



**ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΘΕΣΣΑΛΙΑΣ**  
**Σχολή Γεωπονικών Επιστημών**  
**Τμήμα Γεωπονίας Φυτικής Παραγωγής και αγροτικού Περιβάλλοντος**

**ΕΡΓΑΣΤΗΡΙΟ ΕΛΑΦΟΛΟΓΙΑΣ**  
**ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ**

Μελέτη της Προσρόφησης Ψευδαργύρου από Καλλιέργεια Σαπροτροφικών Μυκήτων  
(Μανιτάρια)

**Πολατίδης Ηλίας**  
**Επιβλέπουσα: Δημήτρου, Ανθούλα.**

**ΒΟΛΟΣ 2018**

Μελέτη της Προσρόφησης Ψευδαργύρου από Καλλιέργεια Σαπροτροφικών Μυκήτων  
(Μανιτάρια)

Πολατίδης Ηλίας

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

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

Ιωάννου, Ζαχαρίας. Επίκουρος Καθηγητής. Τμήμα Επιστήμης Τροφίμων και διατροφής. Σχολή Περιβάλλοντος. Πανεπιστήμιο Αιγαίου.

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 πτυχιακής μου εργασίας. 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 την Τσιτσέλα Αθανασία, μεταπτυχιακή φοιτήτρια 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 ψευδαργύρου 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*.

## ΠΙΝΑΚΑΣ ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΩΝ

ΠΕΡΙΛΗΨΗ .....	3
<b>ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1: ΕΙΣΑΓΩΓΗ .....</b>	<b>6</b>
1.1.: ΒΑΡΕΑ ΜΕΤΑΛΛΑ .....	6
1.1.1.: ΨΕΥΔΑΡΓΥΡΟΣ .....	7
1.2.: ΜΥΚΗΤΕΣ .....	8
1.2.1.: ΜΥΚΗΤΕΣ ΤΟΥ ΓΕΝΟΥΣ PLEUROTUS .....	10
1.2.2.: ΠΡΟΣΡΟΦΗΣΗ ΒΑΡΕΩΝ ΜΕΤΑΛΛΩΝ .....	11
1.3.: ΣΚΟΠΟΣ ΤΗΣ ΕΡΕΥΝΑΣ .....	12
<b>ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2: ΠΕΙΡΑΜΑΤΙΚΟ ΜΕΡΟΣ .....</b>	<b>13</b>
2.1.: ΥΛΙΚΑ ΚΑΙ ΜΕΘΟΔΟΙ .....	13
2.1.1.: ΔΙΑΧΕΙΡΗΣΗ ΥΠΟΣΤΡΩΜΑΤΩΝ .....	13
2.1.2.: ΣΧΕΔΙΑΣΜΟΣ ΠΕΙΡΑΜΑΤΟΣ .....	13
2.1.3.: ΠΡΟΕΤΟΙΜΑΣΙΑ ΔΙΑΛΥΜΑΤΩΝ ΕΠΙΜΟΛΥΝΣΗΣ .....	14
2.1.4.: ΕΠΙΜΟΛΥΝΣΗ ΥΠΟΣΤΡΩΜΑΤΩΝ .....	14
2.1.5.: ΜΕΘΟΔΟΣ ΣΥΛΛΟΓΗΣ ΥΛΙΚΟΥ .....	15
2.1.6.: ΔΕΙΓΜΑΤΑ ΜΑΡΤΥΡΑ .....	16
2.1.7.: ΔΕΙΓΜΑΤΑ ΕΠΙΜΟΛΥΣΜΕΝΑ .....	16
2.2.: ΣΤΑΤΙΣΤΙΚΗ ΑΝΑΛΥΣΗ .....	16
2.2.1.: ΣΥΝΤΕΛΕΣΤΗΣ ΒΙΟΣΥΣΣΩΡΕΥΣΗΣ (BAF) .....	16
<b>ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3: ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ .....</b>	<b>17</b>
3.1.: ΣΥΓΚΕΝΤΡΩΣΗ ΨΕΥΔΑΡΓΥΡΟΥ ΣΤΑ ΜΑΝΗΤΑΡΙΑ .....	17
3.2.: ΜΕΣΗ ΣΥΓΚΕΝΤΡΩΣΗ ΞΕΥΔΑΡΓΥΡΟΥ ΣΤΟ ΜΑΝΙΤΑΡΙ ΚΑΙ ΣΤΟ ΥΠΟΣΤΡΩΜΑ .....	20
3.3.: ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ ΥΠΟΣΤΡΩΜΑΤΩΝ .....	22
3.3.1.: ΜΟΡΦΟΛΟΓΙΑ ΒΑΣΙΔΙΟΚΑΡΠΙΩΝ ΧΩΡΙΣ ΕΠΙΜΟΛΥΝΣΗ (ΜΑΡΤΥΡΑΣ) .....	22
3.3.2.: ΜΟΡΦΟΛΟΓΙΑ ΒΑΣΙΔΙΟΚΑΡΠΙΩΝ ΜΕ ΕΠΙΜΟΛΥΝΣΗ .....	25

<b>ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4: ΣΥΖΗΤΗΣΗ</b> .....	28
4.1.: ΟΛΙΚΗ ΣΥΓΚΕΝΤΡΩΣΗ ΨΕΥΔΑΡΓΥΡΟΥ .....	28
4.2.: ΔΕΙΚΤΗΣ ΒΙΟΣΥΣΣΩΡΕΥΣΗΣ .....	28
4.3.: ΑΠΟΔΟΣΗ ΥΠΟΣΤΡΩΜΑΤΩΝ ΚΑΙ ΜΟΡΦΟΛΟΓΙΑ ΒΑΣΙΔΙΟΚΑΡΠΙΩΝ .....	28
<b>ΚΕΦΑΛΑΙΟ 5: ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ</b> .....	31
<b>ΚΕΦΑΛΑΙΟ 6: ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ</b> .....	32
<b>ΚΕΦΑΛΑΙΟ 7: ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ</b> .....	39

## ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Η ρύπανση των εδαφών συνεχώς αυξάνεται σε παγκόσμια κλίμακα. Οι κύριοι λόγοι για αυτό είναι η εκβιομηχάνιση, η χρήση χημικών στη γεωργία, καθώς και η λανθασμένη διαχείριση των αποβλήτων. Οι πιο κοινοί ρύποι στο έδαφος είναι οι υδρογονάνθρακες, τα φυτοφάρμακα και τα βαρέα μέταλλα (Damodaran et al., 2013; George et al., 2014; Zou et al., 2017)

### 1.1. ΒΑΡΕΑ ΜΕΤΑΛΛΑ

Τα βαρέα μέταλλα είναι τα μεταλλικά χημικά στοιχεία που έχουν σχετικά μεγάλη πυκνότητα και είναι τοξικά, σε χαμηλές συγκεντρώσεις στους φυτικούς ή ζωικούς οργανισμούς. Ορισμένα παραδείγματα είναι ο μόλυβδος (Pb), ο ψευδάργυρος (Zn), ο χαλκός (Cu), ο υδράργυρος (Hg), ο σίδηρος (Fe) και το μαγγάνιο (Mn). (Oghenekaro et al, 2008) Το κύριο χαρακτηριστικό των στοιχείων αυτών είναι η υψηλή τους τοξικότητα. Ο βαθμός τοξικότητας τους μειώνεται αριστερά προς δεξιά ως εξής: υδράργυρος > χαλκός > ψευδάργυρος > μόλυβδος > κάδμιο > χρώμιο > μαγγάνιο (Γεωργόπουλος κ.α., 2013). Η τοξικότητα τους προκαλεί παραμόρφωση των πρωτεϊνικών μορίων των κυττάρων. Παρόλα αυτά είναι σημαντικά στην σωστή ανάπτυξη των οργανισμών (Geoffrey et al, 1978).

Τα βαρέα μέταλλα είναι φυσικά συστατικά του φλοιού της γης και δεν μπορούν να αποδομηθούν (Oghenekaro et al., 2008; Zou et al., 2017). Με την ανθρώπινη δραστηριότητα, κυρίως από τις βιομηχανικές δραστηριότητες, και τους γεωχημικούς κύκλους, γίνεται η ανακατανομή, των μετάλλων του εδάφους, στο περιβάλλον. Είναι ιδιαίτερα επικίνδυνοι ρύποι και αποτελούν ένα από τα πιο σοβαρά περιβαλλοντικά προβλήματα αλλοιώνοντας αναλόγως με την συγκέντρωση τους τη δομή, και τις λειτουργίες του εδάφους (Anyakorah& Jinadu, 2015).

Οι άνθρωποι τα χρησιμοποιούν κυρίως σε βιομηχανίες όπως είναι τα χαλυβουργεία, τα εργοστάσια παραγωγής φυτοφαρμάκων, τα εργοστάσια παραγωγής χρωμάτων, και τα διυλιστήρια του πετρελαίου (Βαλαβανίδης, 2008; Γεωργόπουλος κ.α., 2013; George et al., 2014). Στην Ελλάδα μόνο παράγονται πάνω από 600.000 τόνοι τοξικών βιομηχανικών αποβλήτων, που καταλήγουν ανεξέλεγκτα στο περιβάλλον (Μοδινός, 2001).

Σχετικά με τους οργανισμούς, ορισμένα μέταλλα είναι απαραίτητα για την ανάπτυξη τους. Για παράδειγμα, στοιχεία όπως ο χαλκός ο ψευδάργυρος και το μαγγάνιο είναι απαραίτητα για την φωτοσύνθεση των φυτών (Βαλαβανίδης, 2008). Ενώ άλλα όπως ο χαλκός, το σελήνιο, ο ψευδάργυρος, το χρώμιο και το μαγγάνιο είναι αναγκαία ακόμα και για τον μεταβολισμό του ανθρώπινου σώματος (Baldrian, 2009; Garcia et al., 2013). Ο μεταβολισμός του ανθρώπου απαιτεί χαλκό, σελήνιο, ψευδάργυρο χρώμιο και μαγγάνιο (Baldrian, 2009; Garcia et al., 2013). Η έκθεση του ανθρώπινου οργανισμού σε βαρέα μέταλλα μπορεί να έχει κακά αποτελέσματα στην υγεία του ανάλογα με την ποσότητα και την διάρκειά της (Oghenekaro et al., 2008 Gebrelibanos et al., 2016). Η πρόσληψη των βαρέων μετάλλων από τον άνθρωπο μπορεί να γίνει μέσω της αναπνοής σε περιοχές που έχουν πολλούς ατμοσφαιρικούς ρύπους, με την κατάποση μολυσμένου νερού και τέλος με τα τρόφιμα (Oghenekaro et al., 2008).

#### 1.1.1. ΨΕΥΔΑΡΓΥΡΟΣ

Ο ψευδάργυρος (Zn), αποτελεί μέταλλο που βρίσκεται παντού στη φύση (Frassinetti *et al.*, 2006; Udochukwu *et al.*, 2014). Συγκεκριμένα, συναντάται στα περισσότερα τρόφιμα, στο νερό, στον αέρα και εμφανίζεται ως αποτέλεσμα της διάβρωσης, των δασικών πυρκαγιών και των ηφαιστειακών εκρήξεων (Frassinetti *et al.*, 2006). Στην φύση συναντάται σε μεταλλική μορφή γυαλιστερού άσπρου χρώματος. Επίσης υπάρχει και σε μορφή σκόνης, στην οποία είναι εκρηκτικός και μπορεί να πάρει εύκολα φωτιά αν δεν αποθηκευτεί σωστά (ATSDR, 2005). Αποτελεί θρεπτική ουσία για τους ζωικούς οργανισμούς 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). Η ανεπάρκεια του ψευδαργύρου στον άνθρωπο, έχει συσχετιστεί με διάφορες παθήσεις, όπως δερματίτιδες, ανορεξία, καθυστέρηση της ανάπτυξης, και κακή επούλωση τραυμάτων (ATSDR, 2005; Duruibe *et al.*, 2007). Παράλληλα η υψηλή συγκέντρωσή του στον οργανισμό του ανθρώπου μπορεί να προκαλέσει προβλήματα υγείας (Das *et al.*, 2014), διότι μπορεί να σταματήσει την απορρόφηση του χαλκού και σιδήρου (Duruibe *et al.*, 2007), επίσης μειώνει την πρόσληψη οξυγόνου και αυξάνει την αναπνευστική δραστηριότητα (Oghenekaro *et*

*al.*, 2008; Das *et al.*, 2014). Σε μεγάλες συγκεντρώσεις μπορεί να θεωρηθεί ακόμα και ως τοξικός ρύπος καθώς στην οδηγία για τις επικίνδυνες ουσίες της Ευρωπαϊκής Ένωσης, ο ψευδάργυρος έχει καταχωριστεί ως η 2η πιο επικίνδυνη ουσία (Das *et al.*, 2014).

