή και Διαχείριση Περιβάλλοντος**

**ΕΡΓΑΣΤΗΡΙΟ ΕΔΑΦΟΛΟΓΙΑΣ**

**ΜΕΤΑΠΤΥΧΙΑΚΗ ΔΙΑΤΡΙΒΗ ΕΙΔΙΚΕΥΣΗΣ**

Μελέτη της Προσρόφησης Βαρέων Μετάλλων (Μαγγάνιο, Χρώμιο, Ψευδάργυρος) από Καλλιέργεια Σαπροτροφικών Μυκήτων (Μανιτάρια)

**Τσιτσέλα Αθανασία**

**ΒΟΛΟΣ 2017**

Μελέτη της Προσρόφησης Βαρέων Μετάλλων (Μαγγάνιο, Χρόμιο, Ψευδάργυρος) από  
Καλλιέργεια Σαπροτροφικών Μυκήτων (Μανιτάρια)

Τσιτσέλα Αθανασία

Επιβλέπουσα: Δημήρκου, Ανθούλα. Καθηγήτρια. Εδαφολογία με Εμφαση στη Χημεία  
Εδάφους. Πανεπιστήμιο Θεσσαλίας.

Αντωνιάδης, Βασίλειος. Επίκουρος Καθηγητής. Εφαρμοσμένη Εδαφολογία. Πανεπιστήμιο  
Θεσσαλίας.

Βέλλιος, Ευάγγελος. Επίκουρος Καθηγητής. Φυτοπαθολογία - Σύγχρονες Μέθοδοι  
Διαγνωστικής. Πανεπιστήμιο Θεσσαλίας.

Copyright © ΤΣΙΤΣΕΛΑ ΑΘΑΝΑΣΙΑ, 2017.

Με επιφύλαξη παντός δικαιώματος. All rights reserved.

Απαγορεύεται η αντιγραφή, αποθήκευση και διανομή της παρούσας διατριβής, εξ ολοκλήρου ή τμήματος αυτής, για εμπορικό σκοπό. Επιτρέπεται η ανατύπωση, αποθήκευση και διανομή για σκοπό μη κερδοσκοπικό, εκπαιδευτικής ή ερευνητικής χρήσης, υπό την προϋπόθεση να αναφέρεται η πηγή προέλευσης.

Η έγκριση της Μεταπτυχιακής Διατριβής Ειδίκευσης από το τμήμα Γεωπονίας Φυτικής Παραγωγής και Αγροτικού Περιβάλλοντος του Πανεπιστημίου Θεσσαλίας δε δηλώνει αποδοχή των γνώμων του συγγραφέα.

## Πρόλογος

Η ιδέα της διπλωματικής αυτής εργασίας προέκυψε μετά την εισαγωγή μου στο πρόγραμμα μεταπτυχιακών σπουδών, καθώς ταμανιτάρια αποτελούσαν αντικείμενο έρευνας για εμένα από τις προπτυχιακές σπουδές μου. Όταν προσέγγισα την καθηγήτρια εδαφολογίας και Δημήρκου, αγκάλιασε αμέσως την ιδέα, και έτσι άρχισε να παίρνει δομή η παρακάτω εργασία. Βεβαίως και υπήρξαν πολλά προβλήματα καθώς, δεν υπήρχαν οι κατάλληλες υποδομές στα εργαστήρια για να καλλιεργηθούν οι μακρομύκητες. Για αυτό ακριβώς τον λόγο και επιλέχθηκαν έτοιμα επωασμένα υποστρώματα.

Με την ολοκλήρωση της παρούσας Μ.Δ.Ε θα ήθελα να εκφράσω τις θερμές μου ευχαριστίες στην Καθηγήτρια του Πανεπιστημίου Θεσσαλίας, Τμήμα Γεωπονίας Φυτικής Παραγωγής και Αγροτικού Περιβάλλοντος, κα Δημήρκου Ανθούλα, η οποία ανέλαβε πρόθυμα την επίβλεψη της Μ.Δ.Ε. Να την ευχαριστήσω που μου έδωσε την ευκαιρία να ασχοληθώ με ένα επιστημονικό θέμα που με ενδιαφέρει πάρα πολύ.

Ακόμη, θα ήθελα να ευχαριστήσω ιδιαίτερα τον Επίκουρο Καθηγητή Αντωνιάδη Βασίλειο, για την προθυμία του να συμμετέχει στην τριμελή εξεταστική επιτροπή, καθώς και για την πολύτιμη βοήθεια του στην καταμέτρηση της συγκέντρωσης των βαρέων μετάλλων στην ατομική απορρόφηση.

Θα ήθελα να ευχαριστήσω θερμά τον Πολατίδη Ηλία, προπτυχιακό φοιτητή του τμήματος Γεωπονίας Φυτικής Παραγωγής και Αγροτικού Περιβάλλοντος, για την βοήθεια που προσέφερε στην καλλιέργεια των μανιταριών καθώς και στο εργαστηριακό μέρος της έρευνας.

Τέλος θα ήθελα να ευχαριστήσω το Εργαστήριο Εντομολογίας, του τμήματος Γεωπονίας Φυτικής Παραγωγής και Αγροτικού Περιβάλλοντος, για την παραχώρηση του θερμοκηπίου στο οποίο διεξήχθη το πειραματικό μέρος της έρευνας.

## ΠΕΡΙΛΗΨΗ

Στην παρούσα έρευνα μελετήθηκε η προσρόφηση του μαγγανίου, ψευδαργύρου και χρωμίου, από καλλιέργεια μανιταριών του γένους *Pleurotus*. Σκοπός μας ήταν η καταγραφή, της προσρόφησης των διαλυμάτων επιμόλυνσης που προστέθηκαν στα υποστρώματα από το είδος *Pleurotus ostreatus*, η μορφολογία των βασιδιοκαρπίων σε σύγκριση με τον μάρτυρα και το μέγεθος της παραγωγής τους. Χρησιμοποιήθηκαν έτοιμα επωασμένα υποστρώματα τα οποία τοποθετήθηκαν σε θερμοκήπιο στις εγκαταστάσεις του τμήματος Γεωπονίας Φυτικής Παραγωγής και Αγροτικού Περιβάλλοντος, για διάστημα 3 μηνών (18/1/17-7/4/17). Επιμολύνθηκαν τα υποστρώματα των μανιταριών με 3 διαλύματα κλιμακούμενης συγκέντρωσης, για το μαγγάνιο (35, 243, 1190 μg/ml), τον ψευδάργυρο (10, 100, 500 μg/ml) και το χρώμιο (26, 199, 2115 μg/ml). Συνολικά σε 28 υποστρώματα προστέθηκαν τα διαλύματα επιμόλυνσης και 13 παρέμειναν χωρίς επιμόλυνση και χρησίμευσαν ως μάρτυρας. Τα αποτελέσματα της έρευνας έδειξαν ότι υπήρξε επιτυχής προσρόφηση των βαρέων μετάλλων από τα βασιδιοκάρπια με μέση ολική τιμή για τα διαλύματα, του μαγγανίου 34,6 μg/g, του ψευδαργύρου 346,7 μg/g και του χρωμίου 17,6 μg/g. Από τα αποτελέσματα του δείκτη βιοσυσσώρευσης (BAF), σημαντική βιοσυσσώρευση στα μανιτάρια *Pleurotus* είχε μόνο ο ψευδάργυρος. Επίσης εμφανίσθηκε συρρίκνωση των βασιδιοκαρπίων στις υψηλές συγκεντρώσεις των διαλυμάτων χρωμίου και μαγγανίου και υπήρξε γενική μείωση στην παραγωγή βασιδιοκαρπίων σε όλα τα διαλύματα επιμόλυνσης. Τέλος όλα τα διαλύματα επιμόλυνσης του ψευδαργύρου προκάλεσαν συρρίκνωση στα βασιδιοκάρπια και το διάλυμα των 500 μg/ml πιθανών να είναι τοξικό για το είδος *Pleurotus ostreatus*.

Λέξεις Κλειδιά: Βιοσυσσώρευση, Μακρομύκητες, *Pleurotus*.

## SUMMARY

In this study we investigated the adsorption of manganese, zinc and chromium by cultivating mushrooms of the genus *Pleurotus*. Our purpose was to study the absorption of contamination treatments added to the substrates of the species *Pleurotus ostreatus*, the morphology of the fruiting bodies as compared to the control and the size of their production. Ready-to-use substrates were used and placed in a greenhouse at the facilities of the Department of Agricultural Production and Rural Environment for 3 months (18/1/17-7/4/17). The mushroom substrates were contaminated with 3 scaled concentrations of manganese (35, 243, 1190 µg/ml), zinc (10, 100, 500 µg/ml) and chromium (26, 199, 2115 µg/ml). A total of 28 substrates were contaminated with heavy metals and 13 remained uncontaminated and served as a control. The results of the study showed that there was a successful absorption of heavy metals from the fruiting bodies with a mean total value for the treats of manganese 34.6 µg/g, zinc 346.7 µg/g and chromium 17.6 µg/g. Based on the results of the bioaccumulation index (BAF), only zinc had significant bioaccumulation in *Pleurotus* mushrooms. We also occurred, shrinking of the fruiting bodies at high concentrations of the chromium and manganese treatments and there was a general reduction in the production of basidiocarps in all treatments. Finally, all treatments of zinc caused shrinkage of the fruiting bodies and the 500 µg/ml treatment may be toxic for *Pleurotus ostreatus*.

Key Words: Bioaccumulation, Macrofungi, *Pleurotus*.

Εγώ η Τσιτσέλα Αθανασία, είμαι η συγγραφέας αυτής της Μεταπτυχιακής Διατριβής Ειδίκευσης. Αυτή η Μ.Δ.Ε. αντικατοπτρίζει την έρευνα που έγινε από εμένα και δεν έχει υποβληθεί (εξ ολοκλήρου ή μέρος της) σαν προπτυχιακή διατριβή ή Μ.Δ.Ε ή ως μέρος Διδακτορικής Διατριβής σε αυτό ή άλλο Προπτυχιακό ή Μεταπτυχιακό Πρόγραμμα Σπουδών Ιδρυμάτων Τριτοβάθμιας Εκπαίδευσης του εσωτερικού ή εξωτερικού. Όποια συνεργασία, καθώς και το μέγεθος αυτής δηλώνονται επακριβώς στο αντίστοιχο πεδίο αυτής της διατριβής. Επίσης έχω διαβάσει όλες τις βιβλιογραφικές αναφορές που παρατίθενται στο τέλος.

Τσιτσέλα Αθανασία

Ως επιβλέπουσα της έρευνας που περιγράφεται σε αυτή την διατριβή, δηλώνω ότι όλοι οι όροι του Εσωτερικού Κανονισμού του Μεταπτυχιακού Προγράμματος Σπουδών του Τμήματος Γεωπονίας Φυτικής Παραγωγής και Αγροτικού Περιβάλλοντος έχουν τηρηθεί από την κα Γσιτσέλα Αθανασία.

Δημήρκου Ανθούλα



## ΠΙΝΑΚΑΣ ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΩΝ

|   |    |
|---|----|
| ΠΕΡΙΛΗΨΗ.....   | IV |
| SUMMARY .....   | V  |
| <b>ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1: ΕΙΣΑΓΩΓΗ</b> .....   | 9  |
| 1.1.: ΒΑΡΕΑ ΜΕΤΑΛΛΑ .....   | 9  |
| 1.1.1.: ΜΑΓΓΑΝΙΟ .....  | 10 |
| 1.1.2.: ΨΕΥΔΑΡΓΥΡΟΣ .....   | 11 |
| 1.1.3.: ΧΡΩΜΙΟ .....  | 11 |
| 1.2.: ΜΥΚΗΤΕΣ ΚΑΙ ΒΑΡΕΑ ΜΕΤΑΛΛΑ .....                                     | 12 |
| 1.2.1.: ΜΥΚΗΤΕΣ.....  | 13 |
| 1.2.2.: ΜΥΚΗΤΕΣ ΤΟΥ ΓΕΝΟΥΣ PLEUROTUS .....                                | 14 |
| 1.2.3.: ΠΡΟΣΡΟΦΗΣΗ ΒΑΡΕΩΝ ΜΕΤΑΛΛΩΝ .....                                  | 15 |
| 1.3.: ΣΚΟΠΟΣ ΤΗΣ ΕΡΕΥΝΑΣ .....  | 17 |
| <b>ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2: ΠΕΙΡΑΜΑΤΙΚΟ ΜΕΡΟΣ</b> .....                                | 18 |
| 2.1.: ΥΛΙΚΑ ΚΑΙ ΜΕΘΟΔΟΙ .....   | 18 |
| 2.1.1.: ΔΙΑΧΕΙΡΙΣΗ ΥΠΟΣΤΡΩΜΑΤΩΝ .....                                     | 18 |
| 2.1.2.: ΣΧΕΔΙΑΣΜΟΣ ΠΕΙΡΑΜΑΤΟΣ.....  | 19 |
| 2.1.3.: ΠΡΟΕΤΟΙΜΑΣΙΑ ΔΙΑΛΥΜΑΤΩΝ ΕΠΙΜΟΛΥΝΣΗΣ .....                         | 19 |
| 2.1.4.: ΕΠΙΜΟΛΥΝΣΗ ΥΠΟΣΤΡΩΜΑΤΩΝ.....                                      | 19 |
| 2.1.5.: ΜΕΘΟΔΟΣ ΣΥΛΛΟΓΗΣ ΥΛΙΚΟΥ .....                                     | 20 |
| 2.1.6.: ΔΕΙΓΜΑΤΑ ΜΑΡΤΥΡΑ .....  | 21 |
| 2.1.7.: ΔΕΙΓΜΑΤΑ ΕΠΙΜΟΛΥΣΜΕΝΑ.....  | 22 |
| 2.2.: ΣΤΑΤΙΣΤΙΚΗ ΑΝΑΛΥΣΗ .....  | 22 |
| 2.2.1.: ΣΥΝΤΕΛΕΣΤΗΣ ΒΙΟΣΥΣΣΩΡΕΥΣΗΣ (ΒΑΦ) .....                            | 22 |
| <b>ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3: ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ</b> .....                                     | 23 |
| 3.1.: ΣΥΣΣΩΡΕΥΣΗ ΜΑΓΓΑΝΙΟΥ, ΨΕΥΔΑΡΓΥΡΟΥ ΚΑΙ ΧΡΩΜΙΟΥ ΣΤΑ<br>ΜΑΝΙΤΑΡΙΑ..... | 23 |
| 3.2.: ΜΕΣΗ ΣΥΓΚΕΝΤΡΩΣΗ ΜΕΤΑΛΛΩΝ ΣΤΟ ΜΑΝΙΤΑΡΙ ΚΑΙ ΣΤΟ ΥΠΟΣΤΡΩΜΑ<br>.....   | 27 |
| 3.3.: ΑΠΟΔΟΣΗ ΥΠΟΣΤΡΩΜΑΤΩΝ .....  | 30 |
| 3.3.1.: ΜΟΡΦΟΛΟΓΙΑ ΒΑΣΙΔΙΟΚΑΡΠΙΩΝ ΧΩΡΙΣ ΕΠΙΜΟΛΥΝΣΗ (ΜΑΡΤΥΡΑΣ) 31          |    |
| 3.3.2.: ΜΟΡΦΟΛΟΓΙΑ ΒΑΣΙΔΙΟΚΑΡΠΙΩΝ ΜΕ ΕΠΙΜΟΛΥΝΣΗ .....                     | 34 |
| <b>ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4: ΣΥΖΗΤΗΣΗ</b> .....   | 44 |
| 4.1. ΟΛΙΚΗ ΣΥΓΚΕΝΤΡΩΣΗ ΒΑΡΕΩΝ ΜΕΤΑΛΛΩΝ.....                               | 44 |
| 4.2. ΔΕΙΚΤΗΣ ΒΙΟΣΥΣΣΩΡΕΥΣΗΣ .....   | 46 |
| 4.3. ΑΠΟΔΟΣΗ ΥΠΟΣΤΡΩΜΑΤΩΝ ΚΑΙ ΜΟΡΦΟΛΟΓΙΑ ΒΑΣΙΔΙΟΚΑΡΠΙΩΝ .....             | 46 |
| <b>ΚΕΦΑΛΑΙΟ 5: ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ</b> .....                                     | 47 |
| <b>ΚΕΦΑΛΑΙΟ 6: ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ</b> .....                                     | 48 |
| <b>ΚΕΦΑΛΑΙΟ 7: ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ</b> .....  | 55 |

## 1. ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Κατά την σύγχρονη εποχή, η ρύπανση των εδαφών σε παγκόσμια κλίμακα ολοένα και αυξάνεται. Αυτό συνέβει κυρίως με την αρχή της εκβιομηχάνισης, τη χρήση χημικών στη γεωργία, καθώς και λόγω των ακατάλληλων μεθόδων διαχείρισης αποβλήτων. Οι πιο κοινοί ρύποι του εδάφους είναι οι υδρογονάνθρακες, τα ζιζανιοκτόνα, τα φυτοφάρμακα και τα βαρέα μέταλλα (Damodaran *et al.*, 2013; George *et al.*, 2014; Zou *et al.*, 2017).

### 1.1. ΒΑΡΕΑ ΜΕΤΑΛΛΑ

Ο όρος ‘βαρέο μέταλλο’, αναφέρεται σε οποιοδήποτε μεταλλικό χημικό στοιχείο, που έχει σχετικά μεγάλη πυκνότητα και είναι τοξικό, σε χαμηλές συγκεντρώσεις στους φυτικούς ή ζωικούς οργανισμούς. Στο περιβάλλον έχουν ανιχνευθεί πάνω από 40 στοιχεία τα οποία ανήκουν στα μέταλλα (Βαλαβανίδης, 2008). Ορισμένα παραδείγματα είναι ο μόλυβδος (Pb), ο ψευδάργυρος (Zn), ο χαλκός (Cu), ο υδράργυρος (Hg), ο σίδηρος (Fe), το μαγγάνιο (Mn), και το αρσενικό (Oghenekaro *et al.*, 2008; Γεωργόπουλος *κ.α.*, 2013). Τα στοιχεία αυτά χαρακτηρίζονται από υψηλή τοξικότητα. Ο βαθμός τοξικότητας τους μειώνεται αριστερά προς δεξιά ως εξής: υδράργυρος > χαλκός > ψευδάργυρος > μόλυβδος > κάδμιο > χρώμιο > μαγγάνιο (Γεωργόπουλος *κ.α.*, 2013).

