



ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ  
ΠΑΤΡΩΝ  
UNIVERSITY OF PATRAS

**Σχολή Γεωπονικών Επιστημών  
Τμήμα Γεωπονίας**

**Θέμα Εργασίας  
«Η σημασία της βιοποικιλότητας του εδάφους: Προκλήσεις  
και δυνατότητες. Επισκόπηση για το έτος 2021»  
State of knowledge of soil biodiversity - Status, challenges,  
and potentialities**

**Πάσιου Σοφία-Λουκία**

**Επιβλέπων:  
Μπαρούχας Παντελής, Αναπληρωτής Καθηγητής**

**2021**

## Πρόλογος-Περίληψη

Σκοπός της παρούσας μελέτης είναι η κατανόηση των εδαφών και η ζωή που υπάρχει μέσα σε αυτά σε παγκόσμιο επίπεδο. Η ευημερία μας και τα μέσα διαβίωσης των ανθρώπινων κοινωνιών εξαρτώνται σε μεγάλο βαθμό από τη βιοποικιλότητα και τις υπηρεσίες του οικοσυστήματος που παρέχει. Είναι αναγκαίο να κατανοήσουμε αυτούς τους δεσμούς και τις συνέπειες της απώλειας βιοποικιλότητας για τις διάφορες παγκόσμιες προκλήσεις που αντιμετωπίζουμε σήμερα, συμπεριλαμβανομένης της, της κλιματικής αλλαγής, της φτώχειας και των ασθενειών.

Τα εδάφη είναι σημαντικά για την ανθρώπινη επιβίωση και υποστηρίζουν πολλούς τομείς της οικονομίας. Υπολογίζεται ότι το 99% των τροφίμων στο κόσμο προέρχεται από το χερσαίο περιβάλλον. Τα εδάφη όμως, φιλοξενούν πάνω από το ένα τέταρτο της παγκόσμιας βιοποικιλότητας. Στο έδαφος κατοικούν εκατομμύρια οργανισμοί που προωθούν βασικές υπηρεσίες οικοσυστημάτων από την ανάπτυξη των φυτών έως την παραγωγή τροφίμων. Προωθούν τη ρύθμιση των κύκλων των θρεπτικών ουσιών, ωφελούν την ανθρώπινη υγεία, υποστηρίζουν τη βιοποικιλότητα που με την σειρά τους επηρεάζουν το κλίμα και αντιπροσωπεύουν ένα ανεξερεύνητο κεφάλαιο φυσικών πηγών.

Στην πρώτη ενότητα περιγράφονται οι παράγοντες που καθορίζουν τα κύρια χαρακτηριστικά του περιβάλλοντος όπως επίσης και οι τους παράγοντες σχηματισμού του εδάφους και ο τρόπος με τον οποίο τα εδάφη ποικίλλουν σε παγκόσμια κλίμακα. Επίσης παρουσιάζει μια περιγραφή των κύριων ομάδων οργανισμών του εδάφους, ξεκινώντας από τους μικρότερους οργανισμούς, δηλαδή τα βακτήρια, στη συνέχεια μύκητες, ιούς και τέλος τα φύκια.

Η δεύτερη ενότητα περιγράφει την ιστορία και την σημασία της βιοποικιλότητας από το 1979. Η βιοποικιλότητα του εδάφους, υφίσταται όλο και περισσότερο πίεση από τις απειλές του εδάφους, όπως είναι η μόλυνση, η αλάτωση, η στεγανοποίηση και η διάβρωση. Αυτά τα γεγονότα απειλούν τη βιοποικιλότητα του εδάφους με καταστροφή ή συμβιβασμό του οικοτόπου του εδάφους. Επίσης παρουσιάζονται και οι χάρτες δυνητικού κινδύνου για τη βιοποικιλότητα του εδάφους στην Ευρώπη όπου αναγράφεται η κατανομή των πιθανών απειλών του εδάφους.

Στο τρίτο κεφάλαιο αναφέρονται οι απειλές της βιοποικιλότητας του εδάφους από μια σειρά πιέσεων όπως η ρύπανση, η όξινη βροχή και η υπερφόρτωση

θρεπτικών ουσιών, οι γεωργικές πρακτικές, οι πυρκαγιές, η διάβρωση του εδάφους, η κλιματική αλλαγή και ποια μέτρα μπορούν να ληφθούν για την προστασία των οργανισμών του εδάφους και τέλος παραθέτονται κάποια αποσπάσματα από χάρτες οι οποίοι αναγράφουν πιθανές απειλές για τη βιοποικιλότητα του εδάφους για το έτος 2021.

Η τέταρτη ενότητα αναφέρει τις μεθόδους για την προστασία της βιοποικιλότητας του εδάφους, όπως η βιοθεραπεία εδάφους, η διαφοροποίηση των καλλιεργήσιμων εκτάσεων, η αναδάσωση, η διαχείριση πυρκαγιάς και ο έλεγχος διάβρωσης εδάφους.

Στο πέμπτο κεφάλαιο γίνεται αναφορά στην απώλεια της βιοποικιλότητας του εδάφους με το πέρασ του χρόνου και σχετίζεται συνήθως με κάποια άλλη επιδείνωση της ποιότητας του εδάφους και στο επίπεδο της περιοχής είναι σαφές ότι η βιοποικιλότητα μειώνεται. Επίσης αναφέρεται η διαχείριση και οι προτεινόμενες λύσεις και τέλος οι μελλοντικοί κίνδυνοι της βιοποικιλότητας του εδάφους.

Η εργασία αυτή, παρουσιάζει την κατάσταση της γνώσης για τη βιοποικιλότητα του εδάφους, τις λύσεις που μπορεί να προσφέρει η βιοποικιλότητα του εδάφους στα προβλήματα σε διάφορους τομείς, όπως η προστασία του περιβάλλοντος, η γεωργία, η μείωση της κλιματικής αλλαγής, η ιατρική, τα φαρμακευτικά προϊόντα, η αποκατάσταση των μολυσμένων περιοχών και πολλά άλλα.

Τέλος, συμβάλει πολύτιμα στην ευαισθητοποίηση σχετικά με τη σημασία της βιοποικιλότητας του εδάφους και αυξάνεται το ρόλο της στην εύρεση λύσεων στις σημερινές παγκόσμιες απειλές. Η βιοποικιλότητα του εδάφους θα μπορούσε να αποτελέσει, εάν δημιουργηθεί ένα κατάλληλο περιβάλλον, μια πραγματική λύση βασισμένη στη φύση στα περισσότερα από τα προβλήματα που αντιμετωπίζει η ανθρωπότητα σήμερα, από το πεδίο στην παγκόσμια κλίμακα. Επομένως, οι προσπάθειες διατήρησης και προστασίας της βιοποικιλότητας θα πρέπει να περιλαμβάνουν τη μεγάλη ποικιλία οργανισμών του εδάφους που αποτελούν περισσότερο από το 25% της συνολικής βιοποικιλότητας του πλανήτη μας.

*«Το περιεχόμενο της παρούσης εργασίας δεν απηχεί απαραίτητα τις απόψεις του Τμήματος ή της επιτροπής που την ενέκρινε»*

## **Introduction- Summary**

The purpose of this study is to understand the soils and the life that exists in them worldwide. Our well-being and the means of subsistence of human societies depend to a large extent on the biodiversity and ecosystem services it provides. It is essential that we understand these links and the implications of biodiversity loss for the various global challenges we face today, including climate change, poverty and disease.

Soils are important for human survival and support many sectors of the economy. It is estimated that 99% of the world's food comes from the terrestrial environment. Soils, however, are home to more than a quarter of the world's biodiversity. The soil is home to millions of organisms that promote basic ecosystem services from plant growth to food production. They promote the regulation of nutrient cycles, benefit human health, support biodiversity which in turn affects the climate and represents an unexplored capital of natural resources.

The first section describes the factors that determine the main characteristics of the environment by describing the factors of soil formation and the way in which soils vary globally. It also presents a description of the main groups of soil organisms. Starting with the smallest organisms, namely bacteria, then fungi, viruses and finally algae.

The second section describes the history and importance of biodiversity since 1979. Soil biodiversity is increasingly under pressure due to threats to the soil, such as contamination, salinization, waterlogging and erosion. These events threaten soil biodiversity by destroying or compromising the soil habitat. Potential risk maps for soil biodiversity in Europe are also listed, showing the distribution of potential soil threat.

The third chapter discusses the threats to soil biodiversity from a range of pressures such as pollution, acid rain and nutrient overload, agricultural practices, fires, soil erosion, climate change and what measures can be taken to protection of soil organisms and finally, some excerpts from maps are listed which indicate possible threats to soil biodiversity for the year 2021.

The fourth section lists methods for protecting soil biodiversity, such as soil biotherapy, arable land diversification, reforestation, fire management and soil erosion control.

The fifth chapter refers to the loss of soil biodiversity over time where it is usually associated with some other deterioration of soil quality and at the area level, it is clear that biodiversity is declining. The management and the proposed solutions are mentioned and finally the future risks of the soil biodiversity.

This paper presents the state of knowledge about soil biodiversity, the solutions that soil biodiversity can offer to problems in various fields, such as environmental protection, agriculture, climate change mitigation, medicine, medicines, the restoration of infected areas and many more.

Finally, it makes a valuable contribution to raising awareness of the importance of soil biodiversity and increases its role in finding solutions to today's global threats. Soil biodiversity could be, if a suitable environment is created, a real solution based on nature to most of the problems facing humanity today, from the field on a global scale. Therefore, efforts to conserve and protect biodiversity should include the wide variety of soil organisms that make up more than 25% of our planet's total biodiversity.



## Περιεχόμενα

Πρόλογος-Περίληψη

Κεφάλαιο 1   Έδαφος, Βιοποικιλότητα εδάφους και Οργανισμοί.....	7
1.1. Το έδαφος και η προέλευση των εδαφών.....	7
1.2. Η βιοποικιλότητα του εδάφους.....	9
1.3. Ποικιλομορφία και αφθονία των οργανισμών του εδάφους.....	11
1.3.1. Βακτήρια.....	12
1.3.2. Μύκητες.....	15
1.3.3. Ιοί.....	20
1.3.4. Φύκια.....	23
Κεφάλαιο 2   Η ιστορία , η σημασία και οι πιθανές οδηγίες για την προστασία της βιοποικιλότητας του εδάφους.....	29
2.1. Η ιστορία και ο ρόλος της βιοποικιλότητας του εδάφους.....	29
2.2. Η σημασία και η αξία για την μελέτη της βιοποικιλότητας του εδάφους.....	31
2.3. Πιθανές οδηγίες για την προστασία της βιοποικιλότητας του εδάφους.....	33
Κεφάλαιο 3   Οι απειλές της βιοποικιλότητας του εδάφους.....	36
3.1. Ρύπανση.....	36
3.2. Όξινη βροχή και υπερφόρτωση θρεπτικών ουσιών.....	38
3.3. Γεωργικές πρακτικές.....	43
3.4. Πυρκαγιές.....	50
3.5. Διάβρωση του εδάφους.....	54
3.6. Κλιματική αλλαγή.....	58
3.7. Χάρτες πιθανών απειλών για τη βιοποικιλότητα του εδάφους το έτος 2021.....	62
Κεφάλαιο 4   Μέθοδοι για την προστασία της βιοποικιλότητας του εδάφους.....	66

4.1. Βιοθεραπεία εδάφους.....	66
4.2. Διαφοροποίηση των καλλιεργήσιμων εκτάσεων.....	68
4.3. Αναδάσωση.....	73
4.4. Διαχείριση πυρκαγιάς.....	78
4.5. Έλεγχος διάβρωσης εδάφους.....	82
Κεφάλαιο 5 Απώλεια, διαχείριση, προτεινόμενες λύσεις και οι μελλοντικοί κίνδυνοι της βιοποικιλότητας του εδάφους.....	87
5.1. Απώλεια της βιοποικιλότητας του εδάφους.....	87
5.2. Διαχείριση της βιοποικιλότητας του εδάφους.....	89
5.3. Προτεινόμενες λύσεις σε συγκεκριμένα προβλήματα σχετικά με την βιοποικιλότητα του εδάφους.....	93
5.4. Μελλοντικοί κίνδυνοι.....	95
Συμπεράσματα  .....	98
Βιβλιογραφία  .....	99



# Κεφάλαιο 1 | Έδαφος, Βιοποικιλότητα εδάφους και Οργανισμοί

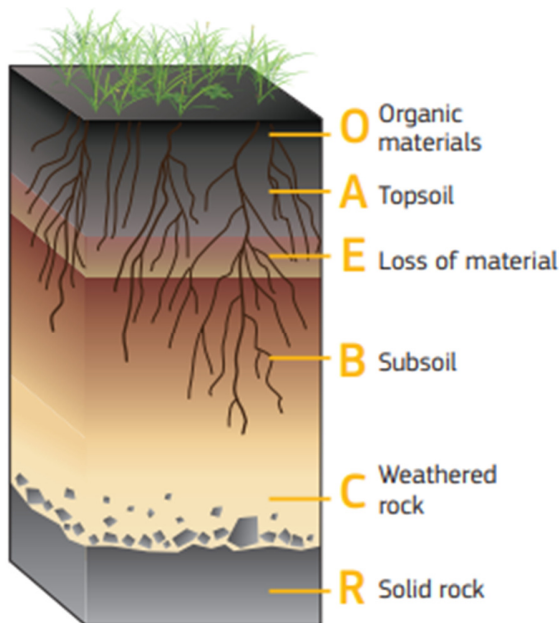
## 1.1. Το έδαφος και η προέλευση των εδαφών.

Το έδαφος για πολλούς ανθρώπους έχει διαφορετική σημασία, για τους ανθρώπους που ζουν στις πόλεις είναι απλώς η σκόνη ή το χώμα για έναν γεωπόνο, αγρότη ή κηπουρό είναι το καλλιεργήσιμο επιφανειακό στρώμα δηλαδή, το ανώτερο στρώμα του φλοιού της Γης που έχει πάχος 35 με 50 εκατοστά περίπου. Το κάτω στρώμα αυτού ονομάζεται υπέδαφος και φτάνει έως και τα 2 μέτρα, μέχρι εκεί που προχωρούν οι ρίζες των φυτών. Είναι ένα σύνθετο σύστημα το οποίο περιλαμβάνει διαφόρων μεγεθών, οργανικά και ανόργανα συστατικά νερό και αέρα. Είναι ένας βιότοπος που παρέχει πρώτες ύλες, μειώνει τον κίνδυνο πλημμυρών αλλά και διατηρεί την ιστορία μας. Εντούτοις, η σημασία του εδάφους δεν είναι κατανοητή από την κοινωνία διότι οι άνθρωποι έχουν χάσει την επαφή με διαδικασίες οι οποίες οδηγούν στην παραγωγή τροφίμων. Συνεπώς, οι ειδικοί του εδάφους, διαπιστώνουν την ανάγκη ενημέρωσης για την σημασία αλλά και την παγκόσμια σημασία του εδάφους (Anne Winding et al., 2020; Orgiazzi A. et al., 2016).

Το έδαφος είναι φτιαγμένο από ένα συνδυασμό από ζωντανούς οργανισμούς και άψυχα ορυκτά που αντιπροσωπεύουν τα προϊόντα από μια διαδικασία διάβρωσης. Οι βράχοι φθείρονται σε ξεχωριστούς κόκκους, ενώ οι ζωντανοί οργανισμοί και η βλάστηση που αποσυντίθεται αναφέρονται ως οργανική ύλη εδάφους. Στο έδαφος οι πόροι και οι ρωγμές που υπάρχουν στο έδαφος περιέχουν αέρα όμως έχει υψηλότερη συγκέντρωση διοξειδίου του άνθρακα (CO<sub>2</sub>) από ό,τι βρίσκεται στην ατμόσφαιρα. Αν σκάψουμε μια τρύπα στο έδαφος και κοιτάξουμε το κατακόρυφο τμήμα του εδάφους, θα δούμε πως το χώμα έχει διαφορετικά στρώματα, αυτά τα στρώματα ονομάζονται «ορίζοντες». Όσο αυξάνεται η ηλικία των εδαφών οι ορίζοντες τείνουν να είναι πιο εμφανείς ενώ στα νεαρά εδάφη μπορεί να μην έχουν διακριτό ή ακόμα και καθόλου σχηματισμό. Οι ορίζοντες αναφέρονται γενικά στην υφή, στη δομή, στο χρώμα και στην οργανική ύλη όμως πιο λεπτομερή χαρακτηριστικά μετριοούνται στο εργαστήριο (Σχήμα 1.1.1) (Anne Winding et al., 2020; Orgiazzi, A. et al., 2016).

Τα εδάφη παρέχουν στα φυτά θρεπτικά στοιχεία, οξυγόνο και νερό αποτελούν το μέσο ανάπτυξης των ριζών. Είναι ένας βιότοπος γεμάτος ζωή, φυτά και ζώα

(έντομα, σκουλήκια, μικρόσωμα ζώα) το πλουτίζουν καθημερινά. Τα εδάφη φιλοξενούν περίπου το ένα τέταρτο έως το ένα τρίτο του συνόλου των οργανισμών και αυτό τα καθιστά σημαντικές δεξαμενές βιοποικιλότητας. Η βιοποικιλότητα του εδάφους περιέχει πολλούς και διάφορους οργανισμούς, από μικροσκοπικού μεγέθους βακτήρια και νηματώδεις έως και ακάρεια, γαιοσκώληκες, τυφλοπόντικες αλλά και ποντίκια. Όλες αυτές οι ομάδες είναι πλούσια σε είδη, σε ένα κυβικό μέτρο δασικού εδάφους ο συχνότερος αριθμός που αναφέρεται είναι έως και τα 2.000 ασπόνδυλα είδη. Στην πραγματικότητα, η πολυμορφία της ζωής στο έδαφος είναι σημαντικά μεγαλύτερη από την πολυμορφία πάνω από το έδαφος στον ίδιο τόπο (Anne Winding et al.,2020; Orgiazzi A. et al.,2016).



Σχήμα 1.1.1. Αυτή η εικόνα μας δείχνει τους «ορίζοντες» που υπάρχουν στο έδαφος. O=Οργανικά υλικά, A=Επιφανειακό έδαφος, E=Απώλεια υλικών, B=Υπέδαφος, C=Διάβρωση πετρωμάτων, R=Συμπαγής πετρώματα. Πηγή: Global Soil Biodiversity Atlas, 2016

Τα εδάφη προήλθαν από την διάβρωση των πετρωμάτων της επιφάνειας της Γης. Η διάβρωση αυτή οφείλεται σε πολλές αιτίες όπως ο αέρας, τα φυτά, το κρύο, τη βροχή, τον ήλιο και τα ζώα. Όταν ένα έδαφος δεν καλλιεργείται, πλουτίζεται ακατάπαυστα, ωστόσο τα αυτοφυή φυτά όπως τα δέντρα, οι θάμνοι και τα χόρτα με τις ρίζες τους το καταστρέφουν κάθε μέρα όμως το πλουτίζουν με διάφορες τροφές που λαμβάνουν από τον αέρα, τα φύλλα και τους κορμούς που σαπίζουν και μεταβάλλονται σε τροφές για νέα φυτά (Anne Winding et al.,2020; Orgiazzi A. et al.,2016).

## 1.2. Η βιοποικιλότητα του εδάφους

Βιοποικιλότητα του εδάφους ορίζεται ως η ποικιλία όλων των ζωντανών οργανισμών που βρίσκονται στο σύστημα του εδάφους. Αυτή η έννοια χρησιμοποιείται συμβατικά με την γενετική έννοια όπου υποδηλώνει τον μεγάλο αριθμό των διαφόρων ειδών και την ομοιότητα αυτών που υπάρχει σε ένα σύστημα. Είναι ευρέως γνωστό πως η συνολική βιομάζα που υπάρχει στο έδαφος ισούται ή ενδεχομένως να υπερβαίνει εκείνη που είναι κάτω από το έδαφος και ενώ η βιοποικιλότητα στο έδαφος υπερβαίνει εκείνη από των άλλων χερσαίων συστημάτων, παραμένει σημαντικά υποτιμημένη (Anne Winding et al.,2020; Orgiazzi, A et al.,2016).

Είναι απαραίτητο να γνωρίζουμε πως υποβαθμίζεται σημαντικά η αξία της βιοποικιλότητας του εδάφους όταν χρησιμοποιείται μόνο η ταξινομική προσέγγιση. Υψηλή αξία δίνει η «λειτουργική ποικιλομορφία», που πραγματοποιείται από του ζωντανούς οργανισμούς που υπάρχουν στο έδαφος (Σχήμα 1.2.1). Οι μικροοργανισμοί που υπάρχουν στο έδαφος εκπληρώνουν σημαντικές λειτουργίες, όπως η ανακύκλωση των θρεπτικών ουσιών. Αυτό εμπεριέχει τον άνθρακα ο οποίος μετακινείται από το έδαφος στην ατμόσφαιρα, μέσω μικροβιακής αποσύνθεσης της οργανικής ύλης που υπάρχει στο έδαφος. Έχει μεγάλη σημασία η πλήρης κατανόηση αυτής της λειτουργίας γιατί υπάρχει αυξανόμενη ανησυχία για τον όγκο του διοξειδίου του άνθρακα (CO<sub>2</sub>) στην ατμόσφαιρα. Κάποιες άλλες λειτουργίες σχετίζονται με την υποβοήθηση της γονιμότητας του εδάφους με την εισαγωγή άνθρακα και αζώτου στο έδαφος, επίσης επηρεάζουν και διατηρούν τη δομή του εδάφους. (Ciro Gardi & Simon Jeffery,2009; Anne Winding et al.,2020; Orgiazzi, A. et al.,2016).

Όταν εξετάζουμε πιο συγκεκριμένα την βιοποικιλότητα, οπωσδήποτε πρέπει να δοθεί βάση σε άλλες ομάδες, όπως μύκητες, βακτήρια και αρχαία. Ορισμένοι αριθμοί που περιγράφουν καλά την βιοποικιλότητα του εδάφους αναφέρουν πως ένα γραμμάριο εδάφους μπορεί τυπικά να περιέχει ένα δισεκατομμύριο βακτηριακά κύτταρα τα οποία αντιστοιχούν σε περίπου δέκα χιλιάδες διαφορετικά βακτηριακά γονίδια. Περιλαμβάνει επίσης, έως και ένα εκατομμύριο μεμονωμένους μύκητες και αρκετές εκατοντάδες νηματωδών. Πέρα από τους μικροοργανισμούς και την μικροπανίδα, το έδαφος φιλοξενεί διάφορα άλλα είδη πανίδας που εκπροσωπούνται από αρθρόποδα, γαιοσκώληκες και θηλαστικά ("Soil Biodiversity",n.d.; Anne Winding et al.,2020; Orgiazzi, A. et al., 2016).



Σχήμα 1.2.1. Ένα κουταλάκι του γλυκού εδάφους περιέχει περισσότερους ζωντανούς οργανισμούς από ό, τι υπάρχουν άνθρωποι στον κόσμο. Several thousand of different taxa= Αρκετές χιλιάδες διαφορετικές ταξινομικές ομάδες , Two hundred meters of fungal hyphae= Διακόσια μέτρα από μύκητες , A billion bacterial cells= Ένα δισεκατομμύριο βακτηριακά κύτταρα.

Πηγή: State of knowledge of soil biodiversity, 2020

### 1.3. Ποικιλομορφία και αφθονία των οργανισμών του εδάφους

Η ποικιλία των οργανισμών που φιλοξενεί ένα εδαφικό περιβάλλον υπάρχουν σε υψηλά επίπεδα αφθονίας. Το επίπεδο αφθονίας και ποικιλομορφίας διαφέρει από έδαφος σε έδαφος και αυτό οφείλεται σε πολλούς παράγοντες, όπως η υφή του εδάφους, το pH, η περιεκτικότητα σε οργανικές ύλες και οι πρακτικές διαχείρισης του εδάφους. Η μεγάλη αφθονία οφείλεται στον χώρο των πόρων που βρίσκονται μέσα στο έδαφος όπου ζουν οι οργανισμοί. Το έδαφος περιέχει μεγάλο χώρο πόρων, πράγματι σε κάποια εδάφη ο χώρος των πόρων μπορεί να αποτελεί έως και το 50% του συνολικού όγκου του εδάφους. Αυτό μας δείχνει ότι στο έδαφος υπάρχει τεράστιος χώρος για να λειτουργήσει ως περιβάλλον για τους οργανισμούς του εδάφους, αυτός είναι ο λόγος λοιπόν πως σε μια σχετικά μικρή ποσότητα εδάφους μπορεί να φιλοξενηθεί μια τόσο μεγάλη ποικιλία και αφθονία

ζωής. (Ciro Gardi and Simon Jeffery, 2009; Anne Winding et al.,2020; Orgiazzi, A. et al., 2016).

### **1.3.1. Βακτήρια**

Τα βακτήρια υπάρχουν στη Γη πολλά δισεκατομμύρια χρόνια ακόμα και πριν από τα ζώα και τα φυτά. Είναι μονοκύτταροι οργανισμοί που ταξινομούνται ως προκαρυωτικά. Εμφανίζονται σε διαφορετικά σχήματα όπως σε σχήμα ράβδου ή σπειροειδή και σε σχήμα σφαίρας και έχουν διάφορες μορφές μεταβολισμού που αυτό τα καθιστά προσαρμόσιμα σε διαφορετικές περιβαλλοντικές συνθήκες. Υπάρχουν σε όλους του χώρους της Γης, από το αρκτικό χιόνι και την ατμόσφαιρα έως θερμές πηγές και αεραγωγούς βαθέων υδάτων. Ζουν και κατοικούν στα σώματα άλλων οργανισμών όπως ανθρώπους ζώα και φυτά. Εκτιμάται πως η Γη φιλοξενεί περίπου  $2.5 \times 10^{30}$  κύτταρα. Η περιεκτικότητα σε άνθρακα όλων αυτών των βακτηριακών κυττάρων συγκριτικά με εκείνη όλων των φυτών στην Γη και η συνολική περιεκτικότητά τους σε φώσφορο και άζωτο είναι πολύ μεγαλύτερη από αυτήν της όλης βλάστησης και καθιστά αυτούς τους μικροοργανισμούς την κύρια πηγή απαραίτητων θρεπτικών ουσιών για τη ζωή. (Anne Winding et al.,2020; Felipe Bastida et al.,2021; Orgiazzi, A. et al.,2016).

Η δομή της βακτηριακής κοινότητας, στο έδαφος, επηρεάζεται από κλιματολογικούς και χημικούς παράγοντες, ειδικά σε τροπικές περιοχές όπου η θερμοκρασία, οι βροχοπτώσεις και η γονιμότητα του εδάφους παρουσιάζουν υψηλή διακύμανση. Πρόσφατες μελέτες έχουν αναφέρει πως οι εδαφικοί παράγοντες (ειδικά τα θρεπτικά συστατικά που υπάρχουν στο έδαφος) είναι οι πιο σημαντικοί παράγοντες για την δομή της βακτηριακής κοινότητας, συμβάλλοντας στις λειτουργίες τους και στη χωρική κατανομή. (de Sousa Lopes et al.,2021; Anne Winding et al.,2020; Felipe Bastida et al.,2021, Orgiazzi, A. et al.,2016).

Τα βακτήρια μπορούν να ταξινομηθούν σε τρεις κύριες ομάδες. Η πρώτη είναι τα φωτοαυτοτρόφια (photoautotrophs), η δεύτερη είναι τα χημειοτρόφα (chemoautotrophs or chemolithotrophs) και η τρίτη είναι τα ετερότροφα (heterotrophs or chemoorganotrophs). Στην πρώτη ομάδα αυτά τα βακτήρια χρησιμοποιούν το διοξείδιο του άνθρακα ( $CO_2$ ) που υπάρχει στην ατμόσφαιρα ως πηγή άνθρακα και σταθεροποιούν την τιμή αυτού με την χρήση ηλιακής ενέργειας, παράγοντας έτσι οργανικές ενώσεις που μπορούν να χρησιμοποιηθούν και από άλλους οργανισμούς (παρόμοια διαδικασία με τη φωτοσύνθεση των φυτών). Στην δεύτερη ομάδα επίσης, χρησιμοποιούν το διοξείδιο του άνθρακα ( $CO_2$ ) που

βρίσκεται στην ατμόσφαιρα ως πηγή άνθρακα, αλλά παίρνουν ενέργεια από την οξείδωση ανόργανων ενώσεων όπως το θείο, η αμμωνία και ο σίδηρος, και χρησιμοποιούν αυτήν την ενέργεια για τη στερέωση αυτού και την παραγωγή οργανικών ενώσεων. Στην τρίτη ομάδα χρησιμοποιούν οργανικά υλικά τόσο ως άνθρακα όσο ως και πηγή ενέργειας παρόμοια με τα ζώα (de Sousa Lopes et al.,2021; Felipe Bastida et al., 2021; Anne Winding et al.,2020; Orgiazzi, A. et al.,2016).

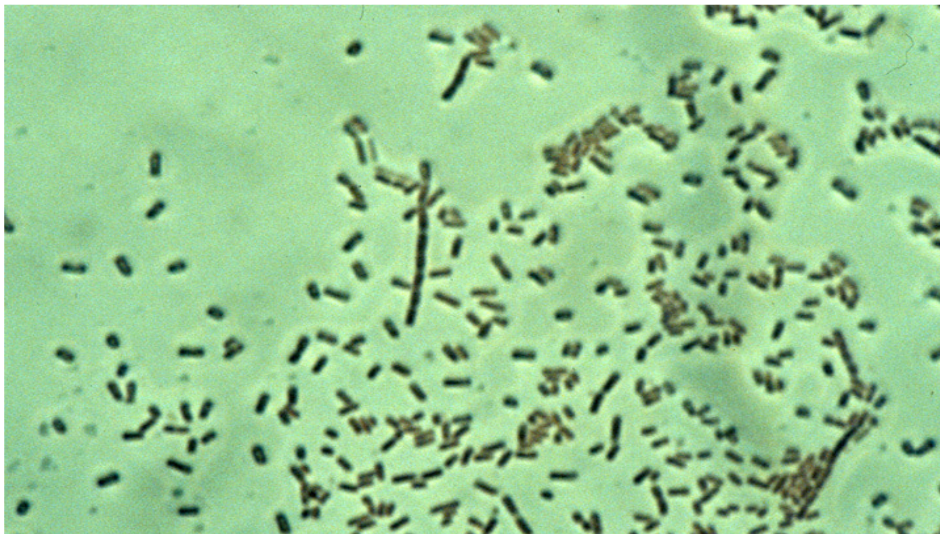
Οι βακτηριακές κοινότητες που βρίσκονται στο εδάφους επηρεάζουν άμεσα τη λειτουργικότητα και τη δομή του εδάφους μέσω διαφόρων μηχανισμών. Πολλά βακτήρια εδάφους εκκρίνουν εξωκυτταρικές πολυμερείς ουσίες που συνδέουν τα σωματίδια του εδάφους και βελτιώνουν τη συσσώρευση του εδάφους. Αυτό λοιπόν βελτιώνει τον αερισμό και τη διείσδυση των ριζών των φυτών στο έδαφος, την ικανότητα συγκράτησης νερού και το πορώδες του εδάφους. Γενικά, τα βακτήρια έχουν γρήγορο ρυθμό ανάπτυξης και χρόνο παραγωγής που διαρκεί πολύ λίγο που ανταγωνίζονται ακόμα και τους ίδιους τους πόρους του εδάφους. Σε ένα έδαφος υγιές και ανενόχλητο, τα μη παθογόνα βακτήρια συνήθως ξεπερνούν τα παθογόνα. Βακτηρίδια όπως Actinomycete που υπάρχουν στο έδαφος εκκρίνουν αντιβιοτικά που αναστέλλουν ή σκοτώνουν την ανάπτυξη των παθογόνων των φυτών, παρέχουν ένα υγιές περιβάλλον για την ανάπτυξη των φυτών (de Sousa Lopes et al.,2021; Anne Winding et al.,2020; Felipe Bastida et al.,2021).