Ο ψευδάργυρος χρησιμοποιείται κυρίως στη βιομηχανία. Χρησιμοποιείται στα σκευάσματα οικιακής χρήσης, ως πρόσθετη κάλυψη στον χάλυβα και στον σίδηρο, και ως προστατευτικό από την διάβρωση στο κράμα του χαλκού και χρησιμοποιείται επίσης στα λιπάσματα, και στα εντομοκτόνα (Παπαδημητρίου, 2013).

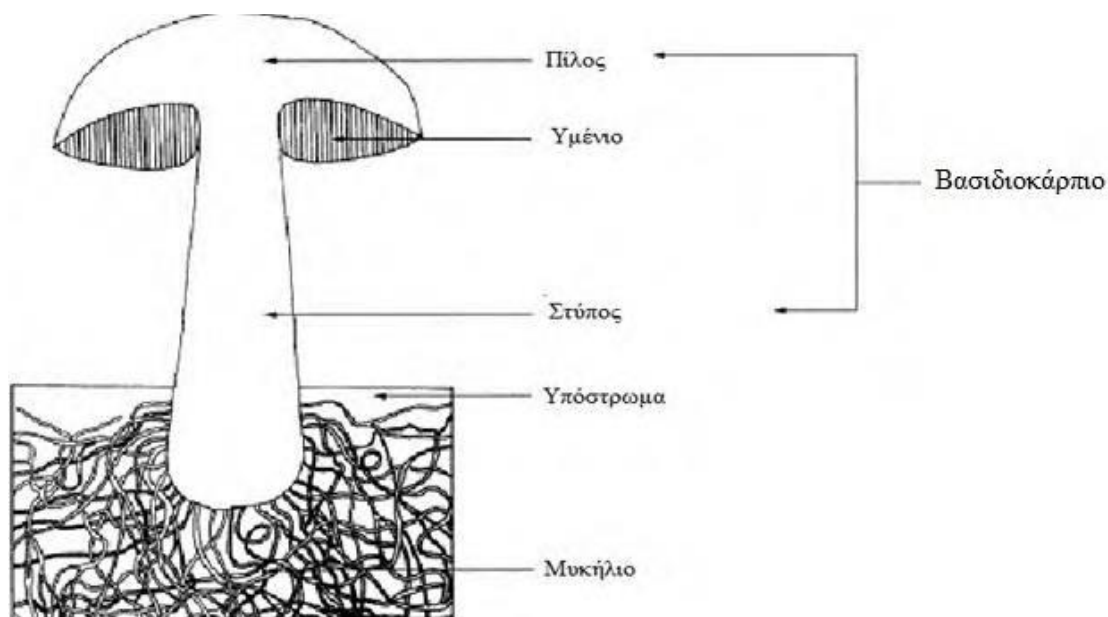
## 1.2. ΜΥΚΗΤΕΣ

Οι μύκητες είναι το δεύτερο μεγαλύτερο βασίλειο μετά από αυτό των εντόμων και περιλαμβάνει είδη με μεγάλα σώματα, ορατά με γυμνό μάτι (μακρομύκητες) και είδη που φαίνονται μόνο με την χρήση μικροσκοπίου (μικρομύκητες) (Servi, 2010; Javaid *et al.*, 2011).

Το χαρακτηριστικότερο παράδειγμα μακρομυκήτων είναι τα μανιτάρια, τα οποία συναντώνται 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). Στο υπόστρωμα, βρίσκεται το μυκήλιο (Κελτεμλίδης, 1990; Boa, 2004) που είναι το όργανο παραγωγής των μανιταριών (Πολέμης, 2010; Denchev *et al.*, 2013). Το μυκήλιο αποτελείται από υφές μεγέθους 2-10  $\mu\text{m}$  (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 τρέφονται με την πρόσληψη των οργανικών ενώσεων που χρειάζονται από άλλους οργανισμούς (Κωνσταντινίδης, 2002). Η τροφή των μυκήτων προσλαμβάνεται από το μυκήλιο τους, με την απελευθέρωση ενζύμων που διασπούν τις, χρήσιμες για τον μύκητα, ουσίες. Τα προϊόντα της διαδικασίας αυτής, στη

συνέχεια, απορροφούνται από τις υφές, με αποτέλεσμα να αυξάνεται το μυκήλιο (Largent, 1986).



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

Το κάθε είδος μύκητα απαιτεί διαφορετικές περιβαλλοντικές συνθήκες για την ανάπτυξη του ανάλογες με τις προτιμήσεις του (Κελτεμλίδης, 1990). Οι συνηθέστερες συνθήκες ανάπτυξης των μυκήτων είναι τα μεγάλα επίπεδα υγρασίας, τόσο στην ατμόσφαιρα, όσο και στο υπόστρωμα τους, καθώς επίσης και σταθερές θερμοκρασίες στο εικοσιτετράωρο (Kauserud, 2008). Οι μεταβολές της θερμοκρασίας πρέπει να μην είναι μεγάλες, γιατί οι χαμηλές θερμοκρασίες της νύχτας επιβραδύνουν την ανάπτυξη του μυκήλιου, ενώ οι υψηλές θερμοκρασίες της μέρας μειώνουν την θερμοκρασία του υποστρώματος, κάνοντας έτσι το περιβάλλον λιγότερο ιδανικό για την ανάπτυξη τους.(Κωνσταντινίδης, 2002; Ζούμη, 2012; Denchev *et al.*, 2013). Σε ιδανικές συνθήκες μπορούν να αναπτυχθούν με πολύ γρήγορους ρυθμούς. Η διάρκεια της ζωής τους ποικίλει από μερικές ώρες σε λίγες ημέρες σε πολλά είδη μανιταριών. Υπάρχουν όμως και είδη που σχηματίζουν ξυλώδη-φελλώδη μανιτάρια που ζουν έως και μερικά χρόνια (Κελτεμλίδης, 1995).

