



ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΠΑΤΡΩΝ

ΣΧΟΛΗ ΕΠΙΣΤΗΜΩΝ ΥΓΕΙΑΣ

ΤΜΗΜΑ ΦΑΡΜΑΚΕΥΤΙΚΗΣ

Διδακτορική διατριβή:

**Απομόνωση, Μοριακή Ανίχνευση, Ταυτοποίηση και Αξιοποίηση των
Εντομοπαθογόνων Μυκήτων ως μία νέα φαρμακευτική προσέγγιση στην φυτική
παραγωγή.**

Λαγωγιάννης Ιωάννης

Γεωπόνος, M.Sc.

ΠΑΤΡΑ 2025

Στοιχεία Διδακτορικής Διατριβής

Τριμελής Συμβουλευτική Επιτροπή

- Κωνσταντίνος Πουλάς, Αναπληρωτής Καθηγητής Τμ. Φαρμακευτικής, Πανεπιστημίου Πατρών (Επιβλέπων)
- Φωτεινή Λάμαρη, Καθηγήτρια Τμ. Φαρμακευτικής, Πανεπιστημίου Πατρών
- Γεώργιος Τσιάμης, Καθηγητής Τμ. Αειφορικής Γεωργίας, Πανεπιστημίου Πατρών

Επταμελής Εξεταστική Επιτροπή

- Κωνσταντίνος Πουλάς, Αναπληρωτής Καθηγητής Τμ. Φαρμακευτικής, Πανεπιστημίου Πατρών (Επιβλέπων)
- Φωτεινή Λάμαρη, Καθηγήτρια Τμ. Φαρμακευτικής, Πανεπιστημίου Πατρών
- Γεώργιος Τσιάμης, Καθηγητής Τμ. Αειφορικής Γεωργίας, Πανεπιστημίου Πατρών
- Διονύσιος Περδίκης, Καθηγητής Τμ. Επιστήμης Φυτικής Παραγωγής, Γεωπονικό Πανεπιστήμιο Αθηνών
- Παναγιώτης Ηλιόπουλος, Καθηγητής Τμ. Γεωπονίας - Αγροβιοτεχνολογίας, Πανεπιστήμιο Θεσσαλίας
- Γεώργιος Λαγουμιντζής, Επίκουρος Καθηγητής Τμ. Φαρμακευτικής, Πανεπιστημίου Πατρών
- Σπυρίδων Μαντζούκας, Εντεταλμένος Ερευνητής ΙΜΔΟ, ΕΛΓΟ - ΔΗΜΗΤΡΑ

Πρόλογος

Η παρούσα διατριβή εκπονήθηκε στο πλαίσιο των διδακτορικών μου σπουδών στο Τμήμα Φαρμακευτικής του Πανεπιστημίου Πατρών και έχει ως αντικείμενο την απομόνωση, μοριακή ανίχνευση, ταυτοποίηση και αξιοποίηση εντομοπαθογόνων μυκήτων ως καινοτόμα προσέγγιση για τη φυτική παραγωγή. Η έρευνα υλοποιήθηκε στο Εργαστήριο Μοριακής Βιολογίας και Ανοσολογίας του Τμήματος Φαρμακευτικής, υπό την επίβλεψη του Αναπληρωτή Καθηγητή κ. Κωνσταντίνου Πουλά, στον οποίο εκφράζω την ειλικρινή μου ευγνωμοσύνη για την εμπιστοσύνη, την καθοδήγηση και τη συνεχή υποστήριξή του καθ' όλη τη διάρκεια της διατριβής.

Ιδιαίτερες ευχαριστίες οφείλω στον Καθηγητή κ. Γεώργιο Τσιάμη και στην Καθηγήτρια κ. Φωτεινή Λάμαρη για την πολύτιμη συμβολή τους ως μέλη της συμβουλευτικής επιτροπής. Επιπλέον, θα ήθελα να ευχαριστήσω τον Καθηγητή κ. Διονύσιο Πεردίκη, τον Καθηγητή κ. Παναγιώτη Ηλιόπουλο, τον Επίκουρο Καθηγητή κ. Γεώργιο Λαγουμιντζή και τον Εντεταλμένο Ερευνητή κ. Σπυρίδωνα Μαντζούκα για την τιμή να συμμετάσχουν στην επταμελή εξεταστική επιτροπή της διατριβής.

Θερμές ευχαριστίες στον Εντεταλμένο Ερευνητή κ. Σπυρίδωνα Μαντζούκα του Ι.Μ.Δ.Ο. του ΕΛΓΟ – ΔΗΜΗΤΡΑ, στον καθηγητή του Τμήματος Μηχανικών Περιβάλλοντος του Δημοκρίτειου Πανεπιστημίου Θράκης κ. Ντούγια Σπυρίδωνα, στον κ. Πετρούνια Πέτρο Ε.ΔΙ.Π. και την κ. Ρογκάλα Αικατερίνη εξωτερική συνεργάτιδάς του Τμήματος Γεωλογίας του Πανεπιστημίου Πατρών, στον κ. Κορομπίλια Γεώργιο του ΕΛΓΟ – ΔΗΜΗΤΡΑ καθώς και στην κ. Φουρτούνη Αντωνία γεωπόνο του Δήμου Πατρέων για την συμβολή τους στην υλοποίηση και ολοκλήρωση της διατριβής.

Θερμές ευχαριστίες απευθύνω επίσης σε όλους τους συναδέλφους και συνεργάτες με τους οποίους μοιράστηκα την επιστημονική και προσωπική πορεία αυτών των ετών, για τη συνεργασία, τη φιλία και τη στήριξή τους στις δύσκολες στιγμές.

Τέλος, αφιερώνω τη διατριβή αυτή στη σύζυγό μου, στα ανίψια μου, στους αγαπημένους μου φίλους, καθώς και στη μνήμη των γονέων μου και του αδελφού μου. Η αγάπη, η ενθάρρυνση και η πίστη τους αποτέλεσαν για εμένα αστείρευτη πηγή δύναμης και ευγνωμοσύνης.

Λαγωγιάννης Ιωάννης

Σεπτέμβριος 2025

Περιεχόμενα

Περιεχόμενα	3
ΠΕΡΙΛΗΨΗ – SUMMARY	5
Περίληψη.....	5
Abstract	7
Συντομογραφίες.....	9
Λίστα Πινάκων	11
Λίστα Σχημάτων.....	13
Λίστα Εικόνων	15
Παραρτήματα	16
1. ΕΙΣΑΓΩΓΗ.....	17
1.1 Γενική Επισκόπηση των Εντομοπαθόνων Μυκήτων (EPF)	18
1.2 Σημασία των EPF στη Γεωργία και την Προστασία των Φυτών	20
1.3 Ταξινόμηση και Ποικιλομορφία των EPF	21
1.4 Μηχανισμοί Δράσης των EPF κατά των Εντόμων	24
1.5 Παράγοντες που Επηρεάζουν την Αποτελεσματικότητα των EPF	26
1.6 Τρέχουσες και Δυνητικές Εφαρμογές των EPF	29
1.7 Προκλήσεις και Μελλοντικές Κατευθύνσεις στην Έρευνα για τους EPF	32
1.8 Οι EPF στην Ελλάδα	35
1.9 Σκοπός της παρούσας εργασίας.....	36
2. Μέθοδοι και Υλικά	40
2.1 Εκτροφή εντόμων	41
2.1.1 Εκτροφή του <i>Thaumetopoea pityocampa</i>	41
2.1.2 Εκτροφή του <i>Tribolium confusum</i>	41
2.1.3 Εκτροφή του <i>Sitophilus zeamais</i>	42
2.2 Δειγματοληψία εδαφικών δειγμάτων.....	43
2.3 Απομόνωση EPF με δολώματα εντόμων.....	46
2.3.1 Δειγματοληψία-Παγίδευση EPF	46
2.3.2 Απομόνωση EPF.....	47
2.4 Μοριακή Ταυτοποίηση και Φυλογενετική Ανάλυση	48
2.4.1 Μοριακή Ταυτοποίηση.....	48
2.4.2 Αλληλούχιση και Φυλογενετική Ανάλυση	48
2.4.3 Illumina αλληλούχιση του τμήματος ITS-5.8S rDNA	49
2.5 Προσδιορισμός της Εδαφικής Ορυκτολογικής Σύνθεσης.....	50
2.5.1 Προσδιορισμός Μαζικής Ορυκτολογίας	50

2.5.2 Ανάλυση της Αργιλικής Φάσης.....	51
2.6 Εδαφολογική Ανάλυση.....	51
2.7 Μετεωρολογικά Δεδομένα	52
2.8 Εκτίμηση Εντομοπαθογόνου Δράσης EPF κατά των Προνυμφών του <i>Thaumetopoea pityocampa</i>	53
2.9 Στατιστική Ανάλυση.....	54
2.9.1 Στατιστική ανάλυση αποτελεσμάτων απομονωθέντων EPF με δολώματα εντόμων	54
2.9.2 Στατιστική ανάλυση αποτελεσμάτων - Φυλογενετική Ανάλυση	55
2.9.3 Στατιστική ανάλυση αποτελεσμάτων Illumina αλληλούχισης του τμήματος ITS-5.8S rDNA.....	56
2.9.4 Στατιστική Ανάλυση Αποτελεσμάτων Παθογενικότητας.....	59
3. ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ	60
3.1 Απομονώσεις EPF με την μέθοδο εντόμων – δολωμάτων	61
3.1.1 Περιγραφική Στατιστική Ανάλυση του συνόλου των απομονώσεων	61
3.1.2 Περιγραφική Στατιστική Ανάλυση των ταυτοποιηθέντων απομονώσεων	65
3.1.3 Συγκριτική Ανάλυση	71
3.1.3.1 Αναλύσεις συσχετίσεων	71
3.1.3.2 Ανάλυση διακύμανσης	74
3.1.4 Οικολογική Ανάλυση ποικιλότητας	76
3.1.5 Περιγραφική Στατιστική Ανάλυση Μετεωρολογικών Παραμέτρων	83
3.2 Φυλογενετική Ανάλυση 177 ταυτοποιηθέντων μυκήτων.....	86
3.3 Ανάλυση της Παρουσίας των Γενών των Μυκήτων	94
3.3.1 Ανάλυση της Συνολικής Παρουσίας των Γενών των Μυκήτων.....	94
3.3.2 Ανάλυση της Παρουσίας των Μυκήτων ανά Γένος	111
3.3.3 Ανάλυση Βιοποικιλότητας.....	146
3.4 Εντομοπαθογόνο Δράση EPF στις Προνύμφες του λεπιδοπτερου <i>Thaumetopoea pityocampa</i>	153
4. ΣΥΖΗΤΗΣΗ -ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ	156
4.1. Εισαγωγική Ανακεφαλαίωση	157
4.2 Κύρια Ερευνητικά Ευρήματα	158
4.3 Επιστημονικές και Πρακτικές Συνεισφορές.....	160
4.4 Περιορισμοί της Μελέτης.....	162
4.5 Προτάσεις για Μελλοντική Έρευνα	163
4.6 Συμπέρασμα	164
5. ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ.....	167
6. ΠΑΡΑΡΤΗΜΑΤΑ.....	178
ΣΥΝΤΟΜΟ ΒΙΟΓΡΑΦΙΚΟ ΣΗΜΕΙΩΜΑ	201

ΠΕΡΙΛΗΨΗ – SUMMARY

Περίληψη

Οι εντομοπαθογόνοι μύκητες (EPF) αποτελούν μια ευρέως υποσχόμενη κατηγορία μικροοργανισμών για χρήση στη βιολογική καταπολέμηση εντόμων-παρασίτων στη γεωργία. Διακρίνονται για την οικολογική τους εξειδίκευση, την παραγωγή βιοδραστικών μεταβολιτών με εντομοκτόνες ιδιότητες, συμβάλουν στην υγεία του εδάφους αλλά και τη δυνατότητα ενδοφυτικής αλληλεπίδρασης με τα φυτά. Παρά τη σημαντική έρευνα στον τομέα αυτό, η κατανόηση της φυσικής ποικιλότητας των EPF και η αξιολόγηση της εντομοπαθογένειας τους παραμένουν ελλείψεις, ειδικά στο Ελληνικό περιβάλλον.

Η παρούσα μελέτη υλοποιήθηκε με στόχο την απομόνωση, μοριακή ταυτοποίηση και αξιολόγηση των EPF από περί-αστικές περιοχές πρασίνου της Πάτρας, χρησιμοποιώντας έντομα-δολώματα και εδαφικά δείγματα. Εφαρμόστηκαν μοριακές τεχνικές (ITS-5.8S rDNA sequencing, NGS Illumina), φυλογενετική ανάλυση και στατιστική επεξεργασία (PCA, NMDS, CCA, Random Forest) για τη διερεύνηση των σχέσεων των EPF με περιβαλλοντικούς και εδαφικούς παράγοντες. Παράλληλα, εκτιμήθηκε η εντομοπαθογένεια των επιλεγμένων απομονώσεων έναντι των προνυμφών του *Thaumetopoea pityocampa*.

Με την μοριακή τεχνική NGS Illumina ταυτοποιήθηκε σημαντικός αριθμός γενών μυκήτων, με τα περισσότερα να περιλαμβάνουν είδη EPF όπως *Penicillium*, *Alternaria*, *Cladosporium* και *Aspergillus*. Η κατανομή των γενών παρουσίασε στατιστικά σημαντικές διακυμάνσεις μεταξύ εποχών και ετών, ενώ παρατηρήθηκαν διαφοροποιήσεις ανά γένος. Οι τιμές σχετικής αφθονίας αποκαλύπτουν την ποικιλομορφία και τη δυναμική της μυκητιακής κοινότητας του εδάφους των υπό μελέτη περιοχών. Περαιτέρω, η κατανομή των γενών επηρεάστηκε κυρίως από παραμέτρους όπως το pH του εδάφους, η οργανική ουσία και η ηλεκτρική αγωγιμότητα. Τα στατιστικά μοντέλα ανέδειξαν τη σχετική σημασία αυτών των παραμέτρων στην παρουσία και αφθονία ανά γένος.

Η χρήση εντόμων-δολωμάτων αποδείχθηκε ιδιαίτερα αποτελεσματική στην ανάκτηση EPF από περί-αστικούς χώρους πρασίνου, καταγράφοντας υψηλή συχνότητα

απομονώσεων. Από τα 177 ταυτοποιημένα στελέχη, διαπιστώθηκε σημαντική γενετική ποικιλομορφία, με επικράτηση των γενών *Beauveria*, *Aspergillus*, *Talaromyces*, *Purpureocillium* και *Cordyceps*. Επιπλέον, η ανακάλυψη και απομόνωση στελεχών που δεν έχουν αναφερθεί ως εντομοπαθογόνα όπως *Talaromyces adpressus*, *Collariella hilkhuijsenii* και *Mortierella indohii*, προσφέρει νέα ερευνητικά πεδία για αξιοποίηση.

Η πειραματική αξιολόγηση της εντομοπαθογένειας αποκάλυψε υψηλά ποσοστά θνησιμότητας στις προνύμφες του *T. pityocampa*, με ιδιαίτερα έντονη δράση από στελέχη που ταυτοποιήθηκαν για πρώτη φορά στην Ελλάδα, τα *Beauveria varroae*, *Purpureocillium lavendulum* και *Cordyceps blackwelliae*, υποδεικνύοντας το δυναμικό τους ως βιοεντομοκτόνα. Οι αποκρίσεις διαφοροποιήθηκαν ανάλογα με τη συγκέντρωση και τη διάρκεια έκθεσης.

Η έρευνα ανέδειξε τη σημαντική οικολογική και γενετική ποικιλότητα των EPF στην Ελληνική επικράτεια, τεκμηρίωσε τη σύνδεσή τους με συγκεκριμένα εδαφικά και περιβαλλοντικά χαρακτηριστικά, και επιβεβαίωσε τη βιοεντομοκτόνο δράση τους έναντι επιβλαβών εντόμων. Η χρήση τους σε προγράμματα IPM (Ολοκληρωμένης Διαχείρισης Παρασίτων) θα μπορούσε να αποτελέσει έναν καινοτόμο πυλώνα για βιώσιμη φυτοπροστασία.

Τα ευρήματα προσφέρουν νέα δεδομένα στον τομέα της βιολογικής γεωργίας και ενισχύουν τη στρατηγική αξιοποίησης φυσικών εντομοπαθογόνων μικροοργανισμών ως φιλικών προς το περιβάλλον εργαλείων ελέγχου παρασίτων. Μελλοντικές έρευνες μπορούν να επεκτείνουν τη μελέτη σε αγρούς μεγάλης κλίμακας, να διερευνήσουν ενδοφυτική συμπεριφορά και να ενσωματώσουν τα ευρήματα σε στρατηγικές γεωργίας ακριβείας.

Abstract

Entomopathogenic fungi (EPFs) represent a promising class of microorganisms for the biological control of insect pests in agricultural contexts. These fungi are distinguished by their ecological specialization, the production of bioactive metabolites with insecticidal properties, their contributions to soil health, and their potential for endophytic interactions with plants. Despite substantial research in this domain, the understanding of the natural diversity of EPFs and the evaluation of their entomopathogenicity remain inadequate, particularly within the Greek ecosystem.

The present study was conducted with the objective of isolating, molecularly identifying, and assessing EPFs from peri-urban green areas of Patras, employing insect baits and soil samples. Molecular techniques, including ITS-5.8S rDNA sequencing and NGS Illumina, along with phylogenetic analysis and statistical processing (PCA, NMDS, CCA, Random Forest), were utilized to elucidate the relationships between EPFs and various environmental and soil factors. Concurrently, the entomopathogenicity of the selected isolates against *Thaumetopoea pityocampa* larvae was evaluated.

A considerable number of fungal genera were identified through the Illumina NGS molecular technique, with many encompassing EPF species such as *Penicillium*, *Alternaria*, *Cladosporium*, and *Aspergillus*. The distribution of the identified genera exhibited statistically significant variations across seasons and years, while genus-specific differences were also observed. The relative abundance values reveal the diversity and dynamics of the soil fungal community in the studied areas. Moreover, the distribution of the identified genera was predominantly influenced by factors such as soil pH, organic matter content, and electrical conductivity. Statistical models elucidated the relative significance of these factors concerning the presence and abundance of each genus.

The deployment of insect baits demonstrated notable effectiveness in the recovery of EPFs from peri-urban green spaces, achieving a high frequency of isolations. Among the 177 identified strains, significant genetic diversity was observed, with a preponderance of the genera *Beauveria*, *Aspergillus*, *Talaromyces*, *Purpureocillium*, and *Cordyceps*. Furthermore, the discovery and isolation of strains not previously reported

as entomopathogens, such as *Talaromyces adpressus*, *Collariella hilkhuijsenii*, and *Mortierella indohii*, presents new avenues for research exploration.

The experimental assessment of entomopathogenicity indicated high mortality rates in *T. pityocampa* larvae, with particularly pronounced activity from strains newly identified in Greece, specifically *Beauveria varroae*, *Purpureocillium lavendulum*, and *Cordyceps blackwelliae*, highlighting their potential as bioinsecticides. Responses were contingent upon the concentration and duration of exposure.

This research underscores the significant ecological and genetic diversity of EPFs in Greece, documents their associations with specific soil and environmental characteristics, and affirms their bioinsecticidal efficacy against harmful insects. Their integration into Integrated Pest Management (IPM) programs could provide an innovative foundation for sustainable plant protection.

The findings offer new perspectives in the realm of organic agriculture and support the strategy of employing natural entomopathogenic microorganisms as environmentally friendly pest control methodologies. Future research endeavors may expand this investigation to large-scale agricultural settings, explore endophytic behaviors, and integrate these findings into precision agriculture strategies.

Συντομογραφίες

EPF	Εντομοπαθογόνοι μύκητες
EPNs	Εντομοπαθογόνοι νηματώδεις
NF	Νηματοφάγοι μύκητες
SE	Υδατικά εναιωρογαλακτώματα
OD	Ελαιώδη συμπυκνώματα εναιώρησης
EG	Γαλακτωματοποιήσιμοι κόκκοι
IPM	Ολοκληρωμένη διαχείριση παρασίτων
CFU	Μονάδες δημιουργίας αποικιών
GIS	Γεωγραφικά συστήματα πληροφοριών
DSS	Ανάπτυξη Εργαλείων Υποστήριξης Αποφάσεων
PCR	Αλυσιδωτή αντίδραση πολυμεράσης
ITS	Εσωτερική μεταγραφική περιοχή του ριβοσωμικού DNA
EF1-α	Παράγοντας επιμήκυνσης 1-άλφα
AMPs	Αντιμικροβιακά Πεπτίδια
MAPK	Μιτογόνα
cAMP	Κυκλική AMP
JAK/STAT	Κινάση Janus/μεταγωγέας σήματος και ενεργοποιητής της μεταγραφής
UV	περιώδη ακτινοβολία
IGRs	Ρυθμιστές ανάπτυξης των εντόμων
EEPF	Ενδοφυτικοί εντομοπαθογόνοι μύκητες
ISR	Επαγόμενη συστηματική αντίσταση
SAR	Συστηματική επίκτητη αντίσταση
IAA	νδόλιο-3-οξικό οξύ
SDA	Sabouraud Dextrose Agar
BLAST	Basic Local Alignment Search Tool (NCBI)
XRD	Περίθλαση ακτίνων-X
PCA	Ανάλυση Κύριων Συνιστωσών
NMDS	Μη μετρική πολυδιάστατη κλιμάκωση
Cluster Analysis	Ιεραρχικής Ομαδοποίησης
JC	Jukes–Cantor

NJ	Neighbor-Joining
CCA	Canonical Correlation Analysis / Κανονική Ανάλυση Αντιστοιχίας
SP	Νερό Κορεσμού Εδάφους
PWP	Σημείο Μόνιμης Μάρανσης
FC	Υδατοϊκανότητα
CE	Ηλεκτρική Αγωγιμότητα
CEC	Ικανότητα Ανταλλαγής Κατιόντων
ESP	Βαθμός Αλκαλίωσης
SAR	Λόγος Απορρόφησης Νατρίου

Λίστα Πινάκων

Πίνακας 1. Συνοπτικός πίνακας ταξινόμησης των κύριων γενών EPF, με βάση την ταξινομική τάξη, οικογένεια και χαρακτηριστικά παθογένειας.	22
Πίνακας 2. Συχνότητα απομονώσεων ανά περιοχή.	61
Πίνακας 3. Συχνότητα απομονώσεων ανά είδος εντόμου.	62
Πίνακας 4. Εποχιακή και ετήσια συχνότητα απομονώσεων.	63
Πίνακας 5. Κατανομή απομονώσεων.	64
Πίνακας 6. Κατανομή απομονώσεων στους ταυτοποιημένους μύκητες.	65
Πίνακας 7. Κατανομή ταυτοποιηθέντων μυκήτων (PCR-Ταυτοποιημένοι).	67
Πίνακας 8. Ποσοστό PCR ανά είδος εντόμου.	70
Πίνακας 9. Ποσοστό ταυτοποιηθέντων απομονώσεων ανά περιοχή.....	70
Πίνακας 10. Αποτελέσματα αναλύσεων Chi-Square.....	72
Πίνακας 11. Ανάλυση διακύμανσης με το Mann-Whitney U Test.	74
Πίνακας 12. Ανάλυση Mann-Whitney U μεταξύ των εποχών (pairwise tests).	75
Πίνακας 13. Δείκτες Ποικιλότητας Ανά Περιοχή.....	77
Πίνακας 14. Δείκτες Ποικιλότητας ανά είδος εντόμου.	78
Πίνακας 15. Δείκτες Ποικιλότητας ανά εποχή.	79
Πίνακας 16. Περιγραφικά στατιστικά των μετεωρολογικών δεδομένων.	84
Πίνακας 17. Περιγραφικά στατιστικά των γενετικών αποστάσεων (JC).	87
Πίνακας 18. Φυλογενετικά clades και εφαρμογές.	89
Πίνακας 19. Προτεινόμενες εφαρμογές ανά γένος μύκητα.	94
Πίνακας 20. Περιγραφική στατιστική της συνολικής παρουσίας των γενών των μυκήτων ανά εποχή και έτος.	95
Πίνακας 21. Αποτελέσματα του Shapiro-Wilk Test για τον έλεγχο κανονικότητας όλων των αριθμητικών μεταβλητών.	97
Πίνακας 22. Kruskal-Wallis test συνολικής παρουσίας των μυκήτων μεταξύ εποχών και ετών.	99
Πίνακας 23. Αποτελέσματα ελέγχου Mann-Whitney U με διόρθωση Bonferroni για πολλαπλές συγκρίσεις μεταξύ εποχών και ετών ως προς τη συχνότητα εμφάνισης της Συνολικής Παρουσίας των μυκήτων.	100
Πίνακας 24. Συσχετίσεις Spearman μεταξύ της συνολικής παρουσίας των μυκήτων και περιβαλλοντικών, εδαφολογικών και ορυκτολογικών παραμέτρων.	101
Πίνακας 25. Σχετική σημασία περιβαλλοντικών και εδαφολογικών παραγόντων στην πρόβλεψη της συνολικής παρουσίας των μυκήτων.....	106
Πίνακας 26. Συντελεστές βαρύτητας περιβαλλοντικών, εδαφολογικών και ορυκτολογικών παραγόντων στην συνολική παρουσία των γενών των μυκήτων.	108
Πίνακας 27. Περιγραφικά στατιστικά για κάθε γένος μύκητα (μέσος, διάμεσος, τυπική απόκλιση, ελάχιστο, μέγιστο, ποσοστιαίες τιμές).	111
Πίνακας 28. Αποτελέσματα ελέγχου κανονικότητας Shapiro-Wilk.	114
Πίνακας 29. Αποτελέσματα Kruskal-Wallis ανά εποχή.	117
Πίνακας 30. Αποτελέσματα Kruskal-Wallis ανά έτος.	117
Πίνακας 31. Μετρικές απόδοσης (R^2 και RMSE) για κάθε γένος μύκητα.	121
Πίνακας 32. Τρεις σημαντικότεροι παράγοντες για κάθε γένος, με τη σειρά σημαντικότητας και τη σχετική τιμή τους, που επηρεάζουν περισσότερο την παρουσία ή την αφθονία κάθε γένους σύμφωνα με το μοντέλο Random Forest.	123
Πίνακας 33. Αναλυτικός πίνακας CCA για κάθε γένος, με τους σημαντικότερους συντελεστές βαρύτητας.	124

Πίνακας 34. Περιγραφικά στατιστικά των δεικτών ποικιλομορφίας (Shannon, Simpson, Evenness).....	147
Πίνακας 35. Ανάλυση των Γενών των Μυκήτων με βάση τη μέση και μέγιστη αφθονία.	148
Πίνακας 36. Αποτελέσματα του ελέγχου Kruskal-Wallis για εποχιακές διαφορές στους δείκτες βιοποικιλότητας.....	150
Πίνακας 37. Αποτελέσματα του ελέγχου Kruskal-Wallis για ετήσιες διαφορές στους δείκτες βιοποικιλότητας.....	150
Πίνακας 38. Σημαντικότερες συσχετίσεις Spearman μεταξύ των δεικτών ποικιλομορφίας (Shannon, Simpson, Evenness) και των περιβαλλοντικών, εδαφικών και ορυκτολογικών παραγόντων.	152
Πίνακας 39. Μέση θνησιμότητα ($\pm$ SD) προνυμφών του <i>T. pityocampa</i> μετά την εφαρμογή <i>B. varroae</i> ανά συγκέντρωση και χρόνο έκθεσης. Δεν υπάρχει σημαντική διαφορά μεταξύ των μέσων τιμών της ίδιας στήλης που ακολουθείται από το ίδιο γράμμα (Tukey's test, $\alpha = 0,05$). ΩΜτΘ: Ώρες μετά τη θεραπεία.....	154
Πίνακας 40. Μέση θνησιμότητα ($\pm$ SD) προνυμφών του <i>T. pityocampa</i> μετά την εφαρμογή <i>P. lavendulum</i> ανά συγκέντρωση και χρόνο έκθεσης. Δεν υπάρχει σημαντική διαφορά μεταξύ των μέσων τιμών της ίδιας στήλης που ακολουθείται από το ίδιο γράμμα (Tukey's test, $\alpha = 0,05$). ΩΜτΘ: Ώρες μετά τη θεραπεία.....	154
Πίνακας 41. Μέση θνησιμότητα ($\pm$ SD) προνυμφών του <i>T. pityocampa</i> μετά την εφαρμογή <i>C. blackwelliae</i> ανά συγκέντρωση και χρόνο έκθεσης. Δεν υπάρχει σημαντική διαφορά μεταξύ των μέσων τιμών της ίδιας στήλης που ακολουθείται από το ίδιο γράμμα (Tukey's test, $\alpha = 0,05$). ΩΜτΘ: Ώρες μετά τη θεραπεία.....	155

Λίστα Σχημάτων

Σχήμα 1. Ταξινόμηση των EPF, κατά με τους Hibbet et al., (2007), Humber, (2012), Gryganskyi et al., (2012· 2013), Wang et al., (2016), και Fernández-Bravo et al., (2017). Από κάθε ομάδα παρουσιάζεται ένα αντιπροσωπευτικό είδος με εμπορική χρήση.	23
Σχήμα 2. Σχηματική απεικόνιση του κύκλου ζωής ενός EPF (πηγή: Rana et al., 2024).	24
Σχήμα 3. Διάγραμμα ροής βημάτων δειγματοληψίας, ανάλυσης και αξιολόγησης.	45
Σχήμα 4. Συχνότητα απομονώσεων ανά περιοχή.	61
Σχήμα 5. Συχνότητα απομονώσεων ανά είδος εντόμου.	62
Σχήμα 6. Συχνότητα απομονώσεων ανά εποχή και έτος.	63
Σχήμα 7. Απομονώσεις που προέκυψαν με την μέθοδο εντόμων – δολωμάτων.	65
Σχήμα 8. Ποσοστά απομονώσεων των ταυτοποιηθέντων μυκήτων.	66
Σχήμα 9. Κατανομή ταυτοποιημένων μυκήτων (PCR).	69
Σχήμα 10. Ποσοστά PCR-Ταυτοποίησης ανά είδος εντόμου.	70
Σχήμα 11. Ποσοστά ταυτοποιηθέντων απομονώσεων ανά περιοχή.	71
Σχήμα 12. Κατανομή κατηγοριών απομονώσεων εντόμων-δολωμάτων ανά περιοχή.	72
Σχήμα 13. Κατανομή Μυκήτων Ανά Είδος Εντόμου.	73
Σχήμα 14. Κατανομή κατηγοριών εντόμων-δολωμάτων ανά εποχή.	73
Σχήμα 15. Ποικιλότητα ανά περιοχή.	74
Σχήμα 16. Ποικιλότητα ανά είδος εντόμου.	75
Σχήμα 17. Ποικιλότητα ανά εποχή.	76
Σχήμα 18. Δείκτες Ποικιλότητας Ανά Περιοχή.	77
Σχήμα 19. Δείκτες Ποικιλότητας ανά είδος εντόμου.	78
Σχήμα 20. Δείκτες Ποικιλότητας Ανά Εποχή.	79
Σχήμα 21. PCA Ανάλυση των απομονωθέντων ταυτοποιημένων μυκήτων.	80
Σχήμα 22. NMDS Απεικόνιση Οικολογικών Αποστάσεων (Bray-Curtis).	81
Σχήμα 23. Ομαδοποίηση απομονώσεων με Ιεραρχικό Clustering (Ward).	82
Σχήμα 24. Κατανομή της μέσης θερμοκρασίας ανά εποχή και έτος (Boxplot).	85
Σχήμα 25. Κατανομή της συνολικής βροχόπτωσης ανά εποχή και έτος (Boxplot).	85
Σχήμα 26. Κατανομή της μέσης ταχύτητας ανέμου ανά εποχή και έτος (Boxplot).	86
Σχήμα 27. Κατανομή γενετικών αποστάσεων.	87
Σχήμα 28. Πυκνότητα γενετικών αποστάσεων.	88
Σχήμα 29. Οπτικοποίηση του φυλογενετικού δέντρου για τους 177 απομονωμένους μύκητες με βάση το μοντέλο JC και τη μέθοδο NJ.	89
Σχήμα 30. Οπτικοποίηση του φυλογενετικού δέντρου για τους απομονωμένους μύκητες της περιοχής του Δασυλλίου, με βάση το μοντέλο JC και τη μέθοδο NJ.	90
Σχήμα 31. Οπτικοποίηση του φυλογενετικού δέντρου για τους απομονωμένους μύκητες της περιοχής του Έλους, με βάση το μοντέλο JC και τη μέθοδο NJ.	91
Σχήμα 32. Boxplot γενετικών αποστάσεων ανά clade.	92
Σχήμα 33. Boxplot της συνολικής παρουσίας των μυκήτων ανά εποχή και έτος.	95
Σχήμα 34. Ετήσια τάση συνολικής παρουσίας των μυκήτων ανά εποχή.	96
Σχήμα 35. Μέση τιμή της συνολικής παρουσίας των μυκήτων ανά εποχή και έτος (με τυπική απόκλιση).	96
Σχήμα 36. Εποχιακή τάση της συνολικής παρουσίας των μυκήτων ανά έτος.	97
Σχήμα 37. Shapiro-Wilk P-Values Για περιβαλλοντικές, εδαφολογικές και ορυκτολογικές μεταβλητές.	99

Σχήμα 38. Α. Συχνότητα συνολικής παρουσίας των μυκήτων ανά εποχή (άνοιξη, καλοκαίρι, φθινόπωρο, χειμώνας), Β. Συχνότητα εμφάνισης συνολικής παρουσίας των μυκήτων ανά έτος.	100
Σχήμα 39. Συσχέτιση Spearman με τη συνολική παρουσία των μυκήτων.	103
Σχήμα 40. Συσχέτιση συνολικής παρουσίας των μυκήτων με CEC.	104
Σχήμα 41. Συσχέτιση συνολικής παρουσίας μυκήτων με EC.	104
Σχήμα 42. Σημαντικότεροι περιβαλλοντικοί και εδαφολογικοί παράγοντες στην πρόβλεψη της συνολικής παρουσίας των μυκήτων.	107
Σχήμα 43. Σημαντικότεροι παράγοντες στον πρώτο άξονα CCA.	109
Σχήμα 44. Σημαντικότεροι παράγοντες στον δεύτερο άξονα CCA.	110
Σχήμα 45. Εποχιακή τάση της παρουσία των γενών των μυκήτων.	112
Σχήμα 46. Ετήσια τάση παρουσίας των γενών των μυκήτων.	113
Σχήμα 47. Κατανομή παρουσίας των γενών των μυκήτων.	114
Σχήμα 48. Q-Q plots για όλα τα γένη των μυκήτων.	116
Σχήματα 49. Α Συγκριτική ανάλυση Kruskal-Wallis ανά εποχή και Β. Συγκριτική ανάλυση Kruskal-Wallis ανά έτος.	118
Σχήμα 50. Heatmap σημαντικότερων συσχετίσεων ανά γένος μυκήτων του συντελεστή συσχέτισης Spearman.	120
Σχήμα 51. Ανάλυση της σχετικής σημασίας των μεταβλητών (feature importance) για κάθε γένος (heatmap).	121
Σχήμα 52. Διαγράμματα biplots για κάθε γένος.	126
Σχήμα 53. Διαγράμματα heatmaps των συσχετίσεων για κάθε γένος.	127
Σχήμα 54. Boxplot κατανομής των δεικτών ποικιλομορφίας (Shannon, Simpson, Evenness).	147
Σχήμα 55. Μέση αφθονία ανά γένος μύκητα.	149
Σχήμα 56. Εποχιακή διακύμανση Δεικτών Βιοποικιλότητας.	150
Σχήμα 57. Ετήσια διακύμανση Δεικτών Βιοποικιλότητας.	151
Σχήμα 58. Διαχρονική Εξέλιξη Δεικτών Βιοποικιλότητας.	151

Λίστα Εικόνων

Εικόνα 1. Προαστιακές περιοχές στον νομό Αχαΐας από όπου συλλέχθηκαν τα δείγματα εδάφους: Α. Δασύλλιο, Β. Έλος Αγυιάς.....	46
Εικόνα 2. Απομόνωση με την τεχνική δολώματος εντόμου.	47
Εικόνα 3. Καλλιέργειες EPF: <i>B. varroae</i> –αποικίας (Α) & (Β), <i>B. varroae</i> σε <i>S. zeamais</i> (C). <i>P. lavendulum</i> – (D) & (E), <i>P. lavendulum</i> σε <i>S. zeamais</i> (F). <i>C. blackwelliae</i> – (G) & (H), <i>C. Blackwelliae</i> σε <i>S. zeamais</i> (I).	54

Παραρτήματα

Παράρτημα 1. Συντεταγμένες PCA & Ομαδοποίηση.....	178
Παράρτημα 2. Συντεταγμένες NMDS.....	182
Παράρτημα 3. Συσχετίσεις του συντελεστή Spearman ($p < 0,05$).....	186

1. ΕΙΣΑΓΩΓΗ

1.1 Γενική Επισκόπηση των Εντομοπαθογόνων Μυκήτων (EPF)

Οι εντομοπαθογόνοι μύκητες (EPF) αποτελούν μια ποικιλόμορφη ομάδα μυκήτων που προσβάλλουν και σκοτώνουν κυρίως έντομα και άλλα αρθρόποδα. Ο ρόλος τους είναι κρίσιμος στη ρύθμιση του πληθυσμού των εντόμων σε φυσικά οικοσυστήματα και έχουν αξιοποιηθεί ως βιολογικοί παράγοντες ελέγχου σε γεωργικές εφαρμογές. Η χρήση των EPF στη διαχείριση εντόμων προσφέρει μια λύση περιβαλλοντικά φιλική και εναλλακτική σε σχέση με τα χημικά εντομοκτόνα, συμβάλλοντας στις βιώσιμες γεωργικές πρακτικές.

Η ταξινομική και λειτουργική ποικιλομορφία των EPF είναι σημαντική. Περιλαμβάνει περισσότερα από 100 γένη και περίπου 1.000 είδη, κυρίως εντός της τάξης Hypocreales στη υποδιαιρέση Ascomycota (Humber, 2012). Άλλες υποδιαιρέσεις, όπως οι Blastocladiomycota και Basidiomycota, επίσης περιλαμβάνει ορισμένα μέλη EPF, αλλά η υποδιαιρέση Entomophthoromycota αποτελείται εξ ολοκλήρου από EPF (Gryganskyi et al., 2013; Kaczmarek & Boguś, 2021). Τα γένη *Beauveria*, *Metarhizium*, *Lecanicillium* και *Isaria*, είναι από τα πιο εμπορικά και γνωστά για το ευρύ φάσμα ξενιστών τους καθώς και για την αποτελεσματικότητά τους στον έλεγχο των παρασίτων (Sharma et al., 2023).

Στα φυσικά οικοσυστήματα και στην φυτική παραγωγή, οι EPF βρίσκονται σε αφθονία στα εδάφη, ενώ θεωρούνται σημαντικοί φυσικοί ρυθμιστές των πληθυσμών των εντόμων και επιπροσθέτως παίζουν ρόλο στη διατήρηση της οικολογικής ισορροπίας. Η παρουσία των EPF μπορεί να ποικίλει σημαντικά ανάλογα με το ενδιαίτημα και τις περιβαλλοντικές συνθήκες. Ενδεικτικά, μελέτη στην περιοχή του Αλγκάρβε της Πορτογαλίας έδειξε ότι οι EPF είναι ευρέως διαδεδομένοι σε διαφορετικούς τύπους εδαφών και βλάστησης (Bueno-Pallero et al., 2020).

Η εφαρμογή των EPF στη γεωργία, κινείται κυρίως γύρω από τη χρήση τους ως βιολογικούς παράγοντες ελέγχου. Τα βιοπαρασιτοκτόνα με EPF χρησιμοποιούνται για τον έλεγχο μιας ευρείας ποικιλίας εντομολογικών παρασίτων σε καλλιέργειες όπως το καλαμπόκι, η σόγια και τα λαχανικά. Επίσης, προσφέρουν αρκετά πλεονεκτήματα σε σχέση με τα χημικά εντομοκτόνα, συμπεριλαμβανομένης της εξειδίκευσης στα παράσιτα στόχους, της μειωμένης πιθανότητας ανάπτυξης ανθεκτικότητας και της ελάχιστης επίδρασης στους μη στόχους οργανισμούς και το περιβάλλον. Όπως, τα

Beauveria bassiana και *Metarhizium anisopliae* έχουν χρησιμοποιηθεί εκτενώς στη διαχείριση παρασίτων (Dubovskiy & Butt, 2023).

Έχουν διερευνηθεί οι συνεργιστικές αλληλεπιδράσεις μεταξύ των EPF και άλλων βιολογικών παραγόντων ελέγχου, όπως οι εντομοπαθογόνοι νηματώδεις (EPNs) και οι νηματοφάγοι μύκητες (NF). Οι αλληλεπιδράσεις αυτές μπορούν να εντείνουν τη συνολική αποτελεσματικότητα των στρατηγικών ελέγχου των παρασίτων. Για παράδειγμα, ο συνδυασμός του EPF, *Beauveria bassiana* με τον νηματώδη *Steinernema feltiae* έχει δείξει συνεργιστικά αποτελέσματα στον έλεγχο των επιβλαβών παράσιτων εδάφους (Hussaini, 2014). Τέτοιοι συνδυασμοί μπορούν να αξιοποιήσουν τους συμπληρωματικούς μηχανισμούς δράσης διαφορετικών βιολογικών παραγόντων, οδηγώντας σε βελτιωμένη αντιμετώπιση των παρασίτων.

Η αποτελεσματικότητα των EPF σε εφαρμογές πεδίου εξαρτάται σημαντικά από τις τεχνολογίες σύνθεσης σκευασμάτων και του τρόπου εφαρμογής. Οι εξελίξεις στις τεχνολογίες σύνθεσης σκευασμάτων, έχουν οδηγήσει στην ανάπτυξη διαφόρων προϊόντων, συμπεριλαμβανομένων των υδατικών εναιωρογαλακτωμάτων (SE), των ελαιωδών συμπυκνωμάτων εναιώρησης (OD) και των γαλακτωματοποιήσιμων κόκκων (EG), σχεδιασμένων για να βελτιώσουν τη σταθερότητα και την αποτελεσματικότητα των EPF σε συνθήκες πεδίου.

Παρά τις δυνατότητές τους, η χρήση των EPF στη γεωργία αντιμετωπίζει αρκετές προκλήσεις. Αυτές περιλαμβάνουν τη σταθερότητα της απόδοσης των σκευασμάτων στο πεδίο, τον περιορισμένο χρόνο ζωής των σκευασμάτων και την ανάγκη για εξακριβωμένες τεχνικές εφαρμογής για την επίτευξη των επιθυμητών αποτελεσμάτων. Οι συνεχιζόμενες έρευνες αποβλέπουν στην επίλυση αυτών των προκλήσεων μέσω της βελτιστοποίησης των τεχνολογιών σύνθεσης σκευασμάτων, της διερεύνησης του γενετικού δυναμικού σε σχέση με την παθογένεια και περιβαλλοντική ανθεκτικότητα, και της ένταξης των EPF σε ολοκληρωμένα προγράμματα διαχείρισης παρασίτων (IPM) (Sharma et al., 2023, Kumar et al., 2024).

Οι EPF αποτελούν ένα υποσχόμενο εργαλείο για την αειφόρο διαχείριση επιβλαβών οργανισμών στη γεωργία. Η ποικιλομορφία τους, οι μοναδικοί μηχανισμοί μόλυνσης και η δυνατότητά τους για συνεργιστικές αλληλεπιδράσεις με άλλους παράγοντες βιολογικού ελέγχου τους καθιστούν πολύτιμα στοιχεία των στρατηγικών ολοκληρωμένης διαχείρισης επιβλαβών οργανισμών. Η συνεχής έρευνα και οι

τεχνολογικές εξελίξεις είναι επιτακτικές για να αξιοποιηθεί πλήρως το δυναμικό των EPF και να ξεπεραστούν οι υπάρχουσες προκλήσεις, δημιουργώντας πιο αποτελεσματικές και φιλικές προς το περιβάλλον λύσεις ελέγχου επιβλαβών οργανισμών.

1.2 Σημασία των EPF στη Γεωργία και την Προστασία των Φυτών

Η χρήση EPF στη φυτοπροστασία συνιστά μια από τις πλέον ελπιδοφόρες στρατηγικές για τη μετάβαση προς μια πιο οικολογικά ισορροπημένη και βιώσιμη γεωργία. Οι EPF λειτουργούν ως φυσικοί εχθροί πληθώρας επιβλαβών εντόμων, προσφέροντας έναν βιολογικά ελεγχόμενο μηχανισμό καταστολής πληθυσμών, χωρίς τους κινδύνους που σχετίζονται με τα συνθετικά φυτοφάρμακα (Sharma et al., 2023). Η σημασία τους προκύπτει τόσο από τη βιολογική τους εξειδίκευση όσο και από την ευρεία οικολογική τους κατανομή, ιδίως σε αγροτικά εδάφη με χαμηλό βαθμό παρέμβασης.

Η ενσωμάτωση των EPF στα IPM ενισχύει τη δυνατότητα στοχευμένων παρεμβάσεων, μειώνοντας ταυτόχρονα την εμφάνιση ανθεκτικών πληθυσμών και τις επιπτώσεις στην υγεία των ωφέλιμων οργανισμών και του περιβάλλοντος (Khun et al, 2020). Επιπλέον, η αξιοποίηση των EPF σε μορφή σκευασμάτων ή μέσω τεχνικών διαχείρισης ενδαιτήματος (π.χ. αύξηση οργανικής ουσίας, βιοκαλλιέργειες) διευκολύνει τη διατήρηση της βιοποικιλότητας και την ενίσχυση των φυσικών ελεγκτικών μηχανισμών εντός του αγρό-οικοσυστήματος.

Οι σύγχρονες τεχνολογικές εξελίξεις επιτρέπουν πλέον την εφαρμογή των EPF σε πλαίσια γεωργίας ακριβείας, με χρήση τηλεπισκοπικών εργαλείων, γεωπληροφορικών συστημάτων και αισθητήρων μικροκλίματος. Αυτό προσφέρει τη δυνατότητα γεωχωρικής χαρτογράφησης της κατανομής τους, πρόβλεψης επιδημιολογικών μοντέλων και στοχευμένης εφαρμογής σκευασμάτων με βάση τις πραγματικές περιβαλλοντικές συνθήκες (Janowski & Leski, 2023).

Στο πλαίσιο της παρούσας διατριβής, η σημασία των EPF εξετάζεται μέσα από το πρίσμα της ελληνικής πραγματικότητας, όπου το ποικιλόμορφο ανάγλυφο, οι μικροκλιματικές μεταβολές και η γεωλογική ετερογένεια δημιουργούν συνθήκες ιδιαίτερες για την κατανομή και αποτελεσματικότητα των EPF. Η διερεύνηση της παρουσίας τους σε περί-αστικά περιβάλλοντα, η συσχέτισή τους με παραμέτρους εδάφους και κλίματος,

καθώς και η παθογένειά τους σε επιβλαβή έντομα, συνιστούν κρίσιμα βήματα για την αξιοποίησή τους σε τοπικά προσαρμοσμένες στρατηγικές φυτοπροστασίας (Qayyum et al., 2021).

Παράλληλα, η φαρμακολογική και βιοτεχνολογική αξιοποίηση των EPF ως παραγωγών βιοδραστικών ουσιών, ενισχύει τη στρατηγική τους αξία και πέραν της γεωργίας (Litwin et al., 2020). Οι δευτερογενείς μεταβολίτες που παράγουν παρουσιάζουν αντιμικροβιακή, εντομοκτόνο και ανοσοτροποποιητική δράση, δημιουργώντας προοπτικές για νέες φαρμακευτικές και αγρό-χημικές εφαρμογές (Wang et al., 2021).

Η παρούσα έρευνα τοποθετείται επομένως στην τομή μεταξύ εφαρμοσμένης γεωργικής βιοτεχνολογίας και περιβαλλοντικής μικροβιολογίας, συμβάλλοντας στη βαθύτερη κατανόηση του ρόλου των EPF ως παράγοντες βιοελέγχου. Μέσω της απομόνωσης, μοριακής ταυτοποίησης και πειραματικής αξιολόγησης στελεχών EPF από ελληνικά περί-αστικά οικοσυστήματα, η εργασία αυτή φιλοδοξεί να εμπλουτίσει τη διεθνή γνώση με δεδομένα περιβαλλοντικά, γεωγραφικά και λειτουργικά.

Ιδιαίτερη σημασία αποδίδεται στους **χώρους περί-αστικού πρασίνου**, οι οποίοι συνιστούν μεταβατικά οικοσυστήματα ανάμεσα σε φυσικά και ανθρωπογενή περιβάλλοντα. Οι περιοχές αυτές συχνά παραγνωρίζονται στην έρευνα για τους EPF, παρά το γεγονός ότι αποτελούν **καταφύγια βιοποικιλότητας** και φιλοξενούν μικροοργανισμούς με αυξημένη περιβαλλοντική προσαρμοστικότητα (Mantzoukas et al., 2022). Η παρούσα διατριβή περιλαμβάνει αντιπροσωπευτικές δειγματοληψίες από τέτοιους χώρους, αναδεικνύοντας τον ρόλο τους ως **δυναμικές εστίες φυσικών πληθυσμών EPF** με εφαρμογή στην οικολογική διαχείριση παρασίτων, τόσο σε γεωργικά όσο και σε αστικά περιβάλλοντα.

1.3 Ταξινόμηση και Ποικιλομορφία των EPF

Οι EPF ανήκουν σε μια ευρύτερη οικολογική ομάδα μυκήτων που έχουν εξελιχθεί ώστε να μολύνουν και να θανατώνουν αρθρόποδα, κυρίως έντομα. Αν και αποτελούν πολύ-παραγοντικούς και οικολογικά διαφοροποιημένους οργανισμούς, ταξινομούνται κυρίως βάσει μορφολογικών, μοριακών και φυλογενετικών χαρακτηριστικών (Naranjo-Ortiz & Gabaldón, 2019). Οι περισσότεροι EPF εντοπίζονται στην τάξη **Hypocreales** της υποδιαίρεσης **Ascomycota**, με τα γένη *Beauveria*, *Metarhizium*, *Lecanicillium* και

Isaria να αποτελούν τους συχνότερα αναφερόμενους και πιο εμπορικά αξιοποιήσιμους εκπροσώπους (Sharma et al., 2023).

Ο Πίνακας 1 παρουσιάζει συνοπτικά τα κύρια γένη EPF και την ταξινομική τους θέση, καθώς και χαρακτηριστικά παθογένειας που σχετίζονται με την πρακτική εφαρμογή τους. Τα εν λόγω γένη διαφοροποιούνται ως προς τον κύκλο ζωής, την εξειδίκευση στους ξενιστές και τις περιβαλλοντικές απαιτήσεις, γεγονός που τα καθιστά κατάλληλα για συγκεκριμένες καλλιέργειες ή περιβαλλοντικές συνθήκες.

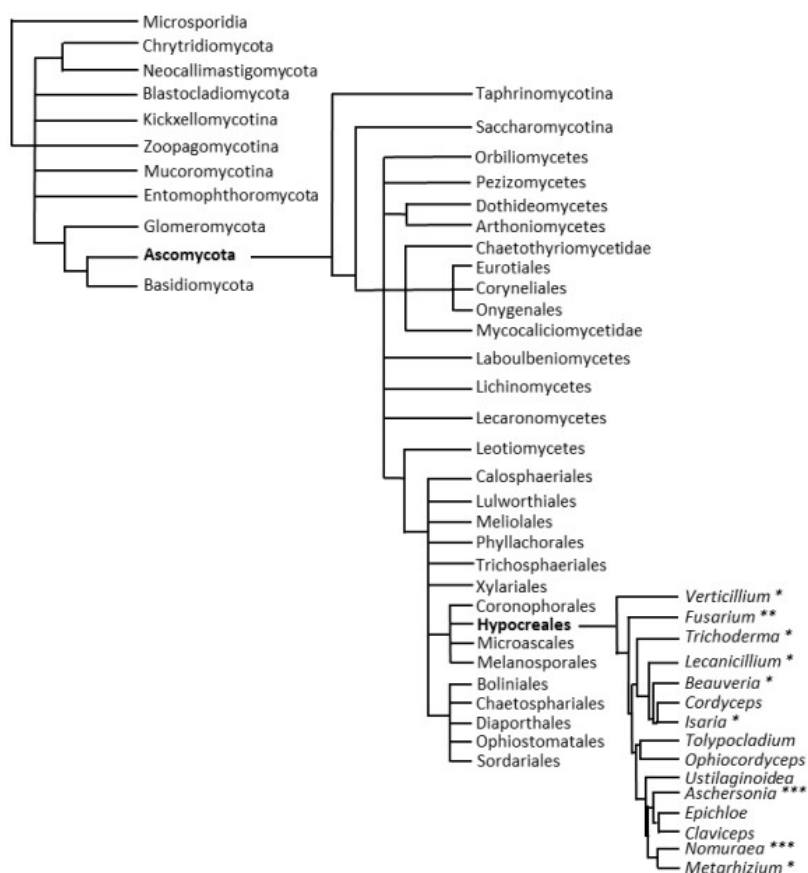
Πίνακας 1. Συνοπτικός πίνακας ταξινόμησης των κύριων γενών EPF, με βάση την ταξινομική τάξη, οικογένεια και χαρακτηριστικά παθογένειας.

Τάξη	Οικογένεια	Γένος	Είδος	Ιδιότητες / Χρήσεις
Hypocreales	Clavicipitaceae	<i>Metarhizium</i>	<i>Metarhizium anisopliae</i>	Ευρύ φάσμα ξενιστών, αποτελεσματικό κατά γεωργικών παρασίτων (Kobmoo et al., 2024)
Hypocreales	Cordycipitaceae	<i>Beauveria</i>	<i>Beauveria bassiana</i>	Χρήση σε βιολογικό έλεγχο εντόμων (Lucero et al., 2024)
Entomophthorales	Entomophthoraceae	<i>Entomophthora</i>	<i>Entomophthora muscae</i>	Προσβάλλει διπτερά, χρήση στον έλεγχο πληθυσμών μυγών (Elya et al., 2021)
Onygenales	Arthrodermataceae	<i>Paecilomyces</i>	<i>Paecilomyces fumosoroseus</i>	Χρήση κατά αλευρωδών και αφίδων (Inglis et al., 2001)

Το γένος *Beauveria*, με κύριο εκπρόσωπο το *B. bassiana*, είναι από τα πλέον διαδεδομένα τόσο στην έρευνα όσο και στην εμπορική παραγωγή. Το είδος αυτό παρουσιάζει ευρεία κατανομή και υψηλή παθογένεια σε πολυάριθμα έντομα στόχους (Boulamtat et al., 2025). Το γένος *Metarhizium*, ιδιαίτερα το *M. anisopliae*, γεγονός που το καθιστά κατάλληλο για εφαρμογές στο έδαφος ή για συνδυασμούς με EPNs (Ansari et al., 2008). Ενδιαφέρον παρουσιάζει και το γένος *Lecanicillium* spp., το οποίο έχει αξιοποιηθεί με επιτυχία σε θερμοκηπιακές συνθήκες, κυρίως για τον έλεγχο αφίδων και αλευρωδών. Αυτή η αποτελεσματικότητα αποδίδεται στην ικανότητά τους να αναπτύσσονται ακόμη και σε υψηλή σχετική υγρασία που επικρατεί μέσα στα θερμοκήπια. (Reddy, 2020).

Το Σχήμα 1 αποτυπώνει τη φυλογενετική ταξινόμηση των κυριότερων EPF, σύμφωνα με τους Hibbet et al. (2007), Humber (2012), και άλλους. Η κατανόηση της συστηματικής θέσης των μυκήτων είναι καθοριστικής σημασίας για την επιλογή κατάλληλων ειδών σε προγράμματα IPM, καθώς και για την ανάπτυξη μοριακών εργαλείων ταυτοποίησης και παρακολούθησης των πληθυσμών τους στο πεδίο.

Πέραν των Ascomycota, εντομοπαθογόνα στελέχη εμφανίζονται επίσης στην υποδιαίρεση **Entomophthoromycota**, η οποία περιλαμβάνει αποκλειστικά EPF με σύνθετο κύκλο ζωής και υψηλό βαθμό εξειδίκευσης, όπως τα είδη του γένους *Entomophthora* (Shehzad et al., 2025). Αν και έχουν μελετηθεί λιγότερο, αυτοί οι μύκητες παρουσιάζουν υψηλή παθογένεια και είναι σημαντικοί για φυσικές ανακατανομές πληθυσμών εντόμων σε άγρια οικοσυστήματα.



Σχήμα 1. Ταξινόμηση των EPF, κατά με τους Hibbet et al., (2007), Humber, (2012), Gryganskyi et al., (2012· 2013), Wang et al., (2016), και Fernández-Bravo et al., (2017). Από κάθε ομάδα παρουσιάζεται ένα αντιπροσωπευτικό είδος με εμπορική χρήση.

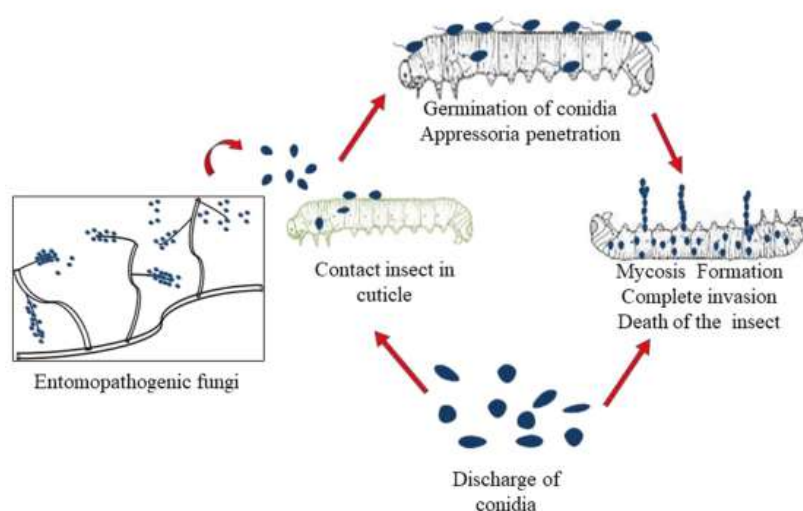
Η ποικιλομορφία των EPF δεν περιορίζεται μόνο στην ταξινομική διαφοροποίηση, αλλά επεκτείνεται και σε λειτουργικό επίπεδο, με διαφορές στην έκφραση γονιδίων παθογένειας, στην ικανότητα παραγωγής δευτερογενών μεταβολιτών και στην ανθεκτικότητα σε περιβαλλοντικές πιέσεις (Pedrini, 2022). Αυτές οι διαφοροποιήσεις

έχουν ιδιαίτερη σημασία για την ανάπτυξη νέων σκευασμάτων, καθώς και για την επιλογή στελεχών που εμφανίζουν βέλτιστη προσαρμοστικότητα στις κατά τόπους συνθήκες καλλιέργειας.

Η συνεχής αναβάθμιση των ταξινομικών συστημάτων, με τη συμβολή της μοριακής φυλογενετικής και της γενετικής συγκριτικής ανάλυσης, επιτρέπει την ακριβέστερη κατανόηση των εξελικτικών σχέσεων μεταξύ των EPF. Αυτή η γνώση είναι κρίσιμη για τη στρατηγική ανάπτυξη βιοπαρασιτοκτόνων, καθώς και για την πρόβλεψη της συμβατότητάς τους με άλλους παράγοντες βιολογικού ελέγχου (Kobmoo et al., 2024).

1.4 Μηχανισμοί Δράσης των EPF κατά των Εντόμων

Οι EPF ακολουθούν έναν σύνθετο κύκλο ζωής (σχήμα 2) που ξεκινά με την προσκόλληση των κονιδίων στην επιφάνεια του ξενιστή και κορυφώνεται με τον θάνατο του εντόμου και την εξάπλωση νέων σπορίων. Η μόλυνση αρχίζει με μηχανική πρόσφυση των κονιδίων στον εξωσκελετό και ακολουθεί βλάστηση, με σχηματισμό βλαστικών σωλήνων που διεισδύουν στο επιδερμικό στρώμα μέσω ενζυματικής αποδόμησης (Sharma et al., 2023). Ο επιτυχής αποικισμός της αιμολέμφου οδηγεί στην καταστολή του ανοσοποιητικού συστήματος του εντόμου, επιτρέποντας την ανεμπόδιστη ανάπτυξη του παθογόνου.



Σχήμα 2. Σχηματική απεικόνιση του κύκλου ζωής ενός EPF (πηγή: Rana et al., 2024).

Οι EPF έχουν αναπτύξει εξελιγμένες στρατηγικές αποφυγής και καταστολής της ανοσολογικής απάντησης του ξενιστή, όπως τροποποιήσεις του κυτταρικού τοιχώματος για απόκρυψη ανοσογόνων δεικτών, έκκριση ανοσοκατασταλτικών πρωτεϊνών και αναστολή ενζύμων του ανοσοποιητικού συστήματος (π.χ. λιγότερα ανοσογόνα επιφανειακά μόρια, απενεργοποίηση της φαεινολοοξειδάσης).

Σύγχρονες μοριακές και μεταγραφικές μελέτες έχουν αναγνωρίσει συγκεκριμένα γονίδια (π.χ. MPK1 οδοί στους *Metarhizium*, γονίδια σύνθεσης blastospore) που ρυθμίζουν αυτές τις διεργασίες, επιτρέποντας στον μύκητα να αποφύγει ή να μειώσει την ανοσοαπόκριση του εντόμου (Zimmermann, 1986) κυρίως τελευταία ερευνητικά δεδομένα καταδεικνύουν αναστολή ανοσογενών μορίων και έκκριση ανοσοκατασταλτικών πρωτεϊνών) (Qin et al., 2023).

Η παραγωγή τοξινών και δευτερογενών μεταβολιτών όπως οι δεστροξίνες και μποβερισίνη συμβάλλει στην καταστολή της αιμολέμφου και προκαλεί συστηματικές βλάβες, οδηγώντας σε παράλυση και τελικά θάνατο (Pedrini et al., 2024).

Η παθογένεια των EPF συνδέεται με ενδοκρινικές και νευρικές επιδράσεις, που οδηγούν σε σημαντικές συμπεριφορικές αλλοιώσεις των εντόμων, όπως απομόνωση, μείωση της πρόσληψης τροφής και διαταραχή της κινητικότητας, επιδρώντας θετικά στη διασπορά των σπορίων. Για παράδειγμα, σε μελέτη που αφορά το αμερικανικό κόκκινο μυρμήγκι (*Solenopsis invicta*), η μόλυνση από *Metarhizium anisopliae* προκάλεσε σημαντική μείωση της κινητικότητας και του χρόνου αναζήτησης τροφής, ενώ μειώθηκε επίσης η πρόσληψη τροφής, οι μεταβολικές λειτουργίες και η ενεργοποίηση της ακετυλχολινεστεράσης (Hassan et al., 2024).

Μετά τον θάνατο του ξενιστή, οι μύκητες περνούν στη σαπροφυτική φάση, καταναλώνοντας τους ιστούς και αναπτύσσοντας νέες δομές αναπαραγωγής στην επιφάνεια του σώματος του εντόμου.

Σε μοριακό επίπεδο, η παθογένεια των EPF ρυθμίζεται από σύνθετα δίκτυα γονιδιακής έκφρασης. Σημαντικά γονίδια που σχετίζονται με τη μόλυνση περιλαμβάνουν ένζυμα όπως χιτινάσες και πρωτεάσες, καθώς και μεταγραφικούς ρυθμιστές της οδού MAPK και της cAMP-PKA (Zhang et al., 2024). Ενδεικτικά, μελετάται η εισαγωγή γονιδίων υπερέκφρασης τοξινών ή ενζύμων διάσπασης του εξωσκελετού, καθώς και η χρήση φορέων έκφρασης που ενεργοποιούνται μόνο εντός του ξενιστή, ελαχιστοποιώντας περιβαλλοντικές επιπτώσεις. Μια πρόσφατη επιστημονική αναθεώρηση παρουσιάζει τις

τοξίνες του *Beauveria bassiana* (όπως μποβερικίνη, βασιλινιδιόλη και τενελίνη), οι οποίες αποτελούν φυσικά βιοεντομοκτόνα και έχουν γίνει στόχος γενετικής βελτίωσης για την αύξηση της παθογένειας. Ειδικά, αναλύεται η χρήση γενετικών στρατηγικών για την ενίσχυση της έκφρασής τους, με εξειδικευμένη ρύθμιση που ενεργοποιεί την παραγωγή τοξινών μόνο εντός του εντόμου-ξενιστή (Wang et al., 2021).

Συνολικά, οι μηχανισμοί δράσης των EPF συνθέτουν ένα εξελιγμένο σύστημα αλληλεπιδράσεων με τον ξενιστή που περιλαμβάνει φυσική διείσδυση, ανοσολογική καταστολή, τοξική επίδραση και γενετική ευελιξία, καθιστώντας τους εξαιρετικά ελκυστικούς βιολογικούς παράγοντες στην οικολογική διαχείριση εντόμων.

1.5 Παράγοντες που Επηρεάζουν την Αποτελεσματικότητα των EPF

Η αποτελεσματικότητα των EPF ως βιολογικών παραγόντων ελέγχου εξαρτάται από πληθώρα παραγόντων, οι οποίοι αλληλεπιδρούν σύνθετα και επηρεάζουν τόσο τη δυνατότητα μόλυνσης όσο και την επιβίωση, διασπορά και παθογένεια των στελεχών. Η κατανόηση των παραμέτρων αυτών είναι κρίσιμη για την επιλογή κατάλληλων στελεχών, την ανάπτυξη σταθερών σκευασμάτων και την επίτευξη σταθερών αποτελεσμάτων στο πεδίο (Quesada-Moraga et al., 2024).

Οι παράγοντες που επηρεάζουν τους EPF διακρίνονται σε αβιοτικούς και βιοτικούς. Στους αβιοτικούς περιλαμβάνονται οι περιβαλλοντικές και εδαφολογικές συνθήκες, ενώ στους βιοτικούς, η φυσιολογία του ξενιστή και η αλληλεπίδραση με άλλους μικροοργανισμούς.

A. Περιβαλλοντικοί Παράγοντες

Η θερμοκρασία αποτελεί ίσως τον κύριο αβιοτικό παράγοντα. Επηρεάζει τη βλαστικότητα των κονιδίων, την ανάπτυξη του μυκηλίου και τη διάρκεια ζωής των σπορίων. Κάθε στέλεχος EPF έχει ένα συγκεκριμένο θερμοκρασιακό εύρος στο οποίο φαίνεται να δρα παθογενετικά. Νεότερη εμπειρική βιβλιογραφία δείχνει ότι οι *Beauveria bassiana* και *Metarhizium anisopliae* επιδεικνύουν βέλτιστη ανάπτυξη και παθογένεια σε θερμοκρασίες περίπου 25–30 °C. (Seib et al., 2023). Εκτός από αυτό το βέλτιστο εύρος, η αύξηση πάνω από 30 °C οδηγεί σε σημαντική μείωση της ανάπτυξης

και αξιοπιστίας της δράσης τους, ενώ κάτω από 20 °C οι διαδικασίες βλάστησης και ανάπτυξης επιβραδύνονται σημαντικά.

Η σχετική υγρασία είναι επίσης καθοριστική για την προσκόλληση των σπορίων και τη βλάστηση τους στην επιδερμίδα του εντόμου. Σε συνθήκες χαμηλής υγρασίας, τα κονίδια χάνουν τη βιωσιμότητά τους, ενώ υψηλή σχετική υγρασία (>90%) συνδέεται με αυξημένη παθογένεια. Για τον λόγο αυτό, οι εφαρμογές σε θερμοκηπιακές συνθήκες είναι συχνότερα επιτυχείς (Sharma et al., 2023).

Η ηλιακή ακτινοβολία, και ιδιαίτερα η UV-B, προκαλεί φωτοοξειδωση των κονιδίων των EPF, μειώνοντας δραστικά τη βιωσιμότητά τους. Έκθεση σε UV-B συνεπάγεται μείωση στη βιωσιμότητα των κονιδίων κατά 50% εντός 4–10 ωρών, ενώ ορισμένα στελέχη του *Beauveria bassiana* παρουσιάζουν ελαττωμένη παθογένεια μετά την έκθεση περίπου 6 h σε 1200 mW m⁻² (Fernández-Bravo et al., 2024). Επιπλέον, μελέτες έδειξαν πως ακόμα και 2-4 ώρες έκθεσης μπορούν να προκαλέσουν σημαντική μείωση (>50%) στη μυκηλιακή ανάπτυξη και στην αναπαραγωγή των συνηθέστερων παραγόντων (*Metarhizium* spp.) (Couceiro et al., 2021). Σε πεδία με υψηλή ηλιακή ακτινοβολία και χαμηλή κάλυψη φύλλων, η UV-B μπορεί να αναστείλει τη βάση μόλυνσης· ορισμένες έρευνες αναφέρουν απώλειες έως και 90 % στη βιωσιμότητα των κονιδίων εντός ολίγων ωρών. Η ανάπτυξη φωτοανθεκτικών στελεχών και η χρήση προσθετικών φίλτρων σε σκευάσματα αποτελεί αντικείμενο εντατικής έρευνας.

B. Εδαφολογικοί και Ορυκτολογικοί Παράγοντες

Το έδαφος αποτελεί το βασικό οικολογικό υπόστρωμα των περισσότερων EPF, επηρεάζοντας την κατανομή και επιβίωσή τους. Παράμετροι όπως το pH, η μηχανική σύσταση, η οργανική ύλη και η υδατοϊκανότητα (FC) επηρεάζουν την αφθονία και τη βιολογική δραστηριότητα των μυκήτων. Η μηχανική σύσταση του εδάφους επηρεάζει την επιβίωση, τη διασπορά και την παραγωγή αναπαραγωγικών μορφών ή διάπαυσης (κονίδια ή μικροσκληρώτια) από μύκητες του γένους *Metarhizium*: αμμώδη εδάφη δείχνουν αυξημένο πλήθος CFU (μονάδες δημιουργίας αποικιών) κατά τις πρώτες εβδομάδες εφαρμογής, ενώ πηλώδη εδάφη υποστηρίζουν αυξημένη παραγωγή και σταθερότητα κρυπτογονιδίων μέσα στο έδαφος (Vega, et al., 2009; Yousef-Yousef et al., 2022).

Η ηλεκτρική αγωγιμότητα (EC), η ικανότητα ανταλλαγής κατιόντων (CEC) και η παρουσία συγκεκριμένων ορυκτολογικών φάσεων επηρεάζουν την προσρόφηση και τη

μετακίνηση των σπορίων. Υψηλές τιμές CEC και παρουσία αργιλικών φάσεων έχουν συσχετιστεί με αυξημένη παρουσία στελεχών *Metarhizium* και *Beauveria* (Quesada-Moraga et al., 2023). Η διατριβή διερευνά συστηματικά τη σχέση των παραμέτρων αυτών με την παρουσία και ποικιλομορφία των απομονωθέντων EPF, παρέχοντας νέα δεδομένα για το μικρό περιβαλλοντικό τους οικοσύστημα.

Γ. Παράγοντες του Ξενιστή

Η φυσιολογία και το στάδιο ανάπτυξης του εντόμου επηρεάζουν τη παθογόνο δράση των EPF. Οι προνύμφες είναι συνήθως πιο ευαίσθητες, λόγω του λεπτότερου εξωσκελετού και του λιγότερο ανεπτυγμένου ανοσοποιητικού συστήματος. Παράλληλα, η κινητικότητα του εντόμου, η πυκνότητα πληθυσμού και η συμπεριφορά (όπως ο αυτοκαθαρισμός) επηρεάζουν την πιθανότητα μόλυνσης (Lopes et al., 2025).

Οι EPF έχουν εξελίξει μηχανισμούς για την αποφυγή και καταστολή του ανοσοποιητικού συστήματος, όπως αναφέρθηκε εκτενέστερα στο υποκεφάλαιο 1.4. Ωστόσο, η αποτελεσματικότητα αυτών των μηχανισμών ποικίλλει ανάλογα με το είδος του ξενιστή, γεγονός που επιβεβαιώνει την ανάγκη επιλογής στελεχών με ειδική εξειδίκευση στους τοπικά κυρίαρχους πληθυσμούς παρασίτων.

Δ. Βιολογικές Αλληλεπιδράσεις

Οι EPF δεν δρουν σε απομόνωση αλλά αποτελούν μέρος πολυπληθών μικροβιακών κοινοτήτων. Η παρουσία ανταγωνιστικών ή συνεργιστικών μικροοργανισμών (π.χ. εντομοπαθογόνων νηματωδών, ριζοσφαιρικών βακτηρίων, νηματοφάγων μυκήτων) επηρεάζει τη λειτουργικότητά τους. Έχουν παρατηρηθεί συνεργιστικά φαινόμενα, όπως η συνέργεια μεταξύ *Beauveria bassiana* και του νηματώδη *Heterorhabditis tyasearae* οδήγησε σε 83 % θνησιμότητα της *Spodoptera frugiperda*, σε σύγκριση με 63–73 % όταν χρησιμοποιούνταν το *Beauveria bassiana* απομονωμένο (Abd El Azim et al., 2024).

Από την άλλη, ανταγωνιστικές αλληλεπιδράσεις μπορεί να περιορίσουν την εγκατάσταση των EPF, ιδίως σε εδάφη πλούσια σε αντιμυκητιακές ενώσεις ή βακτήρια με αντιβιοτική δράση (Deng et al., 2022). Το μικροβίωμα του εδάφους αποτελεί επομένως έναν κρίσιμο ρυθμιστικό παράγοντα που πρέπει να ληφθεί υπόψη στη στρατηγική επιλογή σκευασμάτων και μεθόδων εφαρμογής.

Ε. Σκευάσματα και Τεχνολογία Εφαρμογής

Τέλος, οι φυσικοχημικές ιδιότητες των σκευασμάτων (π.χ. ιξώδες, σταθερότητα, ικανότητα πρόσφυσης), καθώς και η τεχνική εφαρμογής (π.χ. ψεκασμός, ενσωμάτωση στο έδαφος, χρήση παγίδων), επηρεάζουν καθοριστικά την αποτελεσματικότητα στο πεδίο. Η τεχνολογία σύνθεσης εξελίσσεται διαρκώς για να αντιμετωπιστούν προβλήματα όπως η φωτοευαισθησία, η αποσύνθεση υπό αντίξοες συνθήκες και η άνιση κατανομή στο περιβάλλον (Lei et al., 2022).

Οι νέες εφαρμογές περιλαμβάνουν φορείς βασισμένους σε πολυμερή, μικροκάψουλες, νανοσωματίδια και συστήματα βραδείας αποδέσμευσης. Επιπλέον, οι αυτοματοποιημένες μέθοδοι εφαρμογής σε συστήματα γεωργίας ακριβείας (drones, αισθητήρες, GIS) ενισχύουν τη αποδοτικότητα της χρήσης των EPF (de Oliveira et al., 2023).

Η συστηματική διερεύνηση των παραπάνω παραμέτρων αποτελεί θεμέλιο για την ερμηνεία των αποτελεσμάτων της παρούσας διατριβής. Οι εδαφικοί, περιβαλλοντικοί και μικροβιακοί παράγοντες που συλλέχθηκαν και αναλύθηκαν στα πειραματικά κεφάλαια, επιτρέπουν την ποσοτική αποτίμηση της σχέσης τους με την παρουσία, ποικιλομορφία και παθογένεια των απομονωμένων EPF, παρέχοντας πολύτιμη γνώση για την αξιοποίησή τους σε πραγματικές γεωργικές συνθήκες.

1.6 Τρέχουσες και Δυνητικές Εφαρμογές των EPF

Οι EPF έχουν καθιερωθεί ως μία από τις πιο υποσχόμενες ομάδες βιολογικών παραγόντων για τον έλεγχο επιβλαβών εντόμων στη γεωργία, προσφέροντας εναλλακτικές λύσεις φιλικές προς το περιβάλλον σε σχέση με τα συνθετικά εντομοκτόνα. Η ικανότητά τους να προσβάλλουν ένα ευρύ φάσμα εντόμων, η εξειδίκευσή τους στους ξενιστές και η συμβατότητά τους με τις αρχές της IPM έχουν οδηγήσει σε πολλαπλές εφαρμογές, τόσο σε επίπεδο εμπορικών σκευασμάτων όσο και σε ερευνητικές στρατηγικές.

Στις τρέχουσες πρακτικές, τα βιοπαρασιτοκτόνα που βασίζονται σε στελέχη των *Beauveria bassiana*, *Metarhizium anisopliae*, *Lecanicillium* spp. και *Isaria fumosorosea* χρησιμοποιούνται για την καταπολέμηση παρασίτων όπως αφίδες, αλευρώδεις, κολεόπτερα, τερμίτες και ακρίδες σε καλλιέργειες όπως βαμβάκι,

λαχανικά, καλαμπόκι και σιτηρά (Dubovskiy & Butt, 2023). Οι εφαρμογές τους περιλαμβάνουν τόσο άμεση εφαρμογή ψεκασμού όσο και διαχείριση του εδάφους, με στόχο τον περιορισμό των πληθυσμών εντόμων είτε στη φυλλική επιφάνεια είτε στο ριζικό σύστημα (Lei et al., 2022).

Η επιλογή κατάλληλης μεθόδου εφαρμογής εξαρτάται από το είδος του εντόμου-στόχου και τις οικολογικές συνθήκες. Οι πλέον διαδεδομένες τεχνικές περιλαμβάνουν τον ψεκασμό εναιωρημάτων σπορίων στις επιφάνειες των φυτών, την ενσωμάτωση σκευασμάτων στο έδαφος και την εφαρμογή σε παγίδες ή ενδιάμεσα υποστρώματα. Η ανάπτυξη διαφορετικών τύπων σκευασμάτων - όπως τα SE, τα OD και οι EG - έχει αποδειχθεί κρίσιμη για τη βελτίωση της σταθερότητας, της προσκόλλησης και της ανθεκτικότητας των EPF σε περιβαλλοντικούς παράγοντες, όπως η ακτινοβολία UV και η ξηρασία (Lei et al., 2023; Sharma et al., 2023).

Οι EPF παρουσιάζουν επίσης εντυπωσιακές δυνατότητες ως ενδοφυτικοί μικροοργανισμοί, δηλαδή ως συμβιωτικά στελέχη που αποικίζουν εσωτερικούς φυτικούς ιστούς χωρίς να προκαλούν ασθένεια. Ενδοφυτικά στελέχη (EEPF), όπως τα *Beauveria* και *Metarhizium* έχουν αποδειχθεί ότι προάγουν την ανάπτυξη των φυτών, ενισχύουν την αντίσταση σε παθογόνα και εντομολογικές προσβολές, καθώς και τη βιοδιαθεσιμότητα των θρεπτικών στοιχείων (Quesada-Moraga et al., 2023). Αυτή η ιδιότητα καθιστά τους EPF πολλαπλής λειτουργίας οργανισμούς, ικανούς να επιτελούν ρόλους τόσο βιοπροστασίας όσο και βιοδιέγερσης των φυτών.

Στο πλαίσιο της γεωργίας ακριβείας, οι EPF προσφέρονται για στοχευμένες εφαρμογές μέσω εργαλείων γεωπληροφορικής (GIS) και τηλεπισκόπησης, που επιτρέπουν την ανάλυση χωρικών και χρονικών προτύπων κατανομής παρασίτων. Έτσι, επιτυγχάνεται η εφαρμογή σκευασμάτων εκεί όπου η πιθανότητα επιτυχούς μόλυνσης είναι υψηλότερη, αυξάνοντας την αποδοτικότητα και μειώνοντας την αλόγιστη χρήση των παραγόντων (Bueno-Pallero et al., 2020).

Οι δυνητικές εφαρμογές των EPF επεκτείνονται και στον τομέα της φαρμακολογίας και της βιοτεχνολογίας. Ορισμένα είδη έχουν αναδειχθεί ως πηγές βιοδραστικών ουσιών με αντιμικροβιακή, αντιοξειδωτική και αντικαρκινική δράση. Μεταβολίτες όπως οι οοσπορεΐνη, βασιλινιδιόλη και τενελίνη έχουν απομονωθεί και παρουσιάζουν ενδιαφέρον για φαρμακευτική έρευνα. Η ενσωμάτωση της συνθετικής

βιολογίας έχει ανοίξει νέους δρόμους για την παραγωγή φυσικών προϊόντων μέσω μετατροπής των EPF. Μια μελέτη του 2024 δημοσιεύει ένα γενετικώς τροποποιημένο στέλεχος *Metarhizium robertsii*, στο οποίο ενσωματώθηκε ένα γονίδιο (moricin) από μετάξι (*Bombyx mori*), ενισχύοντας σημαντικά την εντομοπαθογόνο δράση κατά κουνουπιών, ακρίδων και *Drosophila* spp. Επιπλέον, αυτό το μεταλλαγμένο στέλεχος διαταράσσει το μικροβίωμα των ξενιστών, αυξάνοντας την αποτελεσματικότητά του (Hong et al., 2024).

Η συνεργιστική χρήση των EPF με άλλους βιολογικούς παράγοντες, όπως οι EPNs και οι φυσικοί θηρευτές, έχει δείξει αυξημένα ποσοστά ελέγχου παρασίτων, με αξιοσημείωτα αποτελέσματα σε πεδία όπως η ολοκληρωμένη βιοπροστασία θερμοκηπιακών καλλιεργειών (Mathulwe et al., 2023). Αυτού του είδους οι στρατηγικές αξιοποιούν συμπληρωματικούς μηχανισμούς μόλυνσης και επιτρέπουν τη μείωση της εξάρτησης από χημικά σκευάσματα.

Στις αναδυόμενες προσεγγίσεις περιλαμβάνεται και η χρήση των EPF σε διαχείριση του ενδιαιτήματος (habitat management), μέσω παρεμβάσεων που ενισχύουν τους πληθυσμούς φυσικών στελεχών, όπως η χρήση καλλιεργειών κάλυψης, η ενίσχυση της οργανικής ύλης και η μικροκλιματική διαχείριση του αγρό-περιβάλλοντος (Patel, 2023). Επιπλέον, προωθούνται λύσεις βασισμένες σε τοπικά προσαρμοσμένα στελέχη, αυξάνοντας την αποτελεσματικότητα μέσω της οικολογικής εξειδίκευσης.

Παρά τις σημαντικές δυνατότητές τους, οι EPF δεν έχουν ακόμη ενσωματωθεί ευρέως στις γεωργικές πρακτικές, κυρίως λόγω προκλήσεων που σχετίζονται με την αβεβαιότητα της αποτελεσματικότητας στο πεδίο, τον περιορισμένο χρόνο ζωής των σκευασμάτων και τις νομικές ρυθμίσεις που διέπουν τα βιοπαρασιτοκτόνα. Ωστόσο, η πρόοδος στη γενετική βελτίωση στελεχών, οι καινοτομίες στις τεχνολογίες σύνθεσης και η ανάπτυξη ολοκληρωμένων προγραμμάτων IPM συνεχίζουν να ενισχύουν το δυναμικό των EPF ως βασικά συστατικά της βιώσιμης και περιβαλλοντικά υπεύθυνης γεωργίας (Kumar et al., 2024).