Τα βακτήρια επηρεάζουν ιδιαίτερα τη γονιμότητα του εδάφους σε διαφορετικούς τύπους οικοσυστημάτων και η λειτουργική τους ποικιλομορφία είναι το κλειδί για τη σταθερότητα των ρόλων των τροφίμων, τη λειτουργία του οικοσυστήματος και τη διατήρηση της βιοποικιλότητας του εδάφους. Στα δίκτυα των φυσικών τροφίμων αλυσίδων τα βακτήρια που ζουν στο έδαφος δρουν ως παθογόνα, αποσυνθέτες και συμβιβαστές μπορούν να βρεθούν σε διαφορετικά τροφικά επίπεδα. Συνεπώς, τα βακτήρια είναι παντού παρόντα συστατικά όλων των ρόλων τροφίμων και έχουν ισχυρό αντίκτυπο στην ισορροπία των ιστών των εδαφικών τροφίμων και στη σταθερότητα της λειτουργίας του οικοσυστήματος ( Anne Winding et al.,2020; Felipe Bastida et al.,2021; Orgiazzi, A. et al.,2016).

Τα βακτήρια του εδάφους είναι καθοριστικοί παράγοντες για τους ρόλους των τροφίμων (Σχήμα 1.3.1.1). Γίνονται γρήγορα απαραίτητα συστατικά των μοντέλων συστημάτων που διερευνούν τους μηχανιστικούς δεσμούς μεταξύ της βιοποικιλότητας και της λειτουργίας του οικοσυστήματος. Μολαταύτα, οι μελέτες

που έχει παρουσιάσει η παγκόσμια μικροβιακή ποικιλομορφία υποδεικνύουν την ύπαρξη μιας πιθανώς εκτεταμένη ομάδα μη ταξινομημένων βακτηριακών ειδών. Αυτοί οι μικροοργανισμοί που έχουν ευρύ φάσμα μεταβολικών ικανοτήτων που επιδρούν στις υπηρεσίες οικοσυστήματος και ακόμη παρουσιάζουν ιδιαίτερο ενδιαφέρον για συγκεκριμένους σκοπούς περιβαλλοντικής και βιομηχανικής διαχείρισης (Felipe Bastida et al.,2021; Anne Winding et al.,2020; Orgiazzi, A. et al.,2016).

Η απώλεια της βιοποικιλότητας από τις δραστηριότητες που γίνονται από ανθρώπους μπορεί να επηρεάζει τη λειτουργία του οικοσυστήματος και τη σταθερότητα των ρόλων των τροφίμων χρήζει γνώση των τωρινών κενών στη μικροβιακή ποικιλομορφία του εδάφους. Η γνώση της τροφικής ποικιλομορφίας του μικροβίου του εδάφους μας επιτρέπει να αξιολογήσουμε πλήρως την παραγωγικότητα των οικοσυστημάτων και τη λειτουργική ποικιλομορφία (Felipe Bastida et al.,2021; Anne Winding et al.,2020; Orgiazzi, A. et al.,2016).



Σχήμα 1.3.1.1. Ένας τόνος μικροσκοπικών βακτηρίων μπορεί να είναι ενεργός σε κάθε στρέμμα εδάφους. Πηγή: Natural Resources Conservation Service Soils, Soil Bacteria, By Elaine R. Ingham

### 1.3.2. Μύκητες

Οι μύκητες είναι πολύ διαφορετική ομάδα οργανισμών και περιλαμβάνει ευρύ φάσμα μορφών ζωής. Υπάρχουν περίπου 100.000 είδη που έχουν καταγραφεί μέχρι στιγμής, με συνολικό αριθμό ειδών από 0,8 έως 3,8 εκατομμύρια. Οι μύκητες μπορεί να είναι μικροσκοπικοί, όπως η μαγιά ή να έχουν την ικανότητα να σχηματίζουν μεγάλα καρποφόρα σώματα. Το μυκήλιο (είναι το φυτικό μέρος ενός

μύκητα, “Βικιπαίδεια”, 2020) ενός μύκητα έχει αναφερθεί πως εξαπλώνεται σε ιδιαίτερα τεράστιες περιοχές. Ένα παράδειγμα είναι το *Armillaria ostoyae hyphae* (Σχήμα 1.3.2.1) βρέθηκε να ζει σε έκταση 880 εκταρίων στην πολιτεία του Όρεγκον των Ηνωμένων Πολιτειών της Αμερικής, αφήνοντας τον ασφαλώς τον μεγαλύτερο μεμονωμένο οργανισμό που έχει καταγραφεί ποτέ. Αυτή η τεράστια ποικιλία μας δείχνει πως οι μύκητες δεν είναι μόνο πολυάριθμοι, αλλά γεμίζουν πολλές σημαντικές θέσεις στη φύση. Ως μια ομάδα οργανισμών απανταχού παρούσα, παρέχουν μια επιλογή ζωτικών λειτουργιών σε βιοτόπους, οργανισμούς, οικοσυστήματα και τη βιόσφαιρα στο σύνολό της (Rezacova V. Et al.,2021; Anne Winding et al.,2020; Orgiazzi, A. et al.,2016).



Σχήμα 1.3.2.1. *Armillaria ostoyae hyphae*  
Πηγή: *Armillaria ostoyae*, Wikipedia, 2021

Η μεγαλύτερη πλειοψηφία των μυκητιακών ειδών που έχουν καταγραφεί μέχρι στιγμής ενδέχεται να περνούν τουλάχιστον ένα μέρος του κύκλου ζωής τους στο έδαφος. Οι μύκητες που ζουν στο έδαφος έχουν βασικούς οικολογικούς ρόλους ως αμοιβαίοι ή παθογόνοι φυτών και ζώων και ως αποσυνθέτες. Ένας μύκητας οδηγεί την ανακύκλωση του άνθρακα στο έδαφος και μεσολαβούν στη διατροφή των ορυκτών των φυτών τόσο σε ανθρωπογενή όσο και σε φυσικά οικοσυστήματα. Λαμβάνοντας υπόψη πως οι μύκητες είναι ετερότροφα που βασίζονται στον φωτοσυνθετικό άνθρακα ως πηγή τροφής τους, τόσο οι άμεσες όσο και οι έμμεσες αλληλεπιδράσεις με τα φυτά αποτελούν σημαντικό μέρος της μυκητιακής



οικολογίας. Οι κλιματολογικοί παράγοντες καθιστούν του καλύτερους προγνωστικούς παράγοντες της κοινοτικής σύνθεσης και του πλούτου των μυκήτων σε παγκόσμια κλίμακα. Η ποικιλομορφία των φυτών μπορεί να θεωρηθεί ως ένας από τους πιο βασικούς παράγοντες για τον πλούτο των μυκήτων (Rezacova V. et al.,2021; Anne Winding et al.,2020; Orgiazzi, A. et al.,2016).

Οι υπηρεσίες και οι λειτουργίες που παρέχουν τα εδάφη συνδέονται στενά με τη βιοποικιλότητα του εδάφους. Οι μύκητες, ως βασικό συστατικό της βιοποικιλότητας του εδάφους, διαθέτουν πολύτιμες ευκαιρίες για την αντιμετώπιση ορισμένων παγκόσμιων προκλήσεων του 21<sup>ου</sup> αιώνα. Επίσης, οι μύκητες είναι κύριοι παράγοντες για την καταπολέμηση της υποβάθμισης της γης και της κλιματικής αλλαγής, με βασικές λειτουργίες τη βιολογική ρύθμιση, το σχηματισμό της δομής του εδάφους, στους μετασχηματισμούς άνθρακα και τέλος την ανακύκλωση θρεπτικών ουσιών. Επιπρόσθετος, οι μύκητες παρέχουν ευκαιρίες για τη διασφάλιση της επισιτιστικής ασφάλειας και τη διατήρηση του ελέγχου των παγκόσμιων επικίνδυνων παθογόνων (Anne Winding et al.,2020; Orgiazzi, A. et al.,2016).

Οι μύκητες επιλέγουν εδάφη χαμηλής διαταραχής, πολυετή φυτά, όξινες συνθήκες, εσωτερικές θρεπτικές πηγές απευθείας από το φυτό και πολύ σταθερές μορφές οργανικών υπολειμμάτων με κυρίως υψηλές τιμές άνθρακα και αζώτου και βραδύτερο χρόνο ανακύκλωσης. Σε σύγκριση με τα βακτήρια που κυριαρχούν σε διαφορετικά οικοσυστήματα με γρήγορη ανακύκλωση των θρεπτικών συστατικών, χαμηλές τιμές αζώτου και άνθρακα, επιλέγουν ετήσια φυτά και εξωτερικές προσθήκες θρεπτικών ουσιών εκτός του φυτού. (James J. Hoorman et al.,2016; Orgiazzi, A. et al.,2016).

Οι μύκητες που υπάρχουν στο έδαφος αποτελούν αναπόσπαστο μέρος του σχηματισμού της συσσωμάτωσης εδάφους και της προκύπτουσας δομής τους. Υπάρχουν πολλά μονοπάτια μέσω των οποίων γίνεται αυτό, όμως μια βασική πτυχή είναι η φυσική δύναμη των υφών που εμπλέκουν μικρότερα σωματίδια εδάφους σε μεγαλύτερα σύνολα. Ένα από αυτά τα μονοπάτια είναι το βιοχημικό μονοπάτι, ουσίες δηλαδή όπως η πρωτεΐνη του εδάφους που σχετίζεται με τη σφαιρίνη αφήνονται στο έδαφος μετά τον θάνατο των υφών. Η πιο διαδεδομένη μυκορριζική ένωση, είναι η γλυκοπρωτεΐνη Γλομαλίνη (Glomalin), όπου είναι ένα βασικό συστατικό στις υφές των μυϊκών μυκορριζικών μυκήτων (Σχήμα 1.3.2.2.). Αυτή η πρωτεΐνη είναι ανθεκτική στην αποσύνθεση και έχει υφή κολλώδης που

δρα ως κόλλα για το σχηματισμό μεγαλύτερης μάζας από μικρότερα σωματίδια εδάφους. Καθώς οι μύκητες του εδάφους επεμβαίνουν επίσης στις επιδόσεις των φυτών σε μη βέλτιστες συνθήκες, διευκολύνουν τη διαδοχή των φυτών σε γυμνά υποστρώματα και επομένως βοηθούν στην καταπολέμηση της απερίημωσης και της διάβρωσης (Anne Winding et al.,2020; Orgiazzi, A. et al.,2016).

Οι μύκητες αποτελούν κεντρικό μέρος του εδάφους ως αμοιβαίοι, παθογόνοι, προμηθευτές τροφίμων για κάποιους μικροοργανισμούς και ως τροφή για άλλους. Αυτό σημαίνει πως οι αλληλεπιδράσεις με το μυκητιακό βασίλειο είναι πολύ σημαντικές για πολλούς άλλους οργανισμούς. Οι μυκορριζικοί μύκητες μετριάζουν τον ανταγωνισμό μεταξύ των φυτών και διευρύνουν τον εξειδικευμένο χώρο τους, οι παθογόνοι μύκητες αρθρόποδων ή οι νηματώδεις ελέγχουν την αφθονία των παθογόνων των φυτών ή τις αμοιβαίες σχέσεις με βακτήρια αζώτου. Τέλος οι μύκητες έχουν δείξει πως είναι ένας ζωτικός σύνδεσμος στην λειτουργικότητα του οικοσυστήματος του εδάφους (Anne Winding et al.,2020; Orgiazzi, A. et al.,2016).

Αυτή τη στιγμή, έχει αναφερθεί μόνο ένα μικρό ποσοστό της εκτιμώμενης μυκητιακής ποικιλομορφίας στον κόσμο. Επιπρόσθετα, τα λειτουργικά χαρακτηριστικά πολλών μυκητιακών ταξινομικών ομάδων, [είναι ομάδες ενός ή περισσοτέρων οργανισμών ή πληθυσμών που σχηματίζουν μια μονάδα (Taxon, "Wikipedia" 2021)], όπου παραμένουν ασαφείς ακόμη και μετά την περιγραφή. Η οικολογία των μυκήτων του εδάφους έχει επικεντρωθεί στην εξήγηση και την περιγραφή μακροοικονομικών προτύπων σημαντικής κλίμακας διαφόρων λειτουργικών ομάδων μυκήτων. Ωστόσο οι μοριακές προσεγγίσεις έχουν διαδραματίσει σημαντικό ζωτικό ρόλο σε αυτό το έργο, και οι μέθοδοι προσέγγισης έχουν γίνει όχι μόνο φθηνότερες στη χρήση αλλά και πιο ισχυρές, υπάρχουν ακόμα πολλά να αναζητηθούν στο μυκητιακό βασίλειο. Αυτό δεν ισχύει μόνο για την οικολογία, αλλά και για την εφαρμοσμένη βιοτεχνολογία των μυκήτων του εδάφους σε διάφορους τομείς όπως η ιατρική, η γεωργία, η συντήρηση και η αποκατάσταση. Διαμέσου επιστημονικών λύσεων, οι μύκητες του εδάφους θα μπορούσαν να είναι το κλειδί για τον προσανατολισμό της γεωργίας προς τη βιώσιμη παραγωγή. Θεωρείται πως η οικολογική εντατικοποίηση μέσω της οικολογικής μηχανικής (ecological engineering) του εδάφους είναι μια πιθανή λύση για την ενίσχυση την φυσικής λειτουργίας του εδάφους στη χρήση της αγροτικής γης. Η οικολογική μηχανική (ecological engineering) του εδάφους συνεπάγεται με μια βαθιά γνώση των χαρακτηριστικών

και των λειτουργιών όχι μόνο των μυκητιακών ομάδων αλλά και των ειδών, των στελεχών, και ενδεχόμενος ακόμη πιο σημαντικό των πολλών κοινοτήτων των μυκήτων. Ακόμα και αν οι προσπάθειες για αυτόν τον στόχο είναι συνεχείς και εντατικές, η σημαντική ποικιλομορφία των μυκήτων του εδάφους απαιτεί τόσο μικρή όσο και μεγάλης κλίμακας μελέτες σε πολλές οικολογικές περιοχές του κόσμου (Anne Winding et al.,2020; Orgiazzi, A. et al., 2016).



Σχήμα 1.3.2.2. Οι μυκορριζικοί μύκητες είναι συνήθως λευκοί ή κίτρινοι, ενώ η ρίζα στην κορυφή είναι ανοιχτό καφέ ή μαύρισμα. Φωτογραφία από τον Randall Reeder.  
Πηγή: Role of Soil Fungus, 2016

### 1.3.3. Ιοί

Ένας ιός είναι ένα μικροσκοπικός μολυσματικός παράγοντας που αναπαράγεται μόνο μέσα στα ζωντανά κύτταρα ενός οργανισμού. Οι ιοί μολύνουν όλους τους τύπους ζωής από φυτά και ζώα μέχρι μικροοργανισμούς. Από το 1892 ένα άρθρο του Ντμίτρι Ιβάνοφσκι, περιγράφει ένα μη βακτηριακό παθογόνο το οποίο μολύνει φυτά καπνού και το 1898 ένα άλλο άρθρο του Μάρτινους Μπεϊτζέρνκ που περιγράφει την ανακάλυψη του ιού μωσαϊκού καπνού, περισσότερα από 9.000 είδη ιών έχουν περιγραφεί λεπτομερώς από τα εκατομμύρια τύπους ιών που

υπάρχουν στο περιβάλλον (Σχήμα 1.3.3.1.). Οι ιοί υπάρχουν σχεδόν σε κάθε οικοσύστημα της Γης και είναι ο πολυάριθμος τύπος βιολογικής οντότητα. Η μελέτη των ιών είναι γνωστή ως ιολογία που είναι υπό ειδικότητα της μικροβιολογίας. (“Wikipedia”, 2021)

Στη διάρκεια της πανδημίας COVID-19, αξιολογούνται διάφοροι βασικοί ουσιώδης παράμετροι, όπως για παράδειγμα η εθνική οικονομία και η δημόσια υγεία. Παρότι, σε όλες τις περιβαλλοντικές ανησυχίες της τρέχουσας κατάστασης, η υγεία του εδάφους να είναι επικρατούσα για τους ζωντανούς οργανισμούς. Το έδαφος πράγματι παίζει σημαντικό ρόλο στον βαθμό αποσύνθεσης των οργανικών ενώσεων, διατηρώντας τον βιογεωχημικό κύκλο [Οι βιογεωχημικοί κύκλοι αντιπροσωπεύουν το κύριο σύστημα με το οποίο η ενέργεια του Ήλιου μετατρέπεται σε ενέργεια των χημικών ενώσεων από τα ζωντανά όντα και τα προϊόντα της δραστηριότητάς τους, Encyclopedia of Ecology (“Second Edition”), 2008]. Επιπροσθέτως, το έδαφος είναι μια από τις μεγαλύτερες δεξαμενές μικροοργανισμών, οι οποίες είναι υπεύθυνες για μια σειρά αντιδράσεων περιβαλλοντικής χημείας. Ωστόσο, οι ιοί όπως οι βακτηριοφάγοι μπορούν να επηρεάσουν τον πληθυσμό των βακτηρίων, δημιουργώντας επιπτώσεις στην ποιότητα του εδάφους (“Environmental Research Volume 198”, 2021). Ορισμένοι ιοί όμως, έχουν καταστεί ανενεργοί λόγω της μη αναστρέψιμης δέσμευσης στα σωματίδια του εδάφους, και άλλοι ιοί φαίνεται να κερδίζουν σταθερότητα από αλληλεπιδράσεις με σωματίδια αργίλου (Anne Winding et al., 2020; Orgiazzi, A. et al., 2016).

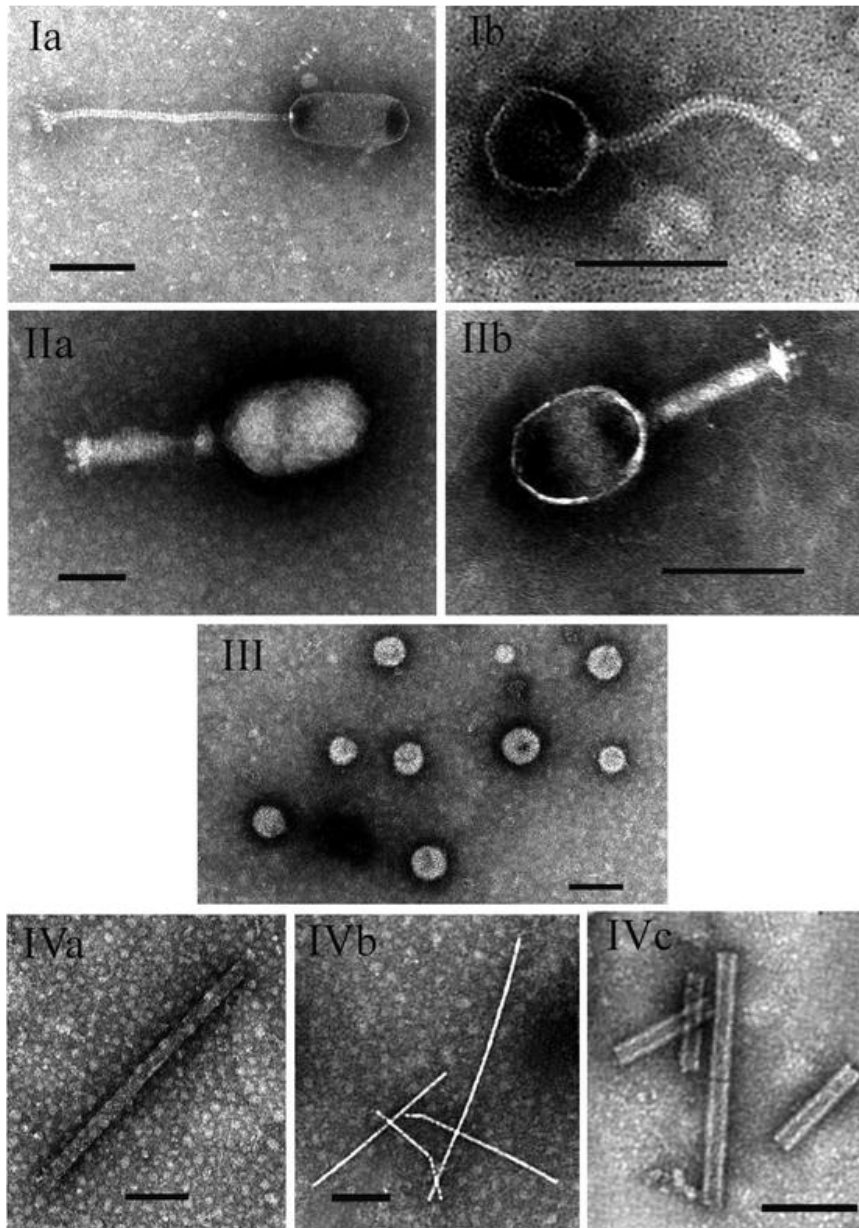
Στο εδαφικό περιβάλλον, οι ιοί που εντοπίζονται μπορούν να έχουν αντίκτυπο στην οικονομία και την παραγωγή πιθανώς λόγω ενός μολυσματικού κύκλου ο οποίος βοηθά στη διαδικασία μετασηματισμού γονιδίων. Ακόμα, μπορούν να μεταδοθούν στο έδαφος μέσω της λάσπης, μολυσμένων υδάτινων σωμάτων και του νερού της επηρεάζοντας βαθιά την υγεία του εδάφους και με ενδεχόμενο να υποστούν τελικά φαινόμενα προσρόφησης-εκρόφησης σε λειτουργία διαφόρων παραμέτρων (όπως η περιεκτικότητα σε υγρασία, pH, θερμοκρασία). (“Environmental Research Volume 198”, 2021)

Σε θαλάσσια συστήματα, καλύτερα μελετημένα, οι ιοί εκρήγνυνται και σκοτώνουν περίπου 20 έως 40 τοις εκατό των παγκόσμιων μικροβιακών κυττάρων των ωκεανών καθημερινά, επιδρούν στην ανακύκλωση του άνθρακα και των θρεπτικών ουσιών, στους ιστούς των τροφίμων και στο κλίμα. Οι ιοί του εδάφους

παίζουν το ίδιο σημαντικούς αλλά ως επί το πλείστον άγνωστο ρόλο στα επίγεια οικοσυστήματα. Ενώ θεωρούμε ότι οι ιοί βακτηριδίων (βακτηριοφάγοι) υπερσχύουν στις ιογενείς κοινότητες του εδάφους, οι μέθοδοι που στηρίζονται στον προσδιορισμό αλληλουχιών DNA αποτυγχάνουν στην ανάκτηση ιών με γονιδιώματα RNA, συμπεριλαμβανομένων των πιο γνωστών μυκητιακών και φυτικών ιών. Ίσως να μας λείπουν πολυάριθμοι ιοί μυκήτων, νηματωδών, φυτών, προστατευτικών και άλλων εδαφικών πανίδων μόνο και μόνο επειδή δεν έχουμε τις μεθόδους ανάκτησης ή ακόμη και αναγνώρισής τους (Anne Winding et al., 2020; Orgiazzi, A. et al., 2016).

Για τους ιούς βακτηρίων, η αναπαραγωγή γενικά προχωρά με μία από τις δύο στρατηγικές, η πρώτη είναι η Λύση (Lysis) όπου γίνεται διάσπαση της μεμβράνης ενός κυττάρου, συχνά από ιούς, ενζυματικούς ή οσμωτικούς μηχανισμούς που θέτουν σε κίνδυνο την ακεραιότητά του ("Wikipedia", 2021) και η δεύτερη είναι η Λυσογένεση (Lysogeny) όπου ο τύπος κύκλου ζωής που λαμβάνει χώρα όταν ένας βακτηριοφάγος μολύνει ορισμένους τύπους βακτηρίων, σε αυτή τη διαδικασία, το γονιδίωμα (η συλλογή γονιδίων στον πυρήνα του νουκλεϊκού οξέος ενός ιού) του βακτηριοφάγου ενσωματώνεται σταθερά στο χρωμόσωμα του βακτηρίου ξενιστή και αναπαράγεται σε συνδυασμό με αυτό ("Britannica", n.d.). Έχει εικαστεί ότι αυτοί οι εύκρατοι βακτηριοφάγοι, κυριαρχούν στο έδαφος εφόσον μπορούν να αλλάξουν στρατηγικές αναπαραγωγής, όμως αυτή η υπόθεση δεν έχει εξεταστεί πλήρως (Anne Winding et al., 2020; Orgiazzi, A. et al., 2016).

Η απώλεια μικροβιακής ποικιλότητας εδάφους, οδηγεί σε σημαντική μείωση της της εξειδικευμένης λειτουργικής ικανότητας, όπως πιθανές δραστηριότητες απονιτροποίησης ή νιτροποίησης, ροές αερίων θερμοκηπίου και ικανότητα ανοργανοποίησης. Αντιθέτως, η μείωση της μικροβιακής ποικιλομορφίας έχει αποδειχθεί ότι έχει μόνο μικρό αντίκτυπο στη συνολική αναπνοή του εδάφους, η οποία είναι μια ευρεία λειτουργία που εκτελείται από τα περισσότερα μέλη μικροβίων (Anne Winding et al., 2020).



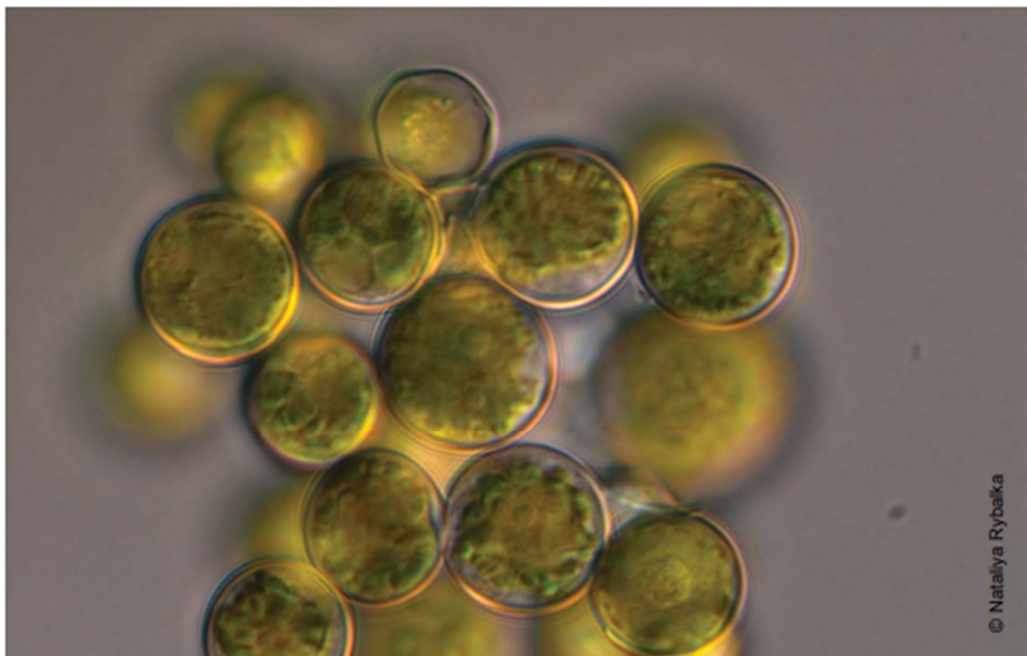
Σχήμα 1.3.3.1. Ιοί στο έδαφος  
 Πηγή: Viruses in Soil, Brian Reavy, Maud M. Swanson, Michael Taliany, 2014

### 1.3.4. Φύκια

Τα φύκια είναι μια ομάδα αρχαίων φωτοσυνθετικών οργανισμών που κυμαίνονται από προκαρυωτικά κυανοβακτήρια έως ευκαρυωτικά μικροφύκη. Συνήθως, τα φύκια ταξινομούνται κυρίως σύμφωνα με το σχήμα, το χρώμα και τον κύκλο ζωής τους. Περισσότερα από 800.000 είδη φυκών που υπάρχουν στη φύση, μόνο τα 5.000 έχουν περιγραφεί μέχρι σήμερα. Με βάση το μέγεθος που έχουν,

τα φύκια ταξινομούνται ως μικρό-φύκια και μακρό-φύκια. Τα μακροφύκη είναι μεγάλα υδρόβια φωτοσυνθετικά φυτά που φαίνονται χωρίς την βοήθεια μικροσκοπίου και μπορούν να χωριστούν σε τρεις ομάδες: Κόκκινο (Ροδόφυτα), Πράσινο (Χλωρόφυτα) (Σχήμα 1.3.4.1.) και Καφέ-Σταχτή (Κέλπιες, Brown-Kelps). Τα μικροφύκη περιέχουν αντιπροσωπευτικά γένη, συμπεριλαμβανομένων των *Arthrospira*, *Chlorella*, *Dunaliella*, *Nostoc* και *Aphanizomenon*. Τα κυανοβακτήρια δηλαδή τα προκαρυωτικά μικροφύκη, παίζουν κρίσιμο ρόλο στο φυσικό οικοσύστημα, ιδιαίτερα στις αλληλεπιδράσεις φυτών και μικροβίων. Όμως, η ιδέα ότι τα φύκια συμμετέχουν στην μικροβιακή κοινότητα που σχετίζεται με τα φυτά έχει συζητηθεί εδώ και πολύ καιρό. (Sang-Moo Lee et al., 2021; Kit Wayne Chew et al., 2021; Orgiazzi, A. et al., 2016)

Τα εδάφη φιλοξενούν περίπου 170 γένη με περίπου 500 είδη κυανοβακτηρίων και περίπου 1000 είδη ευκαρυωτικών φυκών. Οι πιο πολλές ομάδες στα εδάφη είναι τα ευκαρυωτικά πράσινα, τα στραμενόφιλα φύκια (*stramenopile*) και τα κυανοβακτήρια, τα μικροσκοπικά ερυθρά, τα χρυσόφυτα, και τα φύκια *dinophyte* αποτελούν ακόμα συχνά μέρος των εδαφικών κοινοτήτων (Kit Wayne Chew et al., 2021; Anne Winding et al., 2020; Orgiazzi, A. et al., 2016).