### 1.2.1. ΜΥΚΗΤΕΣ ΤΟΥ ΓΕΝΟΥΣ PLEUROTUS

Το γένος *Pleurotus* είναι μακρομύκητας που ανήκει στην οικογένεια των Βασιδιομυκήτων. Είναι 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 δομή μανιταριού *Pleurotus* στη φύση (πηγή: Τσιτσέλα, 2016)

Το γένος *Pleurotus* περιλαμβάνει 40 είδη, τα οποία συναντώνται τόσο στα εύκρατα όσο και στα τροπικά κλίματα. Αναπτύσσεται σε σχετικά μεγάλο εύρος υποστρωμάτων. Το γεγονός αυτό, καθιστά τα *Pleurotus* ένα από τα πιο ευρέως καλλιεργούμενα 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*, απαιτούνται διάφορα συστατικά με σκοπό τη βελτίωση της ανάπτυξης του μύκητα, την αύξηση της παραγωγής και τη μείωση της πιθανότητας προσβολής από βακτήρια, επίσης προσθέτονται 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 (Bellettini *et al.*, 2016).

### 1.2.2. ΠΡΟΣΡΟΦΙΣΗ ΒΑΡΕΩΝ ΜΕΤΑΛΛΩΝ

Τα μανιτάρια αποτελούν το βασιδιοκάρπιο, που αναπτύσσεται μέσα από το μυκήλιο. Το μυκήλιο παράγει ένζυμα, ο ρόλος των οποίων είναι η διάσπαση των περίπλοκων ουσιών σε απλούστερες, με σκοπό την απορρόφηση τους (Udochukwu *et al.*, 2014; Largent, 1986). Τα μανιτάρια μπορούν να προσλάβουν τα βαρέα μέταλλα με πολλές μεθόδους, η πιο αποτελεσματική των οποίων είναι μέσω του νερού που απορροφάει το μυκήλιο από το υπόστρωμα όταν αυτό είναι επιμολυσμένο (Gupta, 2014; Damodaran *et al.*, 2011; Baldrian, 2002).

Οι συγκεντρώσεις των βαρέων μετάλλων στα μανιτάρια ξεπερνούν κατά πολύ εκείνες στα φυτά (Demirbas, 2001; Gupta, 2014; Siric *et al.*, 2016). Αυτή η αυξημένη βιοσυσώρευση συμβαίνει, λόγω του μυκηλίου (Oghenekaro *et al.*, 2008; Quarcoo & Adotey, 2013; Gupta, 2014), καθώς έχει μεγάλη βιομάζα και μεγάλη τάση έλξης προς τα μέταλλα (Damodaran *et al.*, 2013). Επομένως τα μανιτάρια που αναπτύσσονται σε εδάφη μολυσμένα από ανθρωπογενείς πηγές, έχουν την ικανότητα να απορροφήσουν μέταλλα και να τα συσσωρεύσουν στα βρώσιμα τμήματά τους (Demirbas, 2001; Garcia *et al.*, 2013).

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

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 πρόσληψής τους (Baldrian, 2002; Zafar *et al.*, 2006; Javaid *et al.*, 2011; Chen *et al.*, 2015). Μελέτες έχουν δείξει ότι η ακριβής συγκέντρωσή τους, ποικίλει ανάλογα με 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 αποδειχθεί πως επηρεάζει την προσρόφηση των μετάλλων (Kalac & Svoboda, 2000; Gupta, 2014; Gebrelibanos *et al.*, 2016; Karahi & Sachdeva, 2017). Έχει διαπιστωθεί πως οι λειτουργίες των μυκήτων 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, τα βαρέα μέταλλα έχουν τοξικότητα με σύμφωνα με την εξής σειρά: Ag> Hg> Cu> Cd> Cr> Ni> Pb> Co> Zn> Ca, Fe (Burgstaller & Schinner, 1993). Ενώ για ορισμένους σαπροτροφικούς μύκητες (λευκής σήψης) ο υδράργυρος και το κάδμιο φαίνεται να είναι τα πιο τοξικά βαρέα μέταλλα (Baldrian, 2002).

### 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 ο ψευδάργυρος από καλλιέργεια μανιταριών του γένους *Pleurotus*. Επιμολύνθηκαν τα υποστρώματα των μυκήτων με 3 διαλύματα κλιμακούμενης συγκέντρωσης ψευδαργύρου, 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 22 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<sup>0</sup> 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 (8-20C<sup>o</sup>). 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.

#### 2.1.2. ΣΧΕΔΙΑΣΜΟΣ ΠΕΙΡΑΜΑΤΟΣ

Τα 22 υποστρώματα στη συνέχεια χωρίστηκαν σε τρεις κατηγορίες:

1: 13 υποστρώματα τα οποία παρέμειναν χωρίς επιμόλυνση και χρησίμευσαν ως μάρτυρας

2: 2 υποστρώματα τα οποία επιμολύνθηκαν πριν από την I σοδειά

3: 7 υποστρώματα τα οποία επιμολύνθηκαν μετά το πέρασμα της I σοδειάς.