Τα βαρέα μέταλλα είναι φυσικά συστατικά του φλοιού της γης και δεν μπορούν να αποδομηθούν (Oghenekaro *et al.*, 2008; Zou *et al.*, 2017). Μέσα από την ανθρώπινη παρέμβαση και τους γεωχημικούς κύκλους, τα μέταλλα που βρίσκονται στο έδαφος ανακατανέμονται στο περιβάλλον (Βαλαβανίδης, 2008). Γενικά είναι ιδιαίτερα έμμονοι ρύποι και αποτελούν ένα από τα πιο σοβαρά περιβαλλοντικά προβλήματα. Συγκεκριμένα αλλοιώνουν αναλόγως με την συγκέντρωσή τους, τη δομή, και τις λειτουργίες του εδάφους (Anyakorah & Jinadu, 2015).

Οι ανθρωπογενείς πηγές τους συνήθως προέρχονται, από τις βιομηχανικές δραστηριότητες, δηλαδή από τα χαλυβουργεία, τα εργοστάσια παραγωγής φυτοφαρμάκων, τις βιομηχανίες χρωμάτων, και τα διυλιστήρια του πετρελαίου (Βαλαβανίδης, 2008; Γεωργόπουλος *κ.α.*, 2013; George *et al.*, 2014). Στην Ελλάδα παράγονται πάνω από 600.000 τόνοι τοξικών βιομηχανικών αποβλήτων, που καταλήγουν ανεξέλεγκτα στο περιβάλλον (Μοδινός, 2001).

Όσον αφορά τους οργανισμούς, ορισμένα μέταλλα είναι χρήσιμα για την ανάπτυξη τους. Το μαγνήσιο, ο σίδηρος, και το κάλιο, είναι απαραίτητα για την διατήρηση της ζωής, και μόνο σε αυξημένες συγκεντρώσεις καθίστανται τοξικά (Hanif *et al.*, 2011). Στοιχεία όπως ο χαλκός, το μαγγάνιο, και ο ψευδάργυρος είναι απαραίτητα συστατικά σε διεργασίες που αφορούν την

φωτοσύνθεση (Βαλαβανίδης, 2008). Κάποια όπως ο χαλκός, το σελήνιο, ο ψευδάργυρος, το χρώμιο και το μαγγάνιο είναι απαραίτητα και για τον μεταβολισμό του ανθρώπινου σώματος (Baldrian, 2009; Garcia *et al.*, 2013). Όμως στους ανθρώπους, η έκθεση στα βαρέα μέταλλα μπορεί να προκαλέσει και δυσμενείς επιπτώσεις στην υγεία, ανάλογα με το επίπεδο και τη διάρκεια της (Oghenekaro *et al.*, 2008; Gebrelibanos *et al.*, 2016). Οι κυριότερες δράσεις τους είναι, νεφροτοξικές (Pb, Hg, As, Cd), νευροτοξικές (Hg, Pb) και καρκινογόνες (As, Cr) (Βαλαβανίδης, 2008; Γεωργόπουλος *κ.α.*, 2013). Ενώ η πρόσληψη τους μπορεί να γίνει, μέσω της εισπνοής συνήθως σε περιοχές επιβαρυνμένες από ατμοσφαιρικούς ρύπους, μέσω της κατάποσης μολυσμένου νερού και τέλος, δια μέσω των τροφίμων (Oghenekaro *et al.*, 2008).

Στην φύση, αν και οι χαμηλές συγκεντρώσεις μετάλλων μπορούν να γίνουν αποδεκτές από ορισμένα φυτά χωρίς να είναι τοξικές, οι υψηλές συγκεντρώσεις έχουν αρνητική επίδραση στα χερσαία ζώα, και στους μικροοργανισμούς (Βαλαβανίδης, 2008; Zhu *et al.*, 2011). Μέταλλα, όπως ο μόλυβδος, και ο υδράργυρος είναι τοξικά σε οποιαδήποτε συγκέντρωση (Βαλαβανίδης, 2008; Hanif *et al.*, 2011). Αυτά δεν έχουν κάποια γνωστή ευεργετική δράση, και η συσσώρευση τους στους οργανισμούς, με την πάροδο του χρόνου μπορεί να προκαλέσει σοβαρές ασθένειες (Oghenekaro *et al.*, 2008; Gebrelibanos *et al.*, 2016).

#### 1.1.1. ΜΑΓΓΑΝΙΟ

Το μαγγάνιο (Mn), είναι στοιχείο που αποτελεί περίπου το 0,1% του φλοιού της γης και είναι το 5<sup>ο</sup> πιο άφθονο μέταλλο. Το μαγγάνιο δεν υπάρχει στη φύση ως στοιχειακή μορφή, αλλά συναντάται κυρίως ως οξείδιο, ως ανθρακικό και πυριτικό άλας (Williams *et al.*, 2012). Αποτελεί απαραίτητο στοιχείο στην φύση, διότι λειτουργεί ως βασικό στοιχείο στην ανάπτυξη των φυτών, των ζώων ακόμα και των μυκήτων (Ross, 1975; Ma *et al.*, 2013).

Για τον άνθρωπο το μαγγάνιο αποτελεί βασική θρεπτική ουσία. Βοηθά στην παραγωγή της γλυκόζης, στην επούλωση των πληγών και η λειτουργία πολλών ενζύμων εξαρτάται άμεσα από αυτό (Williams *et al.*, 2012; Ma *et al.*, 2013). Η επαρκής ποσότητα ανά ημέρα είναι 2,3 και 1,8 mg/d για τον άντρα και την γυναίκα αντίστοιχα (Williams *et al.*, 2012). Η έκθεση όμως σε υψηλότερα επίπεδα μαγγανίου είναι τοξική. Συγκεκριμένα υψηλές ποσότητες μαγγανίου συσσωρεύονται στην περιοχή του εγκεφάλου (Williams *et al.*, 2012) και προκαλούν βλάβες στο νευρικό σύστημα, στο ανοσοποιητικό σύστημα και στο αναπαραγωγικό σύστημα (Ma *et al.*, 2013). Επιπλέον η χρόνια εισπνοή υψηλών επιπέδων μαγγανίου μπορεί να προκαλέσει νευροεκφυλιστική διαταραχή, πάρκινσον, πνευμονική εμβολή και βρογχίτιδα (Ma *et al.*, 2013).

Οι χρήσεις του μαγγανίου στην καθημερινότητα του ανθρώπου ποικίλλουν, καθώς στην ανόργανη μορφή του χρησιμοποιείται στην παραγωγή μπαταριών, γυαλιού ακόμα και ως λίπασμα. Επιπλέον στην οργανική του μορφή χρησιμοποιείται ως μυκητοκτόνο και ως πρόσθετο στα λάδια καυσίμων (Williams *et al.*, 2012).

### 1.1.2. ΨΕΥΔΑΡΓΥΡΟΣ

Ο ψευδάργυρος (Zn), αποτελεί μέταλλο που βρίσκεται παντού στη φύση (Frassinetti *et al.*, 2006; Udochukwu *et al.*, 2014). Συγκεκριμένα, υπάρχει στα περισσότερα τρόφιμα, στο νερό στον αέρα, και εμφανίζεται ως αποτέλεσμα, της διάβρωσης, των δασικών πυρκαγιών, και των ηφαιστειακών εκρήξεων (Frassinetti *et al.*, 2006).

Αποτελεί θρεπτική ουσία για τον άνθρωπο και τα ζώα και βοηθά στη λειτουργία πολλών ενζύμων (Goyer & Clarkson, 2001; Frassinetti *et al.*, 2006; Das *et al.*, 2014). Η συνιστώμενη ημερήσια δόση για τον ψευδάργυρο είναι 11 mg/d στους άνδρες και 8 mg/d στις γυναίκες (ATSDR, 2005). Στο άνθρωπο η ανεπάρκεια του, έχει συσχετιστεί με διάφορες παθήσεις, όπως δερματίτιδες, ανορεξία, καθυστέρηση της ανάπτυξης, και κακή επούλωση τραυμάτων (ATSDR, 2005; Duruibe *et al.*, 2007). Ενώ, η υψηλή συγκέντρωση ψευδαργύρου μπορεί να είναι επιβλαβής για τον άνθρωπο (Das *et al.*, 2014), διότι μπορεί να καταστείλει την απορρόφηση του χαλκού και σιδήρου (Duruibe *et al.*, 2007), επίσης οδηγεί σε αυξημένη αναπνευστική δραστηριότητα ή σε μειωμένη πρόσληψη οξυγόνου (Oghenekaro *et al.*, 2008; Das *et al.*, 2014). Στο περιβάλλον επίσης μπορεί να θεωρηθεί ως τοξικός ρύπος όταν βρίσκεται σε υψηλή συγκέντρωση. Συγκεκριμένα στην οδηγία για τις επικίνδυνες ουσίες της Ευρωπαϊκής Ένωσης, ο ψευδάργυρος έχει καταχωριστεί ως η 2<sup>η</sup> πιο επικίνδυνη ουσία (Das *et al.*, 2014).

Η ανθρώπινη χρήση του ψευδαργύρου, είναι κυρίως στην βιομηχανία. Χρησιμοποιείται στα σκευάσματα οικιακής χρήσης, ως πρόσθετη κάλυψη στον χάλυβα και στον σίδηρο, και ως προστατευτικό από την διάβρωση στο κράμα του χαλκού. Χρησιμοποιείται επίσης στα λιπάσματα, και στα εντομοκτόνα (Παπαδημητρίου, 2013).

### 1.1.3. ΧΡΩΜΙΟ

Το χρώμιο (Cr) είναι το 10<sup>ο</sup> πιο συχνά ευρισκόμενο στοιχείο στη γή, εμφανίζοντας περισσότερες από μία καταστάσεις οξειδωσης (Παπαδοπούλου, 2014; Siric *et al.*, 2016). Η συγκέντρωση που υπάρχει στο φυσιολογικό ορυκτό έδαφος της Γης, έχει μέσο όρο 200 mg/kg, και το μεγαλύτερο μέρος αυτής της συγκέντρωσης είναι το Cr (III) (Guertin, 2004). Στο περιβάλλον υπάρχει εξαιτίας της διάβρωσης των πετρωμάτων που περιέχουν χρώμιο, και

λόγω των ηφαιστειακών εκρήξεων (Παπαδοπούλου, 2014). Γενικά το στοιχειακό χρώμιο Cr (0), σπάνια εμφανίζεται φυσικά στο περιβάλλον, όπως και το Cr (II), που εμφανίζεται σε μικρές ποσότητες. Οι σταθερές μορφές που επικρατούν στο περιβάλλον είναι το Cr (III) και το Cr (VI) (Guertin, 2004).

Το χρώμιο (III - τρισθενές), είναι απαραίτητο για τον μεταβολισμό της γλυκόζης και της χοληστερόλης και αποτελεί βασικό στοιχείο για τον άνθρωπο και τα ζώα, αλλά σε υψηλότερα επίπεδα καθιστάται τοξικό και για τους δύο (Guertin, 2004; Ray, 2009; Garcia *et al.*, 2013). Σε αντίθεση με το Cr (VI - εξασθενές), που θεωρείται επικίνδυνο και σε μικρές ποσότητες πρόσληψης (Guertin, 2004). Γενικά το Cr (VI) είναι περίπου 100 φορές πιο τοξικό και 1000 φορές πιο μεταλλαξιογόνο από το Cr (III) (Netzahuatl *et al.*, 2015). Συγκεκριμένα έχει αποδειχθεί ότι είναι, καρκινογόνο, και τερατογόνο στα θηλαστικά, συμπεριλαμβανομένων των ανθρώπων (Garcia *et al.*, 2013). Μπορεί επίσης, να προκαλέσει αλλεργικές αντιδράσεις, αναπνευστικές διαταραχές, βλάβη στα νεφρά, στο ήπαρ και στο γαστρικό σύστημα και να αποδυναμώσει το ανοσοποιητικό σύστημα (Dey *et al.*, 1995; Ray, 2009; Netzahuatl *et al.*, 2015). Το όριο έκθεσης για τον άνθρωπο έχει τεθεί, στα  $1 \text{ mg/m}^3$  για το Cr (VI) και στα  $500 \text{ mg/m}^3$  για το Cr (0), Cr (II), Cr (III), (Guertin, 2004).

Οι μεγαλύτερες ανθρώπινες πηγές εκπομπής χρωμίου, είναι η επιμετάλλωση με χρώμιο, η καύση του άνθρακα, η εξόρυξη και καύση του πετρελαίου, ο καθαρισμός των φύλλων σιδήρου, οι χαλυβουργίες και η συντήρηση και επεξεργασία του ξύλου (Guertin, 2004; Krishna & Philip, 2005; Ray, 2009).

## 1.2. ΜΥΚΗΤΕΣ ΚΑΙ ΒΑΡΕΑ ΜΕΤΑΛΛΑ

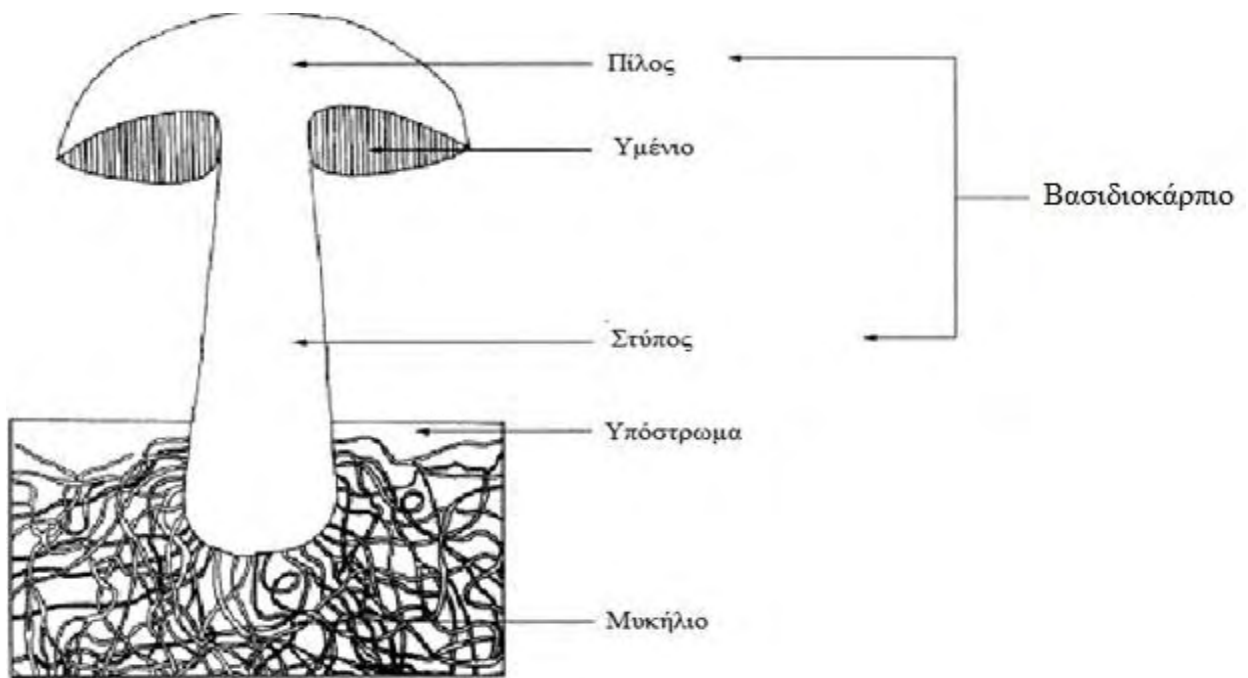
Από την ανασκόπηση της βιβλιογραφίας αντιλαμβανόμαστε πως στην φύση, η υψηλή συγκέντρωση των βαρέων μετάλλων, προκαλεί ανησυχία, εξαιτίας όλων των δυσμενών επιπτώσεων που έχουν, στην ασφάλεια των τροφίμων, στους οργανισμούς του εδάφους και των ανθρώπων. Επομένως, αρκετές μέθοδοι έχουν χρησιμοποιηθεί για την απομάκρυνση τους από το περιβάλλον. Οι μύκητες, τα φύκια, τα βακτήρια, και τα φυτά έχουν βρεθεί ότι είναι αποτελεσματικά στην αποκατάσταση των εδαφών, καθώς έχουν εμφανίσει μεγάλη ικανότητα προσρόφησης βαρέων μετάλλων (Anyakorah & Jinadu, 2015). Ειδικά οι μακρομύκητες, τα τελευταία χρόνια έχουν προταθεί ως πιθανά υλικά για την αποκατάσταση εδαφών που περιέχουν βαρέα μέταλλα (Hanif *et al.*, 2011; Javaid *et al.*, 2011).

### 1.2.1. ΜΥΚΗΤΕΣ

Οι μύκητες είναι μια ξεχωριστή ομάδα οργανισμών που αποτελεί το δεύτερο σε μέγεθος βασίλειο μετά από αυτό των εντόμων και περιλαμβάνει είδη με μεγάλα και ορατά σώματα (μακρομύκητες) και είδη που φαίνονται μόνο με τη χρήση του μικροσκοπίου (μικρομύκητες) (Servi, 2010; Javaid *et al.*, 2011).