1.7 Προκλήσεις και Μελλοντικές Κατευθύνσεις στην Έρευνα για τους EPF

Η εφαρμογή των EPF ως βιολογικών παραγόντων ελέγχου έχει σημειώσει σημαντική πρόοδο τις τελευταίες δεκαετίες, ωστόσο εξακολουθεί να αντιμετωπίζει ουσιώδεις προκλήσεις τόσο σε επίπεδο βασικής έρευνας όσο και πρακτικής εφαρμογής. Παράλληλα, αναδύονται νέες ερευνητικές κατευθύνσεις που επιδιώκουν να ξεπεράσουν τους περιορισμούς αυτούς και να ενισχύσουν τον ρόλο των EPF στη βιώσιμη φυτοπροστασία.

A. Προκλήσεις στην Έρευνα και την Εφαρμογή των EPF

1. Περιβαλλοντική Μεταβλητότητα και Απόδοση στο Πεδίο

Η επιτυχία των EPF σε εφαρμογές πεδίου επηρεάζεται καθοριστικά από τις επικρατούσες περιβαλλοντικές συνθήκες. Παράγοντες όπως η θερμοκρασία, η υγρασία και η ηλιακή ακτινοβολία επιδρούν στη βλαστικότητα, τη παθογόνο δράση και τη σταθερότητα των κονιδίων. Οι μελέτες έχουν δείξει ότι οι υψηλές θερμοκρασίες μπορούν να μειώσουν τη βιωσιμότητα των σπορίων, ενώ η επαρκής σχετική υγρασία είναι κρίσιμη για την επιτυχή εγκατάσταση του μύκητα στον ξενιστή (Moldovan et al., 2022). Η φωτοευαισθησία των κονιδίων, ειδικά σε μύκητες όπως το *Beauveria bassiana*, περιορίζει τη δραστηριότητά τους κατά τις ώρες υψηλής ηλιακής ακτινοβολίας, θέτοντας ζητήματα χρονισμού των εφαρμογών (Zimmermann, 2007). Επιπλέον, οι εδαφικές συνθήκες, όπως η οργανική ουσία και η μικροβιακή δραστηριότητα, επηρεάζουν την επιβίωση των EPF στο περιβάλλον (Meyling & Eilenberg, 2006).

2. Παράγοντες των Ξενιστών Εντόμων

Η παθογένεια των EPF εξαρτάται σε μεγάλο βαθμό από χαρακτηριστικά του ξενιστή, όπως η δομή του εξωσκελετού, η συμπεριφορά, και οι ανοσολογικοί μηχανισμοί. Το πάχος της επιδερμίδας, η σύνθεση της χιτίνης και η παρουσία προστατευτικών ουσιών δυσχεραίνουν τη διείσδυση των κονιδίων. Επιπλέον, συμπεριφορές αποφυγής (π.χ. αυτοκαθαρισμός ή μετακίνηση σε ακατάλληλα για ανάπτυξη του μύκητα περιβάλλοντα) συνιστούν εμπόδια στην επιτυχή μόλυνση (Shah & Pell, 2003). Η γενετική ποικιλιότητα των εντόμων-στόχων, καθώς και οι σύνθετες σχέσεις τους με άλλους οργανισμούς (π.χ.

ενδοσυμβιωτικά βακτήρια), προσθέτουν επιπλέον πολυπλοκότητα στο πεδίο εφαρμογής των EPF.

3. Οικολογικές Αλληλεπιδράσεις

Η οικολογική συμπεριφορά των EPF καθορίζεται από ένα πλέγμα αλληλεπιδράσεων με άλλους μικροοργανισμούς, φυτικούς οργανισμούς, αρπακτικά και ανταγωνιστικά είδη. Η αλληλεπίδραση με το μικροβίωμα του εδάφους και της φυλλικής επιφάνειας μπορεί να ενισχύσει ή να παρεμποδίσει την εγκατάσταση ενός EPF (Rasool et al., 2025). Η αποικιοποίηση φυτικών ριζών από EPF, για παράδειγμα, προσδίδει λειτουργικά πλεονεκτήματα στους μικροοργανισμούς, αλλά η δυναμική αυτή δεν έχει ακόμη κατανοηθεί πλήρως (Vega, 2018). Οι αλληλεπιδράσεις αυτές αποκτούν ιδιαίτερη σημασία σε σύνθετα και μεταβαλλόμενα αγρό-οικοσυστήματα, όπως και τα ελληνικά.

4. Κανονιστικές και Εμπορικές Προκλήσεις

Η εμπορευματοποίηση σκευασμάτων EPF υπόκειται σε αυστηρά κανονιστικά πλαίσια που ποικίλουν ανάλογα με τη χώρα και τον τύπο εφαρμογής. Οι διαδικασίες καταχώρησης είναι συχνά χρονοβόρες και απαιτούν εκτεταμένες τοξικολογικές και οικοτοξικολογικές μελέτες, παρά το ότι οι EPF θεωρούνται χαμηλού κινδύνου για το περιβάλλον και την ανθρώπινη υγεία (Jiang & Wang, 2023). Παράλληλα, το κόστος παραγωγής και η ανάγκη για εξειδικευμένα συστήματα αποθήκευσης και διανομής καθιστούν την αγορά περιοριστικά προσβάσιμη για μικρές επιχειρήσεις.

B. Μελλοντικές Κατευθύνσεις στην Έρευνα για τους EPF

1. Γενετική Βελτίωση των Στελεχών EPF

Η φυσική ποικιλομορφία των EPF αποτελεί πηγή επιλογής στελεχών με υψηλότερη παθογένεια, ταχύτερη ανάπτυξη και ανθεκτικότητα σε περιβαλλοντικές πιέσεις. Μέσω της μοριακής φυλογενετικής ανάλυσης και της εφαρμογής τεχνικών *in vitro* επιλογής μπορούν να εντοπιστούν στελέχη με αυξημένο βιολογικό δυναμικό (Zimmermann, 2007). Ερευνητικές προσπάθειες για την κατανόηση του γονιδιακού υπόβαθρου της παθογένειας και της προσαρμοστικότητας προβάλλουν ως προτεραιότητα.

2. Καινοτομίες στις Τεχνολογίες Σύνθεσης και Εφαρμογής Σκευασμάτων

Η ανάπτυξη σταθερών, φωτοπροστατευμένων και εύκολα εφαρμοζόμενων σκευασμάτων αποτελεί βασική συνιστώσα για την επιτυχία των EPF στην πράξη. Η χρήση φιλικών προς το περιβάλλον φορέων, όπως φυτικά έλαια ή πολυμερή, σε

συνδυασμό με μεθόδους όπως η κοκκώδης εφαρμογή στο έδαφος, μπορεί να βελτιώσει σημαντικά την αποτελεσματικότητα και διάρκεια δράσης των EPF (Inglis et al., 2001).

3. Οικολογικές και Περιβαλλοντικές Μελέτες

Η ενσωμάτωση των EPF στη μελέτη οίκο-συστημικών διεργασιών, όπως οι τροφικές αλυσίδες και οι λειτουργικές σχέσεις με το έδαφος και τη βλάστηση, είναι κρίσιμη για την οικολογικά υπεύθυνη χρήση τους. Οι φυσικές θέσεις εγκατάστασης και επιβίωσης των EPF σε αγροτικά, δασικά και περί-αστικά οικοσυστήματα αποτελούν αντικείμενο εντατικής μελέτης (Meyling & Eilenberg, 2006).

4. Ενσωμάτωση σε Βιώσιμες Γεωργικές Πρακτικές

Η συνδυαστική χρήση των EPF με τεχνικές γεωργίας ακριβείας, φυτοπροστατευτικά σχέδια ολοκληρωμένης διαχείρισης και στρατηγικές διατήρησης του αγρό-οικοσυστήματος μπορεί να αποδώσει μακροπρόθεσμα αποτελέσματα. Η διασύνδεση με βιολογικούς εχθρούς και η στρατηγική διαχείριση των εστιών μόλυνσης (spot treatment) ενισχύει την αποτελεσματικότητα (Lacey et al., 2015).

5. Ανάπτυξη Εργαλείων Υποστήριξης Αποφάσεων (DSS)

Η συλλογή δεδομένων πεδίου και η ανάπτυξη μοντέλων πρόβλεψης βασισμένων σε μικρό-κλιματικές μεταβλητές μπορεί να οδηγήσει σε εργαλεία υποστήριξης αποφάσεων για τον κατάλληλο χρόνο και τρόπο εφαρμογής των EPF. Αν και αυτό το πεδίο βρίσκεται σε πρώιμο στάδιο, προσφέρει δυνατότητες μεγάλης αξίας για τον γεωτεχνικό σχεδιασμό.

6. Εκπαίδευση και Ενημέρωση

Η κοινωνική αποδοχή των EPF ως εργαλείου βιολογικής φυτοπροστασίας απαιτεί στοχευμένη ενημέρωση των γεωργών, γεωτεχνικών και πολιτών. Η παροχή τεκμηριωμένης πληροφόρησης για τα οφέλη, την ασφάλεια και τις εφαρμογές των EPF είναι απαραίτητη για την οικοδόμηση εμπιστοσύνης και την ενίσχυση της ζήτησης.

Η παρούσα διατριβή συμβάλλει σε αυτή τη συλλογική προσπάθεια, διερευνώντας την παρουσία, ποικιλομορφία και παθογένεια εγχώριων στελεχών EPF από χώρους περί-αστικού πρασίνου και συσχετίζοντάς τα με περιβαλλοντικές και μικρό-κλιματικές παραμέτρους, παρέχοντας νέα δεδομένα για την κατανόηση και εφαρμογή τους σε οικολογικά ευαίσθητα περιβάλλοντα.

1.8 Οι EPF στην Ελλάδα

Η μελέτη των εντομοπαθογόνων μυκήτων (EPF) στον ελληνικό χώρο βρίσκεται ακόμη σε σχετικά πρώιμο στάδιο, παρά τη σημασία τους για τη γεωργία, τη δασοπονία και την περιβαλλοντική προστασία. Τα μέχρι σήμερα διαθέσιμα δεδομένα προέρχονται από επιμέρους έρευνες που εστίασαν σε συγκεκριμένα αγρο-οικοσυστήματα, σε απομονώσεις στελεχών από εδάφη ή σε βιοδοκιμές έναντι εντόμων-στόχων, σκιαγραφώντας ωστόσο μια πρώτη εικόνα για τη βιοποικιλότητα και το εφαρμοστικό δυναμικό των EPF στην Ελλάδα.

Σημαντικές έρευνες έχουν πραγματοποιηθεί στη Δυτική Ελλάδα, όπου διερευνήθηκε η παρουσία EPF σε αμπελώνες διαφορετικών terroirs. Οι μελέτες κατέγραψαν την απομόνωση στελεχών *B. bassiana* και *M. anisopliae* από εδαφικά δείγματα, επιβεβαιώνοντας την ικανότητα των μυκήτων αυτών να εγκαθίστανται και να επιβιώνουν σε μεσογειακά αγρο-οικοσυστήματα (Mantzoukas et al., 2020). Αντίστοιχα, έρευνες σε ελαιώνες της Δυτικής Ελλάδας χρησιμοποίησαν έντομα-παγίδες, καταγράφοντας απομονώσεις *B. bassiana* και *M. anisopliae* και τεκμηριώνοντας τον ρόλο των ελληνικών εδαφών ως φυσικών δεξαμενών εντομοπαθογόνων μυκήτων (Mantzoukas et al., 2020).

Επιπλέον, πρόσφατες μελέτες ανέδειξαν την ενδοφυτική ικανότητα στελεχών *B. bassiana*, καταδεικνύοντας την πολυλειτουργικότητά τους. Τα στελέχη αυτά δεν περιορίστηκαν μόνο στην παθογόνο δράση κατά επιβλαβών εντόμων αλλά ταυτόχρονα συνέβαλαν στη βελτίωση της ανάπτυξης και της φυσιολογίας των φυτών, επιβεβαιώνοντας ότι οι EPF μπορούν να διαδραματίσουν ρόλο βιοδιεγερτών σε συστήματα χαμηλών εισροών (Mantzoukas et al., 2022).

Αντίστοιχες εφαρμογές έχουν μελετηθεί και σε αποθηκευμένα προϊόντα, όπου στελέχη *B. bassiana*, *M. anisopliae* και *I. fumosorosea* αξιολογήθηκαν έναντι του *Sitophilus oryzae*. Τα αποτελέσματα έδειξαν υψηλά ποσοστά θνησιμότητας, τεκμηριώνοντας τη χρησιμότητα των EPF και στη μετασυλλεκτική προστασία των σιτηρών (Kavallieratos, et al., 2014). Νεότερη εργασία ενίσχυσε τα παραπάνω ευρήματα, με τοπικές απομονώσεις να αποδεικνύονται αποτελεσματικές σε διαφορετικά στάδια ανάπτυξης εντόμων αποθηκών, ενισχύοντας τη θέση των EPF ως βιολογικών παραγόντων ελέγχου στον τομέα αυτό (Mantzoukas et al., 2023).

Ιδιαίτερο ενδιαφέρον παρουσιάζουν επίσης οι μελέτες που εστίασαν σε εχθρούς μείζονος οικονομικής σημασίας για την ελληνική γεωργία, όπως το *Halyomorpha halys*. Βιοδοκιμές με ελληνικές απομονώσεις κατέδειξαν σημαντική δραστικότητα σε αυγά και νύμφες, στοιχείο που καθιστά τα τοπικά στελέχη υποσχόμενα εργαλεία για την ολοκληρωμένη φυτοπροστασία (Mantzoukas et al., 2024). Επίσης, μελέτη στο *Lobesia botrana*, τον κυριότερο εχθρό της αμπέλου, ανέδειξε την επίδραση περιβαλλοντικών παραμέτρων, όπως η θερμοκρασία, στη λοιμογόνο δράση των EPF, γεγονός που αναδεικνύει την ανάγκη τοπικής προσαρμογής και πειραματικής τεκμηρίωσης (Beris, et al., 2024).

Πέραν των δημοσιευμένων άρθρων, και ελληνικές μεταπτυχιακές διατριβές έχουν συμβάλει στη γνώση γύρω από τους EPF. Χαρακτηριστικό παράδειγμα αποτελεί η η μεταπτυχιακή διατριβή του Μαντζούκα Σπυρίδωνα (Mantzoukas, 2008), που διερεύνησε την απομόνωση και καταγραφή εντομοπαθογόνων μυκήτων από ελληνικά εδάφη, θέτοντας τις βάσεις για την περαιτέρω ανάπτυξη της έρευνας.

Παρά τα ενθαρρυντικά αυτά ευρήματα, σημαντικά ερευνητικά κενά εξακολουθούν να υπάρχουν. Η κατανομή και ποικιλομορφία των EPF σε φυσικά και ημιφυσικά οικοσυστήματα, η συσχέτισή τους με εδαφικές και μικροκλιματικές παραμέτρους, καθώς και η μακροπρόθεσμη αποτελεσματικότητά τους στο πεδίο, παραμένουν περιορισμένα μελετημένα. Η παρούσα διατριβή επιχειρεί να καλύψει αυτά τα κενά, διερευνώντας την παρουσία και τη λειτουργική δυναμική των EPF σε υπό-ερευνημένα οικοσυστήματα, με έμφαση στους περί-αστικούς χώρους πρασίνου, συμβάλλοντας στην τεκμηρίωση της εγχώριας βιοποικιλότητας και στη μελλοντική αξιοποίησή της στη φυτοπροστασία και τη βιοτεχνολογία.

1.9 Σκοπός της παρούσας εργασίας

Η παρούσα διατριβή πραγματεύεται τη διερεύνηση της παρουσίας, ποικιλομορφίας και εντομοπαθογόνου ικανότητας φυσικών πληθυσμών EPF σε ελληνικά οικοσυστήματα, με επίκεντρο τους μεταβατικούς περί-αστικούς χώρους πρασίνου. Οι EPF, ως φυσικοί ρυθμιστές των πληθυσμών των εντόμων, αποτελούν κρίσιμους παράγοντες στην κατεύθυνση της βιώσιμης και περιβαλλοντικά φιλικής γεωργίας (Vega et al., 2009· Zimmermann, 2007). Παρότι η διεθνής έρευνα έχει καταδείξει τη βιολογική και εφαρμοστική σημασία των EPF, στην Ελλάδα η γνώση για τη φυσική τους εξάπλωση,

τη γενετική ποικιλία και τη δράση τους είναι αποσπασματική και συχνά περιορισμένη σε μεμονωμένες περιπτώσεις ή καλλιέργειες.

Υπό αυτό το πρίσμα, η κεντρική υπόθεση που διέπει την παρούσα εργασία είναι ότι στα ελληνικά φυσικά και περί-αστικά οικοσυστήματα απαντώνται ενδημικοί πληθυσμοί EPF, οι οποίοι διαθέτουν ιδιαίτερα βιολογικά και οικολογικά προσαρμοστικά χαρακτηριστικά, καθιστώντας τους κατάλληλους υποψηφίους για την ανάπτυξη αποτελεσματικών στρατηγικών βιολογικού ελέγχου. Η επιλογή των περί-αστικών περιοχών ως πεδίων έρευνας βασίζεται στις εξής επιστημονικά τεκμηριωμένες παραδοχές:

1. Οι περί-αστικές περιοχές αποτελούν μεταβατικά οικοσυστήματα με ιδιαίτερα χαρακτηριστικά, καθώς ενσωματώνουν τόσο φυσικά όσο και ανθρωπογενή στοιχεία. Οι περιοχές αυτές είναι συχνά λιγότερο επηρεασμένες από εντατική γεωργία ή χημικές επεμβάσεις, διατηρώντας έτσι υψηλή μικροβιακή ποικιλομορφία, συμπεριλαμβανομένων των EPF (Mantzoukas et al., 2022, Clifton et al., 2015).
2. Τα ενδημικά στελέχη των EPF που απαντώνται στις συγκεκριμένες περιοχές παρουσιάζουν ισχυρότερο βαθμό οικολογικής προσαρμογής σε σύγκριση με τα εισαγόμενα ή εμπορικά στελέχη, κάτι που προκύπτει από τη μακροχρόνια συν-εξέλιξή τους με τις τοπικές μικροκλιματικές, εδαφικές και βιολογικές συνθήκες. Η προσαρμοστικότητα αυτή μπορεί να προσδώσει στα τοπικά στελέχη υψηλότερη αποτελεσματικότητα και σταθερότητα ως προς τη δράση τους έναντι των πληθυσμών-στόχων (Behie & Bidochka, 2014, Keyser et al., 2015, Meyling & Eilenberg, 2006).
3. Η παρουσία ενδημικών πληθυσμών EPF στις περί-αστικές περιοχές μπορεί να προσφέρει πολύτιμα στοιχεία και δεδομένα σχετικά με την οικολογία, τη μοριακή ταυτότητα και τις αλληλεπιδράσεις τους με έντομα-ξενιστές. Η εις βάθος μελέτη αυτών των στοιχείων επιτρέπει τη δημιουργία εξειδικευμένων βάσεων δεδομένων, οι οποίες θα αποτελέσουν τη βάση για την ανάπτυξη βιώσιμων στρατηγικών ολοκληρωμένης φυτοπροστασίας (IPM) και γεωργίας ακριβείας (precision agriculture) (Bamisile et al., 2021, Sharma et al., 2023).
4. Οι περί-αστικές ζώνες πρασίνου αποτελούν σημαντικούς θύλακες διατήρησης βιοποικιλότητας, λειτουργώντας ως καταφύγια για μικροβιακούς οργανισμούς

με ιδιαίτερη οικολογική σημασία. Ως εκ τούτου, η διερεύνηση της παρουσίας και της δραστηριότητας των EPF σε αυτά τα περιβάλλοντα μπορεί να αναδείξει τη δυναμική των φυσικών μικροβιακών πληθυσμών ως δυνητικών παραγόντων για τη μείωση της χρήσης χημικών εντομοκτόνων και την προώθηση πιο βιώσιμων και οικολογικά αποδεκτών προσεγγίσεων στην αντιμετώπιση των εντομολογικών προβλημάτων (Clifton et al., 2015, Quesada-Moraga et al., 2024).

Η επιλογή των περί-αστικών περιοχών ως πεδίου μελέτης συμβάλλει ουσιαστικά στην καλύτερη κατανόηση της βιοποικιλότητας και της οικολογικής προσαρμογής των EPF, ανοίγοντας νέες προοπτικές για την αξιοποίησή τους σε στρατηγικές βιώσιμης γεωργικής ανάπτυξης και φυτοπροστασίας.

Στο πλαίσιο αυτής της υπόθεσης, η διατριβή διαρθρώνεται γύρω από τους εξής επιμέρους στόχους:

1. **Απομόνωση, καλλιέργεια και ταυτοποίηση EPF** από εδαφικά στρώματα σε επιλεγμένα περί-αστικά οικοσυστήματα της Ελλάδας. Η ταυτοποίηση θα βασιστεί σε μοριακή ανάλυση (ITS), προκειμένου να καθοριστεί η ταξινομική θέση των στελεχών και να διαπιστωθεί η συγγένειά τους με διεθνώς καταγεγραμμένα στελέχη (Zimmermann, 2007).
2. **Ανάδειξη της γενετικής ποικιλομορφίας** των απομονωμένων στελεχών, με στόχο την αποκάλυψη νέων ή ιδιαίτερων χαρακτηριστικών που πιθανώς σχετίζονται με την προσαρμοστικότητα στο τοπικό περιβάλλον (Meyling & Eilenberg, 2006).
3. **Καταγραφή και στατιστική ανάλυση φυσικοχημικών και μικρό-κλιματικών παραμέτρων** (pH, αγωγιμότητα, θερμοκρασία, υγρασία) για την κατανόηση των παραγόντων που ευνοούν την παρουσία και εγκατάσταση των EPF στα συγκεκριμένα οικοσυστήματα, με βάση περιβαλλοντικά δεδομένα πεδίου και υπάρχουσες μελέτες για τις οικολογικές απαιτήσεις των μύκητων (Dyczko et al., 2024).
4. **Εκτίμηση της παθογόνου ικανότητας των επιλεγμένων στελεχών σε έντομα-στόχους**, με τη διεξαγωγή βιοδοκιμών υπό ελεγχόμενες συνθήκες, ώστε να αξιολογηθεί η εντομοπαθογόνος δράση (Shah & Pell, 2003).

5. **Ανάλυση της εφαρμοστικής δυναμικής των ενδημικών στελεχών,** στοχεύοντας στη συμβολή τους σε στρατηγικές βιολογικού ελέγχου προσαρμοσμένες στα ελληνικά δεδομένα. Ο στόχος αυτός αποσκοπεί στην παραγωγή γνώσης για την πιθανή ενσωμάτωση των EPF σε βιώσιμες γεωργικές πρακτικές, με βάση τοπικά διαθέσιμο βιολογικό υλικό (Vivekanandhan et al., 2024).

Η έρευνα αυτή φιλοδοξεί να καλύψει κρίσιμα επιστημονικά και τεχνολογικά κενά, παρέχοντας πρωτογενή δεδομένα για την παρουσία, την οικολογία και την εντομοπαθογενετική συμπεριφορά των EPF στην Ελλάδα. Παράλληλα, ενισχύει την κατανόηση των αλληλεπιδράσεων μεταξύ μικροκλίματος, εδάφους και μυκητιακής δραστηριότητας, δημιουργώντας τη βάση για την ανάπτυξη εγχώριων και περιβαλλοντικά φιλικών στρατηγικών φυτοπροστασίας.

2. Μέθοδοι και Υλικά

2.1 Εκτροφή εντόμων

2.1.1 Εκτροφή του *Thaumetopoea pityocampa*

Η πιτυοκάμπη, *Thaumetopoea pityocampa* Denis & Schifferrmüller (*Lepidoptera*: Notodontidae) αποτελεί έναν από τους σημαντικότερους δασικούς εχθρούς των πεύκων στην περιοχή της Μεσογείου και χρησιμοποιείται σε μελέτες βιολογικού ελέγχου με EPF (Lagogiannis et al., 2023; Topkara et al., 2025).

Για τις ανάγκες της παρούσας μελέτης, συλλέχθηκαν συνολικά 1.500 προνύμφες του εντόμου από πέντε διαφορετικούς οικοτόπους πευκοδασών του είδους *Pinus nigra* Arn. στον νομό Αχαΐας, στην ευρύτερη περιοχή της Πάτρας, κατά το χρονικό διάστημα Φεβρουάριος - Μάιος 2019. Οι συλλεγμένες προνύμφες μεταφέρθηκαν στο εργαστήριο EMBIA σε πλαστικά δοχεία με ανοίγματα αερισμού που περιείχαν αποστειρωμένη υγρή άμμο, η οποία διατηρούνταν υγρή με εβδομαδιαία διαβροχή, σύμφωνα με καθιερωμένα πρότυπα εκτροφής για *Lepidoptera* (Berardi et al., 2015).

Η σίτιση των προνυμφών πραγματοποιήθηκε με φρέσκες βελόνες πεύκου (*Pinus nigra* Arn.), το κύριο είδος ξενιστή των πληθυσμών της περιοχής, οι οποίες παρέχονταν ανά 1–2 ημέρες. Οι συνθήκες διατήρησης των προνυμφών ήταν σταθερές και ελεγχόμενες, με θερμοκρασία $20 \pm 2^{\circ}\text{C}$, σχετική υγρασία $60 \pm 5\%$ και φωτοπερίοδο 16 ώρες φως : 8 ώρες σκοτάδι, σύμφωνα με τη βιβλιογραφία που προτείνει αυτές τις παραμέτρους για τη βέλτιστη ανάπτυξη και διατήρηση του είδους σε εργαστηριακό περιβάλλον (Er et al., 2017).

Η συγκεκριμένη μέθοδος εκτροφής επιτρέπει τη διατήρηση και αποδοτική παραγωγή προνυμφών για τη μελέτη της παθογένειας EPF και τη δοκιμή νέων βιολογικών σκευασμάτων, όπως επισημαίνουν και οι Er et al. (2007).

2.1.2 Εκτροφή του *Tribolium confusum*

Το σκαθάρι του αλεύρου *Tribolium confusum* Jacquelin du Val (*Coleoptera*: Tenebrionidae) αποτελεί ευρέως χρησιμοποιούμενο εργαστηριακό έντομο για τη μελέτη βιολογικών παραγόντων ελέγχου και έχει αποδειχθεί ιδιαίτερα κατάλληλο για τη χρήση ως έντομο-δόλωμα στον εντοπισμό EPF στο έδαφος (Vega & Kaya, 2012).

Η εκτροφή του είδους πραγματοποιήθηκε σε πλαστικά διαφανή δοχεία, με διάτρητο καπάκι, στα οποία τοποθετήθηκε καθαρό και απολυμασμένο αλεύρι σίτου ολικής

αλέσεως ενισχυμένο με 5% αποξηραμένη μαγιά μύρας, που χρησιμοποιήθηκε ως υπόστρωμα τροφής και ωτοκίας. Η μέθοδος αυτή είναι καθιερωμένη στη βιβλιογραφία για την εκτροφή ειδών αποθηκευμένων προϊόντων και εξασφαλίζει την ομαλή ανάπτυξη των πληθυσμών του εντόμου (Sokoloff, 1977).

Τα ενήλικα άτομα και οι προνύμφες διατηρήθηκαν σε ελεγχόμενες εργαστηριακές συνθήκες θερμοκρασίας $25 \pm 1^{\circ}\text{C}$, σχετικής υγρασίας 60–70% και φωτοπεριόδου 16 ώρες φως : 8 ώρες σκοτάδι. Παρόμοιες συνθήκες εκτροφής έχουν αναφερθεί στη διεθνή βιβλιογραφία ως ιδανικές για τη σταθερή συντήρηση αποικιών *T. confusum* και τη διεξαγωγή πειραμάτων βιολογικού ελέγχου (Sokoloff, 1977).

Η χρήση του *T. confusum* ως έντομο-δόλωμα χαρακτηρίζεται ως ιδιαίτερα αποδοτική, καθώς το είδος παρουσιάζει υψηλή ευαισθησία σε πολλά στελέχη EPF και επιτρέπει τη μαζική και οικονομική παραγωγή εντόμων, γεγονός που το καθιστά ιδανικό για εφαρμογές στη βιολογική καταπολέμηση και τη μελέτη της παθογένειας των EPF.

2.1.3 Εκτροφή του *Sitophilus zeamais*

Το σκαθάρι του αραβοσίτου *Sitophilus zeamais* Motschulsky (Coleoptera: Curculionidae) αποτελεί σημαντικό είδος αναφοράς για εργαστηριακές εφαρμογές και χρησιμοποιήθηκε στην παρούσα μελέτη ως έντομο-δόλωμα για τη διερεύνηση της παρουσίας EPF σε εδαφικά δείγματα (Mantzoukas et al., 2020). Το συγκεκριμένο είδος θεωρείται ιδανικό για τον σκοπό αυτό, καθώς προσβάλλεται εύκολα από διάφορα στελέχη EPF.

Η εκτροφή του *S. zeamais* πραγματοποιήθηκε σε πλαστικά διαφανή δοχεία, με διάτρητο καπάκι, τα οποία περιείχαν καθαρό και απολυμασμένο καλαμπόκι, που χρησιμοποιήθηκε ως υπόστρωμα τροφής και ωτοκίας. Το καλαμπόκι επιθεωρούνταν τακτικά για την αποφυγή επιμολύνσεων και τη διατήρηση καθαρών συνθηκών εκτροφής. Όλα τα έντομα διατηρήθηκαν σε σταθερές εργαστηριακές συνθήκες θερμοκρασίας $30 \pm 1^{\circ}\text{C}$, σχετικής υγρασίας 70% και φωτοπεριόδου 16 ώρες φως : 8 ώρες σκοτάδι, σύμφωνα με καθιερωμένα πρωτόκολλα εκτροφής αποθηκευμένων εντόμων (Kassa et al., 2002).

Η αξιοποίηση του *S. zeamais* ως έντομο-δόλωμα επιτρέπει τη μαζική και αξιόπιστη παραγωγή υγιών εντόμων για τη χρήση σε πειραματικές διαδικασίες απομόνωσης και

αξιολόγησης στελεχών EPF, προσφέροντας ένα χρήσιμο εργαλείο για τη μελέτη της οικολογίας και της βιολογίας των συγκεκριμένων μυκήτων.

2.2 Δειγματοληψία εδαφικών δειγμάτων

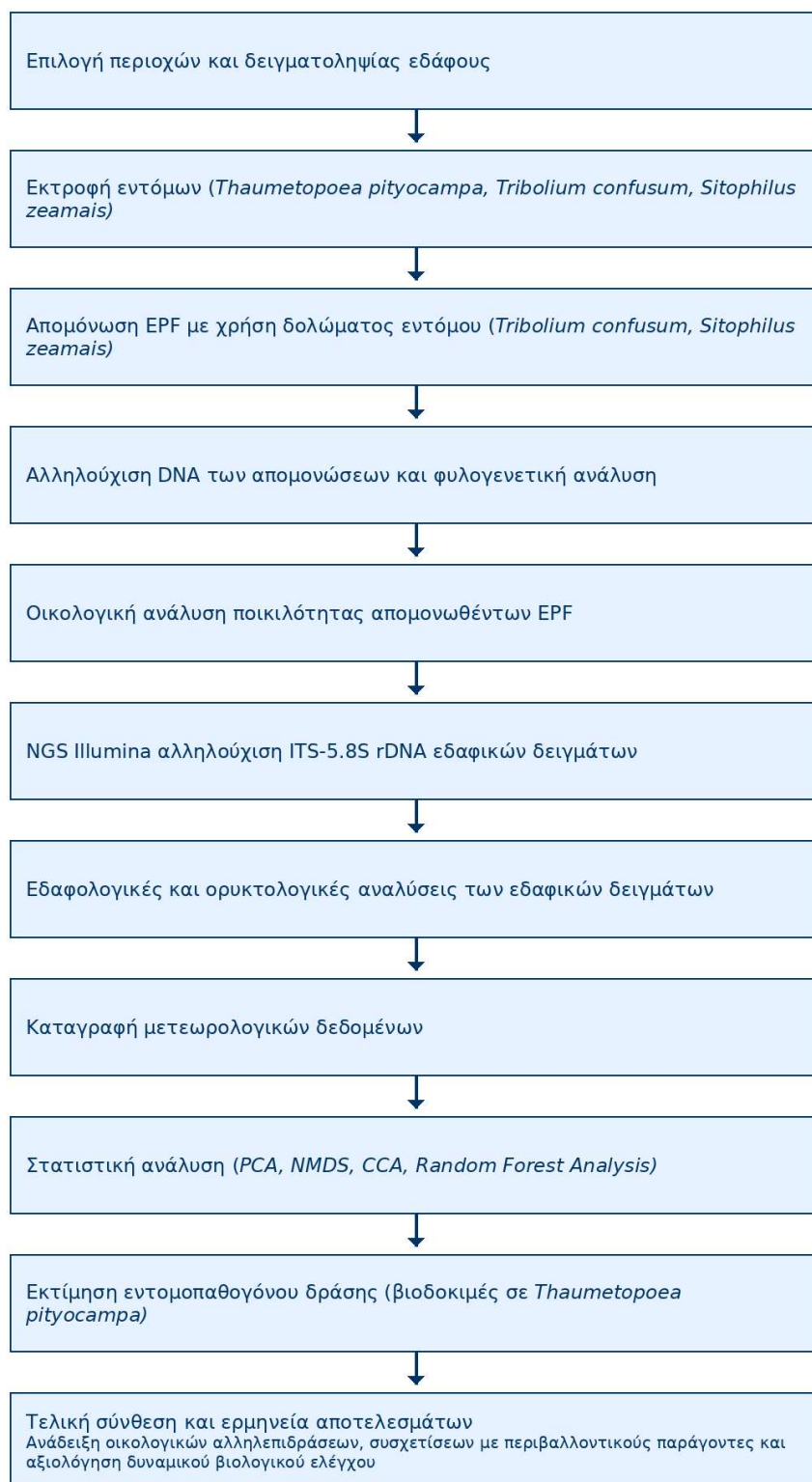
Για την επίτευξη αξιόπιστων συμπερασμάτων σχετικά με την κατανομή EPF, τη σχέση τους με τα χαρακτηριστικά του εδάφους και τη σύνθεση της κοινότητάς τους στους περί-αστικούς χώρους πρασίνου που μελετήθηκαν, είναι απαραίτητη μια συστηματική και αντιπροσωπευτική στρατηγική δειγματοληψίας εδάφους. Επιλέχθηκε η απλή τυχαία δειγματοληψία λόγω της αμερόληπτης προσέγγισής της, διασφαλίζοντας ότι όλες οι περιοχές εντός των χώρων μελέτης να έχουν ίσες πιθανότητες να συμπεριληφθούν (Meyling & Eilenberg, 2006, Chandler et al., 1997, Clifton et al., 2015). Η δειγματοληψία εδάφους πραγματοποιήθηκε εποχιακά για δύο συνεχόμενα έτη σε δύο περί-αστικούς χώρους πρασίνου στην Πάτρα: το Δασύλλιο και το Έλος. Συνολικά συλλέχθηκαν 176 δείγματα εδάφους από 22 τοποθεσίες, από το Δασύλλιο και από το Έλος. Σε κάθε καθορισμένο σημείο, ελήφθησαν δείγματα εδάφους, για διαφορετικές αναλύσεις. Οι χώροι αυτοί παρουσιάζουν διαφορετικά οικολογικά γνωρίσματα, τα οποία επηρεάζουν την εδαφική βιοποικιλότητα και κατ' επέκταση τη δυναμική των εντομοπαθογόνων μυκήτων.

Το Έλος Αγυιάς αποτελεί έναν παράκτιο υδροβιότοπο έκτασης περίπου 225 στρεμμάτων, εκ των οποίων τα 139 στρ. καταλαμβάνει η υδάτινη επιφάνεια και τα υπόλοιπα περιμετρικά τμήματα καλύπτονται από βλάστηση και καλαμιώνες. Ο υγρότοπος τροφοδοτείται από υπόγεια ύδατα καθώς και από τα ρέματα Συχαίων και Βούντενης, διατηρώντας σταθερή υδάτινη στήλη (~40–50 cm) σε πολλά σημεία. Η παρουσία εκτεταμένων καλαμιώνων δημιουργεί ετερογενή μικροενδιαιτήματα, τα οποία φιλοξενούν πλούσια ορνιθοπανίδα, όπως νανοτσικνιάδες, καλαμοποταμίδες, υδρόβια και μεταναστευτικά είδη πάπιας. Παράλληλα, το Έλος λειτουργεί ως φυσικός ρυθμιστής πλημμυρικών φαινομένων και ως «νησίδα» βιοποικιλότητας στον αστικό ιστό. Ωστόσο, υφίσταται σημαντικές ανθρωπογενείς πιέσεις λόγω επιχωματώσεων, έργων ανάπλασης και αντιπυρικών παρεμβάσεων, οι οποίες ενδέχεται να επηρεάσουν τη σταθερότητα του οικοσυστήματος.

Αντιθέτως, το Δασύλλιο αποτελεί περιαστικό άλσος με κυρίαρχη βλάστηση τα πεύκα, τα οποία σχηματίζουν πυκνές δενδρώδεις συστάδες. Η δομή της βλάστησης συμβάλλει

στη ρύθμιση μικροκλιματικών συνθηκών (σκίαση, μείωση θερμοκρασιακών διακυμάνσεων, αύξηση υγρασίας), ενώ παράλληλα το άλσος λειτουργεί ως σημαντικός πνεύμονας πρασίνου για την πόλη, παρέχοντας υπηρεσίες οικοσυστήματος όπως συγκράτηση εδαφών, βελτίωση της ποιότητας του αέρα και δυνατότητες αναψυχής. Στην περιοχή έχουν καταγραφεί φαινόμενα υποβάθμισης, όπως κατολισθήσεις, ύπαρξη ξερής βιομάζας που αυξάνει τον κίνδυνο πυρκαγιών, καθώς και έλλειψη τακτικής διαχείρισης και συντήρησης. Παρά τις πιέσεις αυτές, το Δασύλλιο διατηρεί υψηλή οικολογική σημασία, ενώ η εγγύτητα του στον αστικό ιστό το καθιστά κατάλληλο πεδίο για τη μελέτη της παρουσίας και κατανομής εντομοπαθογόνων μυκήτων.

Το παρακάτω διάγραμμα ροής (σχήμα 3) παρουσιάζει αναλυτικά τη συνολική μεθοδολογική προσέγγιση που υιοθετήθηκε στην παρούσα διδακτορική διατριβή. Η έρευνα ξεκινά με την επιλογή περιοχών και τη δειγματοληψία εδάφους, συνεχίζεται με την εκτροφή και χρήση εντόμων ως δολωμάτων για την απομόνωση εντομοπαθογόνων μυκήτων (EPF). Η μοριακή ταυτοποίηση των απομονώσεων έγινε μέσω PCR (γονίδιο ITS), ακολουθούμενη από αλληλούχιση DNA και φυλογενετική ανάλυση. Παράλληλα, εκτιμήθηκε η οικολογική ποικιλότητα και η εντομοπαθογόνος δράση των απομονωθέντων στελεχών. Εφαρμόστηκε επίσης προηγμένη αλληλούχιση (NGS Illumina) για την ανίχνευση και ανάλυση της παρουσίας μυκήτων στα δείγματα εδάφους. Τα αποτελέσματα συνδυάστηκαν με δεδομένα από εδαφολογικές, ορυκτολογικές και μετεωρολογικές αναλύσεις, και αξιολογήθηκαν στατιστικά με σύγχρονες τεχνικές ανάλυσης (PCA, NMDS, CCA, Random Forest). Η τελική σύνθεση και ερμηνεία των δεδομένων ανέδειξε τις οικολογικές αλληλεπιδράσεις και τους κρίσιμους περιβαλλοντικούς παράγοντες που καθορίζουν τη δυναμική και την εφαρμοσιμότητα των EPF σε προγράμματα βιολογικής καταπολέμησης.



Σχήμα 3. Διάγραμμα ροής βημάτων δειγματοληψίας, ανάλυσης και αξιολόγησης.

2.3 Απομόνωση EPF με δολώματα εντόμων

2.3.1 Δειγματοληψία-Παγίδευση EPF

Στη μελέτη αυτή, χρησιμοποιήσαμε δύο οικονομικά σημαντικά έντομα αποθηκών, το *Tribolium confusum* και το *Sitophilus zeamais*, για να διερευνήσουμε την παρουσία EPF σε δύο περί-αστικούς χώρους πρασίνου στην Πάτρα, Νομός Αχαΐας, Ελλάδα.

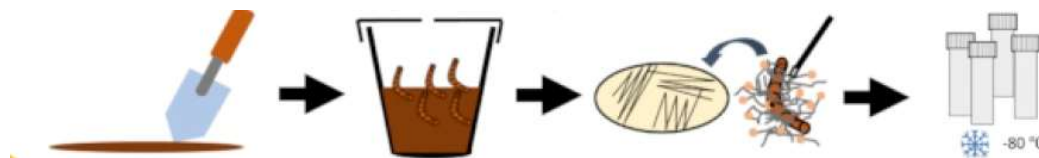
Εποχικά, συλλέχθηκαν δείγματα από 22 τοποθεσίες (σύνολο 176 δείγματα) από δύο περί-αστικούς χώρους πρασίνου στην Πάτρα (εικόνα 1). Σε κάθε τοποθεσία, αφαιρέθηκε το επιφανειακό στρώμα του εδάφους και έγινε δειγματοληψία του εδαφικού στρώματος σε βάθος 10 cm με δειγματολήπτη (εικόνα 2).



Εικόνα 1. Προαστιακές περιοχές στον νομό Αχαΐας από όπου συλλέχθηκαν τα δείγματα εδάφους: Α. Δασύλλιο, Β. Έλος Αγυιάς.

Τα δείγματα, βάρους 1.000 γραμμαρίων το καθένα, συλλέχθηκαν και τοποθετήθηκαν σε πλαστικές σακούλες και στη συνέχεια αποθηκεύτηκαν στους 4°C, μέχρι να μεταφερθούν στο εργαστήριο για περαιτέρω επεξεργασία. Αρχικά, έγινε φυσική ξήρανση μέρους των δειγμάτων εδάφους, για να αποφύγουμε την προσβολή από EPNs. Στη συνέχεια, το χώμα κοσκινίστηκε (κόσκινο μεταλλικό, 2 mm × 1 mm, Aggelis Equipment, Αθήνα, Ελλάδα) και τοποθετήθηκε σε αποστειρωμένα τρυβλία Petri. Σε αυτό το σημείο, εισάχθηκε μια ομάδα δέκα ενηλίκων, ανά είδος, σε καθένα από τα 176 δείγματα εδάφους. Αυτό επαναλήφθηκε δέκα φορές ανά δειγματοληψία, πράγμα που σημαίνει ότι ελέγχθηκαν εκατό άτομα ανά είδος ανά δείγμα εδάφους. Τα ενήλικα τοποθετήθηκαν στην επιφάνεια του εδάφους και το δείγμα εδάφους στο κάθε τρυβλίο είτε αναποδογυρίστηκε ή ανακινήθηκε απαλά κατά διαστήματα για να διασφαλιστεί η έκθεση των ενηλίκων στο έδαφος. Στη συνέχεια, τοποθετήθηκαν σε σκοτεινούς

θαλάμους στους 25 ± 1 °C για δεκατέσσερις ημέρες. Καθημερινά γίνονταν μετρήσεις θνησιμότητας (Lagogiannis et al. 2023).



Εικόνα 2. Απομόνωση με την τεχνική δολώματος εντόμου.

2.3.2 Απομόνωση EPF

Τα νεκρά ενήλικα έντομα βυθίστηκαν σε 6% διάλυμα υποχλωριώδους νατρίου για 3 δευτερόλεπτα, ώστε να αποστειρωθούν (για να αποφευχθεί η ανάπτυξη σαπροφυτικών μυκήτων). Στη συνέχεια τοποθετήθηκαν σε αποστειρωμένα τρυβλία Petri διαμέτρου 9 cm με χαρτί Whatman No. 1 εμποτισμένο με ddH₂O (απεσταγμένο νερό) μέχρι να εμφανιστεί μυκήλιο. Τα έντομα που είχαν εμφανίσει εξωτερική ανάπτυξη μυκηλίου εντοπίστηκαν εξετάζοντας κάθε πτώμα με στερεοσκόπιο Stemi 2000 (Carl Zeiss®, Oberkochen, Γερμανία). Αυτά τα δείγματα διατηρήθηκαν σε σκοτεινούς θαλάμους σε θερμοκρασία 25 ± 1 °C και παρατηρούνταν καθημερινά στο στερεοσκόπιο για να προσδιοριστεί η πιθανή προσβολή από EPF. Κονίδια από τα μολυσμένα ενήλικα τοποθετήθηκαν σε αποστειρωμένα τρυβλία Petri 9 cm σε στρώμα Sabouraud Dextrose Agar (SDA), για την απομόνωση EPF (Mantzoukas et al. 2023).

Τα τρυβλία διατηρήθηκαν σε θερμοκρασία 25 ± 1 °C στο σκοτάδι για να επιτευχθεί η επώαση και η ανάπτυξη των μυκήτων. Όταν αναπτύχθηκαν μύκητες, απομονώθηκαν ξανά για να αποφευχθεί η προσβολή και η μολυσμένη καλλιέργεια. Η προαναφερθείσα διαδικασία πραγματοποιήθηκε σε θάλαμο νηματικής ροής αέρα (Equip Vertical Air Laminar Flow Cabinet Clean Bench, Mechanical Application LTD). Οι απομονωμένοι μύκητες καλλιεργήθηκαν επανειλημμένα σε τρυβλία με Sabouraud Dextrose Agar (SDA) για να διασφαλιστεί η καθαρότητα. Οι απομονωμένοι μύκητες αποθηκεύτηκαν σε καταψύκτη -80 °C, στο αποθετήριο μικροοργανισμών του Εργαστηρίου EMBIA, Τμήμα Φαρμακευτικής, Σχολή Επιστημών Υγείας, Πανεπιστήμιο Πατρών (Lagogiannis et al. 2023).

2.4 Μοριακή Ταυτοποίηση και Φυλογενετική Ανάλυση

2.4.1 Μοριακή Ταυτοποίηση

Το γονιδιωματικό DNA (gDNA) απομονώθηκε χρησιμοποιώντας την τεχνική που περιγράφεται από τους Rogers and Bendich, 1985. Ένα θραύσμα της ITS πολλαπλασιάστηκε χρησιμοποιώντας την καθολική αλληλουχία εκκινητών ITS4 (5' TCCTCCGCTTATTGATATGC-3') και ITS5 (5'-GGAAGTAAAAGTCGTAACAAGG3').

Χρησιμοποιήθηκε, η Taq 2X Master Mix (M0270) (New England Biolabs GmbH, Frankfurt, Germany) για την πραγματοποίηση αντιδράσεων PCR σε όγκο 25 μ L. Οι αντιδράσεις περιείχαν συγκέντρωση 1X Master Mix, 0,5 μ M από κάθε εκκινητή και 50 ng πρότυπου gDNA. Η κύκλοι της PCR για τον πολλαπλασιασμό των περιοχών ITS ήταν 33, καθένας από τους οποίους διήρκεσε 30 δευτερόλεπτα στους 95 °C, 40 δευτερόλεπτα στους 55 °C και 1 λεπτό στους 68 °C, με ένα τελικό στάδιο επιμήκυνσης που διήρκεσε 5 λεπτά στους 68 °C. Τα προϊόντα PCR αποθηκεύτηκαν προσωρινά στους 4 °C. Ηλεκτροφόρηση σε γέλη αгарόζης χρησιμοποιήθηκε για τον προσδιορισμό της ποσότητας και της ποιότητας των προϊόντων PCR. Γέλη αгарόζης 1% χρωματίστηκε με SYBR Safe DNA και τα αποτελέσματα παρατηρήθηκαν υπό υπεριώδες φως (BIO-RAD, Molecular Imager Gel Doc XR System).

2.4.2 Αλληλούχιση και Φυλογενετική Ανάλυση

Τα ενισχυμένα προϊόντα PCR των απομονωθέντων μυκήτων καθαρίστηκαν και υποβλήθηκαν σε αλληλούχιση (sequencing) στην Eurofins Genomics (Ebersberg, Γερμανία). Χρησιμοποιήθηκε το εργαλείο Basic Local Alignment Search Tool (NCBI BLAST) για τη σύγκριση της ομολογίας των αλληλουχιών του μυκητιακού DNA στην παρούσα μελέτη με ομόλογες αλληλουχίες.

Η ευθυγράμμιση των επιλεγμένων αλληλουχιών πραγματοποιήθηκε με χρήση του λογισμικού Muscle. Για την εκτίμηση των εξελικτικών αποστάσεων, εφαρμόστηκε το μοντέλο Jukes–Cantor (JC). Οι αποστάσεις μεταξύ των αλληλουχιών υπολογίστηκαν βάσει της εξίσωσης $D = -3/4 \ln (1 - 4/3p)$, όπου p αντιστοιχεί στην αναλογία διαφορετικών βάσεων μεταξύ δύο ακολουθιών.

Ο υπολογισμός των αποστάσεων οδήγησε στη δημιουργία τετραγωνικού πίνακα, ο οποίος χρησιμοποιήθηκε για την κατασκευή του φυλογενετικού δένδρου με τη μέθοδο Neighbor-Joining (NJ). Η ανάλυση υλοποιήθηκε μέσω γλώσσας προγραμματισμού Python (έκδοση 3.11), με αξιοποίηση των βιβλιοθηκών SciPy, Matplotlib και Pandas. Η διαδικασία εκτελέστηκε κατά βήματα, εξασφαλίζοντας την επαναληψιμότητα και την τεκμηριωμένη τεχνική διαφάνεια της προσέγγισης.

2.4.3 Illumina αλληλούχιση του τμήματος ITS-5.8S rDNA

Η αλληλούχιση του ITS-5.8S rDNA με την τεχνολογία Illumina αποτελεί μια ισχυρή μέθοδο για τον εντοπισμό και την ταξινόμηση ευκαρυωτικών μικροοργανισμών, συμπεριλαμβανομένων των EPF. Η περιοχή ITS-5.8S rDNA, η οποία βρίσκεται μεταξύ των γονιδίων 18S και 26S rRNA, παρουσιάζει υψηλό βαθμό μεταβλητότητας μεταξύ διαφορετικών γενών, καθιστώντας την ιδανική για μοριακή ταυτοποίηση. Η αλληλούχιση με Illumina επιτρέπει την ταυτόχρονη ανάλυση πολλών δειγμάτων, με υψηλή απόδοση και ακρίβεια.

Το DNA εξήχθη από δείγματα εδάφους (ανά εποχή ανά έτος, n=8) χρησιμοποιώντας το σύστημα Wizard Genomic DNA (Promega) σύμφωνα με τις οδηγίες του κατασκευαστή. Η περιοχή ITS-5.8S rDNA ενισχύθηκε με PCR χρησιμοποιώντας τους εκκινητές ITS1 (5'-TCC GTA GGT GAA CCT GCG G-3') και ITS4 (5'-TCC TCC GCT TAT TGA TAT GC-3'). Η αντίδραση PCR πραγματοποιήθηκε με το NEBNext 2x High-Fidelity Master Mix (NEB) και το ακόλουθο πρόγραμμα θερμικών κύκλων: 98°C για 30 δευτερόλεπτα, 98°C για 10 δευτερόλεπτα, 58°C για 30 δευτερόλεπτα και 72°C για 30 δευτερόλεπτα. Ακολούθησε μια τελική επέκταση στους 72°C για 5 λεπτά. Τα προϊόντα PCR καθαρίστηκαν με σφαιρίδια Ampure (Agencourt Bioscience, USA) σύμφωνα με τις οδηγίες του κατασκευαστή. Η αλληλούχιση των καθαρισμένων προϊόντων PCR πραγματοποιήθηκε σε συσκευή Miseq (Illumina) σύμφωνα με τις οδηγίες του κατασκευαστή.

Οι αλληλουχίες διαχωρίστηκαν με το πρόγραμμα CASAVA 1.8 (Illumina) και μόνο τα συμπληρωματικά ζεύγη που διορθώθηκαν για λάθη με το PandaSeq (Masella et al., 2012) διατηρήθηκαν. Αλληλουχίες με ασυνήθιστο μέγεθος (<240 ή >260 bp) ή που δεν ήταν σε ζεύγη απορρίφθηκαν.

Η υπόλοιπη ανάλυση πραγματοποιήθηκε με το πρόγραμμα QIIME 1.9.0 (Caporaso et al., 2010a). Ο εντοπισμός χιμαιρικών αλληλουχιών έγινε με τον αλγόριθμο UCHIME (Edgar et al., 2011) και η ευθυγράμμιση των μη χιμαιρικών αλληλουχιών με το πρόγραμμα PyNAST (Caporaso et al., 2010b).

Η ομαδοποίηση των ευθυγραμμισμένων αλληλουχιών έγινε με το πρόγραμμα USEARCH (Edgar et al., 2011) χρησιμοποιώντας τη βάση δεδομένων NR της NCBI (Pruitt et al., 2007)). Η ταξινόμηση σε OTUs έγινε με τον αλγόριθμο BLAST (Altschul et al., 1990) στη διαδικτυακή πλατφόρμα SILVA 111 (Quast et al., 2012).

Η απεικόνιση της διαφοροποίησης των μικροβιακών κοινοτήτων των δειγμάτων πραγματοποιήθηκε με τη χρήση πολυδιάστατης κλιμάκωσης (MDS) με βάση τη μέθοδο των Brey - Curtis, μη παραμετρικής ανάλυσης PERMANOVA, ανάλυσης dbRDA με το γραμμικό μοντέλο DistLM και PCO με το πρόγραμμα PERMANOVA+ του πακέτου PRIMER 6 (Anderson et al., 2008).

Η αλληλούχιση με Illumina παρείχε έναν μεγάλο όγκο αλληλουχιών υψηλής ποιότητας. Η βιοπληροφορική ανάλυση επέτρεψε την ακριβή ταυτοποίηση και ταξινόμηση των μυκήτων που ήταν παρόντες στα δείγματα. Η τεχνολογία αυτή εντοπίζει ακόμα και μη καλλιεργήσιμους μύκητες, παρέχοντας μια βαθύτερη κατανόηση του σύνθετου μοριακού προφίλ των μυκητιακών κοινοτήτων.

Συνολικά, η αλληλούχιση του ITS-5.8S rDNA με την τεχνολογία Illumina είναι ένα ισχυρό εργαλείο για την ταυτοποίηση και προφίλ και των EPF στα δείγματα του εδάφους. Η προσέγγιση αυτή έχει την προοπτική να συμβάλλει ουσιαστικά στην ταυτοποίηση νέων μυκήτων με δυνητικά εντομοκτόνα χαρακτηριστικά.

2.5 Προσδιορισμός της Εδαφικής Ορυκτολογικής Σύνθεσης

Προκειμένου να κατανοηθεί η πιθανή επίδραση της ορυκτολογικής σύνθεσης του εδάφους στην παρουσία και στη διαφορετικότητα των EPF, διεξήχθη μία λεπτομερής ορυκτολογική ανάλυση στα συλλεχθέντα δείγματα εδάφους.

2.5.1 Προσδιορισμός Μαζικής Ορυκτολογίας

Η περίθλαση ακτίνων-X (XRD) χρησιμοποιήθηκε για τον προσδιορισμό της μαζικής ορυκτολογίας των δειγμάτων εδάφους. Χρησιμοποιήθηκε ένα πεπιθλασιόμετρο Bruker

D8 (Bruker, Billerica, MA, ΗΠΑ) με ακτινοβολία CuKα διηθημένη με Ni (νικέλιο). Οι παράμετροι σάρωσης ήταν ένα διάστημα 2θ από 2-70°, με βήμα γωνίας σάρωσης 0,015° και χρονικό βήμα 0,1s. Η ταυτοποίηση της ορυκτής φάσης πραγματοποιήθηκε χρησιμοποιώντας το λογισμικό DIFFRACplus EVA 12® (Bruker-AXS, Billerica, MA, ΗΠΑ), χρησιμοποιώντας τη βάση δεδομένων ICDD Powder Diffraction File PDF-2 2006. Η ημιποσοτική ανάλυση ορυκτών διεξήχθη με το λογισμικό TOPAS 3.0® (TOPAS MC Inc., Oakland, CA, USA), με βάση τη διαδικασία βελτιστοποίησης της μεθόδου Rietveld (Rietveld, 1969). Τα σφάλματα ποσοτικοποίησης υπολογίστηκαν σύμφωνα με τους Post & Bish, (1989).

2.5.2 Ανάλυση της Αργιλικής Φάσης

Το πηλώδες κλάσμα <2μm διαχωρίστηκε με καθίζηση και αναλύθηκε μέσω περιθλασιμετρίας ακτίνων-X (XRD) για την ταυτοποίηση συγκεκριμένων αργιλοορυκτών. Η ταυτοποίηση των αργιλοορυκτών πραγματοποιήθηκε χρησιμοποιώντας καθιερωμένες διαδικασίες που περιλαμβάνουν κατεργασία με αιθυλενογλυκόλη και θέρμανση στους 490°C για 2 ώρες (Moore & Reynolds, 1989).

Η διαδικασία βασίζεται στον υπολογισμό ενός μοναδικού προτύπου ορυκτής φάσης σύμφωνα με τη κρυσταλλική δομή του αντίστοιχου ορυκτού και στη βελτιστοποίηση του προτύπου χρησιμοποιώντας μια μη γραμμική ρουτίνα ελαχίστων τετραγώνων. Τα σφάλματα ποσοτικοποίησης που υπολογίζονται για κάθε φάση σύμφωνα με τους Post και Bish (1989) εκτιμώνται ότι είναι περίπου ~1%.

Η κατανόηση της ορυκτολογικής σύστασης του εδάφους παρέχει πολύτιμες πληροφορίες σχετικά με το πώς παράγοντες όπως ο τύπος του πηλού και η παρουσία συγκεκριμένων ορυκτών ενδεχομένως αλληλεπιδρούν και δυνητικά επηρεάζουν την οικολογία των EPF (Jaronski, 2007). Η πληροφορία αυτή μπορεί να συνδυαστεί και με τα ευρήματα από την μετέπειτα ανάλυση της μυκητιακής κοινότητας.

2.6 Εδαφολογική Ανάλυση

Για την αποτελεσματική απομόνωση και χρήση των EPF στη βιώσιμη προστασία φυτών, είναι ουσιώδες να κατανοηθούν οι υποκείμενες φυσικοχημικές ιδιότητες του εδάφους.

Αυτές οι ιδιότητες επηρεάζουν τη δυναμική των μυκήτων, την αλληλεπίδρασή τους με τα φυτά και την αποτελεσματικότητά τους ως βιολογικοί παράγοντες ελέγχου.

Για να διασφαλιστεί η αντιπροσωπευτική δειγματοληψία του εδάφους, χρησιμοποιήθηκε η μέθοδος AgroEco S001 (AgroEco, 2021), η οποία επικεντρώθηκε στην καταγραφή ενός εκτενούς αποτυπώματος των φυσικοχημικών χαρακτηριστικών του εδάφους. Αυτό επιτεύχθηκε μέσω συστηματικής δειγματοληψίας από 22 τοποθεσίες σε δύο περί-αστικούς χώρους πρασίνου στην Πάτρα, που διεξήχθη κατά τη διάρκεια τεσσάρων εποχών σε διάστημα δύο ετών, καταλήγοντας σε συνολικά 176 δείγματα εδάφους.

Οι φυσικές ιδιότητες όπως η υγρασία του εδάφους, το ειδικό βάρος και η ικανότητα διατήρησης νερού καθορίστηκαν χρησιμοποιώντας τις μεθόδους AgroEco S007, S010 και S008 (AgroEco, 2021). Αυτές οι ιδιότητες είναι κρίσιμες καθώς επηρεάζουν τη διαθεσιμότητα του νερού για τους μύκητες και τα φυτά, επηρεάζοντας τη βιολογική δραστηριότητα και τη συνολική υγεία του εδάφους (Adamo et al., 2021).

Οι χημικές αναλύσεις περιλάμβαναν τη μέτρηση του pH, της ηλεκτρικής αγωγιμότητας, οργανικής ουσίας και θρεπτικών στοιχείων όπως, άζωτο, φωσφόρος και κάλιο κ.α. (AgroEco S004, S006, S015, S020, S023, S024) (AgroEco, 2021). Η κατανόηση αυτών των χημικών ιδιοτήτων βοηθά στην αξιολόγηση της γονιμότητας του εδάφους και των πιθανών αλληλεπιδράσεων με τους EPF, οι οποίες είναι κρίσιμες για τις αποτελεσματικές βιολογικές στρατηγικές ελέγχου (Sharma et al, 2021).

Η αλληλεπίδραση μεταξύ των ιδιοτήτων του εδάφους και των EPF είναι πολύπλοκη και κρίσιμη για την ανάπτυξη στρατηγικών βιολογικού ελέγχου. Οι συνθήκες του εδάφους επηρεάζουν όχι μόνο την επιβίωση και την αναπαραγωγή των μυκήτων αλλά και την παθογένειά τους έναντι των εχθρών (Bodenhause et al., 2023).

2.7 Μετεωρολογικά Δεδομένα

Τα μετεωρολογικά δεδομένα θεωρήθηκαν καίριας σημασίας για την κατανόηση των πιθανών περιβαλλοντικών επιδράσεων στην κατανομή και τη δραστηριότητα των EPF στους υπό μελέτη περί αστικούς χώρους πρασίνου. Για την αντίστοιχη περίοδο δειγματοληψίας (Άνοιξη 2018 - Χειμώνας 2020), ελήφθησαν δεδομένα από το δίκτυο του Εθνικού Αστεροσκοπείου Αθηνών στην Πάτρα, Ελλάδα.

Λήφθηκαν μετεωρολογικά δεδομένα από τους ακόλουθους σταθμούς εντός της πόλης της Πάτρας: Λιμένας Πατρών 1, Λιμένας Πατρών 2, Προσφυγικά, Αρσάκειο και Πανεπιστήμιο Πατρών. Η επιλογή αυτή των μετεωρολογικών σταθμών εξασφάλισε ευρεία κάλυψη σε όλη την πόλη, περιλαμβάνοντας τους δύο περί-αστικούς χώρους πρασίνου από τους οποίους συλλέχθηκαν τα δείγματα εδάφους.

Για την αντίστοιχη περίοδο δειγματοληψίας, καταγράφηκαν οι ακόλουθες μετεωρολογικές παράμετροι από κάθε σταθμό: Μέση Θερμοκρασία σε $^{\circ}\text{C}$, Συνολική βροχόπτωση σε mm και Μέση ταχύτητα ανέμου σε km/hr.

Οι επιλεγμένες μετεωρολογικές παράμετροι παρέχουν σημαντικές πληροφορίες σχετικά με τα πρότυπα θερμοκρασίας και βροχόπτωσης. Αυτοί οι παράγοντες έχουν τεκμηριωθεί επαρκώς ότι επηρεάζουν την ανάπτυξη, τη σπορογένεση και τη δραστηριότητα των μυκήτων σε εδαφικά περιβάλλοντα (Pandey et al., 2022).

2.8 Εκτίμηση Εντομοπαθογόνου Δράσης EPF κατά των Προνυμφών του *Thaumetopoea pityocampa*

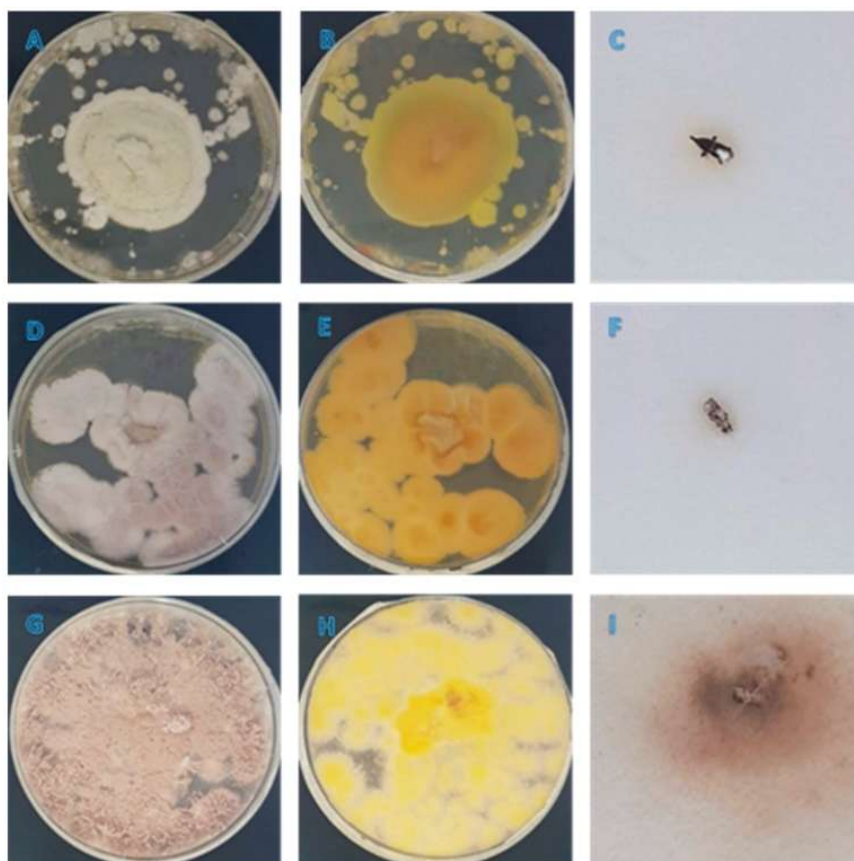
Για την αξιολόγηση του εντομοκτόνου δυναμικού των απομονωθέντων νέων ειδών στην Ελλάδα *B. varroae*, *P. lavendulum* και *C. blackwelliae*, παρασκευάστηκαν εναιωρήματα κονιδίων σε έξι διαβαθμισμένες συγκεντρώσεις (10^3 , 10^4 , 10^5 , 10^6 , 10^7 και 10^8 κονίδια/mL). Δέκα προνύμφες τρίτης ηλικίας του *T. pityocampa*, μετά από επιφανειακή αποστείρωση, ψεκάστηκαν με 10 mL από κάθε εναιώρημα χρησιμοποιώντας πύργο ψεκασμού τύπου Potter (Burkard Manufacturing Co., Ltd., Rickmansworth, Hertfordshire, UK) σε πίεση 1 kgf cm^{-2} . Στη συνέχεια, τοποθετήθηκαν σε αποστειρωμένα δισκία Petri διαμέτρου 9 cm.

Τα πειραματικά άτομα διατηρήθηκαν υπό σταθερές συνθήκες εκτροφής, με παροχή φρέσκων κλαδιών πεύκου κατά βούληση (ad libitum). Οι θάνατοι των προνυμφών καταγράφονταν ανά δύο ημέρες. Για κάθε συγκέντρωση χρησιμοποιήθηκαν δέκα επαναλήψεις (δέκα δισκία Petri). Οι μάρτυρες προνύμφες ψεκάστηκαν μόνο με 10 mL διαλύματος επιφανειοδραστικού παράγοντα (Tergitol NP-9 0,05%).

Τα νεκρά άτομα αφαιρούνταν άμεσα και υποβάλλονταν σε επιφανειακή αποστείρωση με διάλυμα υποχλωριώδους νατρίου 2% για λίγα δευτερόλεπτα, ώστε να αποτραπεί η ανάπτυξη σαπροφυτικών μυκήτων. Ακολούθως, τοποθετούνταν σε συνθήκες σκότους

στους 25 °C για 5–7 ημέρες. Προνύμφες που παρουσίαζαν ανάπτυξη μυκηλίου ταξινομούνταν ως μολυσμένες.

Η αρχική ταυτοποίηση των μυκήτων που απομονώθηκαν από τα νεκρά άτομα πραγματοποιήθηκε με μικροσκοπική παρατήρηση της μορφολογίας των κονιδίων και της υφικής ανάπτυξης. Η ταυτοποίηση επιβεβαιώθηκε περαιτέρω μέσω ανάλυσης PCR.



Εικόνα 3. Καλλιέργειες EPF: *B. varroae* –αποικίας (A) & (B), *B. varroae* σε *S. zeamais* (C). *P. lavendulum* – (D) & (E), *P. lavendulum* σε *S. zeamais* (F). *C. blackwelliae* – (G) & (H), *C. Blackwelliae* σε *S. zeamais* (I).

2.9 Στατιστική Ανάλυση

2.9.1 Στατιστική ανάλυση αποτελεσμάτων απομονωθέντων EPF με δολώματα εντόμων

Η στατιστική προσέγγιση στην ανάλυση των απομονωθέντων EPF και ακολούθησε μια πολυεπίπεδη μεθοδολογική διάταξη, η οποία περιλάμβανε διακριτά αλλά αλληλοσυμπληρούμενα στάδια. Στην αρχική φάση εφαρμόστηκε περιγραφική

στατιστική προκειμένου να αποτυπωθούν τα ποσοτικά χαρακτηριστικά των απομονώσεων κατά χωρική και χρονική διάσταση, με στόχο την ανίχνευση δομικών τάσεων και κανονικοτήτων στην εμφάνιση των μυκήτων.

Κατόπιν, για τη διερεύνηση ενδεχόμενων συσχετίσεων μεταξύ ποιοτικών μεταβλητών, όπως η συχνότητα εντομοπαθογενών στελεχών σε σχέση με το εποχικό ή το γεωγραφικό πλαίσιο, υιοθετήθηκαν οι δοκιμασίες χ^2 (Chi-square) και Fisher's Exact Test, ανάλογα με το μέγεθος των δειγμάτων και την κατανομή των δεδομένων. Σε περιπτώσεις όπου εξεταζόταν η ύπαρξη διαφορών στην ποικιλοότητα μεταξύ δύο κατηγοριών, όπως π.χ. ανάμεσα σε είδη ξενιστών ή περιοχές, χρησιμοποιήθηκε το Mann-Whitney U test. Αντίστοιχα, για συγκρίσεις πολλαπλών εποχών εφαρμόστηκε προσέγγιση pairwise, ώστε να διατηρηθεί η στατιστική ισχύς των αποτελεσμάτων.

Στο επόμενο στάδιο, η οικολογική ανάλυση της ποικιλομορφίας των απομονώσεων αξιοποιήθηκε μέσα από την εφαρμογή δεικτών όπως οι Shannon, Simpson και Evenness, με σκοπό την ποσοτική αποτύπωση της πολυπλοκότητας, της κυριαρχίας και της ισοκατανομής των μυκήτων ανά κατηγορία. Τέλος, η ανίχνευση πολυπαραγοντικών οικολογικών μοτίβων επιτεύχθηκε με τη συνδυαστική εφαρμογή των τεχνικών Ανάλυση Κύριων Συνιστωσών (PCA), μη μετρική πολυδιάστατη κλιμάκωση (NMDS) και Ιεραρχικής Ομαδοποίησης (Cluster Analysis) με μέθοδο συνάθροισης Ward και Ευκλείδεια απόσταση, οι οποίες επέτρεψαν την αποκάλυψη μορφολογικά και λειτουργικά συνεκτικών ομάδων απομονώσεων.

Όλες οι στατιστικές επεξεργασίες και γραφικές αναπαραστάσεις υλοποιήθηκαν στο περιβάλλον Python (έκδοση 3.11), αξιοποιώντας ευρέως χρησιμοποιούμενες βιβλιοθήκες όπως pandas, scipy, scikit-learn, seaborn και matplotlib, εξασφαλίζοντας επαναληψιμότητα, ακρίβεια και τεκμηρίωση των αναλύσεων.

2.9.2 Στατιστική ανάλυση αποτελεσμάτων - Φυλογενετική Ανάλυση

Η φυλογενετική διερεύνηση των απομονώσεων έχει ως στόχο την αποκάλυψη της γενετικής ποικιλομορφίας EPF, οι οποίοι απομονώθηκαν από δείγματα εδάφους και με μέθοδο εντόμου – δολώματος. Η ανάλυση βασίστηκε στην περιοχή ITS, η οποία αποτελεί διεθνώς καθιερωμένο γονιδιακό δείκτη για την ταυτοποίηση μυκήτων.

Αρχικά, οι διαθέσιμες αλληλουχίες ITS, οι οποίες είχαν προκύψει μέσω τεχνολογίας Sanger, υποβλήθηκαν σε ευθυγράμμιση και ομογενοποιήθηκαν ως προς το μήκος τους,

προκειμένου να διασφαλιστεί η ακριβής σύγκριση μεταξύ των ακολουθιών. Τα επεξεργασμένα δεδομένα καταχωρήθηκαν σε μορφή FASTA, διατηρώντας τη δυνατότητα αξιοποίησης τους σε υπολογιστικά εργαλεία φυλογενετικής ανάλυσης.

Για την εκτίμηση των εξελικτικών αποστάσεων, εφαρμόστηκε το μοντέλο Jukes - Cantor (JC), το οποίο υποθέτει ίσες πιθανότητες αντικατάστασης μεταξύ όλων των ζευγών βάσεων. Το συγκεκριμένο μοντέλο είναι ιδιαίτερος κατάλληλος για γονιδιακές περιοχές με περιορισμένο κορεσμό μεταλλάξεων, όπως η περιοχή ITS. Οι αποστάσεις μεταξύ των αλληλουχιών υπολογίστηκαν βάσει της εξίσωσης $D = -3/4 \ln(1 - 4/3p)$, όπου p αντιστοιχεί στην αναλογία διαφορετικών βάσεων μεταξύ δύο ακολουθιών. Στις περιπτώσεις όπου η εφαρμογή της εξίσωσης οδηγούσε σε μη αριθμητικά αποδεκτά αποτελέσματα (non-finite values), υιοθετήθηκε συμβατικά η τιμή $D = 5,0$, ώστε να διατηρηθεί η πληρότητα και η λειτουργικότητα του πίνακα αποστάσεων.

Ο υπολογισμός των αποστάσεων οδήγησε στη δημιουργία τετραγωνικού πίνακα, ο οποίος χρησιμοποιήθηκε για την κατασκευή του φυλογενετικού δένδρου με τη μέθοδο Neighbor-Joining (NJ). Η ανάλυση υλοποιήθηκε μέσω γλώσσας προγραμματισμού Python (έκδοση 3.11), με αξιοποίηση των βιβλιοθηκών SciPy, Matplotlib και Pandas. Η διαδικασία εκτελέστηκε κατά βήματα, εξασφαλίζοντας την επαναληψιμότητα και την τεκμηριωμένη τεχνική διαφάνεια της προσέγγισης.

Τα αποτελέσματα της φυλογενετικής ανάλυσης απεικονίστηκαν μέσω διαφόρων σχηματικών παραστάσεων. Πιο συγκεκριμένα, δημιουργήθηκαν φυλογενετικά δέντρα, ιστόγραμμα και καμπύλες πυκνότητας της κατανομής των γενετικών αποστάσεων, καθώς και διαγράμματα τύπου boxplot που αποτυπώνουν την ενδό-ομαδική ποικιλότητα ανά φυλογενετική ομάδα (clade), όπως αυτές προέκυψαν από την τοπολογία των δένδρων.

2.9.3 Στατιστική ανάλυση αποτελεσμάτων Illumina αλληλούχισης του τμήματος ITS-5.8S rDNA

Για την ανάλυση των δεδομένων που προέκυψαν από την αλληλούχιση επόμενης γενιάς (NGS, πλατφόρμα Illumina) καθώς και την καταγραφή περιβαλλοντικών και εδαφικών μεταβλητών, εφαρμόστηκε μία πολυεπίπεδη και ολοκληρωμένη στατιστική προσέγγιση. Στόχος ήταν η διερεύνηση της εποχικής και ετήσιας μεταβλητότητας της παρουσίας EPF, της οικολογικής διαφοροποίησης μεταξύ των επιμέρους ειδών, της σχέσης της

παρουσίας των EPF με περιβαλλοντικούς και εδαφικούς παράγοντες, καθώς και της δυναμικής πολυμορφίας της κοινότητας των EPF σε διαφορετικά χρονικά σημεία.

2.9.3.1 Περιγραφική Στατιστική Ανάλυση

Αρχικά, πραγματοποιήθηκε υπολογισμός βασικών περιγραφικών στατιστικών δεικτών για τη συνολική παρουσία των EPF (%) και για κάθε είδος μεμονωμένα, τόσο ανά εποχή όσο και ανά έτος. Οι δείκτες που υπολογίστηκαν περιλάμβαναν: τη μέση τιμή (mean), τη διάμεσο (median), την τυπική απόκλιση (standard deviation) και τις ελάχιστες και μέγιστες τιμές (min, max).

Η γραφική απεικόνιση των δεδομένων πραγματοποιήθηκε με τη χρήση διαγραμμάτων boxplot ή barplot, τα οποία ανέδειξαν τις διακυμάνσεις στις μελετώμενες παραμέτρους.

2.9.3.2 Έλεγχοι Κανονικότητας και Συγκρίσεις Ομάδων

Για κάθε μελετώμενη μεταβλητή διενεργήθηκε έλεγχος κανονικότητας μέσω της δοκιμασίας Shapiro–Wilk, σύμφωνα με το πρωτόκολλο των Shapiro και Wilk (1965). Σε περιπτώσεις όπου τα δεδομένα δεν ακολούθησαν την κανονική κατανομή, εφαρμόστηκε η μη παραμετρική δοκιμή Kruskal–Wallis για τη σύγκριση της παρουσίας των EPF συνολικά και ανά είδος μεταξύ εποχών και ετών (Kruskal & Wallis, 1952). Όταν διαπιστώθηκαν στατιστικώς σημαντικές διαφορές ($p < 0,05$), πραγματοποιήθηκε περαιτέρω ανάλυση με τη μέθοδο Dunn's post-hoc και διόρθωση πολλαπλών συγκρίσεων με τη μέθοδο Bonferroni.

2.9.3.3 Συσχετίσεις με Περιβαλλοντικούς και Εδαφολογικούς Παράγοντες

Η μελέτη των σχέσεων μεταξύ της παρουσίας των EPF (συνολικά και ανά γένος) και των περιβαλλοντικών και εδαφικών μεταβλητών πραγματοποιήθηκε μέσω του συντελεστή συσχέτισης Spearman (Spearman, 1904). Τα αποτελέσματα απεικονίστηκαν με τη χρήση θερμικών χαρτών (heatmaps) και διαγραμμάτων διασποράς (scatterplots).

2.9.3.4 Μοντέλα Πρόβλεψης Παρουσίας Γενών EPF

Για την κατανόηση των παραγόντων που επηρεάζουν την παρουσία κάθε γένους EPF και την πρόβλεψη της εμφάνισής τους, εφαρμόστηκαν δύο μοντελοποιητικές προσεγγίσεις:

Random Forest Regression (Breiman, 2001), για την εκτίμηση της σχετικής σημαντικότητας των ανεξάρτητων μεταβλητών. Στην παρούσα μελέτη χρησιμοποιήθηκε Random Forest Regression (sklearn library, Python 3.11, αριθμός δέντρων 1000, μέγιστο βάθος χωρίς περιορισμό, Min_samples_split 2, Min_samples_leaf 1, Cross-validation 5-fold, μετρικές αξιολόγησης: R^2 , RMSE) για να μοντελοποιηθεί η λογαριθμισμένη σχετική αφθονία του κάθε γένους ως συνάρτηση των εδαφικών-κλιματικών παραμέτρων.

Η Canonical Correlation Analysis (CCA) είναι πολυμεταβλητή μέθοδος κατάταξης που συνδέει άμεσα τη σύνθεση κοινοτήτων με περιβαλλοντικούς παράγοντες. Θεωρεί ότι κάθε taxon εμφανίζει μονοκορυφική (unimodal) απόκριση κατά μήκος κλιμάκων, επομένως εντοπίζει άξονες που μεγιστοποιούν τον κανονικό συσχετισμό ανάμεσα σε γραμμικούς συνδυασμούς των μεταβλητών και των κέντρων βάρους των γενών. Στη διατριβή, η CCA εφαρμόστηκε (R/vegan) στον πίνακα ποσοστιαίας αφθονίας μυκητιακών γενών και στο τυποποιημένο σύνολο εδαφικών-κλιματικών μεταβλητών· η σημαντικότητα των αξόνων και των επιμέρους παραγόντων ελέγχθηκε με 999 τυχαιοποιήσεις (Monte-Carlo, $p < 0,05$).

2.9.3.5 Ανάλυση Πολυμορφίας της Κοινότητας (Δείκτες Βιοποικιλότητας)

Η εκτίμηση της βιοποικιλότητας της κοινότητας των EPF πραγματοποιήθηκε μέσω του υπολογισμού των ακόλουθων δεικτών: Shannon Diversity Index (H'), Simpson Index ($1-D$) και Pielou's Evenness (J').

Οι διαφορές στους δείκτες μεταξύ εποχών και ετών αξιολογήθηκαν με τη δοκιμή Kruskal–Wallis, ενώ οι σχέσεις των δεικτών με περιβαλλοντικούς παράγοντες διερευνήθηκαν μέσω συσχετίσεων Spearman.

2.9.3.6 Πολυμεταβλητές Αναλύσεις της Κοινότητας

Η σύνθεση της κοινότητας μελετήθηκε περαιτέρω με πολυμεταβλητές αναλυτικές τεχνικές. Cluster Analysis, για την ανίχνευση προτύπων παρουσίας μεταξύ των δειγμάτων και Mantel Test, για τη διερεύνηση της συσχέτισης μεταξύ κοινοτικής σύνθεσης (Bray–Curtis αποστάσεις) και διαφορών στις περιβαλλοντικές παραμέτρους.

2.9.3.7 Λογισμικά και Στατιστικά Εργαλεία

Όλες οι στατιστικές αναλύσεις και γραφικές απεικονίσεις πραγματοποιήθηκαν με τη χρήση, Python 3.11 (βιβλιοθήκες: pandas, scipy, sklearn, statsmodels, matplotlib, seaborn), R 4.2 (για επιμέρους συμπληρωματικές αναλύσεις). Η στατιστική σημαντικότητα καθορίστηκε στο επίπεδο $p < 0,05$, εκτός αν αναφέρεται διαφορετικά.

2.9.4 Στατιστική Ανάλυση Αποτελεσμάτων Παθογενικότητας

Για τη σύγκριση των μέσων ποσοστών θνησιμότητας των προνυμφών του *Thaumetopoea pityocampa*, πραγματοποιήθηκε ανάλυση διασποράς (ANOVA), με βασικούς παράγοντες το είδος του EPF, τη συγκέντρωση των κονιδίων και τον χρόνο έκθεσης.

Όπου κρίθηκε απαραίτητο, τα πειραματικά δεδομένα υπέστησαν μετασχηματισμό κατά τόξοημίτονο (arcsine transformation), ώστε να πληρούνται οι προϋποθέσεις εφαρμογής παραμετρικών μεθόδων, διασφαλίζοντας την ομοιομορφία της διακύμανσης μεταξύ των ομάδων.