Σχήμα 1.3.4.1. Πράσινα φύκια, λειχήνες  
Πηγή: State of knowledge of soil biodiversity, 2020

Τα φύκια που υπάρχουν στο έδαφος αντιπροσωπεύουν μια πηγή άνθρακα εδάφους για ασπόνδυλα εδάφους και φαγοτροφικά προστατευτικά. Πέρα από τα φυτά, τα μικροφύκη του εδάφους αντιπροσωπεύουν μια σημαντική αλλά σπάνια θεωρείται η εισροή άνθρακα στα εδάφη, η οποία πρέπει να λαμβάνεται υπόψη κατά το πρότυπο του κύκλου των θρεπτικών συστατικών του εδάφους. Η συμμετοχή των κυανοβακτηρίων σταθεροποίησης αζώτου στην δεξαμενή αζώτου εδάφους φτάνει τα 30 κιλά ανά εκτάριο. Τα κυανοβακτήρια σταθεροποίησης αζώτου, εκτός από τον εμπλουτισμό αζώτου που προσφέρουν στα εδάφη και οργανικό άνθρακα, μπορούν να τροποποιήσουν ορισμένες ηλεκτροχημικές και χημικές ιδιότητες των εδαφών. Τα φύκια προωθούν την αποσάθρωση των πυριτικών, την απελευθέρωση θρεπτικών ουσιών από αδιάλυτες ενώσεις, δημιουργώντας έτσι ένα ελαφρώς όξινο περιβάλλον. Προσφέρουν ακόμα οργανική ύλη και είναι υπεύθυνα για το σχηματισμό εδάφους, ο οποίος είναι ιδιαίτερα σημαντικός σε πολικές και αλπικές περιοχές και ερήμους (Kit Wayne Chew et al.,2021; Anne Winding et al.,2020; Orgiazzi, A. et al.,2016).

Τα περισσότερα από τα φύκια συμβάλλουν στο σχηματισμό βιολογικών φλοιών, καθώς συγκεντρώνονται στην επιφάνεια και στο ανώτερο στρώμα του εδάφους. Ο σχηματισμός του φλοιού του φυκιού παρεμβαίνει στη διάβρωση του εδάφους, μειώνει την απώλεια νερού με εξάτμιση κατά τη διάρκεια ξηρών περιόδων και αυξάνει την αποθήκευση υδάτων βροχής, όμως ενισχύει τη χερσαία ροή μειώνοντας την απόπλυση κατά τη διάρκεια υγρών εποχών. Τα φύκια συμβάλλουν στο συνολικό σχηματισμό και τη σταθεροποίηση των αδρανών και έτσι βοηθούν στην προστασία της επιφάνειας του εδάφους. Κατά κύριο λόγο, η ανάπτυξη των μικροφύκων ευνοεί το σχηματισμό μεγάλων συσσωματωμάτων (Kit Wayne Chew et al.,2021; Anne Winding et al.,2020; Orgiazzi, A. et al.,2016).

Τα φύκια και τα κυανοβακτήρια εκκρίνουν μια ποικιλία ουσιών που επηρεάζουν την ανάπτυξη άλλων εδαφικών οργανισμών. Είναι σε θέση να αποτοξινώνουν και να μεταβολίζουν τα φυτοφάρμακα. Συγχρόνως, τα ζιζανιοκτόνα μπορούν να διαταράξουν την ανάπτυξη των μικροφυκών του εδάφους και να αλλάξουν τον λειτουργικό τους ρόλο στο σχηματισμό του αδρανούς εδάφους. Φυσικά στα φύκια υπάρχουν και οι ιοί των φυτών όπως ο ιός μωσαϊκού του κουνουπιδιού (Kit Wayne Chew et al.,2021; Anne Winding et al.,2020; Orgiazzi, A. et al., 2016).

Τα φύκια του εδάφους ερευνώνται λιγότερο από τους συγγενείς τους στα θαλάσσια και γλυκά νερά. Οι μακροσκοπικές μορφές και οι ανθίσεις των φυκών σε δεξαμενές νερού έχουν ως επί το πλείστον άμεσα ορατές περιβαλλοντικές και



οικονομικές επιπτώσεις, ενώ οι αλλαγές στη βιομάζα και τις κοινότητες φυκών εδάφους επηρεάζουν τη γονιμότητα του εδάφους, την απορροή της επιφάνειας και έμμεσα άλλους οργανισμούς του εδάφους (Kit Wayne Chew et al.,2021; Anne Winding et al.,2020; Orgiazzi, A. et al.,2016).

Ωστόσο, μεθοδολογικά παρόμοια με τη μυκητολογία και τη βακτηριολογία, η φυκολογία του εδάφους (Σχήμα 1.3.4.2.), ως μέρος της φυκολογίας, είναι ένας κλάδος της βοτανικής. Συνεπώς, οι φυσιολόγοι εδάφους δεν συμμετέχουν επαρκώς σε ολοκληρωμένες μελέτες εδάφους. Σύγχρονες μοριακές-γενετικές μελέτες δείχνουν την ασυμφωνία των μορφοταξικών και φυλογενετικών ομάδων. Αν και η μορφολογική ταυτοποίηση των φυκών του εδάφους είναι χρονοβόρα στις περισσότερες περιπτώσεις η απομόνωση και η παρατήρηση του κύκλου ζωής είναι αναπόφευκτη και ανακριβής, εξακολουθεί να χρησιμοποιείται ευρέως για μελέτες των κοινοτήτων φυτικών εδαφών (Anne Winding et al.,2020; Orgiazzi, A. et al.,2016).

Οι φωτοσυνθετικοί μικροοργανισμοί συχνά παραμελούνται σε μελέτες της σύγχρονης μεταγονιδιωματικής και του εδάφους της μετατραπεζικής. Ένας συνδυασμός ταξινομικών μελετών βασισμένων στη μορφολογία με τις τελευταίες μεθόδους προσδιορισμού αλληλουχίας είναι απαραίτητος για την επίλυση του προβλήματος της βιοποικιλότητας των εδαφικών φυκών στο μέλλον (Anne Winding et al.,2020; Orgiazzi, A. et al.,2016 ).



Σχήμα 1.3.4.2. Φύκια του εδάφους  
Πηγή: Soil Algae, 2012

## Κεφάλαιο 2| Η ιστορία , η σημασία και οι χρήσεις της βιοποικιλότητας του εδάφους

### 2.1. Η ιστορία και ο ρόλος της βιοποικιλότητας του εδάφους

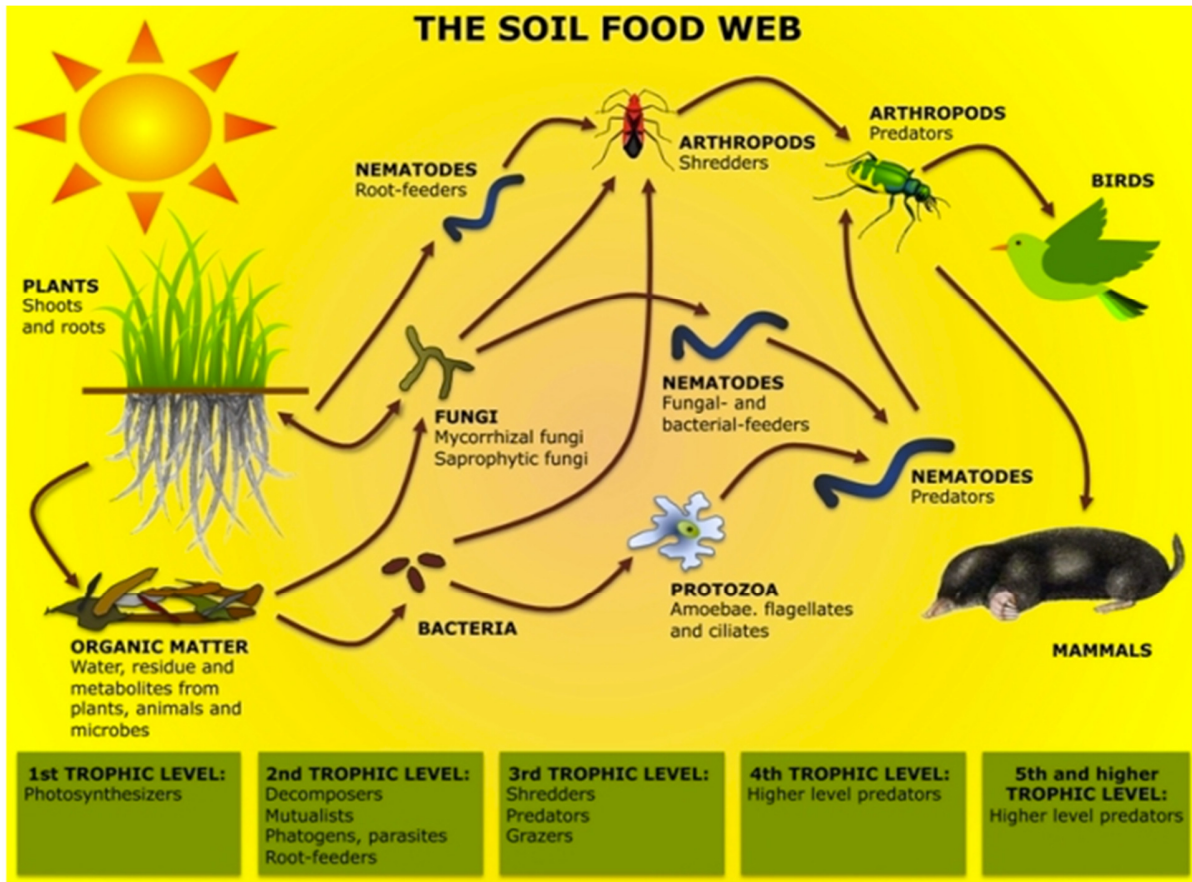
Η σημασία της διατήρησης της φύσης και της βιοποικιλότητας, σε ευρωπαϊκό επίπεδο, προσδιορίζεται καλά και οδήγησε στην ανάπτυξη συγκεκριμένων περιβαλλοντικών πολιτικών με την πάροδο των ετών. Από την οδηγία της Ευρωπαϊκής Ένωσης για τα πτηνά το 1979 έως τη στρατηγική για τη βιοποικιλότητα το 1998. Το θέμα του εδάφους καθίσταται κρίσιμο για την Ευρωπαϊκή Ένωση, το 2006, με την υιοθέτηση της θεματικής στρατηγικής για το έδαφος, προκειμένου να διασφαλιστεί υψηλό επίπεδο προστασίας του εδάφους σε ολόκληρη την Ευρωπαϊκή Ένωση. Η Ευρωπαϊκή Επιτροπή, αποδέχεται τη σημασία της βιοποικιλότητας του εδάφους και δεσμεύεται να βελτιώσει τη γνώση της λειτουργίας της ως περιβαλλοντική υπηρεσία (“Soil Biodiversity” n.d.; Gosper C.R. et al.,2021).

Το 2008 πράγματι, μια ομάδα εμπειρογνομόνων για τη βιοποικιλότητα του εδάφους, στο Action SOIL του Κοινού Κέντρου Ερευνών (Joint Research Centre) είχε στόχο την υποστήριξη και την παροχή αποφάσεων και πολιτικών της Ευρωπαϊκής Επιτροπής σχετικά με το θέμα. Σε παγκόσμιο και ευρωπαϊκό επίπεδο η αυξανόμενη σχετικότητα των θεμάτων του εδάφους, συνυπολογίζοντας την βιοποικιλότητα, επιβεβαιώνεται από πρόσφατα διεθνή γεγονότα όπως η Παγκόσμια Εβδομάδα Εδάφους και η Παγκόσμια Ημέρα του Εδάφους 2012. Επίσης, το 2012 ξεκίνησε η Παγκόσμια Πρωτοβουλία για τη Βιοποικιλότητα του Εδάφους με τη συμμετοχή διαφορετικών οργανισμών, συμπεριλαμβανομένου του Κοινού Κέντρου Ερευνών (Joint Research Centre) ως βασικού συμμετέχοντος (“Soil Biodiversity” n.d.; Anne Winding et al.,2020; Orgiazzi, A. et al.,2016).

Ένας υγιής βιότοπος εδάφους, χρειάζεται έναν κατάλληλο βιότοπο. Αυτός ο χώρος, στο έδαφος, είναι ουσιαστικά αυτός που υποδηλώνεται από την σύνθετη αρχιτεκτονική του δικτύου πόρων με τη σχετική τροφοδοσία και τη δυναμική νερού, αερίων και υποστρωμάτων που υποστηρίζει αυτό το πλαίσιο. Σε ένα τόσο σύνθετο σύστημα, οι σχέσεις μεταξύ της βιοποικιλότητας και της λειτουργίας είναι ελάχιστα κατανοητές και περίπλοκες. Η ιδιαίτερη πολυπλοκότητα (Σχήμα 2.1.1.) των υπόγειων κοινοτήτων μπερδεύει περαιτέρω την κατανόησή μας για τα συστήματα του εδάφους. Ακόμα, είναι δυνατό να καθοριστούν τρεις σημαντικοί

μηχανισμοί που ελέγχουν τις σχέσεις μεταξύ λειτουργιών και οργανισμών που πραγματοποιούνται στο σύστημα εδάφους. Ο πρώτος σημαντικός μηχανισμός του εδάφους, είναι το εύρος το οποίο για να συμβεί μια βιολογικά μεσολαβούμενη διαδικασία, πρέπει να πραγματοποιείται αυτή η διαδικασία με τους υπάρχοντες οργανισμούς. Ο δεύτερος σημαντικός μηχανισμός του εδάφους, είναι οι αλληλεπιδράσεις όπου οι περισσότεροι εδαφικοί οργανισμοί έχουν την δυνατότητα να επηρεάζουν έμμεσα ή άμεσα άλλους οργανισμούς, είτε αρνητικά είτε θετικά. Ο τρίτος και τελευταίος, σημαντικός μηχανισμός είναι ο πλεονασμός όπου όσο περισσότεροι οργανισμοί υπάρχουν μπορούν και να εκτελέσουν λειτουργίες σε ένα συγκεκριμένο έδαφος, τόσο πιο πιθανό είναι κάποιοι οργανισμοί να είναι ανίκανοι, τότε η διαδικασία θα παραμείνει ανεπηρέαστη, επειδή αυτοί που παραμένουν γεμίζουν το κενό ("Soil Biodiversity" n.d.; Gosper C.R. et al.,2021; Anne Winding et al.,2020; Orgiazzi, A. et al.,2016).

Η καθεαυτού ποικιλία έχει μικρή συνέπεια, αλλά είναι σημαντικό το πρακτικό εύρος των εδαφικών βιοτόπων. Για διαδικασίες όπως η αποσύνθεση, υπάρχει υψηλός και σαφής βαθμός πλεονασμού σε μικροβιακό επίπεδο. Άλλες διεργασίες, όπως η οξείδωση του αμμωνίου (νιτροποίηση), υλοποιούνται από ένα στενότερο φάσμα βακτηρίων με λιγότερο λειτουργικό πλεονασμό, ενώ για ειδικές συμβιωτικές ενώσεις (όπως οι μυκόρριζες ορχιδέας), ολική εξάρτηση και συνεπώς μηδενικό πλεονασμό. Επομένως, η εξάντληση της βιοποικιλότητας θα έχει διαφορετικές συνέπειες σε σχέση με το λειτουργικό εύρος. Διαδικασίες με αδύναμες αλληλεπιδράσεις μεταξύ των οργανισμών (π.χ. αποσύνθεση) και με υψηλό πλεονασμό μπορούν εύκολα να αντισταθούν, ενώ η απώλεια ενός ειδικού και ισχυρού δεσμού μπορούν να αλλάξουν τη σταθερότητα της κοινότητας. Έχει αποδεχθεί, σε ορισμένες περιπτώσεις, πως υπάρχουν κατώτατα επίπεδα εδαφικής ποικιλομορφίας κάτω από τα οποία οι διεργασίες επηρεάζονται, όμως συνήθως σχετίζονται με στενές διεργασίες και εκδηλώνονται σε πειραματικά κατασκευασμένα συστήματα πολύ χαμηλών επιπέδων ποικιλομορφίας, σε αντίθεση με τα φυσικά συστήματα ("Soil Biodiversity" n.d.; Gosper C.R. et al.,2021).



Σχήμα 2.1.1. The soil food web- Το τροφικό πλέγμα του εδάφους  
 PLANTS(Φυτά) Shoots and roots(βλαστοί και ρίζες), NEMATODES(νηματώδεις) Root-feeders(ρίζες-τροφοδότες), ARTHROPODS(αρθρόποδα) Shredders(Τεμαχιστές, Καταστροφείς), ARTHROPODS(αρθρόποδα) Predators(αρπακτικά), BIRDS(πτηνά), FUNGI(μύκητες) Mycorrhizal fungi(μυκορριζικοί μύκητες) Saprophytic fungi(Σαπροφυτικοί μύκητες), NEMATODES(Νηματώδεις) Fungal-and bacterial feeders(Μύκητες και βακτηριακοί τροφοδότες), NEMATODES(Νηματώδεις) Predators(Αρπακτικά), ORGANIC MATTER(Οργανικό Υλικό ) Water residue and metabolites from plants, animals and microbes (Υπολείμματα νερού και μεταβολίτες από φυτά, ζώα και μικρόβια), BACTERIA(Βακτήρια), PROTOZOA(Πρωτόζωα) Amoebae flagellates and ciliates(Αμοιβάδες), MAMMALS(Θηλασικά), 1<sup>st</sup> TROPHIC LEVEL(1<sup>ο</sup> Τροφικό επίπεδο) Photosynthesizers(Φωτοσυνθέτες), 2<sup>nd</sup> TROPHIC LEVEL(2<sup>ο</sup> Τροφικό επίπεδο) Decomposers, Mutualists, Pathogens, parasites Root-feeders(Αποσυνθέτες, Αμοιβαίοι, Παθογόνα, παράσιτα Τροφοδότες ρίζας), 3<sup>rd</sup> TROPHIC LEVEL(3<sup>ο</sup> Τροφικό επίπεδο) Shredders Predators Grazers(Τεμαχιστές, Αρπακτικά, Βοσκόι), 4<sup>th</sup> TROPHIC LEVEL(4<sup>ο</sup> Τροφικό επίπεδο) Higher level predators(Υψηλότερα επίπεδα αρπακτικών), 5<sup>th</sup> and higher TROPHIC LEVEL(5<sup>ο</sup> και ψηλότερο Τροφικό επίπεδο) Higher level predators(Υψηλότερα επίπεδα αρπακτικών).

Πηγή: Soil Biodiversity

## 2.2. Η σημασία και η αξία για την μελέτη της βιοποικιλότητας του εδάφους.

Από τα οικοσυστήματα παρέχονται στους ανθρώπους ορισμένα οφέλη τα οποία καθορίζονται ως οι υπηρεσίες ενός οικοσυστήματος. Σε αυτό το πλαίσιο, η

βιοποικιλότητα του εδάφους φέρνει μια σειρά τιμών για την ανθρωπότητα που εξαρτώνται από την προοπτική από την οποία εξετάζονται. Αυτές περιλαμβάνουν, αρχικά την λειτουργική αξία, όπου σχετίζεται με τις φυσικές υπηρεσίες που παρέχει τη σχετική διατήρηση της δομής, το βιότοπο του εδάφους και της ακεραιότητας του οικοσυστήματος. Στη συνέχεια περιλαμβάνει, την άμεση χρηστική αξία, η οποία καλύπτει τα εμπορικά και οφέλη διαβίωσης των εδαφικών οργανισμών για την ανθρωπότητα. Έπειτα περιέχει, την μη χρηστική αξία, η οποία περιλαμβάνει πολιτικά, ηθικά, κοινωνικά και αισθητικά οφέλη. Τέλος περιέχει την κληρονομιά όπου σχετίζεται με τη μελλοντική πλανητική λειτουργία ή τις γενιές της ανθρωπότητας όμως είναι ακόμη άγνωστο (“Soil Biodiversity” n.d.; Tasser E. et al.,2020; Orgiazzi, A. et al.,2016).

Το σύνολο της οικολογικής αξίας των βιοτόπων του εδάφους μελετάτε όλο και περισσότερο, αφού καταλαβαίνουμε περισσότερα για την προέλευση και τις συνέπειές της. Επίσης, η βιοποικιλότητα του εδάφους έχει νομισματική αξία όσον αφορά τη συμβολή στις υπηρεσίες οικοσυστήματος (οι εκτιμήσεις κυμαίνονται από 1,5 έως και 13 τρισεκατομμύρια δολάρια ΗΠΑ) (“Soil Biodiversity” n.d.; Tasser E. et al.,2021; Anne Winding et al.,2020; Orgiazzi, A. et al.,2016).

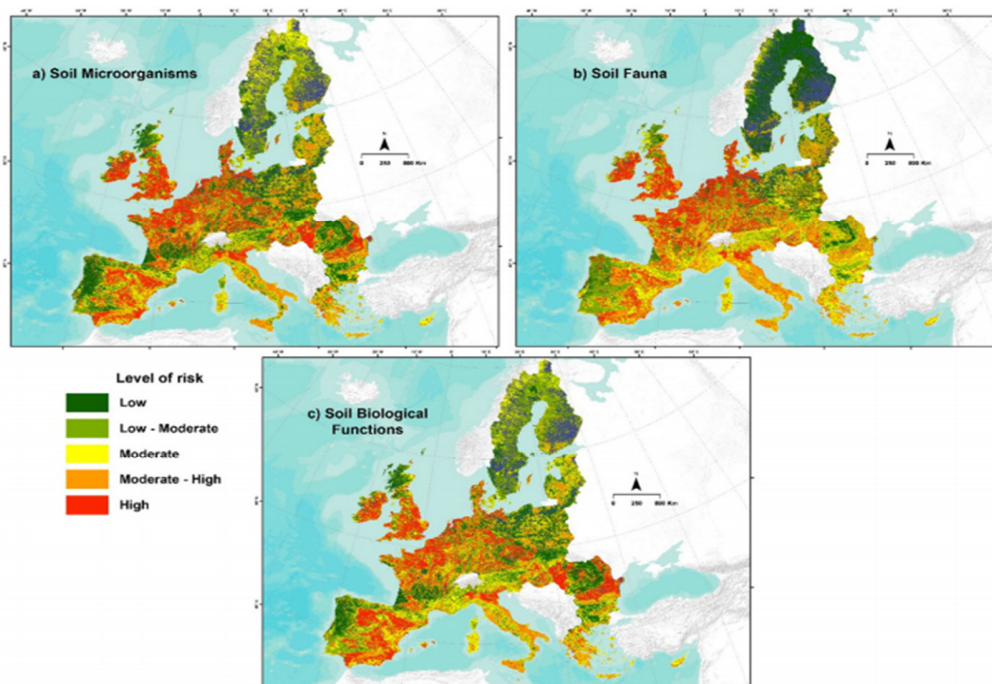
Η βιοποικιλότητα του εδάφους, υφίσταται όλο και περισσότερο υπό πίεσης λόγω των απειλών για το έδαφος, όπως είναι η μόλυνση, η αλάτωση, η στεγανοποίηση και η διάβρωση. Αυτά τα γεγονότα απειλούν τη βιοποικιλότητα του εδάφους με καταστροφή ή συμβιβασμό του οικοτόπου του εδάφους. Οι πρακτικές διαχείρισης που μειώνουν την επιμονή ή την εναπόθεση της οργανικής ύλης στα εδάφη ή παρακάμπτουν τη βιολογικά μεσολαβούμενη ανακύκλωση θρεπτικών ουσιών, επίσης έχουν την τάση να μειώσουν το μέγεθος και την πολυπλοκότητα των εδαφών. Ωστόσο είναι σημαντικό ότι ακόμη και μολυσμένα ή σοβαρά διαταραγμένα εδάφη εξακολουθούν να υποστηρίζουν τουλάχιστον σχετικά υψηλά επίπεδα μικροβιακής ποικιλομορφίας. Έχει παρατηρηθεί πως συγκεκριμένες ομάδες μπορεί να είναι πιο ευαίσθητες σε ορισμένους ρύπους από άλλες, όπως για παράδειγμα τα βακτήρια στερέωσης αζώτου που είναι συμβιωτικά στα όσπρια είναι ιδιαίτερα ευαίσθητα στον χαλκό (“Soil Biodiversity” n.d.; Tasser E. et al.,2021; Anne Winding et al.,2020; Orgiazzi, A. et al.,2016).

Σίγουρα ανεπιθύμητη είναι οποιαδήποτε μορφή απώλειας βιοποικιλότητας. Εντούτοις, θα απαιτηθούν περαιτέρω προσπάθειες για να γνωρίζουμε πιθανούς κινδύνους, δεδομένης της περιορισμένης κατάστασης για κατανόηση των

συνεπειών της βιοποικιλότητας του εδάφους. Επί του παρόντος, είναι κοινή λογική ότι πρέπει να εφαρμοστεί μια ισχυρή αρχή προφύλαξης πριν από την λήψη οποιασδήποτε απόφασης (“Soil Biodiversity” n.d.; Tasser E. et al.,2021; Anne Winding et al.,2020; Orgiazzi, A. et al.,2016).

### **2.3. Πιθανές οδηγίες για την προστασία της βιοποικιλότητας του εδάφους**

Έχουν αναπτυχθεί κάποιοι χάρτες οι οποίοι είναι απαραίτητοι για τον εντοπισμό τοποθεσιών που χρειάζονται διατήρηση. Αυτοί οι χάρτες των απειλών για τη βιοποικιλότητα του εδάφους δείχνουν ότι η συνολική κατανομή των ευαίσθητων περιοχών είναι αρκετά παρόμοια, καθώς οι δύο κύριες κινητήριες δυνάμεις, η μείωση της οργανικής ύλης και η εντατική εκμετάλλευση, είναι οι ίδιες. Μια σημαντική ομοιότητα βρέθηκε μεταξύ των προτύπων απειλής για τις βιολογικές λειτουργίες και για τους μικροοργανισμούς του εδάφους. Η αιτία για αυτό μπορεί να είναι η τρέχουσα συνολική γνώση, που εκφράζεται επίσης σε όρους δημοσιευμένων άρθρων, σχετικά με τις πιθανές επιπτώσεις των απειλών στους μικροοργανισμούς. Η χωρική κατανομή των απειλών στην εδαφική πανίδα έδειξε ένα πιο περίεργο και λιγότερο κατακερματισμένο μοτίβο λόγω των διαφορετικών κινητήριων δυνάμεων που διαμορφώνουν την κατανομή. Δεδομένου ότι η ανάλυση της χωρικής κατανομής των απειλών αποδεικνύει τον επείγοντα χαρακτήρα με τον οποίο πρέπει να ληφθεί δράση καθώς η πλειονότητα των ευρωπαϊκών χωρών έδειξε την παρουσία εδαφών με υψηλό επίπεδο κινδύνου (Σχήμα 2.3.1) (“Science of the Total Environment”,2016).



Σχήμα 2.3.1. Οι χάρτες δυνητικού κινδύνου για τη βιοποικιλότητα του εδάφους στην Ευρώπη. Κατανομή των πιθανών απειλών σε α) μικροοργανισμούς εδάφους, β) εδαφική πανίδα και γ) προβλεπόμενες βιολογικές λειτουργίες εδάφους (για 27 ευρωπαϊκές χώρες)  
 Πηγή: Science of the Total Environment, 2016

Εξαιτίας του μεγέθους των περιοχών που μας ενδιαφέρουν, μια κοινή στρατηγική φαίνεται να είναι ο τρόπος που προτείνεται για να αρχίσει να σκέφτεται μια εφαρμοσμένη στρατηγική διατήρησης της εδαφικής ζωής ή έστω, να αυξήσει την εστίαση σε αυτό το θέμα. Ένα βασικό πιθανό ρυθμιστικό μέτρο, το οποίο πρέπει να ληφθεί είναι η επανεξέταση της τρέχουσας κατανομής των προστατευόμενων περιοχών ή ακόμα και τα κριτήρια για τον σχεδιασμό προστατευόμενων περιοχών (“Science of the Total Environment”, 2016).

Η βιοποικιλότητα του εδάφους δεν λαμβάνεται υπόψη στις προκαταρκτικές έρευνες για τη βιοποικιλότητα για τη δημιουργία εθνικών πάρκων. Οι αναπτυγμένοι χάρτες θα μπορούσαν να εξεταστούν προκειμένου να επανασχεδιαστούν τα όρια των προστατευόμενων περιοχών ώστε να συμπεριληφθεί έδαφος με υψηλό επίπεδο κινδύνου. Επίσης, η ανάλυση, μας επέτρεψε να περιγράψουμε τις κατηγορίες των εδαφών, τόσο από την άποψη διανομής της γης όσο και από βιογεωγραφική διανομή, η οποία θα απαιτούσε περισσότερη προσοχή. Οι οργανισμοί που ζουν στο έδαφος των γεωργικών εκτάσεων είναι πιθανώς σε κίνδυνο. Σε αντίθεση με τα λιβάδια και τα δάση



παρουσίαζαν τα χαμηλότερα επίπεδα κινδύνου λόγω της πιο βιολογικής διαχείρισης και των παραμέτρων των εδαφών. Από βιογεωγραφική άποψη, ο υψηλότερος κίνδυνος που υπάρχει στα εδάφη των Στεπικών περιοχών (εξελιίσεται σε μια τεράστια ζώνη βλάστησης που εκτείνεται πάνω από τη νότια Μολδαβία, την Ουκρανία, τη Ρωσία και το δυτικό Καζακστάν), μπορεί να σχετίζεται με τις συνδυασμένες επιδράσεις των ανθρώπινων δραστηριοτήτων, δηλαδή την αύξηση της μετατροπής σε καλλιεργήσιμη γη και τα οικολογικά χαρακτηριστικά, δηλαδή τη χαμηλή ποικιλία της βλάστησης. Σε αντίθεση, τα εδάφη τόσο των Βόρειων περιοχών όσο και των Αλπικών περιοχών εκτίθενται λιγότερο σε απειλές. Αυτό ενδεχομένως οφείλεται στην απομόνωση που υπάρχει σε αυτές τις περιοχές. Όσο η βιογεωγραφική κατανομή άλλο τόσο και η κάλυψη του εδάφους μπορούν ακόμα να χρησιμοποιηθούν για αναγνώριση των πιθανών παραγόντων που επηρεάζουν τους οργανισμούς του εδάφους και των βιολογικών λειτουργιών (“Science of the Total Environment”, 2016).

## Κεφάλαιο 3 | Οι απειλές της βιοποικιλότητας του εδάφους

### 3.1. Ρύπανση

Το έδαφος είναι ένα εξαιρετικά σύνθετο περιβάλλον, το οποίο παρέχει στους οργανισμούς του εδάφους νερό, τροφή, αέρα και καταφύγιο. Λόγω των ιδιοτήτων του εδάφους, οι ρύποι που καταλήγουν πάνω ή μέσα στο έδαφος, μπορούν να έχουν μακροχρόνιες, άμεσες και ισχυρές επιπτώσεις στη βιοποικιλότητα του εδάφους. Τα πιο συνηθισμένα είδη ρύπων που υπάρχουν στο έδαφος είναι τα φυτοφάρμακα, το λάδι, τα βαρέα μέταλλα και πολύ υψηλές και σημαντικές συγκεντρώσεις είναι των λιπασμάτων και των αλάτων όπου προκαλούνται κυρίως από αστικά και βιομηχανικά απόβλητα (Σχήμα 3.1.1) (Pravalie R. 2021; Anne Winding et al.,2020; Orgiazzi, A. et al.,2016 ).