Το πιο γνωστό παράδειγμα μακρομυκήτων είναι ταμανιτάρια, τα οποία συναντάμε κυρίως σε δασικές περιοχές (Boa, 2004). Αυτό που αποκαλούμε μανιτάρι, είναι το ορατό μέρος του οργανισμού, ο σποροφόρος (βασιδιοκάρπιο), που βρίσκεται συνήθως πάνω από την επιφάνεια του υποστρώματος (Εικόνα 1) (Κωνσταντινίδης, 2002; Denchev *et al.*, 2013). Μέσα στα διάφορα υποστρώματα (χώμα, ξύλο κ.α), βρίσκεται το μυκήλιο (Κελτεμλίδης, 1990; Boa, 2004) που αποτελεί το όργανο παραγωγής των μανιταριών (Πολέμης, 2010; Denchev *et al.*, 2013). Το μυκήλιο αποτελείται από λεπτές νηματοειδείς 'κλωστές' γνωστές και ως υφές μεγέθους 2-10 μm (Κελτεμλίδης, 1990), που αναπτύσσονται ακτινικά εντός του κάθε υποστρώματος και δεν διακρίνονται με γυμνό μάτι (Πολέμης, 2010).

Οι μύκητες είναι ετερότροφοι οργανισμοί. Ως ετερότροφοι δεν περιέχουν χλωροφύλλη, επομένως δεν έχουν την ικανότητα της φωτοσύνθεσης (Κελτεμλίδης, 1990). Συνεπώς για να τραφούν χρειάζεται να προσλάβουν οργανικές ενώσεις από ζωντανούς ή νεκρούς οργανισμούς (Κωνσταντινίδης, 2002). Συγκεκριμένα λαμβάνουν την τροφή τους δια μέσου του μυκηλίου τους, με την απελευθέρωση ενζύμων που διασπών σύμπλοκες ενώσεις (λιγνίνη, κυτταρίνη) σε ευδιάλυτα προϊόντα. Τα διαλυτά προϊόντα στη συνέχεια, απορροφούνται από τις υφές, με αποτέλεσμα την αύξηση του μυκηλίου (Largent, 1986). Για να αναπαραχθούν οι μύκητες δημιουργούν, εξειδικευμένες υφές (υμένιο), που παράγουν τα σπόρια, τα οποία τα αφήνουν κατά τη διάρκεια της ωρίμανσης τους (ενεργητικά ή παθητικά) (Elsayed, 2014).



Εικόνα 1: Τυπική δομή μανιταριού (πηγή: Kalac & Svoboda, 2000)

Οι περιβαλλοντικές συνθήκες που χρειάζονται για να εμφανιστούν, ποικίλουν αναλόγως με την προτίμηση του κάθε είδους (Κελτεμλίδης, 1990). Συνήθως προτιμούν την υψηλή υγρασία στην ατμόσφαιρα, στο υπόστρωμα, και τις σχετικά σταθερές θερμοκρασίες στη διάρκεια της ημέρας (Kauseud, 2008). Αυτό συμβαίνει γιατί οι χαμηλές θερμοκρασίες κατά τη διάρκεια της νύχτας σταματούν την ανάπτυξη του μυκηλίου. Ενώ οι υψηλές θερμοκρασίες κατά την διάρκεια της ημέρας επιταχύνουν την εξάτμιση και ξεραινούν το υπόστρωμα (Κωνσταντινίδης, 2002; Ζούμη, 2012; Denchev *et al.*, 2013). Όταν βρεθούν οι κατάλληλες συνθήκες, μπορούν να αναπτυχθούν με μεγάλη ταχύτητα. Ο κύκλος ζωής τους είναι από μερικές ώρες όπως για τα είδη *Coprinus*, λίγες ημέρες όπως είναι τα σαρκώδη μανιτάρια του γένους *Boletus*, είδη που σχηματίζουν ξυλώδη-φελλώδη μανιτάρια (είδη *Polyporus*) που ζούν έως και μερικά χρόνια (Κελτεμλίδης, 1995).

### 1.2.2. ΜΥΚΗΤΕΣ ΤΟΥ ΓΕΝΟΥΣ *PLEUROTUS*

Το γένος *Pleurotus* είναι μακρομύκητας που ανήκει στην οικογένεια των Βασιδιομυκήτων. Πρόκειται για γένος σαπροτροφικό, ελασματοφόρο ημικυκλικής μορφής με αλληλοεπικαλυπτόμενα καρποσώματα και ψευδοστύπο (Ζερβάκης, 1992) (Εικόνα 2). Έχει σχετικά μεγάλο μέγεθος (10-15 εκ), καφέ πύλο, και λευκά ελάσματα. Στη φύση εμφανίζεται κυρίως το φθινόπωρο και τον χειμώνα (Αθανασίου, 2010; Javaid *et al.*, 2011).



Εικόνα 2: Τυπική δομήμανιταριού *Pleurotus* στη φύση (πηγή: Τσιτσέλα, 2016)

Το γένος *Pleurotus* περιλαμβάνει 40 είδη, τα οποία εμφανίζονται τόσο στα εύκρατα όσο και στα τροπικά κλίματα. Φύονται σε μία ευρεία ποικιλία στερεών λιγνοκυτταρινικών υποστρωμάτων, επομένως αυτό το γένος έχει γίνει ένα από τα πιο καλλιεργήσιμα είδη μανιταριών στον κόσμο μετά από το γένος *Agaricus* (Chiu *et al.*, 1998; Lynch & Thorn, 2006; Machulak *et al.*, 2012). Στην καλλιέργεια μανιταριών του γένους *Pleurotus*, διάφορα συστατικά προστίθεται έτσι ώστε να βελτιωθεί η ανάπτυξη του μύκητα και να αυξηθεί η παραγωγή και η μείωση της πιθανότητας προσβολής από βακτήρια. Ένα από αυτά τα συστατικά είναι και το μαγγάνιο, το οποίο προστίθεται έτσι ώστε να βελτιωθεί η απόδοση του μύκητα *Pleurotus ostreatus*. Γενικά το μαγγάνιο ρυθμίζει πολλές ενζυμικές δραστηριότητες, και αυξάνει την αποικοδόμηση της λιγνίνης. Όμως, οι υψηλές συγκεντρώσεις του, προκαλούν μετάλλαξη και αναστέλλουν την ανάπτυξη του μύκητα (Chiu *et al.*, 1998). Άλλα στοιχεία όπως είναι ο φωσφόρος, το μαγνήσιο, το θείο, το ασβέστιο, ο σίδηρος, το κάλιο, ο χαλκός, ο ψευδάργυρος, το κοβάλτιο, καθώς και διάφορες βιταμίνες, προστίθεται στις καλλιέργειες μανιταριών *Pleurotus* (Bellettini *et al.*, 2016).

### 1.2.3. ΠΡΟΣΡΟΦΗΣΗ ΒΑΡΕΩΝ ΜΕΤΑΛΛΩΝ

Τα μανιτάρια αποτελούν το βασιδιοκάρπιο, το οποίο αναπτύσσεται μέσα από την μάζα του μυκηλίου. Το μυκήλιο, εκκρίνει ένζυμα που διασπούν τις πολύπλοκες ουσίες σε απλούστερες, με σκοπό να τις απορροφήσει (Largent, 1986; Udochukwu *et al.*, 2014). Τα βαρέα μέταλλα μπορούν να προσροφηθούν από τα μανιτάρια. Η πιο αποτελεσματική μέθοδος πρόσληψης



είναι μέσω του νερού, ειδικά σε περιπτώσεις που το ίδιο το υπόστρωμα περιέχει νερό επιμολυσμένο (Baldrian, 2002; Damodaran *et al.*, 2011; Gupta, 2014).

Οι συγκεντρώσεις των βαρέων μετάλλων στα μανιτάρια είναι υψηλότερες από εκείνες στα φυτά καλλιέργειας, στα λαχανικά και τα φρούτα (Demirbas, 2001; Gupta, 2014; Siric *et al.*, 2016). Αυτή η αυξημένη, τάση βιοσυσσώρευσης συμβαίνει, λόγω του μυκηλίου (Oghenekaro *et al.*, 2008; Quarcoo & Adotey, 2013; Gupta, 2014), καθώς η δομή του έχει μεγάλη βιομάζα και υψηλή τάση έλξης προς τα μέταλλα (Damodaran *et al.*, 2013). Επομένως τα μανιτάρια που καρποφορούν ή καλλιεργούνται, σε φυσικούς οικοτόπους, και σε εδάφη που μολύνονται από ανθρωπογενείς πηγές μπορούν να απορροφήσουν μέταλλα και να τα συγκεντρώσουν στο βρώσιμο μέρος (Demirbas, 2001; Garcia *et al.*, 2013).

Ορισμένα μέταλλα που προσροφούνται είναι απαραίτητα για τον μεταβολισμό των μυκήτων, ενώ άλλα δεν έχουν γνωστό βιολογικό ρόλο. Όμως όταν βρίσκονται σε μεγάλες συγκεντρώσεις, τα απαραίτητα και τα μη απαραίτητα βαρέα μέταλλα είναι τοξικά για τους μύκητες (Baldrian, 2002; Aloupi *et al.*, 2012). Τα μέταλλα που είναι απαραίτητα είναι ο χαλκός, ο σίδηρος, το μαγγάνιο, το μολυβδαίνιο, ο ψευδάργυρος και το νικέλιο. Τα μη απαραίτητα είναι το χρώμιο, το κάδμιο, ο μόλυβδος, ο υδράργυρος και το ασήμι (Baldrian, 2002).

Γενικά οι μύκητες έχουν υψηλή αντοχή στα μέταλλα και μπορούν να τα απομονώσουν, και να τα αποτοξινώσουν με διάφορους μηχανισμούς, όπως με τον μετασχηματισμό του σθένους τους, και μέσω της ενεργής πρόσληψης τους (Baldrian, 2002; Zafar *et al.*, 2006; Javaid *et al.*, 2011; Chen *et al.*, 2015). Μελέτες έχουν δείξει ότι η ακριβής συγκεντρώση τους, εξαρτάται από την φυσιολογία του είδους, από το υπόστρωμα στο οποίο αναπτύσσονται και τη συγκέντρωση των μετάλλων (Damodaran *et al.*, 2011; Anyakorah & Jinadu, 2015). Συγκεκριμένα το περιεχόμενο του υποστρώματος σε οργανική ύλη, το pH (Demirbas, 2001; Zhu *et al.*, 2011; Gebrelibanos *et al.*, 2016), το είδος των μανιταριών, και η ηλικία του μυκηλίου έχει βρεθεί πως επηρεάζει την προσρόφηση των μετάλλων (Kalac & Svoboda, 2000; Gupta, 2014; Gebrelibanos *et al.*, 2016; Karahi & Sachdeva, 2017). Βέβαια παρόλο που έχει μελετηθεί η πρόσληψη και η περιεκτικότητα σε βαρέα μέταλλα σε ορισμένα είδη μανιταριών, η σχέση αντίστασης και συσσώρευσης βαρέων μετάλλων δεν είναι πλήρως κατανοητή (Sanglimsuwan *et al.*, 1993; Damodaran *et al.*, 2011; Javaid *et al.*, 2011). Έχει διαπιστωθεί πως οι μύκητες επηρεάζονται αφότου τα βαρέα μέταλλα εισέλθουν και κατανεμηθούν στο βασιδιοκάρπιο (Damodaran *et al.*, 2011; Gupta, 2014; Karahi & Sachdeva, 2017). Στη συνέχεια επηρεάζουν τη φυσιολογία και ανάπτυξη των μυκήτων,

ιδιαίτερα των σαπροτροφικών-ξυλοσηπτικών, επειδή τα μέταλλα εμπλέκονται στην διαδικασία αποδόμησης της λιγνίνης και της κυτταρίνης (Baldrian, 2002; Liu *et al.*, 2015). Για τους μύκητες, έχει προσδιοριστεί η ακόλουθη σειρά που αφορά την τοξικότητα των βαρέων μετάλλων: Ag> Hg> Cu> Cd> Cr> Ni> Pb> Co> Zn> Ca, Fe (Burgstaller & Schinner, 1993). Επιπλέον για ορισμένους σαπροτροφικούς μύκητες (λευκής σήψης) ο υδράργυρος και το κάδμιο φαίνεται να είναι τα πιο τοξικά βαρέα μέταλλα (Baldrian, 2002).

Η Ευρωπαϊκή Ένωση, δεν έχει θεσπίσει όρια για τα βαρέα μέταλλα στα μανιτάρια (Garcia *et al.*, 2013). Επομένως χρησιμοποιούνται τα όρια που έχουν θεσπιστεί για τα τρόφιμα έτσι ώστε να γίνει εκτίμηση του κινδύνου από την πρόσληψη των τοξικών βαρέων μετάλλων που περιέχουν τα μανιτάρια. Το όριο για το χρώμιο στα τρόφιμα, είναι 120 mg/kg (Zhu *et al.*, 2011), για τον ψευδάργυρο 60 mg/kg (Umeri *et al.*, 2015) και για το μαγγάνιο 400-1000 mg/kg (Zhu *et al.*, 2011; Wang *et al.*, 2017).

### 1.3. ΣΚΟΠΟΣ ΤΗΣ ΕΡΕΥΝΑΣ

Όπως αναφέρθηκε και σε προηγούμενο κεφάλαιο τη σημερινή εποχή, κυρίως λόγω των ανθρωπίνων δραστηριοτήτων, η επιμόλυνση του περιβάλλοντος έχει αυξηθεί. Επομένως είναι απαραίτητο να ανακαλύψουμε φυσικούς τρόπους απορρύπανσης του. Μέσα από μελέτες, οι μύκητες έχουν βρεθεί πως αποτελούν μία χαμηλού κόστους επένδυση με υψηλά ποσοστά αποτελεσματικότητας. Στην παρούσα έρευνα μελετήθηκε η προσρόφηση βαρέων μετάλλων, συγκεκριμένα το μαγγάνιο, ο ψευδάργυρος και το χρώμιο από καλλιέργεια μανιταριών του γένους *Pleurotus*. Επιμολύνθηκαν τα υποστρώματα των μυκήτων με 3 διαλύματα κλιμακούμενης συγκέντρωσης μαγγανίου, ψευδαργύρου, χρωμίου, έτσι ώστε να μελετηθεί:

- 1: Η δυνατότητα προσρόφησης τους από το βασιδιοκάρπιο
- 2: Η ανάπτυξη του μύκητα και το μέγεθος της παραγωγής
- 3: Η μορφολογία των βασιδιοκαρπίων σε σύγκριση με τον μάρτυρα

## 2. ΠΕΙΡΑΜΑΤΙΚΟ ΜΕΡΟΣ

### 2.1. ΥΛΙΚΑ ΚΑΙ ΜΕΘΟΔΟΙ

#### 2.1.1: ΔΙΑΧΕΙΡΙΣΗ ΥΠΟΣΤΡΩΜΑΤΩΝ

Επιλέχθηκαν 41 έτοιμα επωασμένα υποστρώματα αχύρου του είδους *Pleurotus ostreatus*, από την εταιρεία Gemma. Από την εταιρεία διάθεσης έτοιμων υποστρωμάτων, γνωρίζουμε πως τα υποστρώματα μπορούσαν να καρποφορήσουν έως 3 φορές (III σοδειές) κάθε 15 με 20 ημέρες, εφόσον οι συνθήκες ήταν κατάλληλες (σταθερή θερμοκρασία κατά την πάροδο της ημέρας και υψηλή υγρασία υποστρώματος). Το εύρος θερμοκρασίας και υγρασίας για την καρποφορία των *Pleurotus ostreatus* είναι από 8-22 C° και 80-90% αντίστοιχα ([www.gemma.gr](http://www.gemma.gr)). Τα υποστρώματα παραλήφθηκαν κατά τις 18 Ιανουαρίου και τοποθετήθηκαν σε θερμοκήπιο (Εικόνα 3), στις εγκαταστάσεις του τμήματος Γεωπονίας Φυτικής Παραγωγής και Αγροτικού Περιβάλλοντος για διάστημα 3 μηνών (18/1/17-7/4/17). Με αυτό τον τρόπο, εξασφαλίστηκε η διατήρηση της θερμοκρασίας στα επίπεδα καρποφορίας του είδους (8-20 C°). Για να διατηρούν τα υποστρώματα, ένα κατά προσέγγιση σταθερό ποσοστό υγρασίας (90-95%) ψεκαζόταν με νερό κάθε δεύτερη μέρα. Για τον αερισμό του χώρου αφέθηκε ένα παράθυρο ανοιχτό και για την καλύτερη ανάπτυξη των μυκήτων τα υποστρώματα είχαν απόσταση μεταξύ τους περίπου μισό μέτρο.



Εικόνα 3: θερμοκήπιο πειράματος

### 2.1.2. ΣΧΕΔΙΑΣΜΟΣ ΠΕΙΡΑΜΑΤΟΣ

Τα 41 υποστρώματα στη συνέχεια χωρίστηκαν σε τρεις κατηγορίες:

- 1: 13 υποστρώματα τα οποία παρέμειναν χωρίς επιμόλυνση και χρησίμευσαν ως μάρτυρας,
- 2: 8 υποστρώματα τα οποία επιμολύνθηκαν πριν από την I σοδειά,
- 3: 20 υποστρώματα τα οποία επιμολύνθηκαν μετά το πέρασμα της I σοδειάς.