### 2.1.3. ΠΡΟΕΤΟΙΜΑΣΙΑ ΔΙΑΛΥΜΑΤΩΝ ΕΠΙΜΟΛΥΝΣΗΣ

Για την επιμόλυνση των υποστρωμάτων επιλέχθηκε ο ψευδάργυρος ( $ZnCl_2 \cdot H_2O$ ) Στην συνέχεια παρασκευάστηκαν 3 διαλύματα κλιμακούμενης συγκέντρωσης μετάλλου του 1 L νερού με συγκεντρώσεις 10, 100, 500  $\mu\text{g/ml}$ .

### 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).

A.M.Y.	Συγκέντρωση διαλύματος	Ημερομηνία επιμόλυνσης		
		3/2/17 ή 7/2/17 (ml)	14/2/2017 (ml)	20/2/17 (ml)
10	Zn 10 $\mu\text{g/ml}$	100	100	100
30	Zn 10 $\mu\text{g/ml}$	100	100	100
34	Zn 10 $\mu\text{g/ml}$	100	100	100
14	Zn 100 $\mu\text{g/ml}$	100	100	100
31	Zn 100 $\mu\text{g/ml}$	100	100	50
39	Zn 100 $\mu\text{g/ml}$	100	100	50
19	Zn 500 $\mu\text{g/ml}$	-	-	100
16	Zn 500 $\mu\text{g/ml}$	-	-	100
38	Zn 500 $\mu\text{g/ml}$	-	-	100

Πίνακας 1: Ημερομηνία και ml επιμόλυνσης ανά υπόστρωμα (A.M.Y: αριθμός μητρώου υποστρώματος)

### 2.1.5. ΜΕΘΟΔΟΣ ΣΥΛΛΟΓΗΣ ΥΛΙΚΟΥ

Η συλλογή των βασιδιοκαρπίων γινόταν εφόσον έφταναν σε πλήρη ανάπτυξη. Επειδή ταμανιτάρια 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 15-20g νωπού υλικού, το οποίο μεταφερόταν στο εργαστήριο.

Στο εργαστήριο γινόταν καταμέτρηση του νωπού βάρους της σοδειάςμανιταριών σε ζυγαριά ακριβείας. Από την κάθε σοδειάμανιταριών επιλεγόταν 60-80g υλικού, το οποίο τοποθετούνταν σε κλίβανο αποξήρανσης στους 40C<sup>0</sup> για 24h 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 60C<sup>0</sup> για 24h 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 δειγμάτωνμανιταριών και υποστρωμάτων, πραγματοποιούνταν άλεσμα σε πολυκόφτη. Το υλικό που προέκυπτε τοποθετούνταν σε Falcon των 50ml και αποθηκευόταν μέχρι την περαιτέρω επεξεργασία του.

### 2.1.6. ΔΕΙΓΜΑΤΑ ΜΑΡΤΥΡΑ

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

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

### 2.1.7. ΔΕΙΓΜΑΤΑ ΕΠΙΜΟΛΥΣΜΕΝΑ

Για τα δείγματα μανιταριών και υποστρωμάτων που επιμολύνθηκαν, χρησιμοποιήθηκαν 2g αλεσμένου υλικού, το οποίο τοποθετήθηκε για καύση, σε κάψες πορσελάνης στους 500C<sup>0</sup> για 4h. Στη συνέχεια ακολουθούσε διήθηση σε ογκομετρικές φιάλες των 25ml, με προσθήκη 15ml HCL (20%) και 10ml απιονισμένο νερό.

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

## 2.2. ΣΤΑΤΙΣΤΙΚΗ ΑΝΑΛΥΣΗ

Μετά την ολοκλήρωση του πειράματος και των μετρήσεων, τα δεδομένα που προέκυψαν, χρησιμοποιήθηκαν για τον υπολογισμό της προσρόφησης του ψευδαργύρου 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:

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

Ο λόγος της συγκέντρωσης του μετάλλου στα μανιτάρια, 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 τα μανιτάρια υπολογίστηκε για τον ψευδάργυρο.

### 3. ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ

#### 3.1. ΣΥΣΣΩΡΕΥΣΗ ΨΕΥΔΑΡΓΥΡΟΥ ΣΤΑ ΜΑΝΙΤΑΡΙΑ

Στον πίνακα 2 δίνεται η συσσώρευση του ψευδαργύρου στα μανιτάρια που επιμολύνθηκαν και στον πίνακα 3 η φυσική συγκέντρωση ψευδαργύρου στα μανιτάρια που χρησιμοποιήθηκαν ως μάρτυρας.

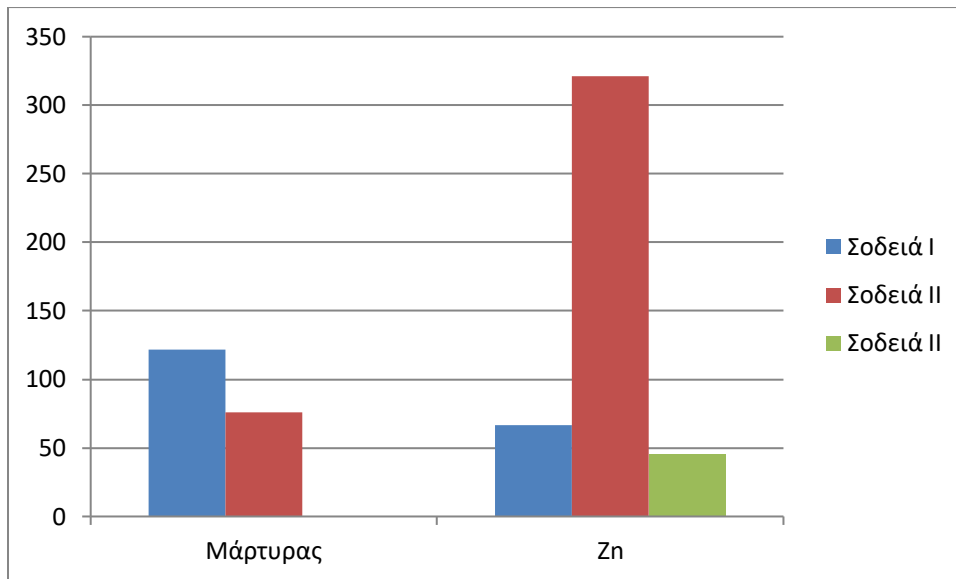
Πίνακας 2: Συσσώρευση ψευδάργυρου στα μανιτάρια (μg/g)