Πολλές φορές ο όρος της «ρύπανσης» συγχέεται με τον όρο της «μόλυνσης». Η ρύπανση μπορεί να καθοριστεί από τον άνθρωπο ως η εισαγωγή ουσιών ή ενεργειών στο περιβάλλον με αποτέλεσμα βλαβερών επιπτώσεων στους ζωντανούς πόρους, κινδύνους για την ανθρώπινη υγεία και περιορισμούς στις ανθρώπινες δραστηριότητες, όπως η γεωργία. Αντιθέτως, η μόλυνση είναι η παρουσία συγκεντρώσεων επιβλαβών ουσιών, πάνω από το επίπεδο του φυσιολογικού για το εξεταζόμενο περιβάλλον και του οργανισμού που ζουν σε αυτό. Ένα μεγάλο φάσμα ρύπων μπορεί να φτάσει στο έδαφος μέσω διαφόρων οδών (άμεση εφαρμογή, ατμοσφαιρική πτώση, διάθεση απορριμμάτων κ.λπ.) τόσο των φυσικών όσο και των τροποποιημένων οικοσυστημάτων και να επηρεάσει τη λειτουργία των εδαφών σε ευρεία χωροχρονική κλίμακα από μεμονωμένους οργανισμούς έως τόπια (Pravalie R. 2021; Orgiazzi, A. et al.,2016).

Οι συνέπειες της ρύπανσης στη βιοποικιλότητα του εδάφους σχετίζεται από τον τύπο του ρύπου και τον τρόπο δράσης του στους οργανισμούς του εδάφους. Διαρροές πετρελαίου που δημιουργούν μια μεμβράνη στις ανταλλαγές αερίων έτσι ώστε να δημιουργεί έλλειψη αέρα και ασφυξία των βιοτόπων του εδάφους με μη επιλεκτικό τρόπο. Αντιθέτως, τα φυτοφάρμακα είναι πιο επιλεκτικά, εξοντώνοντας συγκεκριμένες ομάδες εδαφικών οργανισμών ως παρενέργεια των κύριων στόχων τους για τα παθογόνα των φυτών και τα παράσιτα. Για παράδειγμα, τα νηματοκτόνα σκοτώνουν νηματώδης οργανισμούς, τα εντομοκτόνα σκοτώνουν έντομα, τα βακτηριοκτόνα σκοτώνουν βακτήρια, τα

μυκητοκτόνα σκοτώνουν μύκητες και τα ακαρεκτόνα σκοτώνουν τα ακάρεα. Το επίπεδο άμεσης τοξικότητας εξαρτάται συχνά από τη δόση. Πρέπει να σημειωθεί πως οι οργανισμοί του εδάφους μπορούν να αναπτύξουν ανθεκτικότητα στα φυτοφάρμακα, κυρίως εάν ο ρυθμός αναπαραγωγής τους είναι υψηλός οι αρχικοί πληθυσμοί τους είναι μεγάλοι και η μέθοδος τους για να ξεπεράσουν τη δραστηριότητα των φυτοφαρμάκων απαιτεί λίγες προσαρμογές όπως για παράδειγμα, η παραγωγή πρωτεϊνών που μπορούν να αποτοξινώσουν μια απλή χημική ένωση (Pravalie R. 2021; Orgiazzi, A. et al.,2016).

Τα βαρέα μέταλλα, όπως ο μόλυβδος, ο ψευδάργυρος, το κάδμιο και ο υδράργυρος, παρεμβαίνουν στον φυσιολογικό μεταβολισμό των φυτών και των εδαφικών οργανισμών, με συνέπεια φυσιολογικές, νευρολογικές και θανατηφόρες διαταραχές. Μια πολύ συγκεκριμένη επίδραση εξαρτάται από το εν λόγω βαρέα μέταλλα και τη διαθεσιμότητά τους, όπως για παράδειγμα η κινητικότητα στο σύστημα του εδάφους. Εκτός από την εξόρυξη μετάλλων, οι χώροι υγειονομικής ταφής (χωματερές) και οι βιομηχανικοί χώροι είναι, επίσης πιθανά σημεία για ρύπανση βαρέων μετάλλων στο έδαφος. Ο έλεγχος σχετικά με τον τύπο των αποβλήτων που καταλήγουν στους χώροι υγειονομικής ταφής (χωματερές) και την ανακύκλωση των αποβλήτων για την επαναχρησιμοποίηση των βαρέων μετάλλων είναι επομένως σημαντικής σημασίας (Pravalie R. 2021; Anne Winding et al.,2020; Orgiazzi, A. et al.,2016).

Ως συμπέρασμα, πέρα από τον ρύπο, είναι σημαντικό να ληφθεί υπόψη ότι οι επιπτώσεις στην βιοποικιλότητα του εδάφους δεν δρουν μόνο μέσω άμεσης τοξικότητας, η οποία είτε σκοτώνει άμεσα τους βιοτόπους του εδάφους είτε οδηγεί στην κακή αναπαραγωγική απόδοση, όμως έχει ακόμα έμμεσες επιπτώσεις στους οργανισμούς που δεν στοχεύουν. Καθώς οι οργανισμοί του εδάφους εξαρτώνται ο ένας από τον άλλο μέσω των σχέσεων σίτισης, η αλλοίωση οποιουδήποτε από τα συστατικά του ιστού των τροφίμων μπορεί να επηρεάσει την υπόλοιπη αλυσίδα. Επί παραδείγματι, όταν η ανάπτυξη των φυτών δεν είναι δυνατή λόγω των υψηλών συγκεντρώσεων ρύπων. Η αφθονία των οργανισμών του εδάφους μειώνεται λόγω της εξάρτησής τους από την οργανική ύλη που προέρχεται από τα φυτά (Pravalie R. 2021; Orgiazzi, A. et al.,2016).



Σχήμα 3.1.1. Πρακτικές που έχουν συνήθως αρνητικές επιπτώσεις στη βιοποικιλότητα του εδάφους. (α) πετρελαιοκηλίδες, (β) χώροι υγειονομικής ταφής με αστικά απόβλητα και (γ) εξόρυξη  
Πηγή: Global Soil Biodiversity Atlas, 2016

### 3.2. Όξινη βροχή και υπερφόρτωση θρεπτικών ουσιών

Η «όξινη βροχή» είναι ένας γενικός όρος που αναφέρεται σε ένα μείγμα υγρής και ξηρής εναπόθεσης από την ατμόσφαιρα που περιέχει υψηλότερες από τις κανονικές ποσότητες νιτρικών και θεικών οξέων. Οι σχηματισμοί της όξινης βροχής προκύπτουν από φυσικές πηγές όπως ηφαιστεια , αποσυντεθειμένη βλάστηση και ανθρώπινες πηγές, κυρίως έκκριση διοξειδίου του θείου και οξειδίων του αζώτου (Σχήμα 3.2.1) που προκύπτουν από την καύση ορυκτών καυσίμων. Η όξινη βροχή συμβαίνει όταν αυτά τα αέρια αντιδρούν στην ατμόσφαιρα με χημικές ουσίες, οξυγόνο και νερό για να σχηματίσουν διάφορες όξινες ενώσεις. Το αποτέλεσμα είναι ένα ήπιο διάλυμα νιτρικού και θεικού οξέος. Όταν τα οξείδια του αζώτου και το διοξείδιο του θείου ελευθερώνουν από σταθμούς ηλεκτροπαραγωγής και άλλες πηγές, οι επικρατούντες άνεμοι

μεταφέρουν αυτές τις ενώσεις σε εθνικά και κρατικά σύνορα, μερικές φορές εκατοντάδες χιλιόμετρα (McDonnell T.C. et al.,2021; Orgiazzi, A. et al.,2016)

Η βλάβη που προκύπτει από όξινη εναπόθεση έχει διερευνηθεί σε όλες τις ομάδες εδαφικών οργανισμών. Η αύξηση της οξύτητας του εδάφους μπορεί να επηρεάσει τους μικροοργανισμούς όπως για παράδειγμα βακτήρια και μύκητες, που διασπούν την οργανική ύλη σε θρεπτικές μορφές που στη συνέχεια διατίθενται στα φυτά. Συνήθως, παρατηρείται η μείωση της ποικιλότητας των ειδών παρουσία όξινων βροχών. Όμως, τα κοινά μοτίβα δεν μπορούν να προσδιοριστούν καθώς τα αποτελέσματα ποικίλλουν πολύ λόγω της ποικιλίας των μικροβιακών λειτουργικών ομάδων. Λαμβάνοντας υπόψη τη μικροπανίδα, η ικανότητα των πρότιστων να σχηματίζουν ανθεκτικές δομές, μπορεί να είναι ένα σημαντικό χαρακτηριστικό που παρέχει καταφύγιο από την όξινη πίεση. Μεταξύ των mesofauna (είναι ασπόνδυλα μεγέθους μεταξύ 0,1 mm και 2 mm, τα οποία ζουν στο έδαφος ή σε ένα στρώμα απορριμμάτων φύλλων στην επιφάνεια του εδάφους. “Wikipedia”, 2021), η ευαισθησία στην οξύτητα είναι υψηλότερη στα collembolans (αποτελούν τη μεγαλύτερη από τις τρεις γραμμές των σύγχρονων εξάποδων οι οποίες δεν θεωρούνται πλέον έντομα. “Wikipedia”, 2021) και τα ακάρεα, ενώ πολλά είδη δακτυλιωτών λευκοσκώληκων είναι ανεκτικά στην οξύτητα (McDonnell T.C. et al.,2021; Anne Winding et al.,2020; Orgiazzi, A. et al.,2016).

Η οξίνιση του εδάφους (είναι η συσσώρευση κατιόντων υδρογόνου , η οποία μειώνει το pH του εδάφους. “Wikipedia”,2021) επηρεάζει ακόμα και τις κοινότητες των γαιοσκωλήκων και τη δραστηριότητά τους. Στην πραγματικότητα, έχουν την τάση να διαφεύγουν από όξινα εδάφη και τελικά ενδέχεται να πεθάνουν όταν οι τιμές του pH γίνουν πολύ χαμηλές (pH 2). Ακόμα, έχει αποδειχθεί μια αντίστροφη σχέση μεταξύ της οξύτητας του εδάφους και του ρυθμού ροής καθώς το περιβάλλον γίνεται πιο όξινο (pH 4), οι γαιοσκώληκες απέτυχαν να ξεφλουδίσουν γρήγορα (δηλαδή κάτω από 20 λεπτά). Σε αντίθεση, τα μακροαρθρόποδα όπως τα κολεόπτερα, έχουν περιορισμένη ευαισθησία σε χαμηλές τιμές pH χάρη στο σκληρό εξωτερικό κάλυμμα (επιδερμίδα). Παρόλα αυτά, η υψηλή ζήτηση για θρεπτικά συστατικά που προκαλείται από την ανάπτυξη της επιδερμίδας δεν επιτρέπει στα περισσότερα είδη μακροαρθρόποδων να επιβιώσουν σε ένα όξινο περιβάλλον (McDonnell T.C. et al.,2021; Anne Winding et al.,2020; Orgiazzi, A. et al.,2016).

Ακόμα, η όξινη βροχή, μπορεί να έχει αρνητικές συνέπειες στα φυτά. Η αύξηση

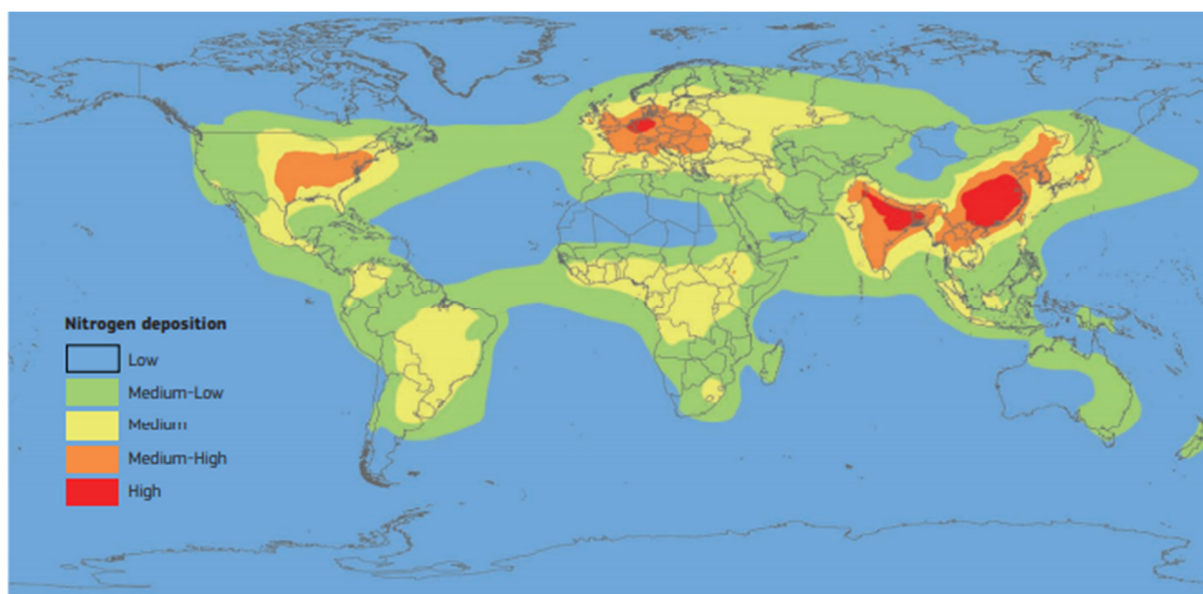
της οξύτητας του εδάφους επιτρέπει την οξύτητα του αργίλου και αυτό είναι ένα κοινό συστατικό των ορυκτών του εδάφους. Το αλουμίνιο, στην ελεύθερη οργανική του μορφή, είναι πολύ τοξικό για τις ρίζες των φυτών και μπορεί να φυλακίσει το φώσφορο, περιορίζοντας έτσι τις συγκεντρώσεις αυτού του σημαντικού θρεπτικού φυτού. Ωστόσο, σύμφωνα με τέτοιες συνθήκες, έχει επίσης αποδειχθεί ότι οι εκτομυκορριζικοί μύκητες στις ρίζες ορισμένων δέντρων βοηθούν στον εφοδιασμό με πολύ απαραίτητο ασβέστιο σε δασικά εδάφη που υπόκεινται σε όξινη βροχή (McDonnell T.C. et al.,2021; Orgiazzi, A. et al.,2016)

Σε όλο τον κόσμο, τα εδάφη, δέχονται εισροές θρεπτικών συστατικών κυρίως από ανθρώπινες δραστηριότητες σε ρυθμούς οι οποίοι υπερβαίνουν εκείνους από τις φυσικές διεργασίες. Ένα παράδειγμα είναι η είσοδος αζώτου (N) στα οικοσυστήματα, όπου είναι 30-50% μεγαλύτερες τώρα από ότι ήταν πριν από 100 χρόνια. Παρομοίως και η εισροή φωσφόρου (P) μέσω των εφαρμογών λιπασμάτων σε γεωργικές εκτάσεις που εκτιμάται τώρα ότι είναι κατά προσέγγιση 25 χιλιάδες εκατομμύρια κιλά τον χρόνο, είναι ποσοστά και τα δύο που υπερβαίνουν κατά πολύ τις προ-βιομηχανικές εισροές. Οι υπερβολικές ποσότητες αζώτου και φωσφόρου αποκτούν πρόσβαση στα οικοσυστήματα μέσω της άμεσης εφαρμογής κοπριάς ή χημικών λιπασμάτων σε γεωργικά εδάφη και σε βοσκοτόπια. Διαφορετικά, ο φώσφορος και το άζωτο μπορούν να εισέρχονται στα οικοσυστήματα, ακόμη και αυτά που σε μεγάλο βαθμό δεν επηρεάζονται από τις ανθρώπινες δραστηριότητες, διαμέσου της ατμοσφαιρικής εναπόθεσης σκόνης που περιέχει οξείδια αζώτου και φώσφορο. Σε παγκόσμιο επίπεδο, τα τελευταία 50 χρόνια οι ρυθμοί με τους οποίους προστέθηκαν φώσφορο και άζωτο στα εδάφη αυξήθηκαν, με σημαντικές επιπτώσεις στη λειτουργία αλλά και στη δομή των οικοσυστημάτων (McDonnell T.C. et al.,2021; Orgiazzi, A. et al.,2016).

Σε εδάφη μη γεωργικά, η αυξημένη προσθήκη θρεπτικών συστατικών με το πέρασμα του χρόνου μπορεί να επιφέρει σημαντικές αλλαγές στη σύνθεση της φυτικής κοινότητας. Οι προσθήκες θρεπτικών συστατικών, μπορούν ακόμα να επιφέρουν αλλαγές στο pH του εδάφους και σε κάποιες περιπτώσεις, τοξικότητα σε θρεπτικά συστατικά αν οι ρυθμοί προσθήκης είναι ιδιαίτερα αυξημένοι. Επιπρόσθετα, οι εντάξεις θρεπτικών συστατικών μπορούν να προκαλέσουν σημαντικές αλλαγές στη δυναμική του άνθρακα στο υπέδαφος, εξαιτίας μεταβολών στις ποσότητες και τους τύπους οργανικού άνθρακα που εμπεριέχεται στα φυτά που εισέρχονται στο έδαφος και τις μεταβολές στους ρυθμούς με τους οποίους οι δεξαμενές απορριμμάτων και οργανικών υλικών ανοργανοποιούνται

σε διοξείδιο του άνθρακα (CO<sub>2</sub>) μέσω των μικροβιακών δραστηριοτήτων (McDonnell T.C. et al.,2021; Anne Winding et al.,2020; Orgiazzi, A. et al.,2016).

Η υπερφόρτωση θρεπτικών ουσιών ίσως έχει τις ισχυρότερες επιπτώσεις στα υδρόβια οικοσυστήματα όταν το έδαφος δεν μπορεί να διατηρήσει την προσθήκη αζώτου και φωσφόρου. Η περίσσια ποσότητα θρεπτικών συστατικών καταλήγουν σε υπόγεια αλλά και επιφανειακά ύδατα, φθάνοντας στο γνωστό φαινόμενο του ευτροφισμού, που είναι η υπερβολική ανάπτυξη των φυκών που οφείλεται σε υψηλές συγκεντρώσεις θρεπτικών συστατικών (McDonnell T.C. et al.,2021; Orgiazzi, A. et al.,2016).



Σχήμα 3.2.1. Χάρτης απόθεσης αζώτου από εκπομπές αζώτου σε όλο τον κόσμο. Πηγή: Global Soil Biodiversity Atlas, 2016

Με βάση τις χιλιάδες αλληλεπιδράσεις ανάμεσα στα φυτά και στους υπόγειους βιότοπους, ο βασικός μηχανισμός μέσω του οποίου οι τροποποιήσεις των θρεπτικών ουσιών επηρεάζουν τα μικρόβια και την πανίδα του εδάφους είναι η μεταβολή της παραγωγής φυτών και των κοινοτικών τύπων των φυτών. Ένα παράδειγμα, είναι οι προσθήκες θρεπτικών ουσιών που συνήθως ευνοούν την ανάπτυξη διάφορων ειδών «ζιζανίων» που δημιουργούν απορρίμματα υψηλότερης ποιότητας, καθυστερώντας την ανάπτυξη κυανοβακτηρίων που σχετίζονται με την αποσύνθεση περισσότερων ανθεκτικών τύπων απορριμμάτων. Αντίστοιχα, οι μυκορριζικοί μύκητες τυπικά γίνονται λιγότερο πλήρεις όταν τα εδάφη τροποποιούνται με φώσφορο ή άζωτο. Η ανάπτυξη κυανοβακτηρίων που βρίσκονται συνήθως στην επιφάνεια του εδάφους σε αρκετά οικοσυστήματα

μπορεί να διακοπεί από την υπερφόρτωση θρεπτικών ουσιών εξαιτίας της υψηλής σκίασης που συχνά συνοδεύει τους αυξημένους ρυθμούς ανάπτυξης των φυτών (McDonnell T.C. et al.,2021; Orgiazzi, A. et al.,2016).

Οι αλλαγές στη βιοποικιλότητα του εδάφους και οι λειτουργικές ικανότητες αυτών των κοινοτήτων που προκύπτουν από αυξημένες εισροές θρεπτικών ουσιών μπορεί να έχουν δραματικές επιπτώσεις στον κύκλο άνθρακα του εδάφους. Παραδείγματος χάριν, παρατηρείται συνήθως ότι η μικροβιακή αποσύνθεση των αποθεμάτων οργανικής ύλης εδάφους γενικά πέφτει όταν τα εδάφη τροποποιούνται με άζωτο μαζί με αντίστοιχη πτώση στο μέγεθος της δεξαμενής της μικροβιακής βιομάζας του εδάφους. Ωστόσο, αυτές οι ανταποκρίσεις δεν παρατηρούνται σε όλες τις τοποθεσίες και οι προσθήκες θρεπτικών ουσιών μπορούν να έχουν διαφορετικά αποτελέσματα στην αποσύνθεση των απορριμμάτων συγκριτικά με την αποσύνθεση της οργανικής ύλης του εδάφους. Η ελάττωση της παραγωγής μικροβίων διοξειδίου του άνθρακα CO<sub>2</sub> και της μικροβιακής βιομάζας έχει παρατηρηθεί τόσο σε επιτόπιες μελέτες όσο και σε πειραματικές μελέτες σε ένα ευρύ φάσμα τύπων εδάφους, υποδεικνύουν έτσι ότι αυτές οι αποκρίσεις είναι σχεδόν γενικές (McDonnell T.C. et al.,2021; Orgiazzi, A. et al.,2016).

Εν κατακλείδι, είναι σημαντικό να βελτιωθεί η κατανόηση του τρόπου με τον οποίο τα θρεπτικά συστατικά επηρεάζουν τις δραστηριότητες των υπόγειων κοινοτήτων, δεδομένου ότι η μικροβιακή ανοργανοποίηση των δεξαμενών οργανικής ύλης του εδάφους αποτελεί βασικό συστατικό του παγκόσμιου κύκλου άνθρακα και καθοριστικό παράγοντα της γονιμότητας του εδάφους μεγαλύτερες χρονικές κλίμακες (McDonnell T.C. et al.,2021; Anne Winding et al.,2020; Orgiazzi, A. et al.,2016).

### **3.3. Γεωργικές πρακτικές**

Οι γεωργικές δραστηριότητες αντιπροσωπεύουν μια από τις πιο εντατικές μορφές χρήσης γης και οι συνέπειες τους στους βιοτόπους του εδάφους μπορούν να αλλάζουν σε μεγάλο βαθμό ως συνάρτηση των επιλογών διαχείρισης που υιοθετούνται. Ένα παράδειγμα είναι οι παρατηρήσεις σχετικά με τον αντίκτυπο της γεωργικής διαχείρισης στις κοινότητες των μικροαρθρόποδων του εδάφους που δείχνουν ότι η υψηλή είσοδος συστημάτων με έντονη διαχείριση που τείνει να προάγει τη μείωση της ποικιλομορφίας, ενώ τα συστήματα χαμηλότερης εισόδου διατηρούν την ποικιλομορφία (Beata Houšková et al.,2021; Orgiazzi, A. et



al.,2016).

Τα συστήματα υψηλής εισόδου ευνοούν τις βακτηριακές οδούς αποσύνθεσης, οι οποίες κυριαρχούνται από ασταθή υποστρώματα και την καιροσκοπική πανίδα τροφοδοσίας βακτηριδίων. Αντιθέτως, τα συστήματα χαμηλής εισόδου προάγουν τις μυκητιακές οδούς με έναν πιο ετερογενή βιότοπο και έναν πόρο που κυριαρχείται από την διαρκής πανίδα με μύκητες (Beata Houšková et al.,2021; Orgiazzi, A. et al.,2016).

Η καλλιέργεια του εδάφους, δημιουργούν σημαντικές τροποποιήσεις στο έδαφος ιδίως όσον αφορά την ικανότητα συγκράτησης νερού, τη δομή του εδάφους, το πορώδες αλλά και την περιεκτικότητα σε οργανικό άνθρακα. Οι επιπτώσεις του οργώματος στους οργανισμούς του εδάφους ποικίλλει, ανάλογα με τα χαρακτηριστικά του εδάφους και το σύστημα οργώματος. Υπάρχουν τρία κύρια συστήματα οργώματος (Σχήμα 3.3.1.) τα συμβατικά, τα ελάχιστα και χωρίς άροση. Η συμβατική, εντατική άροση, δηλαδή το όργωμα, διαλύει και αναστρέφει το έδαφος, καταστρέφει τη δομή του εδάφους και θάβει τα υπολείμματα των καλλιεργειών, προκαλώντας την πιο σημαντική επίδραση στους οργανισμούς του εδάφους. Τα ελάχιστα συστήματα οργώματος, μπορούν να χαρακτηριστούν από μια μειωμένη περιοχή οργώματος ή ακόμα και το μειωμένο βάθος οργώματος, χρησιμοποιώντας περιστροφικό όργωμα, σβάρνα και τσάπισμα. Εφόσον το συμβατικό όργωμα τείνει να ευνοεί τα βακτήρια αναμένεται επίσης ότι θα ευνοούσαν τους πρωτοστάτες δεδομένου ότι τα βακτήρια είναι η κύρια πηγή τροφής τους. Οι συνολικοί αριθμοί νηματωδών βρέθηκαν να μειώνονται ή να αυξάνονται με την άροση. Το πλούσιο φάσμα των αποκρίσεων τους, πιθανώς αντικατοπτρίζει το μεγάλο φάσμα των τροφικών επιπέδων και των λειτουργιών ομάδων, δηλαδή βακτήρια, μύκητες, αρπακτικά, παράσιτα των φυτών και παμφάγα (Beata Houšková et al.,2021; Anne Winding et al., 2020; Orgiazzi, A. et al.,2016).

Αν αναλογιστούμε ότι η μέσο-πανίδα και η μάκρο-πανίδα του εδάφους, τα κατεργασμένα συστήματα φιλοξενούν γενικά οργανισμούς με μικρό μέγεθος σώματος, με μικρό χρονικό διάστημα ζωής, με ταχεία διασπορά και παμφάγες διατροφικές συνήθειες. Οι πόδουροι, συνήθως αναστέλλονται από διαταραχές οργώματος, αν και μερικές μελέτες έχουν δείξει το αντίθετο αποτέλεσμα. Τα ακάρεα, παρουσιάζουν μεγαλύτερο εύρος και πιο ακραίες αποκρίσεις. Το όργωμα είναι επίσης ένας από τους πιο επιβλαβείς παράγοντες για τις κοινότητες των γαιοσκωλήκων στα γεωργικά εδάφη. Εμποδίζουν και καταστρέφουν τον βιότοπο

τους και τους καταστρέφει φυσικά μέσω των λεπίδων του αρότρου και της ανατροπής του οργώματος. Οι γαιοσκώληκες μετακινούνται στην επιφάνεια όπου εκτίθενται σε αρπακτικά πουλιά. Η ειδική επίδραση του οργώματος στους γαιοσκώληκες εξαρτάται από τον τύπο του οργώματος και από τα είδη ή τη λειτουργική ομάδα του γαιοσκώληκα. Η καλλιέργεια του εδάφους επίσης επηρεάζει την ευαισθησία στη συμπίεση, η οποία με τη σειρά της επηρεάζει τους βιότοπους του εδάφους (Beata Houšková et al.,2021; Anne Winding et al.,2020; Orgiazzi, A. et al.,2016).



Σχήμα 3.3.1. Όργωμα χωραφιού  
Πηγή: One year spring tillage study in corn and soybeans, 2021

Μια ακόμη γεωργική πρακτική που σχετίζεται με τη βιοποικιλότητα του εδάφους είναι οι εφαρμογές λιπασμάτων (Σχήμα 3.3.2.) που χρησιμοποιούνται τακτικά στη γεωργία για τη διατήρηση υψηλών αποδόσεων. Μπορούν να εφαρμοστούν δύο βασικοί τύποι λιπασμάτων οργανικά και ανόργανα λιπάσματα. Τα οργανικά λιπάσματα αποτελούνται από υλικά που προκύπτουν από διαφορετικούς τύπους οργανισμών. Αυτά τα λιπάσματα, όπως υπολείμματα καλλιεργειών ή κοπριά ζώων, όπου χρησιμεύουν ως επιπλέον πηγή τροφής για την κοινότητα των αποσυνθέτων (ότι αποσυνθέτες είναι οργανισμοί που διαλύουν νεκρούς ή

αποσυντιθέμενους οργανισμούς. Πραγματοποιούν αποσύνθεση , μια διαδικασία που είναι δυνατή μόνο από ορισμένα βασιλεια, όπως οι μύκητες. “Wikipedia”, 2021) του εδάφους και συχνά αυξάνουν την πυκνότητα του πληθυσμού και τη βιομάζα τους. Τα ανόργανα λιπάσματα μερικές φορές αποτελούνται εντελώς ή τουλάχιστον εν μέρει από τεχνητές ύλες. Δεν χρησιμεύουν άμεσα ως πηγή τροφής για τους οργανισμούς του εδάφους, αυξάνοντας έτσι την ανάπτυξη της καλλιέργειας, αφήνοντας διαθέσιμες περισσότερες οργανικές ύλες, ρίζες και υπολείμματα φυτών, μετά τη συγκομιδή και ενδέχεται να έχουν έμμεσες επιπτώσεις στους βιοτόπους του εδάφους (Beata Houšková et al.,2021; Orgiazzi, A. et al.,2016).

Οι βιολογικές γεωργικές πρακτικές που περιλαμβάνουν τακτικές εισροές οργανικής ύλης στην εναλλαγή τους, που έχουν συνήθως μεγαλύτερες εδαφικές κοινότητες από τις συμβατικές γεωργικές πρακτικές. Ένα παράδειγμα, είναι η στερεή κοπριά που έχει θετική επίδραση στους οργανισμούς του εδάφους, ιδιαίτερα στους γαιοσκώληκες. Τα ανόργανα λιπάσματα, αναφέρθηκαν ότι έχουν μεταβλητές επιπτώσεις στους οργανισμούς του εδάφους. Αρκετές μελέτες δείχνουν ότι τα υψηλά επίπεδα εισροών αζώτου σχετίζονται με μείωση της αφθονίας των μικροαρθρόποδων και του πλούτου των ειδών. Τα ορυκτά λιπάσματα, όπως το άζωτο και ο φώσφορος, μπορούν ακόμα να επηρεάσουν τους γαιοσκώληκες μειώνοντας την αφθονία τους. Ο μηχανισμός μπορεί να συσχετιστεί με την επίδραση οξίνισης του εδάφους του αζώτου από τα ανόργανα λιπάσματα (Beata Houšková et al.,2021; Orgiazzi, A. et al.,2016).