### 2.1.3. ΠΡΟΕΤΟΙΜΑΣΙΑ ΔΙΑΛΥΜΑΤΩΝ ΕΠΙΜΟΛΥΝΣΗΣ

Για την επιμόλυνση των υποστρωμάτων επιλέχθηκαν 3 βαρέα μέταλλα (μαγγάνιο, ψευδάργυρος, χρώμιο). Στην συνέχεια παρασκευάστηκαν 3 διαλύματα κλιμακούμενης συγκέντρωσης μετάλλου, του 1 L νερού:

A) Μαγγάνιο ( $Mn(NO_3)_2 \cdot 4H_2O$ ) στη συγκέντρωση των 35, 243, 1190  $\mu g/ml$

B) Ψευδάργυρος ( $ZnCl_2 \cdot 2H_2O$ ) στη συγκέντρωση των 10, 100, 500  $\mu g/ml$

Γ) Χρώμιο ( $CrO_3$ ) στη συγκέντρωση των 26, 199, 2115  $\mu g/ml$

### 2.1.4. ΕΠΙΜΟΛΥΝΣΗ ΥΠΟΣΤΡΩΜΑΤΩΝ

Μετά την προετοιμασία των διαλυμάτων, τα υποστρώματα επιμολύνθηκαν σε τρεις δόσεις προσθέτοντας 100 ml διαλύματος. Συγκεκριμένα, για να πραγματοποιηθεί επιτυχής διασπορά του διαλύματος σε όλο το υπόστρωμα, χρησιμοποιήθηκε σύριγγα, με την οποία γινόταν διάχυση του διαλύματος σε διαφορετικές πλευρές των υποστρωμάτων. Συνολικά πραγματοποιήθηκαν 3-4 επαναλήψεις για κάθε διάλυμα επιμόλυνσης (Πίνακας 1).

Πίνακας 1: Ημερομηνία και ml επιμόλυνσης ανά υπόστρωμα (Α.Μ.Υ: αριθμός μητρώου υποστρώματος)

| Α.Μ.Υ | Συγκέντρωση Διαλύματος | Ημερομηνία Επιμόλυνσης |             |             |
|-------|------------------------|------------------------|-------------|-------------|
|       |                        | 3/2/17 ή 7/2/17 (ml)   | 14/2/17(ml) | 20/2/17(ml) |
| 1     | Mn 35 $\mu g/ml$       | 100                    | 100         | 100         |
| 8     | Mn 35 $\mu g/ml$       | 100                    | 100         | 70          |
| 20    | Mn 35 $\mu g/ml$       | 100                    | 100         | 70          |
| 40    | Mn 35 $\mu g/ml$       | 100                    | -           | 400         |
| 6     | Mn 243 $\mu g/ml$      | 100                    | 100         | 100         |
| 24    | Mn 243 $\mu g/ml$      | 100                    | 100         | 70          |
| 33    | Mn 243 $\mu g/ml$      | 100                    | 100         | 100         |
| 9     | Mn 1190 $\mu g/ml$     | 100                    | 100         | 100         |
| 25    | Mn 1190 $\mu g/ml$     | 100                    | 100         | 100         |

|    |               |     |     |     |
|----|---------------|-----|-----|-----|
| 22 | Mn 1190 µg/ml | 100 | 100 | 100 |
| 10 | Zn 10 µg/ml   | 100 | 100 | 100 |
| 30 | Zn 10 µg/ml   | 100 | 100 | 100 |
| 34 | Zn 10 µg/ml   | 100 | 100 | 100 |
| 14 | Zn 100 µg/ml  | 100 | 100 | 100 |
| 31 | Zn 100 µg/ml  | 100 | 100 | 50  |
| 39 | Zn 100 µg/ml  | 100 | 100 | 50  |
| 19 | Zn 500 µg/ml  | -   | -   | 100 |
| 16 | Zn 500 µg/ml  | -   | -   | 100 |
| 38 | Zn 500 µg/ml  | -   | -   | 100 |
| 21 | Cr 26 µg/ml   | 100 | 105 | 100 |
| 27 | Cr 26 µg/ml   | 100 | 100 | 100 |
| 37 | Cr 26 µg/ml   | 100 | 100 | 100 |
| 23 | Cr 199 µg/ml  | 100 | 100 | 100 |
| 28 | Cr 199 µg/ml  | 100 | 100 | 100 |
| 35 | Cr 199 µg/ml  | 100 | 100 | 100 |
| 32 | Cr 2115 µg/ml | 100 | 100 | 100 |
| 29 | Cr 2115 µg/ml | 100 | 100 | 100 |
| 36 | Cr 2115 µg/ml | 100 | 100 | 100 |

#### 2.1.5. ΜΕΘΟΔΟΣ ΣΥΛΛΟΓΗΣ ΥΛΙΚΟΥ

Η συλλογή των βασιδιοκαρπίων γινόταν εφόσον έφταναν σε πλήρη ανάπτυξη. Επειδή τα μανιτάρια του γένους *Pleurotus* εμφανίζονται στο υπόστρωμα υπό την μορφή πυκνής συστάδας, χαρακτηριστικό πλήρους ανάπτυξης αποτελούσε το μέγεθος της, και η απελευθέρωση των σπορίων. Συνήθως όταν η συστάδα έφτανε περίπου 15 εκ. και εμφανιζόταν στον πύλο τα σπόρια τότε ήταν έτοιμα για συγκομιδή.

Στα βασιδιοκάρπια προτού γίνει η συγκομιδή τους, καταγραφόταν η μορφολογία τους (σχήμα πύλου, μέγεθος και χρώμα σε σύγκριση με τους μάρτυρες), και στη συνέχεια μεταφερόταν στο εργαστήριο, με τον αριθμό μητρώου κάθε υποστρώματος, για την περαιτέρω επεξεργασία τους.

Μετά την συγκομιδή των βασιδιοκαρπίων, πραγματοποιούνταν και δειγματοληψία υποστρώματος, με αφαίρεση 15-20 g νεπού υλικού, το οποίο μεταφερόταν στο εργαστήριο.

Στο εργαστήριο γινόταν καταμέτρηση του νωπού βάρους της σοδειάς μανιταριών σε ζυγαριά ακριβείας. Από την κάθε σοδειά μανιταριών επιλεγόταν 60-80 g υλικού, το οποίο τοποθετούνταν σε κλίβανο αποξήρανσης στους 40 C° για 24 h μέχρι να απομακρυνθεί η συνολική υγρασία. Στη συνέχεια γινόταν καταγραφή του ξηρού βάρους του δείγματος και αναγωγή προς τη συνολική σοδειά.

Από τα συλλεγμένα υποστρώματα, επίσης γινόταν καταγραφή του νωπού βάρους, σε ζυγαριά ακριβείας και τοποθετούνταν σε κλίβανο αποξήρανσης στους 60 C° για 24 h μέχρι να απομακρυνθεί η συνολική υγρασία. Στη συνέχεια αφού γινόταν καταμέτρηση του ξηρού βάρους, γινόταν αναγωγή προς το συνολικό ξηρό βάρος του υποστρώματος.

Μετά την επιτυχή αποξήρανση όλων των δειγμάτων μανιταριών και υποστρωμάτων, πραγματοποιούνταν άλεσμα σε πολυκόφτη. Το υλικό που προέκυπτε τοποθετούνταν σε Falcon των 50 ml και αποθηκευόταν μέχρι την περαιτέρω επεξεργασία του.

#### 2.1.6. ΔΕΙΓΜΑΤΑ ΜΑΡΤΥΡΑ

Στα υποστρώματα μανιταριών χωρίς επιμόλυνση (μάρτυρας) χρησιμοποιήθηκε 0,5 g αλεσμένου υλικού, το οποίο τοποθετήθηκε για καύση, σε κάψες πορσελάνης στους 500 C° για 4 h. Τέλος πραγματοποιούνταν διήθηση με προσθήκη 20 ml HCL (20%) και 30 ml απιονισμένου νερού, σε ογκομετρικές φιάλες των 50 ml.

Το διήθημα που προέκυπτε από το κάθε δείγμα συλλεγόταν και μεταφερόταν στην ατομική απορρόφηση, με σκοπό την καταμέτρηση του μαγγανίου, ψευδαργύρου και χρωμίου.

#### 2.1.7. ΔΕΙΓΜΑΤΑ ΕΠΙΜΟΛΥΣΜΕΝΑ

Για τα δείγματα μανιταριών και υποστρωμάτων που επιμολύνθηκαν, χρησιμοποιήθηκαν 2 g αλεσμένου υλικού, το οποίο τοποθετήθηκε για καύση, σε κάψες πορσελάνης στους 500 C° για 4 h. Στη συνέχεια ακολουθούσε διήθηση σε ογκομετρικές φιάλες των 25 ml, με προσθήκη 15 ml HCL (20%) και 10 ml απιονισμένο νερό.

Το διήθημα που προέκυπτε από το κάθε δείγμα συλλεγόταν και μεταφερόταν στην ατομική απορρόφηση, με σκοπό την καταμέτρηση του μαγγανίου, ψευδαργύρου και χρωμίου.

## 2.2. ΣΤΑΤΙΣΤΙΚΗ ΑΝΑΛΥΣΗ

Μετά την ολοκλήρωση του πειράματος και των μετρήσεων, τα δεδομένα που προέκυψαν, χρησιμοποιήθηκαν για τον υπολογισμό της προσρόφησης των βαρέων μετάλλων από τα βασιδιοκάρπια. Χρησιμοποιήθηκε το open office calc για την απεικόνιση των αποτελεσμάτων και για τον υπολογισμό του δείκτη BAF.

### 2.2.1. ΣΥΝΤΕΛΕΣΤΗΣ ΒΙΟΣΥΣΣΩΡΕΥΣΗΣ (BAF)

Ο συντελεστής βιοσυσώρευσης (BAF) ορίζεται ως:

$BAF = \frac{\text{Συγκέντρωση μετάλλου στην ξηρή βιομάζα (mg/kg)}}{\text{Συγκέντρωση μετάλλου στο έδαφος (mg/kg)}}$

Ο λόγος της συγκέντρωσης του μετάλλου σταμανιάρια, προς τη συγκέντρωση του μετάλλου στο υπόστρωμα, θεωρείται μέτρο βιοσυσώρευσης. Η τιμή BAF μεγαλύτερη από 1 δηλώνει υψηλή δυνατότητα συσώρευσης του μετάλλου (Damodaran *et al.*, 2013; Alushllari, 2017). Η τιμή του δείκτη για ταμανιάρια υπολογίσθηκε και για τα τρία μέταλλα της έρευνας (μαγγάνιο, ψευδάργυρος, χρώμιο) ξεχωριστά.

### 3. ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ

#### 3.1 ΣΥΣΣΩΡΕΥΣΗ ΜΑΓΓΑΝΙΟΥ, ΨΕΥΔΑΡΓΥΡΟΥ ΚΑΙ ΧΡΩΜΙΟΥ ΣΤΑ ΜΑΝΙΤΑΡΙΑ

Στους πίνακες 2,3,4 δίνονται η συσσώρευση των μετάλλων στα μανιτάρια που επιμολύνθηκαν και στον πίνακα 5 η φυσική συγκέντρωση μετάλλων στα μανιτάρια που χρησιμοποιήθηκαν ως μάρτυρας.

Πίνακας 2: Συσσώρευση μαγγανίου στα μανιτάρια (μg/g)

| Σοδειά Μανιταριών | Αριθμός Μητρώου Δείγματος | Συγκέντρωση Επιμόλυνσης (μg/ml) | Επιμόλυνση (ml) | Ημερομηνία Συγκομιδής | Ξηρή Σοδειά (g) | μg Mn/g Μανιταριού |
|-------------------|---------------------------|---------------------------------|-----------------|-----------------------|-----------------|--------------------|
| 1                 | 1                         | 35                              | 200             | 16/02/17              | 145,5           | 10,6               |
| 1                 | 6                         | 243                             | 200             | 16/02/17              | 99              | 9,5                |
| 1                 | 9                         | 1190                            | 200             | 16/02/17              | 144,3           | 17,1               |
| 2                 | 1                         | 35                              | 300             | 06/03/17              | 66,1            | 7,8                |
| 2                 | 8                         | 35                              | 270             | 20/03/17              | 1,3             | 19,8               |
| 2                 | 20                        | 35                              | 200             | 18/02/17              | 23,6            | 9,3                |
| 2                 | 40                        | 35                              | 500             | 20/03/17              | 9,3             | 18,5               |
| 2                 | 24                        | 243                             | 270             | 20/03/17              | 3,6             | 31,8               |
| 2                 | 33                        | 243                             | 270             | 13/03/17              | 2,2             | 13,4               |
| 2                 | 22                        | 1190                            | 200             | 18/02/17              | 4,6             | 106                |
| 2                 | 25                        | 1190                            | 300             | 10/03/17              | 9,1             | 20,7               |
| 3                 | 1                         | 35                              | 300             | 28/03/17              | 29,9            | 7,8                |
| 3                 | 33                        | 243                             | 270             | 27/03/17              | 1,1             | 15,5               |
| 3                 | 22                        | 1190                            | 300             | 06/03/17              | 5,5             | 25,7               |
| 3                 | 25                        | 1190                            | 300             | 20/03/17              | 2,5             | 31,4               |

Πίνακας 3: Συσσώρευση ψευδάργυρου στα μανιτάρια (μg/g)

| Σοδειά Μανιταριών | Αριθμός Μητρώου Δείγματος | Συγκέντρωση Επιμόλυνσης (μg/ml) | Επιμόλυνση (ml) | Ημερομηνία Συγκομιδής | Ξηρή Σοδειά (g) | μg Zn/g Μανιταριού |
|-------------------|---------------------------|---------------------------------|-----------------|-----------------------|-----------------|--------------------|
| 1                 | 10                        | 10                              | 200             | 16/02/17              | 46,3            | 64                 |
| 1                 | 14                        | 100                             | 200             | 16/02/17              | 42,6            | 69                 |
| 2                 | 10                        | 10                              | 300             | 06/03/17              | 9,5             | 61,4               |
| 2                 | 30                        | 10                              | 200             | 18/02/17              | 1,5             | 70                 |
| 2                 | 34                        | 10                              | 300             | 20/03/17              | 0,8             | 1865,5             |
| 2                 | 14                        | 100                             | 300             | 26/02/17              | 4,3             | 82,3               |
| 2                 | 31                        | 100                             | 200             | 18/02/17              | 3,6             | 66,1               |
| 2                 | 39                        | 100                             | 250             | 22/03/17              | 9,5             | 61,3               |
| 2                 | 38                        | 500                             | 100             | 06/03/17              | 14,1            | 41,5               |
| 3                 | 30                        | 10                              | 300             | 20/03/17              | 1,8             | 45,4               |



Πίνακας 4: Συσσώρευση χρωμίου στα μανιτάρια (μg/g)

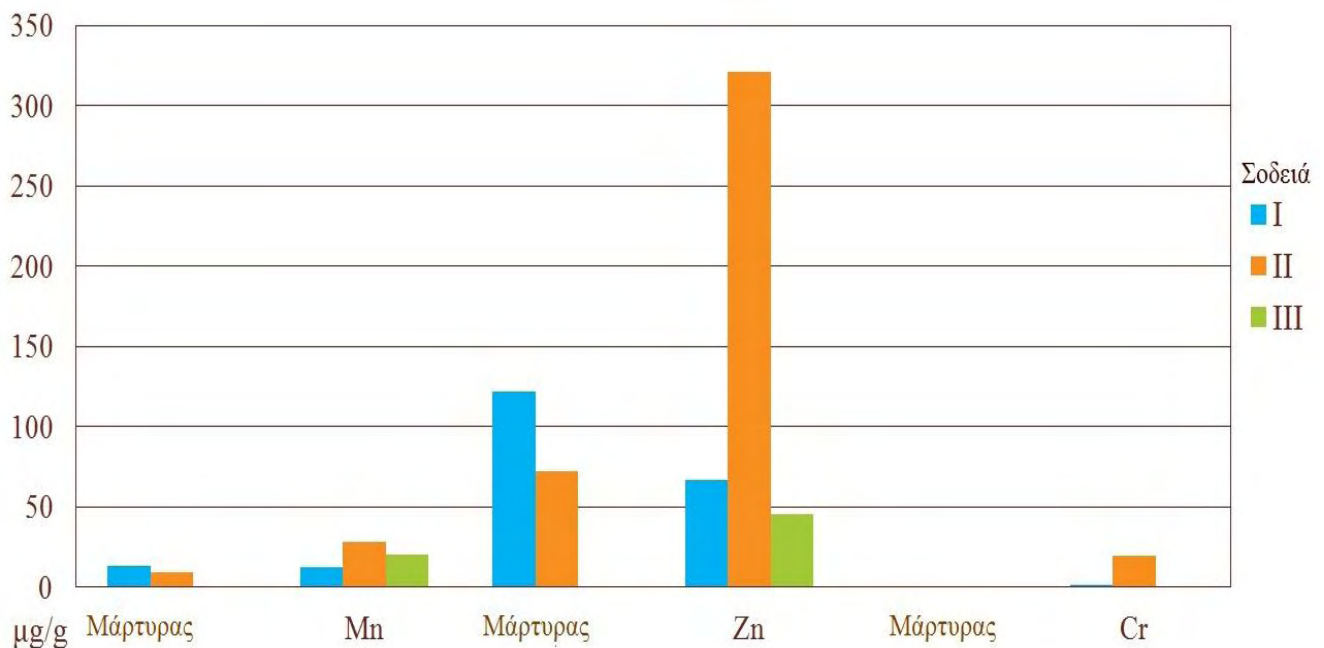
| Σοδειά Μανιταριών | Αριθμός Μητρώου Δείγματος | Συγκέντρωση Επιμόλυνσης (μg/ml) | Επιμόλυνση (ml) | Ημερομηνία Συγκομιδής | Ξηρή Σοδειά (g) | μg Cr/g Μανιταριού |
|-------------------|---------------------------|---------------------------------|-----------------|-----------------------|-----------------|--------------------|
| 1                 | 21                        | 26                              | 200             | 16/02/17              | 60,5            | 0                  |
| 1                 | 23                        | 199                             | 200             | 16/02/17              | 112,4           | 0                  |
| 1                 | 32                        | 2115                            | 200             | 16/02/17              | 42              | 3,7                |
| 2                 | 27                        | 26                              | 300             | 27/03/17              | 0,5             | 122,2              |
| 2                 | 37                        | 26                              | 300             | 22/03/17              | 4               | 0                  |
| 2                 | 23                        | 199                             | 300             | 13/03/17              | 111,2           | 0                  |
| 2                 | 28                        | 199                             | 300             | 20/03/17              | 2,6             | 0                  |
| 2                 | 35                        | 199                             | 300             | 10/03/17              | 25,2            | 8,3                |
| 2                 | 29                        | 2115                            | 300             | 22/03/17              | 2,5             | 0                  |
| 2                 | 32                        | 2115                            | 300             | 06/03/17              | 10,4            | 20,7               |
| 2                 | 36                        | 2115                            | 200             | 18/02/17              | 3,5             | 3,7                |
| 3                 | 37                        | 26                              | 300             | 03/04/17              | 0,8             | 0                  |
| 3                 | 23                        | 199                             | 300             | 07/04/17              | 19,5            | 0                  |