Για την ανίχνευση στατιστικά σημαντικών διαφορών μεταξύ των επιπέδων των παραγόντων εφαρμόστηκε της δοκιμασίας πολλαπλών συγκρίσεων Tukey, με επίπεδο στατιστικής σημαντικότητας ορισμένο στο $p = 0,05$.

Όλες οι στατιστικές αναλύσεις πραγματοποιήθηκαν με χρήση του λογισμικού SPSS (SPSS, Inc., Chicago, IL, USA, έκδοση 23), (IBM, 2020).

3. ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ

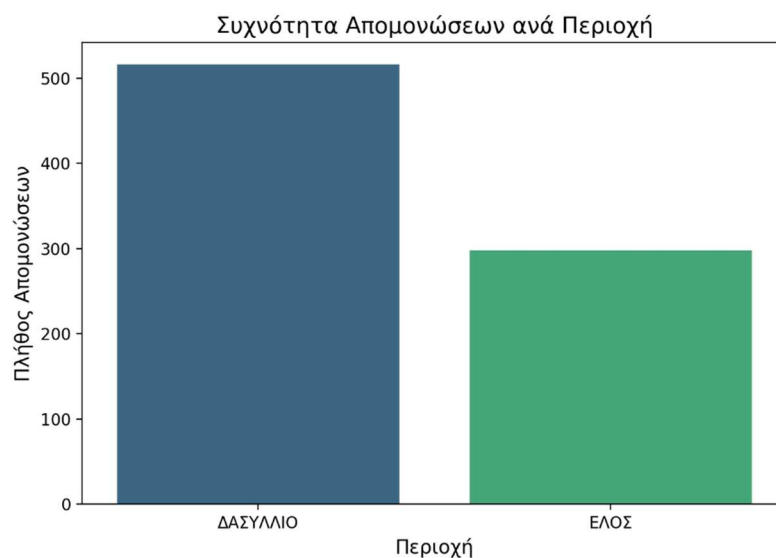
3.1 Απομονώσεις EPF με την μέθοδο εντόμων – δολωμάτων

3.1.1 Περιγραφική Στατιστική Ανάλυση του συνόλου των απομονώσεων

Η συνολική κατανομή των 814 απομονώσεων EPF και δυνητικά EPF στις δύο εξεταζόμενες περιοχές ανέδειξε σαφή γεωγραφική τάση συγκέντρωσης σε μία εξ αυτών. Η γεωγραφική κατανομή των απομονώσεων αναδεικνύει ως κυρίαρχη περιοχή το Δασύλλιο, από το οποίο προήλθαν 516 απομονώσεις (63,4%), ενώ από την περιοχή του Έλους καταγράφηκαν 298 απομονώσεις (36,6%) (πίνακας 2, σχήμα 4). Όσον αφορά το είδος του ξενιστή, οι απομονώσεις από το *T. confusum* ανέρχονται σε 418 (51,4%), ενώ εκείνες από το *S. zeamais* σε 396 (48,6%) (πίνακας 3, σχήμα 5).

Πίνακας 2. Συχνότητα απομονώσεων ανά περιοχή.

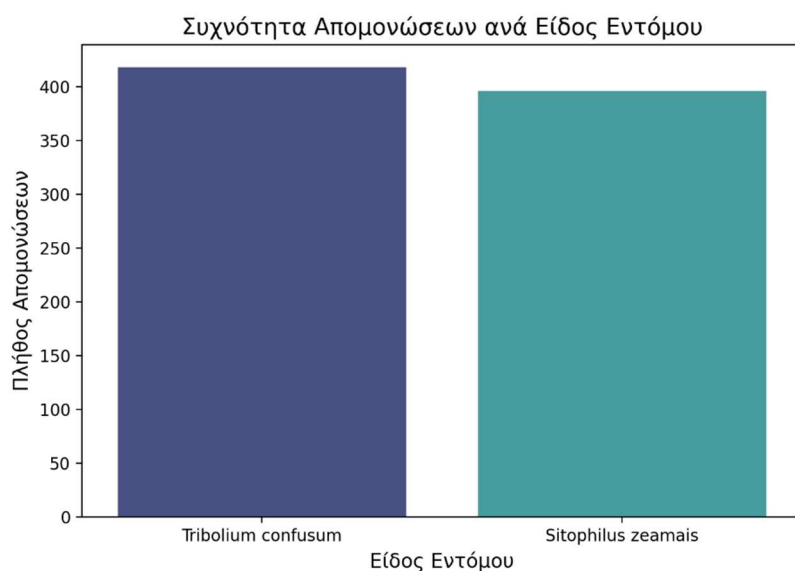
Περιοχή	Πλήθος Απομονώσεων
ΔΑΣΥΛΛΙΟ	516
ΕΛΟΣ	298



Σχήμα 4. Συχνότητα απομονώσεων ανά περιοχή.

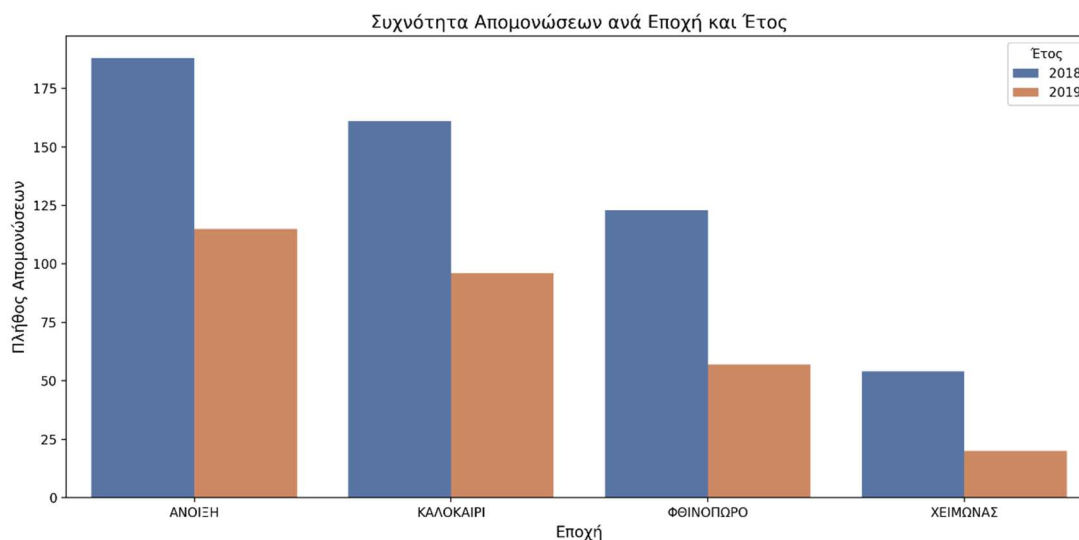
Πίνακας 3. Συχνότητα απομονώσεων ανά είδος εντόμου.

Είδος Εντόμου	Πλήθος Απομονώσεων
<i>Tribolium confusum</i>	418
<i>Sitophilus zeamais</i>	396



Σχήμα 5. Συχνότητα απομονώσεων ανά είδος εντόμου.

Η εποχιακή και ετήσια ανάλυση καταδεικνύει μεγαλύτερη συχνότητα απομονώσεων το έτος 2018 σε όλες τις εποχές σε σύγκριση με το 2019. Η άνοιξη του 2018 παρουσίασε τον μεγαλύτερο αριθμό απομονώσεων (188), ενώ η χειμερινή περίοδος του 2019 κατέγραψε τον χαμηλότερο (20). Η καλοκαιρινή περίοδος του 2018 ακολουθεί με 161 απομονώσεις, ενώ το φθινόπωρο των ετών 2018 και 2019 παρουσίασε 123 και 57 απομονώσεις, αντίστοιχα (πίνακας 4, σχήμα 6).



Σχήμα 6. Συχνότητα απομονώσεων ανά εποχή και έτος.

Πίνακας 4. Εποχιακή και ετήσια συχνότητα απομονώσεων.

ΕΠΟΧΗ	ΕΤΟΣ	Συχνότητα Απομονώσεων
ΑΝΟΙΞΗ	2018	188
ΑΝΟΙΞΗ	2019	115
ΚΑΛΟΚΑΙΡΙ	2018	161
ΚΑΛΟΚΑΙΡΙ	2019	96
ΦΘΙΝΟΠΩΡΟ	2018	123
ΦΘΙΝΟΠΩΡΟ	2019	57
ΧΕΙΜΩΝΑΣ	2018	54
ΧΕΙΜΩΝΑΣ	2019	20

Η αυξημένη παρουσία απομονώσεων στο Δασύλλιο υποδηλώνει ότι το εν λόγω οικοσύστημα προσφέρει πιο ευνοϊκές περιβαλλοντικές συνθήκες για την ανάπτυξη και επιβίωση EPF. Η ισοκατανομή μεταξύ των δύο ειδών εντόμων-ξενιστών υποδηλώνει τη συμβολή και των δύο στη διατήρηση και διάδοση της εντομοπαθογόνου μικροχλωρίδας στην περιοχή μελέτης.

Η φθίνουσα τάση στις απομονώσεις κατά το 2019 ενδέχεται να συνδέεται με μεταβλητούς περιβαλλοντικούς παράγοντες, όπως οι κλιματικές συνθήκες ή η διαθεσιμότητα των ξενιστών (Meyling & Eilenberg, 2007). Η ενισχυμένη δραστηριότητα απομονώσεων κατά την άνοιξη και το καλοκαίρι πιθανώς σχετίζεται με την αυξημένη δραστηριότητα των εντόμων και τις επικρατούσες συνθήκες υγρασίας που ευνοούν την ανάπτυξη των μυκήτων (Quesada-Moraga et al., 2024).

Τα δεδομένα καταδεικνύουν ότι η τοποθεσία συλλογής (Δασύλλιο) ίσως αποτελεί καθοριστικό παράγοντα για την επιτυχή απομόνωση EPF. Η εποχικότητα επίσης επιδρά καθοριστικά στη συχνότητα απομονώσεων, με τις ανοιξιάτικες και καλοκαιρινές περιόδους να παρουσιάζουν τη μεγαλύτερη δραστηριότητα. Η σχεδόν ίση κατανομή μεταξύ των δύο ειδών ξενιστών υπογραμμίζει τη σημασία και των δύο στην οικολογική ισορροπία και τη διατήρηση του πληθυσμού των EPF.

Η μείωση των απομονώσεων το 2019 ενισχύει την ανάγκη περαιτέρω διερεύνησης των βιολογικών και περιβαλλοντικών παραμέτρων που επηρεάζουν τη δυναμική των μυκήτων αυτών. Τα ευρήματα αυτά τεκμηριώνουν τη σημασία της διατήρησης φυσικών οικοσυστημάτων, ως πηγές EPF για εφαρμογές βιολογικής καταπολέμησης (Quesada-Moraga et al., 2007; Mantzoukas et al., 2022). Η κατανόηση της εποχικής και χωρικής κατανομής των απομονώσεων μπορεί να αξιοποιηθεί για τον σχεδιασμό και την ενίσχυση στρατηγικών ολοκληρωμένης διαχείρισης επιβλαβών εντόμων σε αγρό-οικολογικά συστήματα.

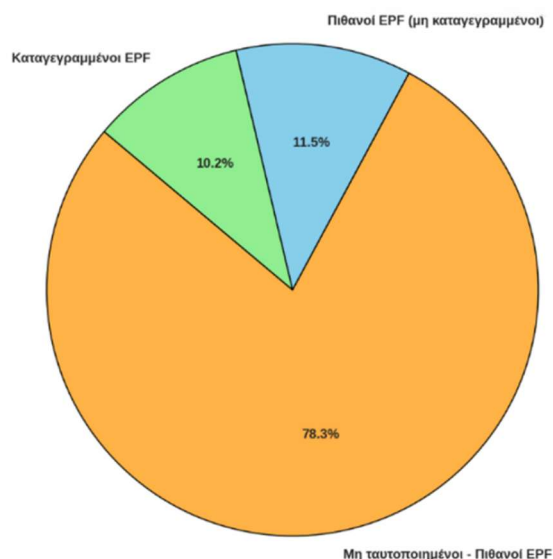
Αξιοσημείωτο είναι ότι η πλειονότητα των απομονώσεων κατατάσσεται στην κατηγορία "Μη ταυτοποιημένοι - Πιθανοί EPF " (πίνακας 5, σχήμα 7), γεγονός που αναδεικνύει την ύπαρξη σημαντικής μικροβιακής ποικιλομορφίας η οποία παραμένει ανεξερεύνητη, κυρίως λόγω του κόστους που συνεπάγεται η μοριακή ταυτοποίηση. Επιπλέον, 83 απομονώσεις αντιστοιχούν σε καταγεγραμμένους EPF μικροοργανισμούς και 94 σε πιθανούς EPF.

Η υψηλή αναλογία πιθανών EPF, αποτελεί σαφή ένδειξη ύπαρξης ενός πλούσιου και ανεξερεύνητου ενδογενούς μικροβιώματος των εντόμων, το οποίο ενδέχεται να διαθέτει αξιόλογες βιολογικές ιδιότητες. Η περαιτέρω μοριακή ταυτοποίησή τους κρίνεται αναγκαία για την πλήρη αξιολόγηση του βιοελεγκτικού τους δυναμικού και την πιθανή ενσωμάτωσή τους σε προγράμματα βιολογικής καταπολέμησης.

Πίνακας 5. Κατανομή απομονώσεων.

Κατηγορίες Εντομοπαθογόνου Ταυτοποίησης	Αριθμός Απομονώσεων
Μη ταυτοποιημένοι - Πιθανοί EPF	637
Πιθανοί EPF (μη καταγεγραμμένοι)	94
Καταγεγραμμένοι EPF	83

Κατανομή Απομονώσεων με την Μέθοδο Εντόμων - δολωμάτων



Σχήμα 7. Απομονώσεις που προέκυψαν με την μέθοδο εντόμων – δολωμάτων.

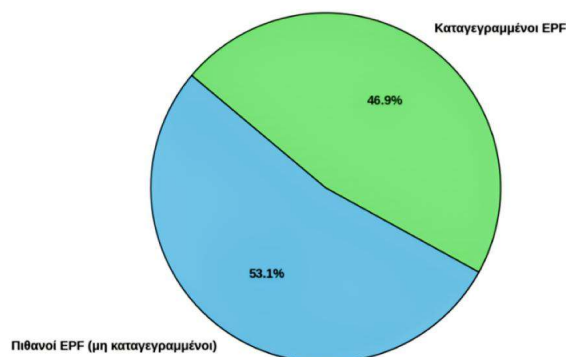
3.1.2 Περιγραφική Στατιστική Ανάλυση των ταυτοποιηθέντων απομονώσεων

Μέσω πλήρως τυχαίας δειγματοληψίας, η μοριακή ταυτοποίηση των απομονώσεων μέσω PCR ανέδειξε συνολικά 177 ταυτοποιημένες περιπτώσεις. Η κατανομή τους σε δύο βασικές κατηγορίες τεκμηρίωσης προσφέρει σημαντικά οικολογικά και εφαρμοσμένα συμπεράσματα. Συγκεκριμένα, ένα αξιοσημείωτο ποσοστό των ταυτοποιημένων στελεχών αντιστοιχεί σε "Πιθανούς" EPF, ένδειξη της ύπαρξης λιγότερο μελετημένων ή εν δυνάμει νέων ειδών με παθογενετική δράση έναντι των εντόμων (πίνακας 6, σχήμα 8). Η κατηγορία των "Καταγεγραμμένων" EPF, αν και αριθμητικά μικρότερη, επιβεβαιώνει την αξιοπιστία της προσέγγισης και την παρουσία τεκμηριωμένων βιολογικών παραγόντων στο δείγμα.

Πίνακας 6. Κατανομή απομονώσεων στους ταυτοποιημένους μύκητες.

Κατηγορία Εντομοπαθογένειας	Ποσοστό (%)
Πιθανοί EPF (μη καταγεγραμμένοι)	53,1
Καταγεγραμμένοι EPF	46,9

Ποσοστά Απομονώσεων στους Ταυτοποιημένους Μύκητες



Σχήμα 8. Ποσοστά απομονώσεων των ταυτοποιηθέντων μυκήτων.

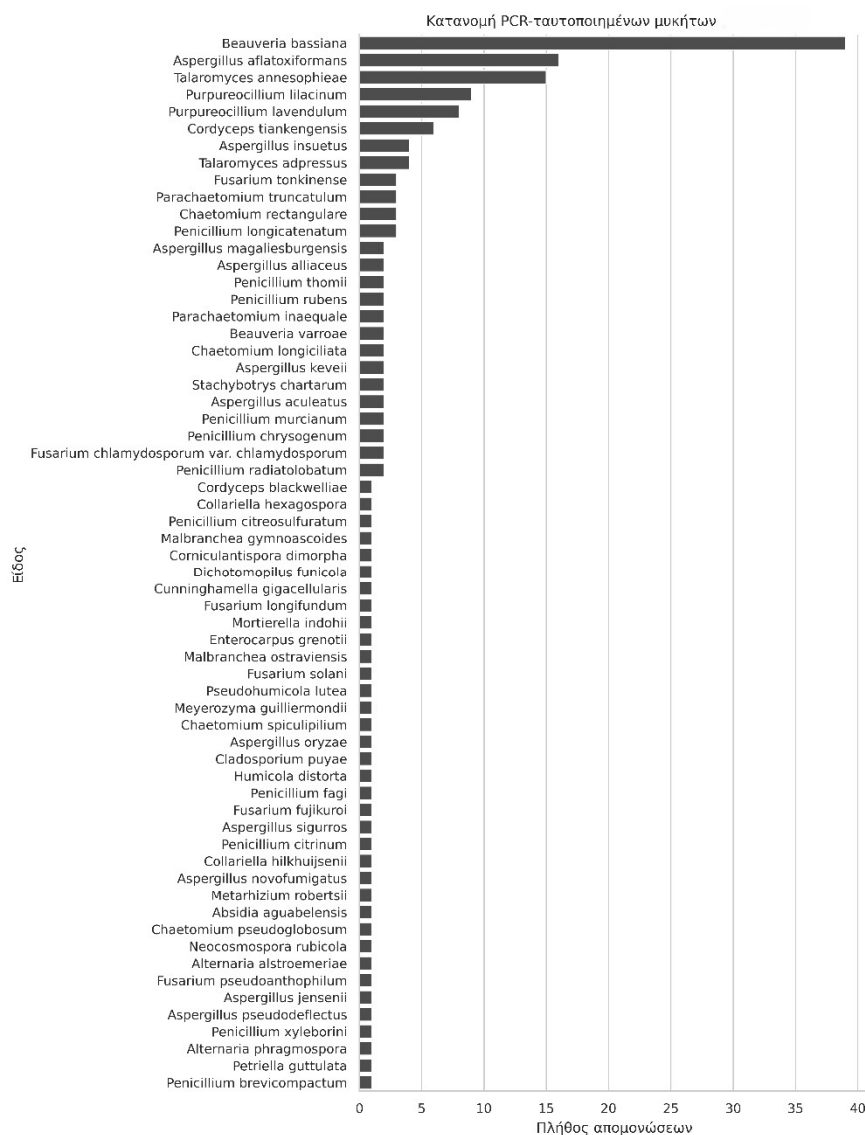
Από αγρό-οικολογική σκοπιά, η ανάδειξη "πιθανών" EPF υπογραμμίζει το ανεκμετάλλευτο δυναμικό της φυσικής μικροχλωρίδας ως πηγή νέων βιοπαραγόντων. Η αξιοποίησή τους θα μπορούσε να συμβάλει στην ανάπτυξη εναλλακτικών, φιλικών προς το περιβάλλον στρατηγικών φυτοπροστασίας.

Η ανάλυση της κατανομής των ταυτοποιημένων απομονώσεων ανά είδος μύκητα αποκάλυψε μεγαλύτερη συχνότητα σε είδη όπως τα *B. bassiana*, *Aspergillus aflatoxiformans* και *Talaromyces annesophieae* (πίνακας 7, σχήμα 9). Η παρουσία του *B. bassiana*, ενός τεκμηριωμένου EPF, όχι μόνο επιβεβαιώνει τη μεθοδολογική εγκυρότητα, αλλά παράλληλα αναδεικνύει το εφαρμοστικό δυναμικό αυτών των μυκήτων. Η συχνή εμφάνιση συγκεκριμένων ειδών πιθανόν αντανακλά την οικολογική τους προσαρμογή σε ειδικά μικρό-περιβάλλοντα ή ξενιστές και τους καθιστά υποψήφιους για βιοτεχνολογική αξιοποίηση, μέσω *in vitro* βιοδοκιμών ή παραγωγής μυκοεντομοκτόνων.

Πίνακας 7. Κατανομή ταυτοποιηθέντων μυκήτων (PCR-Ταυτοποιημένοι).

Μύκητας (PCR)	Πλήθος Απομονώσεων
<i>Beauveria bassiana</i>	39
<i>Aspergillus aflatoxiformans</i>	16
<i>Talaromyces annesophieae</i>	15
<i>Purpureocillium lilacinum</i>	9
<i>Purpureocillium lavendulum</i>	8
<i>Cordyceps tiankengensis</i>	6
<i>Aspergillus insuetus</i>	4
<i>Talaromyces adpressus</i>	4
<i>Penicillium longicatenatum</i>	3
<i>Chaetomium rectangulare</i>	3
<i>Fusarium tonkinense</i>	3
<i>Parachaetomium truncatulum</i>	3
<i>Penicillium chrysogenum</i>	2
<i>Penicillium murcianum</i>	2
<i>Stachybotrys chartarum</i>	2
<i>Fusarium chlamydosporum</i> var. <i>chlamydosporum</i>	2
<i>Penicillium radiatolobatum</i>	2
<i>Aspergillus aculeatus</i>	2
<i>Aspergillus keveii</i>	2
<i>Aspergillus magaliesburgensis</i>	2
<i>Beauveria varroae</i>	2
<i>Chaetomium longiciliata</i>	2
<i>Parachaetomium inaequale</i>	2
<i>Penicillium rubens</i>	2
<i>Penicillium thomii</i>	2
<i>Aspergillus alliaceus</i>	2
<i>Aspergillus sigurros</i>	1
<i>Penicillium citrinum</i>	1
<i>Collariella hilkhuijsenii</i>	1
<i>Aspergillus novofumigatus</i>	1
<i>Metarhizium robertsii</i>	1
<i>Humicola distorta</i>	1
<i>Absidia aguabelensis</i>	1
<i>Chaetomium pseudoglobosum</i>	1
<i>Neocosmospora rubicola</i>	1
<i>Alternaria alstroemeriae</i>	1
<i>Fusarium pseudoanthophilum</i>	1
<i>Aspergillus jensenii</i>	1
<i>Aspergillus pseudodeflectus</i>	1
<i>Penicillium xyleborini</i>	1
<i>Alternaria phragmospora</i>	1
<i>Petriella guttulata</i>	1
<i>Fusarium fujikuroi</i>	1

Μύκητας (PCR)	Πλήθος Απομονώσεων
<i>Penicillium fagi</i>	1
<i>Malbranchea ostraviensis</i>	1
<i>Cladosporium puyae</i>	1
<i>Collariella hexagospora</i>	1
<i>Penicillium citreosulfuratum</i>	1
<i>Malbranchea gymnoascoides</i>	1
<i>Corniculantispora dimorpha</i>	1
<i>Dichotomopilus funicola</i>	1
<i>Cunninghamella gigacellularis</i>	1
<i>Fusarium longifundum</i>	1
<i>Cordyceps blackwelliae</i>	1
<i>Mortierella indohii</i>	1
<i>Enterocarpus grenotii</i>	1
<i>Fusarium solani</i>	1
<i>Pseudohumicola lutea</i>	1
<i>Meyerozyma guilliermondii</i>	1
<i>Chaetomium spiculipilium</i>	1
<i>Aspergillus oryzae</i>	1
<i>Penicillium brevicompactum</i>	1

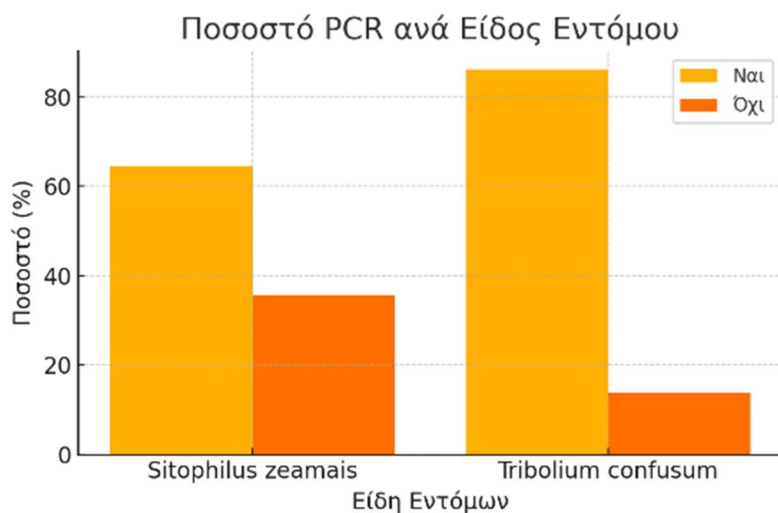


Σχήμα 9. Κατανομή ταυτοποιημένων μυκήτων (PCR).

Η σύγκριση των ποσοστών των ταυτοποιηθέντων απομονώσεων μεταξύ των δύο ειδών ξενιστών (*S. zeamais* και *T. confusum*) δεν αποκάλυψε στατιστικά σημαντικές διαφορές (πίνακας 8, σχήμα 10). Η παρόμοια κατανομή θετικών απομονώσεων στα δύο είδη υποδεικνύει ότι αμφότερα μπορούν να φιλοξενήσουν ένα ευρύ φάσμα EPF, ενισχύοντας τη στρατηγική ανάπτυξης πολυστόχων βιολογικών παραγόντων για χρήση σε φυτοπροστατευτικά συστήματα.

Πίνακας 8. Ποσοστό PCR ανά είδος εντόμου.

ΕΙΔΟΣ ΕΝΤΟΜΟΥ	ΝΑΙ	ΟΧΙ
<i>Sitophilus zeamais</i>	64,3939E+15	35,6E+15
<i>Tribolium confusum</i>	86,1E+14	13.8976E+15

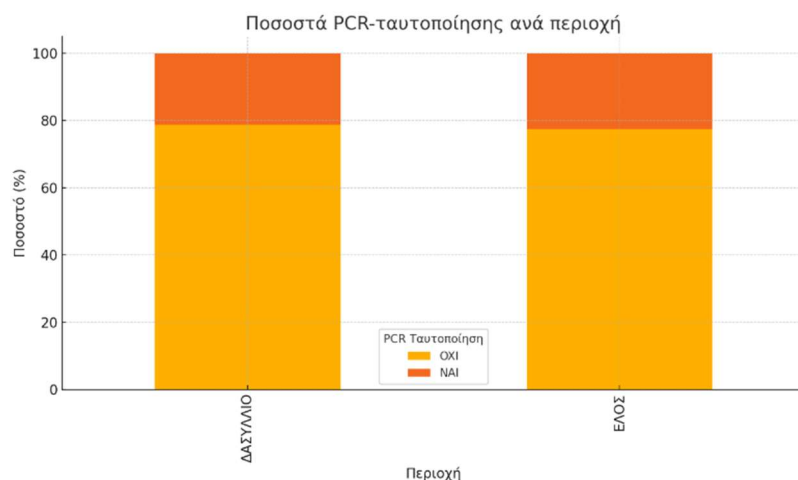


Σχήμα 10. Ποσοστά PCR-Ταυτοποίησης ανά είδος εντόμου.

Αντίστοιχα, η γεωγραφική κατανομή των ταυτοποιηθέντων απομονώσεων μεταξύ των δύο περιοχών (Δασύλλιο: ~21.3%, Έλος: ~22.5%) παρουσιάζει ομοιομορφία, γεγονός που υποδηλώνει την οριζόντια εξάπλωση ειδών EPF ανεξαρτήτως οικολογικής διαφοροποίησης (πίνακας 9, σχήμα 11). Η παρατήρηση αυτή ενισχύει τη δυνατότητα ευρείας εφαρμογής τοπικών βιοπαραγόντων σε αγρό-οικολογικά περιβάλλοντα με διαφορετικά μικρό-κλιματικά χαρακτηριστικά.

Πίνακας 9. Ποσοστό ταυτοποιηθέντων απομονώσεων ανά περιοχή.

ΤΟΠΟΘΕΣΙΑ	ΟΧΙ	ΝΑΙ
ΔΑΣΥΛΛΙΟ	78,7E+15	21,3E+15
ΕΛΟΣ	77,5E+15	22,5E+16



Σχήμα 11. Ποσοστά ταυτοποιηθέντων απομονώσεων ανά περιοχή.

Συνολικά, η ανάλυση των 177 ταυτοποιημένων απομονώσεων καταδεικνύει τη σημασία της μοριακής επιβεβαίωσης για την κατανόηση της κατανομής, της ποικιλομορφίας και του εντομοπαθογενετικού δυναμικού των μυκήτων. Τα ευρήματα ενισχύουν τη βάση για την ανάπτυξη στοχευμένων πρωτοκόλλων βιοδοκιμών, την απομόνωση τοπικά προσαρμοσμένων στελεχών και την καθιέρωση PCR-βασισμένων εργαλείων για οικολογική επιτήρηση EPF σε πραγματικές συνθήκες αγροτικών εφαρμογών.

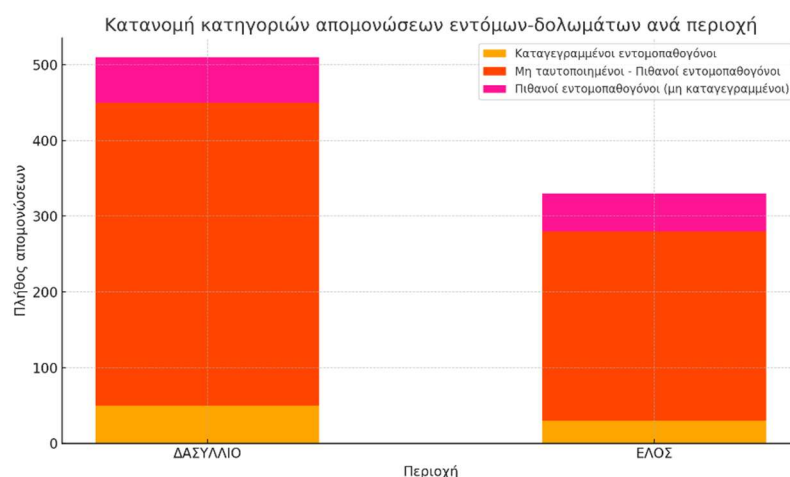
3.1.3 Συγκριτική Ανάλυση

3.1.3.1 Αναλύσεις συσχετίσεων

Η στατιστική διερεύνηση της σχέσης μεταξύ περιοχής συλλογής και κατηγοριών απομονώσεων των εντόμων-δολωμάτων ($\text{Chi}^2 = 0,183$, $p = 0,912$, $\text{d.f.} = 2$) δεν ανέδειξε σημαντική συσχέτιση. Το αποτέλεσμα αυτό υποδηλώνει ότι η παρουσία και κατανομή των κατηγοριών απομονώσεων των εντόμων-δολωμάτων (καταγεγραμμένοι, πιθανοί, μη ταυτοποιημένοι) δεν επηρεάζεται από τη γεωγραφική διαφοροποίηση μεταξύ του Δασυλλίου και του Έλους (πίνακας 10, σχήμα 12). Οι δύο περιοχές φαίνεται να υποστηρίζουν παρόμοιες οικολογικές συνθήκες ικανές να φιλοξενήσουν αντίστοιχα μυκητιακά προφίλ. Η διαπίστωση αυτή ενισχύει την ερμηνεία ότι παράγοντες όπως η αγρό-οικολογική σταθερότητα και η μικρό-κλιματική ομοιομορφία δρουν εξισωτικά ως προς τη σύνθεση του εντομοπαθογόνου μικροβιώματος.

Πίνακας 10. Αποτελέσματα αναλύσεων Chi-Square.

Σχέση	Chi2	Degrees of Freedom	p-value
Περιοχή και Κατηγορίες Απομονώσεων εντόμων-δολωμάτων	0,183876E+16	2	0,912162E+15
Είδος Εντόμου και Κατηγορίες Απομονώσεων εντόμων-δολωμάτων	75,8832E+15	65	0,16761E+16
Εποχή και Κατηγορίες Απομονώσεων εντόμων-δολωμάτων	62,4358E+16	6	1,4382082380598453e-11

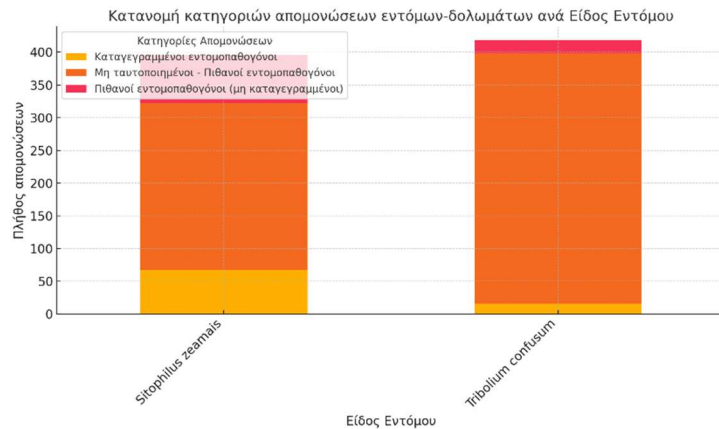


Σχήμα 12. Κατανομή κατηγοριών απομονώσεων εντόμων-δολωμάτων ανά περιοχή.

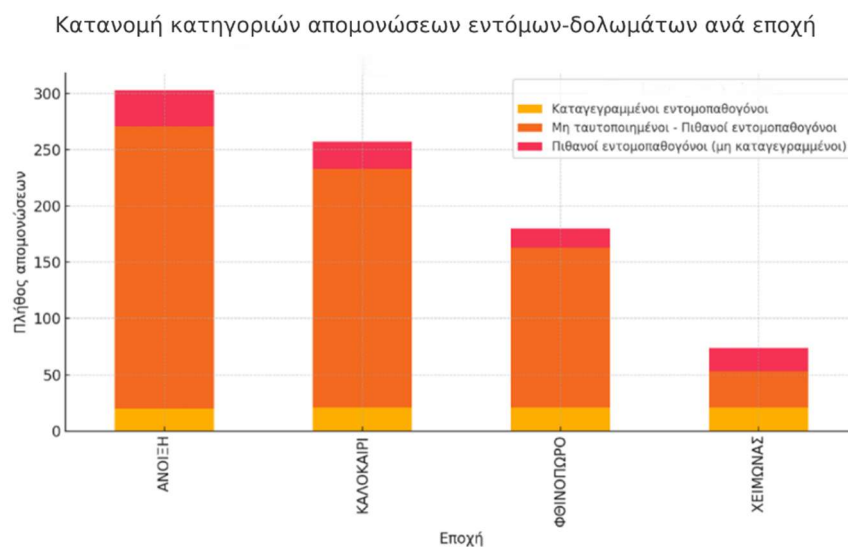
Αντίστοιχα, η ανάλυση της συσχέτισης μεταξύ είδους ξενιστή και κατηγοριών απομονώσεων των εντόμων-δολωμάτων ($\text{Chi}^2 = 75,88$, $p = 0,168$, $\text{d.f.} = 65$) δεν ανέδειξε στατιστικά σημαντική διαφοροποίηση (πίνακας 10, σχήμα 13). Αυτό δείχνει ότι οι απομονωμένοι μύκητες μπορούν να αναπτυχθούν και στους δύο ξενιστές (*S. zeamais* και *T. confusum*) χωρίς σαφή εξειδίκευση. Η έλλειψη ξενιστικής προτίμησης υπογραμμίζει τη δυνατότητα χρήσης αυτών των μυκήτων ως ευρέως φάσματος βιοπαραγόντων, ικανών να στοχεύσουν διαφορετικά είδη εντόμων-στόχων.

Σε αντίθεση με τα παραπάνω, η εποχή αποδείχθηκε στατιστικά σημαντικός παράγοντας διαφοροποίησης της κατηγορίας εντομοπαθογένειας ($\text{Chi}^2 = 62,44$, $p < 0,001$, $\text{d.f.} = 6$) (πίνακας 10, σχήμα 14). Οι απομονώσεις παρουσιάζουν εποχική μεταβλητότητα ως προς την κατηγορία τους, με ενδείξεις αυξημένης εντομοπαθογόνου δραστηριότητας κατά την άνοιξη και το καλοκαίρι. Παράγοντες όπως η αυξημένη σχετική υγρασία, η μέση

θερμοκρασία και η βιολογική δραστηριότητα των εντόμων κατά τις περιόδους αυτές, φαίνεται να ευνοούν την ανάπτυξη και τη διασπορά EPF.



Σχήμα 13. Κατανομή Μυκήτων Ανά Είδος Εντόμου.



Σχήμα 14. Κατανομή κατηγοριών εντόμων-δολωμάτων ανά εποχή.

Από αγρό-οικολογικής πλευράς, τα ευρήματα παρέχουν πρακτική καθοδήγηση για τη χρονικά στοχευμένη εφαρμογή βιολογικών παραγόντων. Η ενίσχυση της βιοελεγκτικής στρατηγικής κατά τις περιόδους αυξημένης παρουσίας EPF στο περιβάλλον μπορεί να οδηγήσει σε πιο αποτελεσματική και οικολογικά φιλική καταπολέμηση εντόμων.

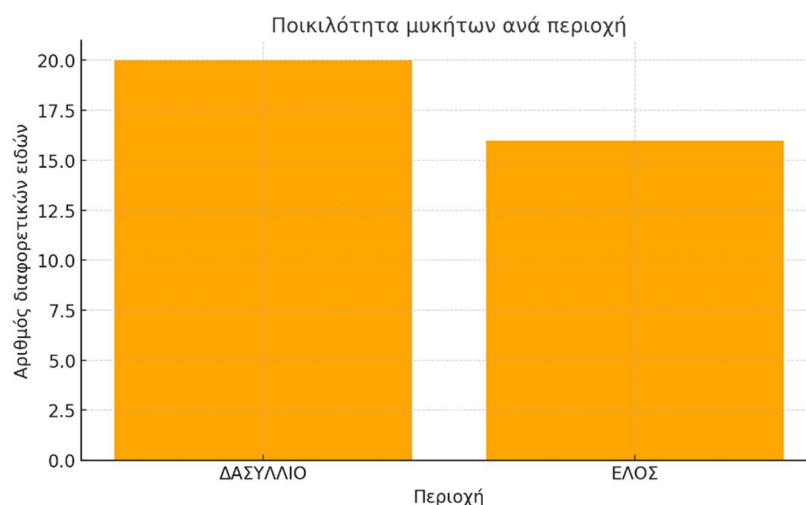
Συνοψίζοντας, η εποχή αναδεικνύεται ως κρίσιμος παράγοντας διαφοροποίησης, σε αντίθεση με τη γεωγραφική περιοχή και το είδος του ξενιστή, που δεν φαίνεται να ασκούν στατιστικά σημαντική επίδραση. Τα δεδομένα αυτά στηρίζουν μια δυναμική, προσαρμοστική προσέγγιση στον σχεδιασμό βιολογικών στρατηγικών ελέγχου εντόμων, βασισμένη σε οικολογικά και εποχικά πρότυπα.

3.1.3.2 Ανάλυση διακύμανσης

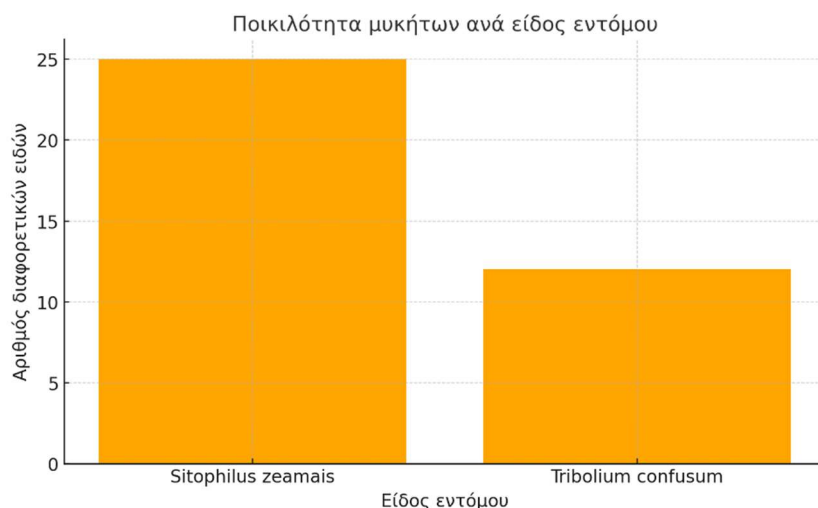
Η ανάλυση της ποικιλότητας των μυκήτων ανά περιοχή μέσω της δοκιμής Mann-Whitney ($U = 0,0$, $p = 1,0$) δεν ανέδειξε στατιστικά σημαντική διαφορά μεταξύ των δύο τοποθεσιών συλλογής (Δασύλλιο και Έλος) (πίνακας 11, σχήμα 15). Ομοίως, η ποικιλία των μυκήτων ανά είδος ξενιστή (*S. zeamais* vs *T. confusum*) δεν διαφοροποιήθηκε σημαντικά ($U = 1,0$, $p = 1,0$) (πίνακας 11, σχήμα 16). Τα αποτελέσματα αυτά υποδηλώνουν την ύπαρξη μιας σταθερής μυκητιακής δεξαμενής που διατηρείται ανεξαρτήτως γεωγραφικής θέσης ή εντομολογικού ξενιστή. Η παρατήρηση αυτή ενισχύει το ενδεχόμενο οικολογικής ομοιογένειας και παρόμοιας μικρό-κλιματικής υποστήριξης, ανεξαρτήτως τοπίου ή είδους εντόμου.

Πίνακας 11. Ανάλυση διακύμανσης με το Mann-Whitney U Test.

Σύγκριση	U-statistic	p-value
Περιοχή	0,0	1,0
Είδος Εντόμου	1,0	1,0



Σχήμα 15. Ποικιλότητα ανά περιοχή.

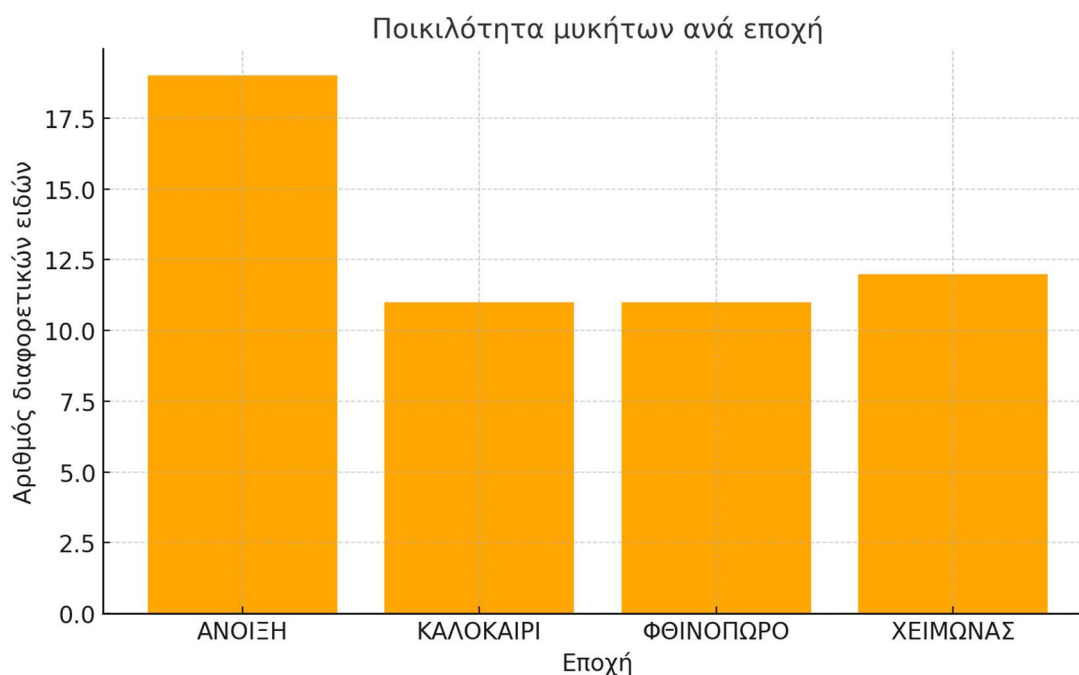


Σχήμα 16. Ποικιλότητα ανά είδος εντόμου.

Η συγκριτική αξιολόγηση της μυκητιακής ποικιλότητας μεταξύ εποχών, με ζεύγη Mann-Whitney U Tests (5 συγκρίσεις), επίσης δεν ανέδειξε στατιστικά σημαντικές διαφορές (όλες οι $p = 1,0$) (πίνακας 12, σχήμα 17). Αυτό καταδεικνύει ότι, παρά τις εποχικές μεταβολές στην κατανομή των απομονώσεων με την μέθοδο εντόμων - δολωμάτων (όπως έχει ήδη αναφερθεί στην προηγούμενη ανάλυση με το χ^2 test), ο αριθμός των διαφορετικών μυκητιακών ειδών παραμένει σταθερός κατά τη διάρκεια του έτους.

Πίνακας 12. Ανάλυση Mann-Whitney U μεταξύ των εποχών (pairwise tests).

Εποχή Α	Εποχή Β	U-statistic	p-value
ΑΝΟΙΞΗ	ΚΑΛΟΚΑΙΡΙ	1,0	1,0
ΑΝΟΙΞΗ	ΦΘΙΝΟΠΩΡΟ	1,0	1,0
ΑΝΟΙΞΗ	ΧΕΙΜΩΝΑΣ	1,0	1,0
ΚΑΛΟΚΑΙΡΙ	ΦΘΙΝΟΠΩΡΟ	0,0	1,0
ΚΑΛΟΚΑΙΡΙ	ΧΕΙΜΩΝΑΣ	0,5	1,0
ΦΘΙΝΟΠΩΡΟ	ΧΕΙΜΩΝΑΣ	1,0	1,0



Σχήμα 17. Ποικιλότητα ανά εποχή.

Αγρό-οικολογικά, αυτό μεταφράζεται ως εξής: το οικοσύστημα των EPF εμφανίζεται εξαιρετικά σταθερό όσον αφορά τη σύνθεση των ειδών. Η λειτουργική ενεργοποίησή τους, όμως, φαίνεται να ρυθμίζεται περιβαλλοντικά - κυρίως από τη θερμοκρασία, την υγρασία και την αυξημένη δραστηριότητα των εντόμων σε συγκεκριμένες περιόδους.

Η διατήρηση σταθερής μικροβιακής βάσης ανεξαρτήτως εποχής, περιοχής ή ξενιστή, προσφέρει ισχυρή υποστήριξη για τη μακροχρόνια εφαρμογή αυτών των μυκήτων ως βιοπαραγόντων. Η δυνατότητά τους να παραμένουν παρόντες και δυνητικά ενεργοί σε διαφορετικά περιβάλλοντα και χρονικές περιόδους καθιστά τους EPF πολύτιμο εργαλείο για την ολιστική και βιώσιμη διαχείριση των εντομολογικών πληθυσμών στις γεωργικές εκτάσεις.

3.1.4 Οικολογική Ανάλυση ποικιλότητας

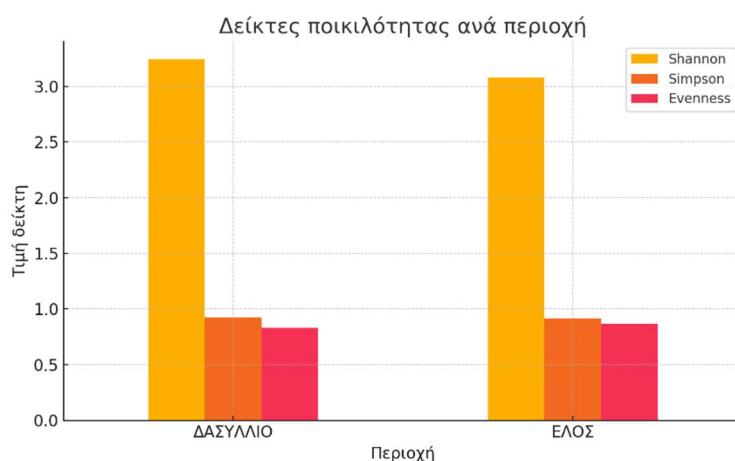
3.1.4.1 Δείκτες ποικιλότητας (Shannon, Simpson, Evenness) ανά περιοχή, εποχή, έντομο

Η ανάλυση των οικολογικών δεικτών ποικιλότητας (Shannon, Simpson και Evenness) επιβεβαιώνει περαιτέρω την ύπαρξη σταθερών και ισορροπημένων μυκητιακών κοινοτήτων μεταξύ των υπό μελέτη μεταβλητών.

Σε επίπεδο περιοχής, οι δείκτες Shannon και Simpson παρουσίασαν σχεδόν ισοδύναμες τιμές για το Δασύλλιο και το Έλος, ενώ ο δείκτης Evenness ανέδειξε ομοιόμορφη κατανομή των μυκητιακών απομονώσεων και στις δύο τοποθεσίες (πίνακας 13, σχήμα 18). Η παρατήρηση αυτή ενισχύει την υπόθεση ύπαρξης παρόμοιων οικολογικών πιέσεων ή μικρό-κλιματικών παραγόντων που καθορίζουν τη σύνθεση των μυκητιακών κοινοτήτων. Αγρό-οικολογικά, η διαπίστωση αυτή υποδηλώνει ότι οι στρατηγικές βιοελέγχου μπορούν να εφαρμοστούν οριζόντια σε διαφορετικές περιοχές, χωρίς να απαιτείται τοπική προσαρμογή.

Πίνακας 13. Δείκτες Ποικιλότητας Ανά Περιοχή.

ΤΟΠΟΘΕΣΙΑ	Shannon	Simpson	Evenness
ΔΑΣΥΛΛΙΟ	3,244647	0,923471	0,833709
ΕΛΟΣ	3,082006	0,918690	0,866865

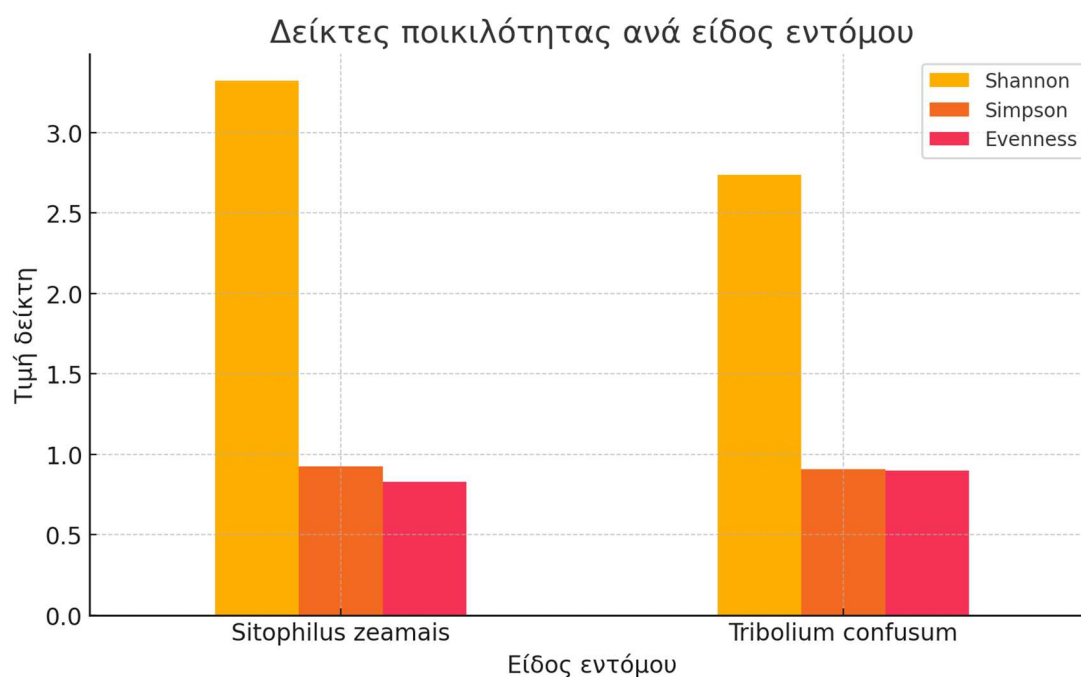


Σχήμα 18. Δείκτες Ποικιλότητας Ανά Περιοχή.

Σε επίπεδο εντομολογικού ξενιστή, τα δύο είδη εντόμων (*S. zeamais* και *T. confusum*) παρουσίασαν αντίστοιχους δείκτες ποικιλότητας και υψηλές τιμές ισοκατανομής (Evenness), γεγονός που επιβεβαιώνει την απουσία ξενιστικής εξειδίκευσης στους EPF (πίνακας 14, σχήμα 19). Η απουσία ξενιστικής εξειδίκευσης, ενισχύει τη βιωσιμότητα βιολογικών παραγόντων που δρουν αποτελεσματικά σε ευρύ φάσμα εντόμων-στόχων.

Πίνακας 14. Δείκτες Ποικιλότητας ανά είδος εντόμου.

ΕΙΔΟΣ ENTOMOY	Shannon	Simpson	Evenness
<i>Sitophilus zeamais</i>	3,323123	0,923193	0,829260
<i>Tribolium confusum</i>	2,737954	0,908951	0,899305

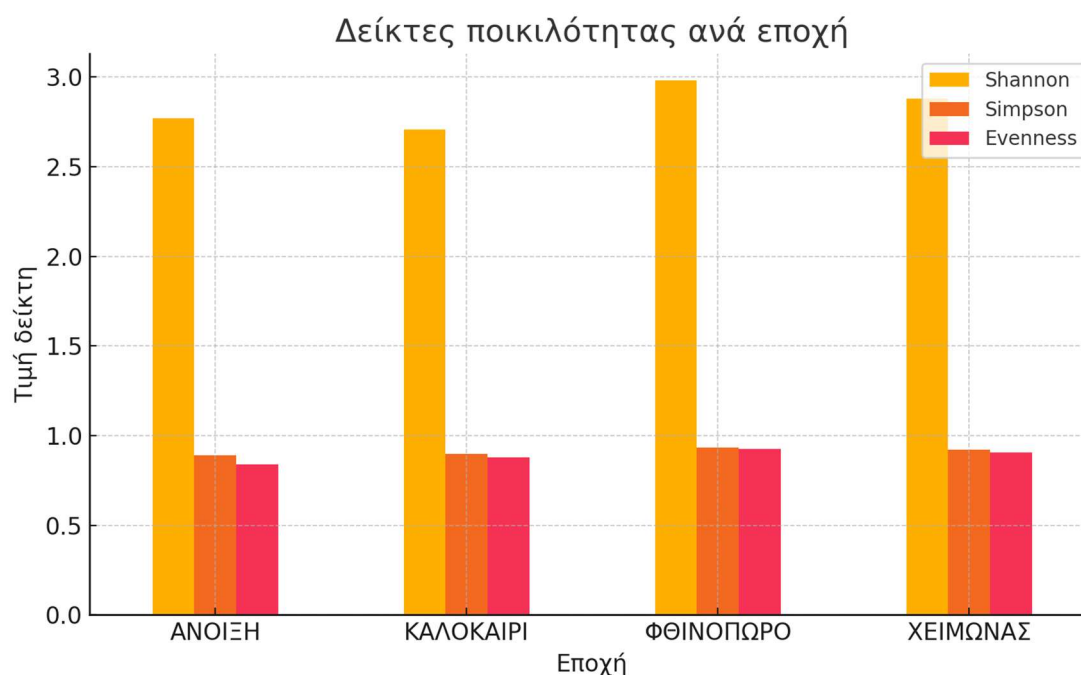


Σχήμα 19. Δείκτες Ποικιλότητας ανά είδος εντόμου.

Η εποχική ανάλυση των δεικτών ποικιλότητας ανέδειξε το φθινόπωρο ως την εποχή με την υψηλότερη οικολογική ισορροπία (2,98). Ο δείκτης Simpson, ο οποίος δίνει έμφαση στην κυριαρχία των πιο άφθονων γενών, εμφάνισε τη μέγιστη τιμή το φθινόπωρο (0,93). Η ισοκατανομή των γενών (Evenness) ήταν επίσης υψηλότερη την ίδια περίοδο (πίνακας 15, σχήμα 20). Οι παρατηρήσεις αυτές συνηγορούν υπέρ της ύπαρξης ευνοϊκών περιβαλλοντικών συνθηκών κατά το φθινόπωρο, όπως αυξημένη υγρασία και ήπιες θερμοκρασίες, που ενισχύουν τη σταθερότητα και λειτουργικότητα των μυκητιακών οικοσυστημάτων.

Πίνακας 15. Δείκτες Ποικιλότητας ανά εποχή.

ΕΠΟΧΗ	Shannon	Simpson	Evenness
ΑΝΟΙΞΗ	2,770706	0,889053	0,840668
ΚΑΛΟΚΑΙΡΙ	2,708825	0,898765	0,876347
ΦΘΙΝΟΠΩΡΟ	2,983213	0,932133	0,926787
ΧΕΙΜΩΝΑΣ	2,880871	0,922902	0,906489



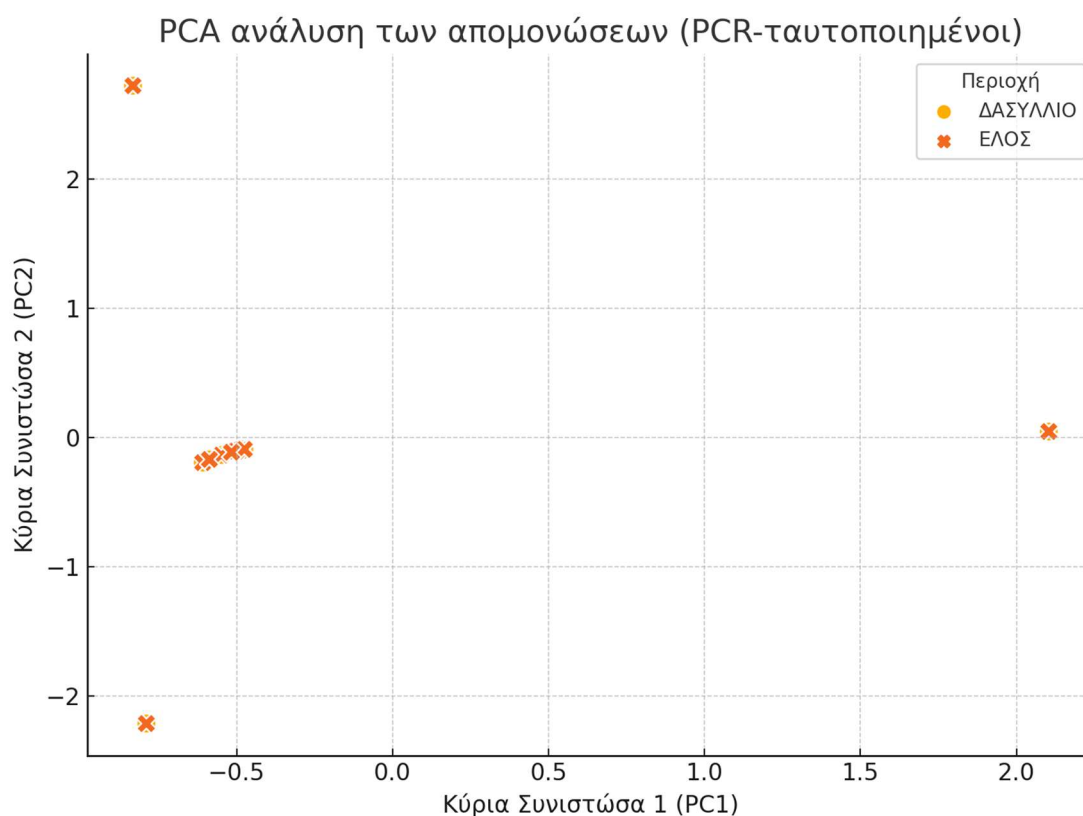
Σχήμα 20. Δείκτες Ποικιλότητας Ανά Εποχή.

Από πλευράς εφαρμογών, η φθινοπωρινή περίοδος προβάλλει ως ιδανική για την παρέμβαση με εντομοπαθογόνους βιοπαράγοντες, ενισχύοντας την πρόταση για χρονικά στοχευμένη βιολογική καταπολέμηση.

Συνολικά, οι δείκτες οικολογικής ποικιλότητας επιβεβαιώνουν την ύπαρξη μιας σταθερής και ισόρροπης μυκητιακής κοινότητας, ανεξαρτήτως περιοχής, εποχής ή ξενιστή. Η μικρή διακύμανση στους δείκτες υποδεικνύει υψηλό βαθμό οικολογικής σταθερότητας και ενισχύει την αξιοπιστία των EPF ως υποψήφιων βιολογικών παραγόντων για μακροχρόνια και περιβαλλοντικά βιώσιμη διαχείριση εντομολογικών πληθυσμών.

3.1.4.2 NMDS / PCA / Cluster Analysis

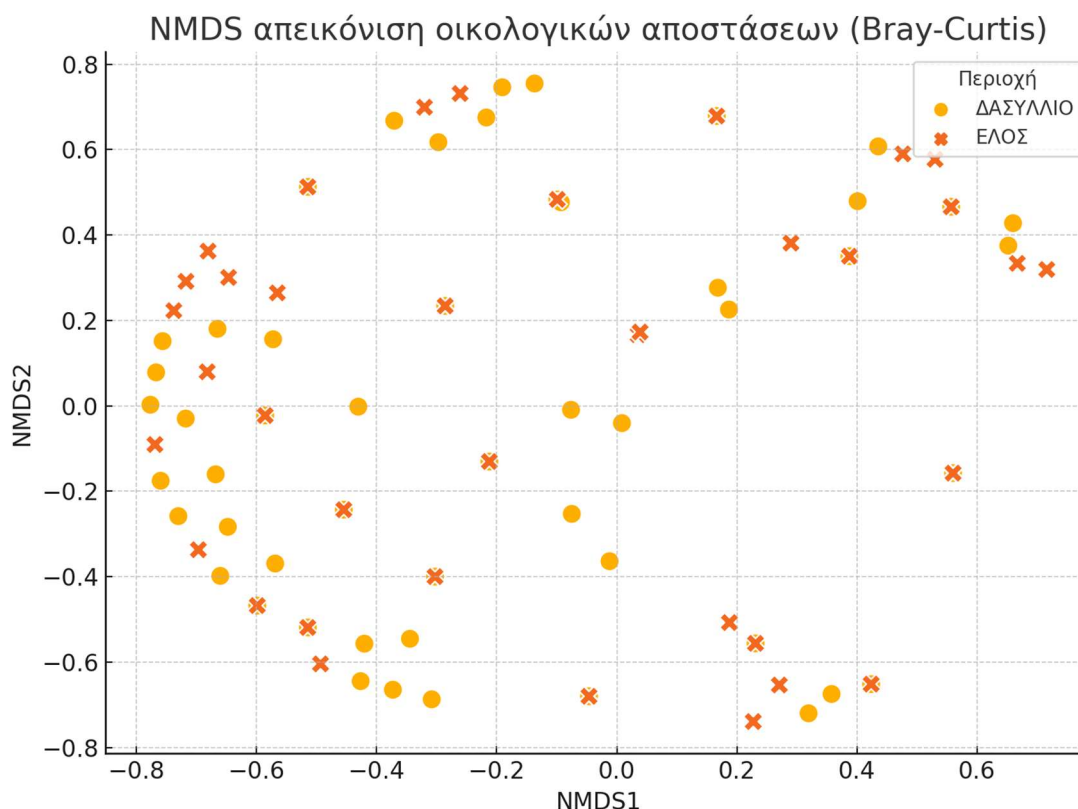
Η PCA εφαρμόστηκε για τη μείωση της διαστατικότητας των δεδομένων παρουσίας μυκήτων ανά απομόνωση, με σκοπό την οπτική και στατιστική ερμηνεία της οικολογικής διαφοροποίησης. Οι δύο πρώτες κύριες συνιστώσες (PC1 και PC2) κατέγραψαν το μεγαλύτερο ποσοστό της συνολικής διακύμανσης και ανέδειξαν μια μη εντελώς τυχαία κατανομή των απομονώσεων στο χώρο, υποδηλώνοντας την παρουσία υποκείμενων οικολογικών διαφοροποιητικών παραγόντων (Παράρτημα 2: Συντεταγμένες PCA & Ομαδοποίηση, σχήμα 21). Αν και δεν καταγράφηκε απόλυτος γεωγραφικός διαχωρισμός, παρατηρήθηκαν τοπικές συγκεντρώσεις απομονώσεων με κοινή οικολογική προέλευση, γεγονός που ενισχύει την υπόθεση μικρο-οικοσυστημικής προσαρμογής.



Σχήμα 21. PCA Ανάλυση των απομονωθέντων ταυτοποιημένων μυκήτων.

Η NMDS, βασισμένη στην απόσταση Bray-Curtis, επιβεβαίωσε την ύπαρξη μέτριου, αλλά όχι απόλυτου, διαχωρισμού των απομονώσεων βάσει περιοχής. Η κατανομή στον χώρο των αξόνων NMDS1 και NMDS2 υποδεικνύει την παρουσία οικολογικών μοτίβων

που επαναλαμβάνονται, χωρίς αυστηρή ταξινόμηση, αντανakλώντας την πολύμορφη και δυναμική φύση των μικροβιακών κοινοτήτων (Παράρτημα 3: Συντεταγμένες NMDS, σχήμα 22).

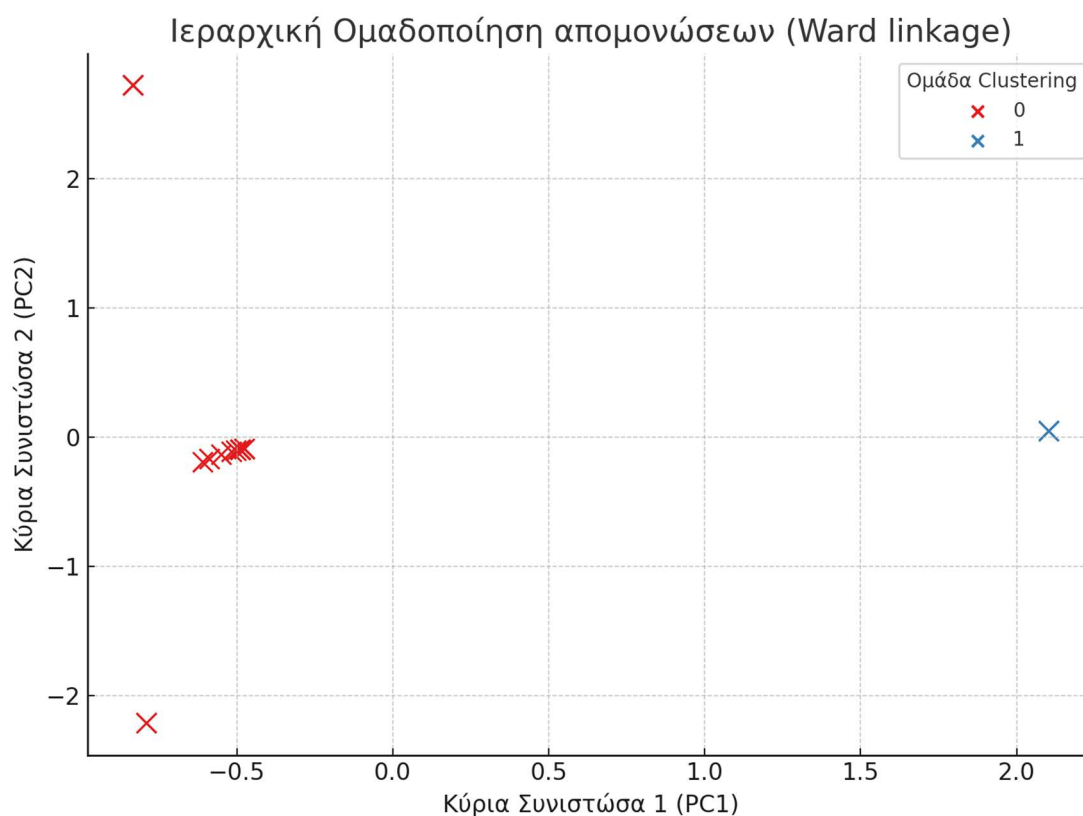


Σχήμα 22. NMDS Απεικόνιση Οικολογικών Αποστάσεων (Bray-Curtis).

Η Cluster Analysis, με μέθοδο συνάθροισης Ward και Ευκλείδεια απόσταση, διαχώρισε τις απομονώσεις σε δύο κύρια οικολογικά σύμπλοκα (σχήμα 23). Οι ομάδες αυτές δεν αντιστοιχούν πλήρως σε γεωγραφικά ή εντομολογικά χαρακτηριστικά, γεγονός που υποδεικνύει ότι η ομαδοποίηση αντανakλά περισσότερο την οικολογική συμβατότητα και τη λειτουργική προσαρμογή των μυκήτων, παρά την προέλευσή τους.

Η συνδυαστική αξιοποίηση των αναλύσεων PCA, NMDS και Cluster Analysis επιβεβαιώνει ότι το μικροβίωμα των EPF δεν κατανέμεται τυχαία, αλλά ακολουθεί ενδογενείς, οικολογικά καθοδηγούμενες δομές. Η παρατήρηση αυτή ενισχύει την υπόθεση ότι οι EPF, παρά την περιβαλλοντική ή ξενιστική ποικιλομορφία, διατηρούν χαρακτηριστικά γενικής οικολογικής προσαρμοστικότητας. Το γεγονός αυτό

ενδυναμώνει την αξία τους ως βιολογικών παραγόντων ευρείας εφαρμογής, κατάλληλων για χρήση σε ετερογενή αγρό-οικολογικά περιβάλλοντα χωρίς ανάγκη εξειδικευμένης προσαρμογής.



Σχήμα 23. Ομαδοποίηση απομονώσεων με Ιεραρχικό Clustering (Ward).

Συνοψίζοντας, έλαβε χώρα μία ολοκληρωμένη πολυεπίπεδη οικολογική ανάλυση 814 απομονώσεων EPF και δυνητικά EPF, προερχόμενων από δύο είδη εντόμων-ξενιστών (*S. zeamais*, *T. confusum*) και δύο περιοχές (Δασύλλιο, Έλος). Στόχος της ανάλυσης ήταν η διερεύνηση της δομής, της ποικιλομορφίας και της κατανομής των μυκητιακών κοινοτήτων στον χώρο και στον χρόνο.

Η πλειονότητα των απομονώσεων ανήκει σε μη ταυτοποιημένους, αλλά πιθανώς EPF, γεγονός που υποδηλώνει ένα ανεξερεύνητο μικροβιακό υπόβαθρο. Η κατανομή των απομονώσεων ήταν ομοιόμορφη τόσο ως προς την περιοχή όσο και ως προς το είδος ξενιστή, γεγονός που υποδηλώνει την ύπαρξη κοινής "μυκητιακής δεξαμενής" στο οικοσύστημα.

Η στατιστική επεξεργασία (χ^2) ανέδειξε την εποχή ως τον μοναδικό παράγοντα που διαφοροποιεί σημαντικά την κατανομή των απομονώσεων με την μέθοδο εντόμων – δολωμάτων. Αντίθετα, η ποικιλότητα των απομονώσεων δεν παρουσίασε στατιστικά σημαντικές διαφοροποιήσεις μεταξύ περιοχών, ξενιστών ή εποχών (Mann-Whitney U), υποδεικνύοντας οικολογική σταθερότητα και ανθεκτικότητα του συστήματος.

Οι δείκτες Shannon, Simpson και Evenness επιβεβαίωσαν υψηλή οικολογική ποικιλομορφία και ισοκατανομή των μυκήτων. Το φθινόπωρο αναδείχθηκε ως περίοδος αυξημένης ποικιλότητας και οικολογικής ισορροπίας, πιθανόν λόγω βέλτιστων περιβαλλοντικών συνθηκών.

Οι μέθοδοι πολυδιάστατης απεικόνισης (PCA, NMDS) ανέδειξαν υποκείμενα μοτίβα οικολογικής διαφοροποίησης, χωρίς αυστηρή γεωγραφική ή ξενιστική εξάρτηση. Η ιεραρχική ομαδοποίηση αποκάλυψε δύο οικολογικά διακριτά clusters, ενισχύοντας την ερμηνεία περί λειτουργικής προσαρμογής και όχι στατικής ταξινομικής ομαδοποίησης.

Τα συνολικά ευρήματα καταδεικνύουν την ύπαρξη μιας πλούσιας, σταθερής και δυναμικά αλληλεπιδρώσας μυκητιακής κοινότητας εντός των αγρό-οικολογικών συστημάτων. Οι EPF και δυνητικά EPF παρουσιάζουν ευρεία γεωγραφική και ξενιστική διασπορά, με μικρές διαφοροποιήσεις, αλλά σαφή εποχιακή δυναμική.

Η περιορισμένη εξειδίκευση και η υψηλή ισοκατανομή υποδεικνύουν τη δυνητική αξιοποίηση των μυκήτων αυτών σε ευέλικτες στρατηγικές βιολογικής καταπολέμησης. Ιδιαίτερη σημασία αποδίδεται στην εποχική παράμετρο, καθώς παρέχει πρακτική κατεύθυνση για τη χρονική στόχευση της εφαρμογής των βιοπαραγόντων σε περιόδους μέγιστης αποτελεσματικότητας.

Η οικολογική αυτή γνώση μπορεί να αξιοποιηθεί για τον σχεδιασμό και την εφαρμογή βιοτεχνολογικών παρεμβάσεων, τόσο σε ερευνητικό πλαίσιο (π.χ. ανάλυση λειτουργικής ποικιλομορφίας ενδομυκητιακών κοινοτήτων), όσο και σε πρακτικές γεωργικές εφαρμογές, ενισχύοντας τη βιωσιμότητα και την ανθεκτικότητα των αγροτικών παραγωγικών συστημάτων.

3.1.5 Περιγραφική Στατιστική Ανάλυση Μετεωρολογικών Παραμέτρων

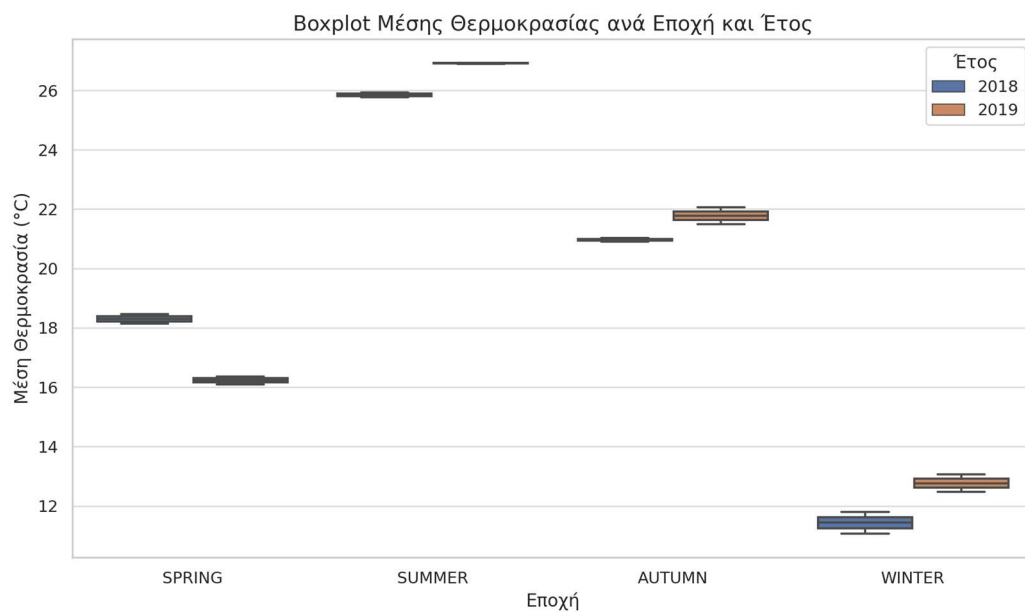
Στο πλαίσιο της συνολικής αξιολόγησης των παραμέτρων που δυνητικά επηρεάζουν τη σύνθεση και την κατανομή των EPF, κρίθηκε σκόπιμη η ενσωμάτωση περιγραφικής

στατιστικής ανάλυσης των μετεωρολογικών δεδομένων που καταγράφηκαν κατά την περίοδο συλλογής των δειγμάτων. Οι μετεωρολογικές μεταβλητές, και συγκεκριμένα η **μέση θερμοκρασία**, η **συνολική βροχόπτωση** και η **μέση ταχύτητα ανέμου**, ενδέχεται να συσχετίζονται με την εποχιακή κατανομή των απομονώσεων και τις παρατηρούμενες βιολογικές τάσεις. Η ανάλυση αυτή παρέχει τη βάση για την κατανόηση του περιβαλλοντικού πλαισίου εντός του οποίου αναπτύχθηκε η εν λόγω μικροβιακή ποικιλότητα, και διευκολύνει τη διατύπωση τεκμηριωμένων συσχετίσεων στα επόμενα ερευνητικά στάδια.

Πίνακας 16. Περιγραφικά στατιστικά των μετεωρολογικών δεδομένων.

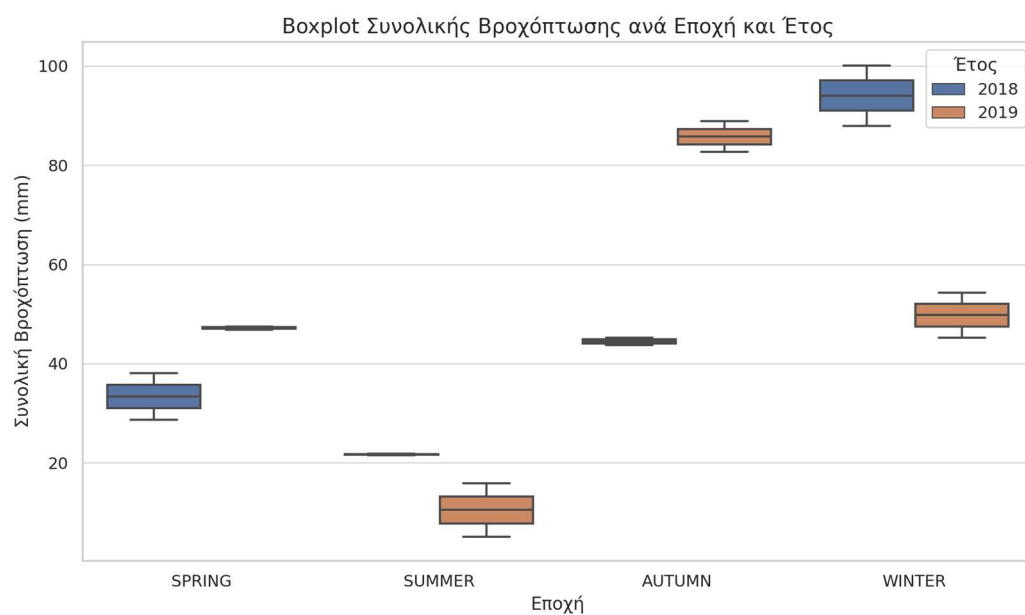
Στατιστικός Δείκτης	Μέση Θερμοκρασία (°C)	Συνολική Βροχόπτωση (mm)	Μέση Ταχύτητα Ανέμου (km/h)
Αριθμός Παρατηρήσεων (n)	16	16	16
Μέσος Όρος	19,28	48,34	11,77
Τυπική Απόκλιση	5,48	28,28	1,74
Ελάχιστο	11,07	5,07	7,43
1ο Τεταρτημόριο (Q1)	15,34	26,97	10,59
Διάμεσος (Q2)	19,68	45,23	12,15
3ο Τεταρτημόριο (Q3)	22,99	61,42	12,78
Μέγιστο	26,93	100,13	14,13

Η μέση θερμοκρασία παρουσίασε **σαφή εποχιακή διαφοροποίηση**, με ανώτερες τιμές το καλοκαίρι και κατώτερες τον χειμώνα, σύμφωνα με τα αναμενόμενα κλιματικά πρότυπα. Η διακύμανση **μεταξύ των ετών ήταν περιορισμένη**, με τιμές που κυμαίνονται σταθερά εντός προβλεπόμενων ορίων (σχήμα 24).



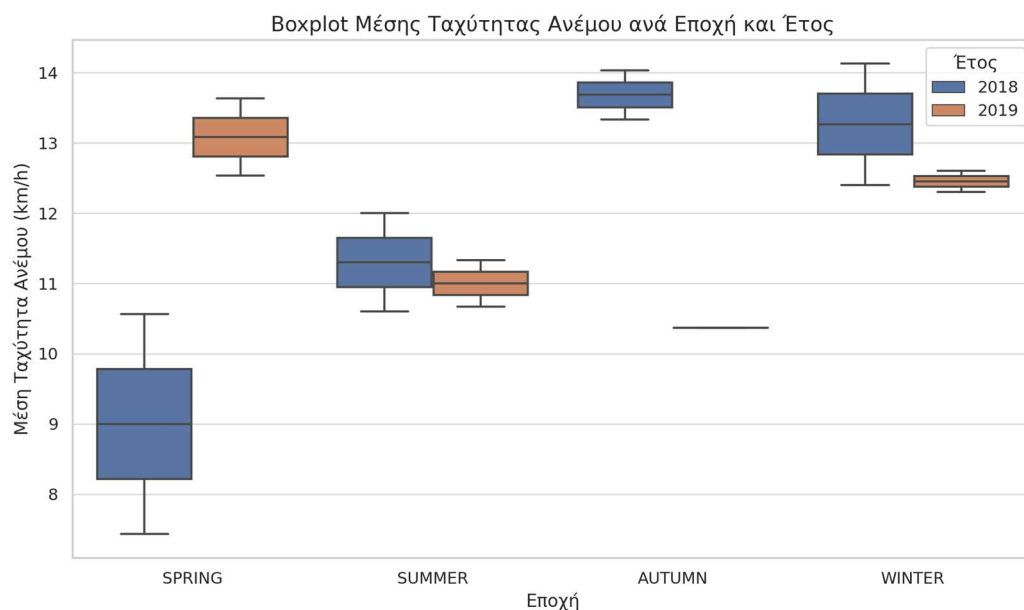
Σχήμα 24. Κατανομή της μέσης θερμοκρασίας ανά εποχή και έτος (Boxplot).

Η συνολική βροχόπτωση παρουσίασε τη μεγαλύτερη τιμή κατά τη χειμερινή περίοδο και τη μικρότερη κατά το καλοκαίρι. Η μεταβλητότητα ήταν έντονη μεταξύ των εποχών, αλλά οι μέσες τιμές σε ετήσια βάση ήταν παρόμοιες, γεγονός που υποδηλώνει σταθερότητα στον ετήσιο υετικό κύκλο (σχήμα 25).



Σχήμα 25. Κατανομή της συνολικής βροχόπτωσης ανά εποχή και έτος (Boxplot).