Σχήμα 3.3.2. Λιπάσματα στα εδάφη  
Πηγή: How to apply fertilizers?, 2021

Τα φυτοφάρμακα είναι ακόμα μια γεωργική πρακτική που σχετίζεται με τη βιοποικιλότητα του εδάφους που είναι οποιοδήποτε μείγμα ή ουσία που αποσκοπούν στην καταστροφή και στην πρόληψη των παρασίτων. Εξυπακούεται ότι τα φυτοφάρμακα είναι επιζήμια για τους στοχευμένους οργανισμούς, αλλά και οι μη στοχευμένοι οργανισμοί που μπορούν επίσης να επηρεαστούν αρνητικά. Η χρήση φυτοφαρμάκων στο έδαφος μπορεί να επηρεάσει την απόδοση των ατόμων και τροποποιώντας τις οικολογικές αλληλεπιδράσεις μεταξύ των ειδών (Beata Houšková et al.,2021; Anne Winding et al.,2020; Orgiazzi, A. et al.,2016).

Ένα οι περισσότερα είδη, που ζουν στο έδαφος προσβάλλονται από ένα φυτοφάρμακο, αυτό μπορεί να επηρεάσει ολόκληρο τον ιστό του εδάφους από άποψη αφθονίας και σύνθεσης. Η τοξικότητα στα φυτοφάρμακα βλάπτει κυρίως την εδαφική πανίδα, η επίπτωση αυτή καθορίζεται από διαφορετικούς παράγοντες, όπως χημικά και φυσικά χαρακτηριστικά, ευαισθησία ειδών και τύπο εδάφους. Αρκετές μελέτες διαπίστωσαν αρνητικές επιπτώσεις διαφόρων φυτοφαρμάκων στην αφθονία των γαιοσκωλήκων (Beata Houšková et al.,2021; Orgiazzi, A. et al.,2016).

Τα χημικά και φυσικά χαρακτηριστικά του εδάφους, όπως η δομή, η υφή, το pH, η περιεκτικότητα σε οργανικές ύλες και τέλος καθορίζουν επίσης τις τοξικές επιπτώσεις των φυτοφαρμάκων. Η εφαρμογή φυτοφαρμάκων δεν έχει πάντα αρνητικές επιπτώσεις στην κοινότητα του εδάφους (Beata Houšková et al.,2021; Orgiazzi, A. et al.,2016).

Άλλη μια γεωργική πρακτική που σχετίζεται με τη βιοποικιλότητα του εδάφους είναι η ποικιλομορφία των καλλιεργειών. Η μονοκαλλιέργεια είναι η γεωργική πρακτική της καλλιέργειας μόνο μιας καλλιέργειας ή ειδών φυτών κάθε φορά. Αντίθετα, η πολυκαλλιέργεια όπου καλλιεργούνται περισσότερες από μία καλλιέργειες ταυτόχρονα και η εναλλαγή καλλιεργειών, όπου διαφορετικά είδη φυτών καλλιεργούνται κάθε χρόνο, είναι οι εναλλακτικές λύσεις για τη μονοκαλλιέργεια (Σχήμα 3.3.3.) (Beata Houšková et al.,2021; Orgiazzi, A. et al.,2016).

Η συνεχής μονοκαλλιέργεια, ή η μονοκαλλιέργεια, όπου το ίδιο είδος καλλιεργείται κάθε χρόνο, μπορεί να οδηγήσει σε συσσώρευση παρασίτων και ασθενειών με συνέπεια, την ταχεία εξάπλωσή τους όπου μια ομοιόμορφη καλλιέργεια είναι ευαίσθητη σε παθογόνο. Συνεπώς, οι μονοκαλλιέργειες συνήθως απαιτούν υψηλές εισροές φυτοφαρμάκων. Λόγω των ισχυρών δεσμών μεταξύ των άνω και κάτω των υπόγειων κοινοτήτων, οι μονοκαλλιέργειες μπορούν να επηρεάσουν τους οργανισμούς που ζουν στο έδαφος (Beata Houšková et al.,2021; Orgiazzi, A. et al.,2016).



Σχήμα

3.3.3.

Μονοκαλλιέργεια

Πηγή: Monoculture Farming In Agriculture Industry,2020

### 3.4. Πυρκαγιές

Οι πυρκαγιές είναι καταστροφικά γεγονότα που συμβαίνουν στα μεγάλα οικοσυστήματα του κόσμου (Σχήμα 3.4.1.). Η καύση οδηγεί σε δραματικές αλλαγές τόσο στη λειτουργική δομή όσο και στην σύνθεση των ειδών των επίγειων οικοσυστημάτων τόσο κάτω όσο και πάνω από το έδαφος. Αυτό συνδέεται με τις αλλαγές στη λειτουργία τους και την παροχή βασικών υπηρεσιών οικοσυστήματος. Τα Ηνωμένα Έθνη αναγνώρισαν τις πυρκαγιές ως μεταξύ των βασικών απειλών για τη βιωσιμότητα της παγκόσμιας βιόσφαιρας. Παρότι η συνολική έκταση που καίγεται κάθε χρόνο μειώνεται, λόγω της συνεχιζόμενης εκστρατείας με την πρόληψη της καύσης για γεωργικούς σκοπούς και την προστασία των δασών, κατά προσέγγιση 340 εκατομμύρια εκτάρια εξακολουθούν να καταστρέφονται από πυρκαγιές κάθε χρόνο (Giacomo Certini et al.,2021; Anne Winding et al.,2020; Orgiazzi, A. et al.,2016).

Επιπρόσθετα, η συχνότητα πυρκαγιάς παρέμεινε σταθερή ή ακόμη και αυξημένη, και ως το ένα έκτο ολόκληρης της έκτασης ορισμένων οικοσυστημάτων, όπως τροπικές σαβάνες (Ως σαβάνα χαρακτηρίζεται κάθε μεγάλη πεδινή έκταση στις τροπικές ή υποτροπικές περιοχές της Γης, καθώς και το αντίστοιχο

οικοσύστημα. “Βικιπαίδεια”, 2021) και λιβάδια καίγονται ετησίως, ενώ τα βόρεια δάση καίγονται κάθε 15 με 25 χρόνια. Αυτό συνεπάγεται πως τα εδάφη σε δραστικές θερμικές και τοξικές επιδράσεις, οι οποίες μπορεί να οδηγήσουν σε σοβαρές ζημιές σε ζώνες κάτω από το έδαφος (Giacomo Certini et al.,2021; Anne Winding et al.,2020; Orgiazzi, A. et al.,2016).



Σχήμα 3.4.1. Πυρκαγιά στο καταφύγιο άγριας φύσης του Kedarnath.  
Πηγή: Climate crisis: Uttarakhand may see forest fires round the year, 2021

Εντούτοις, βρίσκουν αντίθετες απόψεις σχετικά με τον πραγματικό αντίκτυπο των πυρκαγιών στα οικοσυστήματα κάτω από το έδαφος και τη λειτουργικότητά τους. Πολλές μελέτες έχουν δείξει πως οι πυρκαγιές μειώνουν τη βιοποικιλότητα του εδάφους και τη βιομάζα των οργανισμών κάτω από το έδαφος. Συγχρόνως, ορισμένα εδάφη επιδεικνύουν σημαντική ανθεκτικότητα ενάντια στο κάψιμο λόγω διαφόρων μηχανισμών. Ωστόσο, υπάρχει μια γενική σύμπτωση, ότι η καύση έχει αρνητικές επιπτώσεις στις λειτουργίες του εδάφους και στις υπηρεσίες του οικοσυστήματος, όπως η κινητοποίηση οργανικής ύλης και η ακινητοποίηση που προστατεύονται από οργανισμούς του εδάφους. Εξαιρουμένου, πολύ λίγων οργανισμών, τα περισσότερα ασπόνδυλα μειώνουν την αφθονία και τη βιομάζα

αμέσως μετά από πυρκαγιά (Giacomo Certini et al.,2021; Anne Winding et al.,2020; Orgiazzi, A. et al.,2016).

Οι οργανισμοί που κατοικούν στο έδαφος, δηλαδή εκείνοι οι οργανισμοί που ζουν κυρίως στο έδαφος, υπάρχουν τις πολυάριθμες και διαφορετικές συνέπειες της εμφάνισης πυρκαγιάς που συχνά παραβλέπονται σε σύγκριση με εκείνες της βλάστησης και της άγριας πανίδας. Οι πιο πολλοί οργανισμοί ζουν στο ανώτερο στρώμα του εδάφους, όπου οι θερμοκρασίες που επιβάλλονται στη φωτιά στο έδαφος είναι οι υψηλότερες στο βαθμό που είναι επικίνδυνοι ή θανατηφόροι ταραγμένοι φυσικοί βιότοποι. Οι επιπτώσεις που έχει η φωτιά στο βιότοπο του εδάφους σχετίζεται αυστηρά με τις μέγιστες θερμοκρασίες που επιτυγχάνονται στο έδαφος και τη διάρκειά τους και με ένα σύνολο ιδιοτήτων εδάφους και περιεκτικότητας σε νερό (Certini G. et al.,2021).

Τα σπονδυλωτά, μπορούν να ξεφύγουν από την υπερθέρμανση και να καταλήξουν στον θάνατο, τρέχοντας και ψάχνοντας για υγρές εσοχές ή να ανοίγουν λάκκους βαθιά στο έδαφος. Επίσης, τα ασπόνδυλα που έχουν μικρή ή καθόλου κινητικότητα, υποκύπτουν εύκολα στη φωτιά, αλλά εξισορροπούν αυτήν την φυσική αδυναμία χάρις στη μεγαλύτερη γονιμότητα σε επίπεδο πληθυσμού (Certini G. et al.,2021).

Η σοβαρότητα της πυρκαγιάς, μπορεί γενικά να οριστεί ως απώλεια οργανικής ύλης πάνω και κάτω από το έδαφος, είναι ο πιο βασικός παράγοντας των έμμεσων επιπτώσεων της φωτιάς στους βιοτόπους που ζουν στο έδαφος (Σχήμα 3.4.2.). Μολονότι τα ελεγχόμενα εγκαύματα δεν συνεπάγονται συχνά με ουσιαστική και διαρκή μετατόπιση από την αρχική κατάσταση, οι τεράστιες και ακραίες πυρκαγιές μπορεί να έχουν πιο σοβαρές συνέπειες και από την άμεση θανάτωση. Πράγματι, οι ιστοί των τροφών διαταράσσονται, οι φωλιές είναι κατεστραμμένες, οι δεξαμενές θρεπτικών ουσιών επηρεάζονται σε μεγάλο βαθμό και τέλος η θερμοκρασία και η υγρασία του εδάφους αλλάζουν και παραμένουν στο έδαφος τοξικές ενώσεις. Κάθε τύπος οργανισμού μπορεί να επαναπροσδιορίσει την καμένη περιοχή από τα καταφύγια τους, υπό την προϋπόθεση ότι η χρήση γης δεν αλλάζει, όπως για παράδειγμα σε βοσκότοπους, και προκαλεί έτσι αρκετή βλάστηση που βλαστάνει ξανά ή ακόμα αποτρέπει την ουσιαστική διάβρωση του εδάφους. Όλα τα ταξινομικά είδη έχουν γένη ή είδη με χρήσιμα χαρακτηριστικά και συμπεριφορές για να αντισταθούν στη φωτιά ή να ανακάμψουν από την ανεπιθύμητη περιβαλλοντική κληρονομιά του νωρίτερα από άλλους (Certini G. et al.,2021).



Εφόσον, το καμένο έδαφος δεν υφίσταται άλλες πυρκαγιές που συμβαίνουν πολύ κοντά για το τυπικό καθεστώς πυρκαγιάς της συγκεκριμένης περιοχής, τα περισσότερα από τα ζωντανά συστατικά του είναι γενικά ικανά να επιστρέψουν σε επίπεδα πριν από τη φωτιά σε περιόδους που εξαρτώνται από μια σειρά παραγόντων, όπως την σοβαρότητα πυρκαγιάς και τις βροχοπτώσεις μετά την πυρκαγιά (Certini G. et al.,2021).



Σχήμα 3.4.2. Σκαθάρια που κατοικούν στο ανώτερο στρώμα του εδάφους που είναι από τα πιο ευάλωτα είδη στη φωτιά.

Πηγή: Global Soil Biodiversity Atlas, 2016

Τελευταίες μελέτες υποδεικνύουν πως αξιοσημείωτη είναι και η σταθερότητα της λειτουργίας των μικροβιακών κοινοτήτων και των σχετικών επιπέδων εκπομπών αερίων θερμοκηπίου εξαιτίας των ισορροπήσεων μηχανισμών συνολικής μικροβιακής δραστηριότητας που προέρχονται στην αλλαγή χημικών και φυσικών ιδιοτήτων του εδάφους και στην κινητοποίηση πρόσθετων πηγών αζώτου και άνθρακα. Το συνεχές επίπεδο γνώσεων σχετικά με τις επιπτώσεις της πυρκαγιάς στα εδάφη μας οδηγεί στο συμπέρασμα πως, βραχυπρόθεσμα, η καύση ελαττώνει σημαντικά τη βιομάζα στο κάτω μέρος του εδάφους (Giacomo Certini et al.,2021; Anne Winding et al.,2020; Orgiazzi, A. et al.,2016).

Ωστόσο, μπορεί να ανακάμψουν μέσα σε λίγα χρόνια μετά το κάψιμο. Υφίστανται πολλοί και πολύπλοκοι μηχανισμοί πίσω από τη λειτουργική

ανθεκτικότητα των εδαφικών οικοσυστημάτων και την επακόλουθη βιωσιμότητα της παροχής υπηρεσιών σε οικοσυστήματα με κίνδυνο πυρκαγιάς. Η βιοποικιλότητα του εδάφους απαιτεί περισσότερο χρόνο για ανάκαμψη και δεν μπορεί ποτέ να επιστρέψει σε αρχικό επίπεδο σε περίπτωση επαναλαμβανόμενων πυρκαγιών. Έτσι, πολλές πυρκαγιές κυρίως ανθρωπογενούς φύσης, ειδικά σε γεωργικές εκτάσεις, λιβάδια και ορισμένες δασικές περιοχές, αντιπροσωπεύουν μία από τις μεγαλύτερες απειλές για τη βιοποικιλότητα κάτω από το έδαφος και τη σταθερότητα των οικοσυστημάτων του εδάφους (Giacomo Certini et al.,2021; Anne Winding et al.,2020; Orgiazzi, A. et al.,2016).

### **3.5. Διάβρωση του εδάφους**

Η διάβρωση του εδάφους, που προκαλείται από τον άνεμο και το νερό είναι ένα συχνό πρόβλημα που επηρεάζει τα οικοσυστήματα παγκοσμίως, περιλαμβανόμενης της καλλιεργούμενης γης, των δασικών περιοχών και των βοσκοτόπων. Τελευταίες αξιολογήσεις υποδηλώνουν ότι το 80% των γεωργικών εδαφών της Γης πάσχουν από μέτρια έως σοβαρή διάβρωση, με περισσότερους από 75 χιλιάδες εκατομμύρια τόνους γόνιμου εδάφους να χάνεται κάθε χρόνο, ποσοστό που είναι 10-20 φορές υψηλότερο από τον εκτιμώμενο ρυθμό φυσικού σχηματισμού του εδάφους (Anne Winding et al.,2020)

Σε παγκόσμιο επίπεδο, η διάβρωση του εδάφους (Σχήμα 3.5.1.) είναι πρωτίστως η αιτία της υποβάθμισης και της εγκατάλειψης των γεωργικών, κάθε χρόνο 10 εκατομμυρίων εκταρίων καλλιεργήσιμων εκτάσεων που πρέπει να εγκαταλειφθούν όταν τα εδάφη διαβρωθούν τόσο που δεν μπορούν πλέον να υποστηρίξουν επαρκή γεωργική παραγωγή (Anne Winding et al.,2020; Alberto Orgiazzi & Panos Panagos,2018; Orgiazzi, A. et al.,2016).

Ωστόσο, η διάβρωση του εδάφους είναι μια φυσική διαδικασία, μπορεί να προωθήσουν σε μεγάλο βαθμό από ανθρώπινες δραστηριότητες, όπως την αφαίρεση της κάλυψης της βλάστησης, το όργωμα, την συμπίεση του εδάφους και την υπερβολική βοσκής από τα ζώα, ιδιαίτερα όταν αυτές οι πρακτικές διεξάγονται σε απότομες πλαγιές σε περιοχές που υπόκεινται σε έντονες καταιγίδες ή ανέμους εκδηλώσεις. Λόγω των πρακτικών διαχείρισης, και του κλίματος των εδαφών, τα ποσοστά διάβρωσης του εδάφους μπορεί να είναι ιδιαίτερα υψηλά σε καλλιεργήσιμες εκτάσεις της Ασίας, της Αφρικής και της Λατινικής Αμερικής, οι οποίες υποφέρουν κατά μέσο όρο 30-40 τόνους ανά εκτάριο απώλειας εδάφους ετησίως. Η διάβρωση του εδάφους όχι μόνο οδηγεί σε υποβάθμιση του εδάφους,

αλλά μπορεί επίσης να μειώσει την ποιότητα του νερού και να συμβάλει σε προβλήματα υγείας του ανθρώπου που σχετίζονται με αυξημένες εισόδους σκόνης στην ατμόσφαιρα (Orgiazzi, A. et al.,2016).

Οι επιπτώσεις της διάβρωσης του εδάφους στις αβιοτικές συνθήκες του εδάφους είναι πολύ γνωστές. Η διάβρωση από τον άνεμο ή το νερό μειώνει το βάθος του εδάφους ή τουλάχιστον τα βάθη ρίζας του φυτού και η αφαίρεση του επιφανειακού φάσματος οδηγεί στη μείωση των συγκεντρώσεων των διαθέσιμων θρεπτικών ουσιών στα εδάφη. Οι ρυθμοί εισχώρησης του νερού και η χωρητικότητα αποθήκευσης νερού συνήθως μειώνεται στα διαβρωμένα εδάφη, οδηγώντας σε μείωση της συνολικής διαθεσιμότητας νερού στο έδαφος. Τα αποτελέσματα που προκύπτουν από την διάβρωση του εδάφους υποβαθμίζουν επίσης τη δομή του εδάφους και μειώνουν το πορώδες. Αυτό δημιουργεί μια θετική αντίδραση που συμβάλλει σε περαιτέρω μειώσεις της διαθεσιμότητας του εδάφους. Συνολικά, αυτές οι επιπτώσεις της διάβρωσης του ανέμου ή του νερού συνήθως οδηγούν στην αισθητή μείωση της παραγωγικότητας των φυτών, με αντίστοιχες άμεσες και έμμεσες επιπτώσεις στη βιοποικιλότητα του εδάφους (Anne Winding et al.,2020; Alberto Orgiazzi & Panos Panagos,2018; Orgiazzi, A.2016).



Σχήμα 3.5.1. Διάβρωση του εδάφους. Πηγή: Soil Erosion – Definition Causes, Effects 2021

Η διάβρωση του εδάφους μπορεί να αλλάξει τις ποσότητες και τους τύπους οργανισμών που ζουν στο έδαφος μέσω μιας ποικιλίας μηχανισμών. Το πιο σημαντικό της διάβρωσης του εδάφους είναι πως αφαιρεί συνήθως από τα πλούσια εδάφη την οργανική ύλη, αποκλείοντας ή μειώνοντας τον πλούτο των πόρων του εδάφους, που υποστηρίζει πολλούς οργανισμούς του εδάφους. Οι συνέπειες που υπάρχουν για τους οργανισμούς του εδάφους θα είναι ιδιαίτερα εμφανής, σε εδάφη που έχουν λεπτούς οργανικούς ορίζοντες με υποκείμενους ορίζοντες εδάφους που είναι αφιλόξενοι στους βιότοπους του εδάφους (Anne Winding et al.,2020; Alberto Orgiazzi & Panos Panagos, 2018).

Ένα παράδειγμα είναι τα υψηλά ποσοστά διάβρωσης του νερού μπορούν να προκαλέσουν απώλεια πολλών τροπικών εδαφών στους οργανικούς τους ορίζοντες, αφήνοντας πίσω τους υποκείμενους ορίζοντες που συχνά είναι πολύ όξινοι, φτωχοί σε θρεπτικά συστατικά και εξαντλούνται σε αποθέματα οργανικού άνθρακα για να υποστηρίξουν υψηλά επίπεδα βιομάζας μικροβίων ή πανίδας. Παρομοίως, τα διαβρωμένα εδάφη που έχουν μειωμένη διαθεσιμότητα νερού και χαμηλότερες συγκεντρώσεις οργανικής ύλης θα έχουν συνήθως χαμηλότερα

ποσοστά μικροβιακής ανοργανοποίησης δεξαμενών φωσφόρου και αζώτου, μειώνοντας περαιτέρω τις συγκεντρώσεις θρεπτικών συστατικών που είναι διαθέσιμες στα φυτά. Παρόμοιες θετικές ανατροφοδοτήσεις εμφανίζονται όταν οι μειώσεις στη βιομάζα της πανίδας προκαλούνται από τη διάβρωση, ιδιαίτερα μειώνονται στους αριθμούς των γαιοσκώληκων, μειώνοντας περαιτέρω τους ρυθμούς διείσδυσης νερού, επιταχύνοντας έτσι τη διάβρωση του νερού και τη σχετική υποβάθμιση του εδάφους (Anne Winding et al.,2020; Orgiazzi, A. et al.,2016).

Ο άνεμος μπορεί να προκαλέσει υψηλούς ρυθμούς διάβρωσης του εδάφους σε πολύ ξηρά ή ημίξηρα οικοσυστήματα, όπου οι επιφάνειες του εδάφους συχνά δεν προστατεύονται από την κάλυψη της βλάστησης. Οι επιπτώσεις αυτής της διάβρωσης στην λειτουργία αλλά και στην ποικιλομορφία των υπόγειων βιοτόπων έχουν τεκμηριωθεί ιδιαίτερα καλά. Οι βιολογικές κοινότητες ζωντανών οργανισμών στην επιφάνεια του εδάφους, είναι κοινές στα ξηρά και ημίξηρα οικοσυστήματα σε παγκόσμιο επίπεδο όπου πολύπλοκες κοινότητες κυανοβακτηρίων, βρύων και λειχήνων συχνά καλύπτουν την επιφάνεια του εδάφους. Οι βιολογικές κοινότητες αυτών των οργανισμών του εδάφους, είναι ιδιαίτερα ευαίσθητες στις επιπτώσεις της διάβρωσης του ανέμου, ειδικά σε εδάφη αμμώδη, δεδομένου ότι συγκεντρώνονται σε ένα λεπτό στρώμα στην επιφάνεια του εδάφους και επομένως, είναι ευαίσθητα στην απομάκρυνση από τον άνεμο ή από ιζήματα που εναποτίθενται στον αέρα (Anne Winding et al.,2020; Alberto Orgiazzi & Panos Panagos, 2018; Orgiazzi, A. et al.,2016).

Επιπρόσθετα, αυτοί οι οργανισμοί του εδάφους συνήθως αναπτύσσονται και επαναφέρονται αργά μετά από διαταραχές. Η απώλεια αυτών των οργανισμών μέσω της διάβρωσης του ανέμου μπορεί να οδηγήσει σε παρατεταμένες μειώσεις στις υπηρεσίες οικοσυστήματος που παρέχουν, μείωση των ποσοστών διείσδυσης νερού, μείωση της βλάστησης των σπόρων, τοποθέτηση αζώτου και τοποθέτηση άνθρακα. Το πιο αξιοσημείωτο, είναι όταν οι βιολογικές κοινότητες του εδάφους καταστραφούν ή διαλύονται από οχήματα ή καταπατούνται από ανθρώπους και ζώα, οι ρυθμοί διάβρωσης του ανέμου επιταχύνονται συχνά λόγω της απώλειας πολυσακχαριτών που παράγονται από κυανοβακτήρια και μύκητες που υπάρχουν σε αυτές τις κρούστες που συνδέουν τα σωματίδια του εδάφους μεταξύ τους. Αυτό δημιουργεί μια θετική ανατροφοδότηση με την οποία η απώλεια βιολογικών εδαφικών οργανισμών επιταχύνει τη διάβρωση του ανέμου, οδηγώντας σε περαιτέρω υποβάθμιση των βιολογικών εδαφικών οργανισμών και των εδαφών

σε αυτούς τους τύπους οικοσυστήματος (Anne Winding et al.,2020; Alberto Orgiazzi & Panos Panagos,2018; Orgiazzi, A. et al.,2016).

### **3.6. Κλιματική αλλαγή**

Οι οδηγοί της παγκόσμιας περιβαλλοντικής αλλαγής, όπως η υπερθέρμανση, η ξηρασία και η εναπόθεση αζώτου (N), έχει αποδειχθεί πως αλλάζουν δραματικά τη σύνθεση της κοινότητας των φυτών και την πρωτογενή παραγωγικότητα και μειώνουν την ποικιλομορφία των φυτών. Η παγκόσμια αυτή αλλαγή απειλεί επίσης την βιοποικιλότητα του εδάφους, οδηγώντας σε αυξανόμενες ανησυχίες, σχετικά με τις συνέπειες της απώλειας της βιοποικιλότητας του εδάφους. Η πλειονότητα των μελετών που υπάρχουν ήδη, υποδηλώνει ότι η βιοποικιλότητα υποστηρίζει τη σταθερή παροχή λειτουργιών του οικοσυστήματος. Γνωρίζουμε επίσης, λίγα για το εάν μια διαφορετική κοινότητα εδάφους μπορεί όμως να επιδρά στη διατήρηση της ποικιλομορφίας των φυτών και στη σταθεροποίηση της κοινοτικής σύνθεσης υπό παγκόσμιες περιβαλλοντικές αλλαγές (Gaowen Yang et al.,2021).

Η κλιματική αλλαγή συνδέεται με την ομοιόμορφη αύξηση των επιπέδων διοξειδίου του άνθρακα (CO<sub>2</sub>) και στα περισσότερα οικοσυστήματα, την αύξηση της θερμοκρασίας και τον περιορισμό του νερού. Συνολικά, το αυξημένο διοξείδιο του άνθρακα (CO<sub>2</sub>) ενισχύει αρχικά στη φωτοσύνθεση, η οποία επιδεινώνει τον περιορισμό των μακρό-θρεπτικών ή των μικρό-θρεπτικών συστατικών στο έδαφος και αυξάνει τον ανταγωνισμό των φυτών και των μικροβίων για τους εδαφικούς πόρους. Το αυξημένο διοξείδιο του άνθρακα (CO<sub>2</sub>) μπορεί επομένως να αλλάξει την ισορροπία των αμοιβαίων και ελεύθερων ζωντανών ομάδων ή να ευνοήσει ορισμένες αμοιβαιότητες (η αμοιβαιότητα (Mutualism) περιγράφει την οικολογικές αλληλεπιδράσεις μεταξύ δύο ή περισσότερων ειδών όπου κάθε είδος έχει καθαρό όφελος. Η αμοιβαιότητα είναι ένας κοινός τύπος οικολογικής αλληλεπίδρασης. "Wikipedia", 2021) έναντι άλλων (Anne Winding et al.,2020; Gaowen Yang et al.,2021; Orgiazzi, A. et al.,2016).

Η αύξηση της θερμοκρασίας μπορεί να προωθήσει την ανάπτυξη και τη βιοποικιλότητα των περισσότερων εδαφικών κοινοτήτων, ειδικά στα ψυχρά οικοσυστήματα. Όμως, οι αυξημένες διακυμάνσεις της εποχιακή και της ετήσιας θερμοκρασίας, είναι πιθανό να ενισχύουν την πίεση από τον περιορισμό του νερού, ειδικά όταν συνδυάζονται με μειωμένες βροχοπτώσεις ή μεγάλες περιόδους ξηρασίας. Η μείωση της διαθεσιμότητας του νερού μπορεί να μειώσει

άμεσα τη συνολική βιομάζα του εδάφους και της βιοποικιλότητας. Οι μεγάλες περιόδους ξηρασίας καθιστούν τα εγγενή οικοσυστήματα πιο ευάλωτα στις ανθρώπινες ή φυσικές πυρκαγιές, που μπορεί να έχουν καταστροφικές επιπτώσεις στα οικοσυστήματα που δεν είναι προσαρμοσμένα στην πυρκαγιά. Σε συνδυασμό, τα αλλοιωμένα πρότυπα βροχοπτώσεων και θερμοκρασίας και τα καθεστώτα πυρκαγιάς αλλάζουν τα μεγάλα οικοσυστήματα, πιθανώς με τεράστιες αλλαγές στις μορφές ανάπτυξης των φυτών και στους τύπους βλάστησης (Anne Winding et al.,2020; Gaowen Yang et al.,2021; Orgiazzi, A. et al.,2016).

Αυτές οι μετατροπές στην βλάστηση μπορεί να οδηγήσουν σε αλληλεπικαλυπτόμενες επιδράσεις σε όλους τους βιότοπους του εδάφους που καθορίζουν σε μεγάλο βαθμό το λειτουργικό δυναμικό του εδάφους, συμπεριλαμβανομένου του κύκλου των θρεπτικών ουσιών. Πιο συγκεκριμένα, η απώλεια κάλυψης δέντρων λόγω της ξηρασίας, της επιδημίας ή της έντονης πυρκαγιάς έχει ως αποτέλεσμα την υπερβολική ξήρανση του εδάφους και τη μείωση του οργανικού υλικού του εδάφους και της μυκητιακής βιομάζας (Gaowen Yang et al.,2021; Orgiazzi, A. et al.,2016).

Η ήπια ρύπανση του αζώτου μπορεί να λειτουργήσει ως λίπασμα για να εξουδετερώσει τον περιορισμό των θρεπτικών συστατικών του εδάφους, ενώ η έντονη ρύπανση του αζώτου μπορεί να αλλάξει την ισορροπία μεταξύ των ταξινομικών και λειτουργικών ομάδων και του κύκλου των θρεπτικών συστατικών του οικοσυστήματος. Η ρύπανση του αζώτου και του θείου κάνουν το έδαφος πιο όξινο, το οποίο ευνοεί τις σαπροτροφικές ομάδες (Gaowen Yang et al.,2021; Anne Winding et al.,2020).