Πίνακας 5: Καταγραφή φυσικής ποσότητας μαγγανίου, ψευδάργυρου και χρωμίου στα μανιτάρια (μg/g)

| Σοδειά Μανιταριών | Αριθμός Μητρώου Δείγματος | Ημερομηνία Συγκομιδής | Ξηρή Σοδειά (g) | μg Mn/g μανιταριού | μg Zn/g μανιταριού | μg Cr/g μανιταριού |
|-------------------|---------------------------|-----------------------|-----------------|--------------------|--------------------|--------------------|
| 1                 | 2                         | 13/02/17              | 134,5           | 14,4               | 110,6              | 0                  |
| 1                 | 4                         | 13/02/17              | 110,6           | 7,8                | 116,1              | 0                  |
| 1                 | 5                         | 13/02/17              | 107,4           | 16,0               | 191,8              | 0                  |
| 1                 | 7                         | 13/02/17              | 129,6           | 17,6               | 106,6              | 0                  |
| 1                 | 8                         | 06/02/17              | 73,2            | 9,6                | 119,6              | 0                  |
| 1                 | 11                        | 13/02/17              | 144,5           | 22,4               | 111,7              | 0                  |
| 1                 | 12                        | 13/02/17              | 53,5            | 20,8               | 226,2              | 0                  |
| 1                 | 13                        | 06/02/17              | 111,9           | 12,8               | 165,3              | 0                  |
| 1                 | 15                        | 06/02/17              | 114,1           | 11,0               | 106,2              | 0                  |
| 1                 | 16                        | 03/02/17              | 89,7            | 14,4               | 114,5              | 0                  |
| 1                 | 17                        | 13/02/17              | 93,1            | 11,2               | 132,6              | 0                  |
| 1                 | 18                        | 13/02/17              | 172,1           | 11,2               | 63,7               | 0                  |
| 1                 | 19                        | 13/02/17              | 64,2            | 3,2                | 57,0               | 0                  |
| 1                 | 20                        | 06/02/17              | 77,7            | 12,8               | 116,8              | 0                  |
| 1                 | 22                        | 03/02/17              | 83,3            | 9,6                | 87,4               | 0                  |
| 1                 | 24                        | 03/02/17              | 130,3           | 19,2               | 119,0              | 0                  |
| 1                 | 25                        | 06/02/17              | 54,4            | 14,4               | 142,2              | 0                  |
| 1                 | 26                        | 13/02/17              | 57              | 19,2               | 119,0              | 0                  |
| 1                 | 27                        | 06/02/17              | 124,5           | 12,8               | 150,1              | 0                  |
| 1                 | 28                        | 06/02/17              | 136,5           | 12,8               | 126,4              | 0                  |
| 1                 | 29                        | 03/02/17              | 158,9           | 16,0               | 115,1              | 0                  |
| 1                 | 30                        | 06/02/17              | 99,3            | 16,0               | 110,0              | 0                  |
| 1                 | 31                        | 06/02/17              | 84,3            | 11,2               | 115,1              | 0                  |
| 1                 | 33                        | 03/02/17              | 121,1           | 11,2               | 143,9              | 0                  |
| 1                 | 34                        | 03/02/17              | 106,5           | 16,0               | 109,4              | 0                  |
| 1                 | 35                        | 06/02/17              | 70,3            | 8,0                | 132,6              | 0                  |
| 1                 | 36                        | 06/02/17              | 95,7            | 12,8               | 126,9              | 0                  |

|   |    |          |       |      |       |   |
|---|----|----------|-------|------|-------|---|
| 1 | 37 | 03/02/17 | 123,2 | 12,8 | 112,8 | 0 |
| 1 | 38 | 03/02/17 | 84,9  | 19,2 | 132,0 | 0 |
| 1 | 39 | 06/02/17 | 109,9 | 16,6 | 152,8 | 0 |
| 1 | 40 | 03/02/17 | 90,7  | 11,2 | 108,3 | 0 |
| 1 | 41 | 13/02/17 | 125,4 | 6,4  | 72,8  | 0 |
| 2 | 3  | 13/02/17 | 120,7 | 14,1 | 115,0 | 0 |
| 2 | 5  | 03/04/17 | 0,3   | 5,7  | 55,4  | 0 |
| 2 | 12 | 26/02/17 | 75,2  | 8,0  | 90,8  | 0 |
| 2 | 15 | 10/03/17 | 2,7   | 11,2 | 63,7  | 0 |
| 2 | 16 | 18/02/17 | 7,6   | -    | 53,6  | - |
| 2 | 26 | 22/03/17 | 71,3  | 7,8  | 55,9  | 0 |

Στο διάγραμμα 1 δίνεται η μέση συσσώρευση του μαγγανίου, ψευδαργύρου και χρωμίου στα επιμολυσμένα μανιτάρια (μg/g μανιταριού) σε σύγκριση με την μέση φυσική περιεκτικότητα των μετάλλων στον μάρτυρα (μg/g μανιταριού).



Διάγραμμα 1: Μέση συσσώρευση Mn, Zn, Cr (μg/g μανιταριού) ανά σοδειά μανιταριών σε σύγκριση με τον μάρτυρα

Από τα επιμολυσμένα υποστρώματα, παρατηρούμε πως τη μεγαλύτερη συσσώρευση στα μανιτάρια εμφάνισε ο ψευδάργυρος, στη συνέχεια το μαγγάνιο και τέλος το χρώμιο. Επίσης βλέπουμε πως και για τα 3 μέταλλα, η υψηλότερη προσρόφηση φαίνεται να εμφανίζεται κατά την II σοδειά μανιταριών.

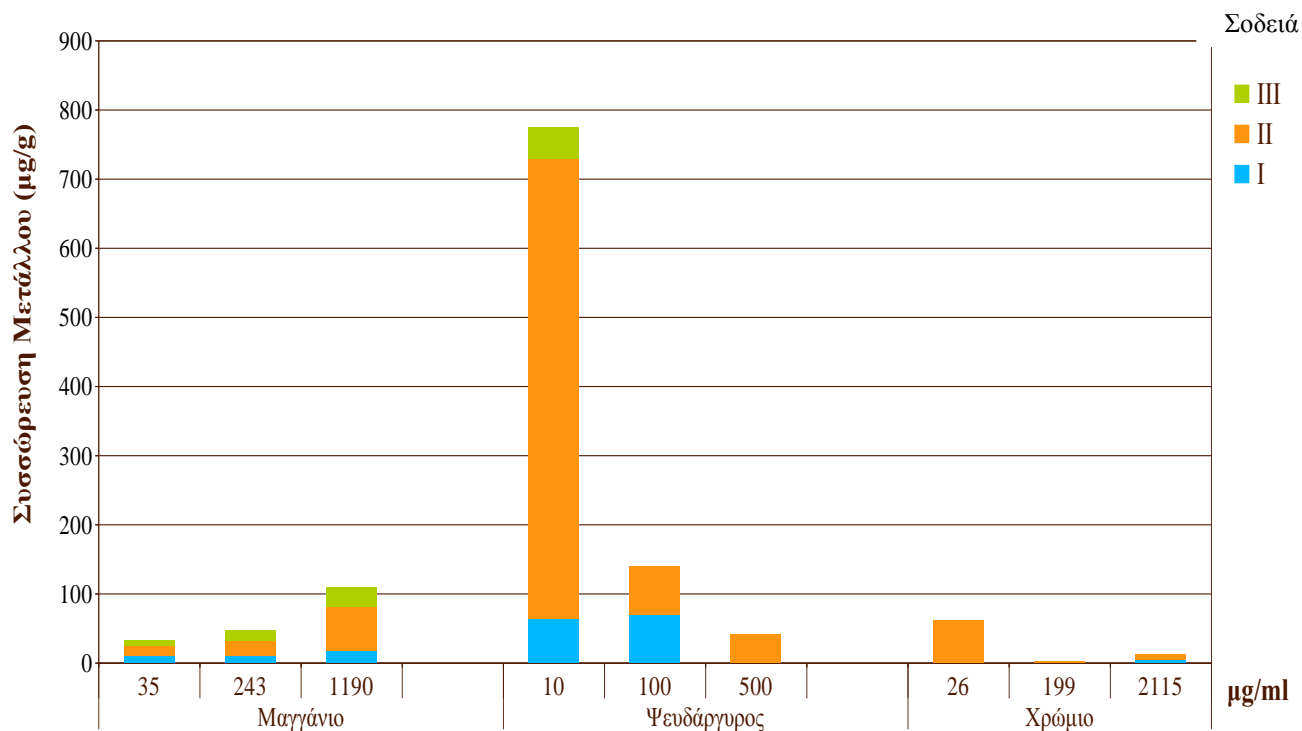
Στα υποστρώματα που επιμολύνθηκαν με μαγγάνιο η συσσώρευση στα μανιτάρια (μg/g) της I σοδειάς, κυμαίνεται από 17,1 - 9,5 μg/g, με μέση τιμή 12,4 μg/g, στα μανιτάρια της II σοδειάς από 106 - 7,8 μg/g, με μέση τιμή 28,4 μg/g, και στα μανιτάρια της III σοδειάς από 31,4 - 7,8

μg/g, με μέση τιμή 20,1 μg/g. Ενώ στον μάρτυρα, η φυσική περιεκτικότητα μαγγανίου στα μανιτάρια (μg/g) της I σοδειάς κυμαίνεται από 22,8 - 3,2 μg/g, με μέση τιμή 13,4 μg/g, και στα μανιτάρια της II σοδειάς, από 14,1 - 5,7 μg/g, με μέση τιμή 7,8 μg/g.

Στα υποστρώματα που επιμολύνθηκαν με ψευδάργυρο η συσσώρευση στα μανιτάρια (μg/g) της I σοδειάς, κυμαίνεται από 69 - 64 μg/g, με μέση τιμή 66,5 μg/g, στα μανιτάρια της II σοδειάς από 1865,5 - 41,5 μg/g, με μέση τιμή 321 μg/g, και στα μανιτάρια της III σοδειάς 45,4 μg/g. Ενώ στον μάρτυρα, η φυσική περιεκτικότητα ψευδαργύρου στα μανιτάρια (μg/g) της I σοδειάς, κυμαίνεται από 226 - 57 μg/g, με μέση τιμή 122,3 μg/g και στα μανιτάρια της II σοδειάς από 115 - 55,4 μg/g, με μέση τιμή 72,4 μg/g.

Τέλος στα υποστρώματα που επιμολύνθηκαν με χρώμιο η συσσώρευση στα μανιτάρια (μg/g) της I σοδειάς, κυμαίνεται από 3,7 - 0 μg/g, με μέση τιμή 1,23 μg/g, στα μανιτάρια της II σοδειάς από 122,2 - 0 μg/g, με μέση τιμή 19,3 μg/g, και στα μανιτάρια της III σοδειάς 0 μg/g. Ενώ στον μάρτυρα η φυσική περιεκτικότητα χρωμίου στα μανιτάρια (μg/g) I και II σοδειάς ήταν 0 μg/g.

Στο διάγραμμα 2 που παρατίθενται παρακάτω, δίνεται η μέση προσρόφηση των διαλυμάτων (Mn, Zn, Cr) επιμόλυνσης ανά σοδειά μανιταριών (μg/g).



Διάγραμμα 2: Μέση συσσώρευση Mn, Zn, Cr ανά συγκέντρωση επιμόλυνσης στα μανιτάρια

Παρατηρείται πώς η υψηλότερη προσρόφηση όλων των διαλυμάτων επιμόλυνσης από τα μανιτάρια, εμφανίσθηκε κατά την II σοδειά μανιταριών. Στο μαγγάνιο, το διάλυμα των 1190 µg/ml προσροφήθηκε περισσότερο με μέση τιμή 36,7 µg/g, το διάλυμα των 243 µg/ml εμφάνισε μέση προσρόφηση 15,9 µg/g και το διάλυμα των 35 µg/ml είχε μέση προσρόφηση 10,8 µg/g. Στον ψευδάργυρο, το διάλυμα των 10 µg/ml προσροφήθηκε περισσότερο με μέση τιμή 258,3 µg/g, το διάλυμα των 100 µg/ml είχε μέση προσρόφηση 69,5 µg/g και το διάλυμα των 500 µg/ml είχε μέση προσρόφηση 41,6 µg/g. Στο χρώμιο, το διάλυμα των 26 µg/ml προσροφήθηκε περισσότερο με μέση τιμή 20,3 µg/g, το διάλυμα των 199 µg/ml είχε μέση προσρόφηση 0,9 µg/g και το διάλυμα των 2115 µg/ml είχε μέση προσρόφηση 6 µg/g.

### 3.2 ΜΕΣΗ ΣΥΓΚΕΝΤΡΩΣΗ ΜΕΤΑΛΛΩΝ ΣΤΟ ΜΑΝΙΤΑΡΙ ΚΑΙ ΣΤΟ ΥΠΟΣΤΡΩΜΑ

Στους πίνακες 6, 7, 8 δίνεται η μέση συγκέντρωση των μετάλλων (μαγγάνιο, ψευδάργυρος, χρώμιο) στα μανιτάρια και στο υπόστρωμα. Επίσης δίνεται και ο δείκτης βιοσυσσώρευσης ανά μέταλλο.

Πίνακας 6: Μέση συγκέντρωση μαγγανίου στα μανιτάρια και στο υπόστρωμα

| Αριθμός Μητρώου Δείγματος | Μανιτάρια (µg Mn/g) | Επιμόλυνση (µg Mn/g Υποστρώματος) | Υπόστρωμα (µg Mn/g) | Δείκτης Βιοσυσσώρευσης Mn Μανιτάρια/Υπόστρωμα |
|---------------------------|---------------------|-----------------------------------|---------------------|---|
| 1                         | 26,4                | 5,68                              | 4,44                | <b>0,44</b>                                   |
| 6                         | 9,5                 | 32,39                             | 31,76               |   |
| 8                         | 19,9                | 6,58                              | 6,56                |   |
| 9                         | 17,1                | 137,94                            | 136,50              |   |
| 20                        | 9,3                 | 5,64                              | 5,46                |   |
| 22                        | 131,8               | 230,72                            | 230,30              |   |
| 24                        | 31,8                | 38,27                             | 38,20               |   |
| 25                        | 52,2                | 278,14                            | 277,93              |   |
| 33                        | 29,0                | 39,63                             | 39,60               |   |
| 40                        | 18,6                | 10,45                             | 10,35               |   |
| <b>Μέση Τιμή</b>          | <b>34,6</b>         |                                   | <b>78,1</b>         |   |

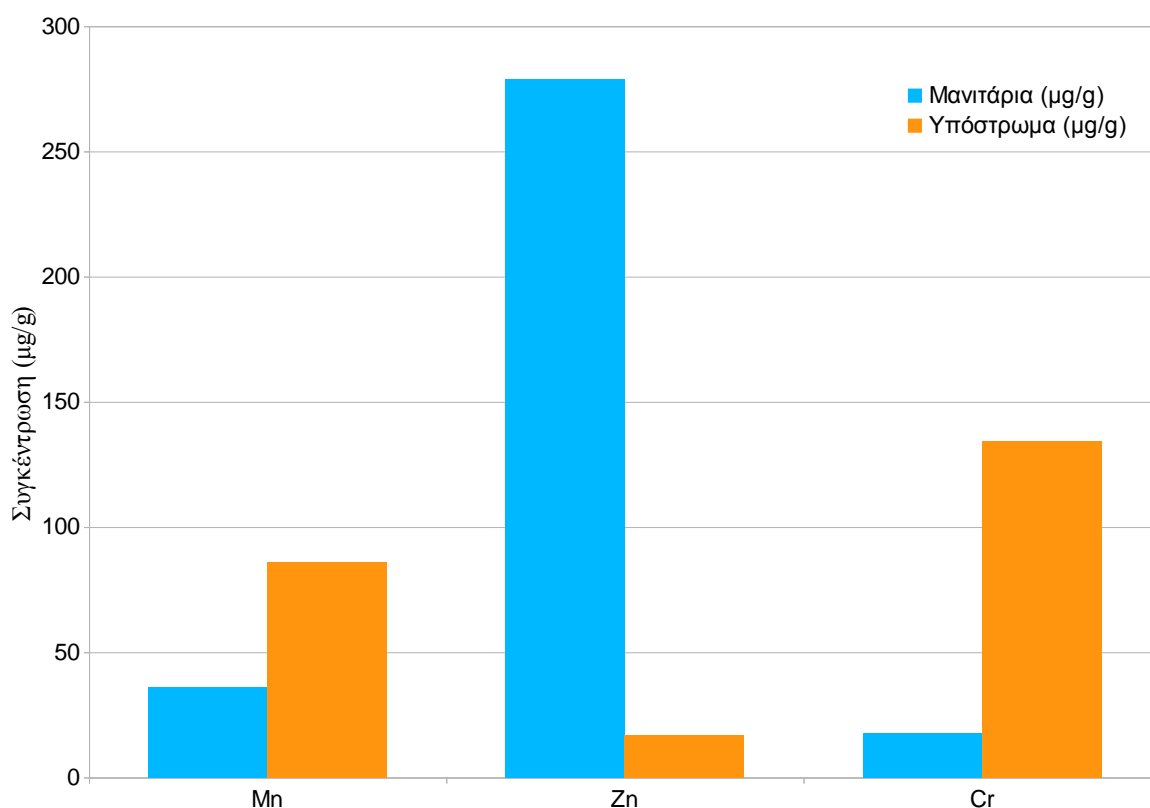
Πίνακας 7: Μέση συγκέντρωση ψευδαργύρου στα μανιτάρια και στο υπόστρωμα

| Αριθμός Μητρώου Δείγματος | Μανιτάρια (μg Zn/g) | Επιμόλυνση (μg Zn/g Υποστρώματος) | Υπόστρωμα (μg Zn/g) | Δείκτης Βιοσυσσώρευσης Zn Μανιτάρια/Υπόστρωμα |
|---------------------------|---------------------|-----------------------------------|---------------------|---|
| 10                        | 125,5               | 2,123                             | 0                   | <b>27,05</b>                                  |
| 14                        | 151,3               | 30,550                            | 27,185              |   |
| 30                        | 115,5               | 1,838                             | 1,721               |   |
| 31                        | 66,1                | 13,362                            | 13,199              |   |
| 34                        | 1865,5              | 2,051                             | 1,003               |   |
| 38                        | 41,6                | 32,002                            | 31,624              |   |
| 39                        | 61,3                | 15,329                            | 14,970              |   |
| <b>Μέση Τιμή</b>          | <b>346,7</b>        |                                   | <b>12,8</b>         |   |