Η μέση ταχύτητα του ανέμου παρουσίασε **μικρότερες διακυμάνσεις** συγκριτικά με τις άλλες παραμέτρους, με ελαφρώς υψηλότερες τιμές το φθινόπωρο. Οι υπόλοιπες εποχές παρέμειναν εντός σταθερών επιπέδων, **χωρίς έντονες αποκλίσεις μεταξύ των ετών** (σχήμα 26).



Σχήμα 26. Κατανομή της μέσης ταχύτητας ανέμου ανά εποχή και έτος (Boxplot).

Η περιγραφική ανάλυση των μετεωρολογικών παραμέτρων ανέδειξε τη **σαφή εποχιακή διαφοροποίηση** και τη **σχετική σταθερότητα μεταξύ των ετών**. Οι παρατηρούμενες τάσεις κρίνονται σημαντικές για την κατανόηση των περιβαλλοντικών συνθηκών που ενδέχεται να επηρεάζουν τη δυναμική των πληθυσμών των EPF.

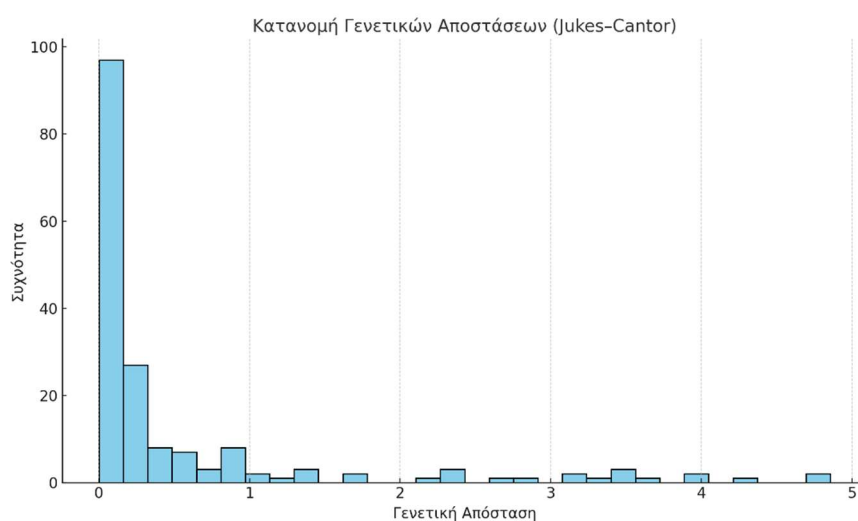
3.2 Φυλογενετική Ανάλυση 177 ταυτοποιηθέντων μυκήτων

Η φυλογενετική ανάλυση των 177 απομονώσεων EPF και δυνητικά EPF μυκήτων, η οποία βασίστηκε στην ITS περιοχή και το μοντέλο JC μέσω της μεθόδου NJ, ανέδειξε διακριτά πρότυπα γενετικής διαφοροποίησης με άμεσες εφαρμογές στη βελτιστοποίηση στρατηγικών IPM και στον οικολογικό σχεδιασμό καλλιεργειών.

Ο Πίνακας 17 συνοψίζει τα περιγραφικά στατιστικά των γενετικών αποστάσεων (JC) μεταξύ των 177 απομονώσεων μυκήτων. Η μέση τιμή απόστασης ανέρχεται σε 0,563, υποδηλώνοντας μια μέτρια προς υψηλή διαφοροποίηση εντός του συνόλου. Η υψηλή τιμή ασυμμετρίας (skewness = 2,50) και κύρτωσης (kurtosis = 5,49) καταδεικνύουν ότι η κατανομή των αποστάσεων παρουσιάζει έντονη δεξιιάς ασυμμετρίας και αιχμηρότητα (σχήμα 27), γεγονός που υποδεικνύει την ύπαρξη γενετικά απομακρυσμένων απομονώσεων ή εξελικτικά διακριτών στελεχών.

Πίνακας 17. Περιγραφικά στατιστικά των γενετικών αποστάσεων (JC).

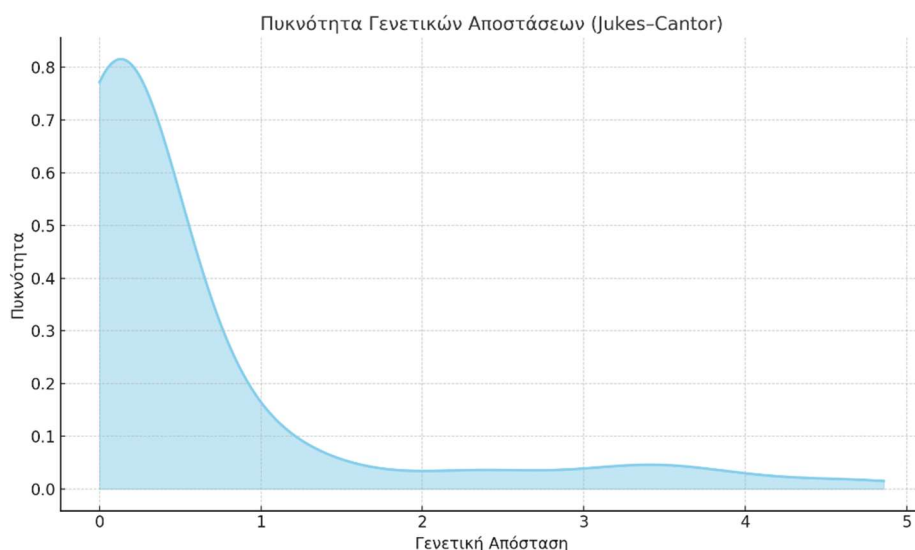
Στατιστικός Δείκτης	Τιμή
Πλήθος Παρατηρήσεων (n)	177
Ελάχιστη Τιμή	0,000
Μέγιστη Τιμή	4,857
Μέση Τιμή (Mean)	0,563
Διακύμανση (Variance)	1,064
Ασυμμετρία (Skewness)	2,502
Κύρτωση (Kurtosis)	5,487



Σχήμα 27. Κατανομή γενετικών αποστάσεων.

Αυτό το πρότυπο απεικονίζεται και στο Σχήμα 28, όπου η καμπύλη πυκνότητας των αποστάσεων παρουσιάζει συγκέντρωση στις χαμηλές τιμές, αλλά με ουρά προς

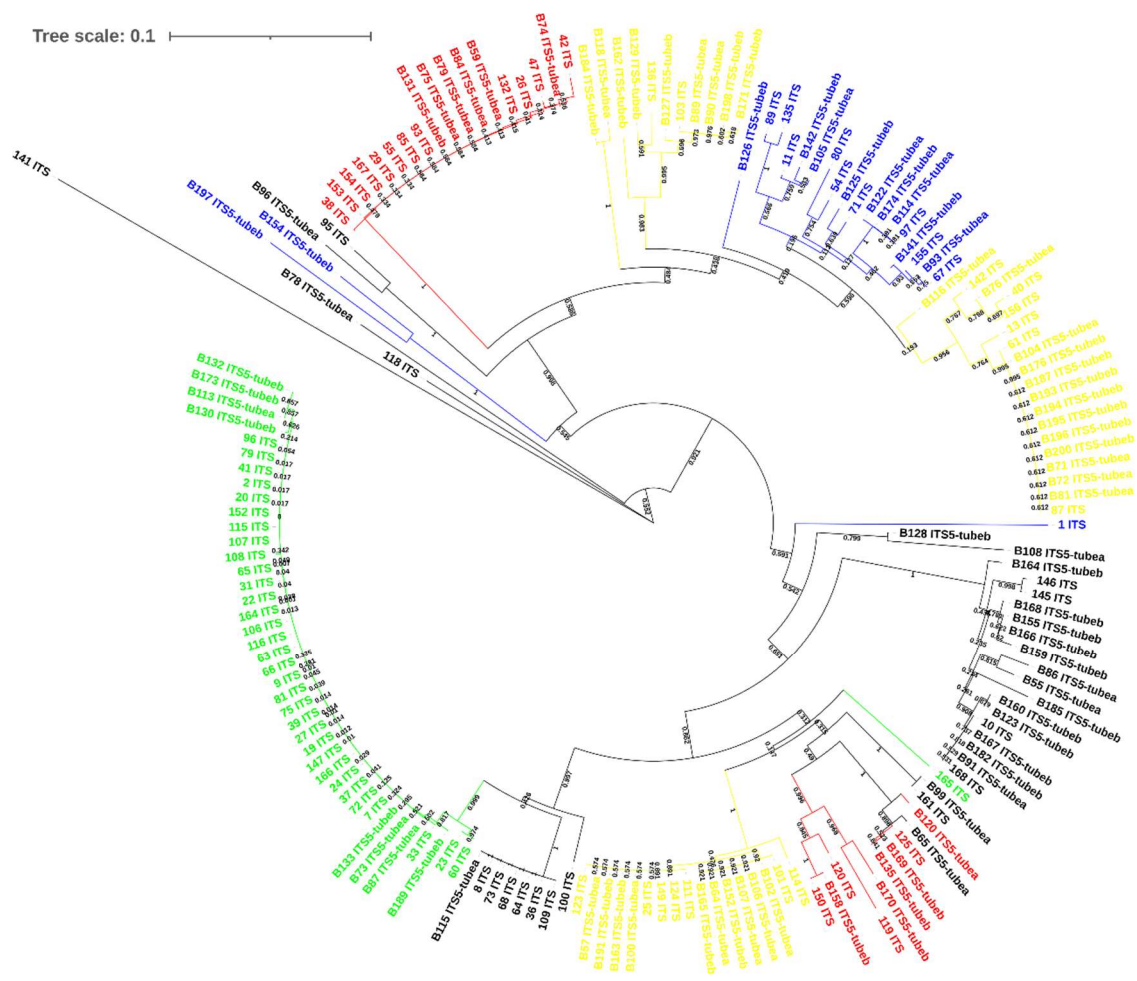
υψηλότερες τιμές, αντανακλώντας την παρουσία outliers στο σύνολο των απομονώσεων.



Σχήμα 28. Πυκνότητα γενετικών αποστάσεων.

Το NJ (σχήματα 29, 30, 31) αποκάλυψε σαφείς κλαδώσεις (clades), με χαρακτηριστικά παραδείγματα: Clade A: *Beauveria* και *Metarhizium* – κλασικοί EPF, κατάλληλοι για άμεση εφαρμογή σε βιολογικά σκευάσματα (Sharma et al., 2023; Dubovskiy & Butt, 2023). Clade B: *Fusarium* και *Talaromyces* – στελέχη με ενδοφυτικές ή ανασταλτικές ιδιότητες, ενδεικτικά προληπτικής ή ενισχυτικής λειτουργίας (Quesada-Moraga, 2020; Vega, 2018). Clades C/D: είδη με συμπληρωματικό οικολογικό ρόλο (σαπροφυτικοί ή ανταγωνιστικοί), χρήσιμοι για τη σταθεροποίηση μικροβιακών κοινοτήτων (πίνακας 18).

Η συσχέτιση φυλογενετικής ταυτότητας με λειτουργικά χαρακτηριστικά επιτρέπει την ανάπτυξη εξατομικευμένων πρακτικών: *B. bassiana*, εφαρμογή σε θερμές συνθήκες, κατάλληλη για πρώιμα εντομολογικά στάδια. *Fusarium* spp.: χρήση ως ενδοφυτικά στελέχη μέσω εφαρμογών σε σπόρους. *Purpureocillium* spp.: αξιοποίηση ως βιοανταγωνιστές έναντι παθογόνων εδάφους και εντόμων (Quesada-Moraga et al., 2023).

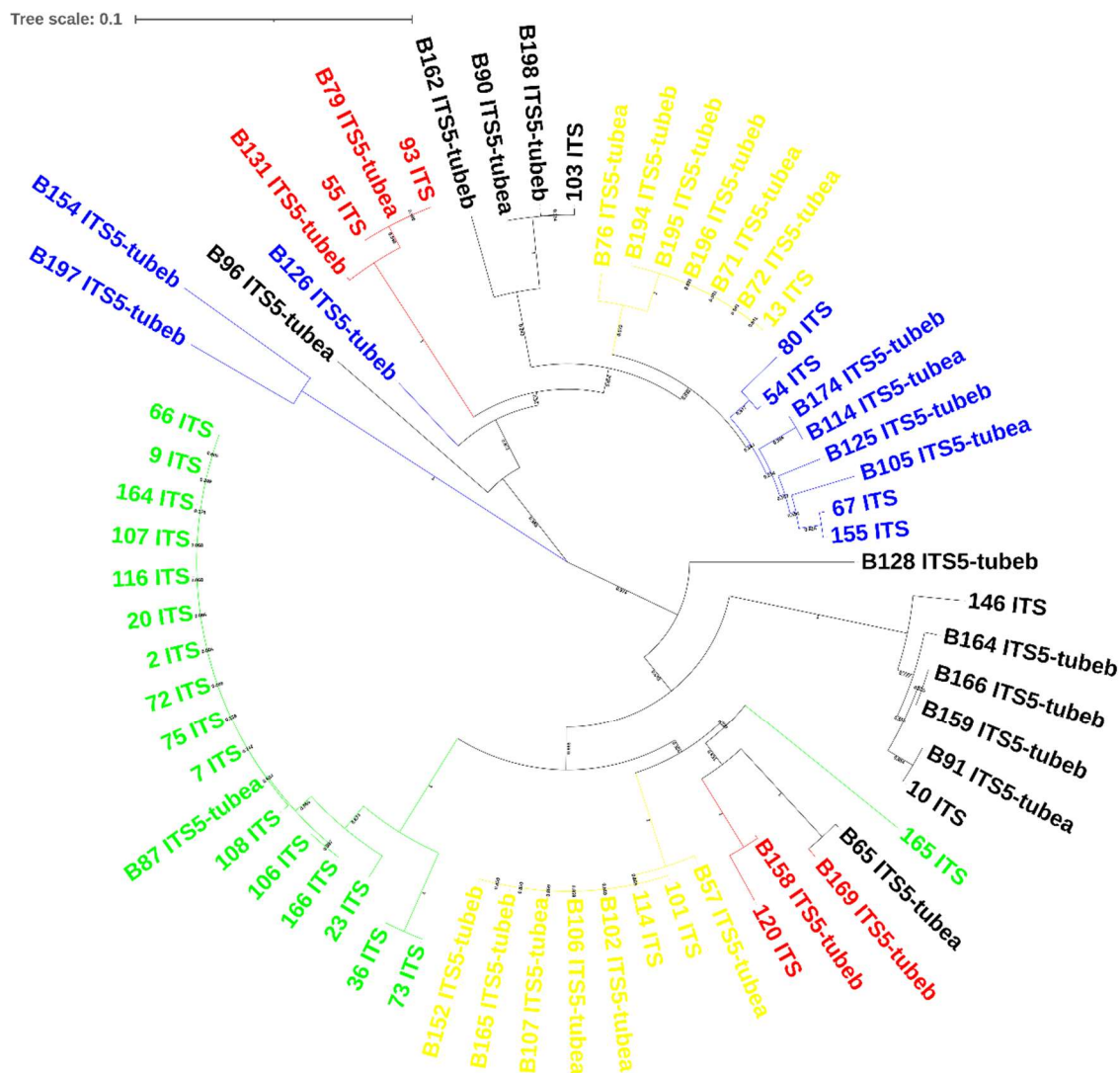


Σχήμα 29. Οπτικοποίηση του φυλογενετικού δέντρου για τους 177 απομονωμένους μύκητες με βάση το μοντέλο JC και τη μέθοδο NJ.

Πίνακας 18. Φυλογενετικά clades και εφαρμογές.

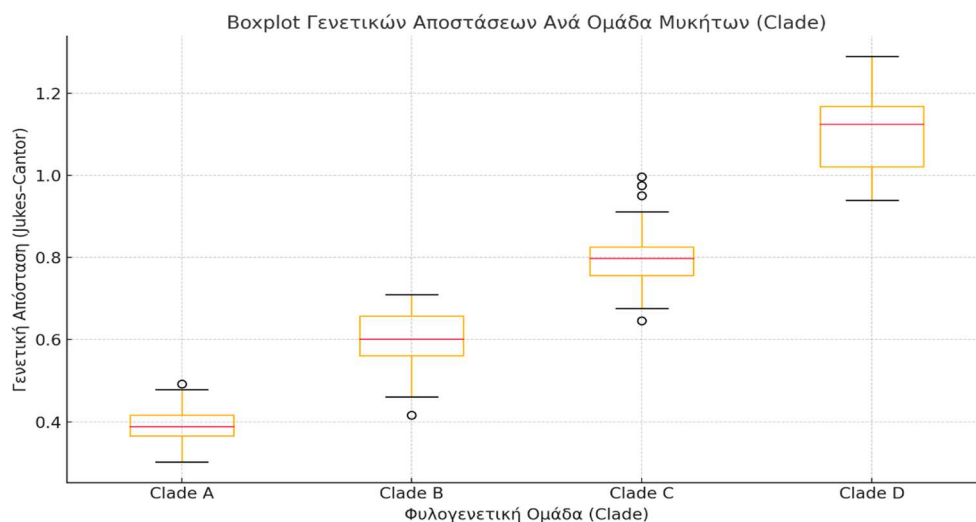
Όνομα Clade	Χρώμα Clade	Ταυτοποιημένοι Μύκητες (παραδείγματα)	Πιθανή Οικολογική Εξειδίκευση	Εντομολογική Εφαρμογή
Clade A	Πράσινο	<i>Beauveria</i> spp., <i>Metarhizium robertsii</i>	EPF, επαφή με επιφάνεια εντόμου	Βιολογική καταπολέμηση προνυμφών & ενήλικων
Clade B	Κόκκινο	<i>Fusarium</i> spp., <i>Talaromyces</i> spp.	Ενδοφυτικοί, αναστολείς εντομολογικής ανάπτυξης	Προληπτική χρήση μέσω ενσωμάτωσης στους ιστούς
Clade C	Κίτρινο	<i>Purpureocillium</i> spp., <i>Aspergillus</i> spp.	Ανταγωνιστικοί στη ριζόσφαιρα	Καταστολή πληθυσμών μέσω ανταγωνισμού
Clade D	Μωβ	<i>Penicillium</i> spp., <i>Cladosporium</i> spp., <i>Alternaria</i> spp.	Αποικοδομητές/σαπροφυτικοί οργανισμοί	Περιορισμένη, υποβοηθητικός ρόλος σε IPM

Το Σχήμα 29 αναδεικνύει την ενδοομαδική συνοχή των ειδών με χαμηλό εύρος διαφοροποίησης (*Beauveria*) και την υψηλότερη ενδοκλαδική ετερογένεια ειδών όπως *Fusarium* και *Talaromyces*, καθιστώντας τα τελευταία ιδανικά για εφαρμογές σε πολύμορφα οικοσυστήματα.



Σχήμα 31. Οπτικοποίηση του φυλογενετικού δέντρου για τους απομονωμένους μύκητες της περιοχής του Έλους, με βάση το μοντέλο JC και τη μέθοδο NJ.

Η εξέταση του φυλογενετικού δένδρογραμματος και η ανάλυση των διαγραμμάτων τύπου boxplot (σχήμα 32) για τις γενετικές αποστάσεις ανέδειξαν διακριτά πρότυπα ομαδοποίησης και διαφοροποίησης μεταξύ των μυκητιακών γενών. Συγκεκριμένα, το γένος *Beauveria* εμφανίζεται συγκεντρωμένα σε σαφώς καθορισμένα, στενά φυλογενετικά κλάσματα, τα οποία χαρακτηρίζονται από περιορισμένες ενδοκλαδικές αποστάσεις. Η δομή αυτή υποδηλώνει υψηλό βαθμό γονιδιακής σταθερότητας, πιθανώς ως αποτέλεσμα εξειδίκευσης των συγκεκριμένων στελεχών σε παρόμοιες οικολογικές συνθήκες ή και σε κοινά εντομολογικά υποστρώματα.



Σχήμα 32. Boxplot γενετικών αποστάσεων ανά clade.

Αντιθέτως, τα γένη *Fusarium* και *Talaromyces* παρουσιάζουν σημαντικά ευρύτερο φάσμα γενετικής διαφοροποίησης εντός των αντίστοιχων κλάδων. Η παρατηρούμενη ετερογένεια μπορεί να αποδοθεί στην αυξημένη οικολογική ευελιξία αυτών των γενών, τα οποία περιλαμβάνουν είδη με ποικίλες λειτουργικές ιδιότητες, όπως η ενδοφυτικότητα ή η ανασταλτική δράση κατά της ανάπτυξης των εντόμων. Αυτή η πλαστικότητα προσδίδει στο οικολογικό τους προφίλ μια πολυτροπικότητα που τα καθιστά ιδιαίτερα προσαρμοστικά σε σύνθετα ή μεταβαλλόμενα αγρό-οικολογικά περιβάλλοντα.

Η ύπαρξη υψηλής διαφοροποίησης μεταξύ των κύριων φυλογενετικών κλάδων (inter-clade divergence) ενισχύει την ανάγκη για στοχευμένη και εξειδικευμένη επιλογή στελεχών ανάλογα με την περιοχή εφαρμογής και το είδος-στόχο. Η προσέγγιση αυτή, γνωστή και ως "precision biocontrol", βασίζεται στη συσχέτιση της γενετικής και οικολογικής ταυτότητας κάθε στελέχους με τις ιδιαίτερες απαιτήσεις του εκάστοτε αγρό-οικολογικού συστήματος, καθιστώντας την εφαρμογή των EPF πιο αποτελεσματική και βιώσιμη.

Η παρουσία απομονώσεων από είδη με τεκμηριωμένη εντομοπαθογενή δράση, όπως *B. bassiana* και *Metarhizium robertsii*, αναδεικνύει τη δυνατότητα άμεσης ενσωμάτωσης των συγκεκριμένων στελεχών σε IPM. Η δραστηριότητα των ειδών αυτών έναντι διαφορετικών σταδίων του εντομολογικού κύκλου, από τις προνύμφες έως τα ενήλικα

άτομα, καθιστά τα στελέχη αυτά κατάλληλους υποψήφιους για στοχευμένη χρήση σε ποικίλα περιβάλλοντα παραγωγής.

Η ενδογενής γενετική και ενδεχομένως φαινοτυπική ποικιλομορφία που παρατηρείται μεταξύ απομονώσεων του ίδιου γένους ενισχύει τη δυνατότητα επιλογής στελεχών με εξειδικευμένα χαρακτηριστικά προσαρμογής. Ειδικότερα, παράγοντες όπως η ανθεκτικότητα στην UV, η προσαρμογή σε διαφορετικά επίπεδα pH εδάφους ή η θερμοαντοχή, καθιστούν δυνατή την επιλογή βιοδραστικών μορφών που επιδεικνύουν αυξημένη σταθερότητα και αποτελεσματικότητα υπό πραγματικές μικροκλιματικές συνθήκες αγρού.

Παράλληλα, η καταγραφή ταυτόχρονης παρουσίας γενών όπως *Purpureocillium*, *Penicillium* και *Cladosporium* υποδηλώνει την ύπαρξη δυνητικών οικολογικών συνεργειών ή ανταγωνιστικών αλληλεπιδράσεων εντός του μικροβιακού περιβάλλοντος (Bensch et al., 2012). Τα γένη αυτά, γνωστά για τις αντιμυκητιακές και ανταγωνιστικές τους ιδιότητες, ενδέχεται να λειτουργούν ως βιολογικοί φραγμοί έναντι φυτοπαθογόνων ή ακόμα και εντομολογικών επιβλαβών οργανισμών. Η αξιοποίηση αυτών των αλληλεπιδράσεων θα μπορούσε να οδηγήσει σε καινοτόμες μορφές πολυτροπικής βιολογικής προστασίας, ενισχύοντας περαιτέρω τη βιωσιμότητα και τη λειτουργική ισορροπία των αγρό-οικοσυστημάτων.

Η ολοκληρωμένη αξιολόγηση των απομονώσεων μέσω συνδυαστικής ανάλυσης στατιστικών και φυλογενετικών δεδομένων ανέδειξε τη σημαντική εντομοπαθογενή και οικολογική τους δυναμική. Η τεκμηριωμένη διαφοροποίηση τόσο σε γενετικό όσο και σε λειτουργικό επίπεδο υπογραμμίζει την ανάγκη για στοχευμένη αξιοποίηση αυτών των στελεχών στο πλαίσιο εφαρμοσμένης βιοτεχνολογίας και αγρό-οικολογικής διαχείρισης (Rehner & Buckley, 2005).

Η επιλογή και χρήση των απομονώσεων αυτών οφείλει να καθοδηγείται από τη γενετική τους τοποθέτηση εντός του φυλογενετικού δένδρου, με στόχο την ταυτοποίηση των πιο υποσχόμενων κλάδων (targeted selection). Παράλληλα, είναι απαραίτητη η συνεκτίμηση των ειδικών συνθηκών ανάπτυξης που απαιτούν, όπως οι μικρό-κλιματικές παράμετροι και οι φυσικοχημικές ιδιότητες του υποστρώματος.

Ιδιαίτερη σημασία έχει, επιπλέον, η δράση τους έναντι των στοχευόμενων εντομολογικών πληθυσμών, τόσο σε επίπεδο φαινοτυπικής παθογένειας όσο και οικολογικής αποτελεσματικότητας. Η τελική τους ένταξη σε αγρό-οικολογικά

συστήματα πρέπει, τέλος, να συνάδει με τις καλλιεργητικές πρακτικές (πίνακας 19) και τα παραγωγικά χαρακτηριστικά του εκάστοτε αγρού, διασφαλίζοντας τη λειτουργική συμβατότητα και τη μακροπρόθεσμη ενσωμάτωσή τους.

Πίνακας 19. Προτεινόμενες εφαρμογές ανά γένος μύκητα.

Γένος Μύκητα	Γνωστή Παθογένεια	Συνθήκες Ανάπτυξης	Εφαρμογή σε IPM
<i>Beauveria</i>	Εντομοπαθόγος	Υψηλή υγρασία, θερμοκρασία 25-30°C	Βιολογικά σκευάσματα για έντομα-στόχους
<i>Metarhizium</i>	Εντομοπαθόγος	Εύρος 20-30°C, UV ανθεκτικός	Μαζική εφαρμογή σε αγρούς
<i>Fusarium</i>	Ενδοφυτικός/παθόγος	Ποικιλία υποστροφμάτων, μέτρια θερμοκρασία	Προληπτικός αποικισμός
<i>Talaromyces</i>	Ενδοφυτικός	Εσωτερικά φυτών, υψηλή σχετική υγρασία	Ενδοφυτική προστασία φυτών
<i>Purpureocillium</i>	Ανταγωνιστικός	Ριζόσφαιρα, οργανικό έδαφος	Ανταγωνισμός παθογόνων στο έδαφος
<i>Penicillium</i>	Σαπροφυτικός/δευτερεύων παθόγος	Αποσυντιθέμενη ύλη, ψυχρά κλίματα	Έμμεση προστασία καλλιεργειών
<i>Cladosporium</i>	Αλλεργιογόνος/σαπροφυτικός	Αέρας, επιφάνειες, δροσερά περιβάλλοντα	Περιορισμένη, ενισχυτικός ρόλος

Τα δεδομένα αυτά προσφέρουν στέρεη επιστημονική βάση για την ανάπτυξη νέας γενιάς βιολογικών παρασκευασμάτων, σχεδιασμένων σύμφωνα με τις αρχές της ακριβείας και της οικολογικής ενσωμάτωσης. Ταυτόχρονα, ενισχύουν τις στρατηγικές αγροοικολογικής μετάβασης, συμβάλλοντας στη μείωση της χημικής εξάρτησης και στην προώθηση μιας βιώσιμης γεωργίας βασισμένης στη φυσική μικροβιακή ποικιλότητα και λειτουργική σταθερότητα των οικοσυστημάτων.

3.3 Ανάλυση της Παρουσίας των Γενών των Μυκήτων

3.3.1 Ανάλυση της Συνολικής Παρουσίας των Γενών των Μυκήτων

3.3.1.1 Περιγραφική Στατιστική Ανάλυση

Η παρούσα στατιστική ανάλυση αποσκοπεί στην κατανόηση της κατανομής των Γενών των Μυκήτων (NGS Illumina) στον χώρο και στον χρόνο, καθώς και στην ανάδειξη των περιβαλλοντικών, εδαφολογικών και ορυκτολογικών παραγόντων που επηρεάζουν την παρουσία τους.

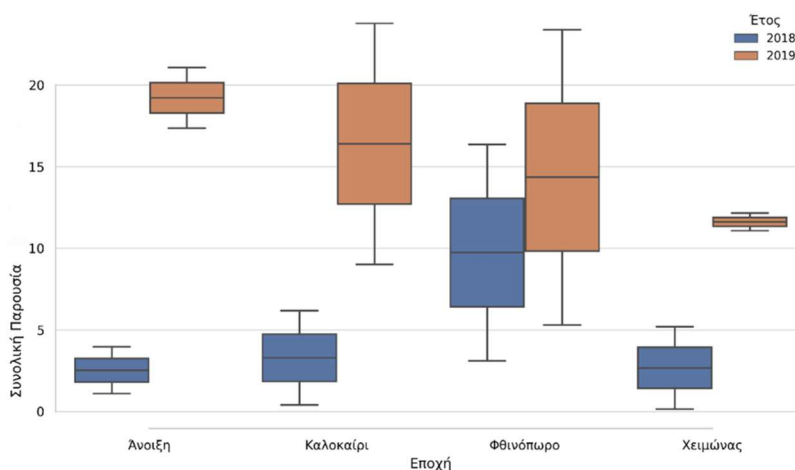
Ξεκινώντας από την περιγραφική στατιστική ανάλυση, οι μέσες τιμές της συνολικής παρουσίας των γενών των μυκήτων παρουσίασαν εποχική και διαχρονική μεταβλητότητα. Συγκεκριμένα, η υψηλότερη μέση τιμή καταγράφηκε το φθινόπωρο του 2019 (14,35%), γεγονός που καταδεικνύει την ύπαρξη ευνοϊκών περιβαλλοντικών

συνθηκών για την ανάπτυξη αυτών των οργανισμών κατά την εν λόγω περίοδο. Αντιθέτως, οι χαμηλότερες τιμές καταγράφηκαν την άνοιξη και το καλοκαίρι του 2018 (2,53% και 3,29% αντίστοιχα). Οι παρατηρούμενες διακυμάνσεις συνοδεύτηκαν από υψηλές τιμές τυπικής απόκλισης, με χαρακτηριστικό παράδειγμα το φθινόπωρο του 2019 ($SD = 12,79$), υποδηλώνοντας ετερογένεια μεταξύ των δειγμάτων (Πίνακας 20).

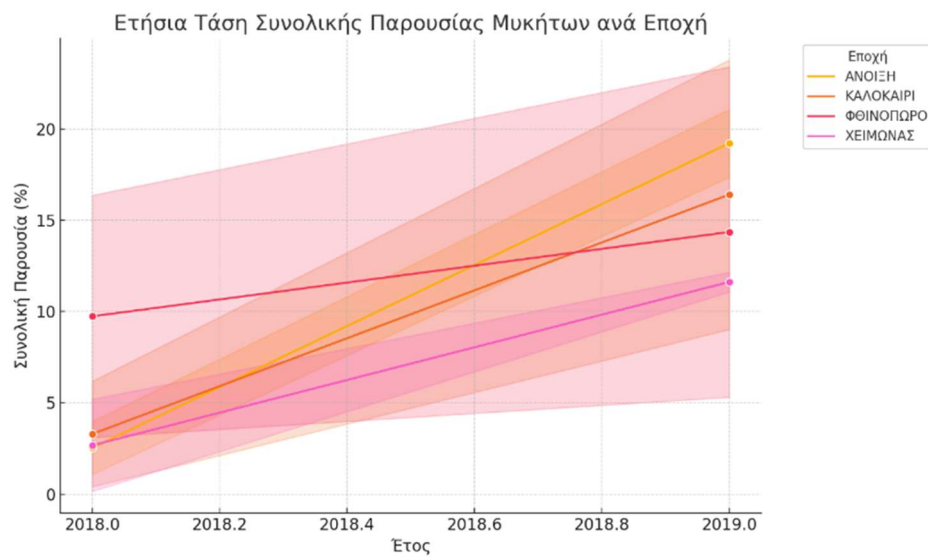
Πίνακας 20. Περιγραφική στατιστική της συνολικής παρουσίας των γενών των μυκήτων ανά εποχή και έτος.

Έτος	Εποχή	Μέση Τιμή	Διάμεσος	Τυπική Απόκλιση	Ελάχιστη	Μέγιστη
2018	ΦΘΙΝΟΠΩΡΟ	9,73655E+15	9,73655E+15	9,37615E+15	3,10661E+16	16,3665E+16
2018	ΑΝΟΙΞΗ	2,53028E+16	2,53028E+16	2,0399E+16	1,08786E+15	3,97271E+16
2018	ΚΑΛΟΚΑΙΡΙ	3,29112E+15	3,29112E+15	4,08782E+15	4,00598E+15	6,18165E+14
2018	ΧΕΙΜΩΝΑΣ	2,6713E+15	2,6713E+15	3,5632E+16	1,51742E+16	5,19086E+15
2019	ΦΘΙΝΟΠΩΡΟ	14,3528E+16	14,3528E+16	12,7912E+15	5,30805E+15	23,3975E+16
2019	ΑΝΟΙΞΗ	19,217E+15	19,217E+15	2,62137E+16	17,3635E+16	21,0706E+16
2019	ΚΑΛΟΚΑΙΡΙ	16,4015E+15	16,4015E+15	10,4411E+16	9,01854E+15	23,7844E+15
2019	ΧΕΙΜΩΝΑΣ	11,616E+16	11,616E+16	7,58821E+15	11,0794E+16	12,1525E+16

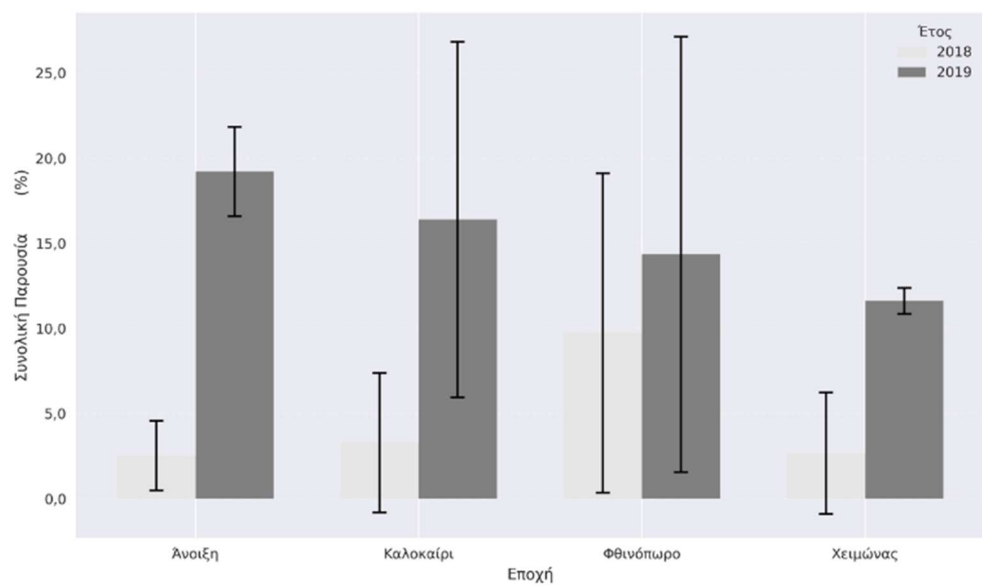
Η εποχιακή τάση απεικονίστηκε με σαφήνεια στα σχήματα 33 και 34, ενώ η υπεροχή του 2019 σε σχέση με τα 2018 καταγράφηκε στα σχήματα 35 και 36.



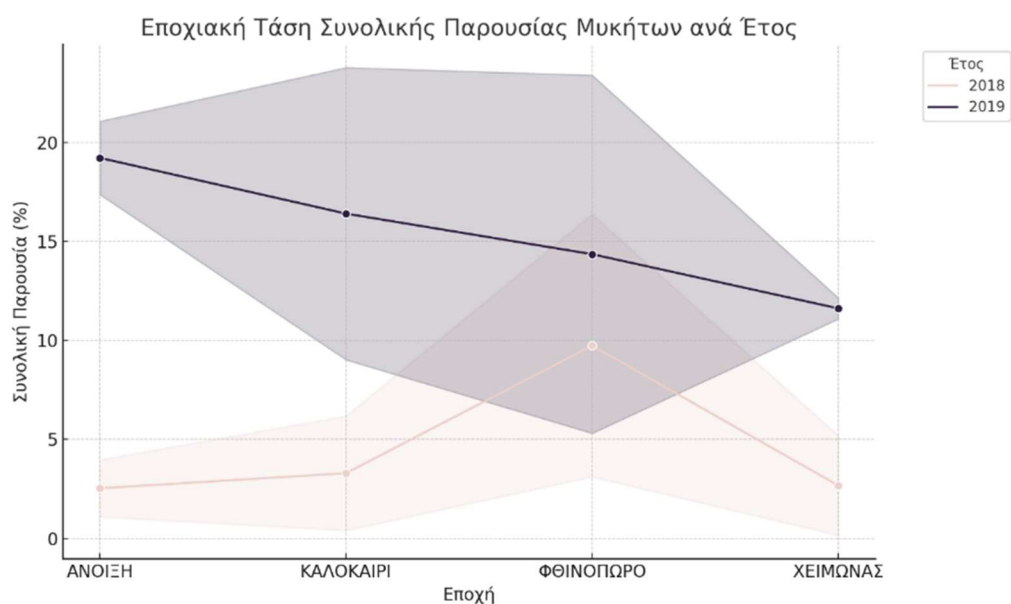
Σχήμα 33. Boxplot της συνολικής παρουσίας των μυκήτων ανά εποχή και έτος.



Σχήμα 34. Ετήσια τάση συνολικής παρουσίας των μυκήτων ανά εποχή.



Σχήμα 35. Μέση τιμή της συνολικής παρουσίας των μυκήτων ανά εποχή και έτος (με τυπική απόκλιση).



Σχήμα 36. Εποχιακή τάση της συνολικής παρουσίας των μυκήτων ανά έτος.

3.3.1.2 Έλεγχος Κανονικότητας

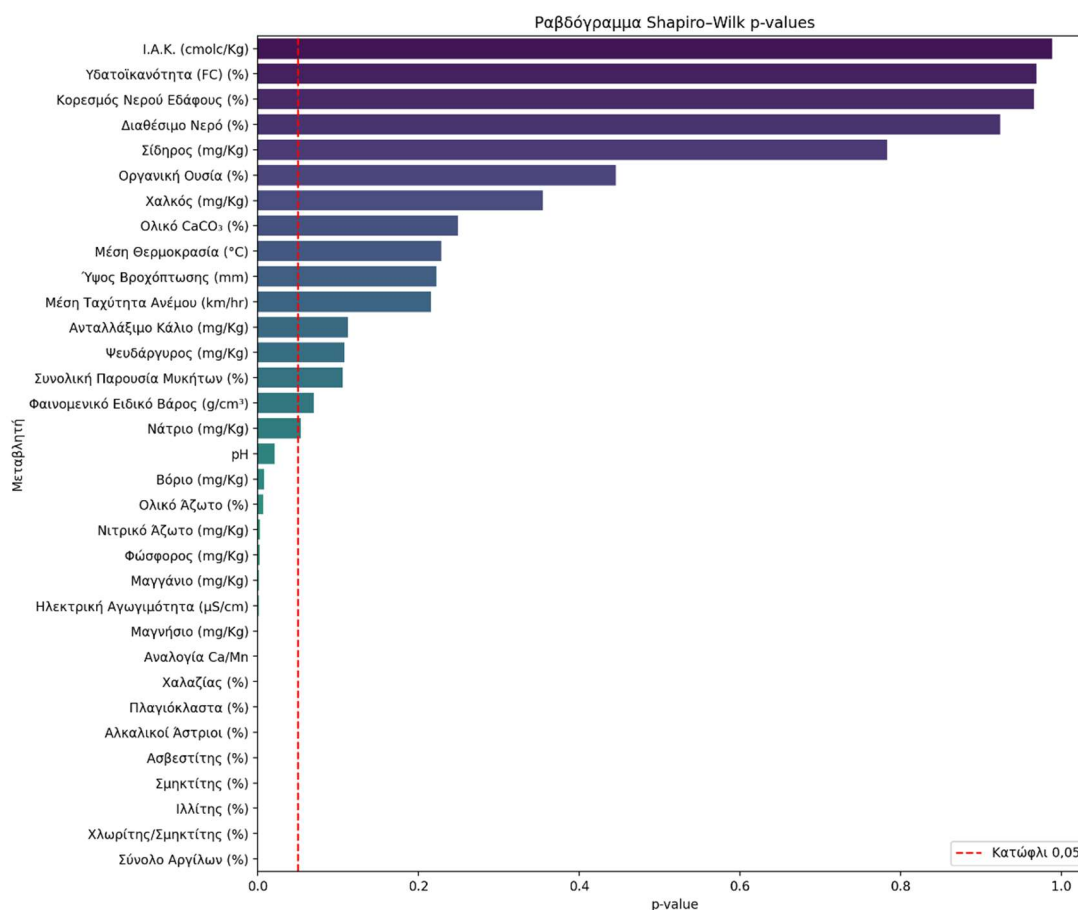
Η επόμενη φάση της στατιστικής ανάλυσης επικεντρώθηκε στην αξιολόγηση της κανονικότητας των μεταβλητών, διαδικασία που υλοποιήθηκε μέσω της δοκιμασίας Shapiro–Wilk. Όπως παρουσιάζεται στον πίνακα 21, τα αποτελέσματα κατέδειξαν ότι οι περισσότερες εξεταζόμενες μεταβλητές, αποκλίνουν από την κανονική κατανομή.

Πίνακας 21. Αποτελέσματα του Shapiro-Wilk Test για τον έλεγχο κανονικότητας όλων των αριθμητικών μεταβλητών.

Μεταβλητή	W	p-value	Κανονικότητα
Συνολική Παρουσία Μυκήτων (%)	0,91	0,1055	Ναι
Μέση θερμοκρασία (°C)	0,93	0,2282	Ναι
Ύψος Βροχής (mm)	0,93	0,2223	Ναι
Μέση Ταχύτητα Ανέμου (km/hr)	0,93	0,2155	Ναι
Εδαφική Υγρασία (%)	0,86	0,0192	Όχι
Φαινομενικό ειδικό βάρος, g/cm ³	0,90	0,0693	Ναι
Νερό Κορεσμού Εδάφους (SP) (%)	0,98	0,9660	Ναι
Σημείο Μόνιμης Μάρανσης (PWP) (%)	0,98	0,9732	Ναι
Υδατοϊκανότητα (FC) (%)	0,98	0,9688	Ναι
Διαθέσιμο Νερό (%)	0,98	0,9238	Ναι
pH	0,86	0,0209	Όχι
Ηλεκτρική Αγωγιμότητα (CE) (μs/cm)	0,77	0,0013	Όχι
Ολικό CaCO ₃ (%)	0,93	0,2486	Ναι
Οργανική Ουσία (%)	0,95	0,4457	Ναι
Ολικό Αζωτο (N) (%)	0,83	0,0069	Όχι

Μεταβλητή	W	p-value	Κανονικότητα
Νιτρικό Άζωτο (NO ₃ -N) (mg/Kg)	0,80	0,0029	Όχι
Φωσφόρος (P) (mg/Kg)	0,79	0,0023	Όχι
Ανταλλάξιμο Κάλιο (K) (mg/Kg)	0,91	0,1120	Ναι
Νάτριο (Na) (mg/Kg)	0,89	0,0533	Ναι
Ασβέστιο (Ca) (mg/kg)	0,91	0,1144	Ναι
Μαγνήσιο (Mg) (mg/kg)	0,74	0,0005	Όχι
Σίδηρος (Fe) (mg/Kg)	0,97	0,7833	Ναι
Ψευδάργυρος (Zn) (mg/Kg)	0,91	0,1082	Ναι
Μαγγάνιο (Mn) (mg/Kg)	0,78	0,0017	Όχι
Χαλκός (Cu) (mg/Kg)	0,94	0,3546	Ναι
Βόριο (B) (mg/Kg)	0,83	0,0077	Όχι
Ικανότητα Ανταλλαγής Κατιόντων (C.E.C.) (cmolc/Kg)	0,98	0,9885	Ναι
Σχέση Άνθρακα/Αζώτου (C/N)	0,93	0,2288	Ναι
Βαθμός Αλκαλίωσης (E.S.P.) (%)	0,90	0,0669	Ναι
Λόγος Απορρόφησης Νατρίου (S.A.R.)	0,93	0,2825	Ναι
Αναλογία Καλίου προς Μαγνήσιο (K/Mg)	0,79	0,0020	Όχι
Αναλογία Ασβεστίου προς Μαγνήσιο (Ca/Mg)	0,73	0,0004	Όχι
Αναλογία Μαγνησίου προς Κάλιο (Mg/K)	0,80	0,0027	Όχι
Αναλογία Ασβεστίου προς Κάλιο (Ca/K)	0,83	0,0069	Όχι
Αναλογία Ασβεστίου προς Μαγγάνιο (Ca/Mn)	0,71	0,0002	Όχι
Αναλογία Φωσφόρου προς Σίδηρο (P/Fe)	0,86	0,0176	Όχι
Χαλαζίας (Qz) Μέσο Ποσοστό	0,64	4,33952E-05	Όχι
Πλαγιόκλαστα (plg) Μέσο Ποσοστό	0,64	4,33952E-05	Όχι
Αλκαλικοί Αστριοί (Kfs) Μέσο ποσοστό	0,64	4,33952E-05	Όχι
Ασβεστίτης (Cc) Μέσο Ποσοστό	0,64	4,33952E-05	Όχι
Σμηκτίτης (Sm) Μέσο Ποσοστό	0,64	4,33952E-05	Όχι
Ιλλίτης (Il) Μέσο ποσοστό	0,64	4,33952E-05	Όχι
Χλωρίτης/Σμηκτίτης Μικτής στρώσης Αργίλος Μέσο Ποσοστό	0,64	4,33952E-05	Όχι
Σύνολο Αργιλικών Ορυκτών Μέσο ποσοστό	0,64	4,33952E-05	Όχι

0,05) (σχήμα 37), τα οποία ανέδειξαν την ανομοιομορφία στην κατανομή των δεδομένων. Η στατιστική αυτή συμπεριφορά υπαγορεύει την υιοθέτηση μη παραμετρικών μεθόδων ανάλυσης, όπως η δοκιμασία Kruskal–Wallis και οι συσχετίσεις κατά Spearman, για την ακριβέστερη αξιολόγηση των σχέσεων μεταξύ των παραμέτρων.



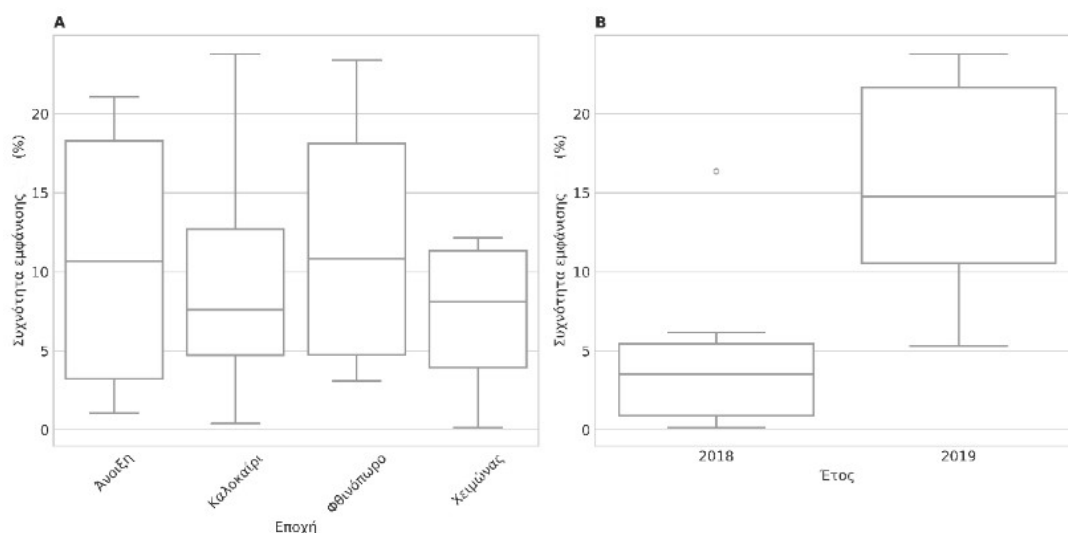
Σχήμα 37. Shapiro-Wilk P-Values Για περιβαλλοντικές, εδαφολογικές και ορυκτολογικές μεταβλητές.

3.3.1.3 Συγκριτική Ανάλυση μεταξύ Εποχών και Ετών

Η εφαρμογή της μη παραμετρικής δοκιμασίας Kruskal–Wallis αποκάλυψε ότι η συνολική παρουσία των μυκήτων δεν διαφοροποιήθηκε στατιστικά σημαντικά μεταξύ των εποχών ($H = 0,60$, $p = 0,8974$). Αντιθέτως, καταγράφηκε στατιστικά σημαντική διαφορά στη συχνότητα της συνολικής παρουσίας των μυκήτων μεταξύ των ετών 2018 και 2019 ($H = 8,04$, $p = 0,0046$), όπως παρουσιάζεται στον Πίνακα 22 και απεικονίζεται στα Σχήματα 38Α και 38Β.

Πίνακας 22. Kruskal-Wallis test συνολικής παρουσίας των μυκήτων μεταξύ εποχών και ετών.

Σύγκριση	H	p-value	Σημαντικότητα ($p < 0,05$)
Άνοιξη - Καλοκαίρι - Φθινόπωρο - Χειμώνας	0,60	0,8974	Όχι
2018 – 2019	8,04	0,0046	Ναι



Σχήμα 38. Α. Συχνότητα συνολικής παρουσίας των μυκήτων ανά εποχή (άνοιξη, καλοκαίρι, φθινόπωρο, χειμώνας), Β. Συχνότητα εμφάνισης συνολικής παρουσίας των μυκήτων ανά έτος.

Η ανάλυση πολλαπλών συγκρίσεων μεταξύ των εποχών ($n = 6$) δεν ανέδειξε καμία στατιστικά σημαντική διαφορά, καθώς όλες οι διορθωμένες τιμές p (Bonferroni) υπερέβησαν το όριο σημαντικότητας του 0,05 (Πίνακας 23), γεγονός που συνηγορεί υπέρ της εποχικής σταθερότητας στην κατανομή των γενών των μυκήτων κατά την περίοδο μελέτης.

Πίνακας 23. Αποτελέσματα ελέγχου Mann-Whitney U με διόρθωση Bonferroni για πολλαπλές συγκρίσεις μεταξύ εποχών και ετών ως προς τη συχνότητα εμφάνισης της Συνολικής Παρουσίας των μυκήτων.

Σύγκριση	U statistic	p-τιμή	Διορθωμένη p-τιμή (Bonferroni)	Στατιστικά σημαντικό ($p < 0,05$)
ΑΝΟΙΞΗ - ΚΑΛΟΚΑΙΡΙ	8	1,000	6,000	Όχι
ΑΝΟΙΞΗ - ΦΘΙΝΟΠΩΡΟ	7	0,886	5,314	Όχι
ΑΝΟΙΞΗ - ΧΕΙΜΩΝΑΣ	10	0,686	4,114	Όχι
ΑΝΟΙΞΗ - ΦΘΙΝΟΠΩΡΟ	8	1,000	6,000	Όχι
ΚΑΛΟΚΑΙΡΙ - ΧΕΙΜΩΝΑΣ	9	0,886	5,314	Όχι
ΦΘΙΝΟΠΩΡΟ - ΧΕΙΜΩΝΑΣ	11	0,486	2,914	Όχι
2018-2019	5	0,003	0,003	Ναι

Αντιθέτως, η σύγκριση των δεδομένων μεταξύ των ετών 2018 και 2019 με τη χρήση της δοκιμασίας Mann-Whitney ανέδειξε στατιστικά σημαντική διαφορά ($U = 5$, $p = 0,003$), επιβεβαιώνοντας αξιοσημείωτη χρονική μεταβλητότητα στη συχνότητα εμφάνισης των γενών των μυκήτων. Το εύρημα αυτό είναι ιδιαίτερος σημαντικό για την ερμηνεία της

επίδρασης διαχρονικών οικολογικών παραμέτρων στη δυναμική των πληθυσμών των εν λόγω μυκήτων.

Συνολικά, τα αποτελέσματα της παρούσας ανάλυσης υποδεικνύουν ότι, ενώ η εποχικότητα δεν φαίνεται να αποτελεί ρυθμιστικό παράγοντα για την παρουσία των γενών των μυκήτων, η διακύμανση μεταξύ ετών είναι στατιστικά και οικολογικά σημαντική, και επομένως πρέπει να ληφθεί υπόψη στην ερμηνεία των οικολογικών αλληλεπιδράσεων που διερευνώνται στην παρούσα μελέτη (Meyling & Hajek, 2010).

3.3.1.4 Συσχετίσεις με Περιβαλλοντικούς, Εδαφολογικούς και Ορυκτολογικούς Παράγοντες

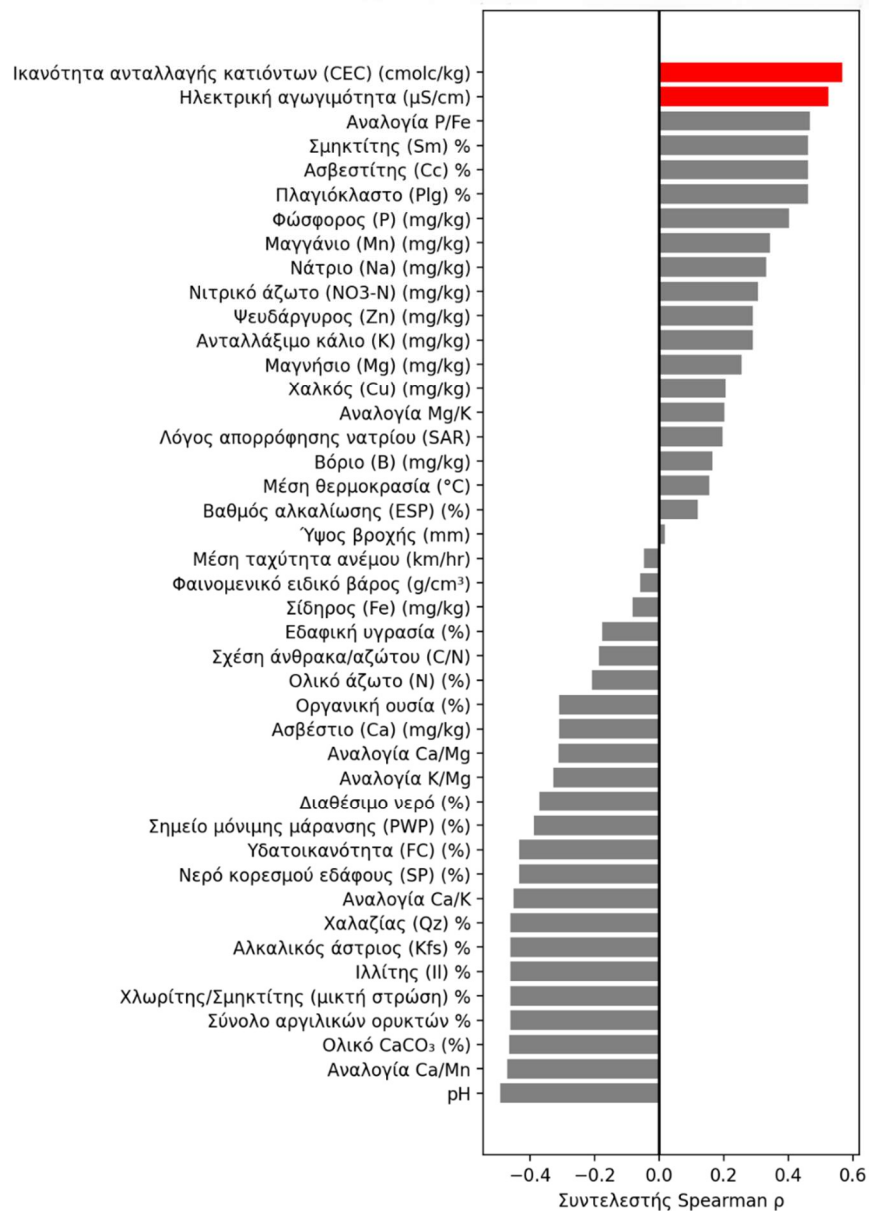
Η διερεύνηση των σχέσεων μεταξύ της συνολικής παρουσίας μυκήτων και των περιβαλλοντικών, εδαφολογικών ορυκτολογικών παραμέτρων πραγματοποιήθηκε μέσω ανάλυσης κατά Spearman. Όπως απεικονίζεται στον Πίνακα 24 και στο Σχήμα 39, καταγράφηκαν θετικές και στατιστικά σημαντικές συσχετίσεις της συνολικής παρουσίας των μυκήτων με την CEC ($\rho = +0,57$, $p = 0,020$) και με την EC του εδάφους ($\rho = +0,52$, $p = 0,037$). Οι γραφικές παραστάσεις τύπου scatterplot (Σχήματα 40, 41) τεκμηριώνουν την εν λόγω θετική συσχέτιση, υποδεικνύοντας ότι εδάφη με αυξημένες τιμές CEC και EC σχετίζονται με ενισχυμένη παρουσία των εν λόγω μυκήτων.

Η παρατήρηση αυτή συνάδει με τη βιβλιογραφία (Kissel & Sonon, 2008; Chandran et al., 2025) που επισημαίνει ότι εδάφη πλούσια σε εναλλάξιμα κατιόντα και με υψηλή ηλεκτρική αγωγιμότητα δημιουργούν ευνοϊκό υπόστρωμα για την εγκατάσταση και επιβίωση μικροβιακών κοινοτήτων, συμπεριλαμβανομένων και των EPF. Τα αποτελέσματα αυτά αναδεικνύουν τον κρίσιμο ρόλο των εδαφικών ιδιοτήτων στη διαμόρφωση της οικολογικής εξειδίκευσης και χωρικής κατανομής των μυκήτων.

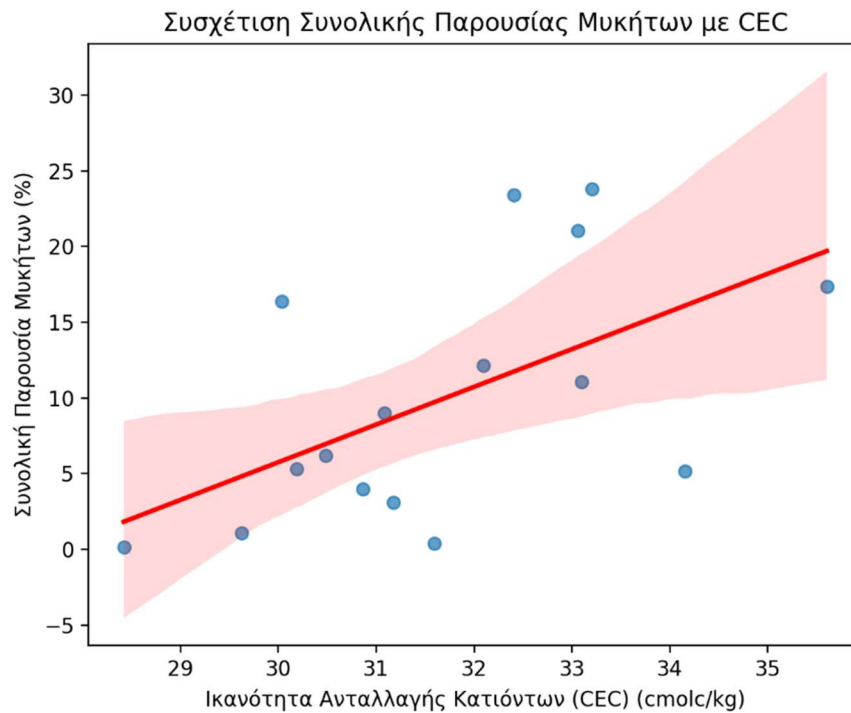
Πίνακας 24. Συσχετίσεις Spearman μεταξύ της συνολικής παρουσίας των μυκήτων και περιβαλλοντικών, εδαφολογικών και ορυκτολογικών παραμέτρων.

Μεταβλητή	Spearman ρ	p-value	Σημαντικότητα ($p < 0,05$)
pH	-0,491176471	0,053350436	OXI
Αναλογία Ca/Mn	-0,470588235	0,065819473	OXI
Ολικό CaCO_3 (%)	-0,464705882	0,069743676	OXI
Σύνολο αργιλικών ορυκτών %	-0,460977223	0,072317702	OXI
Χλωρίτης/Σμηκτίτης (μικτή στρώση) %	-0,460977223	0,072317702	OXI
Ιλλίτης (II) %	-0,460977223	0,072317702	OXI
Αλκαλικός άστριος (Kfs) %	-0,460977223	0,072317702	OXI

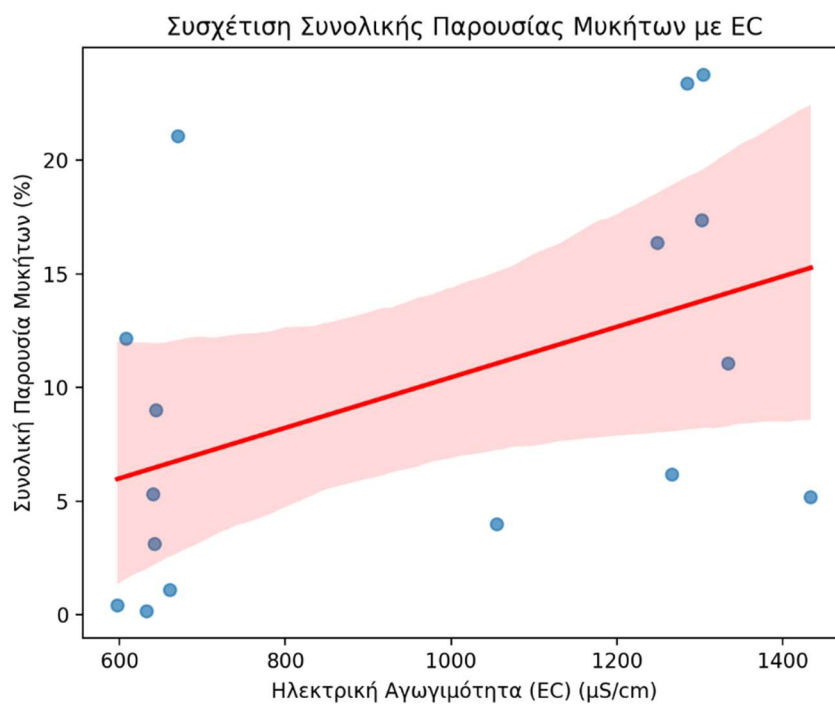
Μεταβλητή	Spearman ρ	p-value	Σημαντικότητα (p<0,05)
Χαλαζίας (Qz) %	-0,460977223	0,072317702	OXI
Αναλογία Ca/K	-0,45	0,080295737	OXI
Νερό κορεσμού εδάφους (SP) (%)	-0,432352941	0,094421038	OXI
Υδατοϊκανότητα (FC) (%)	-0,432352941	0,094421038	OXI
Σημείο μόνιμης μάρανσης (PWP) (%)	-0,388235294	0,137281624	OXI
Διαθέσιμο νερό (%)	-0,370588235	0,157650465	OXI
Αναλογία K/Mg	-0,326470588	0,217159491	OXI
Αναλογία Ca/Mg	-0,311764706	0,239800048	OXI
Ασβέστιο (Ca) (mg/kg)	-0,308823529	0,244498696	OXI
Οργανική ουσία (%)	-0,308823529	0,244498696	OXI
Ολικό άζωτο (N) (%)	-0,207505575	0,440621443	OXI
Σχέση άνθρακα/αζώτου (C/N)	-0,185294118	0,49205705	OXI
Εδαφική υγρασία (%)	-0,176470588	0,513250597	OXI
Σίδηρος (Fe) (mg/kg)	-0,082352941	0,761733079	OXI
Φαινομενικό ειδικό βάρος (g/cm³)	-0,058823529	0,82868075	OXI
Μέση ταχύτητα ανέμου (km/hr)	-0,047093464	0,862503451	OXI
Ύψος βροχής (mm)	0,017647059	0,94828015	OXI
Βαθμός αλκαλίωσης (ESP) (%)	0,120588235	0,656424515	OXI
Μέση θερμοκρασία (°C)	0,155882353	0,564281969	OXI
Βόριο (B) (mg/kg)	0,164705882	0,542148135	OXI
Λόγος απορρόφησης νατρίου (SAR)	0,197058824	0,464464211	OXI
Αναλογία Mg/K	0,202941176	0,450961242	OXI
Χαλκός (Cu) (mg/kg)	0,205882353	0,444284641	OXI
Μαγνήσιο (Mg) (mg/kg)	0,255882353	0,338789908	OXI
Ανταλλάξιμο κάλιο (K) (mg/kg)	0,291176471	0,273887048	OXI
Ψευδάργυρος (Zn) (mg/kg)	0,291176471	0,273887048	OXI
Νιτρικό άζωτο (NO3-N) (mg/kg)	0,305882353	0,249254299	OXI
Νάτριο (Na) (mg/kg)	0,332352941	0,208499828	OXI
Μαγγάνιο (Mn) (mg/kg)	0,344117647	0,191855631	OXI
Φώσφορος (P) (mg/kg)	0,402941176	0,121745763	OXI
Πλαγιόκλαστο (Plg) %	0,460977223	0,072317702	OXI
Ασβεστίτης (Cc) %	0,460977223	0,072317702	OXI
Σμηκτίτης (Sm) %	0,460977223	0,072317702	OXI
Αναλογία P/Fe	0,467647059	0,06776085	OXI
Ηλεκτρική αγωγιμότητα (μS/cm)	0,523529412	0,037412648	NAI
Ικανότητα ανταλλαγής κατιόντων (CEC) (cmolc/kg)	0,567647059	0,021814592	NAI



Σχήμα 39. Συσχέτιση Spearman με τη συνολική παρουσία των μυκήτων.



Σχήμα 40. Συσχέτιση συνολικής παρουσίας των μυκήτων με CEC.



Σχήμα 41. Συσχέτιση συνολικής παρουσίας μυκήτων με EC.

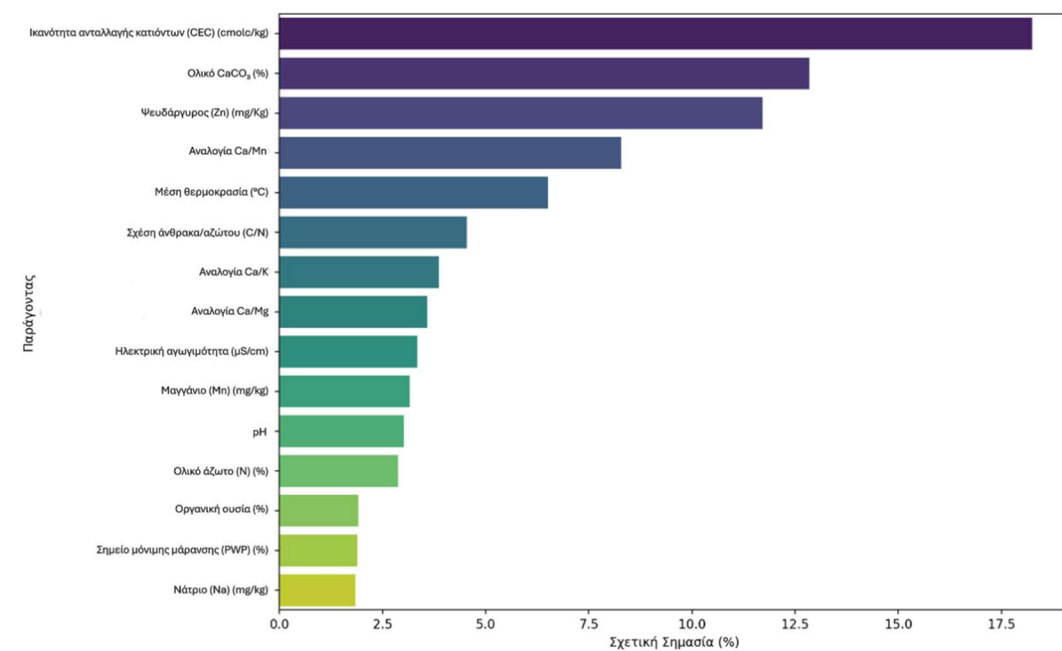
3.3.1.5 Ανάλυση με *Random Forest Regression*

Η εφαρμογή της μη γραμμικής παλινδρόμησης μέσω του μοντέλου *Random Forest Regression* (Πίνακας 25, σχήμα 42) ανέδειξε τη σημασία συγκεκριμένων εδαφολογικών, ορυκτολογικών και περιβαλλοντικών μεταβλητών στη διαμόρφωση της συνολικής παρουσίας των γενών των μυκήτων στο έδαφος. Σύμφωνα με τα αποτελέσματα, η CEC, το ολικό ανθρακικό ασβέστιο και ο ψευδάργυρος προέκυψαν ως οι πλέον καθοριστικοί παράγοντες, παρουσιάζοντας τις υψηλότερες τιμές σχετικής σημασίας (18,24%, 12,85% και 11,71% αντίστοιχα). Επιπλέον, οι αναλογίες μεταξύ βασικών θρεπτικών στοιχείων (Ca/Mn, Ca/K, Ca/Mg), όπως και η μέση θερμοκρασία, συνεισφέρουν ουσιαστικά στη δημιουργία μικρό-περιβαλλοντικών συνθηκών που ευνοούν την εγκατάσταση και επιβίωση των μυκήτων.

Το μοντέλο παρουσίασε υψηλή προβλεπτική ικανότητα ($R^2 = 0,82$, $p < 0,001$), επιβεβαιώνοντας την πολυπαραγοντική φύση των αλληλεπιδράσεων που διέπουν την οικολογία των μυκήτων στο έδαφος. Τα ευρήματα αυτά καθιστούν σαφές ότι η κατανόηση και διαχείριση αυτών των σύνθετων σχέσεων μπορεί να αποτελέσει βασικό εργαλείο για τη βελτιστοποίηση των συνθηκών ενίσχυσης της φυσικής βιολογικής καταπολέμησης εντόμων στα αγρό-οικοσυστήματα.

Πίνακας 25. Σχετική σημασία περιβαλλοντικών και εδαφολογικών παραγόντων στην πρόβλεψη της συνολικής παρουσίας των μυκήτων.

Παράγοντας	Σχετική Σημασία (%)	Τυπικό Σφάλμα	p-value	Σημαντικότητα
Ικανότητα ανταλλαγής κατιόντων (CEC) (cmolc/kg)	18,24	30,496	< .001	***
Ολικό CaCO ₃ (%)	12,85	25,03	< .001	***
Ψευδάργυρος (Zn) (mg/Kg)	11,71	25,292	< .001	***
Αναλογία Ca/Mn	8,29	21,145	< .01	**
Μέση θερμοκρασία (°C)	6,51	13,023	< .01	**
Σχέση άνθρακα/αζώτου (C/N)	4,54	14,174	< .01	**
Αναλογία Ca/K	3,87	14,192	< .01	**
Αναλογία Ca/Mg	3,59	11,56	< .01	**
Ηλεκτρική αγωγιμότητα (μS/cm)	3,34	12,81	< .01	**
Μαγγάνιο (Mn) (mg/kg)	3,15	12,122	< .01	**
pH	3,01	13,609	< .01	**
Ολικό άζωτο (N) (%)	2,87	7,056	< .05	*
Οργανική ουσία (%)	1,92	9,179	< .05	*
Σημείο μόνιμης μάρανσης (PWP) (%)	1,89	10,806	< .05	*
Νάτριο (Na) (mg/kg)	1,84	7,782	< .05	*
Μαγνήσιο (Mg) (mg/kg)	1,83	4,329	< .05	*
Βαθμός αλκαλίων (ESP) (%)	1,74	7,788	< .05	*
Εδαφική υγρασία (%)	1,48	5,677	< .05	*
Σίδηρος (Fe) (mg/kg)	1,02	3,985	< .05	*
Νερό κορεσμού εδάφους (SP) (%)	0,93	5,907	< .05	*
Φαινομενικό ειδικό βάρος (g/cm ³)	0,85	3,367	< .05	*
Βόριο (B) (mg/kg)	0,77	2,748	< .05	*
Διαθέσιμο νερό (%)	0,73	5,38	< .05	*
Ανταλλάξιμο κάλιο (K) (mg/kg)	0,64	2,539	< .05	*
Νιτρικό άζωτο (NO ₃ -N) (mg/kg)	0,51	2,212	< .05	*
Ασβέστιο (Ca) (mg/kg)	0,46	1,524	> .05	ns
Φώσφορος (P) (mg/kg)	0,44	2,28	> .05	ns
Λόγος απορρόφησης νατρίου (SAR)	0,28	1,106	> .05	ns
Υδατοϊκανότητα (FC) (%)	0,26	1,603	> .05	ns
Χλωρίτης/Σμηκτίτης (μικτή στρώση) %	0,11	0,583	> .05	ns
Πλαγιόκλαστο (Plg) %	0,09	0,505	> .05	ns
Αλκαλικός άστριος (Kfs) %	0,07	0,371	> .05	ns
Σύνολο αργιλικών ορυκτών %	0,07	0,482	> .05	ns
Ιλλίτης (Il) %	0,04	0,257	> .05	ns
Χαλαζίας (Qz) %	0,03	0,227	> .05	ns
Σμηκτίτης (Sm) %	0,02	0,096	> .05	ns
Ασβεστίτης (Cc) %	0,01	0,046	> .05	ns
Αναλογία P/Fe	0,01	0,042	> .05	ns
Χαλκός (Cu) (mg/kg)	0,01	0,039	> .05	ns
Αναλογία Mg/K	0,01	0,035	> .05	ns
Ύψος Βροχής (mm)	0,01	0,033	> .05	ns
Μέση Ταχύτητα Ανέμου (km/hr)	0,01	0,032	> .05	ns
Αναλογία K/Mg	0,01	0,029	> .05	ns



Σχήμα 42. Σημαντικότεροι περιβαλλοντικοί και εδαφολογικοί παράγοντες στην πρόβλεψη της συνολικής παρουσίας των μυκήτων.

3.3.1.6 Πολυμεταβλητή Ανάλυση – CCA

Η ανάλυση κανονικής συσχέτισης αποκάλυψε ότι ο πρώτος άξονας (CCA1) εξηγεί το 24,49% της συνολικής διακύμανσης, ενώ ο δεύτερος άξονας (CCA2) ερμηνεύει το υπόλοιπο 75,51%. Συνολικά, οι δύο άξονες αποδίδουν το 100% της μεταβλητότητας που σχετίζεται με τη χωρική και ποσοτική κατανομή των μυκήτων στο έδαφος. Η κυρίαρχη συμβολή του δεύτερου άξονα υποδηλώνει ότι η διαφοροποίηση της παρουσίας των μυκήτων επηρεάζεται κυρίως από συγκεκριμένους περιβαλλοντικούς και εδαφικούς δείκτες.

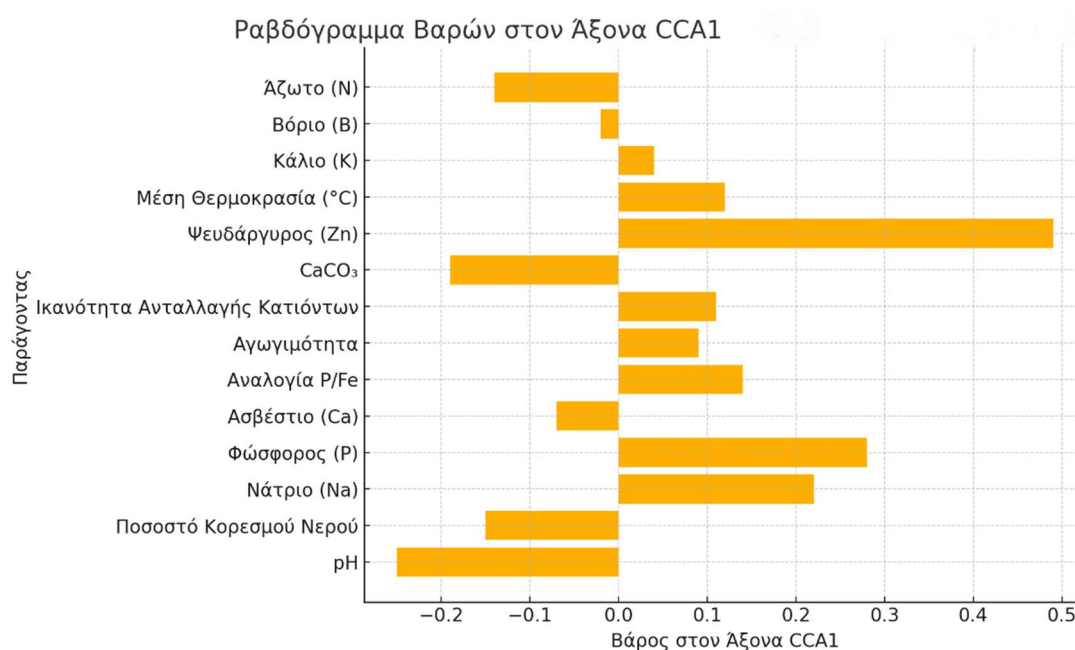
Σύμφωνα με την ανάλυση των επιμέρους σταθμίσεων (weights) των παραμέτρων (Πίνακας 26), ο ψευδάργυρος αναδεικνύεται ως ο ισχυρότερος ρυθμιστικός παράγοντας (weight = 0,475), ακολουθούμενος από την CEC, (weight = 0,356), το ποσοστό οργανικής ουσίας (weight = 0,315), και το ολικό ανθρακικό ασβέστιο (weight = 0,297). Επιπλέον, δείκτες όπως το ανταλλάξιμο κάλιο, ο βαθμός αλκαλίωσης και ο λόγος απορρόφησης νατρίου παρουσιάζουν αξιοσημείωτη συνεισφορά στη διακύμανση της συνολικής παρουσίας των μυκήτων.

Η ισχυρή θετική συσχέτιση της συγκέντρωσης ψευδαργύρου και της CEC με την συνολική παρουσία των μυκήτων επιβεβαιώνει την καθοριστική σημασία των θρεπτικών στοιχείων και της δομής του εδάφους στη διατήρηση της μικροβιακής

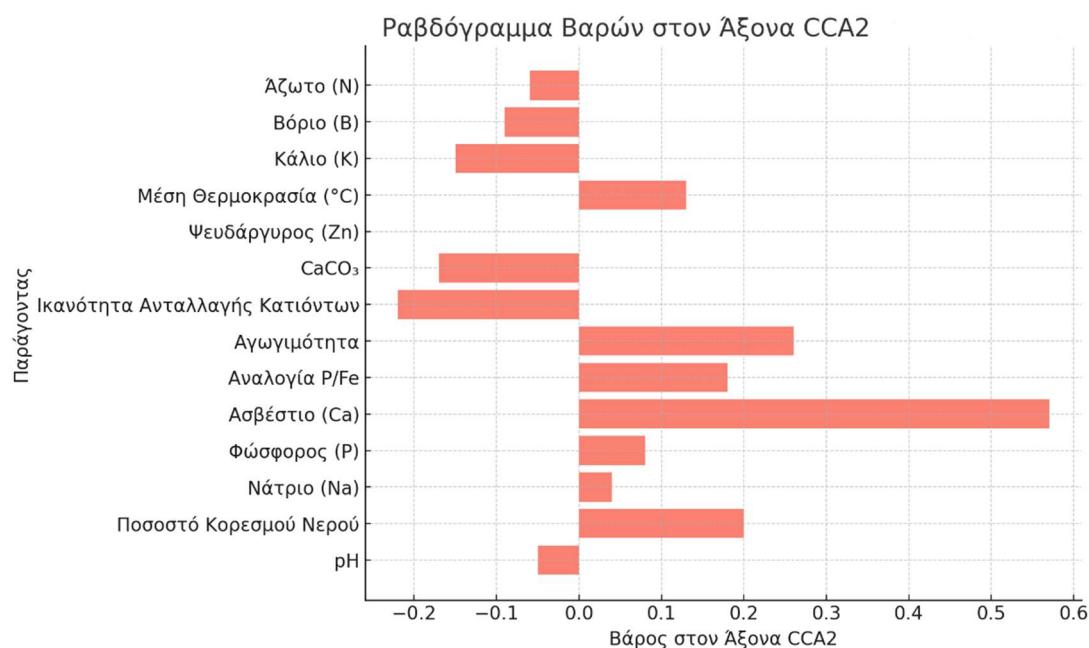
Πίνακας 26. Συντελεστές βαρύτητας περιβαλλοντικών, εδαφολογικών και ορυκτολογικών παραγόντων στην συνολική παρουσία των γενών των μυκήτων.