Η κλιματική αλλαγή έχει διαφορετικές επιπτώσεις σε διαφορετικές περιοχές του πλανήτη, και ως εκ τούτου οι πιθανές επιπτώσεις της κλιματικής αλλαγής θα λάβουν διάφορες μορφές. Το καθένα από αυτά, με τη σειρά του, θα έχει διαφορετικές πιθανές επιπτώσεις στη βιοποικιλότητα του εδάφους. Ένα παράδειγμα είναι τα παγκόσμια μοντέλα κλίματος προβλέπουν διαφορετικά, για διαφορετικές γεωγραφικές περιοχές, ότι οι μελλοντικές συνθήκες θα είναι πιο ξηρότερες, υγρότερες, ζεστές ή θα έχουν συχνές ξηρασίες ή ακόμα και ακραίες θερμοκρασίες, άνεμος και ούτω καθεξής. Λαμβάνοντας υπόψη ότι αυτές οι κλιματικές αλλαγές θα οδηγήσουν σε αλλαγές στον τύπο της βλάστησης και στη σύνθεση της κοινότητας με μεσολάβηση των σχετικών διαταραχών, όπως πλημμύρες, άνεμος, ξηρασίας ή πυρκαγιά, υπάρχει σαφής πιθανότητα σημαντικών αλλαγών στις διαδικασίες καθορισμού του οικοσυστήματος, όπως

συσσώρευση οργανικής ύλης, αποσύνθεση και ποδηλασία, οι οποίες είναι γνωστό ότι επηρεάζουν την ποικιλομορφία και τη σύνθεση των βιοτόπων του εδάφους. Σε όλες αυτές τις περιπτώσεις, σχεδόν σίγουρα θα υπάρξουν μεγάλες γεωγραφικές εκτάσεις που αποτελούνται από νέους συνδυασμούς κλίματος, βλάστησης και εδάφους, και υπάρχει γενική συναίνεση ότι οι κλιματικές αλλαγές θα οδηγήσουν σε μεγάλες απώλειες της βιοποικιλότητας για τα ανώτερα εδάφη (Gaowen Yang et al.,2021; Anne Winding et al.,2020; Orgiazzi, A. et al.,2016).

Το έδαφος είναι μια εξαιρετικά πλούσια δεξαμενή για τη βιοποικιλότητα και οι μηχανισμοί με τους οποίους προκύπτει αυτή η ποικιλομορφία δεν είναι ακόμη πλήρως κατανοητοί. Ωστόσο, τα μικρόβια του εδάφους είναι υπεύθυνα για πολλές κρίσιμες διαδικασίες οικοσυστήματος στις οποίες βασίζονται οι άνθρωποι. Οι πρόσφατες εξελίξεις στην κατανόηση της ποικιλομορφίας των βακτηρίων του εδάφους υποδηλώνουν ότι ένας αριθμός ποικίλων παραγόντων μπορεί να εξηγήσει τα παγκόσμια πρότυπα ποικιλομορφίας, και κύρια μεταξύ αυτών είναι η θερμοκρασία και το κλίμα του νερού. Το περιεχόμενο του κλίματος σε νερό σχετίζεται επομένως έντονα με την ετερογένεια του ανοιχτού χώρου που παράγεται από διαφορές στον πόρο με νερό και τη συνδεσιμότητα τέτοιων οικοτόπων, οι οποίες με τη σειρά τους μπορούν να επηρεάσουν το pH του εδάφους, που είναι επίσης γνωστό ότι συσχετίζονται με τη ποικιλομορφία των βακτηρίων. Έτσι, οι αλλαγές σε παράγοντες που επηρεάζουν την περιεκτικότητα σε νερό, μπορεί λογικά να αναμένεται να αλλάξουν επίσης την ποικιλομορφία του εδάφους (Anne Winding et al.,2020; Gaowen Yang et al.,2021; Orgiazzi, A., et al., 2016).

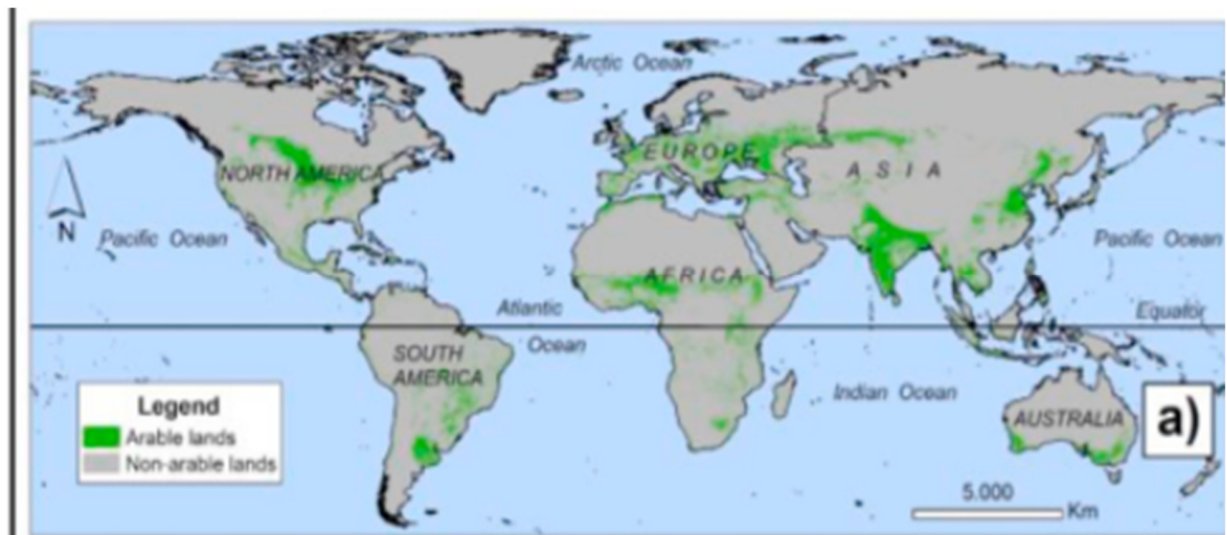
Με τον ίδιο τρόπο η ποικιλομορφία των βακτηρίων, η βιοποικιλότητα του μύκητα του εδάφους βρίσκεται ακόμη στη διαδικασία τεκμηρίωσης και δεν είναι ιδιαίτερα γνωστή σε παγκόσμια κλίμακα. Υπάρχουν όμως ενδείξεις, ότι πολλές κοινότητες μυκήτων κυριαρχούνται από λίγες ταξινομικές ομάδες παγκοσμίως, και ότι αυτές οι ομάδες διαθέτουν γονίδια που σχετίζονται με την αντοχή στην καταπόνηση του εδάφους (Gaowen Yang et al.,2021; Anne Winding et al.,2020)

Λαμβάνοντας υπόψη των άλλων ανθρωπογενών απειλών για τη βιολογική ποικιλομορφία του εδάφους όπως η ατμοσφαιρική εναπόθεση ρύπων η αλλαγή κάλυψης γης και η γεωργική εντατικοποίηση, οι οποίες έχουν τεκμηριωθεί σχετικά καλά, οι επικείμενες αντιδράσεις της βιοποικιλότητας του εδάφους στην αλλαγή του κλίματος είναι ελάχιστα γνωστές και δύσκολο να τις προβλέψουμε. Είναι σαφές πως οι επιπτώσεις που οφείλονται στην αλλαγή του κλίματος στη



βιοποικιλότητα του εδάφους θα εξαρτώνται από το περιβάλλον και θα επηρεαστούν έντονα από της αρχική κατάσταση, δηλαδή από όποια βλάστηση ή ακόμα και τύπο οικοσυστήματος που υπάρχει, και από την κατεύθυνση και από τον βαθμό της κλιματικής αλλαγής. Επικεντρώνοντας στη διατήρηση της ποικιλομορφίας συγκεκριμένων ομάδων ασπόνδυλων εδάφους, ειδικά των μηχανικών του οικοσυστήματος, μπορεί να έχει διαδοχικά θετικά αποτελέσματα στις δεξαμενές βιοποικιλότητας του εδάφους μεταξύ άλλων χλωρίδας και πανίδας (Anne Winding et al.,2020; Gaowen Yang et al.,2021; Orgiazzi, A. et al.,2016).

### 3.7. Χάρτες πιθανών απειλών για τη βιοποικιλότητα του εδάφους το έτος 2021



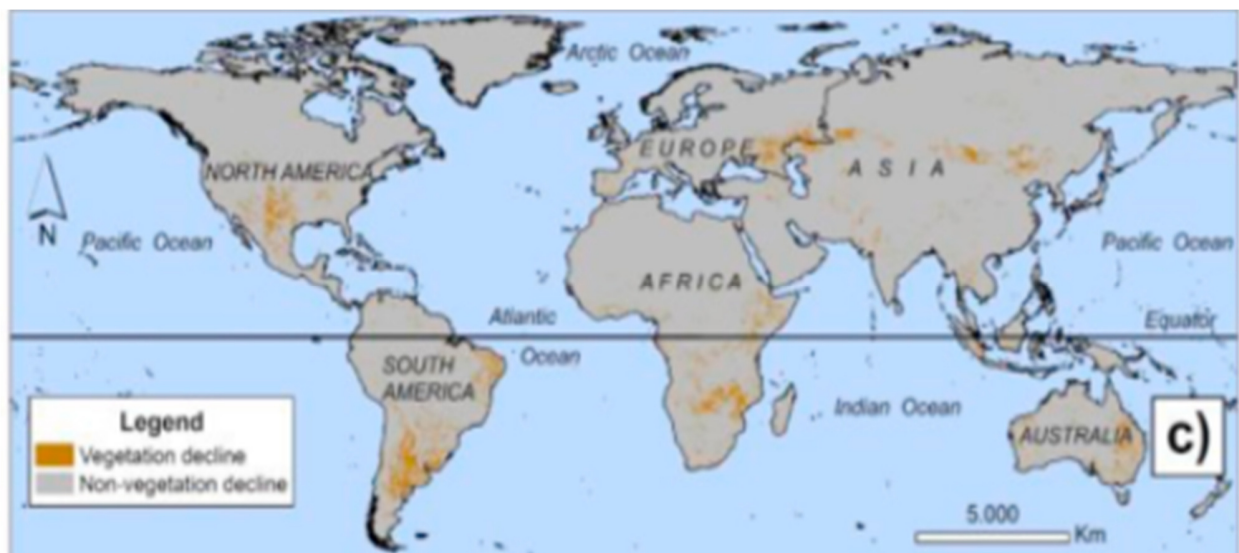
Σχήμα 3.7.1. Σε αυτήν την εικόνα παρουσιάζονται με πράσινο χρώμα οι εκτάσεις που είναι καλλιεργήσιμες ενώ με το γκρι χρώμα αυτές που δεν είναι καλλιεργήσιμες.

Πηγή: Arable lands under the pressure of multiple land degradation processes. A global perspective, 2021



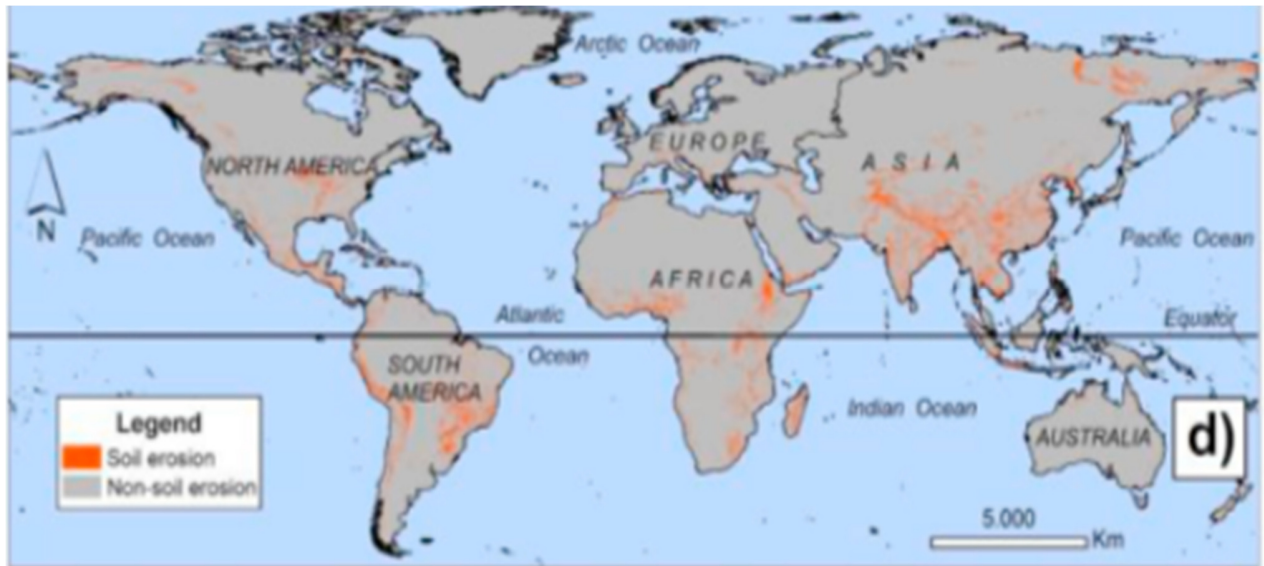
Σχήμα 3.7.2. Σε αυτήν την εικόνα παρουσιάζονται με κίτρινο χρώμα οι εκτάσεις που έχουν ξηρασία ενώ με το γκρι χρώμα αυτές που δεν υποστεί ξηρασία.

Πηγή: Arable lands under the pressure of multiple land degradation processes. A global perspective, 2021



Σχήμα 3.7.3. Σε αυτήν την εικόνα παρουσιάζονται με καφέ χρώμα οι εκτάσεις που έχουν μειωμένη βλάστηση ενώ με το γκρι χρώμα αυτές που δεν έχουν υποστεί μείωση βλάστησης.

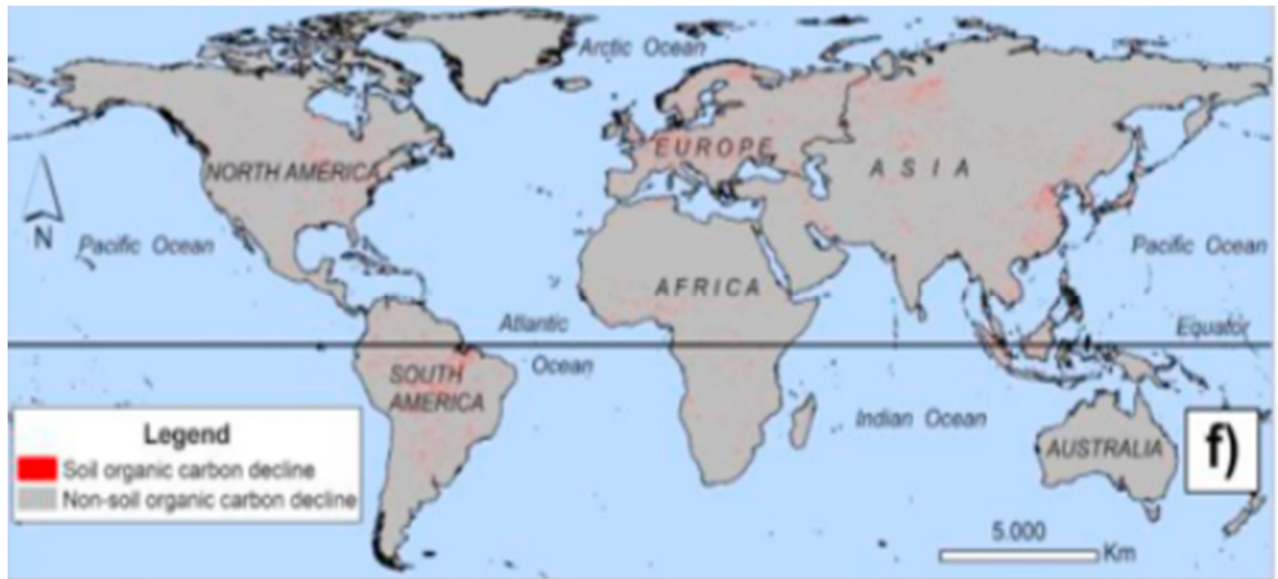
Πηγή: Arable lands under the pressure of multiple land degradation processes. A global perspective, 2021



Σχήμα 3.7.4. Σε αυτήν την εικόνα παρουσιάζονται με πορτοκαλί χρώμα οι εκτάσεις που υποστεί διάβρωση του εδάφους ενώ με το γκρι χρώμα αυτές που δεν έχουν υποστεί διάβρωση.  
 Πηγή: Arable lands under the pressure of multiple land degradation processes. A global perspective, 2021



Σχήμα 3.7.5. Σε αυτήν την εικόνα παρουσιάζονται με μπλε χρώμα οι εκτάσεις που έχουν υποστεί αλάτωση ενώ με το γκρι χρώμα αυτές που δεν έχουν υποστεί αλάτωση.  
 Πηγή: Arable lands under the pressure of multiple land degradation processes. A global perspective, 2021



Σχήμα 3.7.6. Σε αυτήν την εικόνα παρουσιάζονται με κόκκινο χρώμα οι εκτάσεις που έχουν μειωμένη τιμή του οργανικού άνθρακα του εδάφους (αρνητικές τάσεις του αποθέματος οργανικού άνθρακα εδάφους) ενώ με γκρι χρώμα αυτές που έχουν κανονική τιμή του οργανικού άνθρακα του εδάφους.  
Πηγή: Arable lands under the pressure of multiple land degradation processes. A global perspective, 2021

## Κεφάλαιο 4 | Μέθοδοι για την προστασία της βιοποικιλότητας του εδάφους

### 4.1. Βιοθεραπεία εδάφους

Σύμφωνα με τον EPA (Environmental Protection Agency), η βιοθεραπεία είναι τεχνική διαχείρισης που χρησιμοποιεί φυσικούς οργανισμούς για να διασπάσει τις επικίνδυνες ουσίες σε λιγότερο τοξικές ή μη τοξικές. Οι τεχνολογίες διακρίνονται σε βιοθεραπεία *in situ* ή σε βιοθεραπεία *ex situ*. Η βιοθεραπεία *in situ* διαχειρίζεται επιτόπου το μολυσμένο υλικό, ενώ η *ex situ* απαιτεί αφαίρεση και μετακίνηση του μολυσμένου υλικού για την απολύμανσή του σε κάποιο άλλο σημείο. Κάποια παραδείγματα σχετικών τεχνικών είναι η φυτοθεραπεία εδάφους, ο βιοαερισμός, η καλλιέργεια γης, ο βιοαντιδραστήρας, η κομποστοποίηση, η βιοαύξηση, το ριζοφιλτράρισμα και η μυκοθεραπεία (“Βικιπαίδεια”, 2021).

Αναμφίβολα, ο πιο καλός τρόπος για τη διαχείριση της ρύπανσης του εδάφους είναι να αποφευχθεί αυτό και να ρυθμιστεί η διαχείριση των αποβλήτων και η χρήση φυτοφαρμάκων. Τις τελευταίες δεκαετίες, η αυξανόμενη γνώση των περιβαλλοντικών επιπτώσεων οδήγησε σε κανονισμούς σχετικά με τη χρήση παλαιών, πολλές φορές επικίνδυνων, ουσιών και την ανάπτυξη νέων φυτοφαρμάκων με βάση τη διεξοδική δοκιμή των παρενεργειών τους στη ζωή του εδάφους (Li Q. et al., 2021; Orgiazzi, A. et al., 2016).

Στις περιπτώσεις όπου συμβαίνει ρύπανση του εδάφους, η βιοποικιλότητα του εδάφους μπορεί να βοηθήσει πολύ μέσω των υπηρεσιών καθαρισμού που παρέχει με τη μορφή παραγόντων βιοθεραπείας. Ειδικότερα, οι οργανικές ενώσεις μπορούν να αποικοδομηθούν μέσω της χρήσης ειδικών ειδών εδάφους μυκήτων και βακτηρίων. Αυτά τα είδη μπορούν να εμβολιαστούν στις μολυσμένες περιοχές ή εάν υπάρχουν ήδη στο έδαφος, η δραστηριότητά τους μπορεί δώσει έναυσμα. Για παράδειγμα, εξετάστηκε η ικανότητα του μύκητα αποσύνθεσης ξύλου *Pleurotus ostreatus* (επίσης εμπορικά γνωστό ως μανιτάρι στρειδιού) να απομακρύνει πολυκυκλικούς αρωματικούς υδρογονάνθρακες (PAHs polycyclic aromatic hydrocarbons) από ένα πολύ μολυσμένο έδαφος. Μετά από μια περίοδο θεραπείας 12 εβδομάδων, παρατηρήθηκε μείωση των PAH κατά 50% έως περίπου 90% καταδεικνύοντας το δυναμικό απομάκρυνσης των PAH του μανιταριού στρειδιού (Li Q. et al., 2021; Orgiazzi A. et al., 2016).

Όταν η βιοθεραπεία γίνεται από φυτά (φυτοθεραπεία), συγκεκριμένες ομάδες μυκήτων και βακτηρίων του εδάφους μπορούν να βοηθήσουν στην αύξηση της

ταχύτητας ή και της αποτελεσματικότητας. Για παράδειγμα, το βακτήριο *Ralstonia metallidurans* πραγματοποιεί βιοθεραπεία βαρέων μετάλλων στο έδαφος. Οι μηχανισμοί με τους οποίους οι μύκητες και τα βακτήρια του εδάφους βοηθούν τα φυτά μέσω της βιοθεραπείας εξαρτώνται από το είδος των μυκήτων και των βακτηρίων και το μεταβολικό δυναμικό τους. Υπάρχουν δύο οδοί για τη φυτοθεραπεία. Η πρώτη οδός θεωρεί λιγότερο άμεση δράση από τους οργανισμούς του εδάφους, ενώ η δεύτερη οδός βασίζεται περισσότερο στους βιότοπους του εδάφους (Li Q. et al.,2021; Orgiazzi, A. et al.,2016).

Η αφθονία και η ποικιλομορφία των εδαφικών οργανισμών στα μη μολυσμένα-υγιή εδάφη είναι υψηλή, ενώ σε μολυσμένα εδάφη παρατηρείται σημαντική μείωση της αφθονίας και του πλούτου των ειδών του εδάφους. Συγκεκριμένα, τα αργά αναπτυσσόμενα και εξαιρετικά ευαίσθητα είδη (π.χ. ορισμένα είδη μυκήτων) είναι τα πρώτα που εξαφανίζονται από τις κοινότητες του εδάφους. Οι στοχευόμενοι οργανισμοί και οι επιπτώσεις εξαρτώνται από τον τύπο των ρύπων. Ως εκ τούτου, η σύνθεση των εδαφικών κοινοτήτων μπορεί να είναι ενδεικτική του επιπέδου και του τύπου της ρύπανσης και οι οργανισμοί του εδάφους μπορούν να χρησιμοποιηθούν ως βιοδείκτες της ρύπανσης του εδάφους (Li Q. et al.,2021; Orgiazzi, A. et al.,2016).

Οι κοινότητες νηματωδών έχουν χρησιμοποιηθεί για το σκοπό αυτό, καθώς η οικολογία και η ευαισθησία σε διαταραχές πολλών ειδών σε αυτήν την ευρέως κατανομημένη ομάδα εδαφικών οργανισμών είναι καλά εδραιωμένη. Με βάση τη σύνθεση των ειδών των νηματωδών, μπορούν να υπολογιστούν δείκτες διαταραχής, για παράδειγμα οι δείκτες ωριμότητας, και να χρησιμοποιηθούν για την εκτίμηση της σοβαρότητας της ρύπανσης όχι μόνο για τους νηματώδεις αλλά και για τη δομή και τη λειτουργία ολόκληρου του ιστού των εδαφικών τροφίμων (Li Q. et al.,2021; Orgiazzi, A. et al.,2016).

Στην πραγματικότητα, κάθε οικογένεια νηματωδών μπορεί να ταξινομηθεί σε μια κλίμακα (coloniser-persister). Η κλίμακα κυμαίνεται από το ένα έως το πέντε. Στο ένα είναι οι πρώιμοι αποικιστές των νέων πόρων και στο πέντε είναι αποικιστές που παραμένουν στους βιότοπους. Ο δείκτης ωριμότητας (maturity index) του εδάφους είναι η σταθμισμένη μέση τιμή cp (coloniser-persister) των ατόμων σε ένα αντιπροσωπευτικό δείγμα εδάφους. Στην πράξη, οι χαμηλές τιμές δείκτη ωριμότητας (MI) υποδηλώνουν ένα διαταραγμένο ή ακόμα και εμπλουτισμένο περιβάλλον αντιθέτως οι υψηλές τιμές δείκτη ωριμότητας (MI) δείχνουν ένα σταθερό περιβάλλον. Με τον υπολογισμό αυτού του δείκτη, είναι

δυνατή η αρχική εκτίμηση της κατάστασης της υγείας ενός δεδομένου περιβάλλοντος (Li Q. et al.,2021; Orgiazzi, A. et al.,2016).

#### **4.2. Διαφοροποίηση των καλλιεργήσιμων εκτάσεων**

Η αγροτική εντατικοποίηση σχετίζεται με την «Πράσινη Επανάσταση», στις αρχές του δεύτερου μισού του 20ού αιώνα, σε χώρες όπως η Κίνα και η Ινδία (“Βικιπαίδεια”,2021). Οι αγρότες, που κάποτε βασίζονταν σε πολύπλοκες ενώσεις καλλιεργειών και ζώων για τη διαχείριση παρασίτων και γονιμότητας εδάφους σε σχετικά μικρές περιοχές, τώρα συνήθως διαχειρίζονται τεράστιες εκτάσεις γεωργικών εκτάσεων που κυριαρχούνται από μία μόνο καλλιέργεια. Εξαρτώνται σε μεγάλο βαθμό από τις αγρό-χημικές εισροές για τον έλεγχο του περιβάλλοντος ανάπτυξης της καλλιέργειας. Ενώ η μετάβαση σε συστήματα καλλιέργειας μονοκαλλιέργειας μεγάλης κλίμακας έχει χρησιμεύσει για τη δραματική αύξηση της απόδοσης των καλλιεργειών, αυτή η μορφή διαχείρισης έχει αποδειχθεί ότι έχει επιβλαβείς επιπτώσεις στη βιοποικιλότητα τόσο σε κλίμακες οικοπέδου όσο και σε τοπία (Minghui Li et al.,2021; Orgiazzi, A. et al.,2016).

Το ενδιαφέρον της διαφοροποίησης των αγρό-οικοσυστημάτων αυξάνεται και η αυξημένη πολυπλοκότητα των ειδών καλλιέργειας που αντιμετωπίζεται θεωρείται σημαντική στρατηγική για την αντιμετώπιση ζητημάτων μακροπρόθεσμης γεωργικής βιωσιμότητας, διατήρησης και ανθεκτικότητας της εδαφικής βιοποικιλότητας ενόψει των παγκόσμιων αλλαγών και των αυξανόμενων απαιτήσεων στη γεωργία. Η πολυκαλλιέργεια είναι ένας τρόπος διαφοροποίησης της γεωργίας σε κλίμακα οικοπέδου για την ενίσχυση της συνολικής παραγωγικότητας ή ακόμα και την παροχή βασικών υπηρεσιών οικοσυστήματος μέσω αρχικά της ανάμιξης διαφορετικών καλλιεργειών, όπως το σύστημα αλληλοσυμπύεσης σειράς (η καλλιέργεια δύο ή περισσότερων καλλιεργειών ταυτόχρονα στο ίδιο χωράφι σε διάταξη σειράς) και η συνεχόμενη καλλιέργεια (δύο ή περισσότερες καλλιέργειες στον ίδιο αγρό με τη φύτευση της δεύτερης καλλιέργειας μετά ο πρώτος έχει ολοκληρώσει την ανάπτυξή του. Στη συνέχεια, μέσω του συνδυασμού των καλλιεργειών με ευεργετικά φυτά, όπως το σύνθετο σύστημα φύτευσης (η φύτευση διαφορετικών καλλιεργειών κοντά σε αυτές που ενδιαφέρουν για τον έλεγχο των παρασίτων, τη γονιμοποίηση ή την παροχή ενδαιτημάτων για ωφέλιμα πλάσματα) και τις παγίδες (είδη που προσελκύουν γεωργικά παράσιτα, συνήθως έντομα) , μακριά από κοντινές καλλιέργειες (Σχήμα 4.2.1.) (Minghui Li et al.,2021; Orgiazzi, A. et al.,2016).

Εκτός από τα οφέλη που αναφέρθηκαν, υπάρχουν ακόμα διάφοροι μηχανισμοί με τους οποίους η αύξηση της χρονικής και χωρικής ποικιλομορφίας μπορεί να βοηθήσει στη στήριξη της ποικιλομορφίας στα εδάφη και της βιολογικής δραστηριότητας. Παρ' όλα αυτά, σχετικά λίγη έρευνα έχει πραγματοποιηθεί μέχρι σήμερα, έχουν εξεταστεί οι επιπτώσεις αυτής τη διαφοροποίησης των αγρό-οικοσυστημάτων στην υπόγεια βιοποικιλότητα και τη λειτουργία (Minghui Li et al.,2021; Orgiazzi, A. et al.,2016).

Η διαχείριση των πολυκαλλιεργειών μπορεί να είναι διαφορετική από αυτήν των μονοκαλλιεργειών με διάφορους τρόπους, με το πιο εμφανές χαρακτηριστικό να είναι η σκόπιμη ανάμειξη πολλών ειδών φυτών. Ακόμα και σήμερα, η έρευνα που εξετάζει τον αντίκτυπο της ποικιλομορφίας των φυτών στις εδαφικές κοινότητες έχει αποδώσει κάπως μικτά αποτελέσματα, αλλά υπάρχει μια γενική τάση που υποδηλώνει ότι η αύξηση της πολυπλοκότητας της φυτικής κοινότητας ενισχύει τη βιοποικιλότητα των εδαφών (Orgiazzi, A. et al., 2016).

Ωστόσο, η ακριβής φύση αυτού του φαινομένου, φαίνεται να εξαρτάται από το οικολογικό πλαίσιο και τις εν λόγω λειτουργικές ή ταξινομικές ομάδες, υποδεικνύοντας έτσι ότι οι πολυπολιτισμικές επιπτώσεις στην υπόγεια βιοποικιλότητα είναι πιθανό να ποικίλουν. Ένα παράδειγμα είναι η ποικιλία και η αφθονία των οργανισμών που συνδέονται στενά με τις ρίζες των φυτών, όπως οι μυκορριζικοί μύκητες, συνήθως εμφανίζουν πιο άμεσες αποκρίσεις στις αυξήσεις των ειδών (Minghui Li et al.,2021; Orgiazzi, A. et al.,2016).

Εν τω μεταξύ, οι ζωή των αποσυνθετών συχνά δείχνουν επιδράσεις κληρονομιάς, με τις οποίες οι μεταβολές σε υπόγειες κοινοτικές δομές που αντιπροσωπεύουν μακροπρόθεσμες μεταβολές στην ποσότητα και στην ποιότητα οργανικής ύλης του εδάφους μετά τη μετάβαση από τα συστήματα μονοκαλλιεργείας σε πολυκαλλιεργείες. Επίσης έχει αποδειχθεί, ότι οι επιπτώσεις της ποικιλομορφίας των φυτών στη βιοποικιλότητα του εδάφους αυξάνονται με την πάροδο του χρόνου, παρά τη λειτουργική ομάδα. Αυτό προϋποθέτει την εφαρμογή των πολυκαλλιεργειών που συχνά διαταράσσονται, δηλαδή αυτές που βασίζονται σε επαναλαμβανόμενες και ετήσιες καλλιέργειες. Αυτό ωφελεί τη βιοποικιλότητα κάτω από το έδαφος λιγότερο από ότι σε πολυετή συστήματα (Minghui Li et al.,2021; Orgiazzi, A. et al.,2016).