Πίνακας 8: Μέση συγκέντρωση χρωμίου στα μανιτάρια και στο υπόστρωμα

| Αριθμός Μητρώου Δείγματος | Μανιτάρια (μg Cr/g) | Επιμόλυνση (μg Cr/g Υποστρώματος) | Υπόστρωμα (μg Cr/g) | Δείκτης Βιοσυσσώρευσης Cr Μανιτάρια/Υπόστρωμα |
|---------------------------|---------------------|-----------------------------------|---------------------|---|
| 21                        | 0,0                 | 15,783                            | 15,783              | <b>0,13</b>                                   |
| 23                        | 0,0                 | 35,945                            | 35,945              |   |
| 27                        | 122,2               | 5,197                             | 5,156               |   |
| 28                        | 0,0                 | 33,625                            | 33,625              |   |
| 29                        | 0,0                 | 371,574                           | 371,574             |   |
| 32                        | 24,5                | 408,571                           | 408,329             |   |
| 35                        | 8,3                 | 42,448                            | 42,300              |   |
| 36                        | 3,7                 | 291,800                           | 291,791             |   |
| 37                        | 0,0                 | 4,691                             | 4,691               |   |
| <b>Μέση Τιμή</b>          | <b>17,6</b>         |                                   | <b>134,4</b>        |   |

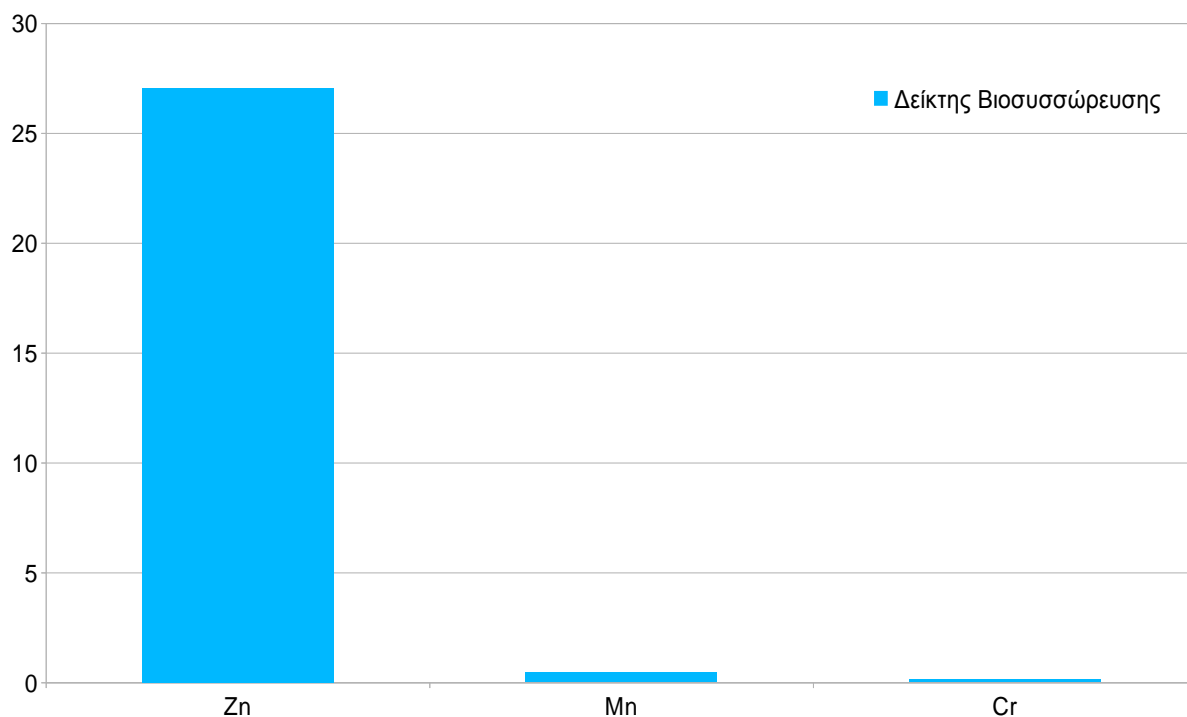
Στο διάγραμμα 3 παρατίθενται η μέση συγκέντρωση του μαγγανίου, ψευδαργύρου και χρωμίου στο μανιτάρι (μg/g) και στο υπόστρωμα (μg/g).



Διάγραμμα 3: Μέση συγκέντρωση (μg/g) μαγγανίου, ψευδαργύρου και χρωμίου στο μανιτάρι και στο υπόστρωμα

Παρατηρούμε πως η συγκέντρωση των μετάλλων στα μανιτάρια και υπόστρωμα μειώνεται αριστερά προς δεξιά  $Zn > Mn > Cr$ ,  $Cr > Mn > Zn$  αντίστοιχα. Η μέση ολική συγκέντρωση του μαγγανίου στα μανιτάρια ήταν 34,6 μg/g ενώ στο υπόστρωμα 78,1 μg/g. Η μέση ολική συγκέντρωση ψευδαργύρου στα μανιτάρια ήταν 346,7 μg/g ενώ στο υπόστρωμα 12,8 μg/g. Η μέση ολική συγκέντρωση χρωμίου στα μανιτάρια ήταν 17,6 μg/g ενώ στο υπόστρωμα 134,4 μg/g.

Στο διάγραμμα 4, παρατίθενται ο δείκτης βιοσυσσώρευσης μετάλλων (μαγγάνιο, ψευδάργυρος, χρώμιο) σταμανιτάρια *Pleurotus ostreatus*.

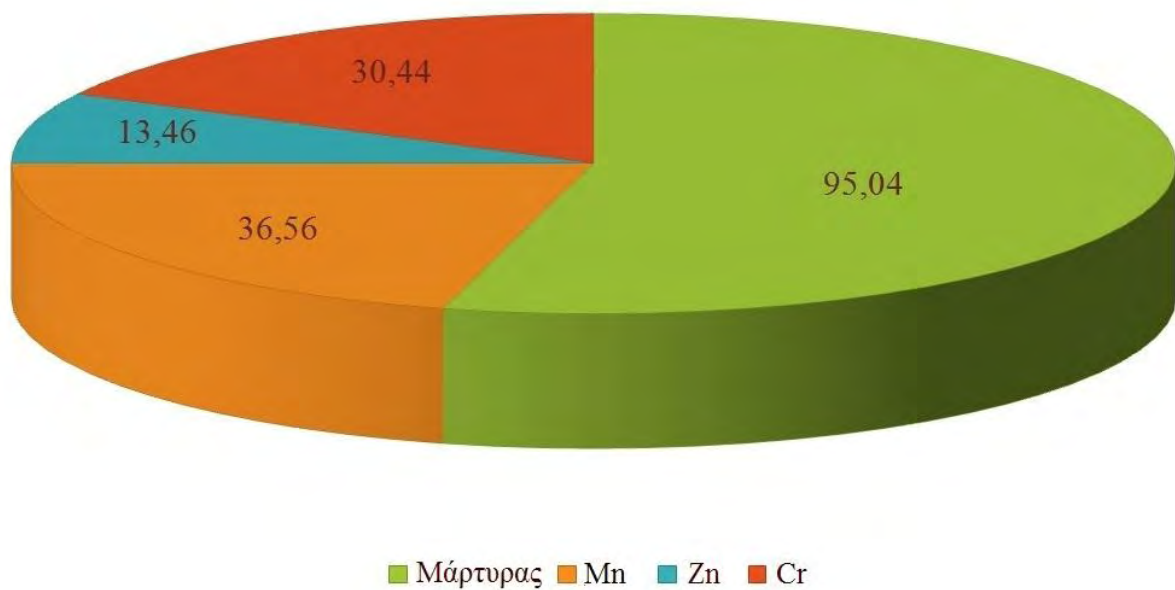


Διάγραμμα 4: Δείκτης βιοσυσσώρευσης μετάλλων (Mn, Zn, Cr) σταμανιτάρια

Παρατηρούμε πως ο δείκτης εμφάνισε τη μεγαλύτερη τιμή στον ψευδάργυρο (27) και τη μικρότερη στο χρώμιο (0,13).

### 3.3 ΑΠΟΔΟΣΗ ΥΠΟΣΤΡΩΜΑΤΩΝ

Στο διάγραμμα 5 που παρατίθενται παρακάτω απεικονίζεται η μέση απόδοση (ξηρό βάρος), των υποστρωμάτων με επιμόλυνση (Mn, Zn, Cr) σε σύγκριση με τα υποστρώματα που χρησιμοποιήθηκαν ως μάρτυρας.



Διάγραμμα 5: Μέση απόδοση (g) υποστρωμάτων μάρτυρα και υποστρωμάτων που επιμολύνθηκαν με μαγγάνιο, ψευδάργυρο και χρώμιο

Ουσιαστικά παρατηρούμε πως τα υποστρώματα που χρησιμοποιήθηκαν ως μάρτυρας έδωσαν μεγαλύτερου μεγέθους σοδειές (3611 g), με μέση απόδοση 95,04 g, στη συνέχεια ακολουθούν τα υποστρώματα που επιμολύνθηκαν με μαγγάνιο (548 g) με μέση απόδοση 36,5 g, τα υποστρώματα που επιμολύνθηκαν με χρώμιο (396 g) με μέση απόδοση 30,4 g και τέλος τα υποστρώματα που επιμολύνθηκαν με ψευδάργυρο (135 g) με μέση απόδοση 13,46 g.

### 3.3.1 ΜΟΡΦΟΛΟΓΙΑ ΒΑΣΙΔΙΟΚΑΡΠΙΩΝ ΧΩΡΙΣ ΕΠΙΜΟΛΥΝΣΗ (ΜΑΡΤΥΡΑΣ)

Συνολικά 13 υποστρώματα επιλέχθηκαν να παραμείνουν χωρίς επιμόλυνση και να χρησιμεύσουν ως ‘μάρτυρας’ στο πείραμα. Η πλειονότητα των υποστρωμάτων (8), καρποφόρησαν μόνο μία φορά (I σοδειά), και τα υπόλοιπα (5) καρποφόρησαν και δεύτερη φορά (II σοδειά). Παρακάτω παρατίθενται σε φωτογραφίες ο τυπικός κύκλος ανάπτυξης των μανιταριών του είδους *Pleurotus ostreatus* (Εικόνες 4, 5, 6, 7).





Εικόνα 4: Αρχικό στάδιο ανάπτυξης καρποφόρου σώματος



Εικόνα 5: Μερικώς ανεπτυγμένο βασιδιοκάρπιο





Εικόνα 6: Πλήρως ανεπτυγμένο βασιδιοκάρπιο



Εικόνα 7: Υποστρώματα μάρτυρα I σοδειάς

Από ταμανιτάρια που συλλέχθηκαν ως μάρτυρας, παρατηρήσαμε πως το τυπικό μέγεθος ενόςμανιταριού *Pleurotus ostreatus* είναι περίπου 10 εκ., ημικυκλικής μορφής, και σε πλήρη ωρίμανση χρώματος ανοικτού μπέζ/καφέ.

### 3.3.2. ΜΟΡΦΟΛΟΓΙΑ ΒΑΣΙΔΙΟΚΑΡΠΙΩΝ ΜΕ ΕΠΙΜΟΛΥΝΣΗ

Συνολικά 8 υποστρώματα επιλέχθηκαν και επιμολύνθηκαν πρίν την I σοδειάμανιταριών. Η πλειονότητα των υποστρωμάτων (5) εμφάνισαν II και III σοδειά, ενώ 3 εμφάνισαν μόνο I σοδειά. Επίσης άλλα 20 υποστρώματα επιλέχθηκαν να παραμείνουν χωρίς επιμόλυνση μέχρι να εμφανίσουν την I σοδειά, ενώ στη συνέχεια πριν δώσουν την II σοδειά επιμολύνθηκαν. Η πλειονότητα αυτών των υποστρωμάτων (14), εμφάνισαν II σοδειά επιμολυσμένη, και τα υπόλοιπα (5) εμφάνισαν και III σοδειά. Παρακάτω δίνονται φωτογραφίες από τα υποστρώματα επιμόλυνσης (Εικόνες 8-26).

#### ΕΠΙΜΟΛΥΝΣΗ ΜΕ ΜΑΓΓΑΝΙΟ (Διαλύματα: 35, 243, 1190 μg/ml)



Εικόνα 8: Μορφολογία βασιδιοκαρπίων I σοδειάς *P. ostreatus*, με προσθήκη 200 ml διαλύματος 35 μg/ml Mn





Εικόνα 9: Μορφολογία βασιδιοκαρπίων II σοδειάς *P. ostreatus* με προσθήκη 200 ml διαλύματος 35 µg/ml Mn



Εικόνα 10: Μορφολογία βασιδιοκαρπίων I σοδειάς *P.ostreatus* με προσθήκη 200 ml διαλύματος 243 µg/ml Mn





Εικόνα 11: Μορφολογία βασιδιοκαρπίων III σοδειάς *P.ostreatus* με προσθήκη 270 ml διαλύματος 243  $\mu\text{g/ml}$  Mn



Εικόνα 12: Μορφολογία βασιδιοκαρπίων I σοδειάς *P.ostreatus* με προσθήκη 200 ml διαλύματος 1190  $\mu\text{g/ml}$  Mn



Εικόνα 13: Μορφολογία βασιδιοκαρπίων III σοδειάς *P.ostreatus* με προσθήκη 300 ml διαλύματος 1190  $\mu\text{g/ml}$  Mn

Στις εικόνες 8-9, δίνονται τα μορφολογικά χαρακτηριστικά των βασιδιοκαρπίων στο διάλυμα των 35  $\mu\text{g/ml}$  μαγγανίου. Τα βασιδιοκάρπια I σοδειάς σε σύγκριση με τα δείγματα του μάρτυρα δείχνουν πολύ πιο ογκώδη, καθώς και στη II σοδειά, έχουν εμφανίσει ογκώδη βασιδιοκάρπια. Στις εικόνες 10-11 δίνονται τα μορφολογικά χαρακτηριστικά των βασιδιοκαρπίων στο διάλυμα των 234  $\mu\text{g/ml}$  μαγγανίου. Τα βασιδιοκάρπια ενώ στην I σοδειά είναι ογκώδη και σκούρου καφέ χρώματος, στην II και III σοδειά μειώθηκε η απόδοση του υποστρώματος και τα βασιδιοκάρπια εμφάνισαν συρρίκνωση. Στις εικόνες 12-13 δίνονται τα μορφολογικά χαρακτηριστικά των βασιδιοκαρπίων στο διάλυμα των 1190  $\mu\text{g/ml}$  μαγγανίου. Ενώ κατά την I σοδειά τα βασιδιοκάρπια είναι ογκώδη και σκούρου καφέ χρώματος, κατά την II και III σοδειά εμφάνισαν συρρίκνωση και ξήρανση.