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 3: Καταγραφή φυσικής ποσότητας ψευδάργυρου στα μανιτάρια (μg/g)

Σοδειά Μανιταριών	Αριθμός Μητρώου Δείγματος	Ημερομηνία Συγκομιδής	Ξηρή Σοδειά (g)	μg Zn/g μανιταριού
1	2	13/2/2017	134,5	110,6
1	4	13/2/2017	110,6	116,1
1	5	13/2/2017	107,4	191,8
1	7	13/2/2017	129,6	106,6
1	11	13/2/2017	144,5	111,7
1	12	13/2/2017	53,5	226,2
1	13	6/2/2017	111,9	165,3
1	15	6/2/2017	114,1	106,2
1	17	13/2/2017	93,1	132,6
1	18	13/2/2017	172,1	63,7
1	19	13/2/2017	64,2	57
1	26	13/2/2017	57	119
1	41	13/2/2017	125,4	72,8
2	3	13/2/2017	120,7	115
2	5	3/4/2017	0,3	55,4
2	12	26/2/2017	75,2	90,8
2	15	10/3/2017	2,7	63,7
2	26	22/3/2017	71,3	55,9

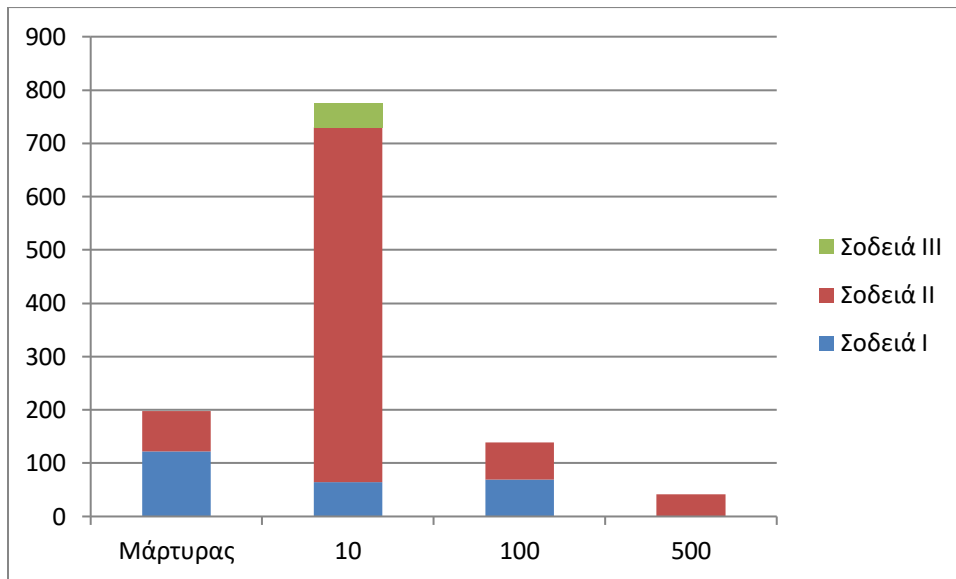
Στο διάγραμμα 1 δίνεται η μέση συσσώρευση του ψευδαργύρου στα επιμολυσμένα μανιτάρια (μg/g μανιταριού) σε σύγκριση με την μέση φυσική περιεκτικότητα του μετάλλου στον μάρτυρα (μg/g μανιταριού).



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

Βλέπουμε πως η υψηλότερη προσρόφηση φαίνεται να εμφανίζεται κατά την II σοδειά μανιταριών.

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.



Διάγραμμα 2: Μέση συσσώρευση Zn ανά συγκέντρωση επιμόλυνσης στα μανιτάρια

Παρατηρείται πώς η υψηλότερη προσρόφιση όλων των διαλυμάτων επιμόλυνσης από τα μανιτάρια, εμφανίστηκε κατά την II σοδειά μανιταριών. Το διάλυμα των 10  $\mu\text{g/ml}$  προσροφήθηκε περισσότερο με μέση τιμή 258,3  $\mu\text{g/g}$ , το διάλυμα των 100  $\mu\text{g/ml}$  είχε μέση προσρόφιση 69,5  $\mu\text{g/g}$  και το διάλυμα των 500  $\mu\text{g/ml}$  είχε μέση προσρόφιση 41,6  $\mu\text{g/g}$ .

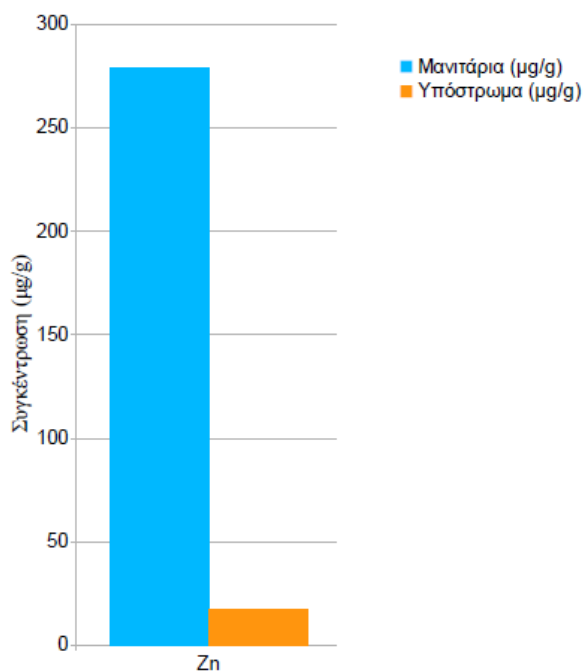
### 3.2. ΜΕΣΗ ΣΥΓΚΕΝΤΡΩΣΗ ΞΕΥΔΑΡΓΥΡΟΥ ΣΤΟ ΜΑΝΙΤΑΡΙ ΚΑΙ ΣΤΟ ΥΠΟΣΤΡΩΜΑ

Στον πίνακα 4 δίνεται η μέση συγκέντρωση του ψευδάργυρου στα μανιτάρια και στο υπόστρωμα. Επίσης δίνεται και ο δείκτης βιοσυσσώρευσης.