Σχήμα 4.2.1. Γεωργική γης της Πενσυλβανίας που χρησιμοποιείται για την παραγωγή καλλιεργειών.  
Πηγή: FLAMBO VIA PECELS, 2021

Οι πιθανές επιπτώσεις της πολυκαλλιέργειας στην υπόγεια βιοποικιλότητα του εδάφους, που αναφέρθηκε παραπάνω οφείλονται, στην αυξημένη ετερογένεια των πόρων στο έδαφος. Η μεγαλύτερη πολυπλοκότητα στο σχέδιο της ρίζα, στην αρχιτεκτονική, στη χημεία απορριμμάτων και στην εξώθηση της ρίζας, μεταξύ άλλων παραγόντων που σχετίζονται με την αυξανόμενη ποικιλομορφία των φυτών και μπορεί να αλλάξει τις αλληλεπιδράσεις των υπόγειων ειδών για να βελτιώσει τη συνολική βιοποικιλότητα του εδάφους. Ένα παράδειγμα είναι πως έχει αποδειχθεί ξεκάθαρα ότι η ποικιλομορφία στην ποσότητα και την ποιότητα των εκκρίσεων της ρίζας μπορεί να επηρεάσει την αφθονία και την ποικιλομορφία των μικροοργανισμών (Minghui Li et al.,2021; Orgiazzi, A. et al.,2016).

Τα μείγματα των φυτικών ειδών συχνά εμφανίζουν μεγαλύτερη παραγωγικότητα από τις μονοκαλλιέργειες και στη συνέχεια ενισχύουν τη ροή ενέργειας στο υποσύστημα του εδάφους με τη μορφή μεγαλύτερων υπογείων και εισροών της ριζόσφαιρας (είναι η στενή περιοχή του εδάφους ή του υποστρώματος που επηρεάζεται άμεσα από τις εκκρίσεις των ριζών και τους συναφείς μικροοργανισμούς του εδάφους που είναι γνωστοί ως μικροβιοί ρίζας. “Wikipedia”, 2021). Αυτή η αυξημένη βάση των πόρων προσφέρει ένα άλλο μέσο με το οποίο οι πολυκαλλιέργειες μπορούν να υποστηρίξουν μεγαλύτερες και πιο

διαφορετικές κοινότητες εδάφους. Αυτό είναι πιο εμφανές όταν συνδυάζονται ξεχωριστές λειτουργικές ομάδες φυτών για την ενίσχυση των συνολικών πόρων. Ενώ η ποικιλομορφία των φυτών από μόνη της, όπως για παράδειγμα ο συνολικός πλούτος των ειδών, έχει αποδειχθεί ότι είναι σημαντικός παράγοντας για τις εδαφικές κοινότητες, η ενσωμάτωση ορισμένων ειδών φυτών μπορεί να έχει δυσανάλογες επιπτώσεις στην υπόγεια ποικιλομορφία και την δραστηριότητα. Ένα σαφές παράδειγμα μιας λειτουργικής ομάδας, είναι τα όσπρια που προσφέρουν στερέωση του αζώτου, που μπορούν να έχουν διαδοχικές και μακροχρόνιες επιπτώσεις στις κοινότητες του εδάφους. Τα όσπρια ενισχύουν συχνά τους πληθυσμούς των γαιοσκωλήκων λόγω της βελτιωμένης διατροφικής ποιότητας των εισροών οργανικής ύλης (Minghui Li et al.,2021; Orgiazzi, A. et al.,2016).

Άλλες λειτουργικές ομάδες φυτών, όπως χόρτα ή ξυλώδη είδη, μπορούν να έχουν παρόμοιες επιπτώσεις σε υπόγειες κοινότητες και θα πρέπει να λάβουν ιδιαίτερη προσοχή στο σχεδιασμό και την αξιολόγηση των συστημάτων διαφοροποίησης των αγρό-οικοσυστημάτων. Συνεπώς, ενώ η μεγιστοποίηση της ποικιλότητας των φυτών εντός των πολυκαλλιεργειών μπορεί να είναι ένας έγκυρος στόχος για ορισμένα αγρό-οικολογικά πλαίσια, η συμπερίληψη μόνο μίας ή μερικών πρόσθετων λειτουργικών ομάδων φυτών στα συστήματα καλλιέργειας είναι συχνά επαρκής και μια πολύ πιο εφικτή επιλογή για σημαντική βελτίωση της βιοποικιλότητας και της λειτουργίας του εδάφους (Minghui Li et al.,2021; Orgiazzi, A. et al.,2016).

Εκτός από τα προαναφερθέντα οφέλη, υπάρχουν διάφοροι μηχανισμοί με τους οποίους η αύξηση της χρονικής και χωρικής ποικιλομορφίας μπορεί να βοηθήσει στη στήριξη της βιολογικής δραστηριότητας και της ποικιλομορφίας στα εδάφη. Ωστόσο, σχετικά λίγη έρευνα μέχρι σήμερα έχει εξετάσει τον αντίκτυπο μιας τέτοιας διαφοροποίησης των γεωργικών οικοσυστημάτων στην υπόγεια βιοποικιλότητα και τη λειτουργία. Τα συστήματα πολυκαλλιεργειας που συζητούνται σε αυτήν την ενότητα επικεντρώνονται στη διαφοροποίηση των καλλιεργειών, η οποία διαφέρει από την αγρό-δασική, και τη διαφοροποίηση με τη συμπερίληψη των δέντρων στις καλλιεργήσιμες περιοχές (Minghui Li et al.,2021; Orgiazzi, A. et al.,2016).

### **4.3. Αναδάσωση**

Το Agroforestry (Αγροδασική) είναι ένα σύστημα καλλιεργήσιμης γης που συνδυάζει δέντρα με καλλιέργειες ή και βοσκοτόπους και ωφελείται από τις οικολογικές αλληλεπιδράσεις μεταξύ δέντρων και των γεωργικών συστατικών. Η αγροδασική έχει αναγνωριστεί και ασκείται όλο και περισσότερο ως επιλογή διαχείρισης γης, στην επισιτιστική ασφάλεια και στη διατήρηση της βιοποικιλότητας και των υπηρεσιών οικοσυστήματος. Θεωρείται, επίσης εργαλείο μετριασμού και προσαρμογής της κλιματικής αλλαγής στη γεωργία (Nath A.J. et al.,2021; “United Nations Department of Economic and Social Affairs”, 2021; “United Nations Forum on Forests Secretariat The Global Forest Goals Report”, 2021; Orgiazzi, A. et al.,2016 ).

Η αναδάσωση αναφέρεται στην εγκατάσταση δέντρων σε γη χωρίς δέντρα. Η αναδάσωση αναφέρεται στην ίδρυση δασών σε γη που είχε πρόσφατη κάλυψη δέντρων, ενώ η αγροδασική αναφέρεται σε γη που δεν είχε δάσος για πολύ καιρό. Αυτές οι πρακτικές χρησιμοποιούνται από τους γαιοκτήμονες που θέλουν να φυτέψουν και να διατηρήσουν ένα δάσος, ένα παράδειγμα είναι η ελαχιστοποίηση τη διάβρωσης, να μειώσουν την αλατότητα ή να βελτιώσουν την ποιότητα των υδάτων. Τόσο η αγροδασική όσο και η αναδάσωση μπορούν να θεωρηθούν αποτελεσματικά μέτρα για την καταπολέμηση της αποψίλωσης και των συνεπειών απώλειας της υπεδαφικής βιοποικιλότητας που αρνητικά επηρεάζει τη ζωή του εδάφους (Nath A.J. et al.,2021; “United Nations Department of Economic and Social Affairs”, 2021 “United Nations Forum on Forests Secretariat The Global Forest Goals Report”, 2021; Orgiazzi, A., et al.,2016).

Η ενσωμάτωση των δέντρων στα τοπία, έχει τη δυνατότητα να δημιουργήσει μια σειρά βελτιώσεων στο έδαφος ως περιβάλλον για τους οργανισμούς του εδάφους. Τα δέντρα προάγουν τις αλλαγές στο έδαφος με πολλούς τρόπους, ο θόλος του δέντρου παρεμποδίζει τις βροχοπτώσεις και παρέχει σκιά στο υπέδαφος και στο έδαφος, ενώ τα κλαδεμένα και τα νεκρά φύλλα και κλαδιά παρέχουν κάλυψη στο έδαφος, καθώς και οργανικές ύλες και θρεπτικές εισροές στα εδάφη. Το περιοδικό κλάδεμα των εγχώριων δέντρων που ακολουθείται από το στρώμα σε ξηρά και υπό-υγρά τροπικά περιβάλλοντα επιτρέπει τη διατήρηση ενός οργανικού στρώματος στο έδαφος, μειώνοντας έτσι τη διάβρωση του εδάφους, βοηθώντας στη μείωση των θερμοκρασιών του εδάφους και μειώνοντας τις απώλειες νερού μέσω της εξατμισοδιαπνοής (Nath A.J. et al.,2021; “United Nations Department of Economic and Social Affairs” , 2021; “United Nations Forum on Forests Secretariat The Global Forest Goals Report” ,2021; Orgiazzi, A. et al.,2016).

Το οργανικό στρώμα υποστηρίζει υψηλότερα επίπεδα υγρασίας του εδάφους που απαιτούνται για την επιβίωση και τη δραστηριότητα των εδαφικών οργανισμών, ιδιαίτερα κατά την περίοδο της ξηρασίας. Επιπροσθέτως, η βιομάζα από σάπια φύλλα είναι επίσης πηγή άνθρακα και θρεπτικών συστατικών που απαιτούνται «καταφυγίου» που διαδραματίζουν τα δέντρα στην ανάπτυξη ευνοϊκών συνθηκών για αυξημένη αφθονία των βιοτόπων του εδάφους στην περιοχή επιρροής τους έχει ενθαρρύνει την αναγνώρισή τους ως «σημείων» της βιολογικής δραστηριότητας του εδάφους που συμβάλλουν στη λειτουργική ανθεκτικότητα. Συμπληρωματικά, πρόσφατες μελέτες αγρό-δασοκομίας έδειξαν ότι η κατανομή της βιολογικής δραστηριότητας του εδάφους συνδέθηκε στενά με τη χωρική διάταξη των δέντρων και ότι αυτό το φαινόμενο ήταν πιο έντονο για ορισμένα είδη δέντρων από άλλα (Nath A.J. et al.,2021; “United Nations Department of Economic and Social Affairs”, 2021; “United Nations Forum on Forests Secretariat The Global Forest Goals Report”, 2021; Orgiazzi, A. et al.,2016).

Οι νησιωτικοί πόροι (‘resource islands’), είναι μια έννοια ανάλογη με εκείνη των δέντρων ως σημεία βιολογικής δραστηριότητας του εδάφους, έχει εμφανιστεί σε ημί-ξερές περιοχές της Αφρικής ως αποτέλεσμα μελετών των φυσικών θάμνων *Guiera senegalensis* (Σχήμα 4.3.1.) και *Piliostigma reticulatum* (Σχήμα 4.3.2.) ως βασικών συστατικών της γεωργικής διαχείρισης φυσικές προσπάθειες αναγέννησης που συμβάλλουν στην αναδάσωση (Nath A.J. et al.,2021; “United Nations Department of Economic and Social Affairs”, 2021; “United Nations Forum on Forests Secretariat The Global Forest Goals Report”, 2021; Orgiazzi, A. et al., 2016).



Σχήμα 4.3.1. *Guiera senegalensis*  
Πηγή: File:Guiera senegalensis Piry 1.jpg, From Wikimedia, 2020



Σχήμα 4.3.2. *Piliostigma reticulatum*  
Πηγή: JIRCAS, Photo by Reiichi Miura

Αυτοί οι θάμνοι έχουν μεγάλες ρίζες οι οποίες φτάνουν σε υγρά υπεδάφη κοντά στον υδροφόρο ορίζοντα και είναι σε θέση να μεταφέρουν νερό από τα βαθύτερα

στρώματα εδάφους στη ριζόσφαιρα που είναι κοντά στην επιφάνεια του εδάφους μέσω μιας διαδικασίας γνωστής ως «υδραυλικοί ανελκυστήρες». Αυτή η ανακάλυψη έχει αλλάξει το παράδειγμα του τρόπου λειτουργίας των οικοσυστημάτων υπό σοβαρούς περιορισμούς του νερού (Nath A.J. et al.,2021; “United Nations Department of Economic and Social Affairs”, 2021; “United Nations Forum on Forests Secretariat The Global Forest Goals Report”, 2021; Orgiazzi, A. et al.,2016).

Νωρίτερα, θεωρήθηκε ότι οι βιολογικά καθοριζόμενες εδαφολογικές διεργασίες θα σταματούσαν σε μεγάλο βαθμό κατά τη διάρκεια της ξηρασίας. Λόγω των «υδραυλικών ανελκυστήρων», η ποικιλομορφία και η δραστηριότητα των μικροβιακών κοινοτήτων, όπως τα βακτήρια, μπορούν να διατηρηθούν στη ριζόσφαιρα κατά την διάρκεια της ξηρασίας. Σε ευνοϊκές συνθήκες όπου οι πόροι είναι σε διαθεσιμότητα όπως για παράδειγμα το νερό, τα δένδρα μπορούν να δημιουργήσουν μια εικόνα νησιού, δηλαδή μερικά φυτά και δένδρα όταν βρουν τις ανάλογες συνθήκες μπορούν να γίνονται μικρότερα ή μεγαλύτερα από ότι κανονικά εξαιτίας των υπαρχόντων πόρων. Αυτά τα αποτελέσματα προφανώς έχουν επιπτώσεις σε αλληλεπιδράσεις φυτών και μικροβίων που αφορούν βιογεωχημικές (Biogeochemical) διεργασίες, όπως η ανοργανοποίηση θρεπτικών ουσιών και η αποσύνθεση οργανικής ύλης (Nath A.J. et al.,2021; “United Nations Department of Economic and Social Affairs”, 2021; “United Nations Forum on Forests Secretariat The Global Forest Goals Report”, 2021; Orgiazzi, A. et al.,2016).

Αυτοί οι θάμνοι, επίσης, θα μπορούσαν να βοηθήσουν τις γειτονικές καλλιέργειες με την προώθηση και τη διατήρηση ωφέλιμων μικροοργανισμών και την καταστολή των παθογόνων φυτών. Η μεγαλύτερη περιεκτικότητα σε άζωτο που βρίσκεται στα εδάφη κάτω από αυτόν τον τύπο θάμνου μπορεί να υποδηλώνει ότι οι μικροοργανισμοί ελεύθερης ζωής είναι πιο δραστήριοι ή ότι υπάρχουν μεγαλύτεροι πληθυσμοί εδαφικών οργανισμών που στερεώνουν το ατμοσφαιρικό άζωτο. Άλλοι ευεργετικοί μικροοργανισμοί στη ριζόσφαιρα θα μπορούσαν να είναι σημαντικοί για την προώθηση της διαθεσιμότητας των θρεπτικών συστατικών των καλλιεργειών, π.χ. ορυκτοποίηση φωσφόρου ή διαλυτοποίηση, ή να είστε άμεσοι θηρευτές των παθογόνων. Επιπλέον, οι μεγαλύτερες εισροές άνθρακα και η παροχή νερού όλο το χρόνο στην ριζόσφαιρα θάμνων θα μπορούσαν να δημιουργήσουν μια ισορροπημένη μικροβιακή κοινότητα που καταστέλλει τα παθογόνα που προκαλούνται από το έδαφος μέσω του ανταγωνισμού. Η συμβολή των δέντρων στην αυξημένη βιοποικιλότητα του

εδάφους μπορεί να αποδοθεί στην πολυετή φύση τους που επηρεάζει βαθιά το μικρό-κλίμα και τις ιδιότητες του εδάφους, συμπεριλαμβανομένης της διαθεσιμότητας νερού, και επηρεάζει την αφθονία, την ποικιλομορφία και τη δραστηριότητα των εδαφικών βιοτόπων που απαιτούνται για τη διατήρηση κρίσιμων βιολογικών λειτουργιών που υποστηρίζουν τις υπηρεσίες οικοσυστήματος με τη μεσολάβηση του εδάφους. (Nath A.J. et al.,2021; “United Nations Department of Economic and Social Affairs”, 2021; “United Nations Forum on Forests Secretariat The Global Forest Goals Report”, 2021; Wenjia Wu & Luhui Kuang, 2021; Orgiazzi, A. et al.,2016).

#### **4.4. Διαχείριση πυρκαγιάς**

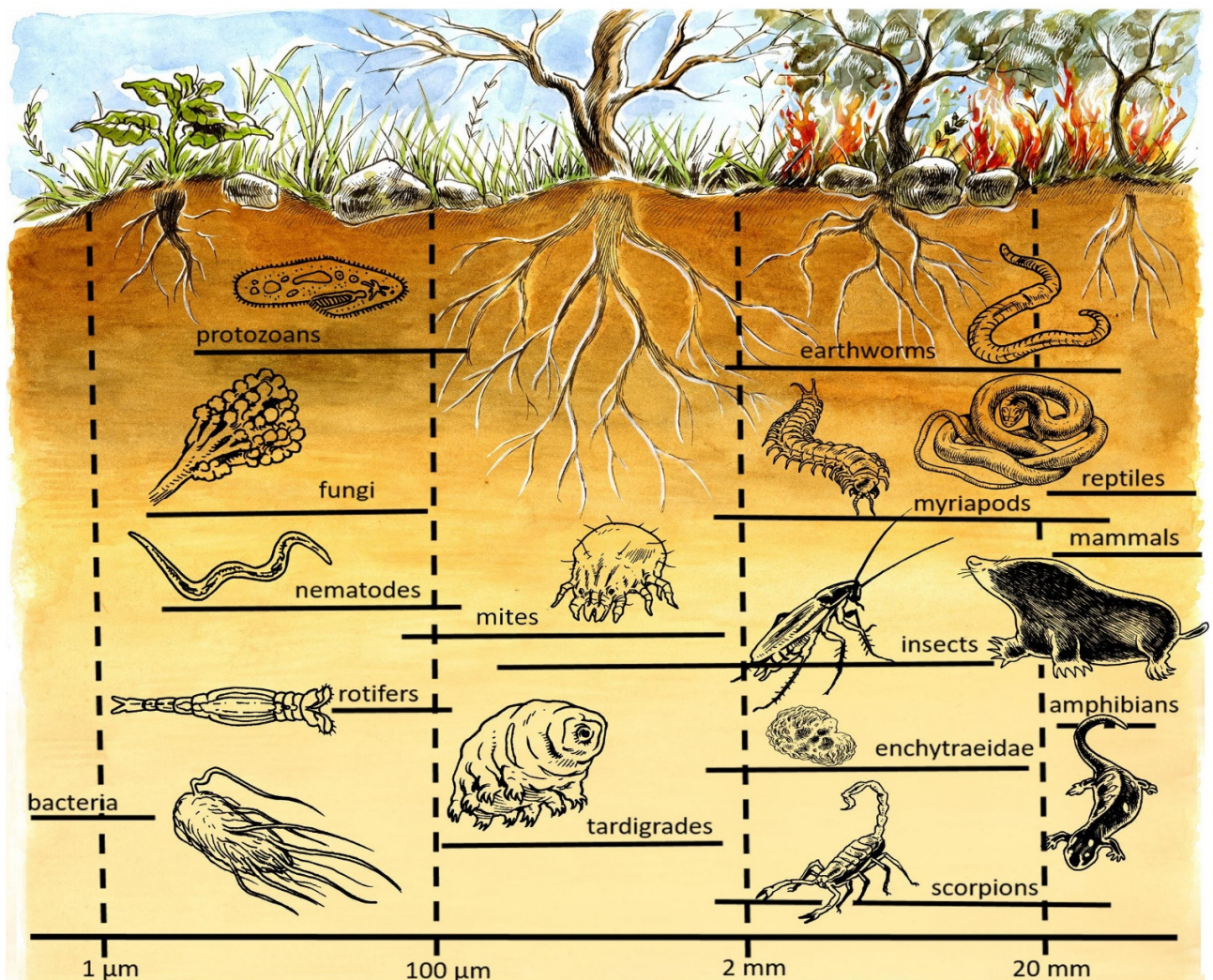
Η πυρκαγιά μπορεί να απειλήσει τη βιοποικιλότητα του εδάφους τόσο άμεσα μέσω της διάβρωσης και της υποβάθμισης του εδάφους μετά τη φωτιά είτε έμμεσα μέσω της θερμότητας και της καύσης. Η φωτιά είναι ένα φυσικό μέρος σχεδόν όλων των επίγειων οικοσυστημάτων και ότι η πυρκαγιά απειλεί τη βιοποικιλότητα του εδάφους μόνο όταν η ισορροπία μεταξύ καύσης και ανάκαμψης διαταράσσεται από την ανθρώπινη δραστηριότητα (Maria Ulrika Johansson et al.,2021; Giacomo Certini et al.,2021; Orgiazzi, A. et al., 2016).

Με το πέρας του χρόνου, κάποια φυτά εξελίχθηκαν για να προσαρμόζονται στη φωτιά. Μία από τις πιο γνωστές προσαρμογές είναι το Pyriscence, μπορεί να γίνει κατανοητό ως προσαρμογή σε ένα περιβάλλον στο οποίο οι πυρκαγιές είναι συχνές και στο οποίο τα περιβάλλοντα μετά τη φωτιά προσφέρουν την καλύτερη βλάστηση (Maria Ulrika Johansson et al.,2021; Giacomo Certini et al.,2021; Orgiazzi, A. et al.,2016).

Στο έδαφος κατοικούν οργανισμοί, δηλαδή εκείνοι οι οργανισμοί που ζουν κυρίως στο έδαφος, υπάρχουν διαφορετικές και πολυάριθμες συνέπειες εμφάνισης πυρκαγιάς, οι οποίες ωστόσο συχνά παραβλέπονται σε σύγκριση με εκείνες της άγριας πανίδας και της βλάστησης. Οι πιο πολλοί από αυτούς τους οργανισμούς ζουν στο ανώτερο στρώμα του εδάφους, στο οποίο οι πυρκαγιές στο έδαφος είναι υψηλότερες στο βαθμό που είναι θανατηφόρες ή επικίνδυνες για τους φυσικούς βιότοπους. Η πυρκαγιά είναι ένας παράγοντας ελέγχου της δραστηριότητας και της βιοποικιλότητας του εδάφους, αλλά και όταν είναι σπάνια το οικολογικό της αποτύπωμα μπορεί να είναι σημαντικό. Ο άμεσος αντίκτυπος της φωτιάς στο βιότοπο του εδάφους σχετίζεται αυστηρά με τις μέγιστες θερμοκρασίες που επιτυγχάνονται στο έδαφος και τη διάρκειά τους και με ένα

σύνολο ιδιοτήτων εδάφους και περιεκτικότητας σε νερό (Maria Ulrika Johansson et al.,2021; Giacomo Certini et al.,2021; Orgiazzi, A. et al.,2016).

Τα σπονδυλωτά μπορούν να διαφεύγουν από την υπερθέρμανση, ψάχνοντας για υγρές εσοχές ή σκάβουν βαθιά στο έδαφος. Σε αντίθεση με τα ασπόνδυλα και τους μικροοργανισμούς, που έχουν μικρή έως και καθόλου κινητικότητα, υποκύπτουν πιο εύκολα στη φωτιά αλλά αντισταθμίζουν την εγγενή αδυναμία εξαιτίας της μεγαλύτερης γονιμότητας τους (Σχήμα 4.4.1.) (Maria Ulrika Johansson et al.,2021; Giacomo Certini et al.,2021; Orgiazzi, A. et al.,2016).



Σχήμα 4.4.1. Μια σχηματική αναπαράσταση των κυριότερων εκπροσώπων του ποικίλου υπόγειου ζωντανού κόσμου, ταξινομημένη σύμφωνα με το μέγεθος του εύρους του σώματος για κάθε ομάδα. Πηγή: Giacomo Certini, Daniel Moya, Manuel Esteban Lucas-Borja, Giovanni Mastrolonardo 2021.

Η σοβαρότητα της πυρκαγιάς, η οποία γενικά μπορεί να οριστεί ως απώλεια οργανικής ύλης στο κάτω και στο πάνω μέρος του εδάφους, είναι ο πιο βασικός



παράγοντας των έμμεσων επιπτώσεων της πυρκαγιάς στους βιότοπους που ζουν στο έδαφος (Σχήμα 4.4.2.). Ενώ οι ελεγχόμενες πυρκαγιές δεν συνεπάγονται συχνά με διαρκή και ουσιαστική μετατόπιση από την αρχική κατάσταση. Οι τεράστιες και οι ακραίες πυρκαγιές μπορεί να έχουν σοβαρές συνέπειες που μπορεί να είναι πιο σοβαρές από την άμεση αφαίρεση της «ζωής». Είναι γεγονός πως οι δεξαμενές θρεπτικών ουσιών επηρεάζονται σε μεγάλο βαθμό, οι ιστοί των τροφών διαταράσσονται, η υγρασία και η θερμοκρασία του εδάφους αλλάζουν και οι τοξικές πυρογενείς ενώσεις παραμένουν στο έδαφος (Maria Ulrika Johansson et al.,2021; Giacomo Certini et al.,2021; Orgiazzi, A. et al.,2016).

Όλοι οι τύποι οργανισμών μπορούν να επαναφέρουν την καμένη περιοχή, υπό την προϋπόθεση ότι η χρήση της γης δεν αλλάζει, όπως για παράδειγμα σε βοσκότοπους ή αρόσιμους αγρούς και προτρέπουν την αρκετή βλάστηση να ξανά-βλαστήσουν ή ακόμα και να αποτρέψουν την σημαντική διάβρωση του εδάφους (Maria Ulrika Johansson et al.,2021; Giacomo Certini et al.,2021; Orgiazzi, A. et al.,2016).

Το καμένο έδαφος αν δεν υποστεί άλλες πυρκαγιές που συμβαίνουν πολύ κοντά στο χαρακτηριστικό σύστημα της πυρκαγιάς αυτής της συγκεκριμένης περιοχής, τα περισσότερα από τα ζωντανά συστατικά του είναι γενικά ικανά να επιστρέψουν σε επίπεδα πριν από τη φωτιά σε περιόδους που εξαρτώνται από μια σειρά παραγόντων, όπως για παράδειγμα η σοβαρότητα πυρκαγιάς και βροχοπτώσεις μετά την πυρκαγιά (Maria Ulrika Johansson et al.,2021; Giacomo Certini et al.,2021; Orgiazzi, A. et al.,2016).

Ως μορφή διαταραχής, η πυρκαγιά αναμένεται να αυξήσει τον πλούτο των ειδών σε μέτρια ένταση ή συχνότητα, όπως υποδηλώνεται από την «υπόθεση ενδιάμεσης διαταραχής». Αυτό δηλώνει ότι η υψηλότερη ποικιλία ειδών σε ένα οικοσύστημα διατηρείται από ένα επίπεδο διαταραχής στη μέση μεταξύ συχνής και σπάνιας διαταραχής. Επομένως, κατ' αρχήν, η κατάλληλη χρήση της φωτιάς μπορεί να διατηρήσει υψηλά επίπεδα ποικιλομορφίας. Ωστόσο, ποια θα ήταν αυτή η ένταση ή η συχνότητα της πυρκαγιάς, ή ο συνδυασμός των δύο, για όλες τις πτυχές της βιοποικιλότητας του εδάφους σε όλο το εύρος των επίγειων οικοσυστημάτων, παραμένει σε μεγάλο βαθμό άγνωστη και απαιτεί περαιτέρω έρευνα. Επομένως, η εφαρμογή ελεγχόμενων πυρκαγιών για την προώθηση της βιοποικιλότητας του εδάφους παραμένει σε μεγάλο βαθμό ανεξερεύνητη (Maria Ulrika Johansson et al.,2021; Giacomo Certini et al.,2021; Orgiazzi, A., et al.,2016).



Σχήμα 4.4.2. Ο νεκρός σκελετός ενός σκαθαριού σκαραβαίου στη μέση των απανθρακωμένων απορριμμάτων σε ένα πρόσφατα καμένο δάσος ευκαλύπτου στην Αυστραλία.  
Πηγή: Giacomo Certini, Daniel Moya, Manuel Esteban Lucas-Borja, Giovanni Mastrolonardo 2021.

#### **4.5. Έλεγχος διάβρωσης εδάφους**

Ο έλεγχος της διάβρωσης του εδάφους είναι καλά αναγνωρισμένα και κατανοητά όμως, δεν εφαρμόζονται σε γενικές γραμμές. Υπάρχουν ακόμα πολλοί αγρότες σε όλο τον κόσμο που δεν έχουν αναφερθεί σε εφαρμογή ελέγχους της διάβρωσης και συνεχίζουν να χάνουν τόνους εδάφους κάθε χρόνο. Οι βασικοί λόγοι για αυτήν την έλλειψη εφαρμογής είναι ότι οι περισσότερες μορφές ελέγχου της διάβρωσης απαιτούν μια αρχική οικονομική επένδυση για πιο μακροπρόθεσμο όφελος, μπορούν να καταλάβουν μέρος της γης που διαφορετικά θα μπορούσε να καλλιεργηθεί και να είναι κερδοφόρα και απαιτείται περισσότερη εργασία (Keith Mulvihill, 2021; Mahajan G.R. et al.,2021; Stutter M. et al.,2021; Orgiazzi, A. et al.,2016).

Συνεπώς, απαιτείται μια μακροπρόθεσμη εικόνα για τη συντήρηση του εδάφους ακόμα όμως και αν υπάρχει αυτή η εικόνα, κάποιοι παράγοντες όπως η έλλειψη κατοχής εδάφους, καθορίζει εάν ο έλεγχος της διάβρωσης θα εφαρμοστούν αποτελεσματικά ή όχι. Κάποιες πρακτικές που ελέγχουν ως επί πλείστων τη διάβρωση περιορίζοντας τις διαδρομές που είναι η εγκατάσταση φρακτών που σταματάνε τον αέρα, αναβαθμίδες, οργώματος και καλλιέργειας κατά μήκος των γραμμών. Η δημιουργία λωρίδων χόρτου μέσα και στα όρια των χωραφιών

μειώνει επίσης τα μονοπάτια (Σχήμα 4.5.1.). Είναι κυρίως εγκατεστημένα σε τμήματα του χωραφιού που είναι πιο επιρρεπή σε διάβρωση, προκειμένου να συγκρατήσουν το έδαφος σε αυτά τα ευάλωτα μέρη από τις ρίζες. Ομοίως, τα δέντρα συγκρατούν το έδαφος στη θέση τους με τις ρίζες τους και παράγουν 'απορρίμματα' (τα φύλλα που πέφτουν από τα δέντρα) που μπορούν να χρησιμοποιηθούν ως οργανικό λίπασμα (Keith Mulvihill, 2021; Mahajan G.R. et al.,2021; Stutter M. et al.,2021; Orgiazzi, A. et al.,2016).