ΕΠΙΜΟΛΥΝΣΗ ΜΕ ΨΕΥΔΑΡΓΥΡΟ (Διαλύματα: 10, 100, 500 µg/ml)



Εικόνα 14: Μορφολογία βασιδιοκαρπίων I σοδειάς *P.ostreatus* με προσθήκη 200 ml διαλύματος 10 µg/ml Zn



Εικόνες 15 και 16: Μορφολογία βασιδιοκαρπίων II σοδειάς *P.ostreatus* με προσθήκη 300 ml διαλύματος 10 µg/ml Zn



Εικόνα 17: Μορφολογία βασιδιοκαρπίων I σοδειάς *P.ostreatus* με προσθήκη 200 ml διαλύματος 100  $\mu\text{g/ml}$  Zn



Εικόνες 18 και 19: Μορφολογία βασιδιοκαρπίων II σοδειάς *P.ostreatus* με προσθήκη 300 ml και 250 ml διαλύματος 100  $\mu\text{g/ml}$  Zn





Εικόνα 20: Μορφολογία βασιδιοκαρπίων II σοδειάς *P.ostreatus* με προσθήκη 100 ml διαλύματος 500 µg/ml Zn

Στις εικόνες 14-16 δίνονται τα μορφολογικά χαρακτηριστικά των βασιδιοκαρπίων στο διάλυμα των 10 µg/ml ψευδαργύρου. Τα βασιδιοκάρπια κατά την I σοδειά σε σύγκριση με τα δείγματα του μάρτυρα εμφανίστηκαν συρρικνωμένα, όπως και στη II σοδειά, έχουν εμφανίσει συρρίκνωση και ξήρανση βασιδιοκαρπίων. Στις εικόνες 17-19 δίνονται τα μορφολογικά χαρακτηριστικά των βασιδιοκαρπίων στο διάλυμα των 100 µg/ml. Τα υποστρώματα κατά την I σοδειά εμφάνισαν μειωμένη απόδοση σε σύγκριση με τα υποστρώματα του μάρτυρα και τα βασιδιοκάρπια εμφανίστηκαν συρρικνωμένα, καθώς και στη II σοδειά τα βασιδιοκάρπια εμφάνισαν ξήρανση και αποχρωματισμό. Στην συγκέντρωση των 500 µg/ml ψευδαργύρου, από τα 3 υποστρώματα που επιμολύνθηκαν μόνο το ένα έδωσε I σοδειά επιμολυσμένη ενώ τα άλλα δεν καρποφόρησαν μετά την επιμόλυνση. Στην εικόνα 20 δίνεται η μορφολογία των βασιδιοκαρπίων στο διάλυμα των 500 µg/ml. Παρατηρούμε πως στο υπόστρωμα μειώθηκε αρκετά η απόδοση, εμφανίστηκε συρρίκνωση και αποχρωματισμός (λευκή απόχρωση στο κεντρικό τμήμα του βασιδιοκαρπίου) έως και ξήρανση βασιδιοκαρπίων.



Εικόνα 21: Μορφολογία βασιδιοκαρπίων I σοδειάς *P.ostreatus* με προσθήκη 200 ml διαλύματος 26  $\mu\text{g/ml}$  Cr



Εικόνα 22: Μορφολογία βασιδιοκαρπίων II σοδειάς *P.ostreatus* με προσθήκη 300 ml διαλύματος 26  $\mu\text{g/ml}$  Cr





Εικόνα 23: Μορφολογία βασιδιοκαρπίων Ι σοδειάς *P.ostreatus* με προσθήκη 200 ml διαλύματος 199  $\mu\text{g/ml}$  Cr



Εικόνα 24: Μορφολογία βασιδιοκαρπίων ΙΙ σοδειάς *P.ostreatus* με προσθήκη 300 ml διαλύματος 199  $\mu\text{g/ml}$  Cr



Εικόνα 25: Μορφολογία βασιδιοκαρπίων I σοδειάς *P.ostreatus* με προσθήκη 200 ml διαλύματος  $\mu\text{g/ml}$  Cr



Εικόνα 26: Μορφολογία βασιδιοκαρπίων II σοδειάς *P.ostreatus* με προσθήκη 300 ml διαλύματος 2115  $\mu\text{g/ml}$  Cr



Στις εικόνες 21-22 δίνονται τα μορφολογικά χαρακτηριστικά των βασιδιοκαρπίων στο διάλυμα των 26 µg/ml χρωμίου. Τα υποστρώματα κατά την I σοδειά σε σύγκριση με τα δείγματα του μάρτυρα εμφάνισαν μειωμένη σοδειά και μικρή συρρίκνωση βασιδιοκαρπίων, ενώ κατά την II σοδειά, εμφανίστηκε εκτεταμένη συρρίκνωση βασιδιοκαρπίων και μείωση της απόδοσης του υποστρώματος. Στις εικόνες 23- 24 δίνονται τα μορφολογικά χαρακτηριστικά των βασιδιοκαρπίων στο διάλυμα των 199 µg/ml χρωμίου. Τα υποστρώματα ενώ κατά την I σοδειά έχουν εμφανίσει ογκώδη βασιδιοκάρπια με σκούρο καφέ χρώμα, κατά την II σοδειά εμφάνισαν λευκό-πράσινο αποχρωματισμό στο κεντρικό τμήμα τους, συρρίκνωση στα βασιδιοκάρπια και μείωση της απόδοσης. Στις εικόνες 25-26 δίνονται τα μορφολογικά χαρακτηριστικά των βασιδιοκαρπίων στο διάλυμα των 2115 µg/ml χρωμίου. Τα υποστρώματα κατά την I και II σοδειά είχαν μειωμένη απόδοση και συρρικνωμένα βασιδιοκάρπια. Ειδικά κατά την II σοδειά τα βασιδιοκάρπια ξεράθηκαν πριν φτάσουν στο στάδιο πλήρους ωρίμανσης.

#### 4. ΣΥΖΗΤΗΣΗ

##### 4.1. ΟΛΙΚΗ ΣΥΓΚΕΝΤΡΩΣΗ ΒΑΡΕΩΝ ΜΕΤΑΛΛΩΝ

Όπως αναφέραμε και σε προηγούμενο κεφάλαιο, οι συγκεντρώσεις των βαρέων μετάλλων στα μανιτάρια είναι υψηλότερες από εκείνες στα φυτά (Demirbas, 2001; Gupta, 2014; Siric *et al.*, 2016). Το μαγγάνιο και ο ψευδάργυρος αποτελούν απαραίτητα στοιχεία για την ανάπτυξη των μανιταριών (Baldrian, 2002; Aloupi *et al.*, 2012), σε σύγκριση με το χρώμιο το οποίο αποτελεί μη απαραίτητο στοιχείο για τα μανιτάρια (Baldrian, 2002). Η Ευρωπαϊκή Ένωση δεν έχει θεσπίσει όρια για την περιεκτικότητα των βαρέων μετάλλων στα μανιτάρια, επομένως χρησιμοποιούνται τα όρια που έχουν οριστεί για τα τρόφιμα (Garcia *et al.*, 2013).

A) Στην παρούσα μελέτη η μέση προσρόφηση των μετάλλων στα μανιτάρια εμφανίσθηκε με την σειρά Zn>Mn>Cr. Το αποτέλεσμα μας συμφωνεί με την διεθνή βιβλιογραφία, καθώς αναφέρεται στην έρευνα των ‘Zhu *et al.*, 2011; Karahi & Sachdeva, 2017’ ότι τα μανιτάρια προσροφάνε τα μέταλλα με την σειρά Zn>Mn>Cr. Επίσης στην έρευνα των ‘Kalac & Svoboda, 2000; Damodaran *et al.*, 2011’ αναφέρεται ότι ο ψευδάργυρος στα καλλιεργήσιμα μανιτάρια *Pleurotus* είναι από τα μέταλλα που προσροφάται στις μεγαλύτερες ποσότητες.

B) Η μέση ολική συσσώρευση του μαγγανίου στα βασιδιοκάρπια των μανιταριών της έρευνας ήταν 34,6 µg/g πολύ πιο κάτω από το όριο τοξικότητας που έχει οριστεί για τα τρόφιμα στα 400-1000 µg/g (Zhu *et al.*, 2011; Wang *et al.*, 2017). Οι διεθνείς βιβλιογραφίες

αναφέρουν ότι η μέση συσσώρευση μαγγανίου στα καλλιεργήσιμα μανιτάρια *Pleurotus* κυμαίνεται από 10-60  $\mu\text{g/g}$  (Alushllari, 2017; Gebrelibanos *et al.*, 2016). Ενώ στη φύση για τα *Pleurotus* έχουν αναφερθεί συσσωρευμένες ποσότητες 6,7  $\mu\text{g/g}$  (Demirbas, 2001), 10,3  $\mu\text{g/g}$  (Tuzen *et al.*, 1998), 31,4  $\mu\text{g/g}$  (Zhu *et al.*, 2011) και 47,55  $\mu\text{g/g}$  (Gebrelibanos *et al.*, 2016). Η μέση ολική συσσώρευση του ψευδαργύρου στην έρευνα ήταν 346,7  $\mu\text{g/g}$ , αρκετά πιο υψηλή από το όριο των 60  $\mu\text{g/g}$  που έχει οριστεί για τα τρόφιμα (Umeri *et al.*, 2015). Οι διεθνείς βιβλιογραφίες αναφέρουν ότι η συσσώρευση ψευδαργύρου στα καλλιεργήσιμα μανιτάρια *Pleurotus* κυμαίνεται στα 70  $\mu\text{g/g}$  (Alushllari, 2017), ενώ στην φύση έχουν αναφερθεί τιμές 19,3  $\mu\text{g/g}$  (Tuzen *et al.*, 1998), 29,8  $\mu\text{g/g}$  (Demirbas, 2001), 48,4  $\mu\text{g/g}$  (Zhu *et al.*, 2011), και 89.68  $\mu\text{g/g}$  (Gebrelibanos *et al.*, 2016). Η μέση ολική συσσώρευση του χρωμίου στην έρευνα ήταν 17,6  $\mu\text{g/g}$ , συγκέντρωση πολύ πιο χαμηλή από το όριο των 120  $\mu\text{g/g}$  που έχει οριστεί για τα τρόφιμα (Zhu *et al.*, 2011). Οι διεθνείς βιβλιογραφίες αναφέρουν ότι η συσσώρευση χρωμίου στα καλλιεργήσιμα μανιτάρια *Pleurotus* κυμαίνεται στα 5  $\mu\text{g/g}$  (Alushllari, 2017), ενώ στη φύση έχουν αναφερθεί τιμές 16,3  $\mu\text{g/g}$  και 10,7-42,7  $\mu\text{g/g}$  (Zhu *et al.*, 2011). Επομένως, παρατηρούμε ότι τα αποτελέσματα μας έρχονται σε συμφωνία με προηγούμενες μελέτες εκτός από αυτά του ψευδαργύρου που είναι αρκετά πιο υψηλά στην έρευνα μας.

Γ) Κατά την σύγκριση των επιμολυσμένων μανιταριών με τον μάρτυρα, παρατηρήσαμε πως στην I σοδειά μανιταριών τα επιμολυσμένα με μαγγάνιο και ψευδάργυρο δεν είχαν διαφορά στην περιεκτικότητα των μετάλλων σε σχέση με τα αντίστοιχα δείγματα του μάρτυρα. Επιπλέον στα υποστρώματα που επιμολύνθηκαν με χρώμιο τα μανιτάρια είχαν προσροφήσει ελάχιστες ποσότητες κατά την I σοδειά. Ενώ κατά την II σοδειά η συγκέντρωση μετάλλων (μαγγάνιο, ψευδάργυρος, χρώμιο) στα επιμολυσμένα μανιτάρια διπλασιάστηκε σε σύγκριση με τα αντίστοιχα δείγματα του μάρτυρα. Αυτό πιθανώς συνέβει διότι τα μανιτάρια χρειάζονται ορισμένο χρονικό διάστημα για να προσροφήσουν τα βαρέα μέταλλα από το υπόστρωμα. Συγκεκριμένα στην έρευνα των 'Damodaran *et al.*, 2011' αναφέρθηκε ότι το περιεχόμενο των βαρέων μετάλλων στα μανιτάρια και ο ρυθμός πρόσληψης τους μπορεί να συσχετιστεί με τον χρόνο επαφής τους με τον μύκητα.

Δ) Όσον αφορά τις διαφορετικές συγκεντρώσεις επιμόλυνσης, παρατηρήσαμε πως στα διαλύματα του μαγγανίου υπήρξε μεγαλύτερη προσρόφιση στο διάλυμα των 1190  $\mu\text{g/ml}$  και λιγότερη στα 35  $\mu\text{g/ml}$ . Αυτό πιθανώς δείχνει πως τα μανιτάρια του γένους *Pleurotus* μπορούν να προσροφήσουν μαγγάνιο μόνο όταν βρεθεί σε υψηλή συγκέντρωση στο υπόστρωμα. Σε αντίθεση με τα διαλύματα του ψευδαργύρου και του χρωμίου στα οποία υπήρξε μεγαλύτερη προσρόφιση στα διαλύματα των 10 και 26  $\mu\text{g/ml}$  αντίστοιχα. Αυτό

πιθανώς δείχνει ότι τα μανιτάρια *Pleurotus* ενώ έχουν υψηλή ικανότητα προσρόφησης των χαμηλών συγκεντρώσεων του ψευδαργύρου και του χρωμίου από το υπόστρωμα τους, κατά τις μεγαλύτερες συγκεντρώσεις είτε εμφανίζουν αντίσταση στην προσρόφηση τους, είτε η επιμόλυνση είναι τοξική επομένως δεν καρποφορούν.

#### 4.2. ΔΕΙΚΤΗΣ ΒΙΟΣΥΣΣΩΡΕΥΣΗΣ

Στα αποτελέσματα μας παρατηρήσαμε πως τα διαλύματα του ψευδαργύρου είχαν δείκτη βιοσυσώρευσης (27), του μαγγανίου (0,44) και του χρωμίου (0,13). Στην βιβλιογραφία αναφέρεται πως όταν ο δείκτης βιοσυσώρευσης έχει τιμή μεγαλύτερη από 1 τότε το μανιτάρι έχει υψηλή δυνατότητα συσώρευσης του μετάλλου. Επομένως σύμφωνα με τα αποτελέσματα μας, το είδος *Pleurotus ostreatus* είναι καλός βιοσυσσωρευτής μόνο για τον ψευδάργυρο. Το αποτέλεσμα μας συμφωνεί και με την βιβλιογραφία καθώς στην έρευνα των ‘Damodaran *et al.*, 2011’ αναφέρεται πως ο ψευδάργυρος είχε τον υψηλότερο δείκτη βιοσυσώρευσης σε σχέση με άλλα μέταλλα. Επίσης στην έρευνα της ‘Alushllari, 2017’ αναφέρεται ότι ο δείκτης είχε τιμές κάτω από 1 συγκεκριμένα 0,37 και 0,43 για το μαγγάνιο και το χρώμιο.

#### 4.3. ΑΠΟΔΟΣΗ ΥΠΟΣΤΡΩΜΑΤΩΝ ΚΑΙ ΜΟΡΦΟΛΟΓΙΑ ΒΑΣΙΔΙΟΚΑΡΠΙΩΝ

A) Η μέση απόδοση στα υποστρώματα που επιμολύνθηκαν, με μαγγάνιο ήταν υψηλότερη σε σύγκριση αυτά που επιμολύνθηκαν με χρώμιο και ψευδάργυρο. Αυτό συμφωνεί με την βιβλιογραφία καθώς αναφέρεται ότι το μαγγάνιο λειτουργεί ως θρεπτικό συστατικό για τα μανιτάρια (Chiu *et al.*, 1998). Ο ψευδάργυρος παρόλο που λειτουργεί επίσης ως θρεπτικό συστατικό, εμφάνισε την μικρότερη απόδοση. Ειδικά στην υψηλότερη συγκέντρωση (Zn 500 μg/ml) από τα 3 υποστρώματα που επιμολύνθηκαν μόνο 1 καρποφόρησε ενώ τα άλλα 2 ξεράθηκαν. Αυτό μας δείχνει ότι το διάλυμα των 500 μg/ml θα μπορούσε να θεωρηθεί ως τοξική συγκέντρωση για τα μανιτάρια *Pleurotus*.

B) Επιπλέον στα διαλύματα υψηλής συγκέντρωσης χρωμίου (199, 2115 μg/ml), μαγγανίου (243, 1190 μg/ml), και σε όλα τα διαλύματα του ψευδαργύρου (10, 100, 500 μg/ml) παρατηρήθηκε συρρίκνωση στα βασιδιοκάρπια καθώς και ξήρανση ή αποχρωματισμός. Βέβαια το γεγονός ότι έστω καρποφόρησαν στις υψηλές συγκεντρώσεις επιμόλυνσης δείχνει ότι τα μανιτάρια *Pleurotus* μπορούν να αναπτυχθούν κάτω από αντίξοες συνθήκες και έχουν υψηλή αντοχή στα συγκεκριμένα μέταλλα. Ωστόσο, η επίδραση της επιμόλυνσης παρατηρήθηκε στα μορφολογικά τους χαρακτηριστικά σε σχέση με τα δείγματα του μάρτυρα. Παρατηρήσαμε πως το μανιτάρι έχει ένα ορισμένο όριο επιμόλυνσης που μπορεί να ανεχθεί.

Αυτό σύμφωνα με την βιβλιογραφία συμβαίνει διότι όταν τα βαρέα μέταλλα είναι παρόντα είτε στο έδαφος, είτε στο υπόστρωμα, και προσληφθούν από τους μύκητες αναστέλλουν την ανάπτυξη, την παραγωγικότητα τους και μειώνουν την απελευθέρωση ενζύμων βιοαποικοδόμησης (Oghenekaro *et al.*, 2008; Karahi & Sachdeva, 2017).