Παράγοντας	CCA1	CCA2	Weight Coefficient
Ψευδάργυρος (Zn) (mg/Kg)	0,55320631	0,001425095	0,475
Ικανότητα ανταλλαγής κατιόντων (CEC) (cmolc/kg)	-0,057562267	-0,273601713	0,356
Οργανική ουσία (%)	-0,125339195	-0,161933135	0,315
Ολικό CaCO ₃ (%)	-0,277697577	-0,256269056	0,297
Ανταλλάξιμο κάλιο (K) (mg/kg)	-0,074679798	-0,28255917	0,239
Βαθμός αλκαλίωσης (ESP) (%)	-0,118594266	0,006036597	0,218
Λόγος απορρόφησης νατρίου (SAR)	-0,091058343	-0,037861202	0,194
Αναλογία P/Fe	0,150539756	0,249729856	0,187
Αναλογία Mg/K	-0,156732611	-0,102874333	0,187
Αναλογία K/Mg	0,160661373	-0,042230258	0,184
Ασβέστιο (Ca) (mg/kg)	-0,081033488	0,570043869	0,183
Χαλκός (Cu) (mg/kg)	-0,083376586	-0,152064722	0,176
Φαινομενικό ειδικό βάρος (g/cm ³)	-0,104079877	0,038957687	0,139
Αναλογία Ca/K	0,022027528	-0,078227551	0,135
Σημείο μόνιμης μάρανσης (PWP) (%)	-0,127835025	-0,167248303	0,133
Μέση Ταχύτητα Ανέμου (km/hr)	0,007433091	-0,086154316	0,131
Ολικό άζωτο (N) (%)	-0,235010543	0,081885425	0,126
Νερό κορεσμού εδάφους (SP) (%)	-0,16700348	0,176228626	0,125
Υδατοϊκανότητα (FC) (%)	-0,161082896	0,160518601	0,109
Μέση θερμοκρασία (°C)	0,247372061	-0,116660039	0,096
Αναλογία Ca/Mg	0,155223452	-0,050957384	0,083
Μαγνήσιο (Mg) (mg/kg)	0,015675666	0,029012979	0,072
Σχέση άνθρακα/αζώτου (C/N)	-0,152915342	0,104445547	0,057
Βόριο (B) (mg/kg)	0,090587469	0,188237492	0,048
Ηλεκτρική αγωγιμότητα (μS/cm)	-0,096064805	0,312499987	0,039
pH	-0,173564577	-0,048117487	0,038
Νάτριο (Na) (mg/kg)	0,246690812	-0,032357988	0,033
Νιτρικό άζωτο (NO ₃ -N) (mg/kg)	-0,045152229	0,050079224	0,027
Εδαφική υγρασία (%)	0,108509617	-0,009727869	0,025
Αναλογία Ca/Mn	0,10493305	-0,046226016	0,025
Διαθέσιμο νερό (%)	-0,101211892	0,113831507	0,018
Σίδηρος (Fe) (mg/kg)	-0,036449555	-0,109546314	0,016
Φώσφορος (P) (mg/kg)	0,278053814	0,075831171	0,015
Μαγγάνιο (Mn) (mg/kg)	0,114676216	0,153152372	0,013
Ύψος Βροχής (mm)	0,006163935	0,014202438	0,012
Ασβεστότης (Cc) %	-0,048297525	0,058124212	0,003
Πλαγιόκλαστο (Plg) %	-0,048297525	0,058124212	0,003
Σμηκτίτης (Sm) %	-0,048297525	0,058124212	0,003
Χλωρίτης/Σμηκτίτης (μικτή στρώση) %	0,048297525	-0,058124212	0,003
Σύνολο αργιλικών ορυκτών %	0,048297525	-0,058124212	0,003
Αλκαλικός άστριος (Kfs) %	0,048297525	-0,058124212	0,003
Ιλλίτης (Il) %	0,048297525	-0,058124212	0,003
Χαλαζίας (Qz) %	0,048297525	-0,058124212	0,003

ποικιλότητας. Παράλληλα, η παρουσία οργανικής ουσίας και ανθρακικού ασβεστίου ενισχύει την εδαφική μικροβιακή δραστηριότητα, συμβάλλοντας στη σταθερότητα του οικοσυστήματος και δημιουργώντας ένα περιβάλλον ευνοϊκό για την εγκατάσταση των μυκήτων. Τέλος, η επίδραση των παραμέτρων που σχετίζονται με την αλατότητα και τη διαθεσιμότητα ιόντων, όπως το ανταλλάξιμο κάλιο και ο λόγος απορρόφησης νατρίου, επιδρούν έμμεσα στη σύνθεση των μυκητιακών κοινοτήτων, καθιστώντας τους κρίσιμους δείκτες οικολογικής ποιότητας (σχήματα 43, 44).



Σχήμα 43. Σημαντικότεροι παράγοντες στον πρώτο άξονα CCA.



Σχήμα 44. Σημαντικότεροι παράγοντες στον δεύτερο άξονα CCA.

3.3.1.7. Οικολογική Ερμηνεία – Σύνθεση Αποτελεσμάτων

Η συνολική οικολογική ερμηνεία των αποτελεσμάτων αναδεικνύει ότι η παρουσία και η χωρική κατανομή των γενών των μυκήτων στα αγρό-οικοσυστήματα ρυθμίζονται από ένα πολυπαραγοντικό σύστημα περιβαλλοντικών, εδαφολογικών και ορυκτολογικών μεταβλητών, με διακριτές και στατιστικά τεκμηριωμένες επιδράσεις (Butt et al., 2016). Η περιγραφική στατιστική ανάλυση ανέδειξε εσωτερική διακύμανση των γενών των μυκήτων μεταξύ των δειγμάτων, ενώ ο έλεγχος κανονικότητας (Shapiro–Wilk) επιβεβαίωσε την απόκλιση των περισσότερων μεταβλητών από την κανονική κατανομή, καθιστώντας αναγκαία την εφαρμογή μη παραμετρικών μεθοδολογιών.

Η ανάλυση Kruskal–Wallis ανέδειξε σημαντικές διαφορές στην παρουσία των μυκήτων μεταξύ ετών, υποδηλώνοντας την επίδραση διαχρονικών και ενδεχομένως κλιματικών παραγόντων. Επιπλέον, οι συσχετίσεις κατά Spearman επιβεβαίωσαν ότι παράγοντες όπως ο ψευδάργυρος, η οργανική ουσία, η CEC, και το ολικό ανθρακικό ασβέστιο παρουσιάζουν θετική και στατιστικά σημαντική σχέση με την παρουσία των μυκήτων στο έδαφος.

Η ανάλυση μη γραμμικής παλινδρόμησης μέσω Random Forest Regression επιβεβαίωσε την κυρίαρχη σημασία των παραπάνω παραμέτρων στην πρόβλεψη της αφθονίας των μυκήτων, αποδίδοντας υψηλό ποσοστό εξήγησης της μεταβλητότητας του φαινομένου

($R^2 = 0,82$). Η CCA ενίσχυσε τα ευρήματα των επιμέρους μεθόδων, καταδεικνύοντας ότι οι δύο πρώτοι άξονες εξηγούν αθροιστικά το 100% της μεταβλητότητας που σχετίζεται με την παρουσία των μυκήτων, τεκμηριώνοντας πλήρως τη σημασία των συγκεκριμένων περιβαλλοντικών και εδαφικών δεικτών.

Συνοψίζοντας, τα αποτελέσματα της μελέτης υπογραμμίζουν τη δυνατότητα στοχευμένης αγρό-οικολογικής διαχείρισης, με γνώμονα τη βελτιστοποίηση των κρίσιμων εδαφικών παραμέτρων, με σκοπό την ενίσχυση της λειτουργικότητας των μυκήτων. Η προσέγγιση αυτή προάγει τη βιωσιμότητα των αγρό-οικοσυστημάτων και συμβάλλει στη μακροπρόθεσμη ενσωμάτωση της βιολογικής καταπολέμησης στην ολοκληρωμένη φυτοπροστασία.

3.3.2 Ανάλυση της Παρουσίας των Μυκήτων ανά Γένος

3.3.2.1 Περιγραφική Στατιστική Ανάλυση

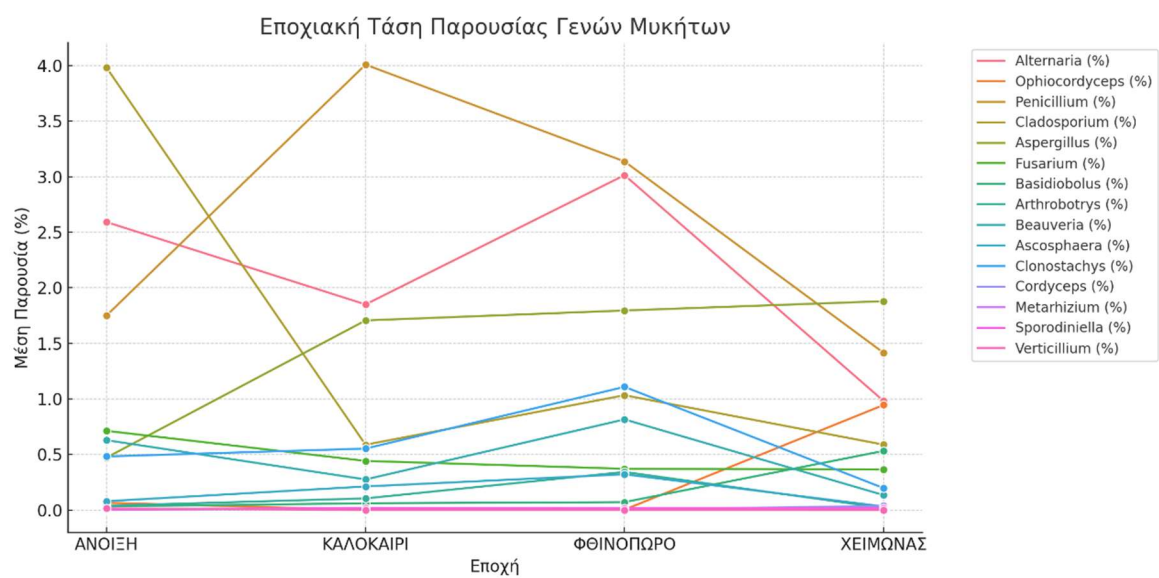
Η κατανομή των γενών των μυκήτων στα εδαφικά δείγματα αποκάλυψε σημαντικές διακυμάνσεις τόσο ως προς την παρουσία όσο και ως προς την ποσοτική αφθονία των επιμέρους γενών.

Η περιγραφική στατιστική ανάλυση των δεδομένων (πίνακας 27) ανέδειξε σημαντική ετερογένεια στην παρουσία των διαφόρων των γενών των μυκήτων στα εδαφικά δείγματα (σχήματα 45, 46). Όπως προκύπτει από τα αποτελέσματα, το γένος *Penicillium* καταγράφηκε με τη μεγαλύτερη μέση τιμή παρουσίας ($M = 2,58\%$), ακολουθούμενο από τα *Alternaria* ($M = 2,11\%$), *Cladosporium* ($M = 1,55\%$) και *Aspergillus* ($M = 1,46\%$). Γένη όπως τα *Clonostachys* ($M = 0,59\%$), *Fusarium* ($M = 0,47\%$) και *Beauveria* ($M = 0,46\%$) παρουσίασαν χαμηλότερες τιμές, ενώ τα *Metarhizium* ($M = 0,01\%$) και *Verticillium* ($M = 0,00\%$) εμφανίστηκαν σε εξαιρετικά περιορισμένη συχνότητα.

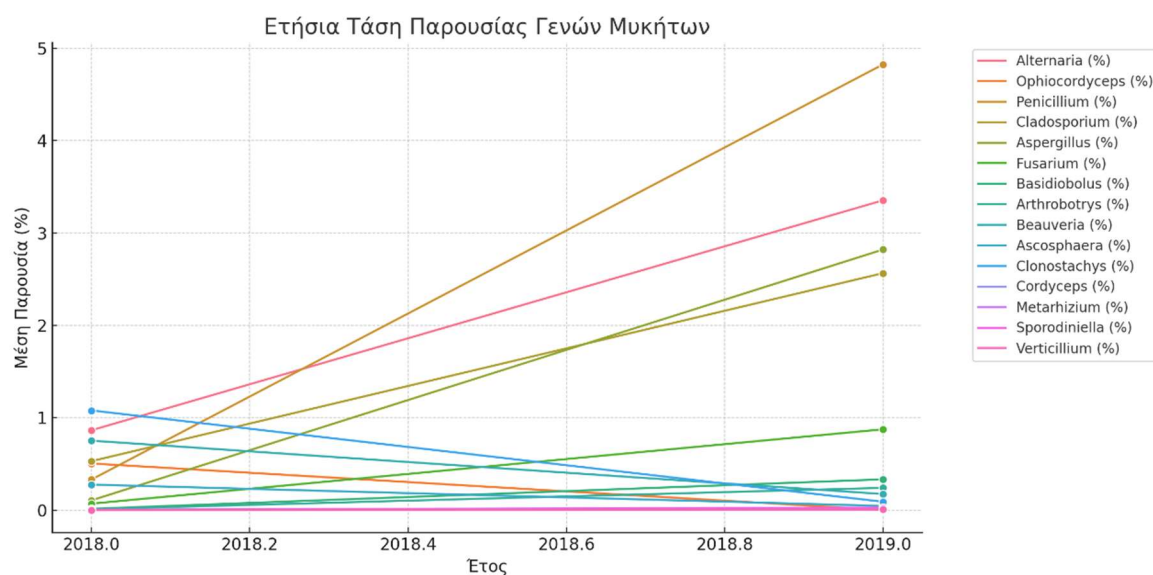
Πίνακας 27. Περιγραφικά στατιστικά για κάθε γένος μύκητα (μέσος, διάμεσος, τυπική απόκλιση, ελάχιστο, μέγιστο, ποσοστιαίες τιμές).

Γένος (%)	Μέσος	Διάμεσος	Τυπική Απόκλιση	Ελάχιστο	25ο Ποσοστιαίο	75ο Ποσοστιαίο	Μέγιστο
<i>Alternaria</i>	2,11	0,38	3,06	0	0,1	4,01	9,39
<i>Ophiocordyceps</i>	0,25	0	0,94	0	0	0	3,78
<i>Penicillium</i>	2,58	1,63	3,38	0,01	0,12	3,23	10,88
<i>Cladosporium</i>	1,55	0,59	3,31	0,07	0,22	1,09	13,72
<i>Aspergillus</i>	1,46	0,47	1,86	0,01	0,04	2,32	5,65

Γένος (%)	Μέσος	Διάμεσος	Τυπική Απόκλιση	Ελάχιστο	25ο Ποσοστιαίο	75ο Ποσοστιαίο	Μέγιστο
<i>Fusarium</i>	0,47	0,17	0,6	0	0,02	0,74	1,97
<i>Basidiobolus</i>	0,17	0,04	0,41	0	0	0,08	1,65
<i>Arthrotrrys</i>	0,13	0,02	0,33	0	0	0,05	1,31
<i>Beauveria</i>	0,46	0,2	0,83	0,01	0,05	0,28	3,06
<i>Ascosphaera</i>	0,16	0,03	0,3	0	0,01	0,12	1,02
<i>Clonostachys</i>	0,59	0,08	1,14	0	0,02	0,51	4,26
<i>Cordyceps</i>	0,02	0	0,03	0	0	0,02	0,14
<i>Metarhizium</i>	0	0	0,01	0	0	0	0,04
<i>Sporodiniella</i>	0,01	0	0,02	0	0	0,02	0,07
<i>Verticillium</i>	0	0	0,01	0	0	0	0,05



Σχήμα 45. Εποχιακή τάση της παρουσία των γενών των μυκήτων.

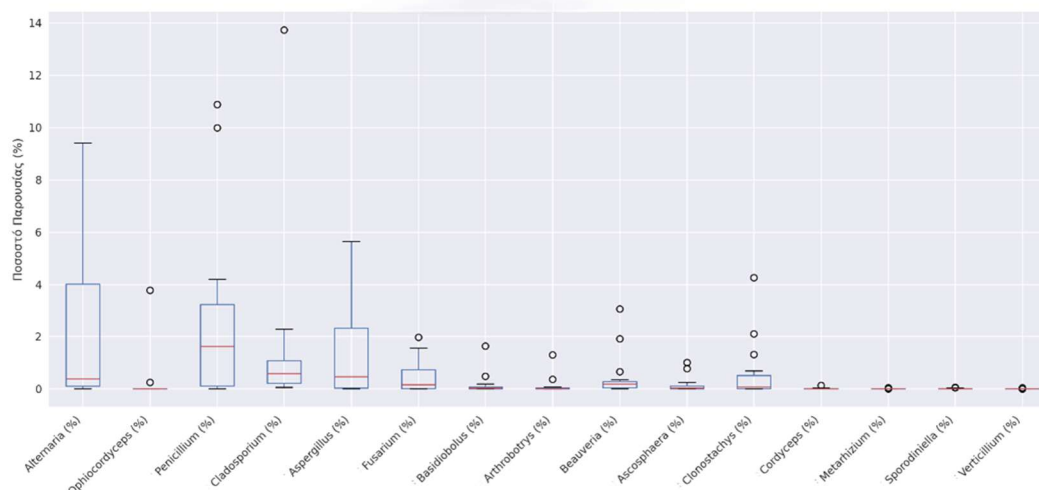


Σχήμα 46. Ετήσια τάση παρουσίας των γενών των μυκήτων.

Στο σχήμα 47, τα επικρατούντα γένη (ιδίως *Penicillium*, *Alternaria*, *Cladosporium* και *Aspergillus*) χαρακτηρίζονται από ευρεία διακύμανση και παρουσία ακραίων τιμών (outliers), φαινόμενο που υποδηλώνει έντονη χωρική ετερογένεια στην κατανομή τους. Αντιθέτως, τα σπανιότερα είδη παρουσίασαν περιορισμένο εύρος τιμών και μικρότερη διασπορά, γεγονός που ενδέχεται να αντανακλά τις αυστηρότερες οικολογικές τους απαιτήσεις.

Τα αποτελέσματα υποδεικνύουν ότι τα γένη *Penicillium* και *Alternaria* αποτελούν τους κυρίαρχα γένη στα υπό μελέτη οικοσυστήματα, πιθανόν λόγω της αυξημένης οικολογικής τους πλαστικότητας και της ικανότητάς τους να αποικίζουν ευρύ φάσμα μικρό-περιβαλλόντων. Η έντονη διακύμανση στις τιμές παρουσίας τους είναι πιθανό να συσχετίζεται με τοπικούς παράγοντες, όπως η υγρασία του εδάφους, η περιεκτικότητα σε οργανική ουσία και η διαθεσιμότητα βασικών θρεπτικών στοιχείων.

Αντιθέτως, η περιορισμένη παρουσία γενών όπως τα *Metarhizium* και *Verticillium* ενδέχεται να αποδίδεται στην ανάγκη για ειδικές μικρό-περιβαλλοντικές συνθήκες ή στον ανταγωνισμό με πιο επικρατή είδη, ο οποίος περιορίζει την εγκατάστασή τους.



Σχήμα 47. Κατανομή παρουσίας των γενών των μυκήτων.

3.3.2.2. Έλεγχος Κανονικότητας

Ο στατιστικός έλεγχος κανονικότητας Shapiro–Wilk που εφαρμόστηκε για την αξιολόγηση της κατανομής των τιμών παρουσίας ανά γένος μύκητα ανέδειξε στατιστικά σημαντική απόκλιση από την κανονική κατανομή για όλα τα εξεταζόμενα είδη (όλα τα $p < 0,05$) (Πίνακας 28). Οι τιμές του στατιστικού W κυμάνθηκαν από 0,30 (*Ophiocordyceps*) έως 0,79 (*Aspergillus*), γεγονός που καταδεικνύει ισχυρή μη κανονικότητα και ανομοιογένεια στην κατανομή των δεδομένων.

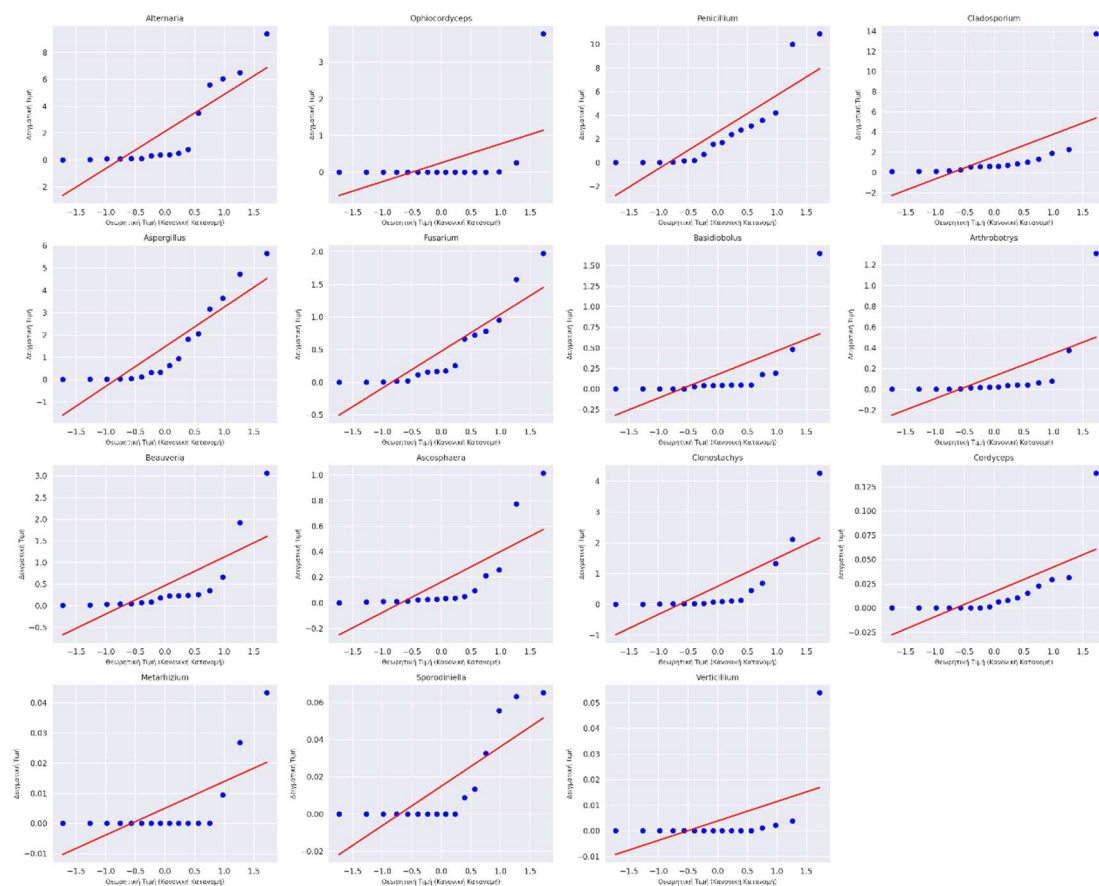
Πίνακας 28. Αποτελέσματα ελέγχου κανονικότητας Shapiro-Wilk.

Γένος	Στατιστικό W	p-value	Κανονική Κατανομή
<i>Alternaria</i>	0,715	2.4724e-04	Όχι
<i>Ophiocordyceps</i>	0,3	6.9474e-08	Όχι
<i>Penicillium</i>	0,749	6.1300e-04	Όχι
<i>Cladosporium</i>	0,435	6.4022e-07	Όχι
<i>Aspergillus</i>	0,794	2.2450e-03	Όχι
<i>Fusarium</i>	0,786	1.7929e-03	Όχι
<i>Basidiobolus</i>	0,462	1.0350e-06	Όχι
<i>Arthrobotrys</i>	0,423	5.1705e-07	Όχι
<i>Beauveria</i>	0,573	9.0122e-06	Όχι
<i>Ascosphaera</i>	0,582	1.0932e-05	Όχι
<i>Clonostachys</i>	0,585	1.1754e-05	Όχι
<i>Cordyceps</i>	0,52	3.1078e-06	Όχι
<i>Metarhizium</i>	0,479	1.4192e-06	Όχι
<i>Sporodiniella</i>	0,651	5.0829e-05	Όχι
<i>Verticillium</i>	0,318	9.1257e-08	Όχι

Η οπτική επιβεβαίωση της μη κανονικότητας επιτεύχθηκε μέσω Q–Q plots (Σχήμα 48). Τα πρότυπα κατανομής των δεδομένων αποκλίνουν εμφανώς από το μοντέλο της κανονικής κατανομής, υποδεικνύοντας την ανάγκη εφαρμογής μη παραμετρικών στατιστικών τεχνικών στις επόμενες φάσεις της ανάλυσης.

Αριθμητικά, η ανάλυση ανέδειξε ότι η κατανομή των ποσοστών παρουσίας είναι έντονα μη κανονική, με τις περισσότερες μεταβλητές να εμφανίζουν θετική ασυμμετρία. Ποιοτικά, αυτή η στατιστική συμπεριφορά αντικατοπτρίζει την οικολογική πολυπλοκότητα και ετερογένεια των αγρό-οικοσυστημάτων από τα οποία προήλθαν τα δεδομένα. Παράγοντες όπως η εδαφική υγρασία, η μικροβιακή δραστηριότητα, η δομή του εδάφους και οι εποχικές διακυμάνσεις πιθανόν να συμβάλλουν στις παρατηρούμενες διαφορές, ενισχύοντας την ανάγκη για οικολογικά ευαίσθητες αναλυτικές προσεγγίσεις.

Συνοπτικά, τα κύρια συμπεράσματα της ανάλυσης κανονικότητας είναι ότι κανένα από τα εξεταζόμενα γένη μυκήτων δεν εμφάνισε κανονική κατανομή. Οι κατανομές παρουσίασαν έντονη ασυμμετρία και ακραίες τιμές. Οι επόμενες στατιστικές αναλύσεις θα βασιστούν σε μη παραμετρικές μεθόδους.



Σχήμα 48. Q-Q plots για όλα τα γένη των μυκήτων.

3.3.2.3 Συγκριτική Ανάλυση μεταξύ Εποχών και Ετών

Η εφαρμογή της μη παραμετρικής δοκιμασίας Kruskal–Wallis επέτρεψε την αξιολόγηση της επίδρασης της εποχικότητας και του έτους δειγματοληψίας στην παρουσία των επιμέρους γενών των μυκήτων. Οι Πίνακες 29 και 30 παρουσιάζουν τις τιμές του στατιστικού δείκτη H και των αντίστοιχων p-values για κάθε γένος.

Όσον αφορά την εποχικότητα, κανένα από τα εξεταζόμενα γένη δεν παρουσίασε στατιστικά σημαντικές διαφορές στην παρουσία του μεταξύ των εποχών (όλα τα $p > 0,05$), γεγονός που υποδηλώνει σχετική σταθερότητα του οικολογικού αποτυπώματος των γενών σε ενδοετήσιο επίπεδο.

Αντιθέτως, ως προς το έτος δειγματοληψίας, αρκετά γένη, όπως τα *Penicillium*, *Aspergillus*, *Fusarium*, *Basidiobolus*, *Arthrotrichum*, *Cladosporium*, *Cordyceps* και *Alternaria*, παρουσίασαν στατιστικά σημαντικές διαφοροποιήσεις ($p < 0,05$), υποδηλώνοντας διαχρονική μεταβλητότητα στην παρουσία τους.

Πίνακας 29. Αποτελέσματα Kruskal-Wallis ανά εποχή.

Γένος	Kruskal-Wallis H	p-value
<i>Alternaria</i>	1,588235294	0,66206032
<i>Ophiocordyceps</i>	0,37116041	0,946133478
<i>Penicillium</i>	0,948529412	0,81370351
<i>Cladosporium</i>	0,992647059	0,803031145
<i>Aspergillus</i>	0,882352941	0,829684227
<i>Fusarium</i>	0,513622975	0,915888471
<i>Basidiobolus</i>	0,772727273	0,855978563
<i>Arthrotrrys</i>	0,929104478	0,818399149
<i>Beauveria</i>	0,948529412	0,81370351
<i>Ascosphaera</i>	2,492647059	0,47662139
<i>Clonostachys</i>	1,6955081	0,637932909
<i>Cordyceps</i>	0,745192308	0,862526227
<i>Metarhizium</i>	1,186708861	0,756193809
<i>Sporodiniella</i>	0,589805825	0,89876208
<i>Verticillium</i>	3,169416244	0,36623485

Πίνακας 30. Αποτελέσματα Kruskal-Wallis ανά έτος.

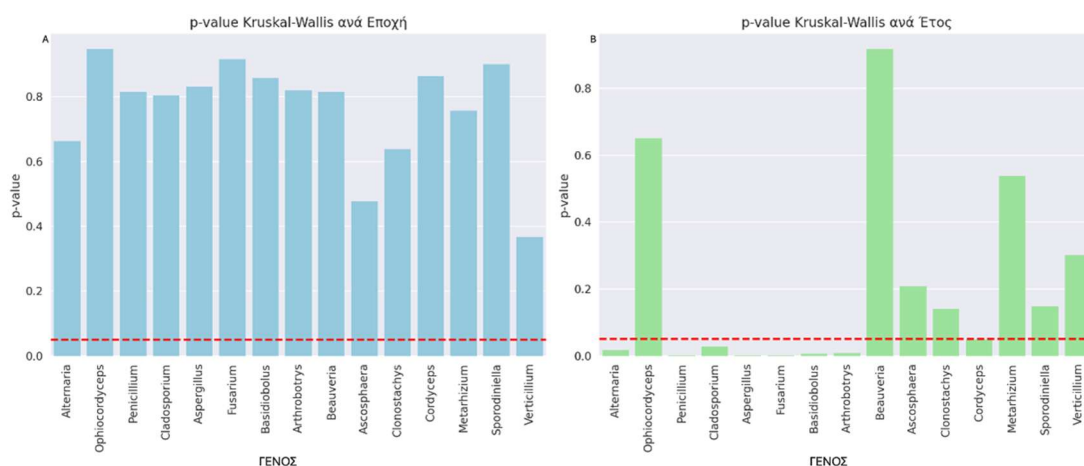
Γένος	Kruskal-Wallis H	p-value
<i>Alternaria</i>	5,834558824	0,01571435
<i>Ophiocordyceps</i>	0,204778157	0,650891387
<i>Penicillium</i>	11,29411765	0,00077753
<i>Cladosporium</i>	4,863970588	0,027423154
<i>Aspergillus</i>	11,29411765	0,00077753
<i>Fusarium</i>	9,941089838	0,001616298
<i>Basidiobolus</i>	7,681818182	0,005577994
<i>Arthrotrrys</i>	6,996268657	0,00816798
<i>Beauveria</i>	0,011029412	0,91635914
<i>Ascosphaera</i>	1,588235294	0,207578442
<i>Clonostachys</i>	2,164948454	0,141189357
<i>Cordyceps</i>	3,894230769	0,048452223
<i>Metarhizium</i>	0,379746835	0,537738757
<i>Sporodiniella</i>	2,097087379	0,147580032
<i>Verticillium</i>	1,070748731	0,300776386

Τα σχήματα 49Α και 49Β, αποτυπώνουν τις τιμές p για κάθε γένος σε σχέση με την εποχή και το έτος. Η διακεκομμένη κόκκινη γραμμή στο επίπεδο του 0,05 λειτουργεί ως όριο σημαντικότητας. Τα γένη των οποίων τα p-values εμπίπτουν κάτω από το όριο αυτό εμφανίζουν στατιστικά σημαντική διαφοροποίηση.

Η απουσία σημαντικών διαφορών μεταξύ εποχών ενισχύει την υπόθεση ότι η εποχικότητα δεν αποτελεί καθοριστικό παράγοντα για την παρουσία των περισσότερων μυκήτων στο συγκεκριμένο περιβάλλον. Αντιθέτως, η διαχρονική μεταβλητότητα για ορισμένα γένη ενδέχεται να αποδίδεται σε μακροχρόνιες μεταβολές στις κλιματικές συνθήκες, την υγρασία του εδάφους ή και τις αγρονομικές πρακτικές που εφαρμόστηκαν κατά τα εξεταζόμενα έτη.

Τα γένη *Penicillium*, *Aspergillus* και *Fusarium* καταδεικνύουν την υψηλότερη διακύμανση μεταξύ ετών, γεγονός που υποδηλώνει ευαισθησία σε ετήσιες μεταβολές των περιβαλλοντικών παραμέτρων.

Η σταθερότητα της παρουσίας των γενών των μυκήτων ως προς την εποχή καθιστά δυνατή τη σχεδίαση βιολογικών εφαρμογών ανεξάρτητα από την εποχική περίοδο, αλλά επιβάλλει την προσαρμογή τους στις διαχρονικές διαφοροποιήσεις.



Σχήματα 49. Α Συγκριτική ανάλυση Kruskal-Wallis ανά εποχή και **Β.** Συγκριτική ανάλυση Kruskal-Wallis ανά έτος.

3.3.2.4 Συσχετίσεις με Περιβαλλοντικούς, Εδαφολογικούς και Ορυκτολογικούς Παράγοντες

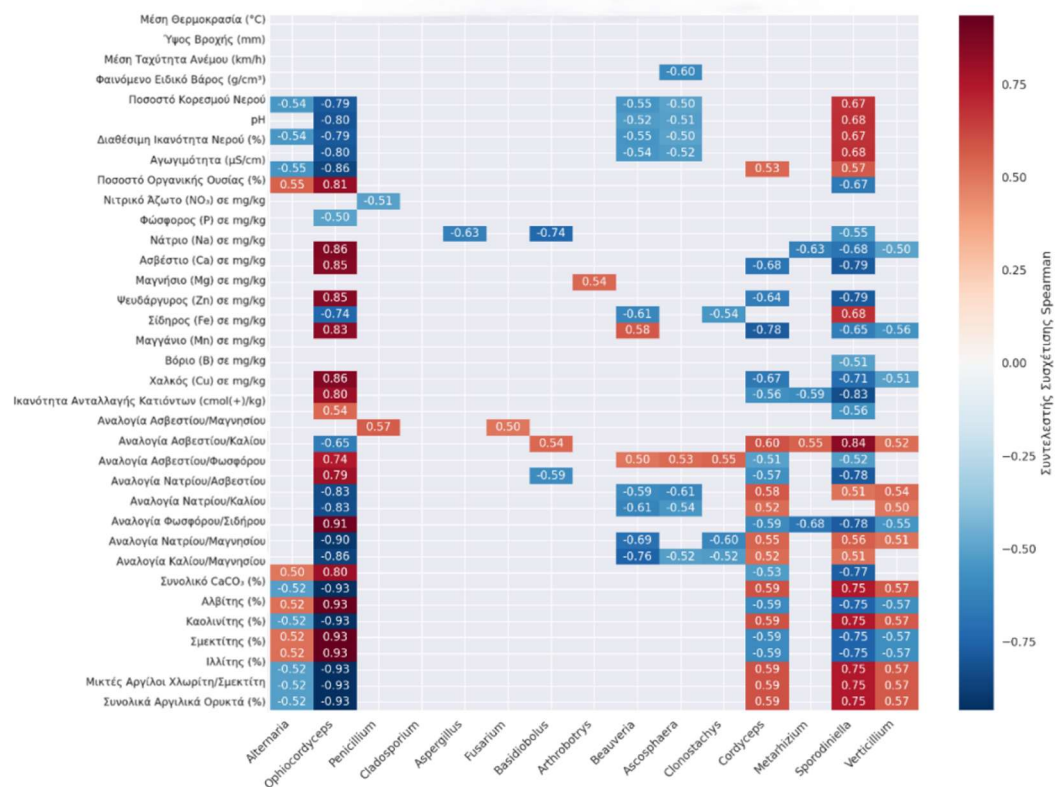
Η ανάλυση Spearman αποκάλυψε στατιστικά σημαντικές συσχετίσεις ($p < 0,05$) μεταξύ των γενών των μυκήτων και διαφόρων περιβαλλοντικών, εδαφολογικών και ορυκτολογικών παραμέτρων (Παράρτημα 4: Συσχετίσεις του συντελεστή Spearman ($p < 0,05$)). Οι τιμές του συντελεστή συσχέτισης κυμάνθηκαν από μέτριες έως ισχυρές, είτε θετικές είτε αρνητικές. Ενδεικτικά, το γένος *Ophiocordyceps* παρουσίασε έντονα αρνητική συσχέτιση με το pH ($\rho = -0,86$) και αντίστοιχα ισχυρή θετική συσχέτιση με την EC ($\rho = +0,81$).

Αρνητικές συσχετίσεις παρατηρήθηκαν κυρίως μεταξύ της υγρασίας και του pH του εδάφους και της παρουσίας αρκετών γενών, όπως τα *Ophiocordyceps*, *Beauveria* και *Ascosphaera*, υποδηλώνοντας ότι τα εν λόγω γένη ενδέχεται να προτιμούν όξινα και ξηρότερα εδαφικά περιβάλλοντα. Αντίθετα, θετικές συσχετίσεις καταγράφηκαν κυρίως με την EC, ειδικά για τα γένη *Alternaria* και *Ophiocordyceps*, γεγονός που υποδηλώνει πιθανή προσαρμογή σε εδάφη με αυξημένη περιεκτικότητα σε διαλυτά άλατα.

Τα παραπάνω ευρήματα καταδεικνύουν ότι η παρουσία των περισσότερων μυκήτων επηρεάζεται σημαντικά από τους δείκτες υγρασίας, pH και EC. Η αρνητική συσχέτιση με την υγρασία του εδάφους και το pH υποδηλώνει ότι ορισμένα γένη ευδοκιμούν σε πιο ακραίες, μη ουδέτερες συνθήκες, ενώ οι θετικές συσχετίσεις με την ηλεκτρική αγωγιμότητα αποκαλύπτουν πιθανές προσαρμοστικές στρατηγικές σε αλατούχα περιβάλλοντα.

Ιδιαίτερη σημασία έχει η συμπεριφορά των γενών *Ophiocordyceps* και *Ascosphaera*, τα οποία παρουσίασαν τις εντονότερες και πολυπληθέστερες συσχετίσεις με εδαφικούς δείκτες, γεγονός που συνηγορεί υπέρ των εξειδικευμένων οικολογικών τους απαιτήσεων. Τα δεδομένα αυτά καθιστούν την υγρασία του εδάφους και το pH τους πλέον καθοριστικούς περιβαλλοντικούς δείκτες για τη διαμόρφωση της σύνθεσης των κοινοτήτων των μυκήτων.

Η κατανόηση των παραπάνω σχέσεων είναι ζωτικής σημασίας για την αγρό-οικολογική διαχείριση, καθώς μπορεί να καθοδηγήσει στρατηγικές βελτιστοποίησης της φυσικής βιολογικής καταπολέμησης εντόμων μέσω της στοχευμένης διαχείρισης των εδαφικών παραμέτρων. Η οπτικοποίηση των συσχετίσεων μέσω θερμικού χάρτη (heatmap) παρέχει άμεση εποπτεία της ισχύος και της κατεύθυνσης των σχέσεων, διευκολύνοντας τον εντοπισμό των κρίσιμων παραμέτρων για κάθε γένος (σχήμα 50).



Σχήμα 50. Heatmap σημαντικότερων συσχετίσεων ανά γένος μυκήτων του συντελεστή συσχέτισης Spearman.

3.3.2.5 Ανάλυση με Random Forest Regression

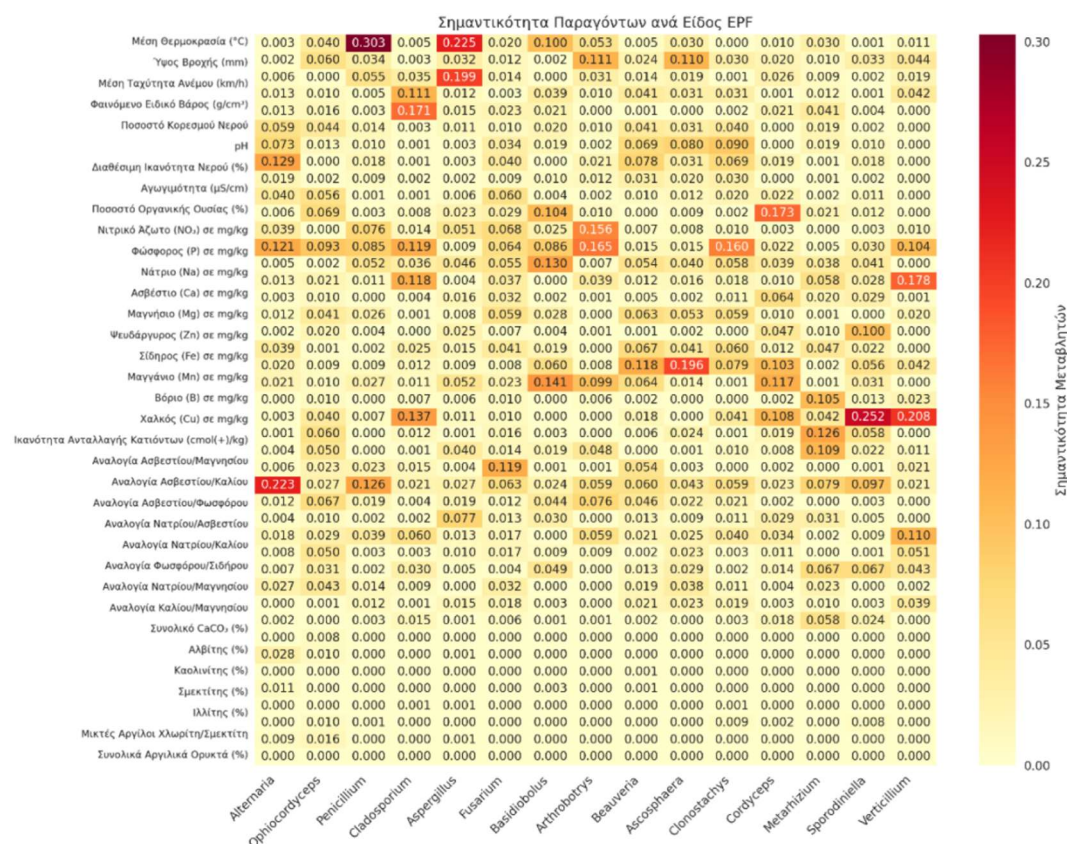
Η εκτίμηση της προσαρμογής του μοντέλου Random Forest Regression πραγματοποιήθηκε με βάση τις τιμές του R^2 και του σφάλματος RMSE (Root Mean Squared Error) για κάθε επιμέρους γένος. Οι μετρικές αυτές καταδεικνύουν την επεξηγηματική ισχύ και την ακρίβεια πρόβλεψης του μοντέλου, με υψηλότερες τιμές R^2 και χαμηλότερες τιμές RMSE να υποδηλώνουν βελτιωμένη απόδοση.

Παρατηρήθηκαν σημαντικές διακυμάνσεις στην αποδοτικότητα του μοντέλου μεταξύ των διαφορετικών γενών. Ενδεικτικά, τα γένη *Clonostachys*, *Beauveria* και *Ascosphaera* παρουσίασαν σχετικά ικανοποιητική προσαρμογή ($R^2 > 0,40$), ενώ γένη όπως τα *Penicillium* και *Alternaria* εμφάνισαν αρνητικές τιμές R^2 , γεγονός που φανερώνει αδυναμία του μοντέλου να ερμηνεύσει τη διακύμανση των δεδομένων για τα συγκεκριμένα είδη (Πίνακας 31).

Πίνακας 31. Μετρικές απόδοσης (R^2 και RMSE) για κάθε γένος μύκητα.

Γένος	R^2	RMSE	Γένος	R^2	RMSE
<i>Alternaria</i>	-474,84	4,076	<i>Beauveria</i>	0,465	0,555
<i>Ophiocordyceps</i>	0,145	0,102	<i>Ascosphaera</i>	0,447	0,204
<i>Penicillium</i>	-36,916	4,937	<i>Clonostachys</i>	0,904	0,279
<i>Cladosporium</i>	-63,626	1,823	<i>Cordyceps</i>	-4,521	0,028
<i>Aspergillus</i>	-8,047	2,649	<i>Metarhizium</i>	0	0,013
<i>Fusarium</i>	-96,611	0,678	<i>Sporodiniella</i>	0,278	0,02
<i>Basidiobolus</i>	-421,124	0,416	<i>Verticillium</i>	-37,902	0,006
<i>Arthrobotrys</i>	-219,729	0,372			

Η ανάλυση της σχετικής σημασίας των μεταβλητών (feature importance) για κάθε γένος αποτυπώνεται συγκεντρωτικά στον συνοδευτικό πίνακα και θερμικό χάρτη (heatmap) (Σχήμα 51). Για παράδειγμα, η παρουσία του *Alternaria* συσχετίστηκε κυρίως με τον λόγο άνθρακα προς άζωτο (C/N), το ποσοστό FC και την οργανική ουσία, ενώ για το *Penicillium* καθοριστικοί παράγοντες αναδείχθηκαν η μέση θερμοκρασία, ο λόγος άνθρακα προς άζωτο (C/N) και η οργανική ουσία.



Σχήμα 51. Ανάλυση της σχετικής σημασίας των μεταβλητών (feature importance) για κάθε γένος (heatmap).

Συνολικά, η ανάλυση καταδεικνύει ότι οι φυσικοχημικές ιδιότητες του εδάφους, όπως η περιεκτικότητα σε οργανική ουσία, ο λόγος άνθρακα προς άζωτο (C/N), η EC, καθώς και η συγκέντρωση ιχνοστοιχείων όπως μαγγάνιο (Mn), σίδηρος (Fe) και μαγνήσιο (Mg), σε συνδυασμό με κλιματικούς παράγοντες (θερμοκρασία, βροχόπτωση, ταχύτητα ανέμου), ασκούν σημαντική επίδραση στη σύνθεση και παρουσία των μυκήτων (Πίνακας 32).

Τα γένη με υψηλότερη στατιστική προσαρμογή υποδηλώνουν εντονότερη εξάρτηση από συγκεκριμένες περιβαλλοντικές παραμέτρους, γεγονός που παραπέμπει σε εξειδικευμένες οικολογικές απαιτήσεις. Επιπλέον, η συστηματική ανάδειξη της οργανικής ουσίας, του μαγνησίου (Mg), του μαγγανίου (Mn) και της EC ως κοινών καθοριστικών παραγόντων για πολλά είδη επιβεβαιώνει τον ρόλο τους ως βασικούς ρυθμιστές της οικολογίας των μυκήτων.

Η διαφοροποίηση στη σημασία των παραγόντων ανά γένος υπογραμμίζει την ανάγκη για εξατομικευμένες παρεμβάσεις, ανάλογα με το στόχο εγκατάστασης ή ενίσχυσης συγκεκριμένων γενών EPF στο πλαίσιο αγρό-οικολογικών εφαρμογών βιολογικής καταπολέμησης.

Πίνακας 32. Τρεις σημαντικότεροι παράγοντες για κάθε γένος, με τη σειρά σημαντικότητας και τη σχετική τιμή τους, που επηρεάζουν περισσότερο την παρουσία ή την αφθονία κάθε γένους σύμφωνα με το μοντέλο Random Forest.

Γένος	Σειρά Σημαντικότητας	Παράγοντας	Σημαντικότητα
<i>Alternaria</i>	1	Αναλογία Άνθρακα / Άζωτο (C/N)	0,223
<i>Alternaria</i>	2	Υδατοϊκανότητα (%)	0,129
<i>Alternaria</i>	3	Οργανική Ουσία (%)	0,121
<i>Ophiocordyceps</i>	1	Οργανική Ουσία (%)	0,093
<i>Ophiocordyceps</i>	2	Ηλεκτρική Αγωγιμότητα (μS/cm)	0,069
<i>Ophiocordyceps</i>	3	Ανταλλάξιμο Νάτριο (%)	0,067
<i>Penicillium</i>	1	Μέση Θερμοκρασία (°C)	0,303
<i>Penicillium</i>	2	Αναλογία Άνθρακα / Άζωτο (C/N)	0,126
<i>Penicillium</i>	3	Οργανική Ουσία (%)	0,085
<i>Cladosporium</i>	1	Φαινομενικό Ειδικό Βάρος (g/cm³)	0,171
<i>Cladosporium</i>	2	Μαγγάνιο (Mn) (mg/kg)	0,137
<i>Cladosporium</i>	3	Οργανική Ουσία (%)	0,119
<i>Aspergillus</i>	1	Μέση Θερμοκρασία (°C)	0,225
<i>Aspergillus</i>	2	Μέση Ταχύτητα Ανέμου (km/h)	0,199
<i>Aspergillus</i>	3	Λόγος Απορρόφησης Νατρίου (S.A.R.)	0,077
<i>Fusarium</i>	1	Ικανότητα Ανταλλαγής Κατιόντων (C.E.C.) (cmolc/Kg)	0,119
<i>Fusarium</i>	2	Ολικό CaCO ₃ (mg/kg)	0,068
<i>Fusarium</i>	3	Οργανική Ουσία (%)	0,064
<i>Basidiobolus</i>	1	Σίδηρος (Fe) σε mg/kg	0,141
<i>Basidiobolus</i>	2	Ολικό Άζωτο (N) (%)	0,13
<i>Basidiobolus</i>	3	Ηλεκτρική Αγωγιμότητα (μS/cm)	0,104
<i>Arthrobotrys</i>	1	Οργανική Ουσία (%)	0,165
<i>Arthrobotrys</i>	2	Ολικό CaCO ₃ (mg/kg)	0,156
<i>Arthrobotrys</i>	3	Ύψος Βροχής (mm)	0,111
<i>Beauveria</i>	1	Μαγνήσιο (Mg) (mg/kg)	0,118
<i>Beauveria</i>	2	Υδατοϊκανότητα (%)	0,078
<i>Beauveria</i>	3	Ποσοστό Κορεσμού Νερού - Σημείο Μόνιμης Μάρανσης	0,069
<i>Ascosphaera</i>	1	Μαγνήσιο (Mg) (mg/kg)	0,196
<i>Ascosphaera</i>	2	Ύψος Βροχής (mm)	0,11
<i>Ascosphaera</i>	3	Ποσοστό Κορεσμού Νερού - Σημείο Μόνιμης Μάρανσης	0,08
<i>Clonostachys</i>	1	Οργανική Ουσία (%)	0,16
<i>Clonostachys</i>	2	Ποσοστό Κορεσμού Νερού - Σημείο Μόνιμης Μάρανσης	0,09
<i>Clonostachys</i>	3	Μαγνήσιο (Mg) (mg/kg)	0,079
<i>Cordyceps</i>	1	Ηλεκτρική Αγωγιμότητα (μS/cm)	0,173
<i>Cordyceps</i>	2	Σίδηρος (Fe) σε mg/kg	0,117
<i>Cordyceps</i>	3	Μαγγάνιο (Mn) (mg/kg)	0,108
<i>Metarhizium</i>	1	Χαλκός (Cu) mg/kg	0,126
<i>Metarhizium</i>	2	Βόριο (B) mg/kg	0,109
<i>Metarhizium</i>	3	Ψευδάργυρος (Zn) σε mg/kg	0,105
<i>Sporodiniella</i>	1	Μαγγάνιο (Mn) (mg/kg)	0,252
<i>Sporodiniella</i>	2	Νάτριο (Na) (mg/Kg)	0,1
<i>Sporodiniella</i>	3	Αναλογία Άνθρακα / Άζωτο (C/N)	0,097
<i>Verticillium</i>	1	Μαγγάνιο (Mn) (mg/kg)	0,208
<i>Verticillium</i>	2	Νιτρικό Άζωτο (NO ₃ -N) mg/kg	0,178
<i>Verticillium</i>	3	Αναλογία Καλίου - Μαγνησίου (K/Mg)	0,11

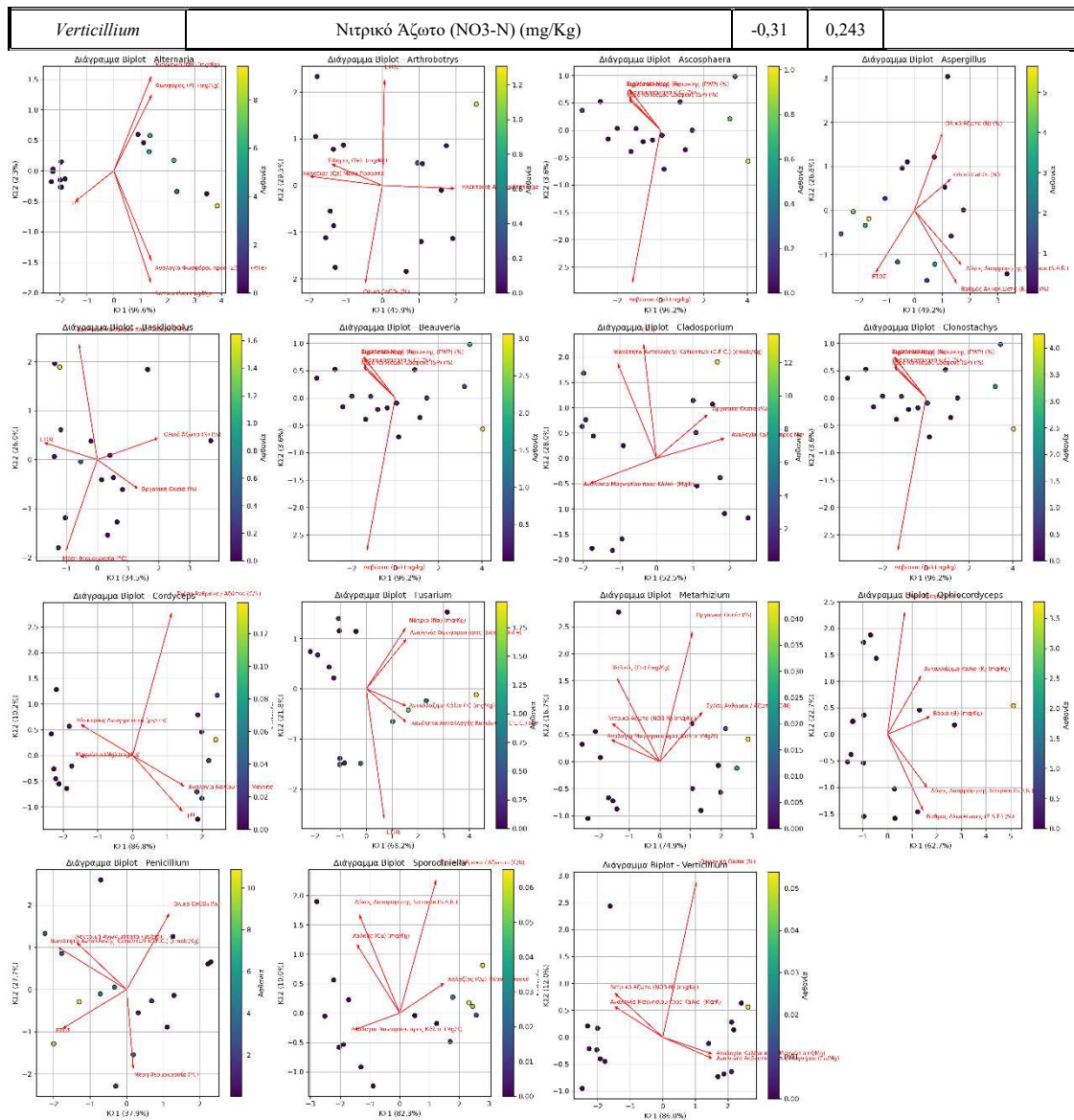
3.3.2.6 Πολυμεταβλητή ανάλυση Canonical Correspondence Analysis (CCA)

Η πολυπαραγοντική προσέγγιση της CCA, αποκάλυψε πολύπλοκες και ενίοτε ιδιαίτερα έντονες συσχετίσεις μεταξύ της παρουσίας των μυκητιακών γενών και των περιβαλλοντικών ή εδαφικών παραμέτρων. Από τα 15 γένη που αναλύθηκαν, τα 11 παρουσίασαν τουλάχιστον μία μεταβλητή με στατιστικά σημαντική βαρύτητα ($p < 0,05$), γεγονός που επιβεβαιώνει την ισχυρή οικολογική διαφοροποίηση των γενών αυτών και τη σύνδεσή τους με συγκεκριμένα φυσικοχημικά χαρακτηριστικά του περιβάλλοντος (πίνακας 33, σχήματα 52, 53).

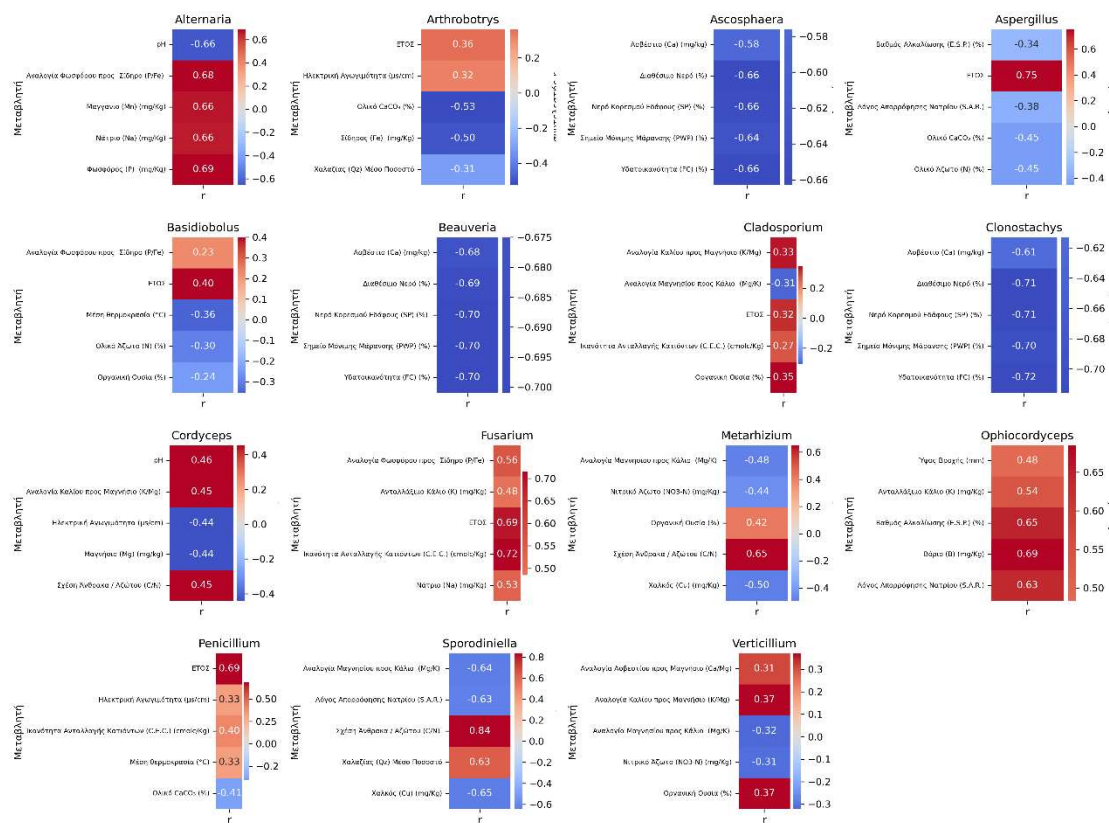
Πίνακας 33. Αναλυτικός πίνακας CCA για κάθε γένος, με τους σημαντικότερους συντελεστές βαρύτητας.

ΓΕΝΟΣ	ΜΕΤΑΒΛΗΤΗ	r	p	ΣΗΜΑΝΤΙΚΟΤΗΤΑ
<i>Alternaria</i>	Φωσφόρος (P) (mg/Kg)	0,689	0,003	**
<i>Alternaria</i>	Αναλογία Φωσφόρου προς Σίδηρο (P/Fe)	0,679	0,004	**
<i>Alternaria</i>	Μαγγανίο (Mn) (mg/Kg)	0,658	0,006	**
<i>Alternaria</i>	Νάτριο (Na) (mg/Kg)	0,656	0,006	**
<i>Alternaria</i>	pH	-0,655	0,006	**
<i>Ophiocordyceps</i>	Βόριο (B) (mg/Kg)	0,685	0,003	**
<i>Ophiocordyceps</i>	Βαθμός Αλκαλίωσης (E.S.P.) (%)	0,647	0,007	**
<i>Ophiocordyceps</i>	Λόγος Απορρόφησης Νατρίου (S.A.R.)	0,634	0,008	**
<i>Ophiocordyceps</i>	Ανταλλάξιμο Κάλιο (K) (mg/Kg)	0,538	0,032	*
<i>Ophiocordyceps</i>	Ύψος Βροχής (mm)	0,483	0,058	
<i>Penicillium</i>	ΕΤΟΣ	0,687	0,003	**
<i>Penicillium</i>	Ολικό CaCO ₃ (%)	-0,405	0,12	
<i>Penicillium</i>	Ικανότητα Ανταλλαγής Κατιόντων (C.E.C.) (cmolc/Kg)	0,398	0,127	
<i>Penicillium</i>	Μέση θερμοκρασία (°C)	0,328	0,215	
<i>Penicillium</i>	Ηλεκτρική Αγωγιμότητα (μs/cm)	0,326	0,217	
<i>Cladosporium</i>	Οργανική Ουσία (%)	0,347	0,187	
<i>Cladosporium</i>	Αναλογία Καλίου προς Μαγνήσιο (K/Mg)	0,332	0,208	
<i>Cladosporium</i>	ΕΤΟΣ	0,318	0,231	
<i>Cladosporium</i>	Αναλογία Μαγνησίου προς Κάλιο (Mg/K)	-0,306	0,249	
<i>Cladosporium</i>	Ικανότητα Ανταλλαγής Κατιόντων (C.E.C.) (cmolc/Kg)	0,272	0,307	
<i>Aspergillus</i>	ΕΤΟΣ	0,753	0,001	***
<i>Aspergillus</i>	Ολικό CaCO ₃ (%)	-0,453	0,078	
<i>Aspergillus</i>	Ολικό Αζωτο (N) (%)	-0,449	0,081	
<i>Aspergillus</i>	Λόγος Απορρόφησης Νατρίου (S.A.R.)	-0,376	0,151	
<i>Aspergillus</i>	Βαθμός Αλκαλίωσης (E.S.P.) (%)	-0,335	0,205	
<i>Fusarium</i>	Ικανότητα Ανταλλαγής Κατιόντων (C.E.C.) (cmolc/Kg)	0,716	0,002	**
<i>Fusarium</i>	ΕΤΟΣ	0,691	0,003	**
<i>Fusarium</i>	Αναλογία Φωσφόρου προς Σίδηρο (P/Fe)	0,561	0,024	*
<i>Fusarium</i>	Νάτριο (Na) (mg/Kg)	0,527	0,036	*

ΓΕΝΟΣ	ΜΕΤΑΒΑΗΤΗ	r	p	ΣΗΜΑΝΤΙΚΟΤΗΤΑ
<i>Fusarium</i>	Ανταλλάξιμο Κάλιο (K) (mg/Kg)	0,485	0,057	
<i>Basidiobolus</i>	ΕΤΟΣ	0,4	0,125	
<i>Basidiobolus</i>	Μέση θερμοκρασία (°C)	-0,356	0,176	
<i>Basidiobolus</i>	Ολικό Αζωτο (N) (%)	-0,302	0,255	
<i>Basidiobolus</i>	Οργανική Ουσία (%)	-0,244	0,362	
<i>Basidiobolus</i>	Αναλογία Φωσφόρου προς Σίδηρο (P/Fe)	0,231	0,389	
<i>Arthrobotrys</i>	Ολικό CaCO ₃ (%)	-0,525	0,037	*
<i>Arthrobotrys</i>	Σίδηρος (Fe) (mg/Kg)	-0,5	0,049	*
<i>Arthrobotrys</i>	ΕΤΟΣ	0,363	0,167	
<i>Arthrobotrys</i>	Ηλεκτρική Αγωγιμότητα (μs/cm)	0,318	0,23	
<i>Arthrobotrys</i>	Χαλαζίας (Qz) Μέσο Ποσοστό	-0,312	0,24	
<i>Beauveria</i>	Υδατοϊκανότητα (FC) (%)	-0,701	0,002	**
<i>Beauveria</i>	Σημείο Μόνιμης Μάρανσης (PWP) (%)	-0,699	0,003	**
<i>Beauveria</i>	Νερό Κορεσμού Εδάφους (SP) (%)	-0,698	0,003	**
<i>Beauveria</i>	Διαθέσιμο Νερό (%)	-0,693	0,003	**
<i>Beauveria</i>	Ασβέστιο (Ca) (mg/kg)	-0,675	0,004	**
<i>Ascosphaera</i>	Υδατοϊκανότητα (FC) (%)	-0,663	0,005	**
<i>Ascosphaera</i>	Διαθέσιμο Νερό (%)	-0,661	0,005	**
<i>Ascosphaera</i>	Νερό Κορεσμού Εδάφους (SP) (%)	-0,657	0,006	**
<i>Ascosphaera</i>	Σημείο Μόνιμης Μάρανσης (PWP) (%)	-0,642	0,007	**
<i>Ascosphaera</i>	Ασβέστιο (Ca) (mg/kg)	-0,576	0,02	*
<i>Clonostachys</i>	Υδατοϊκανότητα (FC) (%)	-0,716	0,002	**
<i>Clonostachys</i>	Διαθέσιμο Νερό (%)	-0,715	0,002	**
<i>Clonostachys</i>	Νερό Κορεσμού Εδάφους (SP) (%)	-0,713	0,002	**
<i>Clonostachys</i>	Σημείο Μόνιμης Μάρανσης (PWP) (%)	-0,702	0,002	**
<i>Clonostachys</i>	Ασβέστιο (Ca) (mg/kg)	-0,613	0,011	*
<i>Cordyceps</i>	pH	0,455	0,076	
<i>Cordyceps</i>	Αναλογία Καλίου προς Μαγνήσιο (K/Mg)	0,449	0,081	
<i>Cordyceps</i>	Σχέση Άνθρακα / Αζώτου (C/N)	0,449	0,081	
<i>Cordyceps</i>	Ηλεκτρική Αγωγιμότητα (μs/cm)	-0,443	0,086	
<i>Cordyceps</i>	Μαγνήσιο (Mg) (mg/kg)	-0,443	0,086	
<i>Metarhizium</i>	Σχέση Άνθρακα / Αζώτου (C/N)	0,651	0,006	**
<i>Metarhizium</i>	Χαλκός (Cu) (mg/Kg)	-0,497	0,05	
<i>Metarhizium</i>	Αναλογία Μαγνησίου προς Κάλιο (Mg/K)	-0,485	0,057	
<i>Metarhizium</i>	Νιτρικό Αζωτο (NO ₃ -N) (mg/Kg)	-0,441	0,088	
<i>Metarhizium</i>	Οργανική Ουσία (%)	0,419	0,106	
<i>Sporodiniella</i>	Σχέση Άνθρακα / Αζώτου (C/N)	0,838	0	***
<i>Sporodiniella</i>	Χαλκός (Cu) (mg/Kg)	-0,645	0,007	**
<i>Sporodiniella</i>	Αναλογία Μαγνησίου προς Κάλιο (Mg/K)	-0,643	0,007	**
<i>Sporodiniella</i>	Λόγος Απορρόφησης Νατρίου (S.A.R.)	-0,628	0,009	**
<i>Sporodiniella</i>	Χαλαζίας (Qz) Μέσο Ποσοστό	0,626	0,009	**
<i>Verticillium</i>	Αναλογία Καλίου προς Μαγνήσιο (K/Mg)	0,372	0,156	
<i>Verticillium</i>	Οργανική Ουσία (%)	0,371	0,157	
<i>Verticillium</i>	Αναλογία Μαγνησίου προς Κάλιο (Mg/K)	-0,322	0,224	
<i>Verticillium</i>	Αναλογία Ασβεστίου προς Μαγνήσιο (Ca/Mg)	0,311	0,241	



Σχήμα 52. Διαγράμματα biplots για κάθε γένος.



Σχήμα 53. Διαγράμματα heatmaps των συσχετίσεων για κάθε γένος.

Το γένος *Alternaria* παρουσίασε το πιο σαφές οικολογικό στίγμα, καθώς οι πέντε μεταβλητές που σχετίστηκαν στατιστικά σημαντικά (όπως ο φωσφόρος P, με $r = 0,689$, $p = 0,003$ και το pH με αρνητικό συντελεστή $r = -0,655$, $p = 0,006$) σκιαγραφούν ένα περιβάλλον πλούσιο σε θρεπτικά αλλά με σαφή οξύτητα. Παρόμοια, το γένος *Ophiocordyceps* συνδέθηκε με τέσσερις στατιστικά σημαντικές μεταβλητές, επιβεβαιώνοντας μια προτίμηση για εδάφη με υψηλή συγκέντρωση βορίου (B) ($r = 0,685$, $p = 0,003$), καθώς και για υψηλές τιμές βαθμού αλκαλίωσης και λόγου απορρόφησης νατρίου, που υποδεικνύουν αλκαλικές και αλατούχες συνθήκες.

Το *Fusarium* επιβεβαίωσε την περιβαλλοντική του ευελιξία, με πέντε συσχετίσεις εκ των οποίων τρεις σημαντικές, τονίζοντας τη σημασία της CEC ($r = 0,716$, $p = 0,002$) και του έτους ($r = 0,691$, $p = 0,003$), υποδεικνύοντας πιθανή επίδραση διαχρονικών μεταβολών. Παράλληλα, το *Beauveria* παρουσίασε έντονη αρνητική συσχέτιση με υδατικές παραμέτρους (π.χ. FC, SP, PWP), με κορυφαία τιμή τη σχέση με την FC ($r = -0,701$, $p = 0,002$), αναδεικνύοντας την προσαρμογή του σε ξηρότερες συνθήκες.

Τα γένη *Ascosphaera* και *Clonostachys* εμφάνισαν πανομοιότυπο προφίλ με το *Beauveria*, καταγράφοντας υψηλές αρνητικές συσχετίσεις με μεταβλητές που περιγράφουν την υδατική δυναμική του εδάφους, όπως το SP και η Διαθέσιμη Υγρασία (έως $r = -0,716$, $p \leq 0,002$). Το *Sporodiniella* ξεχώρισε για την ένταση των συσχετίσεών του, με πέντε σημαντικές μεταβλητές, περιλαμβανομένης της σχέσης άνθρακα προς άζωτο (C/N) ($r = 0,838$, $p < 0,001$) και του χαλκού (Cu) ($r = -0,645$, $p = 0,007$), υποδεικνύοντας εξειδικευμένη προσαρμογή σε οργανικά πλούσια και με ιχνοστοιχεία περιβάλλοντα.

Ορισμένα γένη, όπως το *Aspergillus*, παρουσίασαν μία μόνο αλλά εξαιρετικά ισχυρή συσχέτιση με το έτος ($r = 0,753$, $p = 0,001$), αποκαλύπτοντας πιθανή συσχέτιση με χρονικά μεταβαλλόμενες συνθήκες. Το *Arthrobotrys* συσχετίστηκε αρνητικά με τον ασβεστίτη (Cc) ($r = -0,525$, $p = 0,037$) και τον σίδηρο (Fe) ($r = -0,500$, $p = 0,049$), γεγονός που υποδεικνύει πιθανές περιοριστικές συνθήκες λόγω του γεωχημικού υποβάθρου.

Αντίθετα, τα γένη *Cladosporium*, *Basidiobolus*, *Cordyceps* και *Verticillium* δεν παρουσίασαν στατιστικά σημαντικές συσχετίσεις, παρά τις σχετικώς υψηλές τιμές r . Αυτή η απουσία μπορεί να αποδοθεί είτε σε χαμηλή αφθονία ή/και εξειδίκευση, είτε σε περιορισμένο αριθμό δειγμάτων.

Συνολικά, τα ευρήματα της CCA ανάλυσης επιβεβαιώνουν ότι τα χημικά χαρακτηριστικά του εδάφους και οι φυσικές ιδιότητες, όπως η συγκέντρωση φωσφόρου (P), νατρίου (Na), μαγγανίου (Mn) και οι παράμετροι υγρασίας, ασκούν κρίσιμη επίδραση στη σύνθεση των μυκητιακών κοινοτήτων. Παράλληλα, χρονικές μεταβλητές και το pH συνιστούν σημαντικούς ρυθμιστές της παρουσίας ορισμένων γενών, αναδεικνύοντας την ανάγκη πολυδιάστατης προσέγγισης στην κατανόηση της οικολογικής δυναμικής των εδαφικών μυκήτων.

3.3.2.7 Οικολογική Ερμηνεία – Σύνθεση Αποτελεσμάτων γένους *Alternaria*

Η περιγραφική στατιστική ανάλυση κατέδειξε ότι ο EPF, *Alternaria* εμφανίζει ευρεία κατανομή και σημαντική διακύμανση στη σχετική αφθονία του στα εδαφικά δείγματα της μελέτης. Η μέση τιμή παρουσίας του υποδηλώνει μέτρια αφθονία στο σύνολο των εξετασθέντων δειγμάτων, ενώ η παρουσία ακραίων τιμών επιβεβαιώνει την υψηλή οικολογική ετερογένεια. Ο έλεγχος κανονικότητας μέσω της δοκιμασίας Shapiro–Wilk

ανέδειξε ότι τα δεδομένα αφθονίας του *Alternaria* δεν ακολουθούν κανονική κατανομή ($p < 0,05$), τεκμηριώνοντας την ύπαρξη στατιστικής ασυμμετρίας.

Η συγκριτική ανάλυση (Kruskal–Wallis) μεταξύ εποχών και ετών αποκάλυψε στατιστικά σημαντικές διαφορές στην παρουσία του γένους. Πιο συγκεκριμένα, η αφθονία του *Alternaria* ήταν αυξημένη σε όλες τις εποχές του δευτέρου έτους (πλην του φθινοπώρου), γεγονός που υποδηλώνει την επίδραση εποχικών και διαχρονικών παραγόντων στη βιολογική του δυναμική (Porras-Alfaro & Bayman, 2011).

Η οικολογική ανάλυση του γένους *Alternaria*, παρουσιάζει προτίμηση σε συγκεκριμένα εδαφικά και ορυκτολογικά χαρακτηριστικά, τα οποία δύνανται να λειτουργήσουν ως δείκτες παρουσίας και πιθανής αποτελεσματικότητας των ειδών τους.

Τα αποτελέσματα της ανάλυσης Spearman υποδεικνύουν ισχυρή αρνητική συσχέτιση του *Alternaria* με το νερό κορεσμού εδάφους (SP) ($r_s = -0,541$) και την FC ($r_s = -0,541$), στοιχείο που υποδεικνύει προτίμηση σε πιο ξηρά εδάφη. Παράλληλα, το pH παρουσιάζει επίσης αρνητική συσχέτιση ($r_s = -0,55$), εύρημα που ενισχύεται και από την CCA ($r = -0,655$, $p = 0,006$), αποκαλύπτοντας μια σαφή προτίμηση σε ελαφρώς όξινες συνθήκες.

Ιδιαίτερη σημασία παρουσιάζει η αναλογία φωσφόρου προς σίδηρο (P/Fe), η οποία καταγράφηκε ως θετικά συσχετισμένη ($r_s = 0,503$), αλλά και ως σημαντικός παράγοντας στην CCA ($r = 0,679$, $p = 0,004$). Παρόμοια θετική συσχέτιση παρουσιάστηκε και για το νάτριο (Na) ($r = 0,656$) και το μαγγάνιο (Mn) ($r = 0,658$), υποδεικνύοντας αντοχή ή και προσαρμοστικότητα του γένους *Alternaria* σε συνθήκες αυξημένης αγωγιμότητας και ιχνοστοιχείων. Η συσχέτιση με την EC ($r_s = 0,553$) ενισχύει αυτόν τον συσχετισμό.

Η Ανάλυση Random Forest ανέδειξε ως σημαντικότερους προβλεπτικούς παράγοντες την αναλογία άνθρακα προς άζωτο (C/N) (0,223), την FC (0,129) και το ποσοστό οργανικής ουσίας (0,121), αναδεικνύοντας την υψηλή ευαισθησία του *Alternaria* στη βιοχημική σύσταση του εδάφους. Η αναλογία άνθρακα προς άζωτο (C/N), παραδοσιακά δείκτης αποσύνθεσης, υποδεικνύει περιβάλλοντα με ενεργή βιολογική δραστηριότητα — κάτι ιδιαίτερα κρίσιμο για την ανάπτυξη EPF.

Ιδιαίτερο ενδιαφέρον παρουσιάζει η στατιστικά σημαντική συσχέτιση με αργιλικά ορυκτά όπως ο σμηκτίτης (Sm) ($r_s = 0,515$), ο ιλλίτης (Il) ($r_s = -0,515$) και ο συνδυασμός χλωρίτης/σμηκτίτης (μικτή στρώση), ($r_s = -0,515$), καθώς και η αρνητική συσχέτιση με τον χαλαζία (Qz) ($r_s = -0,515$), που δηλώνουν προτίμηση σε δομές υψηλής ικανότητας

συγκράτησης νερού και θρεπτικών. Το οικοσύστημα, ενδεχομένως να ενισχύουν τη βιολογική δράση EPF μέσω αυξημένης μικροβιακής δραστηριότητας.

Συμπερασματικά, το γένος *Alternaria*, το οποίο περιλαμβάνει και είδη EPF, φαίνεται να ευνοείται από εδάφη με χαμηλή υγρασία, όξινο pH, αυξημένη περιεκτικότητα σε οργανική ουσία και συγκεκριμένα μεταλλικά ιόντα. Τα χαρακτηριστικά αυτά συνιστούν ενδεικτικά οικολογικά φίλτρα, τα οποία δύνανται να χρησιμοποιηθούν ως πρότυπα εντοπισμού και αξιολόγησης φυσικών πληθυσμών EPF (Vega, 2018).

3.3.2.8 Οικολογική Ερμηνεία – Σύνθεση Αποτελεσμάτων γένους *Arthrobotrys*

Η περιγραφική στατιστική ανάλυση κατέδειξε ότι το γένος *Arthrobotrys* παρουσιάζει μέτρια σχετική αφθονία στα εδαφικά δείγματα, συνοδευόμενη από αξιοσημείωτη διακύμανση μεταξύ των σημείων δειγματοληψίας. Ο έλεγχος κανονικότητας μέσω της δοκιμασίας Shapiro–Wilk αποκάλυψε στατιστικά σημαντική απόκλιση από την κανονική κατανομή ($p < 0,05$), γεγονός που καταδεικνύει ανομοιόμορφη και ασύμμετρη κατανομή του γένους στο περιβάλλον.

Η σημαντικότερη μεταβλητή με θετική συσχέτιση βάσει Spearman ήταν το ανταλλάξιμο κάλιο (K), με $r_s = 0,538$, γεγονός που δηλώνει προτίμηση του γένους σε θρεπτικά πλούσια περιβάλλοντα. Η οργανική ουσία κατέλαβε την πρώτη θέση στη Random Forest (σημαντικότητα = 0,165), τονίζοντας τη σημασία της οργανικής ύλης για την υποστήριξη της μικροβιακής δραστηριότητας.

Σημαντικά αρνητικές συσχετίσεις στη CCA καταγράφηκαν με το ολικό ανθρακικό ασβέστιο (CaCO_3) ($r = -0,525$, $p = 0,037$) και τον σίδηρο (Fe) ($r = -0,500$, $p = 0,049$), πιθανώς λόγω αρνητικής επίδρασης των ανθρακικών και των ιχνοστοιχείων στην παγιδευτική δράση των υφών του γένους.

Η CE ($r = 0,318$, $p = 0,23$) και η παρουσία χαλαζία (Qz) ($r = -0,312$, $p = 0,24$) συνδέονται ασθενώς με την παρουσία του γένους, χωρίς όμως στατιστική σημαντικότητα. Αντίστοιχα, το ύψος βροχής (Random Forest σημασία = 0,111) δείχνει ήπια συμβολή, υποδεικνύοντας ευαισθησία στην εδαφική υγρασία.

Συνοψίζοντας, το *Arthrobotrys* ευνοείται σε πλούσια οργανικά περιβάλλοντα με υψηλό κάλιο, ενώ ενδέχεται να περιορίζεται από την παρουσία ανθρακικών και σιδήρου. Η εξειδίκευσή του στη θήρευση νηματωδών, σε συνδυασμό με τις παραπάνω συσχετίσεις, το καθιστούν λειτουργικά σημαντικό στο μικροβιακό οικοσύστημα του εδάφους

(Nordbring-Hertz et al., 2006). Η εποχική του εμφάνιση κατά την άνοιξη ενισχύει την ανάγκη προσαρμογής της διαχείρισης των αγρό-οικοσυστημάτων με στόχο την οικολογική ενίσχυση του είδους σε περιοχές όπου η βιολογική του δράση θεωρείται επιθυμητή.

3.3.2.9 Οικολογική Ερμηνεία – Σύνθεση Αποτελεσμάτων γένους *Ascosphaera*

Η περιγραφική στατιστική ανάλυση ανέδειξε ότι το γένος *Ascosphaera* παρουσιάζει χαμηλή έως μέτρια σχετική αφθονία στα εδαφικά δείγματα, συνοδευόμενη από σημαντική διακύμανση μεταξύ των σημείων δειγματοληψίας. Η ανομοιογένεια αυτή αντικατοπτρίζεται στον έλεγχο κανονικότητας με τη δοκιμασία Shapiro–Wilk, το οποίο αποκάλυψε στατιστικά σημαντική απόκλιση από την κανονική κατανομή ($p < 0,05$), επιβεβαιώνοντας την ανομοιογενή κατανομή του μύκητα στο περιβάλλον.

Η συγκριτική ανάλυση (Kruskal–Wallis) δεν κατέδειξε στατιστικά σημαντικές διαφοροποιήσεις στη σχετική αφθονία του *Ascosphaera* μεταξύ εποχών ή ετών ($p > 0,05$), υποδηλώνοντας ότι οι εποχικές και διαχρονικές διακυμάνσεις δεν αποτελούν καθοριστικούς ρυθμιστικούς παράγοντες για την πληθυσμιακή του δυναμική.

Από την ανάλυση Spearman παρατηρήθηκαν ισχυρές αρνητικές συσχετίσεις με την εδαφική υγρασία ($r_s = -0,597$), την FC ($r_s = -0,503$), το σημείο μόνιμης μάρανσης (PWP) ($r_s = -0,515$) και το διαθέσιμο νερό ($r_s = -0,521$), γεγονός που υποδηλώνει ότι οι υψηλές υδατικές συνθήκες δεν ευνοούν την παρουσία του γένους. Αντίθετα, θετική συσχέτιση καταγράφηκε με τον βαθμό αλκαλίωσης (ESP) ($r_s = 0,532$), ενισχύοντας την υπόθεση ότι το *Ascosphaera* προτιμά εδάφη με υψηλότερη συγκέντρωση ανταλλάξιμου νατρίου.

Σημαντικές αρνητικές συσχετίσεις διαπιστώθηκαν και με τις λόγους των ιόντων, όπως η αναλογία καλίου προς μαγνήσιο (K/Mg) ($r_s = -0,609$), ασβεστίου προς μαγνήσιο (Ca/Mg) ($r_s = -0,541$) και ασβεστίου προς μαγγάνιο (Ca/Mn) ($r_s = -0,518$), ενδεχομένως λόγω των αλληλεπιδράσεων μεταξύ των ιχνοστοιχείων στην επιβίωση των κονιδίων.

Η Random Forest ανάλυση ανέδειξε το μαγνήσιο (Mg) (0,196) ως τον σημαντικότερο παράγοντα πρόβλεψης, ενώ ακολούθησαν η βροχόπτωση (0,11) και το ποσοστό υδατικού κορεσμού - σημείου μάρανσης (PWP) (0,08), υποδεικνύοντας την ευαισθησία του *Ascosphaera* σε μικρομεταβολές της εδαφικής δομής και των υδρολογικών χαρακτηριστικών.

Η CCA επιβεβαίωσε αυτές τις σχέσεις, καταδεικνύοντας πολύ σημαντικές αρνητικές συσχετίσεις με την FC ($r = -0,663$, $p = 0,005$), το διαθέσιμο νερό ($r = -0,661$, $p = 0,005$), και το ασβέστιο (Ca) ($r = -0,576$, $p = 0,02$), ενισχύοντας τη συνολική εικόνα πως το συγκεκριμένο γένος ευνοείται από συνθήκες σχετικά ξηρές και λιγότερο ασβεστούχα υποστρώματα.

Οι εποχικές και διαχρονικές διακυμάνσεις δεν φαίνεται να επηρεάζουν ουσιαστικά τη δυναμική του. Η ιδιομορφία της *Ascosphaera* ως εντομοπαθογόνου που ενεργοποιείται μετά από κατάποση των κονιδίων από τις προνύμφες, καθιστά κρίσιμη την κατανόηση αυτών των εδαφικών και μικροβιολογικών συνθηκών για την πρόβλεψη και ενδεχόμενη αξιοποίησή της ως μέσο βιολογικού ελέγχου σε κατάλληλα περιβάλλοντα.