Πίνακας 4: 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 Βιοσυσώρευσης Zn Μανιτάρια/Υπόστρωμα
10	125,5	2,123	0	27,05
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>	

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

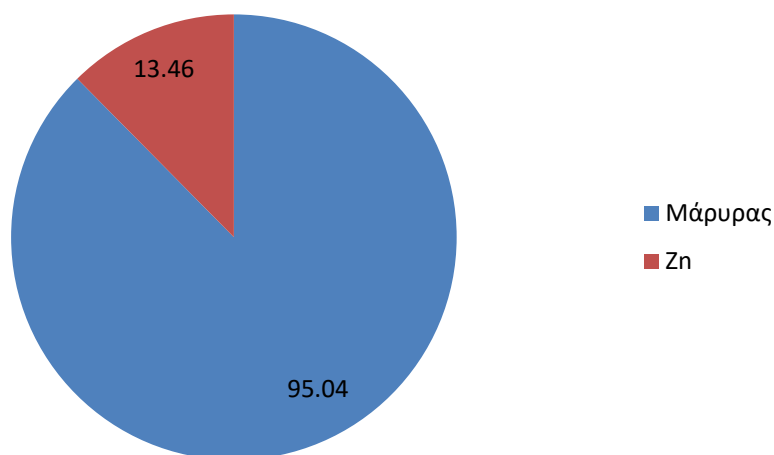


Διάγραμμα 3: Μέση συγκέντρωση (μg/g) ψευδαργύρου στο μανιτάρι και στο υπόστρωμα

Η μέση ολική συγκέντρωση ψευδαργύρου στα μανιτάρια ήταν 346,7 μg/g ενώ στο υπόστρωμα 12,8 μg/g.

### 3.3 ΑΠΟΔΟΣΗ ΥΠΟΣΤΡΩΜΑΤΩΝ

Στο διάγραμμα 4 που παρατίθενται παρακάτω απεικονίζεται η μέση απόδοση (ξηρό βάρος), των υποστρωμάτων με επιμόλυνση σε σύγκριση με τα υποστρώματα που χρησιμοποιήθηκαν ως μάρτυρας.



Διάγραμμα 4: Μέση απόδοση (g) υποστρωμάτων μάρτυρα και υποστρωμάτων που επιμολύνθηκαν με ψευδάργυρο

Ουσιαστικά παρατηρούμε πως τα υποστρώματα που χρησιμοποιήθηκαν ως μάρτυρας έδωσαν μεγαλύτερου μεγέθους σοδειές (3611g), με μέση απόδοση 95,04g σε σχέση με τα υποστρώματα που επιμολύνθηκαν με ψευδάργυρο (135g) με μέση απόδοση 13,46g.

#### 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 Ι σοδειάς

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

### 3.3.2. ΜΟΡΦΟΛΟΓΙΑ ΒΑΣΙΔΙΟΚΑΡΠΙΩΝ ΜΕ ΕΠΙΜΟΛΥΝΣΗ



Εικόνα 8: Μορφολογία βασιδιοκαρπίων I σοδειάς *P.ostreatus* με προσθήκη 200 ml διαλύματος 10  $\mu\text{g/ml}$  Zn



Εικόνα 9: Μορφολογία βασιδιοκαρπίων II σοδειάς *P.ostreatus* με προσθήκη 300 ml διαλύματος 10  $\mu\text{g/ml}$  Zn



Εικόνα 10: Μορφολογία βασιδιοκαρπίων I σοδειάς *P.ostreatus* με προσθήκη 200 ml διαλύματος 100  $\mu\text{g/ml}$  Zn



Εικόνα 11: Μορφολογία βασιδιοκαρπίων II σοδειάς *P.ostreatus* με προσθήκη 300 ml διαλύματος 100  $\mu\text{g/ml}$  Zn



Εικόνα 12: Μορφολογία βασιδιοκαρπίων II σοδειάς *P.ostreatus* με προσθήκη 100 ml διαλύματος 500  $\mu\text{g/ml}$  Zn

Στις εικόνες 8-12 δίνονται τα μορφολογικά χαρακτηριστικά των βασιδιοκαρπίων στο διάλυμα των 10  $\mu\text{g/ml}$  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 10-11 δίνονται τα μορφολογικά χαρακτηριστικά των βασιδιοκαρπίων στο διάλυμα των 100  $\mu\text{g/ml}$ . 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  $\mu\text{g/ml}$  ψευδαργύρου, από τα 3 υποστρώματα που επιμολύνθηκαν μόνο το ένα έδωσε I σοδειά επιμολυσμένη ενώ τα άλλα δεν καρποφόρησαν μετά την επιμόλυνση. Στην εικόνα 12 δίνεται η μορφολογία των βασιδιοκαρπίων στο διάλυμα των 500  $\mu\text{g/ml}$ . Παρατηρούμε πως στο υπόστρωμα μειώθηκε αρκετά η απόδοση, εμφανίστηκε συρρίκνωση και αποχρωματισμός (λευκή απόχρωση στο κεντρικό τμήμα του βασιδιοκαρπίου) έως και ξήρανση βασιδιοκαρπίων.

## 4. ΣΥΖΗΤΗΣΗ

### 4.1. ΟΛΙΚΗ ΣΥΓΚΕΝΤΡΩΣΗ ΨΕΥΔΑΡΓΥΡΟΥ

Όπως αναφέραμε και σε προηγούμενο κεφάλαιο, οι συγκεντρώσεις των βαρέων μετάλλων στα μανιτάρια ξεπερνούν εκείνες των φυτών (Demirbas, 2001; Gupta, 2014; Siric *et al.*, 2016). Ο ψευδάργυρος αποτελεί απαραίτητο στοιχείο για την ανάπτυξη των μανιταριών (Baldrian, 2002; Aloupi *et al.*, 2012). Δεν έχει θεσπιστεί κάποιο όριο σχετικά με την περιεκτικότητα βαρέων μετάλλων στα μανιτάρια από την Ευρωπαϊκή Ένωση, επομένως χρησιμοποιούνται τα όρια που έχουν οριστεί για τα τρόφιμα (Garcia *et al.*, 2013).