## 5. ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ

- Υπήρξε προσρόφηση των διαλυμάτων επιμόλυνσης (μαγγάνιο, ψευδάργυρος, χρώμιο) από τα βασιδιοκάρπια του είδους *Pleurotus ostreatus*. Τα διαλύματα του ψευδάργυρου έφτασαν έως και τα τοξικά επίπεδα για τα τρόφιμα
- Σημαντική βιοσυσσώρευση στο είδος *Pleurotus ostreatus* είχε μόνο ο ψευδάργυρος
- Τα διαλύματα του χρωμίου και του μαγγανίου προκάλεσαν συρρίκνωση στα βασιδιοκάρπια μόνο στις υψηλές συγκεντρώσεις (199, 2115 µg/ml Cr, 243, 1190 µg/ml Mn) και κατά την II, III σοδειά μανιταριών. Ενώ όλα τα διαλύματα του ψευδαργύρου (10, 100, 500 µg/ml) προκάλεσαν συρρίκνωση στα βασιδιοκάρπια από την I σοδειά μανιταριών
- Όλα τα διαλύματα επιμόλυνσης προκάλεσαν γενική μείωση στην παραγωγή βασιδιοκαρπίων από τα υποστρώματα
- Η συγκέντρωση των 500 µg/ml ψευδαργύρου πιθανών να είναι τοξική για το είδος *Pleurotus ostreatus*



## 6. ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

### ΞΕΝΟΓΛΩΣΣΗ

- 1: Agency for Toxic Substances and Disease Registry (ATSDR). (2005). *Toxicological Profile for Zinc*. Department of Health and Human Services, Atlanta.
- 2: Aloupi, M., Koutrotsios G., Koulousaris M., Kalogeropoulos, N. (2012). Trace metal contents in wild edible mushrooms growing on serpentine and volcanic soils on the island of Lesbos, Greece. *Ecotoxicology and Environmental Safety*, 78, 184–194.
- 3: Alushllari, M. (2017). Analysis of Metals and Nutrients in the Mushrooms *Pleurotus Ostreatus* Cultivated on Wheat Straw in Albania. *Applied Science Reports*, 18 (1), 12-14.
- 4: Anyakorah, C., Jinadu, T. (2015). The effect of continuous contamination of soil with heavy metals on growth of *Pleurotus tuber-regium*. *Environmental & Applied Mycology*, 5, 362–366.
- 5: Baldrian, P. (2002). Interactions of heavy metals with white-rot fungi. *Enzyme and Microbial Technology*, 32, 78–91.
- 6: Baldrian, P. (2009). Effect of Heavy Metals on Saprotrophic Soil Fungi. *Soil Heavy Metals*, 263-279.
- 7: Bellettini, M.B., Fiorda, F.A., Maieves, H.A., Teixeira, G.L., Ávila, A., Hornung, P.S., Júnior, A.M., Ribani, R.H. (2016). Factors affecting mushroom *Pleurotus* spp. *Saudi Journal of Biological Sciences*, 1-14.
- 8: Boa, E.R. (2004). *Wild edible fungi: a global overview of their use and importance to people*. FAO, Italy.
- 9: Burgstaller, W., Franz, Schinner. (1993). Leaching of metals with fungi. *Journal of Biotechnology*, 27, 91-116.
- 10: Chen, R., Zhou, Z., Liu, Y., Jiang, J., Li, Q., Song, H., Pei, D., Xu, H. (2015). Mycoremediation potential and tolerance responses of *Oudemansiella radicata* in cadmium-pyrene co-contaminated soil. *J Soils Sediments*, 15, 1083–1093.

- 11: Chiu, S.W., Chan, Y.H., Law, S.C., Cheung, K.T., Moore, D. (1998). Cadmium and manganese in contrast to calcium reduce yield and nutritional values of the edible mushroom *Pleurotus pulmonarius*. *Mycol. Res.*, 102 (4), 449-457.
- 12: Damodaran, D., Shetty, L.V, Mohan, B.R. (2013). Uptake of certain heavy metals from contaminated soil by mushroom *Galerina vittiformis*. *Ecotoxicology and Environmental Safety*, 104, 414–422.
- 13: Damodaran – Raj, D., Mohan, B., Shetty, V. B. M. (2011). Mushrooms in the Remediation of Heavy Metals from Soil. *International Journal of Environmental Pollution Control & Management*, 3(1), 89-101.
- 14: Daniel-Umeri, D.R.A., Emumejaye K., Ojebah, C.K. (2015). Assessment of Heavy Metals in Some Wild Edible Mushrooms Collected from Ozoro and its Environs, Delta State, Nigeria. *International Journal of Science and Technology*, 5 (10), 1-9.
- 15: Das, D., Vimala, R., Das, N. (2014). Biosorption of Zn(II) onto *Pleurotus platypus*: 5-Level Box–Behnken design, equilibrium, kinetic and regeneration studies. *Ecological Engineering*, 64, 136-141.
- 16: Demirbas, A. (2001). Heavy metal bioaccumulation by mushrooms from artificially fortified soils. *Food Chemistry*, 74 (3), 293-301.
- 17: Denchev, C.M., Venturella, G., Zervakis, G. (2013). Αναγνώριση και αειφόρος διαχείριση των αυτοφυών εδώδιμων μανιταριών σε περιοχές της υπαίθρου. ΤΕΙ Θεσσαλίας, Λάρισα.
- 18: Dey, S., Rao, P.R.N., Bhattacharyya, C., Bandyopadhyay, M. (1995). Sorption of heavy metals by four basidiomycetous fungi. *Bioprocess Engineering*, 12, 273-277.
- 19: Duruibe, J. O., Ogwuegbu, M. O., Ekwurugwu, J. N. (2007). Heavy metal pollution and human biotoxic effects. *International Journal of Physical Sciences*, 2 (5), 112-118.
- 20: Elsayed, A.E., Enshasy, H.E., Wadaan, M.A.M., Aziz, R. (2014). Mushrooms: a potential natural source of anti-inflammatory compounds for medical applications. *Mediators of Inflammation*, 1-15.
- 21: Frassinetti, S., Bronzetti, G., Caltavuturo, L., Cini, M., Croce, C.D. (2006). The Role of Zinc in Life: A Review. *Journal of Environmental Pathology, Toxicology and Oncology*, 25 (3), 597-610.

- 22: García, M.A., Alonso, J., Melgar, M.J. (2013). Bioconcentration of chromium in edible mushrooms: Influence of environmental and genetic factors. *Food and Chemical Toxicology*, 58, 249–254.
- 23: Gebrelibanos, M., Megersa, N., Tadesse, A.M. (2016). Levels of essential and non-essential metals in edible mushrooms cultivated in Haramaya, Ethiopia. *International Journal of Food Contamination*, 3 (2).
- 24: George, R., Joy, V., Aiswarya, S., Jacob, P.A. (2014). Treatment Methods for Contaminated Soils – Translating Science into Practice. *International Journal of Education and applied research*, 4.
- 25: Goyer, R.A., Clarkson, T.W. (2001). Toxic Effects of Metals. In *Casarett and Doull's Toxicology: The Basic Science of Poisons* (6 edition), C. D. Klaassen, Mc-Graw-Hill, New York, pp. 811-867.
- 26: Guertin, J. (2004). Toxicity and Health Effects of Chromium (All Oxidation States). In *Chromium (VI) Handbook*. Guertin, J., Jacobs, J.A., Avakian, C.P. CRS Press, Florida, pp. 215-234.
- 27: Gupta, R.K., (2014). *Bioremediation of Heavy Metals through Cultivated and Wild Mushroom*. Maharana Pratap University of Agriculture and Technology, Udaipur.
- 28: Hanif, M.A., Bhatti, H.N., Bhatti, I.A, Asghar, M. (2011). Biosorption of Cr (III) and Cr (VI) by Newly Isolated White Rot Fungi: Batch and Column Studies. *Asian Journal of Chemistry*, 3375-3383.
- 29: Javaid, A., Bajwa, R., Shafique, U., Anwar, J. (2011). Removal of heavy metals by adsorption on *Pleurotus ostreatus*. *Biomass and Bioenergy*, 35, 1675-1682.
- 30: Kalač, P., Svoboda, L. (2000). A review of trace element concentrations in edible mushrooms. *Food Chemistry*, 69 (3), 273-281.
- 31: Kapahi, M., Sachdeva, S. (2017). Mycoremediation potential of *Pleurotus* species for heavy metals: a review. *Bioresour Bioprocess*, 4 (1).
- 32: Kausrud, H., Stige, L.C., Vik, J.O., Økland, R.H., Høiland, K., Stenseth, N.C. (2008). Mushroom fruiting and climate change. *PNAS*, 10, 3811–3814.

- 33: Krishna, K.R., Philip, L. (2005). Bioremediation of Cr (VI) in contaminated soils. *Journal of Hazardous Materials*, 121, 109–117.
- 34: Largent, D.L. (1986). *How to identify mushrooms to genus I: Macroscopic features*. Mad River Press Inc, California.
- 35: Liu, H., Guo, A., Jia, Z., Han, Y., He, Q., Xu, H. (2015). Alleviating the toxicity of heavy metals by combined amendments in cultivated bag of *Pleurotus cornucopiae*. *Environ Sci Pollut Res*, 22, 17182–17191.
- 36: Lynch, M.D.J., Thorn, R.G. (2006). Diversity of Basidiomycetes in Michigan agricultural soils. *Applied and Environmental Microbiology*, 11, 7050–7056.
- 37: Ma, L., Peng, Y., Wu, B., Lei, D., Xu, X. (2013). *Pleurotus ostreatus* nanoparticles as a new nano-biosorbent for removal of Mn (II) from aqueous solution. *Chemical Engineering Journal*, 225, 59-67.
- 38: Machulak, T., Prousek, J., Švorc, L., Drtil, M. (2012). Increase of biogas production from pretreated hay and leaves using wood-rotting fungi. *Chemical Papers*, 66, 649–653.
- 39: Netzahuatl-Muñoz, A.R., Cristiani-Urbina, M.C, Cristiani-Urbina, E. (2015). Chromium Biosorption from Cr (VI) Aqueous Solutions by *Cupressus lusitanica* Bark: Kinetics, Equilibrium and Thermodynamic Studies. *PLOS ONE*, 10 (9), 1-23.
- 40: Oghenekaro, A.O., Okhuoya, J.A., Akpaja, E.O. (2008). Growth of *Pleurotus tuberregium* (Fr) Singer on some heavy metal - supplemented substrates. *African Journal of Microbiology Research*, 2, 268-271.
- 41: Quarcoo, A., Adotey, G. (2013). Determination of heavy metals in *Pleurotus ostreatus* (Oyster mushroom) and *Termitomyces clypeatus* (Termite mushroom) sold on selected markets in Accra, Ghana. *Mycosphere*, 4 (5), 960–967.
- 42: Ray, S.A., Ray, M.K. (2009). Bioremediation of Heavy Metal Toxicity-With Special Reference to Chromium. *Al Ameen J Med Sci*, 2 (2), 57 -63.
- 43: Ross, I.S. Some Effects of Heavy Metals on Fungal Cells. *Transactions British Mycological Society*, 64 (2), 175-193.

- 44: Sanglimsuwan, S., Yoshida, N., Morinaga, T., Murooka, Y. (1993). Resistance to and Uptake of Heavy Metals in Mushrooms. *Journal of Fermentation and Bioengineering*, 75 (2), 112-114.
- 45: Servi, H., Akata, I., Cetin, B. (2010). Macrofungal diversity of Bolu Abant Nature Park (Turkey). *African Journal of Biotechnology*, 9 (24), 3622-3628.
- 46: Širić, I., Humar, M., Kasap, A., Kos, I., Mioč, B., Pohleven, F. (2016). Heavy metal bioaccumulation by wild edible saprophytic and ectomycorrhizal mushrooms. *Environ Sci Pollut Res*, 23, 18239–18252.
- 47: Tuzen, M., Ozdemir, M., Demirbas, A. (1998). Heavy metal bioaccumulation by cultivated *Agaricus bisporus* from artificially enriched substrates. *Z Lebensm Unters Forsch A*, 206 (6), 417 – 419.
- 48: Udochukwu, U., Nekpen, B.O., Udinyiwe, O.C., Omeje, F.I. (2014). Bioaccumulation of Heavy metals and pollutants by edible mushroom collected from Iselu market Benin-city. *International Journal of Current Microbiology and Applied Sciences*, 3(10), 52-57.
- 49: Wang, X., Liu, H., Zhang, J., Li, T., Wang, Y. (2017). Evaluation of heavy metal concentrations of edible wild-grown mushrooms from China. *Journal of Environmental Science and Health*, 52 (2), 178-183.
- 50: Williams, M., Todd, G.D, Roney, N., Crawford, J., Coles, C., McClure, P.R., Garey, J.D., Zaccaria, K., Citra, M. (2012). *Toxicological Profile for Manganese*. Agency for Toxic Substances and Disease Registry (US), Atlanta.
- 51: Zafar, S., Aqil, F., Ahmad, I. (2007). Metal tolerance and biosorption potential of filamentous fungi isolated from metal contaminated agricultural soil. *Bioresource Technology*, 98, 2557–2561.
- 52: Zhu, F., Qu, L., Fan, W., Qiao, M., Hao, H., Wang, X. (2011). Assessment of heavy metals in some wild edible mushrooms collected from Yunnan Province, China. *Environ Monit Assess*, 179, 191–199.
- 53: Zou, B., Jiang, X., Duan, X., Zhao, X., Zhang, J., Tang, J., Sun, G. (2017). An Integrated H-G Scheme Identifying Areas for Soil Remediation and Primary Heavy Metal Contributors: A Risk Perspective. *Scientific Reports*, 7, 341.

## ΕΛΛΗΝΙΚΗ

- 1: Αθανασίου, Ζ. (2010). *Μανιτάρια: οδηγός αναγνώρισης για 642 είδη*. Εκδόσεις Ψύχαλου, Αθήνα.
- 2: Βαλαβανίδης, Α. (2008). *Οικοτοξικολογία και Περιβαλλοντική Τοξικολογία: Ερευνητική μεθοδολογία για την Εκτίμηση Οικολογικού Κινδύνου από επικίνδυνες χημικές ουσίες*. Εκδόσεις Σύγχρονα Θέματα, Αθήνα.
- 3: Γεωργόπουλος, Α., Μπλιώνης, Γ., Γαβριλάκης, Κ., Δημητρίου, Α. (2013). *Γή: Ένας Μικρός και Εύθραυστος Πλανήτης*. Εκδόσεις Gutenberg.
- 4: Ζερβάκης, Γ. (1992). *Γενετική και Ταξινομική Ανάλυση Μυκήτων του Γένους *Pleurotus**. Διδακτορική διατριβή, Γεωργικό Πανεπιστήμιο Αθηνών, Αθήνα.
- 5: Ζούμη, Κ. (2012). *Λιβαδικό τοπίο και μακρομύκητες*. Μεταπτυχιακή εργασία, Σχολή Δασολογίας και Φυσικού Περιβάλλοντος, Θεσσαλονίκη
- 6: Κελτεμλίδης, Δ.Θ. (1990). *Τα μανιτάρια του βουνού και του κάμπου*. Εκδόσεις Ψύχαλου, Αθήνα.
- 7: Κελτεμλίδης, Δ.Θ. (1995). *Τα φαρμακευτικά μανιτάρια και οι θεραπευτικές τους χρήσεις*. Εκδόσεις Ψύχαλου, Αθήνα.
- 8: Κωνσταντινίδης, Γ. (2002). *Μανιτάρια: Ένας παραμυθένιος μικρόκοσμος*. Εκδόσεις Καπον, Γρεβενά.
- 9: Μοδινός, Μ. (2001). *Η οικογεωγραφία της Μεσογείου*. Στοχαστής – ΔΙΠΕ, Αθήνα.
- 10: Παπαδημητρίου, Κ. (2013). *Αλληλεπίδραση της προσθήκης Καδμίου (Cd) και Ψευδαργύρου (Zn), στη συγκέντρωση αυτών, σε φυτά *Ocimum basilicum* 'Genovese'*. Μεταπτυχιακή μελέτη, Γεωπονικό Πανεπιστήμιο Αθηνών, Αθήνα.
- 11: Παπαδοπούλου, Λ. Α. (2014). *Αξιοποίηση μυκήτων για την αναγωγική σταθεροποίηση του εξασθενούς χρωμίου σε ρυπασμένα εδάφη*. Διπλωματική εργασία, Εθνικό Μετσόβιο Πολυτεχνείο, Αθήνα.
- 12: Πολέμης, Η. (2010). *Συμβολή στη γνώση της βιοποικιλότητας των Κυκλάδων (Κεντρικό Αιγαίο): Μελέτη Βασιδιομυκήτων (Υποφύλο *Agaricomycotina*) στα νησιά Ανδρο, Νάξο και Αμοργό*. Διδακτορική διατριβή, Πανεπιστήμιο Πατρών, Πάτρα.

13: Τσιτσέλα, Α. (2016). *Βιοποικιλότητα μανιταριών σε τρεις διαφορετικούς τύπους ενδιαιτημάτων του κάτω Ολύμπου*. Πτυχιακή ερασία, Πανεπιστήμιο Αιγαίου, Μυτιλήνη.

14: Ιστότοπος: [www.gemma.gr](http://www.gemma.gr)

## 7. ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ

### ΜΟΡΦΟΛΟΓΙΑ ΒΑΣΙΔΙΟΚΑΡΠΙΩΝ ΜΕ ΕΠΙΜΟΛΥΝΣΗ

Μορφολογία βασιδιοκαρπίων II σοδειάς *P.ostreatus*  
διάλυμα 35 µg/ml Mn



Μορφολογία βασιδιοκαρπίων III σοδειάς *P.ostreatus*  
διάλυμα 35 µg/ml Mn



Μορφολογία βασιδιοκαρπίων III σοδειάς *P.ostreatus*  
διάλυμα 1190 µg/ml Mn



Μορφολογία βασιδιοκαρπίων III σοδειάς *P.ostreatus*  
διάλυμα 1190 µg/ml Mn



Μορφολογία βασιδιοκαρπίων II σοδειάς *P.ostreatus*  
διάλυμα 10 µg/ml Zn



Μορφολογία βασιδιοκαρπίων III σοδειάς *P.ostreatus*  
διάλυμα 10 µg/ml Zn





Μορφολογία βασιδιοκαρπίων II σοδειάς *P.ostreatus*  
διάλυμα 100 µg/ml Zn



Μορφολογία βασιδιοκαρπίων II σοδειάς *P.ostreatus*  
διάλυμα 26 µg/ml Cr



Μορφολογία βασιδιοκαρπίων II σοδειάς *P.ostreatus*  
διάλυμα 199 µg/ml Cr



Μορφολογία βασιδιοκαρπίων III σοδειάς *P.ostreatus*  
διάλυμα 199 µg/ml Cr



Μορφολογία βασιδιοκαρπίων II σοδειάς *P.ostreatus*  
διάλυμα 2115 µg/ml Cr