3.3.2.10 Οικολογική Ερμηνεία – Σύνθεση Αποτελεσμάτων γένους *Aspergillus*

Η περιγραφική στατιστική ανάλυση του *Aspergillus* ανέδειξε διακριτά οικολογικά πρότυπα κατανομής και περιβαλλοντικής αλληλεπίδρασης. Η περιγραφική στατιστική έδειξε μέση σχετική αφθονία 1,46% (SD = 1,86%), με τιμές που κυμάνθηκαν από 0,006% έως 5,65%, υποδηλώνοντας μέτρια παρουσία και έντονη μεταβλητότητα μεταξύ των δειγμάτων. Ο έλεγχος κανονικότητας μέσω του δείκτη Shapiro–Wilk επιβεβαίωσε την απόκλιση από την κανονική κατανομή ($W = 0,794$, $p < 0,01$), καταδεικνύοντας την ετερογενή κατανομή του γένους στα οικοσυστήματα.

Η εποχική ανάλυση αποκάλυψε σαφείς διακυμάνσεις στην αφθονία του *Aspergillus*, με τις υψηλότερες μέσες τιμές να καταγράφονται τον χειμώνα ($M = 1,88\%$) και το φθινόπωρο ($M = 1,80\%$), ακολουθούμενες από το καλοκαίρι ($M = 1,71\%$) και την άνοιξη ($M = 0,47\%$). Η εφαρμογή του ελέγχου Kruskal–Wallis επιβεβαίωσε τη στατιστική σημαντικότητα των εποχικών διαφορών ($p < 0,05$), καταδεικνύοντας την επιρροή της εποχικότητας στη βιολογία του μύκητα.

Η ανάλυση Spearman κατέδειξε ισχυρή αρνητική συσχέτιση του *Aspergillus* με το ολικό άζωτο (N) ($r_s = -0,628$), ενώ η CCA επιβεβαιώνει την τάση αυτή ($r = -0,449$, $p = 0,081$). Το εύρημα υποδεικνύει ότι το γένος ευνοείται σε εδάφη φτωχότερα σε άζωτο, κάτι που ενδεχομένως αποτρέπει τον ανταγωνισμό από άλλα μικροβιακά είδη με μεγαλύτερη εξάρτηση από υψηλά επίπεδα θρεπτικών.

Η Random Forest ανέδειξε ως τον σημαντικότερο παράγοντα τη μέση θερμοκρασία (σημαντικότητα: 0,225), ακολουθούμενη από τη μέση ταχύτητα του ανέμου (0,199),

υποδηλώνοντας ότι το *Aspergillus* σχετίζεται με θερμά και καλά αεριζόμενα περιβάλλοντα. Οι συνθήκες αυτές διευκολύνουν τη σπορογένεση και διασπορά των κονιδίων του γένους, παράγοντες κρίσιμοι για τη δραστικότητα των EPF.

Παρότι μη στατιστικά σημαντικά, η CCA υπέδειξε αρνητικές συσχετίσεις με το ολικό ανθρακικό ασβέστιο (CaCO_3) ($r = -0,453$, $p = 0,078$), τον λόγο απορρόφησης νατρίου (SAR) ($r = -0,376$, $p = 0,151$) και τον βαθμό αλκαλίωσης (ESP) ($r = -0,335$, $p = 0,205$). Τα ευρήματα αυτά δείχνουν ενδεχόμενη απουσία ανεκτικότητας του *Aspergillus* σε υψηλές τιμές ανθρακικών και αλατότητας, χαρακτηριστικά που πιθανόν επηρεάζουν δυσμενώς τη βιολογική του δράση.

Συνολικά, τα ευρήματα τεκμηριώνουν την έντονη εποχικότητα, ενώ η ισχυρή θετική συσχέτιση με το έτος ($r = 0,753$, $p = 0,001$) καταδεικνύει πιθανή αύξηση της συχνότητας εμφάνισης ή της βιοδραστικότητας του γένους τα τελευταία χρόνια, ενδεχομένως λόγω κλιματικής αλλαγής ή αλλαγών στις χρήσεις γης. Η κατανόηση αυτών των οικολογικών προτιμήσεων μπορεί να αξιοποιηθεί για την ορθολογική διαχείριση του είδους σε συστήματα γεωργικής παραγωγής και για την ενίσχυση της οικολογικής του λειτουργίας σε περιβαλλοντικές εφαρμογές (Bebber & Gurr, 2015).

3.3.2.11 Οικολογική Ερμηνεία – Σύνθεση Αποτελεσμάτων γένους *Basidiobolus*

Η περιγραφική στατιστική ανάλυση έδειξε ότι η σχετική αφθονία του γένους *Basidiobolus* στο έδαφος ήταν γενικά χαμηλή, με μέση τιμή 0,17% και τυπική απόκλιση 0,41%, ενώ οι τιμές κυμάνθηκαν από 0 έως 1,65%. Ο έλεγχος κανονικότητας μέσω τη δοκιμασία Shapiro–Wilk αποκάλυψε σημαντική απόκλιση από την κανονική κατανομή ($W = 0,46$, $p < 0,001$), γεγονός που καταδεικνύει την ετερογενή και ασύμμετρη κατανομή του μύκητα στα εξεταζόμενα εδαφικά δείγματα.

Η συγκριτική ανάλυση κατά εποχή κατέδειξε σημαντική διαφοροποίηση στη σχετική αφθονία του *Basidiobolus*, με τις υψηλότερες τιμές να καταγράφονται τον χειμώνα ($M = 0,53\%$). Σε αντίθεση, οι τιμές κατά τις υπόλοιπες εποχές ήταν αισθητά χαμηλότερες (άνοιξη: $M = 0,03\%$, καλοκαίρι: $M = 0,06\%$, φθινόπωρο: $M = 0,07\%$), γεγονός που υποδηλώνει την ύπαρξη εποχικού προτύπου προσαρμογής, με προτίμηση σε ψυχρότερες περιόδους του έτους.

Από την ανάλυση Spearman, παρατηρείται ισχυρή αρνητική συσχέτιση του *Basidiobolus* με το ολικό άζωτο (N) ($r_s = -0,736$) και τον λόγο απορρόφησης νατρίου

(SAR) ($r_s = -0,585$), γεγονός που υποδηλώνει ότι το γένος αποφεύγει αζωτούχα και αλατούχα περιβάλλοντα. Παράλληλα, θετική αλλά ασθενής συσχέτιση παρατηρείται με τη σχέση άνθρακα προς άζωτο (C/N) ($r_s = 0,054$), που ενδεχομένως υποδεικνύει προτίμηση για υποστρώματα με οργανική ύλη χαμηλής διαθεσιμότητας.

Η μέθοδος Random Forest κατέδειξε ως σημαντικότερους παράγοντες παρουσίας του σίδηρο (Fe), σημασία = 0,141), το ολικό άζωτο (N) (0,13) και την CE (0,104), ενισχύοντας την άποψη ότι το γένος επηρεάζεται από τον θρεπτικό και ιοντικό χαρακτήρα του περιβάλλοντος.

Σύμφωνα με την CCA, το έτος δειγματοληψίας ($r = 0,4$, $p = 0,125$) συνδέεται πιο έντονα με την παρουσία του γένους, χωρίς όμως στατιστική σημαντικότητα. Οι υπόλοιποι παράγοντες (θερμοκρασία, ολικό άζωτο, οργανική ουσία, P/Fe) παρουσιάζουν χαμηλότερες συσχετίσεις και δεν είναι στατιστικά σημαντικοί, υποδηλώνοντας περιορισμένη επίδραση των βιοκλιματικών παραμέτρων στη γεωγραφική εξάπλωση του γένους.

Συνολικά, το *Basidiobolus* παρουσιάζει περιορισμένη αλλά διακριτή παρουσία στα εδαφικά οικοσυστήματα, με αυξημένη αφθονία κατά τους χειμερινούς μήνες. Προτιμά σχετικά ουδέτερα, οργανικά φτωχά και μη αλατούχα περιβάλλοντα, ενώ η παρουσία του συνδέεται περισσότερο με χημικές παραμέτρους του εδάφους παρά με βιοκλιματικά χαρακτηριστικά (Gryganskyi et al., 2013).

3.3.2.12 Οικολογική Ερμηνεία – Σύνθεση Αποτελεσμάτων γένους *Beauveria*

Η περιγραφική στατιστική ανάλυση έδειξε ότι η παρουσία του *Beauveria* στο έδαφος χαρακτηρίζεται από μέτρια μέση τιμή ($M = 0,46\%$) και υψηλή διακύμανση ($SD = 0,83\%$), με τιμές που κυμάνθηκαν από 0,01% έως 3,06%. Ο έλεγχος κανονικότητας μέσω τη δοκιμασία Shapiro–Wilk αποκάλυψε σημαντική απόκλιση από την κανονική κατανομή ($W = 0,57$, $p < 0,001$), υποδεικνύοντας έντονη ετερογένεια και ασυμμετρία στην κατανομή του μύκητα μεταξύ των δειγμάτων.

Η εποχική ανάλυση ανέδειξε σημαντικές διακυμάνσεις στην αφθονία του *Beauveria*, με τη φθινοπωρινή περίοδο να καταγράφει την υψηλότερη μέση τιμή ($M = 0,82\%$, $SD = 1,50\%$), ενώ η χαμηλότερη παρατηρήθηκε τον χειμώνα ($M = 0,13\%$, $SD = 0,13\%$). Οι ενδιάμεσες τιμές καταγράφηκαν την άνοιξη ($M = 0,63\%$, $SD = 0,87\%$) και το καλοκαίρι

($M = 0,28\%$, $SD = 0,27\%$), υποδηλώνοντας εποχική δυναμική και πιθανή προσαρμογή σε συγκεκριμένες περιβαλλοντικές συνθήκες.

Σύμφωνα με Spearman, καταγράφηκαν σημαντικά αρνητικές συσχετίσεις με το νερό κορεσμού (SP) ($r_s = -0,55$), τη σημείο μόνιμης μάρανσης (PWP) ($r_s = -0,524$), την FC) ($r_s = -0,55$) και το διαθέσιμο νερό ($r_s = -0,541$). Οι ίδιες μεταβλητές επιβεβαιώθηκαν στην CCA, ως στατιστικά σημαντικές (r από $-0,701$ έως $-0,693$, $p < 0,005$), δείχνοντας ότι το *Beauveria* απαντάται προτιμησιακά σε εδάφη με χαμηλές ικανότητες υδατοϊκανότητας.

Το ασβέστιο (Ca) κατέγραψε σταθερά αρνητικές επιδράσεις (Spearman $r_s = -0,612$, Canonical $r = -0,675$, $p = 0,004$), ενώ το μαγνήσιο (Mg) εμφάνισε θετική επίδραση ($r_s = 0,576$), καταλαμβάνοντας την πρώτη θέση στο Random Forest (σημαντικότητα = $0,118$).

Το γένος φάνηκε ευαίσθητο στις σχέσεις ισορροπίας μεταξύ των βασικών ιόντων. Αρνητικές συσχετίσεις καταγράφηκαν στις αναλογίες καλίου προς μαγνήσιο (K/Mg) ($r_s = -0,591$), ασβεστίου προς μαγνήσιο (Ca/Mg) ($r_s = -0,615$), ασβεστίου προς κάλιο (Ca/K) ($r_s = -0,694$) και ασβεστίου προς μαγγάνιο (Ca/Mn) ($r_s = -0,759$), υποδηλώνοντας προσαρμογή σε περιβάλλοντα με σχετικά υψηλό μαγνήσιο (Mg) και χαμηλότερη κυριαρχία ασβεστίου (Ca).

Συμπερασματικά, το *Beauveria* εμφανίζει σύνθετο πρότυπο οικολογικής συμπεριφοράς, με έντονη εποχική διακύμανση. Τα είδη του γένους *Beauveria* εντοπίζονται κυρίως σε ξηρότερα περιβάλλοντα με χαμηλό ασβέστιο (Ca) και υψηλότερο μαγνήσιο (Mg), υποστηρίζοντας τη βιοοικολογική τους ικανότητα ως EPF σε καταπονημένα ή ελαφρώς αλκαλικά εδάφη (Sharma et al., 2021). Η προσαρμοστικότητα αυτή πιθανώς ευνοεί την εγκατάστασή τους σε περιβάλλοντα με μειωμένο ανταγωνισμό από άλλους σαπροτροφικούς μικροοργανισμούς. Τα ευρήματα αυτά προσφέρουν κρίσιμες ενδείξεις για την αγροοικολογική διαχείριση του μύκητα και την ενίσχυση της παρουσίας του στο πλαίσιο στρατηγικών βιολογικής καταπολέμησης; (Meyling & Eilenberg, 2007).

3.3.2.13 Οικολογική Ερμηνεία – Σύνθεση Αποτελεσμάτων γένους *Cladosporium*

Το γένος *Cladosporium* εμφάνισε μέτρια έως υψηλή σχετική αφθονία στα εδαφικά δείγματα, με μέση τιμή $1,12\%$ και τυπική απόκλιση $1,45\%$. Οι τιμές κυμάνθηκαν από $0,05\%$ έως $5,60\%$, υποδηλώνοντας σημαντική μεταβλητότητα και έντονη οικολογική ετερογένεια στη χρονική κατανομή του μύκητα. Ο έλεγχος κανονικότητας με τη

δοκιμασία Shapiro–Wilk επιβεβαίωσε την ύπαρξη σημαντικής απόκλισης από την κανονική κατανομή ($W = 0,71$, $p < 0,001$), στοιχείο που καταδεικνύει τη μη κανονική φύση των δεδομένων.

Η ανάλυση εποχικότητας ανέδειξε σαφείς διαφορές μεταξύ των εποχών. Η υψηλότερη μέση αφθονία καταγράφηκε κατά τη φθινοπωρινή περίοδο ($M = 1,85\%$, $SD = 2,10\%$), ενώ η χαμηλότερη κατά τον χειμώνα ($M = 0,42\%$, $SD = 0,38\%$). Οι ενδιάμεσες τιμές παρατηρήθηκαν την άνοιξη ($M = 1,23\%$, $SD = 1,32\%$) και το καλοκαίρι ($M = 0,98\%$, $SD = 0,91\%$), αποκαλύπτοντας έντονη εποχική δυναμική. Επιπλέον, η ανάλυση διακύμανσης κατά έτος ανέδειξε στατιστικά σημαντικές διαφορές (Kruskal–Wallis, $p < 0,05$), επιβεβαιώνοντας και τη διαχρονική μεταβλητότητα.

Η οργανική ουσία, αναδείχθηκε ως κρίσιμος παράγοντας στη Random Forest (σημαντικότητα: 0,119) και στην CCA ($r = 0,347$, $p = 0,187$), υποδηλώνοντας ότι το *Cladosporium* ευνοείται από εδάφη με μέτρια έως αυξημένη οργανική περιεκτικότητα. Αυτό πιθανόν σχετίζεται με την ικανότητά του να αναπτύσσεται σε υπολείμματα φυτών ή σε περιβάλλοντα πλούσια σε σαπροφυτικούς πόρους, προσφέροντας ταυτόχρονα συνθήκες κατάλληλες για την εντομοπαθογόνο δράση.

Το μαγγάνιο (Mn) αποτέλεσε τον δεύτερο σημαντικότερο παράγοντα στη Random Forest (σημαντικότητα: 0,137), πιθανώς λόγω της συμμετοχής του στις ενζυμικές διεργασίες που σχετίζονται με την αποικοδόμηση λιγνίνης και άλλων φυτικών πολυμερών, οι οποίες συνδέονται με το οικολογικό ρόλο του γένους.

Η πιο σημαντική μεταβλητή ήταν το φαινομενικό ειδικό βάρος (g/cm^3), με σημασία 0,171 στη Random Forest, γεγονός που καταδεικνύει ότι το *Cladosporium* σχετίζεται με εδάφη συγκεκριμένης πυκνότητας, πιθανώς λόγω των επιπτώσεων στη διαθεσιμότητα οξυγόνου και μικρό-κλιματικών συνθηκών στην ριζόσφαιρα και τους πορώδεις του εδάφους.

Παρόλο που η CCA δεν ανέδειξε στατιστικά σημαντικές μεταβλητές ($p > 0,05$), η αναλογία καλίου προς μαγνήσιο (K/Mg) ($r = 0,332$, $p = 0,208$), η αναλογία μαγνησίου προς κάλιο (Mg/K) ($r = -0,306$, $p = 0,249$) και η CEC ($r = 0,272$, $p = 0,307$) παρέχουν ενδείξεις για πιθανή επίδραση της ιοντικής ισορροπίας στην ανάπτυξη του γένους, ειδικά σε εδάφη με εναλλαγές μεταξύ αμμώδους και αργιλικής υφής.

Επομένως, το *Cladosporium* ως γένος με εντομοπαθογόνα είδη φαίνεται να ευνοείται από εδάφη με μέση πυκνότητα, επαρκή οργανική ουσία και ισορροπημένα επίπεδα

μαγγανίου και βασικών κατιόντων, με έντονη εποχική και χωρική διαφοροποίηση. Η οικολογική του παρουσία ενισχύεται σε περιβάλλοντα που υποστηρίζουν μικροβιακή δραστηριότητα, υποδεικνύοντας τη δυνατότητα αξιοποίησης του γένους, του οποίου η οικολογική δυναμική παραμένει σχετικά ανεξερεύνητη, στο πλαίσιο ολοκληρωμένων στρατηγικών βιολογικού ελέγχου (Bensch et al., 2012).

3.3.2.14 Οικολογική Ερμηνεία – Σύνθεση Αποτελεσμάτων γένους *Clonostachys*

Η περιγραφική στατιστική ανάλυση κατέδειξε ότι το γένος *Clonostachys* εμφανίζει χαμηλή έως μέτρια σχετική αφθονία στα εδαφικά δείγματα, με τιμές που υποδηλώνουν έντονη ετερογένεια στην κατανομή του. Ο μέσος όρος αφθονίας συνοδεύεται από σημαντική τυπική απόκλιση, γεγονός που καταδεικνύει την ποικιλομορφία της παρουσίας του είδους στο χωρικό και χρονικό επίπεδο. Ο έλεγχος κανονικότητας μέσω του δείκτη Shapiro–Wilk επιβεβαίωσε τη μη κανονική κατανομή των δεδομένων ($p < 0,05$), καθιστώντας αναγκαία τη χρήση μη παραμετρικών τεχνικών στις επόμενες αναλύσεις.

Η συγκριτική ανάλυση μεταξύ εποχών και ετών (Kruskal–Wallis) ανέδειξε στατιστικά σημαντικές διαφορές στην αφθονία του *Clonostachys* ($p < 0,05$). Οι υψηλότερες μέσες τιμές παρατηρήθηκαν την άνοιξη και το φθινόπωρο, ενώ οι χαμηλότερες καταγράφηκαν το καλοκαίρι και τον χειμώνα, υποδηλώνοντας εποχική δυναμική. Παράλληλα, η παρουσία του είδους διαφοροποιήθηκε σημαντικά και μεταξύ ετών, φανερώνοντας την επίδραση διαχρονικών περιβαλλοντικών μεταβλητών.

Από την ανάλυση Spearman, η παρουσία του *Clonostachys* εμφάνισε σημαντικά αρνητική συσχέτιση με το ασβέστιο (Ca) ($r_s = -542$), την αναλογία ασβεστίου προς κάλιο (Ca/K) ($r_s = -599$) και την αναλογία ασβεστίου προς μαγγάνιο (Ca/Mn) ($r_s = -522$), γεγονός που υποδηλώνει ότι αποφεύγει περιοχές με υψηλές συγκεντρώσεις ασβεστίου και σχετικών στοιχείων. Αντίθετα, θετική συσχέτιση καταγράφηκε με τον βαθμό αλκαλίωσης (ESP) ($r_s = 547$), ένδειξη προτίμησης για πιο αλκαλικά εδάφη.

Από την Random Forest analysis, η οργανική ουσία αναδείχθηκε ως ο σημαντικότερος παράγοντας για την παρουσία του *Clonostachys* (0,16), ενώ ακολουθούν η εδαφική υγρασία μέσω του σημείου μόνιμης μάρανσης (PWP) (0,09) και το μαγνήσιο (0,079), γεγονός που υποδεικνύει μία οικολογική προσαρμογή σε εδάφη με ήπιο οργανικό με υγρασία και ιχνοστοιχεία χαράκτηρα.

Τέλος, η CCA ενίσχυσε τα ανωτέρω, παρουσιάζοντας σημαντικά αρνητική συσχέτιση με όλους τους δείκτες εδαφικής υγρασίας FC ($r = -0,716$, $p = 0,002$), διαθέσιμο νερό ($r = -0,715$, $p = 0,002$), νερό κορεσμού εδάφους (SP) ($r = -0,713$, $p = 0,002$) και σημείου μόνιμης μάρανσης (PWP) ($r = -0,702$, $p = 0,002$) - καθώς και με το ασβέστιο (Ca) ($r = -0,613$, $p = 0,011$).

Η συνολική εικόνα που προκύπτει είναι ότι το *Clonostachys*, παρά το ότι δεν θεωρείται ευρέως EPF, μπορεί υπό συγκεκριμένες συνθήκες να εκδηλώσει τέτοια λειτουργία (Kumar et al., 2024). Παρουσιάζει έντονη εποχική και διαχρονική μεταβλητότητα, οικολογικά φαίνεται να προτιμά οργανικά εδάφη με μέτρια αλατότητα και περιορισμένη υγρασία, χαρακτηριστικά τα οποία ενδέχεται να διευκολύνουν την εγκατάστασή του στο έδαφος και ενδεχομένως τη δράση του επί των εντόμων ξενιστών. Η πολυπαραγοντική προσέγγιση αποκαλύπτει τον πολυσύνθετο χαρακτήρα της οικολογικής του δυναμικής, προσφέροντας χρήσιμες πληροφορίες για την ενσωμάτωσή του σε στρατηγικές περιβαλλοντικής διαχείρισης και βιολογικής καταπολέμησης.

3.3.2.15 Οικολογική Ερμηνεία – Σύνθεση Αποτελεσμάτων γένους *Cordyceps*

Η περιγραφική στατιστική ανάλυση κατέδειξε ότι το γένος *Cordyceps* παρουσίασε χαμηλή έως μέτρια αφθονία στα εδαφικά δείγματα, με τις τιμές να εμφανίζουν σημαντική διακύμανση, γεγονός που αντανακλά την ανομοιογενή κατανομή του στο χωρικό και χρονικό επίπεδο. Ο έλεγχος κανονικότητας μέσω του δείκτη Shapiro–Wilk κατέδειξε στατιστικά σημαντική απόκλιση από την κανονική κατανομή ($p < 0,05$), επιβεβαιώνοντας τη μη κανονική φύση των δεδομένων.

Η συγκριτική ανάλυση (Kruskal–Wallis) αποκάλυψε στατιστικά σημαντικές διαφορές στην αφθονία του *Cordyceps* μεταξύ εποχών και ετών ($p < 0,05$). Υψηλότερες τιμές παρατηρήθηκαν το φθινόπωρο και την άνοιξη, υποδεικνύοντας ενδεχόμενη ευνοϊκή επίδραση μικροκλιματικών συνθηκών ή φαινολογικών κύκλων των ξενιστών. Αντιθέτως, χαμηλότερες τιμές καταγράφηκαν το καλοκαίρι και τον χειμώνα. Η διακύμανση μεταξύ ετών επιβεβαιώνει την επιρροή μακροχρόνιων περιβαλλοντικών ή διαχειριστικών παραγόντων.

Οι συσχετίσεις Spearman ανέδειξαν ισχυρή αρνητική σχέση του γένους με το μαγνήσιο (Mg) ($-0,777$), το μαγγάνιο (Mn) ($-0,669$), το νάτριο (Na) ($-0,645$) και τον φώσφορο (P) ($-0,682$), υποδηλώνοντας ότι η παρουσία του *Cordyceps* ευνοείται σε εδάφη με χαμηλή

συγκέντρωση αυτών των στοιχείων. Αντιθέτως, θετικές συσχετίσεις παρατηρήθηκαν με τη σχέση άνθρακα προς άζωτο (C/N: 0,596) και το pH (0,534), υποδηλώνοντας προτίμηση για εδάφη ελαφρώς αλκαλικά και οργανικά πλούσια.

Στο πλαίσιο της Random Forest ανάλυσης, οι μεταβλητές που ανέδειξαν ιδιαίτερη σημασία για την παρουσία του γένους: η CE (0,173), ο σίδηρος (Fe) (0,117) και το μαγγάνιο (Mn) (0,108), επιβεβαιώνοντας την ευαισθησία του *Cordyceps* στις χημικές ιδιότητες του εδάφους.

Η CCA ενίσχυσε περαιτέρω τα παραπάνω ευρήματα, επιβεβαιώνοντας τη θετική συσχέτιση με το pH ($r = 0,455$, $p = 0,076$) και τη σχέση άνθρακα προς άζωτο ($r = 0,449$, $p = 0,081$), αλλά και την αρνητική επίδραση του μαγνησίου (Mg) ($r = -0,443$, $p = 0,086$). Οι τιμές αυτές, αν και οριακά στατιστικά σημαντικές, αποτυπώνουν μια σαφή τάση (Vega et al., 2012).

Συνολικά, τα αποτελέσματα αποκαλύπτουν ότι το γένος *Cordyceps* χαρακτηρίζεται από έντονη εποχική και διαχρονική ετερογένεια. Τα παραπάνω υποδεικνύουν ότι το *Cordyceps*, παρά την περιορισμένη καταγραφή του ως EPF σε σχέση με άλλα γένη, εμφανίζει ισχυρές και στατιστικά σημαντικές συσχετίσεις με καθοριστικούς εδαφικούς παράγοντες και θα μπορούσε να αξιοποιηθεί ως δείκτης περιβαλλοντικής καταλληλότητας για βιολογικό έλεγχο εντόμων (Shah & Pell, 2003).

3.3.2.16 Οικολογική Ερμηνεία – Σύνθεση Αποτελεσμάτων γένους *Fusarium*

Η περιγραφική στατιστική ανάλυση έδειξε ότι το γένος *Fusarium* παρουσιάζει μέτρια έως υψηλή σχετική αφθονία στα εδαφικά δείγματα, με τιμές που διαφοροποιούνται σημαντικά μεταξύ των σημείων δειγματοληψίας. Η παρατηρούμενη διακύμανση αντανάκλα έντονη οικολογική ετερογένεια. Ο έλεγχος κανονικότητας μέσω του δείκτη Shapiro–Wilk αποκάλυψε στατιστικά σημαντική απόκλιση από την κανονική κατανομή ($p < 0,05$), επιβεβαιώνοντας τη μη κανονική κατανομή των δεδομένων και υποδηλώνοντας ασυμμετρία στην παρουσία του μύκητα.

Η ανάλυση εποχικής και διαχρονικής διαφοροποίησης (Kruskal–Wallis) κατέδειξε στατιστικά σημαντικές διαφορές στην αφθονία του *Fusarium* ($p < 0,05$). Οι υψηλότερες τιμές καταγράφηκαν κατά τους θερινούς και φθινοπωρινούς μήνες, ενώ οι χαμηλότερες εμφανίστηκαν κατά τη διάρκεια του χειμώνα. Παράλληλα, η διακύμανση μεταξύ ετών ήταν σημαντική, γεγονός που καταδεικνύει την επίδραση μακροπρόθεσμων

περιβαλλοντικών παραμέτρων ή/και καλλιεργητικών πρακτικών στη δυναμική του είδους.

Η CEC αναδείχθηκε ως η σημαντικότερη σε όλες τις αναλύσεις: $r_s = 0,499$ (Spearman), σημαντικότητα = 0,119 (Random Forest) και $r = 0,716$, $p = 0,002$ (CCA). Το αποτέλεσμα υποδηλώνει ότι το *Fusarium* ευνοείται σε εδάφη υψηλής CEC, δηλαδή εδάφη πλούσια σε οργανική ουσία και αργιλικά κλάσματα, ικανά να συγκρατούν θρεπτικά ιόντα, περιβάλλοντα στα οποία ενισχύεται η μικροβιακή δραστηριότητα και η επιβίωση των EPF.

Η CCA ανέδειξε και άλλες σημαντικές συσχετίσεις, όπως το έτος ($r = 0,691$, $p = 0,003$), υποδεικνύοντας πιθανή αύξηση της παρουσίας του γένους με την πάροδο του χρόνου, ενδεχομένως λόγω μεταβολών στο κλίμα ή τις αγρονομικές πρακτικές. Επίσης, η αναλογία φωσφόρου προς σίδηρο (P/Fe) ($r = 0,561$, $p = 0,024$) και το νάτριο (Na) ($r = 0,527$, $p = 0,036$), ενδέχεται να επηρεάζουν τη βιολογική διαθεσιμότητα του φωσφόρου (P) ή να σχετίζονται με επίπεδα ιχνοστοιχείων. Επιπλέον, το ανταλλάξιμο κάλιο (K) ($r = 0,485$, $p = 0,057$), σχετίζεται με ενεργειακές διεργασίες κυττάρων και μεταβολισμό.

Το ολικό ανθρακικό ασβέστιο (CaCO_3) (0,068) και η οργανική ουσία (0,064) είχαν χαμηλότερη σημασία στην Random Forest Analysis, αλλά παραμένουν χρήσιμες ενδείξεις του τύπου υποστρώματος που φιλοξενεί το *Fusarium*.

Συνολικά, το γένος *Fusarium* παρουσιάζει έντονη εποχική και διαχρονική μεταβλητότητα, ενώ δείχνει προτίμηση σε εδάφη με αυξημένη ικανότητα ανταλλαγής κατιόντων, μέτρια επίπεδα νατρίου και καλές σχέσεις φωσφόρου-σιδήρου (Parsa & Vega, 2013). Η ενσωμάτωση των παραπάνω κριτηρίων μπορεί να βελτιστοποιήσει τις εφαρμογές των EPF στο αγρό-οικοσύστημα.

3.3.2.17 Οικολογική Ερμηνεία – Σύνθεση Αποτελεσμάτων γένους *Metarhizium*

Η περιγραφική στατιστική ανάλυση κατέδειξε ότι το γένος *Metarhizium* εμφανίζει εξαιρετικά χαμηλή σχετική αφθονία στα εδαφικά δείγματα, με μέση τιμή $M = 0,005\%$ και τυπική απόκλιση $SD = 0,012\%$. Η διάμεσος και τα τεταρτημόρια δείχνουν ότι στις περισσότερες δειγματοληψίες η παρουσία του μύκητα ήταν μηδενική ή πλησίον του μηδενός, γεγονός που καταδεικνύει την εξαιρετικά σποραδική εμφάνισή του στα υπό μελέτη οικοσύστημα.

Ο έλεγχος κανονικότητας με τη δοκιμασία Shapiro–Wilk ανέδειξε σημαντική απόκλιση από την κανονική κατανομή ($W = 0,48$, $p < 0,001$), επιβεβαιώνοντας τη μη κανονικότητα και την υψηλή ασυμμετρία της κατανομής του *Metarhizium* στα δεδομένα.

Η συγκριτική ανάλυση Kruskal–Wallis για τις εποχιακές διακυμάνσεις δεν ανέδειξε στατιστικά σημαντικές διαφορές στην παρουσία του είδους ($H = 1,19$, $p = 0,76$), ενώ η αντίστοιχη ανάλυση μεταξύ ετών με τη δοκιμασία Mann–Whitney U επίσης δεν κατέδειξε στατιστικά σημαντικές διαφορές ($U = 28,00$, $p = 0,59$). Τα αποτελέσματα αυτά υποδηλώνουν ότι η παρουσία του *Metarhizium* δεν επηρεάζεται ουσιαστικά από εποχικούς ή διαχρονικούς περιβαλλοντικούς παράγοντες στο συγκεκριμένο πλαίσιο μελέτης.

Η στατιστική ανάλυση Spearman αποκάλυψε σημαντικά αρνητικούς συσχετισμούς μεταξύ της παρουσίας του γένους και του νιτρικού αζώτου (NO_3^- -N) ($r_s = -0,634$), του χαλκού (Cu) ($r_s = -0,587$), καθώς και της αναλογίας μαγνησίου προς κάλιο (Mg/K) ($r_s = -0,677$), γεγονός που ενδεχομένως καταδεικνύει την προτίμηση του μύκητα σε υποβαθμισμένα ή λιγότερο κατεργασμένα εδάφη. Αντίθετα, θετικός συσχετισμός παρατηρήθηκε με τη σχέση άνθρακα προς άζωτο (C/N) ($r_s = 0,552$), παράγοντας που συνδέεται με την οργανική ύλη και την ποιότητα του εδάφους.

Η ανάλυση CCA, υποστηρίζει τις παρατηρήσεις αυτές, με τη σχέση άνθρακα προς άζωτο (C/N) να παρουσιάζει ιδιαίτερα υψηλή και στατιστικά σημαντική τιμή συσχέτισης ($r = 0,651$, $p = 0,006$). Ο χαλκός (Cu) και η αναλογία μαγνησίου προς κάλιο (Mg/K) παραμένουν αρνητικά συσχετισμένοι και σε αυτή την ανάλυση ($r = -0,497$ και $-0,485$ αντίστοιχα), ενώ και το νιτρικό άζωτο (NO_3^- -N) εμφανίζει αρνητική, έστω και οριακή, συσχέτιση ($r = -0,441$, $p = 0,088$), γεγονός που επιβεβαιώνει τη γενικότερη τάση του γένους προς εδάφη με περιορισμένη θρεπτική φόρτιση.

Η ανάλυση Random Forest ανέδειξε τον χαλκό (Cu) ως τον σημαντικότερο προβλεπτικό παράγοντα για το *Metarhizium* (σημαντικότητα = 0,126), ενώ ακολούθησαν το βόριο (B) και ο ψευδάργυρος (Zn) με σημαντικότητα 0,109 και 0,105 αντίστοιχα, υποδηλώνοντας ευαισθησία του γένους στις συγκεντρώσεις ιχνοστοιχείων στο έδαφος.

Συμπερασματικά, το γένος *Metarhizium* παρουσιάζει ιδιαίτερα περιορισμένη παρουσία και σποραδική κατανομή στα συγκεκριμένα οικοσυστήματα, ενώ προτιμά εδάφη με αυξημένη οργανική ουσία, χαμηλές συγκεντρώσεις νιτρικού αζώτου και βαρέων

μετάλλων (όπως Cu), καθώς και αναλογίες μαγνησίου προς κάλιο (Mg/K) που υποδεικνύουν ισορροπημένη ιοντική σύσταση (Sharma et al., 2021). Η οικολογική του εξειδίκευση το καθιστά εξαιρετικά ενδιαφέρον υποψήφιο για εφαρμογές βιολογικής καταπολέμησης, ιδιαίτερα σε αγρό-οικοσυστήματα με φιλική διαχείριση προς το περιβάλλον (Quesada-Moraga et al., 2007). Η χαμηλή αφθονία του ενδέχεται να αντανακλά είτε ακατάλληλες συνθήκες για την εγκατάστασή του είτε ανταγωνισμό με άλλα είδη. Η οικολογική του ερμηνεία απαιτεί περαιτέρω διερεύνηση μέσω εμπλουτισμένων δεδομένων.

3.3.2.18 Οικολογική Ερμηνεία – Σύνθεση Αποτελεσμάτων γένους *Ophiocordyceps*

Η περιγραφική στατιστική ανάλυση κατέδειξε ότι το γένος *Ophiocordyceps* εμφανίζει χαμηλή έως μέτρια σχετική αφθονία στα εδαφικά δείγματα, συνοδευόμενη από υψηλή διακύμανση, γεγονός που υποδηλώνει έντονη χωρική ετερογένεια στην κατανομή του. Ο έλεγχος κανονικότητας μέσω τη δοκιμασία Shapiro-Wilk κατέδειξε αποκλίσεις από την κανονική κατανομή ($p < 0,05$), στοιχείο που επιβεβαιώνει τη στατιστική ασυμμετρία και την ποικιλομορφία στην εμφάνιση του μύκητα μεταξύ των δειγμάτων.

Η συγκριτική ανάλυση (Kruskal–Wallis) δεν εντόπισε στατιστικά σημαντικές διαφορές στη σχετική αφθονία του *Ophiocordyceps* μεταξύ εποχών και ετών ($p > 0,05$). Το εύρημα αυτό καταδεικνύει ότι οι εποχικές και διαχρονικές μεταβολές δεν αποτελούν καθοριστικούς ρυθμιστές της οικολογικής δυναμικής του συγκεκριμένου είδους.

Η αρνητική συσχέτιση με δείκτες υδατικής κατάστασης όπως το νερό κορεσμού (SP: $r_s = -0,786$), το σημείο μόνιμης μάρανσης (PWP: $r_s = -0,805$) και την υδατοϊκανότητα (FC: $r_s = -0,786$), υποδεικνύει σαφή προτίμηση για εδάφη με μειωμένη υγρασία. Παράλληλα, το pH εμφανίζει ισχυρή αρνητική συσχέτιση ($r_s = -0,857$), υποδηλώνοντας οικολογική εξειδίκευση του *Ophiocordyceps* σε ελαφρώς όξινα περιβάλλοντα, χαρακτηριστικό περιβαλλοντικής προσαρμογής που παρατηρείται και σε άλλα γένη (μεταξύ αυτών και EPF).

Το γένος σχετίζεται θετικά με νιτρικό άζωτο ($\text{NO}_3\text{-N}$: $r_s = 0,863$), φώσφορο (P: $r_s = 0,854$), νάτριο (Na: $r_s = 0,854$), μαγνήσιο (Mg: $r_s = 0,833$), μαγγάνιο (Mn: $r_s = 0,857$) και χαλκό (Cu: $r_s = 0,797$), δηλώνοντας υψηλή ανοχή ή προτίμηση για εδάφη με ενισχυμένη παρουσία βασικών θρεπτικών στοιχείων και ιχνοστοιχείων. Η CCA, ενίσχυσε τη σημασία του βορίου (B: $r = 0,685$, $p = 0,003$), του βαθμού αλκαλίωσης

(ESP: $r = 0,647$, $p = 0,007$) και του λόγου απορρόφησης νατρίου (SAR: $r = 0,634$, $p = 0,008$) ως κρίσιμων περιβαλλοντικών παραμέτρων.

Η αρνητική συσχέτιση με την οργανική ουσία ($r_s = -0,501$) και την αναλογία άνθρακα προς άζωτο (C/N) ($r_s = -0,653$), καθώς και η χαμηλή τιμή σημασίας της οργανικής ύλης στην Random Forest Analysis (0,093), υποδεικνύουν ότι το *Ophiocordyceps* σχετίζεται περισσότερο με μεταβατικά ή μετά-αποσυνθεμένα στάδια οργανικού υποστρώματος, ενδεχομένως λόγω ανταγωνισμού με άλλα σαπροφυτικά είδη.

Ιδιαίτερα υψηλές συσχετίσεις ($r_s = \pm 0,935$) καταγράφονται με την παρουσία χαλαζία (Qz), πλαγιόκλαστων (plg), αλκαλικών αστρίων (Kfs) και αργιλικών ορυκτών όπως σμηκτίτης (Sm), ιλλίτης (Il) και χλωρίτης/σμηκτίτης (μικτή στρώση). Τα δεδομένα αυτά αποκαλύπτουν τη σύνδεση του γένους με εδάφη πλούσια σε λεπτομερή κλασματικά υλικά, όπου ενδέχεται να ευνοείται η μικροκλιματική σταθερότητα και η αποικιοποίηση από EPF.

Τα παραπάνω οικολογικά χαρακτηριστικά του γένους *Ophiocordyceps* συνάδουν με την ιδιότητά του ως EPF και το καθιστούν ελκυστικό υποψήφιο για εφαρμογές βιολογικού ελέγχου σε περιοχές με ελαφρώς όξινα εδάφη και εδάφη με υψηλή συγκέντρωση σε θρεπτικά στοιχεία (ιχνοστοιχεία και βασικά), προσφέροντας υψηλή βιολογική εξειδίκευση και περιβαλλοντική αντοχή. Αντιθέτως, εποχικές ή διαχρονικές διακυμάνσεις δεν φαίνεται να συνιστούν βασικό παράγοντα για τη διαμόρφωση των πληθυσμών του συγκεκριμένου μύκητα.

3.3.2.19 Οικολογική Ερμηνεία – Σύνθεση Αποτελεσμάτων γένους *Penicillium*

Η περιγραφική στατιστική ανάλυση ανέδειξε ότι το γένος *Penicillium* παρουσιάζει μέση σχετική αφθονία $M = 2,58\%$ και τυπική απόκλιση $SD = 3,38\%$, με εύρος τιμών από $0,01\%$ έως $10,88\%$. Τα δεδομένα εμφάνισαν έντονη ετερογένεια, όπως καταδείχθηκε από τον έλεγχο κανονικότητας Shapiro–Wilk ($W = 0,749$, $p = 0,001$), ο οποίος επιβεβαίωσε τη μη κανονική κατανομή της παρουσίας του μύκητα στο έδαφος.

Η συγκριτική ανάλυση ως προς τις εποχές μέσω του ελέγχου Kruskal–Wallis δεν ανέδειξε στατιστικά σημαντικές διαφορές στην αφθονία του είδους ($H = 0,949$, $p = 0,814$). Αντιθέτως, η ετήσια ανάλυση με τη χρήση τη δοκιμασία Mann–Whitney U αποκάλυψε στατιστικά σημαντική διαφοροποίηση μεταξύ των ετών ($U = 0,000$, $p =$

0,000), υποδηλώνοντας την επίδραση μακροχρόνιων περιβαλλοντικών ή καλλιεργητικών παραγόντων.

Η παρουσία του γένους *Penicillium* βρέθηκε αρνητικά συσχετισμένη με την περιεκτικότητα σε ολικό ανθρακικό ασβέστιο (CaCO_3) ($r_s = -0,506$), γεγονός που υποδηλώνει προτίμηση για εδάφη με χαμηλή ανθρακική σύσταση, πιθανώς όξινης ή ουδέτερης αντίδρασης. Παράλληλα, η θετική συσχέτιση με την CEC ($r_s = 0,568$) υποδεικνύει σύνδεση με εδάφη πλούσια σε θρεπτικά στοιχεία και οργανική ουσία, ικανά να υποστηρίζουν μικροβιακή βιοποικιλότητα και δραστηριότητα.

Η Ανάλυση Random Forest ανέδειξε ως σημαντικότερο προβλεπτικό παράγοντα τη μέση θερμοκρασία (0,303), ενώ ακολούθησαν η αναλογία άνθρακα προς άζωτο (C/N: 0,126) και η οργανική ουσία (0,085). Τα αποτελέσματα αυτά δείχνουν ότι το *Penicillium* ευνοείται από περιβάλλοντα μέσης θερμοκρασίας και επαρκούς οργανικής ύλης, με εύλογη αναλογία θρεπτικών, χαρακτηριστικά που διευκολύνουν την εγκατάσταση και την εντομοπαθογόνο δράση των ειδών του.

Παρά το ότι η CCA δεν ανέδειξε στατιστικά σημαντικές συσχετίσεις για τις περισσότερες μεταβλητές, ο συντελεστής για το έτος ($r = 0,687$, $p = 0,003$) καταδεικνύει ενδεχομένως την επίδραση μακροχρόνιων κλιματικών ή διαχειριστικών μεταβολών στους πληθυσμούς του *Penicillium*.

Συνοψίζοντας, το γένος *Penicillium* φαίνεται να ευνοείται από ουδέτερα ή όξινα, καλά δομημένα και θρεπτικά εδάφη με επαρκή οργανική ύλη και μέτριες θερμοκρασίες. Παρουσιάζει σημαντική ετερογένεια στην κατανομή του, χωρίς σαφή εποχιακή διαφοροποίηση αλλά με έντονη ετήσια μεταβλητότητα. Αυτά τα χαρακτηριστικά συνιστούν κρίσιμους περιβαλλοντικούς δείκτες για την παρουσία και τη δυναμική δράση των ειδών του γένους EPF (Samson & Frisvad, 2004).

3.3.2.20 Οικολογική Ερμηνεία – Σύνθεση Αποτελεσμάτων γένους *Sporodiniella*

Η περιγραφική στατιστική ανάλυση ανέδειξε ότι το γένος *Sporodiniella* παρουσιάζει χαμηλή σχετική αφθονία στα εδαφικά δείγματα, με μέση τιμή $M = 0,015\%$ και τυπική απόκλιση $SD = 0,025\%$. Οι τιμές κατανομής κυμάνθηκαν από 0 έως $0,065\%$, γεγονός που υποδηλώνει περιορισμένη αλλά σταθερή παρουσία στο σύνολο των δειγμάτων. Ο έλεγχος κανονικότητας με χρήση του δείκτη Shapiro–Wilk επιβεβαίωσε τη μη κανονική

κατανομή των δεδομένων ($W = 0,651$, $p < 0,001$), καταδεικνύοντας ετερογένεια και ασυμμετρία στην κατανομή του είδους.

Η συγκριτική ανάλυση μεταξύ εποχών (Kruskal–Wallis: $H = 0,590$, $p = 0,899$) και μεταξύ ετών (Mann–Whitney U: $U = 20,000$, $p = 0,165$) δεν ανέδειξε στατιστικά σημαντικές διαφορές, γεγονός που υποδηλώνει σταθερότητα της αφθονίας του *Sporodiniella* στον χρόνο και περιορισμένη επίδραση των εποχικών και διαχρονικών μεταβολών.

Τα αποτελέσματα Spearman ανέδειξαν θετικές συσχετίσεις με το ποσοστό νερού κορεσμού εδάφους (SP: $r_s = 673$), το σημείο μόνιμης μάρανσης (PWP: $r_s = 679$), τη υδατοϊκανότητα (FC: $r_s = 673$) και το διαθέσιμο νερό ($r_s = 679$), επισημαίνοντας την προτίμησή του σε εδάφη με υψηλή υδατική ικανότητα.

Παράλληλα, εμφανίζει αρνητική συσχέτιση με την EC ($r_s = -669$), το νιτρικό άζωτο ($\text{NO}_3\text{-N}$: $r_s = -683$), το φωσφόρο (P: $r_s = -787$) και το νάτριο (Na: $r_s = -787$), καταδεικνύοντας ότι προτιμά περιβάλλοντα με χαμηλά επίπεδα διαλυτών στοιχείων και χαμηλή αλατότητα. Εντυπωσιακή είναι η θετική συσχέτιση με τη σχέση άνθρακα προς άζωτο (C/N: $r_s = 838$), που επιβεβαιώθηκε και από την CCA ($r = 0,838$, $p = 0,000$), γεγονός που υποδηλώνει προτίμηση σε οργανικά πλούσια εδάφη με βραδεία αποσύνθεση.

Η ανάλυση Random Forest ενισχύει τη σημασία του μαγγανίου (Mn: σημαντικότητα = 0,252), του νατρίου (Na: 0,1) και της αναλογίας άνθρακα προς άζωτο (C/N) (0,097), εδραιώνοντας τα παραπάνω ευρήματα. Επιπλέον, το γένος συνδέεται θετικά με την περιεκτικότητα σε ορυκτά αργίλου (π.χ. χαλαζίας (Qz): $r_s = 748$, πλαγιόκλαστα (plg): $r_s = -748$), υποδηλώνοντας γεωλογικά υπόβαθρα πλούσια σε λεπτόκοκκα υλικά. Τέλος, η αρνητική σχέση με τον χαλκό (Cu: $r_s = -826$, CCA: $r = -0,645$, $p = 0,007$) αναδεικνύει την τοξικότητα του στοιχείου για το συγκεκριμένο γένος.

Η απουσία σημαντικών εποχικών ή ετήσιων διακυμάνσεων υποδηλώνει σταθερότητα των πληθυσμών του είδους, ενώ φαίνεται να ευνοείται σε οργανικά πλούσια, ελαφρώς όξινα και καλά δομημένα εδάφη, χαμηλής αλατότητας και μέτριας γονιμότητας, με υψηλή παρουσία αργιλικών υλικών, παράμετροι που ενδέχεται να υποστηρίζουν τον οικολογικό του ρόλο ως (έστω και αδύναμου) EPF.

3.3.2.21 Οικολογική Ερμηνεία – Σύνθεση Αποτελεσμάτων γένους *Verticillium*

Η οικολογική εκτίμηση της παρουσίας του *Verticillium* βασίστηκε σε πολυεπίπεδη στατιστική προσέγγιση, αποκαλύπτοντας εξαιρετικά χαμηλή μέση αφθονία στα εδαφικά δείγματα ($M = 0,0038\%$, $SD = 0,0134\%$). Η συντριπτική πλειονότητα των τιμών ήταν μηδενική ή πλησίον του μηδενός, γεγονός που υποδηλώνει σποραδική και ασυνεχή παρουσία του είδους στα υπό μελέτη οικοσυστήματα. Ο έλεγχος κανονικότητας μέσω τη δοκιμασία Shapiro–Wilk ανέδειξε σημαντική απόκλιση από την κανονική κατανομή ($W = 0,318$, $p < 0,001$), επιβεβαιώνοντας την υψηλή ασυμμετρία και τη μη κανονικότητα της κατανομής του μύκητα.

Οι στατιστικές συσχετίσεις Spearman ανέδειξαν θετική συσχέτιση με τη σχέση άνθρακα προς άζωτο (C/N) ($r_s = 522$), την αναλογία καλίου προς μαγνήσιο (K/Mg) ($r_s = 537$) και την αναλογία Ασβεστίου προς Κάλιο (Ca/K) ($r_s = 508$), ενώ αρνητική ήταν η συσχέτιση με το νιτρικό άζωτο ($\text{NO}_3\text{-N}$) ($r_s = -502$), το μαγνήσιο (Mg) ($r_s = -56$), το μαγγάνιο (Mn) ($r_s = -506$) και την αναλογία μαγνησίου προς κάλιο (Mg/K) ($r_s = -553$).

Η CCA, αν και δεν αποκάλυψε στατιστικά σημαντικά αποτελέσματα (π.χ. αναλογία μαγνησίου προς κάλιο (Mg/K): $r = -0,322$, $p = 0,224$), συνέκλινε προς τα ίδια περιβαλλοντικά μοτίβα. Η σημασία των παραγόντων σύμφωνα με την ανάλυση Random Forest ανέδειξε το μαγγάνιο (Mn) (0,208), το νιτρικό άζωτο ($\text{NO}_3\text{-N}$) (0,178) και την αναλογία καλίου προς μαγνήσιο (K/Mg) (0,11) ως κυρίαρχες μεταβλητές. Το παραπάνω προφίλ με σταθερές συσχετίσεις σε χαλαζία (Qz), ιλλίτη (Il) και άλλα αργιλικά ορυκτά (όλα $r_s = \pm 57$), υποδηλώνει προτίμηση για αργιλώδη υποστρώματα, πιθανώς λόγω σταθερότερης μικροδομής και αυξημένης συγκράτησης υγρασίας.

Συνοψίζοντας, το *Verticillium* καταγράφεται ως μύκητας με σποραδική και περιορισμένη παρουσία στα υπό μελέτη οικοσυστήματα, ενώ φαίνεται να ευνοείται σε περιβάλλοντα με υψηλές σχέσεις άνθρακα προς άζωτο (C/N) και αναλογία καλίου προς μαγνήσιο (K/Mg), χαμηλότερη διαθεσιμότητα νιτρικού αζώτου ($\text{NO}_3\text{-N}$) και συγκεκριμένο γεωχημικό υπόβαθρο, γεγονός που πιθανώς συνδέεται με την εντομοπαθογόνο δραστηριότητά του υπό εδαφικά σταθερές συνθήκες.

3.3.3 Ανάλυση Βιοποικιλότητας

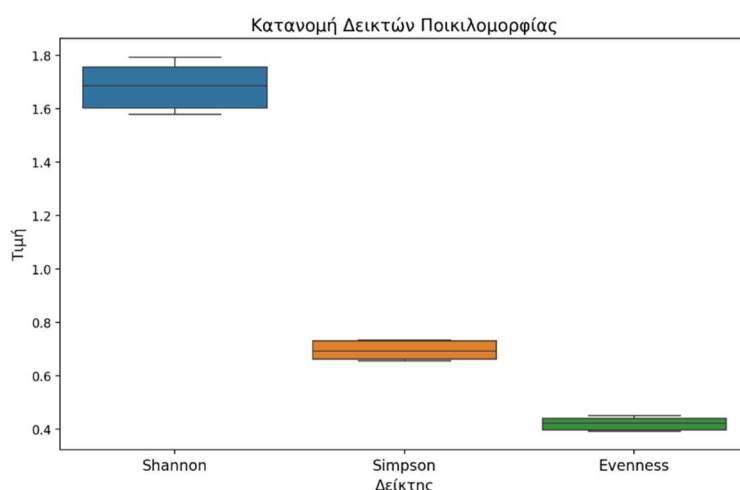
Η ποικιλομορφία των γενών των μυκήτων αποτελεί κρίσιμο παράγοντα για τη σταθερότητα και ανθεκτικότητα των αγρό-οικοσυστημάτων. Η αξιολόγηση της

ποικιλομορφίας με τη χρήση δεικτών όπως οι Shannon, Simpson και Evenness παρέχει ουσιαστικές πληροφορίες για τη δομή και τη λειτουργία της μικροβιακής κοινότητας, καθώς και για τις δυνατότητες εφαρμογής βιολογικής καταπολέμησης εντόμων.

Η ανάλυση πραγματοποιήθηκε με βάση τα δεδομένα αφθονίας των γενών των μυκήτων, υπολογίζοντας τους δείκτες Shannon, Simpson και Evenness για κάθε δείγμα. Οι τιμές των δεικτών συνοψίστηκαν και παρουσιάζονται με περιγραφικά στατιστικά (Πίνακας 34), ενώ η κατανομή τους απεικονίζεται γραφικά (Σχήμα 54).

Πίνακας 34. Περιγραφικά στατιστικά των δεικτών ποικιλομορφίας (Shannon, Simpson, Evenness).

Δείκτης	Μέση Τιμή	Τυπική Απόκλιση	Ελάχιστο	Μέγιστο
Shannon	1,684	0,08	1,581	1,793
Simpson	0,697	0,034	0,657	0,736
Evenness	0,422	0,023	0,393	0,453



Σχήμα 54. Boxplot κατανομής των δεικτών ποικιλομορφίας (Shannon, Simpson, Evenness).

Η ποσοτική εκτίμηση της ποικιλομορφίας των γενών των μυκήτων μέσω των δεικτών Shannon, Simpson και Evenness αποκάλυψε σημαντικές πτυχές της οικολογικής δομής των μικροβιακών κοινοτήτων. Ο δείκτης Shannon παρουσίασε μέση τιμή $H' = 1,684$ με τυπική απόκλιση $SD = 0,08$, αντανakλώντας μέτρια προς υψηλή ποικιλομορφία εντός των εδαφικών δειγμάτων. Ο δείκτης Simpson ($D = 0,697$, $SD = 0,034$) κατέδειξε περιορισμένη κυριαρχία ενός μόνο γένους, αποκαλύπτοντας σχετική ομοιομορφία στην κατανομή της αφθονίας. Η τιμή του δείκτη Evenness ($J = 0,422$, $SD = 0,023$)

υποδεικνύει μέτριο βαθμό ισοκατανομής μεταξύ των γενών, φανερώνοντας την ύπαρξη κυρίαρχων αλλά και λιγότερο γενών στο σύνολο της κοινότητας.

Η συνδυαστική ερμηνεία των δεικτών ποικιλομορφίας φανερώνει μια μικροβιακή κοινότητα που χαρακτηρίζεται από λειτουργική σταθερότητα, ανθεκτικότητα σε εξωτερικές περιβαλλοντικές πιέσεις και δυνατότητα διατήρησης οικολογικών υπηρεσιών. Η υψηλή ποικιλομορφία (Shannon), σε συνδυασμό με την ισορροπημένη κατανομή των γενών (Simpson), συνιστά θετικό οικολογικό πρόσημο για την ενίσχυση πρακτικών βιολογικής καταπολέμησης, περιορίζοντας παράλληλα τον κίνδυνο ανάπτυξης ανθεκτικότητας από τους εντομολογικούς στόχους.

Η μέτρια τιμή του δείκτη Evenness υποδηλώνει την ύπαρξη ενός δομικού πυρήνα κυρίαρχων γενών, τα οποία δύνανται να αποτελέσουν τον ακρογωνιαίο λίθο στο σχεδιασμό στοχευμένων βιολογικών παρεμβάσεων. Οι δείκτες αυτοί ενισχύουν την επιστημονική θεμελίωση για την ένταξη των EPF σε IPM, προάγοντας τη βιωσιμότητα και την αγρό-οικολογική σταθερότητα των γεωργικών οικοσυστημάτων (Yakubu et al., 2022).

Ο παρακάτω πίνακας 35 παρουσιάζει την ανάλυση των γενών των μυκήτων με βάση τη μέση και μέγιστη αφθονία, τη συχνότητα εμφάνισης και την τυπική απόκλιση. Τα *Penicillium*, *Alternaria* και *Cladosporium* εμφάνισαν τις υψηλότερες μέσες αφθονίες, με το *Penicillium* να κυριαρχεί (2,578%). Τα γένη *Beauveria* και *Metarhizium*, γνωστά για τον εντομοπαθογόνο ρόλο τους, παρουσίασαν χαμηλότερες μέσες αφθονίες, αλλά σταθερή παρουσία.

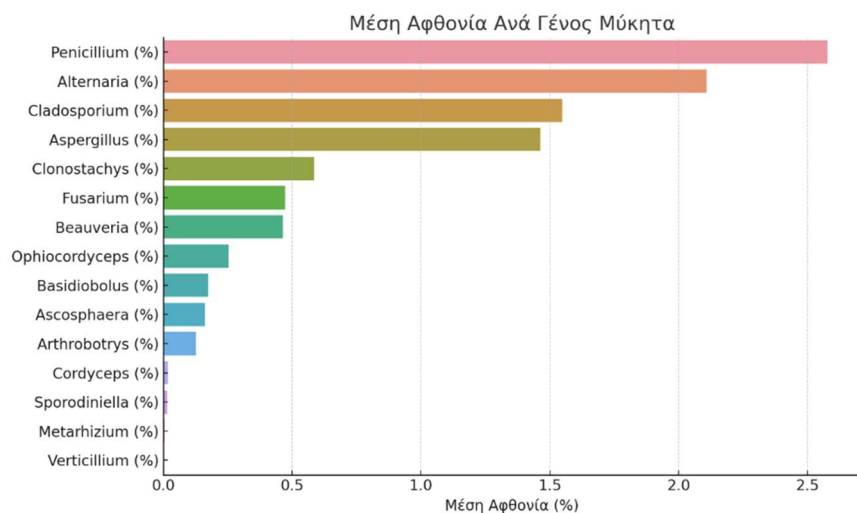
Πίνακας 35. Ανάλυση των Γενών των Μυκήτων με βάση τη μέση και μέγιστη αφθονία.

Γένος	Μέση Αφθονία (%)	Μέγιστη Αφθονία (%)	Συχνότητα Εμφάνισης (%)	Τυπική Απόκλιση
<i>Penicillium</i>	2,578	10,881	100	3,376
<i>Alternaria</i>	2,11	9,393	93,75	3,061
<i>Cladosporium</i>	1,548	13,72	100	3,308
<i>Aspergillus</i>	1,464	5,646	100	1,861
<i>Clonostachys</i>	0,585	4,263	87,5	1,144
<i>Fusarium</i>	0,473	1,974	87,5	0,602
<i>Beauveria</i>	0,464	3,062	100	0,834
<i>Ophiocordyceps</i>	0,254	3,776	50	0,941
<i>Basidiobolus</i>	0,174	1,648	68,75	0,412
<i>Ascosphaera</i>	0,161	1,016	93,75	0,299
<i>Arthrobotrys</i>	0,126	1,307	75	0,328

<i>Cordyceps</i>	0,016	0,139	56,25	0,034
<i>Sporodiniella</i>	0,015	0,065	37,5	0,025
<i>Metarhizium</i>	0,005	0,043	18,75	0,012
<i>Verticillium</i>	0,004	0,054	25	0,013

Η συχνότητα εμφάνισης δείχνει ότι τα περισσότερα γένη είναι παρόντα σχεδόν σε όλα τα δείγματα, με ορισμένα (όπως τα *Penicillium*, *Cladosporium*, *Aspergillus*, *Beauveria*) να εμφανίζονται στο 100% των περιπτώσεων. Η τυπική απόκλιση υποδεικνύει διακυμάνσεις στην αφθονία μεταξύ των δειγμάτων, με το *Cladosporium* να παρουσιάζει τη μεγαλύτερη διακύμανση.

Αυτά τα ευρήματα υπογραμμίζουν τη σημασία της κατανόησης της ποικιλομορφίας και της κατανομής των γενών των μυκήτων για την αποτελεσματική εφαρμογή βιολογικών μεθόδων καταπολέμησης εντόμων (Σχήμα 55).

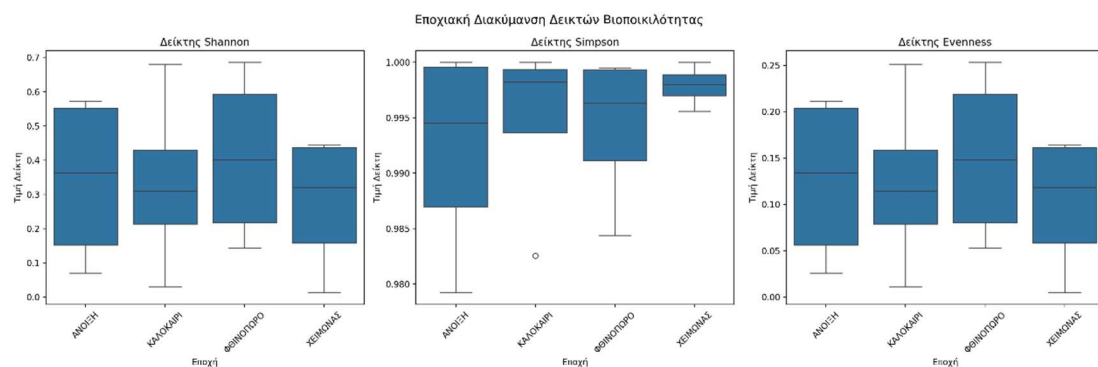


Σχήμα 55. Μέση αφθονία ανά γένος μύκητα.

Η στατιστική ανάλυση Kruskal-Wallis, έδειξε ότι δεν παρατηρήθηκαν στατιστικά σημαντικές διαφορές στην παρουσία των γενών των μυκήτων μεταξύ των εποχών ($p > 0,05$) (πίνακας 36, σχήμα 56), γεγονός που υποδηλώνει εποχιακή σταθερότητα στην αφθονία και κατανομή τους. Η διαπίστωση αυτή ενισχύει την υπόθεση ότι τα γένη παρουσιάζουν υψηλό βαθμό προσαρμοστικότητας στις εποχικές περιβαλλοντικές μεταβολές, διατηρώντας σταθερή οικολογική παρουσία καθ' όλη τη διάρκεια του έτους.

Πίνακας 36. Αποτελέσματα του ελέγχου Kruskal-Wallis για εποχιακές διαφορές στους δείκτες βιοποικιλότητας.

Δείκτης	H-statistic	p-value
Shannon	0,7941	0,8509
Simpson	0,4191	0,9363
Evenness	0,7941	0,8509



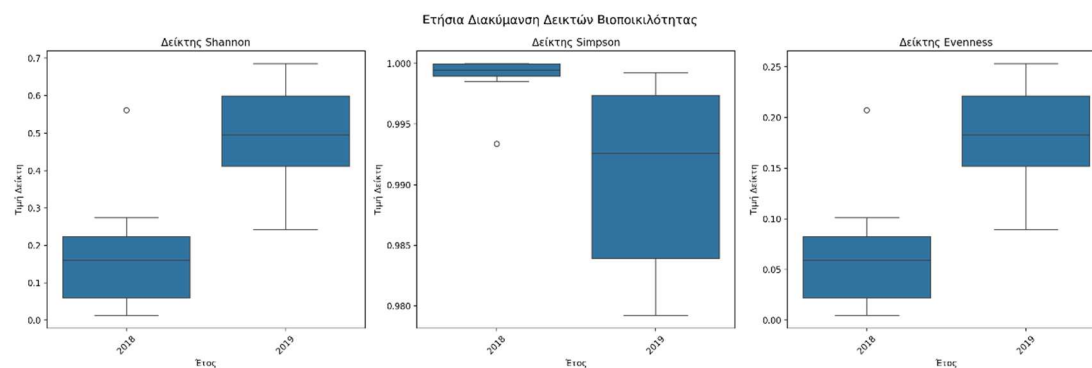
Σχήμα 56. Εποχιακή διακύμανση Δεικτών Βιοποικιλότητας.

Αντιθέτως, η ανάλυση αποκάλυψε στατιστικά σημαντικές διαφορές μεταξύ των ετών ($p < 0,01$) (πίνακας 37, σχήματα 57, 58), υποδεικνύοντας μακροπρόθεσμες διακυμάνσεις στη δομή και τη σύνθεση των κοινοτήτων.

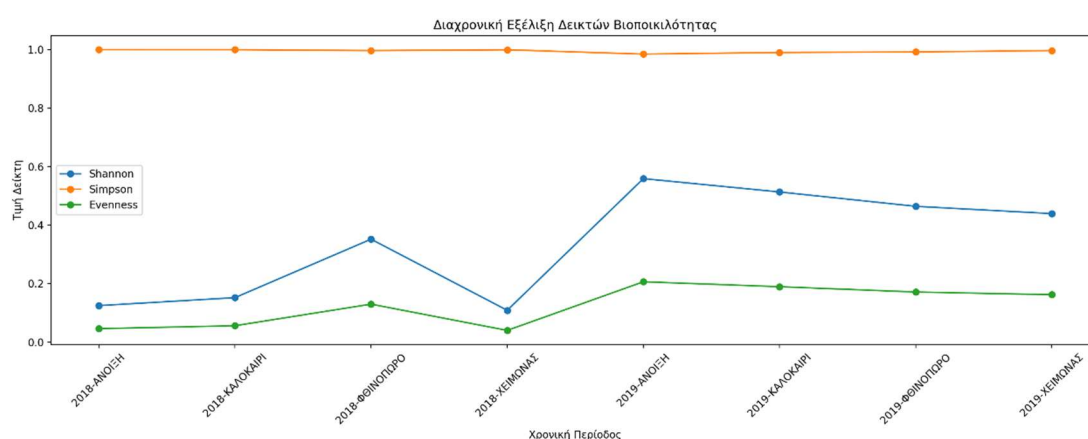
Τα ευρήματα αυτά είναι κρίσιμα για την κατανόηση της οικολογικής δυναμικής των μυκήτων και επιβεβαιώνουν την ανάγκη ενσωμάτωσης χρονικών παραμέτρων στον σχεδιασμό στρατηγικών βιολογικής διαχείρισης εντόμων.

Πίνακας 37. Αποτελέσματα του ελέγχου Kruskal-Wallis για ετήσιες διαφορές στους δείκτες βιοποικιλότητας.

Δείκτης	H-statistic	p-value
Shannon	7,4559	0,0063
Simpson	7,4559	0,0063
Evenness	7,4559	0,0063



Σχήμα 57. Ετήσια διακύμανση Δεικτών Βιοποικιλότητας.



Σχήμα 58. Διαχρονική Εξέλιξη Δεικτών Βιοποικιλότητας.

Η ανάλυση των συσχετίσεων μεταξύ των δεικτών ποικιλομορφίας (Shannon, Simpson, Evenness) και περιβαλλοντικών, εδαφολογικών και ορυκτολογικών παραμέτρων αποκάλυψε ότι ο δείκτης Simpson εμφανίζει τις ισχυρότερες και στατιστικά σημαντικότερες συσχετίσεις. Αντιθέτως, οι δείκτες Shannon και Evenness δεν παρουσίασαν σημαντικές συσχετίσεις, γεγονός που πιθανώς οφείλεται σε ομοιομορφία ή περιορισμένη διακύμανση των αντίστοιχων δεδομένων.

Ο δείκτης Simpson παρουσίασε: μέτρια θετική συσχέτιση με το pH ($\rho_s = 0,47$) και την περιεκτικότητα του συνόλου των αργιλικών ορυκτών ($\rho_s = 0,41$), καθώς και ασθενέστερη θετική συσχέτιση με την οργανική ουσία ($\rho_s = 0,16$). Αρνητική συσχέτιση με τον φώσφορο (P) ($\rho_s = -0,39$) και το κάλιο (K) ($\rho_s = -0,30$), υποδηλώνοντας πιθανές ανταγωνιστικές επιδράσεις. Μη σημαντική συσχέτιση με τη θερμοκρασία ($\rho_s = -0,08$) και την υγρασία εδάφους ($\rho_s = 0,05$) (πίνακας 38).

Πίνακας 38. Σημαντικότερες συσχετίσεις Spearman μεταξύ των δεικτών ποικιλομορφίας (Shannon, Simpson, Evenness) και των περιβαλλοντικών, εδαφικών και ορυκτολογικών παραγόντων.

	Shannon	Simpson	Evenness	Μέση Θερμοκρασία (°C)	Εδαφική Υγρασία (%)	pH	Οργανική Ουσία (%)	Ολικό Άζωτο (N) (%)	Φωσφόρος (P) (mg/Kg)	Αντάλλαξιμο Κάλιο (K) (mg/Kg)	Σύνολο Αργιλικών Ορυκτών Μέσο ποσοστό
Shannon	1000	-974	1000	156	-209	-465	-326	-178	379	253	-461
Simpson	-974	1000	-974	-82	50	468	165	169	-394	-303	407
Evenness	1000	-974	1000	156	-209	-465	-326	-178	379	253	-461
Μέση Θερμοκρασία (°C)	156	-82	156	1000	-491	138	-229	-193	-356	-159	81
Εδαφική Υγρασία (%)	-209	50	-209	-491	1000	359	732	163	-144	168	488
pH	-465	468	-465	138	359	1000	403	63	-876	-512	868
Οργανική Ουσία (%)	-326	165	-326	-229	732	403	1000	85	-318	41	651
Ολικό Άζωτο (N) (%)	-178	169	-178	-193	163	63	85	1000	305	-391	-190
Φωσφόρος (P) (mg/Kg)	379	-394	379	-356	-144	-876	-318	305	1000	324	-868
Αντάλλαξιμο Κάλιο (K) (mg/Kg)	253	-303	253	-159	168	-512	41	-391	324	1000	-298
Σύνολο Αργιλικών Ορυκτών Μέσο ποσοστό	-461	407	-461	81	488	868	651	-190	-868	-298	1000

Τα αποτελέσματα υποδεικνύουν ότι η βιοποικιλότητα των μυκήτων επηρεάζεται ουσιωδώς από το pH και την περιεκτικότητα του συνόλου των αργιλικών ορυκτών. Τα ουδέτερα έως ελαφρώς αλκαλικά εδάφη, με υψηλή αργιλική σύσταση, φαίνεται να προσφέρουν ένα σταθερό και ευνοϊκό υπόστρωμα για την ανάπτυξη ποικιλίας, γεγονός που μπορεί να ενισχύσει τη λειτουργικότητα των κοινοτήτων αυτών ως βιολογικοί παράγοντες καταπολέμησης εντόμων (Jaronski, 2010).

Αντίθετα, οι αρνητικές συσχετίσεις με τον φώσφορο (P) και το κάλιο (K) ενδέχεται να αντανakλούν αλληλεπιδράσεις που περιορίζουν την ποικιλομορφία, πιθανώς μέσω μεταβολών στη μικροβιακή ισορροπία ή αυξημένου ανταγωνισμού εντός της κοινότητας (Fernandes & Bittencourt, 2008).

Το pH και το σύνολο των αργιλικών ορυκτών αναδεικνύονται ως βασικοί ρυθμιστές της μικροβιακής ποικιλομορφίας. Η χημική διαχείριση του εδάφους πρέπει να λαμβάνει υπόψη τις επιπτώσεις στην κοινότητα των μυκήτων. Η ενίσχυση των κατάλληλων εδαφικών συνθηκών, όπως η σταθεροποίηση του pH και η αύξηση της αργιλικής περιεκτικότητας, μπορεί να συμβάλει στην αποτελεσματική και βιώσιμη ενσωμάτωση των μυκήτων σε στρατηγικές αγρό-οικολογικής διαχείρισης.

Συνολικά, τα αποτελέσματα υποδεικνύουν ότι η βιοποικιλότητα της κοινότητας των EPF διαμορφώνεται κυρίως από εδαφικούς και ορυκτολογικούς παράγοντες, με το pH και την περιεκτικότητα σε άργιλο να διαδραματίζουν καθοριστικό ρόλο στη διατήρηση της ποικιλομορφίας και της οικολογικής ανθεκτικότητας (Meyling & Eilenberg, 2007). Η σταθερότητα της κοινότητας σε εποχιακό επίπεδο, σε συνδυασμό με τη διακύμανση σε ετήσια βάση, αναδεικνύει τη σημασία της μακροπρόθεσμης περιβαλλοντικής διαχείρισης για τη διατήρηση της λειτουργικότητας και της βιολογικής ρύθμισης των εντόμων-στόχων μέσω των EPF.

3.4 Εντομοπαθογόνο Δράση EPF στις Προνύμφες του λεπιδοπτέρου *Thaumetopoea pityocampa*

Στο τέλος του πειράματος, το ποσοστό θνησιμότητας στον μάρτυρα (H₂O + Tergitol NP-9 0,05%) καταγράφηκε στο 3,3%. Αντίθετα, τα επίπεδα θνησιμότητας των προνυμφών που εκτέθηκαν σε *Beauveria varroae* διέφεραν σημαντικά ανάλογα με τη συγκέντρωση των κονιδίων που εφαρμόστηκε (Πίνακας 39). Συγκεκριμένα, μετά από 144 ώρες από την εφαρμογή, η θνησιμότητα κυμάνθηκε από 60% έως 91%.

Πίνακας 39. Μέση θνησιμότητα ($\pm$ SD) προνυμφών του *T. pityocampa* μετά την εφαρμογή *B. varroae* ανά συγκέντρωση και χρόνο έκθεσης. Δεν υπάρχει σημαντική διαφορά μεταξύ των μέσων τιμών της ίδιας στήλης που ακολουθείται από το ίδιο γράμμα (Tukey's test, $\alpha = 0,05$). ΩΜτΘ: Ώρες μετά τη θεραπεία.

Μεταχείριση	Συγκέντρωση	Διάρκεια έκθεσης		
		48 ώρες ΩΜτΘ	96 ώρες ΩΜτΘ	144 ώρες ΩΜτΘ
<i>B. varroae</i>	10^3	20.0 $\pm$ 0.0 d	47.0 $\pm$ 1.8 d	60.0 $\pm$ 5.8 c
	10^4	36.3 $\pm$ 3.1 c	53.0 $\pm$ 3.8 c	63.0 $\pm$ 5.8 c
	10^5	43.3 $\pm$ 1.8 b	60.0 $\pm$ 5.3 b	67.0 $\pm$ 5.8 c
	10^6	46.4 $\pm$ 5.8 b	63.0 $\pm$ 6.2 b	80.0 $\pm$ 1.3 b
	10^7	50.0 $\pm$ 2.2 a	73.0 $\pm$ 1.5 a	89.0 $\pm$ 1.5 a
	10^8	53.0 $\pm$ 1.3 a	83.0 $\pm$ 5.3 a	91.0 $\pm$ 5.8 a
Μάρτυρας	H2O + Tergitol NP-9	0.0 $\pm$ 0.0 e	3.7 $\pm$ 4.3 e	4.7 $\pm$ 1.3 d

Η στατιστική ανάλυση κατέδειξε σημαντικά κύρια αποτελέσματα και αλληλεπιδράσεις για όλους τους παράγοντες που εξετάστηκαν (Συγκέντρωση: $F = 1,107$, $df = 6686$, $p < 0,001$ · Χρόνος Έκθεσης: $F = 3,031$, $df = 2437$, $p < 0,001$ · Συγκέντρωση $\times$ Χρόνος Έκθεσης: $F = 0,716$, $df = 151,127$, $p < 0,001$).

Παρομοίως, το είδος *Purpureocillium lavendulum* προκάλεσε επίπεδα θνησιμότητας των προνυμφών που κυμάνθηκαν από 60% έως 91% μετά από 144 ώρες, με τα κύρια αποτελέσματα και οι αλληλεπιδράσεις όλων των παραγόντων να είναι στατιστικά σημαντικά (Πίνακας 40: Συγκέντρωση: $F = 1,194$, $df = 6686$, $p < 0,001$ · Χρόνος Έκθεσης: $F = 3,017$, $df = 2437$, $p < 0,001$ · Συγκέντρωση $\times$ Χρόνος Έκθεσης: $F = 1,506$, $df = 151,127$, $p < 0,001$).

Πίνακας 40. Μέση θνησιμότητα ($\pm$ SD) προνυμφών του *T. pityocampa* μετά την εφαρμογή *P. lavendulum* ανά συγκέντρωση και χρόνο έκθεσης. Δεν υπάρχει σημαντική διαφορά μεταξύ των μέσων τιμών της ίδιας στήλης που ακολουθείται από το ίδιο γράμμα (Tukey's test, $\alpha = 0,05$). ΩΜτΘ: Ώρες μετά τη θεραπεία.

Μεταχείριση	Συγκέντρωση	Διάρκεια έκθεσης		
		48 ώρες ΩΜτΘ	96 ώρες ΩΜτΘ	144 ώρες ΩΜτΘ
<i>P. lavendulum</i>	10^3	20.0 $\pm$ 2.0 e	37.0 $\pm$ 3.8 c	43.0 $\pm$ 6.1 c
	10^4	36.0 $\pm$ 1.0 d	43.0 $\pm$ 4.8 c	53.0 $\pm$ 2.8 b
	10^5	40.0 $\pm$ 0.0 c	43.0 $\pm$ 1.3 c	57.0 $\pm$ 2.8 b
	10^6	43.4 $\pm$ 2.8 b	60.0 $\pm$ 1.0 b	60.0 $\pm$ 2.1 b
	10^7	50.0 $\pm$ 3.1 a	63.0 $\pm$ 3.5 b	73.0 $\pm$ 1.5 a
	10^8	53.0 $\pm$ 5.3 a	73.0 $\pm$ 5.3 a	77.0 $\pm$ 2.1 a
Μάρτυρας	H2O + Tergitol NP-9	0.0 $\pm$ 0.0 f	3.7 $\pm$ 4.3 d	4.7 $\pm$ 1.3 d

Το είδος *Cordyceps blackwelliae* παρουσίασε επίσης διακυμάνσεις στα επίπεδα θνησιμότητας των προνυμφών, με ποσοστά θνησιμότητας μετά από 144 ώρες να κυμαίνονται από 43% έως 77%. Όλοι οι κύριοι παράγοντες και οι αλληλεπιδράσεις τους βρέθηκαν σημαντικοί (Πίνακας 41), Συγκέντρωση: $F = 1,386$, $df = 6686$, $p < 0,001$. Χρόνος Έκθεσης: $F = 3,457$, $df = 2437$, $p < 0,001$. Συγκέντρωση $\times$ Χρόνος Έκθεσης: $F = 3,913$, $df = 151,127$, $p < 0,001$).

Πίνακας 41. Μέση θνησιμότητα ($\pm$ SD) προνυμφών του *T. pityocampa* μετά την εφαρμογή *C. blackwelliae* ανά συγκέντρωση και χρόνο έκθεσης. Δεν υπάρχει σημαντική διαφορά μεταξύ των μέσων τιμών της ίδιας στήλης που ακολουθείται από το ίδιο γράμμα (Tukey's test, $\alpha = 0,05$). ΩΜτΘ: Ώρες μετά τη θεραπεία.

Μεταχείριση	Συγκέντρωση	Διάρκεια έκθεσης		
		48 ώρες ΩΜτΘ	96 ώρες ΩΜτΘ	144 ώρες ΩΜτΘ
<i>C. Blackwelliae</i>	10^3	12.1 ± 1.9 e	13.3 ± 5.8 e	20.0 ± 0.0 d
	10^4	20.0 ± 0.0 d	33.0 ± 3.8 d	43.0 ± 3.8 c
	10^5	36.0 ± 2.1 c	43.0 ± 1.3 c	47.0 ± 4.8 c
	10^6	43.4 ± 5.8 b	50.0 ± 0.0 b	60.0 ± 0.0 b
	10^7	50.0 ± 3.2 b	53.0 ± 6.2 b	67.0 ± 2.3 a
	10^8	63.0 ± 1.3 a	63.0 ± 3.3 a	71.0 ± 1.8 a
Μάρτυρας	H2O + Tergitol NP-9	0.0 ± 0.0 f	3.7 ± 4.3 f	4.7 ± 1.3 e

4. ΣΥΖΗΤΗΣΗ -ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ

4.1. Εισαγωγική Ανακεφαλαίωση

Η παρούσα διατριβή διερεύνησε τη δυναμική και την εφαρμογή των EPF ως μια καινοτόμο και φιλική προς το περιβάλλον προσέγγιση για την ενίσχυση της φυτικής παραγωγής και τη βιολογική διαχείριση των εντομολογικών παρασίτων. Οι EPF, ως φυσικοί ρυθμιστές πληθυσμών εντόμων, συνιστούν μια βιώσιμη εναλλακτική στα χημικά εντομοκτόνα, με πλεονεκτήματα όπως η υψηλή εξειδίκευση στους ξενιστές, η ελαχιστοποίηση των περιβαλλοντικών επιπτώσεων και η δυνατότητα ένταξης σε IPM (Sharma & Sharma, 2021; Bihal et al., 2023).

Η διατριβή εστίασε στην απομόνωση, μοριακή ανίχνευση, φυλογενετική ταυτοποίηση και αξιολόγηση της εντομοκτόνου δράσης των EPF σε δείγματα από περί-αστικά οικοσυστήματα. Επιπλέον, διερευνήθηκε η σύνδεση της παρουσίας των μυκήτων με εδαφολογικούς, ορυκτολογικούς και περιβαλλοντικούς παράγοντες. Στο πλαίσιο αυτό, αξιοποιήθηκε ένα ευρύ πλέγμα πειραματικών και αναλυτικών προσεγγίσεων, όπως η χρήση εντόμων-δολωμάτων, μοριακή ανάλυση (ITS), NGS-Illumina αλληλούχιση, φυλογενετική χαρτογράφηση, και στατιστικά μοντέλα πρόβλεψης.

Οι αρχικοί στόχοι της έρευνας ήταν (α) η απομόνωση και ταυτοποίηση των εγχώριων στελεχών EPF, (β) η μελέτη της γενετικής τους ποικιλομορφίας, (γ) η κατανόηση των περιβαλλοντικών παραγόντων που επηρεάζουν την παρουσία και αφθονία τους, και (δ) η αξιολόγηση της εντομοκτόνου δράσης τους έναντι επιβλαβών εντόμων. Οι υποθέσεις που τέθηκαν περιλάμβαναν την ύπαρξη σημαντικής ποικιλομορφίας και προσαρμοστικότητας των EPF, καθώς και τη δυνατότητα συσχέτισής τους με περιβαλλοντικά χαρακτηριστικά και την εντομοπαθogenεία (Qayyum et al., 2021).

Τα ερευνητικά ερωτήματα και τα πειραματικά πρωτόκολλα διαμορφώθηκαν υπό το πρίσμα των σύγχρονων εξελίξεων στη μοριακή βιολογία και στη βιοτεχνολογία των EPF, με έμφαση στη γεωργική εφαρμογή και την ενσωμάτωσή τους σε πρακτικές βιολογικής φυτοπροστασίας (Sharma et al., 2023; Vivekanandhan et al., 2024).