A) Στο πείραμα αυτό παρατηρήθηκε μεγάλη προσρόφηση του ψευδαργύρου από τα μανιτάρια. Το αποτέλεσμα αυτό συμφωνεί με την έρευνα των 'Kalac & Svoboda, 2000; Damodaran *et al.*, 2011', όπου αναφέρεται ότι ο ψευδάργυρος στα καλλιεργούμενα μανιτάρια είναι από τα μέταλλα που προσροφάτε στις μεγαλύτερες ποσότητες.

B) 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).

Γ) Κατά την σύγκριση των επιμολυσμένων μανιταριών με τον μάρτυρα, παρατηρήσαμε πως στην I σοδειά μανιταριών τα επιμολυσμένα δεν είχαν διαφορά στην περιεκτικότητα του ψευδαργύρου σε σχέση με τα αντίστοιχα δείγματα του μάρτυρα. Κατά την II σοδειά η συγκέντρωση ψευδαργύρου 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 τον ψευδάργυρο από το υπόστρωμα. Συγκεκριμένα στην έρευνα των 'Damodaran *et al.*, 2011' αναφέρθηκε ότι το περιεχόμενο των βαρέων μετάλλων στα μανιτάρια και ο ρυθμός πρόσληψής τους μπορεί να συσχετιστεί με τον χρόνο επαφής τους με τον μύκητα.

Δ) Όσον αφορά τις διαφορετικές συγκεντρώσεις επιμόλυνσης, τα διαλύματα του ψευδαργύρου υπήρξε μεγαλύτερη προσρόφηση στα διαλύματα των 10 µg/ml. Αυτό πιθανώς δείχνει ότι τα μανιτάρια *Pleurotus* ενώ έχουν υψηλή ικανότητα προσρόφησης των χαμηλών συγκεντρώσεων του ψευδαργύρου 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). 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 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.

#### 4.3. ΑΠΟΔΟΣΗ ΥΠΟΣΤΡΩΜΑΤΩΝ ΚΑΙ ΜΟΡΦΟΛΟΓΙΑ ΒΑΣΙΔΙΟΚΑΡΠΙΩΝ

A) Ο ψευδάργυρος παρόλο που λειτουργεί ως θρεπτικό συστατικό, εμφάνισε μικρότερη απόδοση σε σχέση με τον μάρτυρα. Ειδικά στην υψηλότερη συγκέντρωση (Zn 500 µg/ml) από τα 3 υποστρώματα που επιμολύνθηκαν μόνο 1 καρποφόρησε ενώ τα άλλα 2 ξηράθηκαν. Αυτό μας δείχνει ότι το διάλυμα των 500 µg/ml θα μπορούσε να θεωρηθεί ως τοξική συγκέντρωση για τα μανιτάρια *Pleurotus*.

B) 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 στο συγκεκριμένο μέταλλο. 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 από τα βασιδιοκάρπια του είδους *Pleurotus ostreatus*. Τα διαλύματα του ψευδάργυρου έφτασαν έως και τα τοξικά επίπεδα για τα τρόφιμα, με τα όρια να είναι 11 mg/d για τους άνδρες και 8 mg/d για τις γυναίκες (ATSDR, 2005)
- ❖ Ο ψευδάργυρος είχε σημαντικά επίπεδα βιοσυσώρευσης στο είδος *Pleurotus ostreatus*
- ❖ Όλα τα διαλύματα του ψευδαργύρου (10, 100, 500 µg/ml) προκάλεσαν συρρίκνωση στα βασιδιοκάρπια από την Ι 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: 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.
- 10: 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.
- 11: 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.
- 12: 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.
- 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: Duruibe, J. O., Ogwuegbu, M. O., Egwurugwu, J. N. (2007). Heavy metal pollution and human biotoxic effects. *International Journal of Physical Sciences*, 2 (5), 112-118.
- 19: 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.
- 20: 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.
- 21: 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).
- 22: 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.
- 23: Gupta, R.K., (2014). *Bioremediation of Heavy Metals through Cultivated and Wild Mushroom*. Maharana Pratap University of Agriculture and Technology, Udaipur.

- 24: Javaid, A., Bajwa, R., Shafique, U., Anwar, J. (2011). Removal of heavy metals by adsorption on *Pleurotus ostreatus*. *Biomass and Bioenergy*, 35, 1675-1682.
- 25: Kalač, P., Svoboda, L. (2000). A review of trace element concentrations in edible mushrooms. *Food Chemistry*, 69 (3), 273-281.
- 26: Kapahi, M., Sachdeva, S. (2017). Mycoremediation potential of *Pleurotus* species for heavy metals: a review. *Bioresour Bioprocess*, 4 (1).
- 27: Kauserud, 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.
- 28: Largent, D.L. (1986). *How to identify mushrooms to genus I: Macroscopic features*. Mad River Press Inc, California.
- 29: 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.
- 30: Machulak, T., Prousek, J., Švorc, L., Dřtil, M. (2012). Increase of biogas production from pretreated hay and leaves using wood-rotting fungi. *Chemical Papers*, 66, 649–653.
- 31: 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.
- 32: 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.

- 33: Servi, H., Akata, I., Cetin, B. (2010). Macrofungal diversity of Bolu Abant Nature Park (Turkey). *African Journal of Biotechnology*, 9 (24), 3622-3628.
- 34: 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.
- 35: 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.
- 36: 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.
- 37: 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.
- 38: 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.
- 39: 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: 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.

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

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

## 7. ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ

### ΜΟΡΦΟΛΟΓΙΑ ΒΑΣΙΔΙΟΚΑΡΠΙΩΝ ΜΕ ΕΠΙΜΟΛΥΝΣΗ

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



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



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



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



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



Μορφολογία βασιδιοκαρπίων II σοδειάς *P.ostreatus* διάλυμα 500 µg/ml Zn