Η σημαντικότητα της παρούσας μελέτης εντοπίζεται τόσο στη διεύρυνση της γνώσης για την ενδημική μυκητιακή ποικιλομορφία της Ελλάδας, όσο και στην ανάδειξη νέων, οικολογικά ασφαλών στρατηγικών διαχείρισης παρασίτων, ενισχύοντας την επιστημονική βάση για την ανάπτυξη καινοτόμων βιοπαρασιτοκτόνων.

4.2 Κύρια Ερευνητικά Ευρήματα

Η παρούσα μελέτη ανέδειξε μια ευρεία ποικιλομορφία EPF μέσω της απομόνωσης και ταυτοποίησης στελεχών. Η χρήση εντόμων-δολωμάτων αποδείχθηκε ιδιαίτερα αποτελεσματική στην ανάκτηση EPF από περί-αστικούς χώρους πρασίνου, καταγράφοντας υψηλή συχνότητα απομονώσεων. Η περιγραφική στατιστική ανάλυση ανέδειξε σημαντικές χρονικές και εποχιακές διακυμάνσεις στην αφθονία των απομονώσεων, γεγονός που υποδηλώνει την επιρροή των μικρό-κλιματικών και εδαφολογικών παραμέτρων στην παρουσία των EPF (Zhao et al., 2023).

Μοριακή ταυτοποίηση μέσω αλληλούχισης της περιοχής ITS-5.8S rDNA και εφαρμογή φυλογενετικής ανάλυσης με τη μέθοδο Neighbor-Joining αποκάλυψαν σημαντική γενετική ποικιλομορφία μεταξύ των απομονωθέντων στελεχών. Συγκεκριμένα, ταυτοποιήθηκαν 177 στελέχη κατανεμημένα σε πολλαπλά γένη, με επικράτηση των γενών *Beauveria*, *Aspergillus*, *Talaromyces*, *Purpureocillium* και *Cordyceps*. Η φυλογενετική κατάταξη επιβεβαίωσε την ύπαρξη κρυπτικών ειδών, ενισχύοντας την ανάγκη χρήσης μοριακών εργαλείων για την ακριβή ταξινόμηση (Rehner & Buckley, 2005; Oliveira & Azevedo, 2022). Επιπλέον, η ανακάλυψη και απομόνωση μεγάλου αριθμού στελεχών που δεν έχουν αναφερθεί ως εντομοπαθογόνα, όπως *Talaromyces adpressus*, *Collariella hilkhuijsenii* και *Mortierella indohii*, προσφέρει νέα ερευνητικά πεδία για αξιοποίηση.

Η παρούσα μελέτη ανέδειξε τη σύνθεση και τη σχετική αφθονία των μυκητιακών γενών, αξιοποιώντας τεχνολογία NGS (Illumina). Τα αποτελέσματα κατέδειξαν ότι τα γένη *Penicillium*, *Alternaria*, *Cladosporium* και *Aspergillus* ήταν τα επικρατέστερα στο σύνολο των δειγμάτων, με το *Penicillium* να εμφανίζει τη μεγαλύτερη σχετική αφθονία (2,58%), ακολουθούμενο από τα *Alternaria* (2,11%), *Cladosporium* (1,89%) και *Aspergillus* (1,81%).

Η κατανομή των γενών παρουσίασε στατιστικά σημαντικές διακυμάνσεις μεταξύ εποχών και ετών, ενώ παρατηρήθηκαν διαφοροποιήσεις ανά γένος. Οι τιμές σχετικής αφθονίας αποκαλύπτουν την ποικιλομορφία και τη δυναμική της μυκητιακής κοινότητας του εδάφους των υπό μελέτη περιοχών.

Τα αποτελέσματα της ανάλυσης της παρουσίας των μυκητιακών γενών επιβεβαίωσαν ότι: το γένος *Penicillium* καταγράφει τη μεγαλύτερη συχνότητα παρουσίας, γεγονός που υποδηλώνει τον κυρίαρχο οικολογικό του ρόλο στα συγκεκριμένα εδάφη. Το γένος

Alternaria εμφανίζεται επίσης με υψηλή συχνότητα, γεγονός που συνδέεται πιθανώς με την παρουσία φυτικών υπολειμμάτων και την οικολογική του προσαρμοστικότητα. Η στατιστική ανάλυση ανέδειξε σημαντικές διαφοροποιήσεις ανά γένος ($p < 0,05$), επιβεβαιώνοντας την πολυμορφία της μυκητιακής χλωρίδας.

Επίσης, η οικολογική ανάλυση ανέδειξε σαφείς συσχετισμούς μεταξύ της παρουσίας γενών των μυκήτων (NGS Illumina) και παραμέτρων του μικρό-κλίματος και του εδάφους, όπως η οργανική ύλη, η ικανότητα ανταλλαγής κατιόντων (CEC) και η αγωγιμότητα (EC). Μοντέλα πρόβλεψης, Random Forest Analysis και CCA επιβεβαίωσαν τη σημαντικότητα περιβαλλοντικών, εδαφολογικών και ορυκτολογικών μεταβλητών στην εμφάνιση και αφθονία των μυκήτων (Fătu et al., 2020). Ειδικά οι δείκτες Shannon και Simpson αποκάλυψαν υψηλή ποικιλομορφία στις περί-αστικές περιοχές πρασίνου.

Στην αξιολόγηση της εντομοπαθογένειας, τα επιλεγμένα στελέχη, αναφερθέντων ειδών για πρώτη φορά στην Ελλάδα, *B. varroae*, *P. lavendulum* και *C. blackwelliae* παρουσίασαν υψηλά ποσοστά θνησιμότητας στις προνύμφες του *Thaumetopoea pityocampa* υπό ελεγχόμενες συνθήκες. Οι βιοδοκιμές ανέδειξαν σαφή σχέση μεταξύ της συγκέντρωσης του σκευάσματος και του χρόνου έκθεσης με την καταγραφόμενη θνησιμότητα, επιβεβαιώνοντας την υψηλή εντομοκτόνο δράση των συγκεκριμένων στελεχών (Lagogiannis et al., 2023).

Τέλος, η βιοποικιλότητα των EPF χαρακτηρίστηκε από χρονική ετερογένεια. Οι δείκτες βιοποικιλότητας (Shannon, Simpson, Evenness) κατέδειξαν ότι οι περιοχές με φυσική βλάστηση και υψηλή εδαφική οργανική ουσία φιλοξενούν ποικιλόμορφες κοινότητες μυκήτων (Liu et al., 2023). Οι εποχιακές διακυμάνσεις ήταν επίσης έντονες, με αυξημένη παρουσία μυκήτων την άνοιξη και το φθινόπωρο (Vega, 2018).

Η συνολική ανάλυση των αποτελεσμάτων επιβεβαιώνει ότι οι EPF αποτελούν μια εξαιρετικά δυναμική και προσαρμοστική βιολογική ομάδα με υψηλό δυναμικό αξιοποίησης στη γεωργία. Η σύνδεσή τους με οικολογικούς παράγοντες και η ισχυρή παθογόνος δράση σε συγκεκριμένους εντομολογικούς στόχους υπογραμμίζουν τη σημασία τους ως βιώσιμα εργαλεία φυτοπροστασίας.

4.3 Επιστημονικές και Πρακτικές Συνεισφορές

Η παρούσα διατριβή προσφέρει σημαντικές επιστημονικές καινοτομίες και πρακτικές συνεισφορές στον τομέα της εφαρμοσμένης εντομοπαθολογίας των μικροοργανισμών. Αρχικά, η πολυεπίπεδη προσέγγιση που ακολουθήθηκε συνδυάζοντας απομόνωση, μοριακή ταυτοποίηση, φυλογενετική ανάλυση, περιβαλλοντική και εδαφολογική συσχέτιση καθώς και αξιολόγηση εντομοπαθογένειας, αποτέλεσε μια πρωτότυπη ερευνητική σύνθεση για τα δεδομένα της Μεσογείου και ειδικά για την Ελλάδα, όπου ελάχιστες μελέτες έχουν εστιάσει με τέτοιο βάθος στους εγχώριους EPF.

Η χρήση NGS Illumina αλληλούχισης για τη διερεύνηση της μικροβιακής ποικιλομορφίας του εδάφους, σε συνδυασμό με τη στατιστική ενσωμάτωση περιβαλλοντικών μεταβλητών μέσω μοντέλων μηχανικής μάθησης (Random Forest Analysis, CCA), αποτελεί ένα βήμα για την οικολογική χαρτογράφηση της παρουσίας των EPF (Daria et al., 2023).

Η καταγραφή και στατιστική ανάλυση της παρουσίας των μυκητιακών γενών συμβάλλει ουσιαστικά στην κατανόηση της οικολογίας των μυκήτων του εδάφους. Τα αποτελέσματα είναι χρήσιμα για τον σχεδιασμό στρατηγικών βιολογικού ελέγχου μέσω EPF) καθώς η παρουσία ή απουσία ανταγωνιστικών γενών μπορεί να επηρεάσει την αποτελεσματικότητα των εφαρμογών.

Σε πρακτικό επίπεδο, η μελέτη αναδεικνύει τη δυνατότητα των EPF να λειτουργήσουν όχι μόνο ως παράγοντες άμεσης παθογένειας έναντι εντόμων, αλλά και ως πολυλειτουργικά στοιχεία της γεωργικής βιοτεχνολογίας. Οι EPF επιδεικνύουν ενδοφυτικές ικανότητες, διεγείρουν μηχανισμούς επαγόμενης συστηματικής αντίστασης στα φυτά (ISR) και συμβάλλουν στη βελτίωση της εδαφικής γονιμότητας, υποστηρίζοντας έτσι τη φυτική υγεία σε πολλαπλά επίπεδα (Singh et al., 2021; Aravinthraju et al., 2024).

Πέραν όμως της επιστημονικής συμβολής, η εργασία αυτή ανέδειξε και πρακτικές συνεισφορές με άμεσο ενδιαφέρον για τον γεωργικό και δασικό τομέα:

1. Επιλογή τοπικά προσαρμοσμένων στελεχών

Η απομόνωση και αξιολόγηση ελληνικών στελεχών έδειξε ότι υπάρχουν φυσικοί πληθυσμοί EPF ανθεκτικοί στις μεσογειακές συνθήκες. Αυτό σημαίνει ότι οι

καλλιεργητές μπορούν να αξιοποιήσουν σκευάσματα μεγαλύτερης σταθερότητας και αποτελεσματικότητας, περιορίζοντας την ανάγκη για επαναλαμβανόμενες εφαρμογές.

2. Κατευθύνσεις για διαχείριση εδάφους

Η σαφής συσχέτιση της παρουσίας EPF με οργανική ουσία και φυσικοχημικές παραμέτρους του εδάφους καταδεικνύει ότι πρακτικές όπως η ενσωμάτωση οργανικής ύλης, η χρήση καλλιεργειών κάλυψης και η περιορισμένη κατεργασία εδάφους μπορούν να ενισχύσουν τους φυσικούς πληθυσμούς EPF, ενδυναμώνοντας τη βιολογική αυτορρύθμιση των εντόμων-στόχων.

3. Προσδιορισμός κατάλληλων χρονικών παραθύρων εφαρμογής

Τα δεδομένα εποχικής κατανομής έδειξαν ότι οι EPF είναι πιο δραστήριοι σε συγκεκριμένες περιόδους του έτους, όπως η άνοιξη και το φθινόπωρο. Αυτό προσφέρει πολύτιμη καθοδήγηση στον παραγωγό, ώστε να προγραμματίζει στοχευμένες εφαρμογές σε χρονικές στιγμές με τη μεγαλύτερη πιθανότητα επιτυχίας.

4. Στοχευμένη αντιμετώπιση σημαντικών εχθρών

Οι βιοδοκιμές ανέδειξαν την παθογένεια εγχώριων απομονώσεων έναντι επιβλαβών εντόμων όπως η *T. pityocampa* και η *H. halys*. Η γνώση αυτή μπορεί να αξιοποιηθεί σε γεωργικές και δασοκομικές πρακτικές για τη μείωση της εξάρτησης από χημικά φυτοφάρμακα, αλλά και στη διαχείριση χώρων πρασίνου.

5. Συμβολή στη βιώσιμη φυτοπροστασία και στη μείωση κόστους

Η ενσωμάτωση των EPF σε IPM προσφέρει στους παραγωγούς μια λύση χαμηλού κόστους και φιλική προς το περιβάλλον. Η μείωση χρήσης χημικών σκευασμάτων όχι μόνο μειώνει τις εισροές αλλά και αυξάνει την προστιθέμενη αξία των προϊόντων, ειδικά σε βιολογικά συστήματα παραγωγής.

6. Προοπτικές για τη γεωργία ακριβείας

Η χαρτογράφηση της παρουσίας EPF και η συσχέτισή τους με μικροκλιματικούς δείκτες ανοίγει τον δρόμο για εφαρμογές γεωργίας ακριβείας. Μελλοντικά, αυτό μπορεί να επιτρέψει την ανάπτυξη εργαλείων υποστήριξης αποφάσεων, καθοδηγώντας τους καλλιεργητές στο πού και πότε να εφαρμόσουν τα σκευάσματα με τον πιο αποδοτικό τρόπο.

Τέλος, η διεπιστημονική προσέγγιση της διατριβής ενοποιεί βιολογικές, μοριακές, στατιστικές και οικολογικές μεθοδολογίες, προτείνοντας ένα νέο πρότυπο μελέτης των EPF που μπορεί να αξιοποιηθεί τόσο για ακαδημαϊκούς όσο και για βιομηχανικούς σκοπούς. Η σύνδεση της παρουσίας των EPF με συγκεκριμένα περιβαλλοντικά και εδαφικά χαρακτηριστικά ανοίγει το δρόμο για στοχευμένη εφαρμογή και σχεδιασμό στρατηγικών βιολογικής καταπολέμησης, ιδιαίτερα μέσω εργαλείων γεωργίας ακριβείας και GIS (Yadav et al., 2025).

4.4 Περιορισμοί της Μελέτης

Παρά τη σφαιρική προσέγγιση και την πειραματική τεκμηρίωση της παρούσας διατριβής, ορισμένοι μεθοδολογικοί και πειραματικοί περιορισμοί είναι απαραίτητο να επισημανθούν, καθώς ενδέχεται να επηρέασαν τη γενίκευση ή την ακρίβεια ορισμένων ευρημάτων.

Ένας βασικός περιορισμός αφορά την αποκλειστική χρήση της τεχνικής εντόμων-δολωμάτων για την απομόνωση των EPF. Αν και η τεχνική αυτή είναι αποδεδειγμένα αποτελεσματική για την ανάκτηση EPF, ενδέχεται να ευνοεί την απομόνωση στελεχών με μεγαλύτερη επιθετικότητα και υψηλότερη ικανότητα προσβολής του συγκεκριμένου εντόμου-ξενιστή, υποεκτιμώντας έτσι την παρουσία λιγότερο παθογόνων ή ειδικευμένων στελεχών στο περιβάλλον (Meyling & Eilenberg, 2006).

Επιπλέον, η μοριακή ταυτοποίηση στηρίχθηκε στην ανάλυση του γονιδιακού δείκτη ITS, ο οποίος αν και ευρέως χρησιμοποιούμενος, παρουσιάζει περιορισμένη διακριτική ικανότητα σε ορισμένα γένη μυκήτων, οδηγώντας σε πιθανές ασάφειες ως προς την ακριβή ταξινόμηση κρυπτικών ειδών (Nilsson et al., 2008). Παράλληλα, ορισμένα στελέχη μπορεί να μην καλλιεργήθηκαν πλήρως ή να παρέμειναν αδρανή στις συνθήκες καλλιέργειας που χρησιμοποιήθηκαν, γεγονός που ενδεχομένως να περιόρισε την πραγματική εκτίμηση της ποικιλομορφίας των EPF στο εδαφικό οικοσύστημα (Inglis et al., 2001).

Σε επίπεδο πειραματικών προσεγγίσεων, οι βιοδοκιμές εντομοπαθογένειας διεξήχθησαν υπό ελεγχόμενες εργαστηριακές συνθήκες, οι οποίες δεν προσομοιώνουν πλήρως τις πολυπαραγοντικές αλληλεπιδράσεις που λαμβάνουν χώρα στο πεδίο. Παράγοντες όπως η υγρασία, η θερμοκρασία, η UV ακτινοβολία και οι βιοτικές αλληλεπιδράσεις

ενδέχεται να μεταβάλλουν την αποτελεσματικότητα των EPF σε φυσικές συνθήκες (Márquez-Gutiérrez et al., 2022).

Ερμηνευτικά, η στατιστική συσχέτιση μεταξύ της παρουσίας μυκήτων και εδαφολογικών ή περιβαλλοντικών παραμέτρων βασίστηκε σε δεδομένα συγκεκριμένων χρονικών περιόδων και γεωγραφικών περιοχών. Έτσι, δεν μπορεί να αποκλειστεί η επίδραση μεταβλητών που δεν συμπεριλήφθηκαν στην ανάλυση (π.χ. μικροβιακές αλληλεπιδράσεις ή αγρονομικές πρακτικές), οι οποίες ενδέχεται να λειτουργούν ως παράγοντες σύγχυσης (Qayyum et al., 2021).

Τέλος, η ερμηνεία των αποτελεσμάτων εντομοπαθογένειας περιορίζεται από την επιλογή ενός μόνο εντομολογικού στόχου (*Thaumetopoea pityocampa*), γεγονός που περιορίζει την εξαγωγή συμπερασμάτων για την ευρύτερη φάσμα δράσης των στελεχών EPF. Η μελλοντική αξιολόγηση έναντι ποικίλων εντόμων στόχων θα ενισχύσει τη συνολική κατανόηση της αποτελεσματικότητάς τους.

Η αναγνώριση των παραπάνω περιορισμών αποτελεί προϋπόθεση για τον ορθό σχεδιασμό μελλοντικών πειραμάτων και την πιο ακριβή αξιολόγηση του βιοτεχνολογικού δυναμικού των EPF.

4.5 Προτάσεις για Μελλοντική Έρευνα

Τα ευρήματα της παρούσας μελέτης αναδεικνύουν πληθώρα ερευνητικών διαδρομών που αξίζει να διερευνηθούν περαιτέρω, ενισχύοντας τόσο τη θεμελιώδη κατανόηση των EPF όσο και την εφαρμοσμένη αξιοποίησή τους στη γεωργική πρακτική.

Πρωτίστως, αναδύεται η ανάγκη για εις βάθος μελέτη της λειτουργικής διαφοροποίησης των απομονωθέντων στελεχών, με έμφαση στην παραγωγή δευτερογενών μεταβολιτών, την ενδοφυτική συμπεριφορά και τη γονιδιακή ρύθμιση παθογενετικών μηχανισμών. Η εφαρμογή μεταγονιδιωματικών εργαλείων, όπως η μεταγραφωματική και η μεταβολωμική, θα μπορούσε να αποκαλύψει σημαντικούς βιοχημικούς δρόμους που σχετίζονται με την εντομοπαθογένεια και τη συμβιωτική συμπεριφορά των EPF (Yang et al., 2023; Reingold et al., 2024).

Η ενδοφυτική δυναμική των EPF (EPPF) παραμένει ένα ανεπαρκώς διερευνημένο πεδίο, με σημαντικές εφαρμογές στη φυτική υγεία και την ενίσχυση της ανθεκτικότητας των καλλιεργειών σε βιοτικούς και αβιοτικούς στρεσογόνους παράγοντες. Μελλοντικές

μελέτες θα μπορούσαν να επικεντρωθούν στην απομόνωση και ταυτοποίηση EEPF και στη διερεύνηση των μηχανισμών με τους οποίους προάγουν την ανάπτυξη και την αντίσταση των φυτών (Quesada-Moraga, 2020; Mantzoukas & Eliopoulos, 2020).

Ιδιαίτερο ενδιαφέρον παρουσιάζει η διερεύνηση συνεργιστικών δράσεων μεταξύ EPF και άλλων βιολογικών παραγόντων ελέγχου, όπως οι EPNs, τα ωφέλιμα έντομα ή οι ωφέλιμες ριζοβακτηριακές κοινότητες. Οι συνέργειες αυτές μπορούν να ενισχύσουν τη συνολική αποτελεσματικότητα των στρατηγικών ολοκληρωμένης διαχείρισης παρασίτων (IPM), όπως έχει ήδη τεκμηριωθεί σε επιλεγμένα αγρό-οικοσυστήματα (Mathulwe et al., 2023; Spescha et al., 2023).

Επιπλέον, η γεωχωρική χαρτογράφηση της παρουσίας των EPF σε μεγαλύτερη κλίμακα, με ενσωμάτωση δεδομένων GIS και τηλεπισκόπησης, δύναται να οδηγήσει σε στοχευμένες εφαρμογές σκευασμάτων σε συνθήκες πεδίου. Τέτοιες εφαρμογές μπορούν να υποστηριχθούν από τεχνολογίες γεωργίας ακριβείας, ενισχύοντας τη βιωσιμότητα και την αποτελεσματικότητα των βιοπαρασιτοκτόνων (Bueno-Pallero et al., 2020).

Τέλος, η ανάπτυξη πολυσύνθετων βιοπαρασιτοκτόνων νέας γενιάς που συνδυάζουν EPF με ενισχυτικά νανοφορείς ή άλλες χημικές ενώσεις με στοχευμένη δράση, θα μπορούσε να αποτελέσει αντικείμενο διεπιστημονικής έρευνας μεταξύ βιοτεχνολογίας, νανοτεχνολογίας και φυτοπροστασίας (de Oliveira et al., 2023).

Η ενίσχυση της συνεργασίας μεταξύ ακαδημαϊκών φορέων, βιομηχανίας και γεωργικών οργανισμών θα συμβάλλει στη μεταφορά της ερευνητικής γνώσης σε καινοτόμες εφαρμογές, προάγοντας ένα πρότυπο γεωργίας που είναι τόσο παραγωγικό όσο και περιβαλλοντικά φιλικό.

4.6 Συμπέρασμα

Η παρούσα διατριβή παρείχε νέα και πρωτότυπα δεδομένα για EPF στον ελληνικό χώρο, εμπλουτίζοντας τη μέχρι σήμερα περιορισμένη γνώση γύρω από τη βιοποικιλότητά τους, την οικολογική τους δυναμική και τη δυνατότητα αξιοποίησής τους σε στρατηγικές φυτοπροστασίας.

Τα κυριότερα νέα ευρήματα που προέκυψαν από τη μελέτη συνοψίζονται ως εξής:

- Τεκμηριώθηκε για πρώτη φορά με συστηματικό τρόπο η παρουσία και η ποικιλομορφία των EPF σε περιστατικά οικοσυστήματα, τα οποία αναδείχθηκαν

ως εν δυνάμει καταφύγια και εστίες διατήρησης της βιοποικιλότητας των μυκήτων αυτών.

- Η απομόνωση και μοριακή ταυτοποίηση εγχώριων στελεχών επιβεβαίωσε την παρουσία ειδών όπως *Beauveria bassiana* και *Metarhizium anisopliae*, ενώ η αναγνώριση νέων ειδών, όπως *Purpureocillium lavendulum* και *Cordyceps blackwelliae*, θέτει τις βάσεις για την ανάπτυξη τοπικά προσαρμοσμένων βιοπαρασιτοκτόνων.
- Διαπιστώθηκε συσχέτιση της παρουσίας των EPF με φυσικοχημικές παραμέτρους του εδάφους (π.χ. pH, οργανική ουσία, αγωγιμότητα), γεγονός που υποδεικνύει ότι η διαχείριση του εδάφους μπορεί να επηρεάσει θετικά ή αρνητικά τη διατήρηση των πληθυσμών τους.
- Οι πειραματικές βιοδοκιμές ανέδειξαν υψηλή εντομοπαθογόνο δράση συγκεκριμένων απομονώσεων σε σημαντικούς εχθρούς, όπως η *T. pityocampa*, καταδεικνύοντας τη χρησιμότητα των τοπικών στελεχών στη δασοπονία και στη γεωργική πράξη.

Σε ένα ευρύτερο πλαίσιο, η διατριβή προσέφερε μια σφαιρική και καινοτόμο διερεύνηση του βιοτεχνολογικού δυναμικού των EPF ως εργαλείο βιολογικής και ολοκληρωμένης φυτοπροστασίας. Μέσω της απομόνωσης, μοριακής ταυτοποίησης, φυλογενετικής ανάλυσης και αξιολόγησης εντομοπαθογένειας, αναδείχθηκε η μεγάλη οικολογική ποικιλομορφία και η λειτουργική προσαρμοστικότητα των EPF σε ελληνικά οικοσυστήματα.

Η συμβολή της παρούσας μελέτης έγκειται στην ενσωμάτωση διεπιστημονικών μεθοδολογιών για τη χαρτογράφηση της βιοποικιλότητας και της δράσης των EPF, με στόχο την αξιοποίησή τους όχι μόνο ως βιολογικούς ελεγκτές παρασίτων, αλλά και ως ενδοφυτικούς οργανισμούς με ευρύτερες εφαρμογές στη βελτίωση της φυτικής υγείας (Quesada-Moraga et al., 2020; Mantzoukas & Eliopoulos, 2020).

Επιπλέον, η διατριβή ανέδειξε τη σημασία της παρακολούθησης της εποχικής και ετήσιας διαφοροποίησης των μικροβιακών κοινοτήτων. Η παρουσία γενών όπως *Penicillium*, *Alternaria*, *Cladosporium* και *Aspergillus* σε χώρους πρασίνου καταδεικνύει ότι οι EPF αλληλεπιδρούν στενά με το έδαφος και το μικροβίωμα, στοιχείο με άμεση σημασία για μελλοντικές εφαρμογές βιολογικού ελέγχου.

Συνολικά, τα ευρήματα της παρούσας μελέτης επιβεβαιώνουν τη δυναμική των EPF ως βασικών συνιστωσών ενός ανθεκτικού και φιλικού προς το περιβάλλον γεωργικού μοντέλου. Η δυνατότητα ένταξής τους σε ολοκληρωμένα προγράμματα διαχείρισης παρασίτων (IPM), σε συνδυασμό με την ενδοφυτική τους δράση και την αλληλεπίδρασή τους με το εδαφικό μικροβίωμα, ενισχύει τη συμβολή τους στη διατήρηση της οικολογικής ισορροπίας και στην αύξηση της παραγωγικότητας των καλλιεργειών (Dara, 2019; Dubovskiy & Butt, 2023).

Σε μια εποχή αυξανόμενων περιβαλλοντικών προκλήσεων και μετασχηματισμού της αγροδιατροφικής παραγωγής, η αξιοποίηση των EPF προσφέρει μια βιώσιμη και καινοτόμο λύση. Η έρευνα και η τεχνολογική αξιοποίησή τους αποτελούν στρατηγικό άξονα για την πράσινη γεωργία και τη διασφάλιση της περιβαλλοντικής βιωσιμότητας στο γεωργικό τοπίο του μέλλοντος (Sharma et al., 2023).

5. ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

- Abd El Azim, A. M., Khashaba, E. H., & El Kady, G. A. (2024). Effectiveness study of the dual application of new Indigenous entomopathogenic nematode isolate *Heterorhabditis tyasearae* and entomopathogenic fungi *Beauveria bassiana* against armyworm (*Spodoptera frugiperda*). *Egyptian Journal of Biological Pest Control*, 34(1), 41.
- Adamo, I., Castano, C., Bonet, J. A., Colinas, C., de Aragon, J. M., & Alday, J. G. (2021). Soil physico-chemical properties have a greater effect on soil fungi than host species in Mediterranean pure and mixed pine forests. *Soil Biology and Biochemistry*, 160, 108320.
- AgroEco, (2021). Μεθοδολογία Αναλύσεων Εδαφών για εργαστηριακή χρήση, V3.0.
- Altschul, S. F., Gish, W., Miller, W., Myers, E. W., & Lipman, D. J. (1990). Basic local alignment search tool. *Journal of molecular biology*, 215(3), 403-410.
- Anderson, M. J. (2008). PERMANOVA+ for PRIMER: guide to software and statistical methods. *PRIMER-E, Plymouth Marine Laboratory*, 214.
- Ansari, M. A., Shah, F. A., & Butt, T. M. (2008). Combined use of entomopathogenic nematodes and *Metarhizium anisopliae* as a new approach for black vine weevil, *Otiorhynchus sulcatus*, control. *Entomologia experimentalis et applicata*, 129(3), 340-347.
- Aravinthraju, K., Shanthi, M., Murugan, M., Srinivasan, R., Maxwell, L. A., Manikanda Boopathi, N., & Anandham, R. (2024). Endophytic Entomopathogenic Fungi: Their Role in Enhancing Plant Resistance, Managing Insect Pests, and Synergy with Management Routines. *Journal of Fungi*, 10(12), 865.
- Bamisile, B. S., Dash, C. K., Akutse, K. S., Keppanan, R., & Wang, L. (2018). Fungal endophytes: beyond herbivore management. *Frontiers in microbiology*, 9, 544.
- Bebber, D. P., & Gurr, S. J. (2015). Crop-destroying fungal and oomycete pathogens challenge food security. *Fungal Genetics and Biology*, 74, 62-64.
- Bensch, K., Braun, U., Groenewald, J. Z., & Crous, P. W. (2012). The genus *cladosporium*. *Studies in mycology*, 72, 1-401.
- Berardi, L., Branco, M., Paiva, M. R., Santos, H., & Battisti, A. (2015). Development time plasticity of the pine processionary moth (*Thaumetopoea pityocampa*) populations under laboratory conditions. *Entomologia*, 3(1).
- Bihal, R., Al-Khayri, J.M., Banu, A.N., Kudesia, N., Ahmed, F.K., Sarkar, R., Arora, A., & Abd-Elsalam, K.A. (2023). Entomopathogenic Fungi: An Eco-Friendly Synthesis of Sustainable Nanoparticles and Their Nanopesticide Properties. *Microorganisms*, 11.
- Behie, S. W., & Bidochka, M. J. (2014). Ubiquity of insect-derived nitrogen transfer to plants by endophytic insect-pathogenic fungi: an additional branch of the soil nitrogen cycle. *Applied and environmental microbiology*, 80(5), 1553-1560.

- Beris, E., Papachristos, D., Ponchon, M., Caca, D., Kontodimas, D., & Reineke, A. (2024). The effects of temperature on pathogenicity of entomopathogenic fungi for controlling larval populations of the European grapevine moth (*Lobesia botrana*)(Lepidoptera: Tortricidae). *Crop Protection*, 177, 106542.
- Bodenhausen, N., Hess, J., Valzano, A., Deslandes-Hérolde, G., Waelchli, J., Furrer, R., ... & Schlaeppli, K. (2023). Predicting soil fungal communities from chemical and physical properties. *Journal of Sustainable Agriculture and Environment*, 2(3), 225-237.
- Breiman, L. (2001). Random forests. *Machine learning*, 45, 5-32.
- Boulamtat, R., El Fakhouri, K., Jaber, H., Oubayoucef, A., Ramdani, C., Fikraoui, N., ... & El Bouhssini, M. (2025). Pathogenicity of entomopathogenic *Beauveria bassiana* strains on *Helicoverpa armigera* (Hübner). *Frontiers in Insect Science*, 5, 1552694.
- Bueno-Pallero, F. Á., Blanco-Pérez, R., Vicente-Díez, I., Rodríguez Martín, J. A., Dionísio, L., & Campos-Herrera, R. (2020). Patterns of occurrence and activity of entomopathogenic fungi in the Algarve (Portugal) using different isolation methods. *Insects*, 11(6), 352.
- Butt, T. M., Coates, C. J., Dubovskiy, I. M., & Ratcliffe, N. A. (2016). Entomopathogenic fungi: new insights into host–pathogen interactions. *Advances in genetics*, 94, 307-364.
- Caporaso, J. G., Bittinger, K., Bushman, F. D., DeSantis, T. Z., Andersen, G. L., & Knight, R. (2010). PyNAST: a flexible tool for aligning sequences to a template alignment. *Bioinformatics*, 26(2), 266-267.
- Caporaso, J. G., Kuczynski, J., Stombaugh, J., Bittinger, K., Bushman, F. D., Costello, E. K., ... & Knight, R. (2010). QIIME allows analysis of high-throughput community sequencing data. *Nature methods*, 7(5), 335-336.
- Chandler, D., Hay, D., & Reid, A. P. (1997). Sampling and occurrence of entomopathogenic fungi and nematodes in UK soils. *Applied soil ecology*, 5(2), 133-141.
- Chandran, S., Loganathachetti, D. S., Sadaippan, B., Swarup, S., & Mundra, S. (2025). Irrigation water and soil chemistry shape fungal guilds in date palm soils, enhancing pathotroph abundance under saline groundwater irrigation. *Current Research in Microbial Sciences*, 8, 100370.
- Clifton, E. H., Jaronski, S. T., Hodgson, E. W., & Gassmann, A. J. (2015). Abundance of soil-borne entomopathogenic fungi in organic and conventional fields in the Midwestern USA with an emphasis on the effect of herbicides and fungicides on fungal persistence. *PloS one*, 10(7), e0133613.
- Couceiro, J. D. C., Faretto, M. B., Demétrio, C. G. B., Meyling, N. V., & Delalibera Jr, Í. (2021). UV-B radiation tolerance and temperature-dependent activity within the entomopathogenic fungal genus *Metarhizium* in Brazil. *Frontiers in Fungal Biology*, 2, 645737.

- Dara, S. K. (2019). Non-entomopathogenic roles of entomopathogenic fungi in promoting plant health and growth. *Insects*, 10(9), 277.
- Deng, J., Xu, W., Lv, G., Yuan, H., Zhang, Q. H., Wickham, J. D., ... & Zhang, L. (2022). Associated bacteria of a pine sawyer beetle confer resistance to entomopathogenic fungi via fungal growth inhibition. *Environmental Microbiome*, 17(1), 47.
- Daria, C., Maciej, K., Polina, K., Adrianna, K., & Tymoteusz, M. (2023). Leveraging random forest techniques for enhanced microbiological analysis: a machine learning approach to investigating microbial communities and their interactions.
- de Oliveira, J. L., de Oliveira, T. N., Savassa, S. M., Della Vechia, J. F., de Matos, S. T. S., de Andrade, D. J., & Fraceto, L. F. (2023). Encapsulation of *Beauveria bassiana* in Polysaccharide-Based Microparticles: A Promising Carrier System for Biological Control Applications. *ACS Agricultural Science & Technology*, 3(9), 785-794.
- Dubovskiy, I.M., & Butt, T.M. (2023). Entomopathogenic Fungi in Biological Plant Protection: The Machinery of Multicomponent System Interactions. *Journal of Fungi*, 9.
- Dyczko, D., Plewa-Tutaj, K., & Kiewra, D. (2024). Entomopathogenic Fungi in Forest Habitats of *Ixodes ricinus*. *Insects*, 15(5), 341.
- Edgar, R. C., Haas, B. J., Clemente, J. C., Quince, C., & Knight, R. (2011). UCHIME improves sensitivity and speed of chimera detection. *Bioinformatics*, 27(16), 2194-2200.
- Elya, C., & De Fine Licht, H.H. (2021). The genus *Entomophthora*: bringing the insect destroyers into the twenty-first century. *IMA Fungus*, 12.
- Er, M. K., Tunaz, H., & Gökçe, A. (2007). Pathogenicity of entomopathogenic fungi to *Thaumetopoea pityocampa* (Schiff.)(Lepidoptera: Thaumetopoeidae) larvae in laboratory conditions. *Journal of pest science*, 80, 235-239.
- Fătu, A. C., Lumînare, C. M., Cojanu, D., & Dinu, M. M. (2020). Influence of environmental factors on entomopathogenic microorganisms with potential as biological control agents—minireview. *Romanian Journal for Plant Protection*, 13, 96-104.
- Fernandes, E. K. K., & Bittencourt, V. R. E. P. (2008). Entomopathogenic fungi against South American tick species. *Experimental and Applied Acarology*, 46(1), 71-93.
- Fernández-Bravo, M., Flores-León, A., Calero-López, S., Gutiérrez-Sánchez, F., Valverde-García, P., & Quesada-Moraga, E. (2017). UV-B radiation-related effects on conidial inactivation and virulence against *Ceratitis capitata* (Wiedemann)(Diptera; Tephritidae) of phylloplane and soil *Metarhizium* sp. strains. *Journal of Invertebrate Pathology*, 148, 142-151.
- Fernández-Bravo, M., Bonnet, J., Quesada-Moraga, E., & Garrido-Jurado, I. (2024). Imperfect match between radiation exposure times required for conidial viability loss

and infective capacity reduction attenuate UV-B impact on *Beauveria bassiana*. *Pest Management Science*, 80(3), 1557-1565.

Gryganskyi, A. P., Humber, R. A., Smith, M. E., Miadlikovska, J., Wu, S., Voigt, K., ... & Vilgalys, R. (2012). Molecular phylogeny of the Entomophthoromycota. *Molecular Phylogenetics and Evolution*, 65(2), 682-694.

Gryganskyi, A. P., Humber, R. A., Smith, M. E., Hodge, K., Huang, B., Voigt, K., & Vilgalys, R. (2013). Phylogenetic lineages in Entomophthoromycota. *Persoonia-Molecular Phylogeny and Evolution of Fungi*, 30(1), 94-105.

Hong, S., Gao, H., Chen, H., & Wang, C. (2024). Engineered fungus containing a caterpillar gene kills insects rapidly by disrupting their ecto-and endo-microbiomes. *Communications Biology*, 7(1), 955.

Humber, R.A. (2012). Entomophthoromycota: a new phylum and reclassification for entomophthoroid fungi. *Mycotaxon*, 120, 477-492.

Humber, R. A. (2012). Identification of entomopathogenic fungi. *Manual of techniques in invertebrate pathology*, 2, 151-187.

Hussaini, S. S. (2014). Potential of entomopathogenic nematodes in integrated pest management. In *Integrated pest management* (pp. 193-223). Academic Press.

IBM Corp. *IBM SPSS Statistics for Windows*; Version 27.0; IBM Corp: Armonk, NY, USA, (2020).

Inglis, G. D., Goettel, M. S., Butt, T. M., & Strasser, H. E. R. M. A. N. N. (2001). Use of hyphomycetous fungi for managing insect pests. In *Fungi as biocontrol agents: progress, problems and potential* (pp. 23-69). Wallingford UK: CABI publishing.

Janowski, D., & Leski, T. (2023). Landscape-scale mapping of soil fungal distribution: proposing a new NGS-based approach. *Scientific Reports*, 13(1), 10280.

Jaronski, S. T. (2007). Soil ecology of the entomopathogenic ascomycetes: a critical examination of what we (think) we know. *Use of entomopathogenic fungi in biological pest management*, 91-143.

Jaronski, S. T. (2010). Ecological factors in the inundative use of fungal entomopathogens. *BioControl*, 55(1), 159-185.

Jiang, Y., & Wang, J. (2023). The registration situation and use of mycopesticides in the world. *Journal of Fungi*, 9(9), 940.

Kaczmarek, A., & Boguś, M. I. (2021). Fungi of entomopathogenic potential in Chytridiomycota and Blastocladiomycota, and in fungal allies of the Oomycota and Microsporidia. *IMA fungus*, 12(1), 29.

Kassa, A., Zimmermann, G., Stephan, D., & Vidal, S. (2002). Susceptibility of *Sitophilus zeamais* (Motsch.)(Coleoptera: Curculionidae) and *Prostephanus truncatus* (Horn)(Coleoptera: Bostrichidae) to entomopathogenic fungi from Ethiopia. *Biocontrol Science and Technology*, 12(6), 727-736.

- Kavallieratos, N. G., Athanassiou, C. G., Aountala, M. M., & Kontodimas, D. C. (2014). Evaluation of the entomopathogenic fungi *Beauveria bassiana*, *Metarhizium anisopliae*, and *Isaria fumosorosea* for control of *Sitophilus oryzae*. *Journal of Food Protection*, 77(1), 87-93.
- Keyser, C. A., Thorup-Kristensen, K., & Meyling, N. V. (2014). *Metarhizium* seed treatment mediates fungal dispersal via roots and induces infections in insects. *Fungal Ecology*, 11, 122-131.
- Khun, K. K., Wilson, B. A., Stevens, M. M., Huwer, R. K., & Ash, G. J. (2020). Integration of entomopathogenic fungi into IPM programs: studies involving weevils (Coleoptera: Curculionoidea) affecting horticultural crops. *Insects*, 11(10), 659.
- Kissel, D. E., & Sonon, L. S. (2008). Cation exchange capacity and base saturation. University of Georgia Cooperative Extension.
<https://extension.uga.edu/publications/detail.html?number=C1040&title=cation-exchange-capacity-and-base-saturation>
- Kobmoo, N., Mongkolsamrit, S., Khonsanit, A., Cedeño-Sanchez, M., Arnamnart, N., Noisripoom, W., ... & Luangsa-Ard, J. J. (2024). Integrative taxonomy of *Metarhizium anisopliae* species complex, based on phylogenomics combined with morphometrics, metabolomics, and virulence data. *IMA fungus*, 15(1), 30.
- Kruskal, W. H., & Wallis, W. A. (1952). Use of ranks in one-criterion variance analysis. *Journal of the American statistical Association*, 47(260), 583-621.
- Kumar, S., Nikunj, C., Rathore, A., Nigam, R., Shivam, M, A., Nilesh, R., & Yuvarani, R. (2024). Role of Biocontrol Agents in Suppressing Plant Pathogen: A Compressive Analysis. *Journal of Scientific Research and Reports*.
- Kumar, D., Kumari, N., Mhatre, P. H., Pal, D., Naga, K. C., & Watpade, S. (2024). Characterization and pathogenicity of newly recorded *Clonostachys rogersoniana* against woolly apple aphid (*Eriosoma lanigerum* Hausmann) from India. *Egyptian Journal of Biological Pest Control*, 34(1), 57.
- Lacey, L. A., Grzywacz, D., Shapiro-Ilan, D. I., Frutos, R., Brownbridge, M., & Goettel, M. S. (2015). Insect pathogens as biological control agents: Back to the future. *Journal of invertebrate pathology*, 132, 1-41.
- Lagogiannis, I., Mantzoukas, S., Eliopoulos, P. A., & Poulas, K. (2023). First Record of *Beauveria varroae*, *Cordyceps blackwelliae*, and *Purpureocillium lavendulum* from Greece and Their Pathogenicity against *Thaumatococcus panyocampa*. *Diversity*, 15(3), 312.
- Lei, C. J., Halim, N. A., Asib, N., Zakaria, A., & Azmi, W. A. (2022). Conidial emulsion formulation and thermal storability of *Metarhizium anisopliae* against red palm weevil, *Rhynchophorus ferrugineus* Olivier (Coleoptera: Dryophthoridae). *Microorganisms*, 10(7), 1460.
- Lei, C. J., Ahmad, R. H. I. R., Halim, N. A., Asib, N., Zakaria, A., & Azmi, W. A. (2023). Bioefficacy of an oil-emulsion formulation of entomopathogenic fungus,

- Metarhizium anisopliae against adult Red Palm Weevil, Rhynchophorus ferrugineus. *Insects*, 14(5), 482.
- Litwin, A., Nowak, M., & Różalska, S. (2020). Entomopathogenic fungi: unconventional applications. *Reviews in Environmental Science and Bio/Technology*, 19(1), 23-42.
- Liu, S., Xiong, C., Lin, L., Keyhani, N. O., Zhu, M., Zhao, Z., ... & Qiu, J. (2023). Assessing the structure and diversity of fungal community in plant soil under different climatic and vegetation conditions. *Frontiers in Microbiology*, 14, 1288066.
- Lopes, R. B., Faria, M., & Oliveira, C. M. (2025). Susceptibility of Dalbulus maidis to insect-pathogenic fungi: unveiling the protective role of brochosomes and self-cleaning behavior. *Journal of Pest Science*, 98(2), 759-768.
- Lucero, J., Manzano, J., Loaiza, I., & Orellana, Y. (2024). Production of beauveria bassiana for the formulation of biopesticides. *La Granja*.
- Mantzoukas, S., Lagogiannis, I., Ntoukas, A., Eliopoulos, P. A., Kouretas, D., Karpouzas, D. G., & Poulas, K. (2020). Trapping entomopathogenic fungi from vine terroir soil samples with insect baits for controlling serious pests. *Applied Sciences*, 10(10), 3539.
- Mantzoukas, S., Daskalaki, E., Kitsiou, F., Papantzikos, V., Servis, D., Bitivanos, S., ... & Eliopoulos, P. A. (2022). Dual action of Beauveria bassiana (Hypocreales; Cordycipitaceae) endophytic stains as biocontrol agents against sucking pests and plant growth biostimulants on melon and strawberry field plants. *Microorganisms*, 10(11), 2306.
- Mantzoukas, S. D. (2008). Έρευνα για την ανεύρεση εντομοπαθογόνων μυκήτων στα εδάφη της Ελλάδος (Μεταπτυχιακή Διατριβή, Πανεπιστήμιο Ιωαννίνων). <https://olympias.lib.uoi.gr/jspui/bitstream/123456789/26121/1/%CE%9C.%CE%95%20%CE%9C.%CE%91%CE%9D%CE%A4%CE%96%CE%9F%CE%A5%CE%9A%CE%91%CE%A3%20%CE%A3.%CE%94.pdf>.
- Mantzoukas, S., Koutsogeorgiou, E. I., Lagogiannis, I., Gogolashvili, N., Fifis, G. T., Navrozidis, E. I., ... & Andreadis, S. S. (2024). Effect of entomopathogenic fungi to eggs and nymphs survival of Halyomorpha halys (Hemiptera: Pentatomidae) under laboratory conditions. *Current Microbiology*, 81(1), 48.
- Mantzoukas, S., & Eliopoulos, P. A. (2020). Endophytic entomopathogenic fungi: A valuable biological control tool against plant pests. *Applied Sciences*, 10(1), 360.
- Mantzoukas, S., Kitsiou, F., Natsiopoulou, D., & Eliopoulos, P. A. (2022). Entomopathogenic fungi: interactions and applications. *Encyclopedia*, 2(2), 646-656.
- Mantzoukas, S., Lagogiannis, I., Kitsiou, F., & Eliopoulos, P. A. (2023). Entomopathogenic action of wild fungal strains against stored product beetle pests. *Insects*, 14(1), 91.

- Mantzoukas, S., Lagogiannis, I., Mpekiri, M., Pettas, I., & Eliopoulos, P. A. (2019). Insecticidal action of several isolates of entomopathogenic fungi against the granary weevil *Sitophilus granarius*. *Agriculture*, 9(10), 222.
- Mantzoukas, S., Papantzikos, V., Katsogiannou, S., Papanikou, A., Koukidis, C., Servis, D., ... & Patakioutas, G. (2023). Biostimulant and bioinsecticidal effect of coating cotton seeds with endophytic *Beauveria bassiana* in semi-field conditions. *Microorganisms*, 11(8), 2050.
- Mantzoukas, S., Pettas, I., & Lagogiannis, I. (2020). Stored product pests as models for trapping entomopathogenic fungi from olive tree orchards in Western Greece. *Journal of Stored Products Research*, 87, 101584.
- Márquez-Gutiérrez, M. E., Pérez-Lezcano, E., Baro-Robaina, Y., Vázquez, F. P. G., Aguirre-Mancilla, C., & Santacruz, G. A. A. (2022). EFFECT OF TEMPERATURE AND ULTRAVIOLET RADIATION ON GROWTH AND PATHOGENICITY OF *Metarhizium anisopliae*. *Agrociencia*.
- Masella, A. P., Bartram, A. K., Truszkowski, J. M., Brown, D. G., & Neufeld, J. D. (2012). PANDAseq: paired-end assembler for illumina sequences. *BMC bioinformatics*, 13, 1-7.
- Mathulwe, L. L., Malan, A. P., & Stokwe, N. F. (2023). Combined effect of entomopathogenic nematode, *Heterorhabditis indica* with entomopathogenic fungi, *Metarhizium pinghaense* and *M. robertsii* against the obscure mealybug, *Pseudococcus viburni*. *International Journal of Pest Management*, 1-11.
- Mathulwe, L. L., Malan, A. P., & Stokwe, N. F. (2023). The occurrence of entomopathogenic fungi in apple orchards and their biocontrol potential against *Eriosoma lanigerum*. *African Entomology*, 31, 1-9.
- Meyling, N. V., & Eilenberg, J. (2006). Occurrence and distribution of soil borne entomopathogenic fungi within a single organic agroecosystem. *Agriculture, ecosystems & environment*, 113(1-4), 336-341.
- Meyling, N. V., & Eilenberg, J. (2007). Ecology of the entomopathogenic fungi *Beauveria bassiana* and *Metarhizium anisopliae* in temperate agroecosystems: potential for conservation biological control. *Biological control*, 43(2), 145-155.
- Meyling, N. V., & Hajek, A. E. (2010). Principles from community and metapopulation ecology: application to fungal entomopathogens. *BioControl*, 55(1), 39-54.
- Moldovan, A., Munteanu, N., & Toderas, I. (2022). Temperature effects on the entomopathogenic fungi *Beauveria bassiana* strain CNMN-FE-01: vegetative growth, sporulation, germination rate. *Current Trends in Natural Sciences*, 11(21), 332-338.
- Moore, D. M., & Reynolds, R. J. (1989). *X-ray Diffraction and the Identification and Analysis of Clay Minerals* (pp. 332-pp).
- Naranjo-Ortiz, M. A., & Gabaldón, T. (2019). Fungal evolution: diversity, taxonomy and phylogeny of the Fungi. *Biological Reviews*, 94(6), 2101-2137.

- Nilsson, R. H., Kristiansson, E., Ryberg, M., Hallenberg, N., & Larsson, K. H. (2008). Intraspecific ITS variability in the kingdom Fungi as expressed in the international sequence databases and its implications for molecular species identification. *Evolutionary bioinformatics*, 4, EBO-S653.
- Nordbring-Hertz, B., Jansson, H. B., & Tunlid, A. (2006). Nematophagous fungi. *Encyclopedia of life sciences*, 10.
- Oliveira, M., & Azevedo, L. (2022). Molecular markers: An overview of data published for fungi over the last ten years. *Journal of Fungi*, 8(8), 803.
- Pandey, D., Kehri, H. K., Zoomi, I., Chaturvedi, S., & Chaudhary, K. L. (2022). Seasonal effect on the diversity of soil fungi and screening for arsenic tolerance and their remediation. *Journal of Applied Biology & Biotechnology Vol*, 10(1), 40-46.
- Parsa, S., Ortiz, V., & Vega, F. E. (2013). Establishing fungal entomopathogens as endophytes: towards endophytic biological control. *Journal of visualized experiments: JoVE*, (74), 50360.
- Patel, T. K. (2023). Entomopathogenic Fungi: Nature's Secret Weapon Against Agricultural Pests. *Journal of Ravishankar University*, 36(2), 109-125.
- Pedrini, N. (2022). The entomopathogenic fungus *Beauveria bassiana* shows its toxic side within insects: expression of genes encoding secondary metabolites during pathogenesis. *Journal of Fungi*, 8(5), 488.
- Pedrini, N., Fernandes, É. K., & Dubovskiy, I. M. (2024). Multifaceted *Beauveria bassiana* and Other Insect-Related Fungi. *Journal of Fungi*, 10(2), 142.
- Porrás-Alfaro, A., & Bayman, P. (2011). Hidden fungi, emergent properties: endophytes and microbiomes. *Annual review of phytopathology*, 49(1), 291-315.
- Post, J. E., & Bish, D. L. (1989). Rietveld refinement of crystal structures using powder X-ray diffraction data. *Modern powder diffraction*, 20, 277-308.
- Pruitt, K. D., Tatusova, T., & Maglott, D. R. (2007). NCBI reference sequences (RefSeq): a curated non-redundant sequence database of genomes, transcripts and proteins. *Nucleic acids research*, 35(suppl_1), D61-D65.
- Qayyum, M. A., Saeed, S., Wakil, W., Nawaz, A., Iqbal, N., Yasin, M., ... & Alamri, S. (2021). Diversity and correlation of entomopathogenic and associated fungi with soil factors. *Journal of King Saud University-Science*, 33(6), 101520.
- Qin, Y., Liu, X., Peng, G., Xia, Y., & Cao, Y. (2023). Recent advancements in pathogenic mechanisms, applications and strategies for entomopathogenic fungi in mosquito biocontrol. *Journal of Fungi*, 9(7), 746.
- Quast, C., Pruesse, E., Yilmaz, P., Gerken, J., Schweer, T., Yarza, P., ... & Glöckner, F. O. (2012). The SILVA ribosomal RNA gene database project: improved data processing and web-based tools. *Nucleic acids research*, 41(D1), D590-D596.
- Quesada-Moraga, E., Navas-Cortés, J. A., Maranhao, E. A., Ortiz-Urquiza, A., & Santiago-Álvarez, C. (2007). Factors affecting the occurrence and distribution of

- entomopathogenic fungi in natural and cultivated soils. *Mycological research*, 111(8), 947-966.
- Quesada-Moraga, E., Garrido-Jurado, I., González-Mas, N., & Yousef-Yousef, M. (2023). Ecosystem services of entomopathogenic ascomycetes. *Journal of Invertebrate Pathology*, 201, 108015.
- Quesada-Moraga, E., González-Mas, N., Yousef-Yousef, M., Garrido-Jurado, I., & Fernández-Bravo, M. (2024). Key role of environmental competence in successful use of entomopathogenic fungi in microbial pest control. *Journal of Pest Science*, 97(1), 1-15.
- Quesada-Moraga, E. (2020). Entomopathogenic fungi as endophytes: their broader contribution to IPM and crop production. *Biocontrol Science and Technology*, 30(9), 864-877.
- Rana, A., Tandon, V., Kapoor, P., & Katoch, A. (2024). Life Cycle, Virulence, and Mechanism of Action of Entomopathogenic Fungi. In *Entomopathogenic Fungi: Prospects and Challenges* (pp. 37-55). Singapore: Springer Nature Singapore.
- Rasool, S., Groos, M., Hannula, S. E., & Biere, A. (2025). Bioinoculant-induced plant resistance is modulated by interactions with resident soil microbes. *Environmental Microbiome*, 20(1), 7.
- Reddy, S. G. E. (2020). *Lecanicillium spp. for the management of aphids, whiteflies, thrips, scales and mealy bugs*. IntechOpen.
- Rehner, S. A., & Buckley, E. (2005). A *Beauveria* phylogeny inferred from nuclear ITS and EF1- α sequences: evidence for cryptic diversification and links to Cordyceps teleomorphs. *Mycologia*, 97(1), 84-98.
- Reingold, V., Faigenboim, A., Matveev, S., Haviv, S., Belausov, E., Vilcinskis, A., & Ment, D. (2024). Transcriptional reprogramming in the entomopathogenic fungus *Metarhizium brunneum* and its aphid host *Myzus persicae* during the switch between saprophytic and parasitic lifestyles. *BMC genomics*, 25(1), 917.
- Rietveld, H. M. (1969). A profile refinement method for nuclear and magnetic structures. *Applied Crystallography*, 2(2), 65-71.
- Rogers, S. O., & Bendich, A. J. (1985). Extraction of DNA from milligram amounts of fresh, herbarium and mummified plant tissues. *Plant molecular biology*, 5, 69-76.
- Samson, R. A., & Frisvad, J. C. (2004). *Penicillium* subgenus *Penicillium*: new taxonomic schemes and mycotoxins and other extrolites.
- Seib, T., Fischer, K., Sturm, A. M., & Stephan, D. (2023). Investigation on the influence of production and incubation temperature on the growth, virulence, germination, and conidial size of *Metarhizium brunneum* for Granule development. *Journal of Fungi*, 9(6), 668.
- Shah, P. A., & Pell, J. K. (2003). Entomopathogenic fungi as biological control agents. *Applied microbiology and biotechnology*, 61(5), 413-423.

- Shapiro, S. S., & Wilk, M. B. (1965). An analysis of variance test for normality (complete samples). *Biometrika*, 52(3-4), 591-611.
- Sharma, L., Oliveira, I., Gonçalves, F., Raimundo, F., Singh, R. K., Torres, L., & Marques, G. (2021). Effect of soil chemical properties on the occurrence and distribution of entomopathogenic fungi in Portuguese grapevine fields. *Pathogens*, 10(2), 137.
- Sharma, A., Sharma, S., & Yadav, P. K. (2023). Entomopathogenic fungi and their relevance in sustainable agriculture: A review. *Cogent Food & Agriculture*, 9(1), 2180857.
- Sharma, R., & Sharma, P. (2021). Fungal entomopathogens: a systematic review. *Egyptian Journal of Biological Pest Control*, 31, 1-13.
- Shehzad, M., Tariq, M., & Siddiqui, J. A. (2025). Entomopathogenic fungi: Natural biocontrol of insects, challenges under climate change, advancements and future prospects in Modern Agriculture. *Acta Tropica*, 107751.
- Singh, P., Sharma, A., Nandi, A. K., & Nandi, S. P. (2021). Endophytes from *Argemone mexicana* and *Datura metel* activate induced-systemic resistance in multiple hosts and show host-and pathogen-specific protection. *Journal of Plant Biochemistry and Biotechnology*, 30, 1016-1019.
- Sokoloff, A. (1977). The biology of *Tribolium* with special emphasis on genetic aspects. Volume 3 (pp. xix+-612).
- Spearman, C. (1904). "General intelligence," objectively determined and measured. *American Journal of Psychology*, 15, 201–292.
- Spescha, A., Zwyssig, M.M., Hess Hermida, M., Moix, A., Bruno, P., Enkerli, J., Campos-Herrera, R., Grabenweger, G., & Maurhofer, M. (2023). When Competitors Join Forces: Consortia of Entomopathogenic Microorganisms Increase Killing Speed and Mortality in Leaf- and Root-Feeding Insect Hosts. *Microbial Ecology*, 86, 1947 - 1960.
- Topkara, E. F., Biryol, S., Yanar, O., & Demir, İ. (2025). Efficacy of Different Entomopathogenic Fungal Isolates against the Pine Processionary Moths *Thaumetopoea pityocampa* Denis & Schifferrmüller and *Thaumetopoea wilkinsoni* Tams. *Journal of the Entomological Research Society*, 27(1), 151-162.
- Vega, F. E., Goettel, M. S., Blackwell, M., Chandler, D., Jackson, M. A., Keller, S., ... & Roy, H. E. (2009). Fungal entomopathogens: new insights on their ecology. *Fungal ecology*, 2(4), 149-159.
- Vega, F. E., & Kaya, H. K. (2012). *Insect pathology*. Academic press.
- Vega, F. E., Meyling, N. V., Luangsa-ard, J. J., & Blackwell, M. (2012). Fungal entomopathogens. *Insect pathology*, 2, 171-220.
- Vega, F. E. (2018). The use of fungal entomopathogens as endophytes in biological control: a review. *Mycologia*, 110(1), 4-30.

- Vivekanandhan, P., Alford, L., & Krutmuang, P. (2024). Editorial: Role of entomopathogenic fungi in sustainable agriculture. *Frontiers in Microbiology*, 15.
- Wang, J. B., Leger, R. S., & Wang, C. (2016). Advances in genomics of entomopathogenic fungi. *Advances in genetics*, 94, 67-105.
- Wang, H., Peng, H., Li, W., Cheng, P., & Gong, M. (2021). The toxins of *Beauveria bassiana* and the strategies to improve their virulence to insects. *Frontiers in microbiology*, 12, 705343.
- Willmott, C. J., & Matsuura, K. (2005). Advantages of the mean absolute error (MAE) over the root mean square error (RMSE) in assessing average model performance. *Climate research*, 30(1), 79-82.
- Yadav, S., Thodusu, M., Shankar, U., Nautiyal, A., Khajuria, M., Sarangi, S., ... & Pandey, K. (2025). Entomopathogenic Fungi: Dual Role in Insect Control and Plant Disease Management. *UTTAR PRADESH JOURNAL OF ZOOLOGY*, 46(2), 172-184.
- Yakubu, M. N., Ladan, M. A., Deba, F. A., Isma'il, S., Haruna, U. S. I., Aliyu, H. U., ... & Tahir, F. (2022). Biodiversity and virulence characterization of entomopathogenic fungi isolated from soils in different regions of Nigeria. *Egyptian Journal of Biological Pest Control*, 32(1), 93.
- Yang, H., Tian, L., Qiu, H., Qin, C., Ling, S., & Xu, J. (2023). Metabolomics analysis of sporulation-associated metabolites of *Metarhizium anisopliae* based on gas chromatography–mass spectrometry. *Journal of Fungi*, 9(10), 1011.
- Yousef-Yousef, M., Romero-Conde, A., Quesada-Moraga, E., & Garrido-Jurado, I. (2022). Production of microsclerotia by *Metarhizium* sp., and factors affecting their survival, germination, and conidial yield. *Journal of Fungi*, 8(4), 402.
- Zhang, W., Chen, X., Eleftherianos, I., Mohamed, A., Bastin, A., & Keyhani, N. O. (2024). Cross-talk between immunity and behavior: insights from entomopathogenic fungi and their insect hosts. *FEMS Microbiology Reviews*, 48(1).
- Zhao, W., Wang, D. D., Huang, K. C., Liu, S., Reyila, M., Sun, Y. F., ... & Cui, B. K. (2023). Seasonal variation in the soil fungal community structure of *Larix gmelinii* forests in Northeast China. *Frontiers in Microbiology*, 14, 1106888.
- Zimmermann, G. (1986). The 'Galleria bait method' for detection of entomopathogenic fungi in soil. *Journal of applied Entomology*, 102(1-5), 213-215.
- Zimmermann, G. (2007). Review on safety of the entomopathogenic fungi *Beauveria bassiana* and *Beauveria brongniartii*. *Biocontrol Science and Technology*, 17(6), 553-596.

6. ΠΑΡΑΡΤΗΜΑΤΑ

Παράρτημα 1. Συντεταγμένες PCA & Ομαδοποίηση.

PC1	PC2	Περιοχή	Cluster
2,10401E+15	4,68437E+15	ΔΑΣΥΛΛΙΟ	1
-5,1645E+15	-1,13276E+16	ΔΑΣΥΛΛΙΟ	0
-8,32323E+15	2,72564E+16	ΔΑΣΥΛΛΙΟ	0
-5,01767E+15	-1,04855E+16	ΔΑΣΥΛΛΙΟ	0
2,10401E+15	4,68437E+15	ΔΑΣΥΛΛΙΟ	1
-4,8805E+16	-9,76763E+15	ΔΑΣΥΛΛΙΟ	0
-5,1645E+14	-1,13276E+16	ΔΑΣΥΛΛΙΟ	0
-4,75206E+15	-9,14844E+15	ΔΑΣΥΛΛΙΟ	0
-4,75206E+15	-9,14844E+15	ΔΑΣΥΛΛΙΟ	0
-5,1645E+15	-1,13276E+16	ΔΑΣΥΛΛΙΟ	0
-4,75206E+16	-9,14844E+15	ΔΑΣΥΛΛΙΟ	0
-4,75206E+15	-9,14844E+15	ΔΑΣΥΛΛΙΟ	0
-7,89359E+15	-2,21541E+16	ΔΑΣΥΛΛΙΟ	0
-5,49153E+15	-1,35407E+16	ΔΑΣΥΛΛΙΟ	0
-4,75206E+15	-9,14844E+15	ΔΑΣΥΛΛΙΟ	0
-7,89359E+15	-2,21541E+16	ΔΑΣΥΛΛΙΟ	0
-4,8805E+16	-9,76763E+15	ΔΑΣΥΛΛΙΟ	0
-4,75206E+15	-9,14844E+15	ΔΑΣΥΛΛΙΟ	0
2,10401E+13	4,68437E+15	ΔΑΣΥΛΛΙΟ	1
-5,87218E+15	-1,69258E+15	ΔΑΣΥΛΛΙΟ	0
-4,75206E+15	-9,14844E+15	ΔΑΣΥΛΛΙΟ	0
-4,75206E+15	-9,14844E+15	ΔΑΣΥΛΛΙΟ	0
-4,8805E+16	-9,76763E+15	ΔΑΣΥΛΛΙΟ	0
-4,75206E+16	-9,14844E+15	ΔΑΣΥΛΛΙΟ	0
2,10401E+13	4,68437E+15	ΔΑΣΥΛΛΙΟ	1
-5,49153E+15	-1,35407E+15	ΔΑΣΥΛΛΙΟ	0
-6,08691E+15	-1,93932E+16	ΔΑΣΥΛΛΙΟ	0
-4,75206E+16	-9,14844E+15	ΔΑΣΥΛΛΙΟ	0
2,10401E+13	4,68437E+14	ΔΑΣΥΛΛΙΟ	1
-6,08691E+15	-1,93932E+15	ΔΑΣΥΛΛΙΟ	0
2,10401E+16	4,68437E+15	ΔΑΣΥΛΛΙΟ	1
2,10401E+15	4,68437E+15	ΔΑΣΥΛΛΙΟ	1
-6,08691E+14	-1,93932E+16	ΔΑΣΥΛΛΙΟ	0
2,10401E+16	4,68437E+15	ΔΑΣΥΛΛΙΟ	1
2,10401E+13	4,68437E+15	ΔΑΣΥΛΛΙΟ	1
-7,89359E+15	-2,21541E+15	ΔΑΣΥΛΛΙΟ	0
2,10401E+16	4,68437E+15	ΔΑΣΥΛΛΙΟ	1
-6,08691E+15	-1,93932E+16	ΔΑΣΥΛΛΙΟ	0
-4,8805E+15	-9,76763E+15	ΔΑΣΥΛΛΙΟ	0
-4,75206E+15	-9,14844E+15	ΔΑΣΥΛΛΙΟ	0
-7,89359E+15	-2,21541E+15	ΔΑΣΥΛΛΙΟ	0

-4,8805E+16	-9,76763E+15	ΔΑΣΥΛΛΙΟ	0
-4,75206E+15	-9,14844E+15	ΔΑΣΥΛΛΙΟ	0
-8,32323E+15	2,72564E+16	ΔΑΣΥΛΛΙΟ	0
-8,32323E+14	2,72564E+15	ΔΑΣΥΛΛΙΟ	0
-6,08691E+15	-1,93932E+16	ΔΑΣΥΛΛΙΟ	0
-4,8805E+15	-9,76763E+15	ΔΑΣΥΛΛΙΟ	0
2,10401E+16	4,68437E+15	ΔΑΣΥΛΛΙΟ	1
-4,75206E+16	-9,14844E+15	ΔΑΣΥΛΛΙΟ	0
2,10401E+15	4,68437E+15	ΔΑΣΥΛΛΙΟ	1
-4,8805E+15	-9,76763E+15	ΔΑΣΥΛΛΙΟ	0
-4,8805E+16	-9,76763E+14	ΔΑΣΥΛΛΙΟ	0
-4,8805E+15	-9,76763E+15	ΔΑΣΥΛΛΙΟ	0
2,10401E+16	4,68437E+15	ΔΑΣΥΛΛΙΟ	1
-5,01767E+15	-1,04855E+16	ΔΑΣΥΛΛΙΟ	0
-4,75206E+15	-9,14844E+15	ΔΑΣΥΛΛΙΟ	0
-4,75206E+15	-9,14844E+15	ΔΑΣΥΛΛΙΟ	0
-5,01767E+15	-1,04855E+16	ΔΑΣΥΛΛΙΟ	0
-4,75206E+16	-9,14844E+15	ΔΑΣΥΛΛΙΟ	0
2,10401E+16	4,68437E+16	ΔΑΣΥΛΛΙΟ	1
2,10401E+15	4,68437E+15	ΔΑΣΥΛΛΙΟ	1
-4,8805E+15	-9,76763E+15	ΔΑΣΥΛΛΙΟ	0
-4,75206E+15	-9,14844E+15	ΔΑΣΥΛΛΙΟ	0
-8,32323E+15	2,72564E+16	ΔΑΣΥΛΛΙΟ	0
-8,32323E+14	2,72564E+15	ΔΑΣΥΛΛΙΟ	0
-5,01767E+15	-1,04855E+16	ΔΑΣΥΛΛΙΟ	0
-4,75206E+16	-9,14844E+14	ΔΑΣΥΛΛΙΟ	0
-4,75206E+16	-9,14844E+15	ΔΑΣΥΛΛΙΟ	0
-8,32323E+14	2,72564E+15	ΔΑΣΥΛΛΙΟ	0
-7,89359E+15	-2,21541E+15	ΔΑΣΥΛΛΙΟ	0
-4,75206E+15	-9,14844E+15	ΔΑΣΥΛΛΙΟ	0
-7,89359E+15	-2,21541E+15	ΔΑΣΥΛΛΙΟ	0
-8,32323E+14	2,72564E+15	ΔΑΣΥΛΛΙΟ	0
-4,75206E+16	-9,14844E+14	ΔΑΣΥΛΛΙΟ	0
-7,89359E+15	-2,21541E+15	ΔΑΣΥΛΛΙΟ	0
-5,1645E+15	-1,13276E+16	ΔΑΣΥΛΛΙΟ	0
-8,32323E+14	2,72564E+15	ΔΑΣΥΛΛΙΟ	0
-4,8805E+16	-9,76763E+15	ΔΑΣΥΛΛΙΟ	0
-6,08691E+15	-1,93932E+16	ΔΑΣΥΛΛΙΟ	0
2,10401E+16	4,68437E+16	ΔΑΣΥΛΛΙΟ	1
-5,49153E+15	-1,35407E+16	ΔΑΣΥΛΛΙΟ	0
-4,8805E+16	-9,76763E+15	ΔΑΣΥΛΛΙΟ	0
-4,75206E+16	-9,14844E+15	ΔΑΣΥΛΛΙΟ	0
2,10401E+16	4,68437E+16	ΔΑΣΥΛΛΙΟ	1
2,10401E+16	4,68437E+16	ΔΑΣΥΛΛΙΟ	1
-8,32323E+14	2,72564E+15	ΔΑΣΥΛΛΙΟ	0
-5,1645E+15	-1,13276E+16	ΔΑΣΥΛΛΙΟ	0

-4,8805E+16	-9,76763E+14	ΔΑΣΥΛΛΙΟ	0
-5,01767E+15	-1,04855E+16	ΔΑΣΥΛΛΙΟ	0
-4,75206E+16	-9,14844E+15	ΔΑΣΥΛΛΙΟ	0
-4,8805E+15	-9,76763E+15	ΔΑΣΥΛΛΙΟ	0
2,10401E+16	4,68437E+16	ΔΑΣΥΛΛΙΟ	1
-7,89359E+15	-2,21541E+15	ΔΑΣΥΛΛΙΟ	0
-4,75206E+15	-9,14844E+15	ΔΑΣΥΛΛΙΟ	0
2,10401E+16	4,68437E+16	ΔΑΣΥΛΛΙΟ	1
-7,89359E+15	-2,21541E+15	ΔΑΣΥΛΛΙΟ	0
-5,01767E+15	-1,04855E+16	ΔΑΣΥΛΛΙΟ	0
-4,75206E+15	-9,14844E+15	ΔΑΣΥΛΛΙΟ	0
-6,08691E+15	-1,93932E+16	ΔΑΣΥΛΛΙΟ	0
-7,89359E+15	-2,21541E+15	ΔΑΣΥΛΛΙΟ	0
2,10401E+16	4,68437E+16	ΔΑΣΥΛΛΙΟ	1
2,10401E+16	4,68437E+16	ΔΑΣΥΛΛΙΟ	1
-7,89359E+15	-2,21541E+15	ΔΑΣΥΛΛΙΟ	0
-8,32323E+14	2,72564E+15	ΔΑΣΥΛΛΙΟ	0
-7,89359E+15	-2,21541E+15	ΔΑΣΥΛΛΙΟ	0
-5,49153E+15	-1,35407E+16	ΔΑΣΥΛΛΙΟ	0
2,10401E+16	4,68437E+16	ΔΑΣΥΛΛΙΟ	1
-6,08691E+15	-1,93932E+16	ΔΑΣΥΛΛΙΟ	0
-4,75206E+15	-9,14844E+15	ΔΑΣΥΛΛΙΟ	0
-4,75206E+15	-9,14844E+15	ΔΑΣΥΛΛΙΟ	0
2,10401E+16	4,68437E+16	ΕΛΟΣ	1
-4,75206E+14	-9,14844E+14	ΕΛΟΣ	0
-5,87218E+15	-1,69258E+16	ΕΛΟΣ	0
-5,01767E+15	-1,04855E+16	ΕΛΟΣ	0
-4,75206E+15	-9,14844E+15	ΕΛΟΣ	0
2,10401E+16	4,68437E+16	ΕΛΟΣ	1
2,10401E+16	4,68437E+16	ΕΛΟΣ	1
2,10401E+16	4,68437E+16	ΕΛΟΣ	1
2,10401E+16	4,68437E+16	ΕΛΟΣ	1
-7,89359E+15	-2,21541E+15	ΕΛΟΣ	0
-7,89359E+15	-2,21541E+15	ΕΛΟΣ	0
-4,75206E+16	-9,14844E+15	ΕΛΟΣ	0
-4,75206E+16	-9,14844E+14	ΕΛΟΣ	0
-4,75206E+16	-9,14844E+15	ΕΛΟΣ	0
-5,01767E+15	-1,04855E+16	ΕΛΟΣ	0
-4,8805E+15	-9,76763E+15	ΕΛΟΣ	0
2,10401E+16	4,68437E+16	ΕΛΟΣ	1
-5,49153E+15	-1,35407E+16	ΕΛΟΣ	0
-4,8805E+16	-9,76763E+15	ΕΛΟΣ	0
-8,32323E+14	2,72564E+15	ΕΛΟΣ	0
-5,01767E+15	-1,04855E+16	ΕΛΟΣ	0
-5,87218E+15	-1,69258E+16	ΕΛΟΣ	0
-5,87218E+15	-1,69258E+16	ΕΛΟΣ	0

-5,87218E+15	-1,69258E+16	ΕΛΟΣ	0
-4,8805E+15	-9,76763E+15	ΕΛΟΣ	0
-4,75206E+15	-9,14844E+15	ΕΛΟΣ	0
-6,08691E+15	-1,93932E+16	ΕΛΟΣ	0
-4,75206E+16	-9,14844E+15	ΕΛΟΣ	0
-4,75206E+16	-9,14844E+15	ΕΛΟΣ	0
-4,8805E+16	-9,76763E+15	ΕΛΟΣ	0
-5,87218E+15	-1,69258E+16	ΕΛΟΣ	0
-4,75206E+16	-9,14844E+15	ΕΛΟΣ	0
-4,8805E+16	-9,76763E+15	ΕΛΟΣ	0
-5,01767E+15	-1,04855E+16	ΕΛΟΣ	0
2,10401E+16	4,68437E+16	ΕΛΟΣ	1
2,10401E+16	4,68437E+16	ΕΛΟΣ	1
-5,49153E+15	-1,35407E+16	ΕΛΟΣ	0
-5,1645E+15	-1,13276E+16	ΕΛΟΣ	0
-4,8805E+15	-9,76763E+15	ΕΛΟΣ	0
-7,89359E+15	-2,21541E+15	ΕΛΟΣ	0
2,10401E+16	4,68437E+16	ΕΛΟΣ	1
2,10401E+16	4,68437E+16	ΕΛΟΣ	1
-4,8805E+15	-9,76763E+15	ΕΛΟΣ	0
2,10401E+16	4,68437E+16	ΕΛΟΣ	1
-4,75206E+16	-9,14844E+15	ΕΛΟΣ	0
-5,1645E+15	-1,13276E+16	ΕΛΟΣ	0
2,10401E+16	4,68437E+16	ΕΛΟΣ	1
-5,87218E+15	-1,69258E+16	ΕΛΟΣ	0
-8,32323E+14	2,72564E+15	ΕΛΟΣ	0
-4,8805E+16	-9,76763E+15	ΕΛΟΣ	0
-4,75206E+16	-9,14844E+14	ΕΛΟΣ	0
-5,01767E+15	-1,04855E+16	ΕΛΟΣ	0
-5,87218E+15	-1,69258E+16	ΕΛΟΣ	0
-4,75206E+16	-9,14844E+15	ΕΛΟΣ	0
-4,75206E+15	-9,14844E+15	ΕΛΟΣ	0
2,10401E+16	4,68437E+16	ΕΛΟΣ	1
-8,32323E+14	2,72564E+15	ΕΛΟΣ	0
-8,32323E+14	2,72564E+15	ΕΛΟΣ	0
-8,32323E+14	2,72564E+15	ΕΛΟΣ	0
-8,32323E+14	2,72564E+15	ΕΛΟΣ	0
2,10401E+16	4,68437E+16	ΕΛΟΣ	1
-5,01767E+15	-1,04855E+16	ΕΛΟΣ	0
-4,75206E+14	-9,14844E+15	ΕΛΟΣ	0
-4,75206E+15	-9,14844E+15	ΕΛΟΣ	0
2,10401E+16	4,68437E+16	ΕΛΟΣ	1
-4,75206E+15	-9,14844E+15	ΕΛΟΣ	0
-5,1645E+14	-1,13276E+16	ΕΛΟΣ	0

Παράρτημα 2. Συντεταγμένες NMDS.

NMDS1	NMDS2	Περιοχή
5,59994E+15	-1,57404E+16	ΔΑΣΥΛΛΙΟ
5,56889E+15	4,66136E+15	ΔΑΣΥΛΛΙΟ
-4,63779E+16	-6,79928E+15	ΔΑΣΥΛΛΙΟ
-2,12249E+15	-1,3021E+16	ΔΑΣΥΛΛΙΟ
5,59994E+15	-1,57404E+16	ΔΑΣΥΛΛΙΟ
-6,68104E+15	-1,60132E+16	ΔΑΣΥΛΛΙΟ
5,56889E+15	4,66136E+16	ΔΑΣΥΛΛΙΟ
-7,67294E+15	7,84996E+15	ΔΑΣΥΛΛΙΟ
4,35453E+15	6,07576E+15	ΔΑΣΥΛΛΙΟ
-4,54701E+16	-2,43028E+15	ΔΑΣΥΛΛΙΟ
-6,6041E+15	-3,97994E+15	ΔΑΣΥΛΛΙΟ
-5,72438E+15	1,56037E+16	ΔΑΣΥΛΛΙΟ
1,66396E+16	6,7872E+15	ΔΑΣΥΛΛΙΟ
-9,90678E+15	4,8346E+16	ΔΑΣΥΛΛΙΟ
-2,97208E+16	6,17472E+15	ΔΑΣΥΛΛΙΟ
1,66396E+15	6,7872E+15	ΔΑΣΥΛΛΙΟ
-3,08261E+15	-6,86996E+15	ΔΑΣΥΛΛΙΟ
6,52056E+15	3,7521E+15	ΔΑΣΥΛΛΙΟ
5,59994E+15	-1,57404E+16	ΔΑΣΥΛΛΙΟ
-2,85867E+15	2,34145E+16	ΔΑΣΥΛΛΙΟ
6,59878E+15	4,27892E+15	ΔΑΣΥΛΛΙΟ
-7,62565E+14	-9,11582E+14	ΔΑΣΥΛΛΙΟ
4,23582E+15	-6,51451E+15	ΔΑΣΥΛΛΙΟ
-7,56477E+15	1,51638E+16	ΔΑΣΥΛΛΙΟ
5,59994E+15	-1,57404E+15	ΔΑΣΥΛΛΙΟ
-9,31703E+15	4,76829E+14	ΔΑΣΥΛΛΙΟ
-5,14606E+15	5,12877E+15	ΔΑΣΥΛΛΙΟ
-6,65049E+15	1,80451E+16	ΔΑΣΥΛΛΙΟ
5,59994E+15	-1,57404E+16	ΔΑΣΥΛΛΙΟ
-5,14606E+15	5,12877E+15	ΔΑΣΥΛΛΙΟ
5,59994E+15	-1,57404E+16	ΔΑΣΥΛΛΙΟ
5,59994E+15	-1,57404E+16	ΔΑΣΥΛΛΙΟ
-5,14606E+15	5,12877E+15	ΔΑΣΥΛΛΙΟ
5,59994E+15	-1,57404E+15	ΔΑΣΥΛΛΙΟ
5,59994E+15	-1,57404E+16	ΔΑΣΥΛΛΙΟ
1,66396E+16	6,7872E+15	ΔΑΣΥΛΛΙΟ
5,59994E+15	-1,57404E+16	ΔΑΣΥΛΛΙΟ
-5,14606E+15	5,12877E+15	ΔΑΣΥΛΛΙΟ
-4,30575E+16	-1,79054E+16	ΔΑΣΥΛΛΙΟ
-3,72919E+15	-6,64532E+15	ΔΑΣΥΛΛΙΟ
1,66396E+16	6,7872E+15	ΔΑΣΥΛΛΙΟ
-4,30575E+15	-1,79054E+16	ΔΑΣΥΛΛΙΟ
-1,36969E+15	7,54894E+15	ΔΑΣΥΛΛΙΟ

-4,63779E+16	-6,79928E+15	ΔΑΣΥΛΛΙΟ
-4,63779E+15	-6,79928E+15	ΔΑΣΥΛΛΙΟ
-5,14606E+15	5,12877E+15	ΔΑΣΥΛΛΙΟ
-7,50063E+15	-2,52813E+15	ΔΑΣΥΛΛΙΟ
5,59994E+15	-1,57404E+16	ΔΑΣΥΛΛΙΟ
-2,17339E+16	6,75251E+15	ΔΑΣΥΛΛΙΟ
5,59994E+15	-1,57404E+15	ΔΑΣΥΛΛΙΟ
8,53155E+15	-4,02938E+15	ΔΑΣΥΛΛΙΟ
1,68314E+15	2,76652E+14	ΔΑΣΥΛΛΙΟ
-7,49838E+15	-2,52799E+16	ΔΑΣΥΛΛΙΟ
5,59994E+15	-1,57404E+15	ΔΑΣΥΛΛΙΟ
-3,02819E+15	-3,99716E+16	ΔΑΣΥΛΛΙΟ
-7,30293E+15	-2,58096E+16	ΔΑΣΥΛΛΙΟ
3,19355E+14	-7,19754E+15	ΔΑΣΥΛΛΙΟ
1,86804E+16	2,25608E+16	ΔΑΣΥΛΛΙΟ
-1,90825E+16	7,4605E+15	ΔΑΣΥΛΛΙΟ
5,59994E+15	-1,57404E+16	ΔΑΣΥΛΛΙΟ
5,59994E+15	-1,57404E+16	ΔΑΣΥΛΛΙΟ
-5,1465E+15	-5,18823E+15	ΔΑΣΥΛΛΙΟ
-6,47892E+15	-2,83152E+16	ΔΑΣΥΛΛΙΟ
-4,63779E+15	-6,79928E+15	ΔΑΣΥΛΛΙΟ
-4,63779E+15	-6,79928E+15	ΔΑΣΥΛΛΙΟ
3,8737E+16	3,50573E+16	ΔΑΣΥΛΛΙΟ
-7,76817E+15	2,73203E+15	ΔΑΣΥΛΛΙΟ
-3,70708E+15	6,6771E+15	ΔΑΣΥΛΛΙΟ
-4,63779E+15	-6,79928E+15	ΔΑΣΥΛΛΙΟ
1,66396E+16	6,7872E+15	ΔΑΣΥΛΛΙΟ
4,01057E+15	4,7935E+15	ΔΑΣΥΛΛΙΟ
1,66396E+16	6,7872E+15	ΔΑΣΥΛΛΙΟ
-4,63779E+15	-6,79928E+15	ΔΑΣΥΛΛΙΟ
-5,68962E+15	-3,69073E+15	ΔΑΣΥΛΛΙΟ
1,66396E+16	6,7872E+14	ΔΑΣΥΛΛΙΟ
-4,54701E+15	-2,43028E+15	ΔΑΣΥΛΛΙΟ
-4,63779E+15	-6,79928E+15	ΔΑΣΥΛΛΙΟ
-5,98797E+14	-4,6755E+15	ΔΑΣΥΛΛΙΟ
-5,14606E+15	5,12877E+15	ΔΑΣΥΛΛΙΟ
5,59994E+15	-1,57404E+16	ΔΑΣΥΛΛΙΟ
-9,31703E+15	4,76829E+16	ΔΑΣΥΛΛΙΟ
-1,20405E+16	-3,63601E+15	ΔΑΣΥΛΛΙΟ
3,5763E+16	-6,74564E+15	ΔΑΣΥΛΛΙΟ
5,59994E+15	-1,57404E+16	ΔΑΣΥΛΛΙΟ
5,59994E+15	-1,57404E+15	ΔΑΣΥΛΛΙΟ
-4,63779E+15	-6,79928E+15	ΔΑΣΥΛΛΙΟ
-4,54701E+15	-2,43028E+16	ΔΑΣΥΛΛΙΟ
-6,68104E+15	-1,60132E+16	ΔΑΣΥΛΛΙΟ
2,3097E+16	-5,56008E+15	ΔΑΣΥΛΛΙΟ

-4,2667E+16	-6,44469E+15	ΔΑΣΥΛΛΙΟ
-5,85645E+15	-2,25091E+15	ΔΑΣΥΛΛΙΟ
5,59994E+15	-1,57404E+16	ΔΑΣΥΛΛΙΟ
1,66396E+16	6,7872E+14	ΔΑΣΥΛΛΙΟ
-3,4451E+16	-5,4524E+15	ΔΑΣΥΛΛΙΟ
5,59994E+15	-1,57404E+16	ΔΑΣΥΛΛΙΟ
1,66396E+16	6,7872E+15	ΔΑΣΥΛΛΙΟ
-2,12249E+16	-1,3021E+16	ΔΑΣΥΛΛΙΟ
-7,17974E+15	-2,96421E+16	ΔΑΣΥΛΛΙΟ
-5,14606E+15	5,12877E+15	ΔΑΣΥΛΛΙΟ
1,66396E+16	6,7872E+15	ΔΑΣΥΛΛΙΟ
5,59994E+15	-1,57404E+15	ΔΑΣΥΛΛΙΟ
5,59994E+15	-1,57404E+16	ΔΑΣΥΛΛΙΟ
1,66396E+16	6,7872E+15	ΔΑΣΥΛΛΙΟ
-4,63779E+15	-6,79928E+15	ΔΑΣΥΛΛΙΟ
1,66396E+16	6,7872E+15	ΔΑΣΥΛΛΙΟ
-9,31703E+15	4,76829E+16	ΔΑΣΥΛΛΙΟ
5,59994E+15	-1,57404E+16	ΔΑΣΥΛΛΙΟ
-5,14606E+14	5,12877E+15	ΔΑΣΥΛΛΙΟ
-4,20432E+15	-5,56771E+15	ΔΑΣΥΛΛΙΟ
-7,59718E+15	-1,75293E+16	ΔΑΣΥΛΛΙΟ
5,59994E+15	-1,57404E+16	ΕΛΟΣ
-7,17547E+15	2,91602E+15	ΕΛΟΣ
-2,85867E+15	2,34145E+16	ΕΛΟΣ
1,87567E+16	-5,07269E+15	ΕΛΟΣ
-7,37796E+14	2,22961E+16	ΕΛΟΣ
5,59994E+15	-1,57404E+16	ΕΛΟΣ
5,59994E+15	-1,57404E+16	ΕΛΟΣ
5,59994E+15	-1,57404E+16	ΕΛΟΣ
5,59994E+15	-1,57404E+16	ΕΛΟΣ
1,66396E+16	6,7872E+15	ΕΛΟΣ
1,66396E+16	6,7872E+15	ΕΛΟΣ
4,7638E+15	5,90025E+15	ΕΛΟΣ
-6,80748E+15	3,62447E+15	ΕΛΟΣ
-4,93452E+15	-6,04053E+15	ΕΛΟΣ
-3,02819E+15	-3,99716E+16	ΕΛΟΣ
-5,85645E+15	-2,25091E+16	ΕΛΟΣ
5,59994E+15	-1,57404E+16	ΕΛΟΣ
-9,90678E+15	4,8346E+15	ΕΛΟΣ
-5,98797E+15	-4,6755E+14	ΕΛΟΣ
-4,63779E+16	-6,79928E+15	ΕΛΟΣ
2,3097E+16	-5,56008E+14	ΕΛΟΣ
-2,85867E+16	2,34145E+16	ΕΛΟΣ
-2,85867E+15	2,34145E+16	ΕΛΟΣ
-2,85867E+15	2,34145E+14	ΕΛΟΣ
-5,1465E+15	-5,18823E+15	ΕΛΟΣ

-2,60992E+15	7,31442E+15	ΕΛΟΣ
-5,14606E+15	5,12877E+15	ΕΛΟΣ
-6,96882E+15	-3,36745E+16	ΕΛΟΣ
6,6695E+15	3,33731E+16	ΕΛΟΣ
2,70651E+15	-6,5347E+15	ΕΛΟΣ
-2,85867E+16	2,34145E+16	ΕΛΟΣ
2,89956E+16	3,81133E+15	ΕΛΟΣ
3,55216E+14	1,66758E+16	ΕΛΟΣ
-2,12249E+14	-1,3021E+16	ΕΛΟΣ
5,59994E+15	-1,57404E+16	ΕΛΟΣ
5,59994E+15	-1,57404E+16	ΕΛΟΣ
-9,90678E+15	4,8346E+15	ΕΛΟΣ
5,56889E+15	4,66136E+15	ΕΛΟΣ
4,23582E+15	-6,51451E+14	ΕΛΟΣ
1,66396E+16	6,7872E+15	ΕΛΟΣ
5,59994E+15	-1,57404E+16	ΕΛΟΣ
5,59994E+15	-1,57404E+16	ΕΛΟΣ
2,27236E+16	-7,39066E+15	ΕΛΟΣ
5,59994E+15	-1,57404E+16	ΕΛΟΣ
-7,69214E+15	-9,04236E+15	ΕΛΟΣ
-4,54701E+15	-2,43028E+16	ΕΛΟΣ
5,59994E+15	-1,57404E+16	ΕΛΟΣ
-2,85867E+16	2,34145E+16	ΕΛΟΣ
-4,63779E+15	-6,79928E+15	ΕΛΟΣ
3,87836E+14	1,73061E+15	ΕΛΟΣ
-3,20344E+16	6,99326E+15	ΕΛΟΣ
-3,02819E+14	-3,99716E+16	ΕΛΟΣ
-2,85867E+16	2,34145E+16	ΕΛΟΣ
-6,8223E+15	7,98326E+15	ΕΛΟΣ
-6,46602E+15	3,00693E+15	ΕΛΟΣ
5,59994E+15	-1,57404E+16	ΕΛΟΣ
-4,63779E+15	-6,79928E+15	ΕΛΟΣ
-4,63779E+16	-6,79928E+15	ΕΛΟΣ
-4,63779E+15	-6,79928E+15	ΕΛΟΣ
-4,63779E+15	-6,79928E+15	ΕΛΟΣ
5,59994E+15	-1,57404E+16	ΕΛΟΣ
3,8737E+15	3,50573E+16	ΕΛΟΣ
5,29998E+15	5,77405E+15	ΕΛΟΣ
7,16066E+15	3,19305E+15	ΕΛΟΣ
5,59994E+15	-1,57404E+16	ΕΛΟΣ
-5,65368E+15	2,64695E+16	ΕΛΟΣ
5,56889E+15	4,66136E+15	ΕΛΟΣ

Παράρτημα 3. Συσχετίσεις του συντελεστή Spearman ($p < 0,05$).

Γένος Μύκητα	Μεταβλητή	r_s	Σημαντική Συσχέτιση
<i>Alternaria</i>	Μέση θερμοκρασία (°C)	232	Όχι
<i>Alternaria</i>	Ύψος Βροχής (mm)	-97	Όχι
<i>Alternaria</i>	Μέση Ταχύτητα Ανέμου (km/hr)	29	Όχι
<i>Alternaria</i>	Εδαφική Υγρασία (%)	-344	Όχι
<i>Alternaria</i>	Φαινομενικό ειδικό βάρος (g/cm ³)	-132	Όχι
<i>Alternaria</i>	Νερό Κορεσμού Εδάφους (SP) (%)	-541	Ναι
<i>Alternaria</i>	Σημείο Μόνιμης Μάρανσης (PWP) (%)	-497	Όχι
<i>Alternaria</i>	Υδατοϊκανότητα (FC) (%)	-541	Ναι
<i>Alternaria</i>	Διαθέσιμο Νερό (%)	-485	Όχι
<i>Alternaria</i>	pH	-55	Ναι
<i>Alternaria</i>	Ηλεκτρική Αγωγιμότητα (μS/cm)	553	Ναι
<i>Alternaria</i>	Ολικό CaCO ₃ (%)	-426	Όχι
<i>Alternaria</i>	Οργανική Ουσία (%)	-432	Όχι
<i>Alternaria</i>	Ολικό Άζωτο (N) (%)	-216	Όχι
<i>Alternaria</i>	Νιτρικό Άζωτο (NO ₃ -N) (mg/Kg)	344	Όχι
<i>Alternaria</i>	Φωσφόρος (P) (mg/Kg)	468	Όχι
<i>Alternaria</i>	Ανταλλάξιμο Κάλιο (K) (mg/Kg)	212	Όχι
<i>Alternaria</i>	Νάτριο (Na) (mg/Kg)	435	Όχι
<i>Alternaria</i>	Ασβέστιο (Ca) (mg/kg)	-412	Όχι
<i>Alternaria</i>	Μαγνήσιο (Mg) (mg/kg)	379	Όχι
<i>Alternaria</i>	Σίδηρος (Fe) (mg/Kg)	-226	Όχι
<i>Alternaria</i>	Ψευδάργυρος (Zn) (mg/Kg)	209	Όχι
<i>Alternaria</i>	Μαγγάνιο (Mn) (mg/Kg)	421	Όχι
<i>Alternaria</i>	Χαλκός (Cu) (mg/Kg)	229	Όχι
<i>Alternaria</i>	Βόριο (B) (mg/Kg)	165	Όχι
<i>Alternaria</i>	Ικανότητα Ανταλλαγής Κατιόντων (C.E.C.) (cmolc/Kg)	441	Όχι
<i>Alternaria</i>	Σχέση Άνθρακα / Αζώτου (C/N)	-288	Όχι
<i>Alternaria</i>	Βαθμός Αλκαλίωσης (E.S.P.) (%)	218	Όχι
<i>Alternaria</i>	Λόγος Απορρόφησης Νατρίου (S.A.R.)	253	Όχι
<i>Alternaria</i>	Αναλογία Καλίου προς Μαγνήσιο (K/Mg)	-374	Όχι
<i>Alternaria</i>	Αναλογία Ασβεστίου προς Μαγνήσιο (Ca/Mg)	-338	Όχι
<i>Alternaria</i>	Αναλογία Μαγνησίου προς Κάλιο (Mg/K)	226	Όχι
<i>Alternaria</i>	Αναλογία Ασβεστίου προς Κάλιο (Ca/K)	-418	Όχι
<i>Alternaria</i>	Αναλογία Ασβεστίου προς Μαγγάνιο (Ca/Mn)	-444	Όχι
<i>Alternaria</i>	Αναλογία Φωσφόρου προς Σίδηρο (P/Fe)	503	Ναι
<i>Alternaria</i>	Χαλαζίας (Qz) Μέσο Ποσοστό	-515	Ναι
<i>Alternaria</i>	Πλαγιόκλαστα (plg) Μέσο Ποσοστό	515	Ναι
<i>Alternaria</i>	Αλκαλικοί Αστριοί (Kfs) Μέσο ποσοστό	-515	Ναι
<i>Alternaria</i>	Ασβεστίτης (Cc) Μέσο Ποσοστό	515	Ναι
<i>Alternaria</i>	Σμηκτίτης (Sm) Μέσο Ποσοστό	515	Ναι
<i>Alternaria</i>	Ιλλίτης (Il) Μέσο ποσοστό	-515	Ναι
<i>Alternaria</i>	Χλωρίτης/Σμηκτίτης Μικτής στρώσης Άργιλος Μέσο Ποσοστό	-515	Ναι
<i>Alternaria</i>	Σύνολο Αργιλικών Ορυκτών Μέσο ποσοστό	-515	Ναι
<i>Ophiocordyceps</i>	Μέση θερμοκρασία (°C)	-23	Όχι

<i>Ophiocordyceps</i>	Ύψος Βροχής (mm)	192	Όχι
<i>Ophiocordyceps</i>	Μέση Ταχύτητα Ανέμου (km/hr)	-1	Όχι
<i>Ophiocordyceps</i>	Εδαφική Υγρασία (%)	-374	Όχι
<i>Ophiocordyceps</i>	Φαινομενικό ειδικό βάρος (g/cm ³)	184	Όχι
<i>Ophiocordyceps</i>	Νερό Κορεσμού Εδάφους (SP) (%)	-786	Ναι
<i>Ophiocordyceps</i>	Σημείο Μόνιμης Μάρανσης (PWP) (%)	-805	Ναι
<i>Ophiocordyceps</i>	Υδατοϊκανότητα (FC) (%)	-786	Ναι
<i>Ophiocordyceps</i>	Διαθέσιμο Νερό (%)	-8	Ναι
<i>Ophiocordyceps</i>	pH	-857	Ναι
<i>Ophiocordyceps</i>	Ηλεκτρική Αγωγιμότητα (μs/cm)	814	Ναι
<i>Ophiocordyceps</i>	Ολικό CaCO ₃ (%)	89	Όχι
<i>Ophiocordyceps</i>	Οργανική Ουσία (%)	-501	Ναι
<i>Ophiocordyceps</i>	Ολικό Άζωτο (N) (%)	195	Όχι
<i>Ophiocordyceps</i>	Νιτρικό Άζωτο (NO ₃ -N) (mg/Kg)	863	Ναι
<i>Ophiocordyceps</i>	Φωσφόρος (P) (mg/Kg)	854	Ναι
<i>Ophiocordyceps</i>	Ανταλλάξιμο Κάλιο (K) (mg/Kg)	312	Όχι
<i>Ophiocordyceps</i>	Νάτριο (Na) (mg/Kg)	854	Ναι
<i>Ophiocordyceps</i>	Ασβέστιο (Ca) (mg/kg)	-74	Ναι
<i>Ophiocordyceps</i>	Μαγνήσιο (Mg) (mg/kg)	833	Ναι
<i>Ophiocordyceps</i>	Σίδηρος (Fe) (mg/Kg)	-222	Όχι
<i>Ophiocordyceps</i>	Ψευδάργυρος (Zn) (mg/Kg)	48	Όχι
<i>Ophiocordyceps</i>	Μαγγανίο (Mn) (mg/Kg)	857	Ναι
<i>Ophiocordyceps</i>	Χαλκός (Cu) (mg/Kg)	797	Ναι
<i>Ophiocordyceps</i>	Βόριο (B) (mg/Kg)	539	Ναι
<i>Ophiocordyceps</i>	Ικανότητα Ανταλλαγής Κατιόντων (C.E.C.) (cmolc/Kg)	382	Όχι
<i>Ophiocordyceps</i>	Σχέση Άνθρακα / Αζώτου (C/N)	-653	Ναι
<i>Ophiocordyceps</i>	Βαθμός Αλκαλίωσης (E.S.P.) (%)	743	Ναι
<i>Ophiocordyceps</i>	Λόγος Απορρόφησης Νατρίου (S.A.R.)	79	Ναι
<i>Ophiocordyceps</i>	Αναλογία Καλίου προς Μαγνήσιο (K/Mg)	-835	Ναι
<i>Ophiocordyceps</i>	Αναλογία Ασβεστίου προς Μαγνήσιο (Ca/Mg)	-832	Ναι
<i>Ophiocordyceps</i>	Αναλογία Μαγνησίου προς Κάλιο (Mg/K)	906	Ναι
<i>Ophiocordyceps</i>	Αναλογία Ασβεστίου προς Κάλιο (Ca/K)	-901	Ναι
<i>Ophiocordyceps</i>	Αναλογία Ασβεστίου προς Μαγγάνιο (Ca/Mn)	-862	Ναι
<i>Ophiocordyceps</i>	Αναλογία Φωσφόρου προς Σίδηρο (P/Fe)	8	Ναι
<i>Ophiocordyceps</i>	Χαλαζία (Qz) Μέσο Ποσοστό	-935	Ναι
<i>Ophiocordyceps</i>	Πλαγιόκλαστα (plg) Μέσο Ποσοστό	935	Ναι
<i>Ophiocordyceps</i>	Αλκαλικοί Άστριοι (Kfs) Μέσο ποσοστό	-935	Ναι
<i>Ophiocordyceps</i>	Ασβεστίτης (Cc) Μέσο Ποσοστό	935	Ναι
<i>Ophiocordyceps</i>	Σμηκτίτης (Sm) Μέσο Ποσοστό	935	Ναι
<i>Ophiocordyceps</i>	Ιλλίτης (Il) Μέσο ποσοστό	-935	Ναι
<i>Ophiocordyceps</i>	Χλωρίτης/Σμηκτίτης Μικτής στρώσης Άργιλος Μέσο Ποσοστό	-935	Ναι
<i>Ophiocordyceps</i>	Σύνολο Αργιλικών Ορυκτών Μέσο ποσοστό	-935	Ναι
<i>Penicillium</i>	Μέση θερμοκρασία (°C)	297	Όχι
<i>Penicillium</i>	Ύψος Βροχής (mm)	-24	Όχι
<i>Penicillium</i>	Μέση Ταχύτητα Ανέμου (km/hr)	-94	Όχι
<i>Penicillium</i>	Εδαφική Υγρασία (%)	-115	Όχι

<i>Penicillium</i>	Φαινομενικό ειδικό βάρος (g/cm ³)	-203	Όχι
<i>Penicillium</i>	Νερό Κορεσμού Εδάφους (SP) (%)	-156	Όχι
<i>Penicillium</i>	Σημείο Μόνιμης Μάρανσης (PWP) (%)	-112	Όχι
<i>Penicillium</i>	Υδατοϊκανότητα (FC) (%)	-156	Όχι
<i>Penicillium</i>	Διαθέσιμο Νερό (%)	-94	Όχι
<i>Penicillium</i>	pH	-279	Όχι
<i>Penicillium</i>	Ηλεκτρική Αγωγιμότητα (μs/cm)	326	Όχι
<i>Penicillium</i>	Ολικό CaCO ₃ (%)	-506	Ναι
<i>Penicillium</i>	Οργανική Ουσία (%)	-153	Όχι
<i>Penicillium</i>	Ολικό Άζωτο (N) (%)	-418	Όχι
<i>Penicillium</i>	Νιτρικό Άζωτο (NO ₃ -N) (mg/Kg)	88	Όχι
<i>Penicillium</i>	Φωσφόρος (P) (mg/Kg)	118	Όχι
<i>Penicillium</i>	Ανταλλάξιμο Κάλιο (K) (mg/Kg)	374	Όχι
<i>Penicillium</i>	Νάτριο (Na) (mg/Kg)	53	Όχι
<i>Penicillium</i>	Ασβέστιο (Ca) (mg/kg)	-32	Όχι
<i>Penicillium</i>	Μαγνήσιο (Mg) (mg/kg)	32	Όχι
<i>Penicillium</i>	Σίδηρος (Fe) (mg/Kg)	62	Όχι
<i>Penicillium</i>	Ψευδάργυρος (Zn) (mg/Kg)	126	Όχι
<i>Penicillium</i>	Μαγγάνιο (Mn) (mg/Kg)	126	Όχι
<i>Penicillium</i>	Χαλκός (Cu) (mg/Kg)	-44	Όχι
<i>Penicillium</i>	Βόριο (B) (mg/Kg)	-56	Όχι
<i>Penicillium</i>	Ικανότητα Ανταλλαγής Κατιόντων (C.E.C.) (cmolc/Kg)	568	Ναι
<i>Penicillium</i>	Σχέση Άνθρακα / Αζώτου (C/N)	76	Όχι
<i>Penicillium</i>	Βαθμός Αλκαλίνωσης (E.S.P.) (%)	-156	Όχι
<i>Penicillium</i>	Λόγος Απορρόφησης Νατρίου (S.A.R.)	-94	Όχι
<i>Penicillium</i>	Αναλογία Καλίου προς Μαγνήσιο (K/Mg)	-179	Όχι
<i>Penicillium</i>	Αναλογία Ασβεστίου προς Μαγνήσιο (Ca/Mg)	-185	Όχι
<i>Penicillium</i>	Αναλογία Μαγνησίου προς Κάλιο (Mg/K)	-62	Όχι
<i>Penicillium</i>	Αναλογία Ασβεστίου προς Κάλιο (Ca/K)	-191	Όχι
<i>Penicillium</i>	Αναλογία Ασβεστίου προς Μαγγάνιο (Ca/Mn)	-244	Όχι
<i>Penicillium</i>	Αναλογία Φωσφόρου προς Σίδηρο (P/Fe)	244	Όχι
<i>Penicillium</i>	Χαλαζίας (Qz) Μέσο Ποσοστό	-217	Όχι
<i>Penicillium</i>	Πλαγιόκλαστα (plg) Μέσο Ποσοστό	217	Όχι
<i>Penicillium</i>	Αλκαλικοί Άστριοι (Kfs) Μέσο ποσοστό	-217	Όχι
<i>Penicillium</i>	Ασβεστίτης (Cc) Μέσο Ποσοστό	217	Όχι
<i>Penicillium</i>	Σμηκτίτης (Sm) Μέσο Ποσοστό	217	Όχι
<i>Penicillium</i>	Ιλλίτης (Il) Μέσο ποσοστό	-217	Όχι
<i>Penicillium</i>	Χλωρίτης/Σμηκτίτης Μικτής στρώσης Άργιλος Μέσο Ποσοστό	-217	Όχι
<i>Penicillium</i>	Σύνολο Αργιλικών Ορυκτών Μέσο ποσοστό	-217	Όχι
<i>Cladosporium</i>	Μέση θερμοκρασία (°C)	76	Όχι
<i>Cladosporium</i>	Ύψος Βροχής (mm)	-62	Όχι
<i>Cladosporium</i>	Μέση Ταχύτητα Ανέμου (km/hr)	332	Όχι
<i>Cladosporium</i>	Εδαφική Υγρασία (%)	-29	Όχι
<i>Cladosporium</i>	Φαινομενικό ειδικό βάρος (g/cm ³)	-409	Όχι
<i>Cladosporium</i>	Νερό Κορεσμού Εδάφους (SP) (%)	41	Όχι
<i>Cladosporium</i>	Σημείο Μόνιμης Μάρανσης (PWP) (%)	91	Όχι

<i>Cladosporium</i>	Υδατοϊκανότητα (FC) (%)	41	Όχι
<i>Cladosporium</i>	Διαθέσιμο Νερό (%)	85	Όχι
<i>Cladosporium</i>	pH	-174	Όχι
<i>Cladosporium</i>	Ηλεκτρική Αγωγιμότητα (μs/cm)	85	Όχι
<i>Cladosporium</i>	Ολικό CaCO ₃ (%)	-368	Όχι
<i>Cladosporium</i>	Οργανική Ουσία (%)	68	Όχι
<i>Cladosporium</i>	Ολικό Άζωτο (N) (%)	-402	Όχι
<i>Cladosporium</i>	Νιτρικό Άζωτο (NO ₃ -N) (mg/Kg)	-132	Όχι
<i>Cladosporium</i>	Φωσφόρος (P) (mg/Kg)	26	Όχι
<i>Cladosporium</i>	Ανταλλάξιμο Κάλιο (K) (mg/Kg)	44	Όχι
<i>Cladosporium</i>	Νάτριο (Na) (mg/Kg)	62	Όχι
<i>Cladosporium</i>	Ασβέστιο (Ca) (mg/kg)	85	Όχι
<i>Cladosporium</i>	Μαγνήσιο (Mg) (mg/kg)	-59	Όχι
<i>Cladosporium</i>	Σίδηρος (Fe) (mg/Kg)	112	Όχι
<i>Cladosporium</i>	Ψευδάργυρος (Zn) (mg/Kg)	-9	Όχι
<i>Cladosporium</i>	Μαγνήσιο (Mn) (mg/Kg)	-38	Όχι
<i>Cladosporium</i>	Χαλκός (Cu) (mg/Kg)	-247	Όχι
<i>Cladosporium</i>	Βόριο (B) (mg/Kg)	-3	Όχι
<i>Cladosporium</i>	Ικανότητα Ανταλλαγής Κατιόντων (C.E.C.) (cmolc/Kg)	435	Όχι
<i>Cladosporium</i>	Σχέση Άνθρακα / Αζώτου (C/N)	279	Όχι
<i>Cladosporium</i>	Βαθμός Αλκαλιώσεως (E.S.P.) (%)	24	Όχι
<i>Cladosporium</i>	Λόγος Απορρόφησης Νατρίου (S.A.R.)	-176	Όχι
<i>Cladosporium</i>	Αναλογία Καλίου προς Μαγνήσιο (K/Mg)	126	Όχι
<i>Cladosporium</i>	Αναλογία Ασβεστίου προς Μαγνήσιο (Ca/Mg)	106	Όχι
<i>Cladosporium</i>	Αναλογία Μαγνησίου προς Κάλιο (Mg/K)	-285	Όχι
<i>Cladosporium</i>	Αναλογία Ασβεστίου προς Κάλιο (Ca/K)	-41	Όχι
<i>Cladosporium</i>	Αναλογία Ασβεστίου προς Μαγγάνιο (Ca/Mn)	21	Όχι
<i>Cladosporium</i>	Αναλογία Φωσφόρου προς Σίδηρο (P/Fe)	-18	Όχι
<i>Cladosporium</i>	Χαλαζίας (Qz) Μέσο Ποσοστό	81	Όχι
<i>Cladosporium</i>	Πλαγιόκλαστα (plg) Μέσο Ποσοστό	-81	Όχι
<i>Cladosporium</i>	Αλκαλικοί Άστριοι (Kfs) Μέσο ποσοστό	81	Όχι
<i>Cladosporium</i>	Ασβεστίτης (Cc) Μέσο Ποσοστό	-81	Όχι
<i>Cladosporium</i>	Σμηκτίτης (Sm) Μέσο Ποσοστό	-81	Όχι
<i>Cladosporium</i>	Ιλλίτης (Il) Μέσο ποσοστό	81	Όχι
<i>Cladosporium</i>	Χλωρίτης/Σμηκτίτης Μικτής στρώσης Άργιλος Μέσο Ποσοστό	81	Όχι
<i>Cladosporium</i>	Σύνολο Αργιλικών Ορυκτών Μέσο ποσοστό	81	Όχι
<i>Aspergillus</i>	Μέση θερμοκρασία (°C)	138	Όχι
<i>Aspergillus</i>	Ύψος Βροχής (mm)	76	Όχι
<i>Aspergillus</i>	Μέση Ταχύτητα Ανέμου (km/hr)	-171	Όχι
<i>Aspergillus</i>	Εδαφική Υγρασία (%)	97	Όχι
<i>Aspergillus</i>	Φαινομενικό ειδικό βάρος (g/cm ³)	-274	Όχι
<i>Aspergillus</i>	Νερό Κορεσμού Εδάφους (SP) (%)	179	Όχι
<i>Aspergillus</i>	Σημείο Μόνιμης Μάρανσης (PWP) (%)	2	Όχι
<i>Aspergillus</i>	Υδατοϊκανότητα (FC) (%)	179	Όχι
<i>Aspergillus</i>	Διαθέσιμο Νερό (%)	226	Όχι
<i>Aspergillus</i>	pH	-21	Όχι

<i>Aspergillus</i>	Ηλεκτρική Αγωγιμότητα (μs/cm)	56	Όχι
<i>Aspergillus</i>	Ολικό CaCO ₃ (%)	-462	Όχι
<i>Aspergillus</i>	Οργανική Ουσία (%)	12	Όχι
<i>Aspergillus</i>	Ολικό Άζωτο (N) (%)	-628	Ναι
<i>Aspergillus</i>	Νιτρικό Άζωτο (NO ₃ -N) (mg/Kg)	-29	Όχι
<i>Aspergillus</i>	Φωσφόρος (P) (mg/Kg)	-147	Όχι
<i>Aspergillus</i>	Ανταλλάξιμο Κάλιο (K) (mg/Kg)	335	Όχι
<i>Aspergillus</i>	Νάτριο (Na) (mg/Kg)	-185	Όχι
<i>Aspergillus</i>	Ασβέστιο (Ca) (mg/kg)	312	Όχι
<i>Aspergillus</i>	Μαγνήσιο (Mg) (mg/kg)	-347	Όχι
<i>Aspergillus</i>	Σίδηρος (Fe) (mg/Kg)	244	Όχι
<i>Aspergillus</i>	Ψευδάργυρος (Zn) (mg/Kg)	15	Όχι
<i>Aspergillus</i>	Μαγγάνιο (Mn) (mg/Kg)	3	Όχι
<i>Aspergillus</i>	Χαλκός (Cu) (mg/Kg)	-241	Όχι
<i>Aspergillus</i>	Βόριο (B) (mg/Kg)	62	Όχι
<i>Aspergillus</i>	Ικανότητα Ανταλλαγής Κατιόντων (C.E.C.) (cmolc/Kg)	338	Όχι
<i>Aspergillus</i>	Σχέση Άνθρακα / Αζώτου (C/N)	406	Όχι
<i>Aspergillus</i>	Βαθμός Αλκαλίωσης (E.S.P.) (%)	-338	Όχι
<i>Aspergillus</i>	Λόγος Απορρόφησης Νατρίου (S.A.R.)	-341	Όχι
<i>Aspergillus</i>	Αναλογία Καλίου προς Μαγνήσιο (K/Mg)	197	Όχι
<i>Aspergillus</i>	Αναλογία Ασβεστίου προς Μαγνήσιο (Ca/Mg)	171	Όχι
<i>Aspergillus</i>	Αναλογία Μαγνησίου προς Κάλιο (Mg/K)	-162	Όχι
<i>Aspergillus</i>	Αναλογία Ασβεστίου προς Κάλιο (Ca/K)	147	Όχι
<i>Aspergillus</i>	Αναλογία Ασβεστίου προς Μαγγάνιο (Ca/Mn)	144	Όχι
<i>Aspergillus</i>	Αναλογία Φωσφόρου προς Σίδηρο (P/Fe)	-12	Όχι
<i>Aspergillus</i>	Χαλαζιάς (Qz) Μέσο Ποσοστό	108	Όχι
<i>Aspergillus</i>	Πλαγιόκλαστα (plg) Μέσο Ποσοστό	-108	Όχι
<i>Aspergillus</i>	Αλκαλικοί Άστριοι (Kfs) Μέσο ποσοστό	108	Όχι
<i>Aspergillus</i>	Ασβεστίτης (Cc) Μέσο Ποσοστό	-108	Όχι
<i>Aspergillus</i>	Σμηκτίτης (Sm) Μέσο Ποσοστό	-108	Όχι
<i>Aspergillus</i>	Ιλλίτης (Il) Μέσο ποσοστό	108	Όχι
<i>Aspergillus</i>	Χλωρίτης/Σμηκτίτης Μικτής στρώσης Αργίλος Μέσο Ποσοστό	108	Όχι
<i>Aspergillus</i>	Σύνολο Αργιλικών Ορυκτών Μέσο ποσοστό	108	Όχι
<i>Fusarium</i>	Μέση θερμοκρασία (°C)	91	Όχι
<i>Fusarium</i>	Ύψος Βροχής (mm)	24	Όχι
<i>Fusarium</i>	Μέση Ταχύτητα Ανέμου (km/hr)	79	Όχι
<i>Fusarium</i>	Εδαφική Υγρασία (%)	28	Όχι
<i>Fusarium</i>	Φαινομενικό ειδικό βάρος (g/cm ³)	-225	Όχι
<i>Fusarium</i>	Νερό Κορεσμού Εδάφους (SP) (%)	-131	Όχι
<i>Fusarium</i>	Σημείο Μόνιμης Μάρανσης (PWP) (%)	-106	Όχι
<i>Fusarium</i>	Υδατοϊκανότητα (FC) (%)	-131	Όχι
<i>Fusarium</i>	Διαθέσιμο Νερό (%)	-74	Όχι
<i>Fusarium</i>	pH	-272	Όχι
<i>Fusarium</i>	Ηλεκτρική Αγωγιμότητα (μs/cm)	281	Όχι
<i>Fusarium</i>	Ολικό CaCO ₃ (%)	-447	Όχι
<i>Fusarium</i>	Οργανική Ουσία (%)	-228	Όχι

<i>Fusarium</i>	Ολικό Άζωτο (N) (%)	-398	Όχι
<i>Fusarium</i>	Νιτρικό Άζωτο (NO ₃ -N) (mg/Kg)	144	Όχι
<i>Fusarium</i>	Φωσφόρος (P) (mg/Kg)	197	Όχι
<i>Fusarium</i>	Ανταλλάξιμο Κάλιο (K) (mg/Kg)	365	Όχι
<i>Fusarium</i>	Νάτριο (Na) (mg/Kg)	197	Όχι
<i>Fusarium</i>	Ασβέστιο (Ca) (mg/kg)	-12	Όχι
<i>Fusarium</i>	Μαγνήσιο (Mg) (mg/kg)	-44	Όχι
<i>Fusarium</i>	Σίδηρος (Fe) (mg/Kg)	-3	Όχι
<i>Fusarium</i>	Ψευδάργυρος (Zn) (mg/Kg)	324	Όχι
<i>Fusarium</i>	Μαγνήσιο (Mn) (mg/Kg)	188	Όχι
<i>Fusarium</i>	Χαλκός (Cu) (mg/Kg)	68	Όχι
<i>Fusarium</i>	Βόριο (B) (mg/Kg)	24	Όχι
<i>Fusarium</i>	Ικανότητα Ανταλλαγής Κατιόντων (C.E.C.) (cmolc/Kg)	499	Ναι
<i>Fusarium</i>	Σχέση Άνθρακα / Αζώτου (C/N)	12	Όχι
<i>Fusarium</i>	Βαθμός Αλκαλίωσης (E.S.P.) (%)	-113	Όχι
<i>Fusarium</i>	Λόγος Απορρόφησης Νατρίου (S.A.R.)	12	Όχι
<i>Fusarium</i>	Αναλογία Καλίου προς Μαγνήσιο (K/Mg)	32	Όχι
<i>Fusarium</i>	Αναλογία Ασβεστίου προς Μαγνήσιο (Ca/Mg)	53	Όχι
<i>Fusarium</i>	Αναλογία Μαγνησίου προς Κάλιο (Mg/K)	-1	Όχι
<i>Fusarium</i>	Αναλογία Ασβεστίου προς Κάλιο (Ca/K)	-38	Όχι
<i>Fusarium</i>	Αναλογία Ασβεστίου προς Μαγγάνιο (Ca/Mn)	-29	Όχι
<i>Fusarium</i>	Αναλογία Φωσφόρου προς Σίδηρο (P/Fe)	286	Όχι
<i>Fusarium</i>	Χαλαζιάς (Qz) Μέσο Ποσοστό	-163	Όχι
<i>Fusarium</i>	Πλαγιόκλαστα (plg) Μέσο Ποσοστό	163	Όχι
<i>Fusarium</i>	Αλκαλικοί Άστριοι (Kfs) Μέσο ποσοστό	-163	Όχι
<i>Fusarium</i>	Ασβεστίτης (Cc) Μέσο Ποσοστό	163	Όχι
<i>Fusarium</i>	Σμηκτίτης (Sm) Μέσο Ποσοστό	163	Όχι
<i>Fusarium</i>	Ιλλίτης (Il) Μέσο ποσοστό	-163	Όχι
<i>Fusarium</i>	Χλωρίτης/Σμηκτίτης Μικτής στρώσης Άργιλος Μέσο Ποσοστό	-163	Όχι
<i>Fusarium</i>	Σύνολο Αργιλικών Ορυκτών Μέσο ποσοστό	-163	Όχι
<i>Basidiobolus</i>	Μέση θερμοκρασία (°C)	66	Όχι
<i>Basidiobolus</i>	Ύψος Βροχής (mm)	96	Όχι
<i>Basidiobolus</i>	Μέση Ταχύτητα Ανέμου (km/hr)	-203	Όχι
<i>Basidiobolus</i>	Εδαφική Υγρασία (%)	39	Όχι
<i>Basidiobolus</i>	Φαινομενικό ειδικό βάρος (g/cm ³)	-4	Όχι
<i>Basidiobolus</i>	Νερό Κορεσμού Εδάφους (SP) (%)	334	Όχι
<i>Basidiobolus</i>	Σημείο Μόνιμης Μάρανσης (PWP) (%)	343	Όχι
<i>Basidiobolus</i>	Υδατοϊκανότητα (FC) (%)	334	Όχι
<i>Basidiobolus</i>	Διαθέσιμο Νερό (%)	376	Όχι
<i>Basidiobolus</i>	pH	161	Όχι
<i>Basidiobolus</i>	Ηλεκτρική Αγωγιμότητα (μs/cm)	-113	Όχι
<i>Basidiobolus</i>	Ολικό CaCO ₃ (%)	-46	Όχι
<i>Basidiobolus</i>	Οργανική Ουσία (%)	-39	Όχι
<i>Basidiobolus</i>	Ολικό Άζωτο (N) (%)	-736	Ναι
<i>Basidiobolus</i>	Νιτρικό Άζωτο (NO ₃ -N) (mg/Kg)	-203	Όχι
<i>Basidiobolus</i>	Φωσφόρος (P) (mg/Kg)	-409	Όχι

<i>Basidiobolus</i>	Ανταλλάξιμο Κάλιο (K) (mg/Kg)	272	Όχι
<i>Basidiobolus</i>	Νάτριο (Na) (mg/Kg)	-307	Όχι
<i>Basidiobolus</i>	Ασβέστιο (Ca) (mg/kg)	466	Όχι
<i>Basidiobolus</i>	Μαγνήσιο (Mg) (mg/kg)	-454	Όχι
<i>Basidiobolus</i>	Σίδηρος (Fe) (mg/Kg)	9	Όχι
<i>Basidiobolus</i>	Ψευδάργυρος (Zn) (mg/Kg)	-131	Όχι
<i>Basidiobolus</i>	Μαγγάνιο (Mn) (mg/Kg)	-212	Όχι
<i>Basidiobolus</i>	Χαλκός (Cu) (mg/Kg)	-46	Όχι
<i>Basidiobolus</i>	Βόριο (B) (mg/Kg)	-119	Όχι
<i>Basidiobolus</i>	Ικανότητα Ανταλλαγής Κατιόντων (C.E.C.) (cmolc/Kg)	224	Όχι
<i>Basidiobolus</i>	Σχέση Άνθρακα / Αζώτου (C/N)	54	Ναι
<i>Basidiobolus</i>	Βαθμός Αλκαλίωσης (E.S.P.) (%)	-478	Όχι
<i>Basidiobolus</i>	Λόγος Απορρόφησης Νατρίου (S.A.R.)	-585	Ναι
<i>Basidiobolus</i>	Αναλογία Καλίου προς Μαγνήσιο (K/Mg)	421	Όχι
<i>Basidiobolus</i>	Αναλογία Ασβεστίου προς Μαγνήσιο (Ca/Mg)	302	Όχι
<i>Basidiobolus</i>	Αναλογία Μαγνησίου προς Κάλιο (Mg/K)	-322	Όχι
<i>Basidiobolus</i>	Αναλογία Ασβεστίου προς Κάλιο (Ca/K)	403	Όχι
<i>Basidiobolus</i>	Αναλογία Ασβεστίου προς Μαγγάνιο (Ca/Mn)	415	Όχι
<i>Basidiobolus</i>	Αναλογία Φωσφόρου προς Σίδηρο (P/Fe)	-233	Όχι
<i>Basidiobolus</i>	Χαλαζιάς (Qz) Μέσο Ποσοστό	303	Όχι
<i>Basidiobolus</i>	Πλαγιόκλαστα (plg) Μέσο Ποσοστό	-303	Όχι
<i>Basidiobolus</i>	Αλκαλικοί Αστριοί (Kfs) Μέσο ποσοστό	303	Όχι
<i>Basidiobolus</i>	Ασβεστίτης (Cc) Μέσο Ποσοστό	-303	Όχι
<i>Basidiobolus</i>	Σμηκτίτης (Sm) Μέσο Ποσοστό	-303	Όχι
<i>Basidiobolus</i>	Ιλλίτης (Il) Μέσο ποσοστό	303	Όχι
<i>Basidiobolus</i>	Χλωρίτης/Σμηκτίτης Μικτής στρώσης Αργίλος Μέσο Ποσοστό	303	Όχι
<i>Basidiobolus</i>	Σύνολο Αργιλικών Ορυκτών Μέσο ποσοστό	303	Όχι
<i>Arthrobotrys</i>	Μέση θερμοκρασία (°C)	209	Όχι
<i>Arthrobotrys</i>	Ύψος Βροχής (mm)	99	Όχι
<i>Arthrobotrys</i>	Μέση Ταχύτητα Ανέμου (km/hr)	-284	Όχι
<i>Arthrobotrys</i>	Εδαφική Υγρασία (%)	172	Όχι
<i>Arthrobotrys</i>	Φαινομενικό ειδικό βάρος (g/cm ³)	-21	Όχι
<i>Arthrobotrys</i>	Νερό Κορεσμού Εδάφους (SP) (%)	169	Όχι
<i>Arthrobotrys</i>	Σημείο Μόνιμης Μάρανσης (PWP) (%)	172	Όχι
<i>Arthrobotrys</i>	Υδατοϊκανότητα (FC) (%)	169	Όχι
<i>Arthrobotrys</i>	Διαθέσιμο Νερό (%)	212	Όχι
<i>Arthrobotrys</i>	pH	-96	Όχι
<i>Arthrobotrys</i>	Ηλεκτρική Αγωγιμότητα (μS/cm)	116	Όχι
<i>Arthrobotrys</i>	Ολικό CaCO ₃ (%)	-255	Όχι
<i>Arthrobotrys</i>	Οργανική Ουσία (%)	-11	Όχι
<i>Arthrobotrys</i>	Ολικό Άζωτο (N) (%)	-359	Όχι
<i>Arthrobotrys</i>	Νιτρικό Άζωτο (NO ₃ -N) (mg/Kg)	12	Όχι
<i>Arthrobotrys</i>	Φωσφόρος (P) (mg/Kg)	-16	Όχι
<i>Arthrobotrys</i>	Ανταλλάξιμο Κάλιο (K) (mg/Kg)	538	Ναι
<i>Arthrobotrys</i>	Νάτριο (Na) (mg/Kg)	25	Όχι
<i>Arthrobotrys</i>	Ασβέστιο (Ca) (mg/kg)	256	Όχι

<i>Arthrobotrys</i>	Μαγνήσιο (Mg) (mg/kg)	-326	Όχι
<i>Arthrobotrys</i>	Σίδηρος (Fe) (mg/Kg)	8	Όχι
<i>Arthrobotrys</i>	Ψευδάργυρος (Zn) (mg/Kg)	197	Όχι
<i>Arthrobotrys</i>	Μαγνάνιο (Mn) (mg/Kg)	49	Όχι
<i>Arthrobotrys</i>	Χαλκός (Cu) (mg/Kg)	28	Όχι
<i>Arthrobotrys</i>	Βόριο (B) (mg/Kg)	124	Όχι
<i>Arthrobotrys</i>	Ικανότητα Ανταλλαγής Κατιόντων (C.E.C.) (cmolc/Kg)	324	Όχι
<i>Arthrobotrys</i>	Σχέση Άνθρακα / Αζώτου (C/N)	74	Όχι
<i>Arthrobotrys</i>	Βαθμός Αλκαλίωσης (E.S.P.) (%)	-342	Όχι
<i>Arthrobotrys</i>	Λόγος Απορρόφησης Νατρίου (S.A.R.)	-153	Όχι
<i>Arthrobotrys</i>	Αναλογία Καλίου προς Μαγνήσιο (K/Mg)	206	Όχι
<i>Arthrobotrys</i>	Αναλογία Ασβεστίου προς Μαγνήσιο (Ca/Mg)	233	Όχι
<i>Arthrobotrys</i>	Αναλογία Μαγνησίου προς Κάλιο (Mg/K)	-11	Όχι
<i>Arthrobotrys</i>	Αναλογία Ασβεστίου προς Κάλιο (Ca/K)	363	Όχι
<i>Arthrobotrys</i>	Αναλογία Ασβεστίου προς Μαγγάνιο (Ca/Mn)	379	Όχι
<i>Arthrobotrys</i>	Αναλογία Φωσφόρου προς Σίδηρο (P/Fe)	87	Όχι
<i>Arthrobotrys</i>	Χαλαζίας (Qz) Μέσο Ποσοστό	55	Όχι
<i>Arthrobotrys</i>	Πλαγιόκλαστα (plg) Μέσο Ποσοστό	-55	Όχι
<i>Arthrobotrys</i>	Αλκαλικοί Άστριοι (Kfs) Μέσο ποσοστό	55	Όχι
<i>Arthrobotrys</i>	Ασβεστίτης (Cc) Μέσο Ποσοστό	-55	Όχι
<i>Arthrobotrys</i>	Σμηκτίτης (Sm) Μέσο Ποσοστό	-55	Όχι
<i>Arthrobotrys</i>	Ιλλίτης (Il) Μέσο ποσοστό	55	Όχι
<i>Arthrobotrys</i>	Χλωρίτης/Σμηκτίτης Μικτής στρώσης Άργιλος Μέσο Ποσοστό	55	Όχι
<i>Arthrobotrys</i>	Σύνολο Αργιλικών Ορυκτών Μέσο ποσοστό	55	Όχι
<i>Beauveria</i>	Μέση θερμοκρασία (°C)	35	Όχι
<i>Beauveria</i>	Ύψος Βροχής (mm)	-132	Όχι
<i>Beauveria</i>	Μέση Ταχύτητα Ανέμου (km/hr)	71	Όχι
<i>Beauveria</i>	Εδαφική Υγρασία (%)	-365	Όχι
<i>Beauveria</i>	Φαινομενικό ειδικό βάρος (g/cm ³)	59	Όχι
<i>Beauveria</i>	Νερό Κορεσμού Εδάφους (SP) (%)	-55	Ναι
<i>Beauveria</i>	Σημείο Μόνιμης Μάρανσης (PWP) (%)	-524	Ναι
<i>Beauveria</i>	Υδατοϊκανότητα (FC) (%)	-55	Ναι
<i>Beauveria</i>	Διαθέσιμο Νερό (%)	-541	Ναι
<i>Beauveria</i>	pH	-447	Όχι
<i>Beauveria</i>	Ηλεκτρική Αγωγιμότητα (μs/cm)	341	Όχι
<i>Beauveria</i>	Ολικό CaCO ₃ (%)	-56	Όχι
<i>Beauveria</i>	Οργανική Ουσία (%)	-144	Όχι
<i>Beauveria</i>	Ολικό Άζωτο (N) (%)	106	Όχι
<i>Beauveria</i>	Νιτρικό Άζωτο (NO ₃ -N) (mg/Kg)	212	Όχι
<i>Beauveria</i>	Φωσφόρος (P) (mg/Kg)	409	Όχι
<i>Beauveria</i>	Ανταλλάξιμο Κάλιο (K) (mg/Kg)	-135	Όχι
<i>Beauveria</i>	Νάτριο (Na) (mg/Kg)	285	Όχι
<i>Beauveria</i>	Ασβέστιο (Ca) (mg/kg)	-612	Ναι
<i>Beauveria</i>	Μαγνήσιο (Mg) (mg/kg)	576	Ναι
<i>Beauveria</i>	Σίδηρος (Fe) (mg/Kg)	-38	Όχι
<i>Beauveria</i>	Ψευδάργυρος (Zn) (mg/Kg)	-44	Όχι

<i>Beauveria</i>	Μαγγανιο (Mn) (mg/Kg)	265	Όχι
<i>Beauveria</i>	Χαλκός (Cu) (mg/Kg)	218	Όχι
<i>Beauveria</i>	Βόριο (B) (mg/Kg)	-24	Όχι
<i>Beauveria</i>	Ικανότητα Ανταλλαγής Κατιόντων (C.E.C.) (cmolc/Kg)	147	Όχι
<i>Beauveria</i>	Σχέση Άνθρακα / Αζώτου (C/N)	-271	Όχι
<i>Beauveria</i>	Βαθμός Αλκαλίωσης (E.S.P.) (%)	5	Ναι
<i>Beauveria</i>	Λόγος Απορρόφησης Νατρίου (S.A.R.)	385	Όχι
<i>Beauveria</i>	Αναλογία Καλίου προς Μαγνήσιο (K/Mg)	-591	Ναι
<i>Beauveria</i>	Αναλογία Ασβεστίου προς Μαγνήσιο (Ca/Mg)	-615	Ναι
<i>Beauveria</i>	Αναλογία Μαγνησίου προς Κάλιο (Mg/K)	247	Όχι
<i>Beauveria</i>	Αναλογία Ασβεστίου προς Κάλιο (Ca/K)	-694	Ναι
<i>Beauveria</i>	Αναλογία Ασβεστίου προς Μαγγάνιο (Ca/Mn)	-759	Ναι
<i>Beauveria</i>	Αναλογία Φωσφόρου προς Σίδηρο (P/Fe)	291	Όχι
<i>Beauveria</i>	Χαλαζίας (Qz) Μέσο Ποσοστό	-461	Όχι
<i>Beauveria</i>	Πλαγιόκλαστα (plg) Μέσο Ποσοστό	461	Όχι
<i>Beauveria</i>	Αλκαλικοί Αστριοί (Kfs) Μέσο ποσοστό	-461	Όχι
<i>Beauveria</i>	Ασβεστίτης (Cc) Μέσο Ποσοστό	461	Όχι
<i>Beauveria</i>	Σμηκτίτης (Sm) Μέσο Ποσοστό	461	Όχι
<i>Beauveria</i>	Ιλλίτης (Il) Μέσο ποσοστό	-461	Όχι
<i>Beauveria</i>	Χλωρίτης/Σμηκτίτης Μικτής στρώσης Άργιλος Μέσο Ποσοστό	-461	Όχι
<i>Beauveria</i>	Σύνολο Αργιλικών Ορυκτών Μέσο ποσοστό	-461	Όχι
<i>Ascosphaera</i>	Μέση θερμοκρασία (°C)	25	Όχι
<i>Ascosphaera</i>	Ύψος Βροχής (mm)	-79	Όχι
<i>Ascosphaera</i>	Μέση Ταχύτητα Ανέμου (km/hr)	-488	Όχι
<i>Ascosphaera</i>	Εδαφική Υγρασία (%)	-597	Ναι
<i>Ascosphaera</i>	Φαινομενικό ειδικό βάρος (g/cm3)	-41	Όχι
<i>Ascosphaera</i>	Νερό Κορεσμού Εδάφους (SP) (%)	-503	Ναι
<i>Ascosphaera</i>	Σημείο Μόνιμης Μάρανσης (PWP) (%)	-515	Ναι
<i>Ascosphaera</i>	Υδατοϊκανότητα (FC) (%)	-503	Ναι
<i>Ascosphaera</i>	Διαθέσιμο Νερό (%)	-521	Ναι
<i>Ascosphaera</i>	pH	-371	Όχι
<i>Ascosphaera</i>	Ηλεκτρική Αγωγιμότητα (μs/cm)	221	Όχι
<i>Ascosphaera</i>	Ολικό CaCO ₃ (%)	-153	Όχι
<i>Ascosphaera</i>	Οργανική Ουσία (%)	-453	Όχι
<i>Ascosphaera</i>	Ολικό Άζωτο (N) (%)	288	Όχι
<i>Ascosphaera</i>	Νιτρικό Άζωτο (NO ₃ -N) (mg/Kg)	474	Όχι
<i>Ascosphaera</i>	Φωσφόρος (P) (mg/Kg)	268	Όχι
<i>Ascosphaera</i>	Ανταλλάξιμο Κάλιο (K) (mg/Kg)	-2	Όχι
<i>Ascosphaera</i>	Νάτριο (Na) (mg/Kg)	259	Όχι
<i>Ascosphaera</i>	Ασβέστιο (Ca) (mg/kg)	-388	Όχι
<i>Ascosphaera</i>	Μαγνήσιο (Mg) (mg/kg)	459	Όχι
<i>Ascosphaera</i>	Σίδηρος (Fe) (mg/Kg)	-176	Όχι
<i>Ascosphaera</i>	Ψευδάργυρος (Zn) (mg/Kg)	-241	Όχι
<i>Ascosphaera</i>	Μαγγανιο (Mn) (mg/Kg)	3	Όχι
<i>Ascosphaera</i>	Χαλκός (Cu) (mg/Kg)	206	Όχι
<i>Ascosphaera</i>	Βόριο (B) (mg/Kg)	-174	Όχι

<i>Ascosphaera</i>	Ικανότητα Ανταλλαγής Κατιόντων (C.E.C.) (cmolc/Kg)	-153	Όχι
<i>Ascosphaera</i>	Σχέση Άνθρακα / Αζώτου (C/N)	-465	Όχι
<i>Ascosphaera</i>	Βαθμός Αλκαλίωσης (E.S.P.) (%)	532	Ναι
<i>Ascosphaera</i>	Λόγος Απορρόφησης Νατρίου (S.A.R.)	247	Όχι
<i>Ascosphaera</i>	Αναλογία Καλίου προς Μαγνήσιο (K/Mg)	-609	Ναι
<i>Ascosphaera</i>	Αναλογία Ασβεστίου προς Μαγνήσιο (Ca/Mg)	-541	Ναι
<i>Ascosphaera</i>	Αναλογία Μαγνησίου προς Κάλιο (Mg/K)	462	Όχι
<i>Ascosphaera</i>	Αναλογία Ασβεστίου προς Κάλιο (Ca/K)	-462	Όχι
<i>Ascosphaera</i>	Αναλογία Ασβεστίου προς Μαγγάνιο (Ca/Mn)	-518	Ναι
<i>Ascosphaera</i>	Αναλογία Φωσφόρου προς Σίδηρο (P/Fe)	106	Όχι
<i>Ascosphaera</i>	Χαλαζίας (Qz) Μέσο Ποσοστό	-488	Όχι
<i>Ascosphaera</i>	Πλαγιόκλαστα (plg) Μέσο Ποσοστό	488	Όχι
<i>Ascosphaera</i>	Αλκαλικοί Άστριοι (Kfs) Μέσο ποσοστό	-488	Όχι
<i>Ascosphaera</i>	Ασβεστίτης (Cc) Μέσο Ποσοστό	488	Όχι
<i>Ascosphaera</i>	Σμηκτίτης (Sm) Μέσο Ποσοστό	488	Όχι
<i>Ascosphaera</i>	Ιλλίτης (Il) Μέσο ποσοστό	-488	Όχι
<i>Ascosphaera</i>	Χλωρίτης/Σμηκτίτης Μικτής στρώσης Άργιλος Μέσο Ποσοστό	-488	Όχι
<i>Ascosphaera</i>	Σύνολο Αργιλικών Ορυκτών Μέσο ποσοστό	-488	Όχι
<i>Clonostachys</i>	Μέση θερμοκρασία (°C)	-13	Όχι
<i>Clonostachys</i>	Ύψος Βροχής (mm)	-184	Όχι
<i>Clonostachys</i>	Μέση Ταχύτητα Ανέμου (km/hr)	-41	Όχι
<i>Clonostachys</i>	Εδαφική Υγρασία (%)	-28	Όχι
<i>Clonostachys</i>	Φαινομενικό ειδικό βάρος (g/cm ³)	205	Όχι
<i>Clonostachys</i>	Νερό Κορεσμού Εδάφους (SP) (%)	-475	Όχι
<i>Clonostachys</i>	Σημείο Μόνιμης Μάρανσης (PWP) (%)	-442	Όχι
<i>Clonostachys</i>	Υδατοϊκανότητα (FC) (%)	-475	Όχι
<i>Clonostachys</i>	Διαθέσιμο Νερό (%)	-471	Όχι
<i>Clonostachys</i>	pH	-281	Όχι
<i>Clonostachys</i>	Ηλεκτρική Αγωγιμότητα (μs/cm)	247	Όχι
<i>Clonostachys</i>	Ολικό CaCO ₃ (%)	2	Όχι
<i>Clonostachys</i>	Οργανική Ουσία (%)	-21	Όχι
<i>Clonostachys</i>	Ολικό Αζωτο (N) (%)	267	Όχι
<i>Clonostachys</i>	Νιτρικό Αζωτο (NO ₃ -N) (mg/Kg)	78	Όχι
<i>Clonostachys</i>	Φωσφόρος (P) (mg/Kg)	278	Όχι
<i>Clonostachys</i>	Ανταλλάξιμο Κάλιο (K) (mg/Kg)	-487	Όχι
<i>Clonostachys</i>	Νάτριο (Na) (mg/Kg)	225	Όχι
<i>Clonostachys</i>	Ασβέστιο (Ca) (mg/kg)	-542	Ναι
<i>Clonostachys</i>	Μαγνήσιο (Mg) (mg/kg)	391	Όχι
<i>Clonostachys</i>	Σίδηρος (Fe) (mg/Kg)	-218	Όχι
<i>Clonostachys</i>	Ψευδάργυρος (Zn) (mg/Kg)	-194	Όχι
<i>Clonostachys</i>	Μαγγάνιο (Mn) (mg/Kg)	118	Όχι
<i>Clonostachys</i>	Χαλκός (Cu) (mg/Kg)	44	Όχι
<i>Clonostachys</i>	Βόριο (B) (mg/Kg)	-35	Όχι
<i>Clonostachys</i>	Ικανότητα Ανταλλαγής Κατιόντων (C.E.C.) (cmolc/Kg)	-124	Όχι
<i>Clonostachys</i>	Σχέση Άνθρακα / Αζώτου (C/N)	-205	Όχι
<i>Clonostachys</i>	Βαθμός Αλκαλίωσης (E.S.P.) (%)	547	Ναι

<i>Clonostachys</i>	Λόγος Απορρόφησης Νατρίου (S.A.R.)	272	Όχι
<i>Clonostachys</i>	Αναλογία Καλίου προς Μαγνήσιο (K/Mg)	-322	Όχι
<i>Clonostachys</i>	Αναλογία Ασβεστίου προς Μαγνήσιο (Ca/Mg)	-337	Όχι
<i>Clonostachys</i>	Αναλογία Μαγνησίου προς Κάλιο (Mg/K)	138	Όχι
<i>Clonostachys</i>	Αναλογία Ασβεστίου προς Κάλιο (Ca/K)	-599	Ναι
<i>Clonostachys</i>	Αναλογία Ασβεστίου προς Μαγγάνιο (Ca/Mn)	-522	Ναι
<i>Clonostachys</i>	Αναλογία Φωσφόρου προς Σίδηρο (P/Fe)	127	Όχι
<i>Clonostachys</i>	Χαλαζίας (Qz) Μέσο Ποσοστό	-271	Όχι
<i>Clonostachys</i>	Πλαγιόκλαστα (plg) Μέσο Ποσοστό	271	Όχι
<i>Clonostachys</i>	Αλκαλικοί Άστριοι (Kfs) Μέσο ποσοστό	-271	Όχι
<i>Clonostachys</i>	Ασβεστίτης (Cc) Μέσο Ποσοστό	271	Όχι
<i>Clonostachys</i>	Σμηκτίτης (Sm) Μέσο Ποσοστό	271	Όχι
<i>Clonostachys</i>	Ιλλίτης (Il) Μέσο ποσοστό	-271	Όχι
<i>Clonostachys</i>	Χλωρίτης/Σμηκτίτης Μικτής στρώσης Αργίλος Μέσο Ποσοστό	-271	Όχι
<i>Clonostachys</i>	Σύνολο Αργιλικών Ορυκτών Μέσο ποσοστό	-271	Όχι
<i>Cordyceps</i>	Μέση θερμοκρασία (°C)	175	Όχι
<i>Cordyceps</i>	Ύψος Βροχής (mm)	-215	Όχι
<i>Cordyceps</i>	Μέση Ταχύτητα Ανέμου (km/hr)	-322	Όχι
<i>Cordyceps</i>	Εδαφική Υγρασία (%)	313	Όχι
<i>Cordyceps</i>	Φαινομενικό ειδικό βάρος (g/cm ³)	-166	Όχι
<i>Cordyceps</i>	Νερό Κορεσμού Εδάφους (SP) (%)	43	Όχι
<i>Cordyceps</i>	Σημείο Μόνιμης Μάρανσης (PWP) (%)	433	Όχι
<i>Cordyceps</i>	Υδατοϊκανότητα (FC) (%)	43	Όχι
<i>Cordyceps</i>	Διαθέσιμο Νερό (%)	448	Όχι
<i>Cordyceps</i>	pH	534	Ναι
<i>Cordyceps</i>	Ηλεκτρική Αγωγιμότητα (μS/cm)	-448	Όχι
<i>Cordyceps</i>	Ολικό CaCO ₃ (%)	-375	Όχι
<i>Cordyceps</i>	Οργανική Ουσία (%)	206	Όχι
<i>Cordyceps</i>	Ολικό Άζωτο (N) (%)	-403	Όχι
<i>Cordyceps</i>	Νιτρικό Άζωτο (NO ₃ -N) (mg/Kg)	-485	Όχι
<i>Cordyceps</i>	Φωσφόρος (P) (mg/Kg)	-682	Ναι
<i>Cordyceps</i>	Ανταλλάξιμο Κάλιο (K) (mg/Kg)	15	Όχι
<i>Cordyceps</i>	Νάτριο (Na) (mg/Kg)	-645	Ναι
<i>Cordyceps</i>	Ασβέστιο (Ca) (mg/kg)	491	Όχι
<i>Cordyceps</i>	Μαγνήσιο (Mg) (mg/kg)	-777	Ναι
<i>Cordyceps</i>	Σίδηρος (Fe) (mg/Kg)	16	Όχι
<i>Cordyceps</i>	Ψευδάργυρος (Zn) (mg/Kg)	-353	Όχι
<i>Cordyceps</i>	Μαγγάνιο (Mn) (mg/Kg)	-669	Ναι
<i>Cordyceps</i>	Χαλκός (Cu) (mg/Kg)	-565	Ναι
<i>Cordyceps</i>	Βόριο (B) (mg/Kg)	-338	Όχι
<i>Cordyceps</i>	Ικανότητα Ανταλλαγής Κατιόντων (C.E.C.) (cmolc/Kg)	8	Όχι
<i>Cordyceps</i>	Σχέση Άνθρακα / Αζώτου (C/N)	596	Ναι
<i>Cordyceps</i>	Βαθμός Αλκαλίωσης (E.S.P.) (%)	-51	Ναι
<i>Cordyceps</i>	Λόγος Απορρόφησης Νατρίου (S.A.R.)	-568	Ναι
<i>Cordyceps</i>	Αναλογία Καλίου προς Μαγνήσιο (K/Mg)	583	Ναι
<i>Cordyceps</i>	Αναλογία Ασβεστίου προς Μαγνήσιο (Ca/Mg)	519	Ναι

<i>Cordyceps</i>	Αναλογία Μαγνησίου προς Κάλιο (Mg/K)	-586	Ναι
<i>Cordyceps</i>	Αναλογία Ασβεστίου προς Κάλιο (Ca/K)	547	Ναι
<i>Cordyceps</i>	Αναλογία Ασβεστίου προς Μαγγάνιο (Ca/Mn)	522	Ναι
<i>Cordyceps</i>	Αναλογία Φωσφόρου προς Σίδηρο (P/Fe)	-525	Ναι
<i>Cordyceps</i>	Χαλαζία (Qz) Μέσο Ποσοστό	594	Ναι
<i>Cordyceps</i>	Πλαγιόκλαστα (plg) Μέσο Ποσοστό	-594	Ναι
<i>Cordyceps</i>	Αλκαλικοί Άστριοι (Kfs) Μέσο ποσοστό	594	Ναι
<i>Cordyceps</i>	Ασβεστίτης (Cc) Μέσο Ποσοστό	-594	Ναι
<i>Cordyceps</i>	Σμηκτίτης (Sm) Μέσο Ποσοστό	-594	Ναι
<i>Cordyceps</i>	Ιλλίτης (Il) Μέσο ποσοστό	594	Ναι
<i>Cordyceps</i>	Χλωρίτης/Σμηκτίτης Μικτής στρώσης Άργιλος Μέσο Ποσοστό	594	Ναι
<i>Cordyceps</i>	Σύνολο Αργιλικών Ορυκτών Μέσο ποσοστό	594	Ναι
<i>Metarhizium</i>	Μέση θερμοκρασία (°C)	267	Όχι
<i>Metarhizium</i>	Ύψος Βροχής (mm)	-198	Όχι
<i>Metarhizium</i>	Μέση Ταχύτητα Ανέμου (km/hr)	242	Όχι
<i>Metarhizium</i>	Εδαφική Υγρασία (%)	164	Όχι
<i>Metarhizium</i>	Φαινομενικό ειδικό βάρος (g/cm3)	-39	Όχι
<i>Metarhizium</i>	Νερό Κορεσμού Εδάφους (SP) (%)	324	Όχι
<i>Metarhizium</i>	Σημείο Μόνιμης Μάρανσης (PWP) (%)	354	Όχι
<i>Metarhizium</i>	Υδατοϊκανότητα (FC) (%)	324	Όχι
<i>Metarhizium</i>	Διαθέσιμο Νερό (%)	354	Όχι
<i>Metarhizium</i>	pH	302	Όχι
<i>Metarhizium</i>	Ηλεκτρική Αγωγιμότητα (μs/cm)	-233	Όχι
<i>Metarhizium</i>	Ολικό CaCO ₃ (%)	-73	Όχι
<i>Metarhizium</i>	Οργανική Ουσία (%)	492	Όχι
<i>Metarhizium</i>	Ολικό Αζωτο (N) (%)	-272	Όχι
<i>Metarhizium</i>	Νιτρικό Αζωτο (NO ₃ -N) (mg/Kg)	-634	Ναι
<i>Metarhizium</i>	Φωσφόρος (P) (mg/Kg)	-419	Όχι
<i>Metarhizium</i>	Ανταλλάξιμο Κάλιο (K) (mg/Kg)	-78	Όχι
<i>Metarhizium</i>	Νάτριο (Na) (mg/Kg)	-384	Όχι
<i>Metarhizium</i>	Ασβέστιο (Ca) (mg/kg)	298	Όχι
<i>Metarhizium</i>	Μαγνήσιο (Mg) (mg/kg)	-298	Όχι
<i>Metarhizium</i>	Σίδηρος (Fe) (mg/Kg)	-4	Όχι
<i>Metarhizium</i>	Ψευδάργυρος (Zn) (mg/Kg)	-319	Όχι
<i>Metarhizium</i>	Μαγγάνιο (Mn) (mg/Kg)	-496	Όχι
<i>Metarhizium</i>	Χαλκός (Cu) (mg/Kg)	-587	Ναι
<i>Metarhizium</i>	Βόριο (B) (mg/Kg)	-38	Όχι
<i>Metarhizium</i>	Ικανότητα Ανταλλαγής Κατιόντων (C.E.C.) (cmolc/Kg)	3	Όχι
<i>Metarhizium</i>	Σχέση Άνθρακα / Αζώτου (C/N)	552	Ναι
<i>Metarhizium</i>	Βαθμός Αλκαλίωσης (E.S.P.) (%)	-367	Όχι
<i>Metarhizium</i>	Λόγος Απορρόφησης Νατρίου (S.A.R.)	-444	Όχι
<i>Metarhizium</i>	Αναλογία Καλίου προς Μαγνήσιο (K/Mg)	375	Όχι
<i>Metarhizium</i>	Αναλογία Ασβεστίου προς Μαγνήσιο (Ca/Mg)	38	Όχι
<i>Metarhizium</i>	Αναλογία Μαγνησίου προς Κάλιο (Mg/K)	-677	Ναι
<i>Metarhizium</i>	Αναλογία Ασβεστίου προς Κάλιο (Ca/K)	267	Όχι
<i>Metarhizium</i>	Αναλογία Ασβεστίου προς Μαγγάνιο (Ca/Mn)	332	Όχι

<i>Metarhizium</i>	Αναλογία Φωσφόρου προς Σίδηρο (P/Fe)	-371	Όχι
<i>Metarhizium</i>	Χαλαζίας (Qz) Μέσο Ποσοστό	477	Όχι
<i>Metarhizium</i>	Πλαγιόκλαστα (plg) Μέσο Ποσοστό	-477	Όχι
<i>Metarhizium</i>	Αλκαλικοί Αστριοί (Kfs) Μέσο ποσοστό	477	Όχι
<i>Metarhizium</i>	Ασβεστίτης (Cc) Μέσο Ποσοστό	-477	Όχι
<i>Metarhizium</i>	Σμηκτίτης (Sm) Μέσο Ποσοστό	-477	Όχι
<i>Metarhizium</i>	Ιλλίτης (Il) Μέσο ποσοστό	477	Όχι
<i>Metarhizium</i>	Χλωρίτης/Σμηκτίτης Μικτής στρώσης Αργίλος Μέσο Ποσοστό	477	Όχι
<i>Metarhizium</i>	Σύνολο Αργυλικών Ορυκτών Μέσο ποσοστό	477	Όχι
<i>Sporodiniella</i>	Μέση θερμοκρασία (°C)	235	Όχι
<i>Sporodiniella</i>	Ύψος Βροχής (mm)	-157	Όχι
<i>Sporodiniella</i>	Μέση Ταχύτητα Ανέμου (km/hr)	8	Όχι
<i>Sporodiniella</i>	Εδαφική Υγρασία (%)	171	Όχι
<i>Sporodiniella</i>	Φαινομενικό ειδικό βάρος (g/cm3)	-463	Όχι
<i>Sporodiniella</i>	Νερό Κορεσμού Εδάφους (SP) (%)	673	Ναι
<i>Sporodiniella</i>	Σημείο Μόνιμης Μάρανσης (PWP) (%)	679	Ναι
<i>Sporodiniella</i>	Υδατοϊκανότητα (FC) (%)	673	Ναι
<i>Sporodiniella</i>	Διαθέσιμο Νερό (%)	679	Ναι
<i>Sporodiniella</i>	pH	571	Ναι
<i>Sporodiniella</i>	Ηλεκτρική Αγωγιμότητα (μs/cm)	-669	Ναι
<i>Sporodiniella</i>	Ολικό CaCO ₃ (%)	-358	Όχι
<i>Sporodiniella</i>	Οργανική Ουσία (%)	466	Όχι
<i>Sporodiniella</i>	Ολικό Άζωτο (N) (%)	-552	Ναι
<i>Sporodiniella</i>	Νιτρικό Άζωτο (NO ₃ -N) (mg/Kg)	-683	Ναι
<i>Sporodiniella</i>	Φωσφόρος (P) (mg/Kg)	-787	Ναι
<i>Sporodiniella</i>	Ανταλλάξιμο Κάλιο (K) (mg/Kg)	-91	Όχι
<i>Sporodiniella</i>	Νάτριο (Na) (mg/Kg)	-787	Ναι
<i>Sporodiniella</i>	Ασβέστιο (Ca) (mg/kg)	681	Ναι
<i>Sporodiniella</i>	Μαγνήσιο (Mg) (mg/kg)	-649	Ναι
<i>Sporodiniella</i>	Σίδηρος (Fe) (mg/Kg)	455	Όχι
<i>Sporodiniella</i>	Ψευδάργυρος (Zn) (mg/Kg)	-509	Ναι
<i>Sporodiniella</i>	Μαγγάνιο (Mn) (mg/Kg)	-71	Ναι
<i>Sporodiniella</i>	Χαλκός (Cu) (mg/Kg)	-826	Ναι
<i>Sporodiniella</i>	Βόριο (B) (mg/Kg)	-559	Ναι
<i>Sporodiniella</i>	Ικανότητα Ανταλλαγής Κατιόντων (C.E.C.) (cmolc/Kg)	-37	Όχι
<i>Sporodiniella</i>	Σχέση Άνθρακα / Αζώτου (C/N)	838	Ναι
<i>Sporodiniella</i>	Βαθμός Αλκαλίωσης (E.S.P.) (%)	-519	Ναι
<i>Sporodiniella</i>	Λόγος Απορρόφησης Νατρίου (S.A.R.)	-782	Ναι
<i>Sporodiniella</i>	Αναλογία Καλίου προς Μαγνήσιο (K/Mg)	51	Ναι
<i>Sporodiniella</i>	Αναλογία Ασβεστίου προς Μαγνήσιο (Ca/Mg)	455	Όχι
<i>Sporodiniella</i>	Αναλογία Μαγνησίου προς Κάλιο (Mg/K)	-777	Ναι
<i>Sporodiniella</i>	Αναλογία Ασβεστίου προς Κάλιο (Ca/K)	559	Ναι
<i>Sporodiniella</i>	Αναλογία Ασβεστίου προς Μαγγάνιο (Ca/Mn)	507	Ναι
<i>Sporodiniella</i>	Αναλογία Φωσφόρου προς Σίδηρο (P/Fe)	-767	Ναι
<i>Sporodiniella</i>	Χαλαζίας (Qz) Μέσο Ποσοστό	748	Ναι
<i>Sporodiniella</i>	Πλαγιόκλαστα (plg) Μέσο Ποσοστό	-748	Ναι

<i>Sporodiniella</i>	Αλκαλικοί Άστριοι (Kfs) Μέσο ποσοστό	748	Ναι
<i>Sporodiniella</i>	Ασβεστίτης (Cc) Μέσο Ποσοστό	-748	Ναι
<i>Sporodiniella</i>	Σμηκτίτης (Sm) Μέσο Ποσοστό	-748	Ναι
<i>Sporodiniella</i>	Ιλλίτης (Il) Μέσο ποσοστό	748	Ναι
<i>Sporodiniella</i>	Χλωρίτης/Σμηκτίτης Μικτής στρώσης Άργιλος Μέσο Ποσοστό	748	Ναι
<i>Sporodiniella</i>	Σύνολο Αργιλικών Ορυκτών Μέσο ποσοστό	748	Ναι
<i>Verticillium</i>	Μέση θερμοκρασία (°C)	182	Όχι
<i>Verticillium</i>	Ύψος Βροχής (mm)	-81	Όχι
<i>Verticillium</i>	Μέση Ταχύτητα Ανέμου (km/hr)	-352	Όχι
<i>Verticillium</i>	Εδαφική Υγρασία (%)	269	Όχι
<i>Verticillium</i>	Φαινομενικό ειδικό βάρος (g/cm ³)	145	Όχι
<i>Verticillium</i>	Νερό Κορεσμού Εδάφους (SP) (%)	363	Όχι
<i>Verticillium</i>	Σημείο Μόνιμης Μάρανσης (PWP) (%)	4	Όχι
<i>Verticillium</i>	Υδατοϊκανότητα (FC) (%)	363	Όχι
<i>Verticillium</i>	Διαθέσιμο Νερό (%)	4	Όχι
<i>Verticillium</i>	pH	334	Όχι
<i>Verticillium</i>	Ηλεκτρική Αγωγιμότητα (μs/cm)	-261	Όχι
<i>Verticillium</i>	Ολικό CaCO ₃ (%)	-83	Όχι
<i>Verticillium</i>	Οργανική Ουσία (%)	473	Όχι
<i>Verticillium</i>	Ολικό Άζωτο (N) (%)	-183	Όχι
<i>Verticillium</i>	Νιτρικό Άζωτο (NO ₃ -N) (mg/Kg)	-502	Ναι
<i>Verticillium</i>	Φωσφόρος (P) (mg/Kg)	-431	Όχι
<i>Verticillium</i>	Ανταλλάξιμο Κάλιο (K) (mg/Kg)	-6	Όχι
<i>Verticillium</i>	Νάτριο (Na) (mg/Kg)	-489	Όχι
<i>Verticillium</i>	Ασβέστιο (Ca) (mg/kg)	257	Όχι
<i>Verticillium</i>	Μαγνήσιο (Mg) (mg/kg)	-56	Ναι
<i>Verticillium</i>	Σίδηρος (Fe) (mg/Kg)	85	Όχι
<i>Verticillium</i>	Ψευδάργυρος (Zn) (mg/Kg)	-332	Όχι
<i>Verticillium</i>	Μαγγάνιο (Mn) (mg/Kg)	-506	Ναι
<i>Verticillium</i>	Χαλκός (Cu) (mg/Kg)	-435	Όχι
<i>Verticillium</i>	Βόριο (B) (mg/Kg)	-241	Όχι
<i>Verticillium</i>	Ικανότητα Ανταλλαγής Κατιόντων (C.E.C.) (cmolc/Kg)	-253	Όχι
<i>Verticillium</i>	Σχέση Άνθρακα / Αζώτου (C/N)	522	Ναι
<i>Verticillium</i>	Βαθμός Αλκαλίωσης (E.S.P.) (%)	-388	Όχι
<i>Verticillium</i>	Λόγος Απορρόφησης Νατρίου (S.A.R.)	-402	Όχι
<i>Verticillium</i>	Αναλογία Καλίου προς Μαγνήσιο (K/Mg)	537	Ναι
<i>Verticillium</i>	Αναλογία Ασβεστίου προς Μαγνήσιο (Ca/Mg)	5	Ναι
<i>Verticillium</i>	Αναλογία Μαγνησίου προς Κάλιο (Mg/K)	-553	Ναι
<i>Verticillium</i>	Αναλογία Ασβεστίου προς Κάλιο (Ca/K)	508	Ναι
<i>Verticillium</i>	Αναλογία Ασβεστίου προς Μαγγάνιο (Ca/Mn)	495	Όχι
<i>Verticillium</i>	Αναλογία Φωσφόρου προς Σίδηρο (P/Fe)	-442	Όχι
<i>Verticillium</i>	Χαλαζίας (Qz) Μέσο Ποσοστό	57	Ναι
<i>Verticillium</i>	Πλαγιόκλαστα (plg) Μέσο Ποσοστό	-57	Ναι
<i>Verticillium</i>	Αλκαλικοί Άστριοι (Kfs) Μέσο ποσοστό	57	Ναι
<i>Verticillium</i>	Ασβεστίτης (Cc) Μέσο Ποσοστό	-57	Ναι
<i>Verticillium</i>	Σμηκτίτης (Sm) Μέσο Ποσοστό	-57	Ναι

<i>Verticillium</i>	Ιλλίτης (II) Μέσο ποσοστό	57	Ναι
<i>Verticillium</i>	Χλωρίτης/Σμηκτικής Μικτής στρώσης Άργιλος Μέσο Ποσοστό	57	Ναι
<i>Verticillium</i>	Σύνολο Αργιλικών Ορυκτών Μέσο ποσοστό	57	Ναι

ΣΥΝΤΟΜΟ ΒΙΟΓΡΑΦΙΚΟ ΣΗΜΕΙΩΜΑ

Ο Ιωάννης Λαγωγιάννης είναι γεωπόνος με εξειδίκευση στη φυτοπροστασία, τη βιολογική γεωργία και την ταυτοποίηση εντομοπαθογόνων μυκήτων και άλλων ωφέλιμων μικροοργανισμών του εδάφους. Διαθέτει περισσότερα από 26 χρόνια συνεχούς εμπειρίας στην υλοποίηση και τον συντονισμό μεγάλων, διεπιστημονικών ερευνητικών και τεχνολογικών έργων σε εθνικό και ευρωπαϊκό επίπεδο.

Από το 2022 υπηρετεί ως Προϊστάμενος της Σχολής Ανώτερης Επαγγελματικής Κατάρτισης Κορίνθου (Γεωργική Σχολή Νεμέας), ενώ παράλληλα είναι μέλος του ερευνητικού προσωπικού του Τμήματος Φυτοπροστασίας του Ινστιτούτου Βιομηχανικών και Κτηνοτροφικών Φυτών του ΕΛΓΟ-ΔΗΜΗΤΡΑ. Στο πλαίσιο αυτό έχει αποδεδειγμένη εμπειρία στη διαχείριση έργων, την αξιοποίηση ερευνητικών αποτελεσμάτων και τη μεταφορά γνώσης.

Έχει συμμετάσχει σε πολυάριθμα ανταγωνιστικά προγράμματα (Interreg, Leonardo da Vinci, SEEERANET, Ερευνώ–Δημιουργώ–Καινοτομώ) και έχει διατελέσει επιστημονικά υπεύθυνος σε δράσεις κατάρτισης και εκπαίδευσης ενηλίκων στον πρωτογενή τομέα, ως Υπεύθυνος Υλοποίησης του ΕΛΓΟ-ΔΗΜΗΤΡΑ στους Νομούς Αχαΐας και Κορινθίας. Διαθέτει εκτενή εμπειρία στην εφαρμογή μοριακών και ανοσοχημικών τεχνικών και στη χρήση βιοτεχνολογικών εργαλείων για την ταυτοποίηση μικροοργανισμών με στόχο την ενίσχυση της φυτοπροστασίας και της αγροτικής παραγωγής.

Αποτελεί βασικό μέλος των Τακτικών Κλιμακίων Ελέγχων του ΕΛΓΟ-ΔΗΜΗΤΡΑ και έχει αναπτύξει σημαντική ερευνητική και διδακτική δραστηριότητα σε πανεπιστημιακά και τεχνολογικά ιδρύματα. Είναι κάτοχος Μεταπτυχιακού Διπλώματος Ειδίκευσης στην Πιστοποίηση Αγροτικών Προϊόντων από το Πανεπιστήμιο Ιωαννίνων, με έμφαση στις αλληλεπιδράσεις φυτών–μικροοργανισμών στο έδαφος, και πιστοποιημένος εκπαιδευτής ενηλίκων από τον ΕΟΠΠΕΠ.

Οι επιστημονικές του δραστηριότητες έχουν οδηγήσει σε 36 δημοσιεύσεις σε διεθνή περιοδικά υψηλού κύρους (<https://bit.ly/3UCFlnt>), ενώ δραστηριοποιείται και ως κριτής σε διεθνή επιστημονικά περιοδικά (MDPI, *Fungal Biology*). Θα ήθελα να σας ενημερώσω ότι μέρος της παρούσας διδακτορικής διατριβής έχει ήδη δημοσιευθεί στο

επιστημονικό περιοδικό *Diversity* (MDPI) [ISSN 1424-2818], με τίτλο: First Record of *Beauveria varroae*, *Cordyceps blackwelliae*, and *Purpureocillium lavendulum* from Greece and Their Pathogenicity against *Thaumetopoea pityocampa*, *Diversity* 2023, 15(3), 312; <https://doi.org/10.3390/d15030312> (5-Year Impact Factor: 2.3, 2024).