Σχήμα 4.5.1. Δημιουργία μονοπατιών σε χωράφια τα οποία είναι ευάλωτα.  
Πηγή: Aditya, 2020

Ως αποτέλεσμα των προαναφερόμενων πρακτικών ελέγχου της διάβρωσης, ορισμένες θεμελιώδεις αλλαγές πραγματοποιούνται επίσης στο έδαφος που στην πραγματικότητα αποτρέπει περαιτέρω τη διάβρωση του εδάφους. Ο πιο άμεσος τρόπος με τον οποίο ο έλεγχος της διάβρωσης επηρεάζει της ζωής του εδάφους είναι μείωση της διαταραχής του εδάφους. Ένα παράδειγμα είναι το ευρέως γνωστό ότι τα συστήματα χωρίς όργωμα επιτρέπουν στους γαιοσκώληκες και τους μύκητες να ευδοκιμούν, επειδή δεν κόβονται πλέον φυσικά από το όργωμα (Keith Mulvihill, 2021; Mahajan G.R. et al.,2021; Stutter M. et al.,2021, Orgiazzi, A. et al.,2016).

Γενικά, κάθε πρακτική ελέγχου της διάβρωσης που οδηγεί σε βελτιωμένη δομή του εδάφους θα ενισχύσει τους βιοτόπους του εδάφους σχηματίζοντας πολλούς

πόρους και αδρανή. Μια καλή δομή πόρων θα οδηγήσει σε μια ισορροπία μεταξύ νερού, τροφής και οξυγόνου για τους οργανισμούς του εδάφους που χρειάζονται οξυγόνο για να επιβιώσουν. Σε αντίθεση με τους πόρους, το εσωτερικό του συνόλου περιέχει λιγότερο οξυγόνο, το οποίο είναι ιδανικό για άλλους βιότοπους. Μια βελτιωμένη δομή του εδάφους μπορεί επίσης να προστατεύσει καλύτερα το βιολογικό έδαφος από ρύπους, ξηρασίας και ακραίες περιόδους ξηρασία-υγρασίας. Επομένως, οι έλεγχοι διάβρωσης του εδάφους προστατεύουν έμμεσα πολλά περιβάλλοντα στα οποία μπορούν να επιβιώσουν διαφορετικά βιολογικά εδάφη (Keith Mulvihill, 2021; Mahajan G.R. et al.,2021; Stutter M. et al.,2021; Orgiazzi, A. et al.,2016).

Όλες οι πρακτικές ελέγχου της διάβρωσης του εδάφους, πρώτον συγκρατούν το έδαφος όσο το δυνατόν περισσότερο στη θέση του και δεύτερον μειώνουν το βαθμό έκθεσης του εδάφους σε τρεχούμενο αέρα ή νερό. Συνεπώς, η πρακτική μειώνει τις διαταραχές του εδάφους, καλύπτει το έδαφος, μειώνει το μήκος της πορείας ή της ροής του ανέμου και αυξάνει τη βιομάζα της ρίζας που συγκρατεί το έδαφος. Ένα παράδειγμα, είναι πως δεν έχουν υιοθετηθεί πρακτικές οργώματος για τον έλεγχο της διάβρωσης επειδή μειώνουν έντονα τις διαταραχές του εδάφους και το στρώμα υπολειμμάτων που προκύπτει πάνω από το έδαφος αυξάνει την κάλυψη. Σε κάποια γεωργικά συστήματα, το όργωμα μειώνεται αντί να σταματά εντελώς και τα φυτικά υλικά προστίθενται στην επιφάνεια του εδάφους για οργανικό λίπασμα (Keith Mulvihill, 2021; Mahajan G.R. et al.,2021; Stutter M. et al.,2021; Orgiazzi, A. et al.,2016). Η κύρια μέθοδος που χρησιμοποιείται για την αύξηση της κάλυψης του εδάφους είναι η φύτευση καλλιεργειών κάλυψης κατά τη διάρκεια του χειμώνα, προκειμένου να αποφευχθεί η έκθεση του μη καλυμμένου εδάφους στους σκληρούς χειμερινούς παράγοντες. Μόλις τελειώσει ο χειμώνας, οι αγρότες πρέπει να προετοιμάζουν το έδαφος, να φυτέψουν, τις τελευταίες δεκαετίες αυτό έχει γίνει με βαρύτερο εξοπλισμό που οδηγεί σε συμπύκνωση του εδάφους. Ωστόσο, αυτόν τον καιρό υπάρχει μια τάση να καταστούν ελαφρύτερες οι πιέσεις των μηχανημάτων (Keith Mulvihill, 2021; Mahajan G.R. et al.,2021; Stutter M. et al.,2021; Orgiazzi, A. et al.,2016). Ως αποτέλεσμα των πρακτικών που αναφέρθηκαν πριν, του ελέγχου της διάβρωσης, ορισμένες θεμελιώδεις αλλαγές πραγματοποιούνται επίσης στο έδαφος που στην πραγματικότητα αποτρέπει περαιτέρω τη διάβρωση του εδάφους. Η πιο σημαντική αλλαγή είναι ότι η δομή του εδάφους βελτιώνεται λόγω της αυξημένης βιομάζας της ρίζας, της λιγότερης φυσικής διαταραχής και της

αυξημένης βιοτικής δραστηριότητας του εδάφους, όπως για παράδειγμα τα σκουλήκια και οι μύκητες (Keith Mulvihill, 2021; Mahajan G.R. et al.,2021; Stutter M. et al.,2021; Orgiazzi, A. et al.,2016). Όλες αυτές οι βελτιώσεις αυξάνουν την οργανική ύλη του εδάφους ως συνδετικό παράγοντα που συγκρατεί τα σωματίδια του εδάφους σε μεγαλύτερες δομές εδάφους. Οι βιότοποι του εδάφους διαδραματίζουν έναν ιδιαίτερα κρίσιμο ρόλο στη συγκόλληση των σωματιδίων σε σταθερές δομές. Ένα παράδειγμα είναι το σκάψιμο των γαιοσκωλήκων μέσω του εδάφους οδηγεί στο σχηματισμό πόρων ενάντια σε αδρανή και τείχη. Οι μύκητες μπλέκονται, όπως και οι ρίζες, τα σωματίδια μαζί και παράγουν επίσης κολλώδη οργανικά υλικά που δεσμεύουν σωματίδια. Η βελτιωμένη δομή του εδάφους οδηγεί σε μεγαλύτερη σταθερότητα του εδάφους που μπορεί να αντέξει καλύτερα τις επιπτώσεις της βροχόπτωσης, της απορροής του νερού και του ανέμου. Αυξάνει επίσης τη διείσδυση νερού στο έδαφος, μειώνοντας έτσι το νερό που τρέχει από την επιφάνεια του εδάφους, το οποίο προκαλεί διάβρωση (Keith Mulvihill, 2021; Mahajan G.R. et al.,2021; Stutter M. et al.,2021; Orgiazzi, A. et al.,2016).

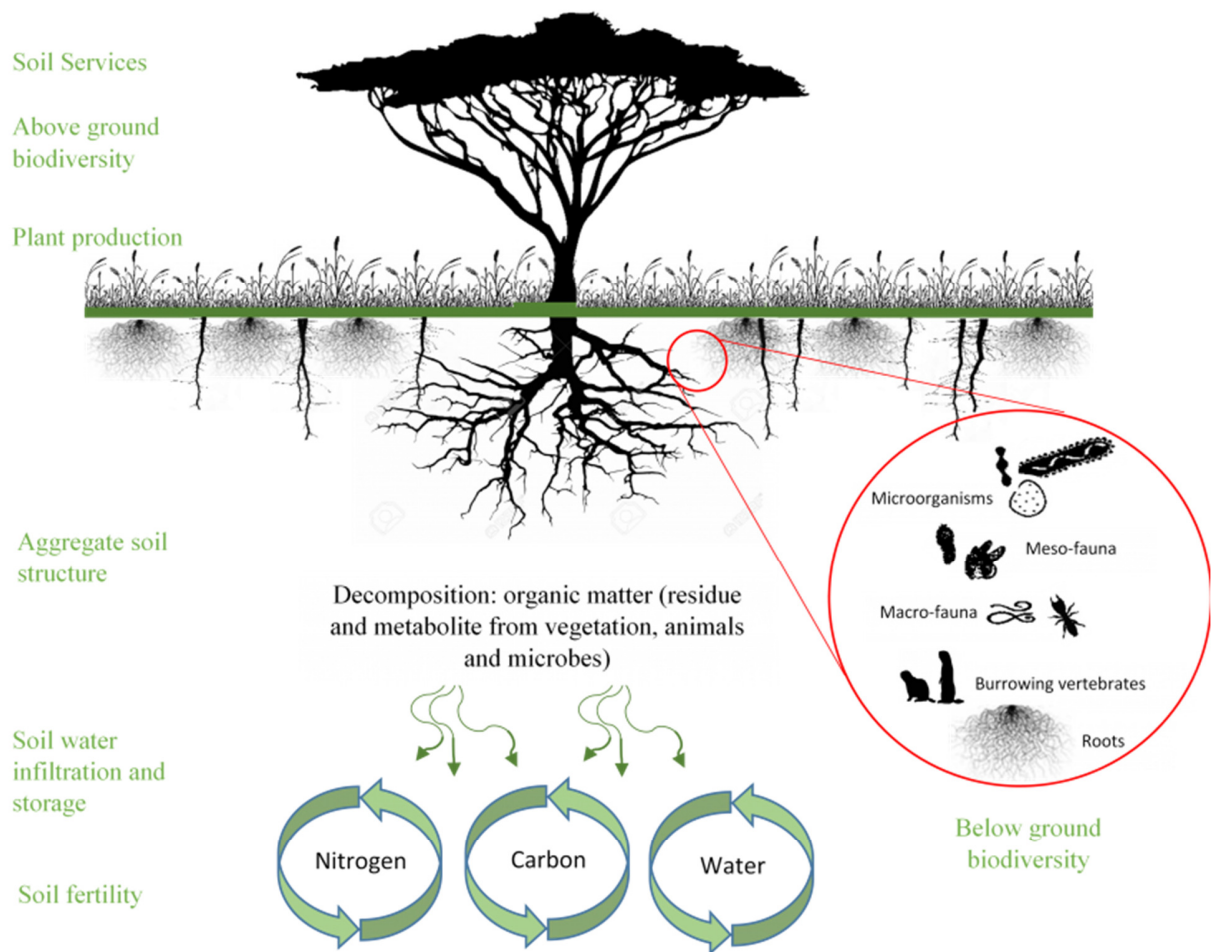
## **Κεφάλαιο 5 | Απώλεια, διαχείριση, προτεινόμενες λύσεις και οι μελλοντικοί κίνδυνοι της βιοποικιλότητας του εδάφους**

### **5.1. Απώλεια της βιοποικιλότητας του εδάφους**

Η βιοποικιλότητα του εδάφους ορίζεται γενικά ως η μεταβλητότητα των ζωντανών οργανισμών στο έδαφος και τα οικολογικά συμπλέγματα των οποίων αποτελούν μέρος. Η απειλή της βιοποικιλότητας του εδάφους έχει περιγραφεί ως μείωση των μορφών ζωής που ζουν σε εδάφη τόσο σε ποικιλία όσο και σε ποσότητα (“Conserving healthy soils IUCN”, 2021; “Recare”, 2018).

Η απώλεια της βιοποικιλότητας του εδάφους σχετίζεται συνήθως με κάποια άλλη επιδείνωση της ποιότητας του εδάφους και στο επίπεδο της περιοχής, είναι σαφές ότι η βιοποικιλότητα μειώνεται. Ένα παράδειγμα, είναι η σφράγιση του εδάφους, με μόνιμη κάλυψη του εδάφους από σκληρές επιφάνειες, όπως τα κτίρια και οι δρόμοι. Η σφράγιση του εδάφους λοιπόν, προκαλεί το θάνατο της βιολογικής γης, αποκόπτοντας το νερό και τις εισροές του άνθρακα και των θρεπτικών συστατικών. Σε άλλες περιπτώσεις, η απώλεια της βιοποικιλότητας του

εδάφους μπορεί να σχετιστεί με την εξάντληση της οργανικής ύλης, την αλάτωση, τη διάβρωση, τη συμπύκνωση και τη μόλυνση (Σχήμα 5.1.1.) (“Conserving healthy soils IUCN” 2021; “Recare”, 2018). Η βιοποικιλότητα του εδάφους οδηγεί τους κύκλους άνθρακα, αζώτου και νερού από τους οποίους εξαρτάται η ζωή στο έδαφος. Συνεπώς, η παραγωγικότητα της γης καθορίζεται, σε μεγάλο βαθμό, από τη βιοποικιλότητα του εδάφους της. Όταν η γη υποβαθμίζεται, χάνει τη βιοποικιλότητα του εδάφους της. Το έδαφος, το οποίο διαρκεί εκατοντάδες χρόνια, μπορεί να διαβρωθεί εύκολα από τον άνεμο και το νερό όταν χάνεται η βιοποικιλότητα του εδάφους, προκαλώντας γη να παράγει λιγότερα τρόφιμα, να αποθηκεύει λιγότερο νερό και να απελευθερώνει άνθρακα στην ατμόσφαιρα (“Conserving healthy soils IUCN”, 2021; “Recare”, 2018).



Σχήμα 5.1.1. Soil Services (Υπηρεσίες εδάφους), Above ground biodiversity (Βιοποικιλότητα πάνω από το έδαφος), Plant production (Φυτική παραγωγή), Aggregate soil structure (Συνολική δομή του εδάφους), Soil water infiltration and storage (Διήθηση και αποθήκευση νερού στο έδαφος), Soil fertility decomposition: organic matter (residue and metabolite from vegetation, animals and microbes) [Αποικοδόμηση της γονιμότητας του εδάφους: οργανική ύλη (υπόλειμμα και μεταβολίτης από τη βλάστηση, τα ζώα και τα μικρόβια)], Nitrogen (Άζωτο), Carbon (Άνθρακας), Water (Νερό), Microorganisms (Μικροοργανισμοί), Meso-fauna (Μεσό-πανίδα), Macro-fauna (Μακρό-πανίδα), Burrowing vertebrates (Λαγούμια σπονδυλωτών), Roots (Ρίζες), Below ground biodiversity (Βιοποικιλότητα κάτω από το έδαφος)

Πηγή: Conserving healthy soils | IUCN, 2021

Η βιοποικιλότητα του εδάφους υπόκειται σε σημαντικές διαταραχές μέσω οποιοδήποτε απειλών. Οι βιότοποι του εδάφους έχουν την δική τους μοναδική ικανότητα να αντιστέκεται σε γεγονότα που προκαλούν αλλαγές ή διαταραχές και μια συγκεκριμένη ικανότητα να ανακάμψει από αυτές τις διαταραχές. Από την

άλλη, η ικανότητα ανάκαμψης θεωρείται βασικό χαρακτηριστικό της βιοποικιλότητας (“Conserving healthy soils IUCN”, 2021; “Recare”, 2018).

Υιοθετώντας πρακτικές βιώσιμης διαχείρισης γης και διαχειριζόμενα βιώσιμα αγροτικά τοπία, αποφεύγουμε την υποβάθμιση των εδαφών και διατηρούνται τα εδάφη υγιή. Οι γεωργικές πρακτικές που αυξάνουν τη βιοποικιλότητα του εδάφους περιλαμβάνουν τη βιώσιμη διαχείριση του νερού και των θρεπτικών συστατικών του εδάφους, τη διατήρηση του εδάφους και τον έλεγχο της διάβρωσης (“Conserving healthy soils IUCN”, 2021; “Recare”, 2018).

Οι κυβερνήσεις πρέπει να υποστηρίζουν τους αγρότες υιοθετώντας πρακτικές διαχείρισης της γης, ένα παράδειγμα υποστήριξης είναι μέσω επιδοτήσεων και άλλων μέσων. Οι αγρότες θα πρέπει να πληρώνονται για τη διατήρηση αυτού του δημόσιου αγαθού. Οι κυβερνήσεις θα πρέπει επίσης να προωθήσουν τις ιδιωτικές επενδύσεις στη βιώσιμη διαχείριση της γης, διευκολύνοντας έτσι τις ευκαιρίες χρηματοδότησης για μικρές και μεσαίες αγροτικές επιχειρήσεις που συμμετέχουν στη διαχείριση της γης (“Conserving healthy soils IUCN”, 2021; “Recare”, 2018).

## **5.2. Διαχείριση της βιοποικιλότητας του εδάφους**

Η συνεισφορά των οργανισμών του εδάφους είναι εξέχουσα, οι πληροφορίες σχετικά με τις σχέσεις μεταξύ των περιβαλλοντικών μεταβλητών και της βιοποικιλότητας του εδάφους σε παγκόσμια αλλά και σε τοπική κλίμακα. Ενώ η βιοποικιλότητα στην επιφάνεια του εδάφους είναι γνωστή στους περισσότερους ανθρώπους και η προστασία της διαχειρίζεται βάση των παγκόσμιων και των εθνικών κανονισμών και νόμων, υπάρχουν πολύ λίγες δραστηριότητες που εστιάζουν άμεσα στην προστασία της βιοποικιλότητας του εδάφους (Sauro Simoni et al., 2021; Anne Winding et al., 2020)

Η διαχείριση της βιοποικιλότητας του εδάφους περιλαμβάνει τόσο τη προστασία, την αποκατάσταση και τη συντήρηση των επιθυμητών ειδών, όσο και την πρόληψη ή τον έλεγχο ανεπιθύμητων ειδών. Η προστασία της βιοποικιλότητας στην επιφάνεια του εδάφους και της βιοποικιλότητας του εδάφους, ωστόσο η βιοποικιλότητα του εδάφους είναι λιγότερο στοχοποιημένη για τη διατήρηση του περιβάλλοντος, παρά τους στενούς δεσμούς μεταξύ της βιοποικιλότητας στην επιφάνεια του εδάφους και της βιοποικιλότητας κάτω από το έδαφος (Cornelis AM van Gestel et al.,2020; Sauro Simoni et al.,2021; Anne Winding et al.,2020).

Ένα παράδειγμα είναι, το Millennium Ecosystem Assessment (είναι μια σημαντική εκτίμηση των ανθρώπινων επιπτώσεων στο περιβάλλον, την οποία



ζήτησε ο Γενικός Γραμματέας των Ηνωμένων Εθνών Κόφι Ανάν το 2000, που ξεκίνησε το 2001 και δημοσιεύτηκε το 2005 με επιχορηγήσεις άνω των 14 εκατομμυρίων δολαρίων. “Wikipedia”, 2021), περιέχει πολύ λίγες πληροφορίες για τα εδάφη και τη βιοποικιλότητα τους εδάφους και η European Habitat Directives and Natura (είναι μια οδηγία που εκδόθηκε από την Ευρωπαϊκή Κοινότητα το 1992 ως απάντηση στη σύμβαση της Βέρνης . Η Ευρωπαϊκή Κοινότητα μεταρρυθμίστηκε ως Ευρωπαϊκή Ένωση το επόμενο έτος, αλλά η οδηγία εξακολουθεί να αναγνωρίζεται. “Wikipedia”, 2021), δεν αναφέρουν καν τη βιοποικιλότητα του εδάφους. Παρά την προώθηση της βιώσιμης διαχείρισης του εδάφους από την Παγκόσμια Σύμπραξη Εδάφους (Global Soil Partnership), από το 2012 σε πολλές περιπτώσεις η διαχείριση του εδάφους εξακολουθεί να επικεντρώνεται στη διαχείριση της γονιμότητας του εδάφους και όχι στην προστασία της βιοποικιλότητας του εδάφους ως βασικό καθοριστικό παράγοντα για την υγεία του εδάφους (Cornelis AM van Gestel et al.,2020; Sauro Simoni et al.,2021; Anne Winding et al.,2020).

Υπάρχει μεγάλη παγκόσμια αναγνώριση της ανάγκης για την ενίσχυση πολλών υπηρεσιών των οικοσυστημάτων, όπου βασίζονται στο έδαφος, εκτός από την απλή παροχή υπηρεσιών με αρχή την παραγωγή. Ένα παράδειγμα, εκτός από την παραγωγή τροφίμων, τα εδάφη πρέπει επίσης να παράγουν καθαρά υπόγεια ύδατα, να αποθηκεύουν οργανικό άνθρακα και άζωτο, μειώνοντας έτσι τις εκπομπές αερίων του θερμοκηπίου, να αποθηκεύουν και να ρυθμίζουν τη διαθεσιμότητα του νερού του εδάφους στα φυτά και τους οργανισμούς του εδάφους και πρέπει να ελέγχουν ή να αποτρέπουν το ξέσπασα των ασθενειών των ζώων, φυτών και ανθρώπων (Sauro Simoni et al.,2021; Anne Winding et al.,2020).

Αυτές οι υπηρεσίες, από τη μία πλευρά, αναδύονται μέσω της αυτό-οργάνωσης της φύσης του εδαφικού συστήματος στο οποίο οι βιολογικές ιδιότητες του εδάφους, δηλαδή τα υλικά και οι οργανισμοί του εδάφους που προέρχονται από τη δραστηριότητά τους, αλληλοεπιδρούν έντονα με χημικές και φυσικές ιδιότητες σε διαφορετικές χωρικές κλίμακες. Οι υπέργειοι οργανισμοί, από την άλλη πλευρά, μπορούν να έχουν σημαντικές επιπτώσεις στη χωρική κατανομή και τις λειτουργικές ιδιότητες των οργανισμών του εδάφους μέσω της κάλυψης της βλάστησης (Cornelis AM van Gestel et al.,2020; Sauro Simoni et al.,2021).

Η γνώση σχετικά με τον τρόπο αλληλεπίδρασης των χημικών, φυσικών και βιολογικών συστατικών είναι απαραίτητη για την διαχείριση και την αποκατάσταση της ακεραιότητας των εδαφών και πώς η βιοποικιλότητα του

εδάφους ενισχύει την λειτουργικότητα του εδάφους (Cornelis AM van Gestel et al.,2020; Sauro Simoni et al.,2021; Anne Winding et al.,2020).

Ο Οργανισμός Τροφίμων και Γεωργίας των Ηνωμένων Εθνών (FAO) και η Διακυβερνητική τεχνική ομάδα των εδαφών (ITPS), η κατάσταση της παγκόσμιας έκθεσης πόρων του εδάφους, αναφέρει πως το 33 τοις εκατό της γης είναι μέτρια έως πολύ υποβαθμισμένη. Αυτό απαιτεί άμεση δράση για την αποκατάσταση των υποβαθμισμένων εδαφών μέσω της εφαρμογής βιώσιμης διαχείρισης του εδάφους, ιδιαίτερα σε περιοχές όπου υποβαθμισμένα αλλά και εύθραυστα εδάφη επιβάλλουν μεγάλους περιορισμούς στις υπηρεσίες που παρέχονται σε ολόκληρο το οικοσύστημα και στις λειτουργίες του εδάφους (Cornelis AM van Gestel et al.,2020; Sauro Simoni et al.,2021; Anne Winding et al.,2020).

Η διατήρηση ή η αύξηση της βιοποικιλότητας του εδάφους είναι μια αποτελεσματική λύση που μπορεί να βοηθήσει στην αποκατάσταση του εδάφους, υπό τον όρο πως έχουν λυθεί τα αίτια της υποβάθμισης του εδάφους. Οι στρατηγικές για την ενίσχυση της βιοποικιλότητας του εδάφους για τη διαχείριση της γης, την ανάπτυξη των καλλιεργειών, για τη γεωργία ή τις υπηρεσίες του οικοσυστήματος μπορεί να περιλαμβάνουν το όργωμα του εδάφους, την προσθήκη οργανικής ύλης, τα είδη των καλλιεργειών και των δένδρων, την άρδευση και τα συστήματα εναλλαγής των καλλιεργειών (Cornelis AM van Gestel et al.,2020; Sauro Simoni et al.,2021; Anne Winding et al.,2020).

Οι προσεγγίσεις διαχείρισης είναι συγκεκριμένες για το περιβάλλον και πρέπει να προσαρμοστούν στο τοπικό ιστορικό του κλίματος, του εδάφους και τις χρήσης γης και στο κοινωνικό και οικονομικό σύστημα. Τα μέτρα μπορεί να περιλαμβάνουν εξαιρετικά ειδικό εμβολιασμό του εδάφους με ευεργετικά μικρόβια όπως συμβιωτικούς μύκητες και βακτήρια που διορθώνουν το άζωτο. Ευτυχώς έχει χρησιμοποιηθεί, για να αυξηθεί η διαθεσιμότητα αζώτου (N) και φωσφόρου (P) στις καλλιέργειες, όπως για παράδειγμα η Αφρική, ενώ ταυτόχρονα μειώνει τις πιθανές βλαβερές συνέπειες της υπερβολικής εισροής λιπασμάτων για ρύπανση, των υπόγειων υδάτων και εκπομπών αερίων του θερμοκηπίου. Η διαφοροποίηση των γεωργικών συστημάτων μέσω αυξημένης κάλυψης δέντρων μπορεί επίσης να συμβάλει στην ενίσχυση της βιοποικιλότητας κάτω από το έδαφος και των υπηρεσιών του οικοσυστήματος (Cornelis AM van Gestel et al.,2020; Sauro Simoni et al.,2021; Anne Winding et al.,2020).

Για την προώθηση της βιοποικιλότητας του εδάφους, στον τομέα των πρακτικών διαχείρισης υπάρχουν σημαντικά τεχνολογικά εμπόδια και κενά γνώσεων. Τα

αποτελέσματα των μολυσμάτων που εφαρμόζονται στα εδάφη είναι μεταβλητή, ενώ ο μακροπρόθεσμος δυνητικός κίνδυνος εφαρμογής μηχανικών κοινοτικών μικροβίων στην βιοποικιλότητα του εδάφους και στις λειτουργίες των οικοσυστημάτων εξακολουθεί να αποτελεί θέμα συζήτησης (Cornelis AM van Gestel et al.,2020; Sauro Simoni et al.,2021; Anne Winding et al.,2020).

### **5.3. Προτεινόμενες λύσεις σε συγκεκριμένα προβλήματα σχετικά με την βιοποικιλότητα του εδάφους**

Η σύγχρονη γεωργία μπορεί να είναι εξαιρετικά παραγωγική, δεν είναι βιώσιμη, κυρίως λόγω της εξάρτησης της από χημικές εισροές στα εδαφικά συστήματα και την ποσότητα ορυκτών καυσίμων που απαιτούνται για την καλλιέργεια του εδάφους και άλλες πρακτικές καλλιέργειας. Οι οργανισμοί του εδάφους παρουσιάζουν βασικό ρόλο στην υγεία του εδάφους και των υπηρεσιών του οικοσυστήματος, προκειμένου να ενισχυθεί η γεωργική βιωσιμότητα πρέπει να περιλαμβάνει στρατηγικές για την ενίσχυση και διατήρηση της βιοποικιλότητας των εδαφών και τη χρήση των υπηρεσιών που παρέχονται από το βιότοπος εδάφους με βιώσιμο τρόπο (Moritz Nabel et al., 2021; Stefan Geisen et al.,2019; Anne Winding et al.,2020). Χρησιμοποιούνται νέοι μοριακοί τρόποι για τον προσδιορισμό της συνέχειας της επόμενης γενιάς επιτρέπουν τη σχετικά εύκολη και εμπειριστατωμένη εκτίμηση του βιολογικού εδάφους, δείχνοντας επίπεδα βιοποικιλότητας και την επακόλουθη τοποθέτηση οργανισμών σε λειτουργικές ομάδες. Αυτό, σε συνδυασμό με βελτιωμένες προσεγγίσεις, επιτρέπουν τη βελτίωση της γνώσης του τι είναι οι οργανισμοί στο έδαφος και ποιες είναι οι πιθανές επιπτώσεις αυτών των οργανισμών στα σχετικά συστήματα καλλιέργειας (Moritz Nabel et al.,2021; Stefan Geisen et al.,2019; Anne Winding et al.,2020).

Οι επιπτώσεις μπορεί να περιλαμβάνουν θετικές επιδράσεις, όπως βελτιώσεις στη δομή του εδάφους, μεταφορά των θρεπτικών συστατικών, την προστασία από παθογόνους παράγοντες του εδάφους και τη δυναμική του νερού. Οι νέες αναλυτικές προσεγγίσεις που χρησιμοποιούν εξελιγμένη υπολογιστική ισχύ επιτρέπουν πολύπλοκη δικτυακή ανάλυση των εδαφικών κοινοτήτων και του τρόπου αλληλεπίδρασης αυτών των κοινοτήτων, με τις καλλιέργειες και το περιβάλλον του εδάφους. Μια άλλη εφαρμογή για αυτά τα εργαλεία είναι ο προσδιορισμός των συμβιωτικών οργανισμών (μύκητες και βακτήρια των ριζών που στερεώνουν το άζωτο) στο έδαφος (Moritz Nabel et al.,2021; Stefan Geisen et al.,2019; Anne Winding et al.,2020).

Αυτά τα εργαλεία παρακολούθησης επιτρέπουν άμεσες παρεμβάσεις. Ένα παράδειγμα είναι τα συστήματα εδάφους που αποδεικνύονται ότι είναι πλούσια σε ορισμένα παθογόνα ή νηματώδη που τροφοδοτούν ρίζες ειδικά για μια συγκεκριμένη ομάδα φυτών επιτρέπουν σε έναν αγρότη να χρησιμοποιήσει ποικιλίες καλλιεργειών πιο ανεκτικές ή να αποφύγει τη φύτευση ευαίσθητων καλλιεργειών σε αυτά τα παράσιτα. Όταν οι εγγενείς συμβιωτικοί μύκητες ή ακόμα και τα βακτήρια στο έδαφος δεν είναι κατάλληλα για την επιθυμητή καλλιέργεια, μπορεί να εμβολιαστούν συγκεκριμένα στελέχη ή είδη, αν και τέτοια εμβόλια δεν είναι συνήθως πολύ επίμονα μετά τον εμβολιασμό στο έδαφος (Moritz Nabel et al.,2021; Stefan Geisen et al.,2019; Anne Winding et al.,2020).

Οι παρεμβάσεις στον αγρό μπορεί να έχουν μεταγενέστερες επιπτώσεις στην καλλιέργεια, όπως για παράδειγμα στις διαδικασίες μετά τη συγκομιδή. Έχει διαπιστωθεί ότι η μικρό-χλωρίδα του εδάφους επηρεάζει θετικά, μέσω ευεργετικών μικροβιακών αλληλεπιδράσεων, ή αρνητικά μέσω των παθογόνων φυτών, που επηρεάζουν την ποιότητα και τη μακροζωία των καλλιεργειών (Moritz Nabel et al.,2021; Stefan Geisen et al.,2019; Anne Winding et al.,2020).

Τα μελλοντικά σενάρια των γεωργικών συστημάτων ενδέχεται να δουν τις νέες και τρέχουσες τεχνολογίες ξεχωριστά και σε συνδυασμό ως κοινές τεχνικές που χρησιμοποιούνται από τους αγρότες. Οι αγρότες θα πραγματοποιούσαν παρακολούθηση καλής κλίμακας των καλλιεργειών και των εδαφών τους και ο εξοπλισμός θα μπορούσε να εμβολιάσει αυτόματα τα εδάφη με ευεργετικούς οργανισμούς, να αντιμετωπίσει τα παράσιτα όπως να παρέχει ανατροφοδότηση σε πραγματικό χρόνο σε βάσεις δεδομένων που βασίζονται στην επιστήμη (Moritz Nabel et al.,2021; Stefan Geisen et al.,2019; Anne Winding et al.,2020).

#### **5.4. Μελλοντικοί κίνδυνοι**

Έχει αναγνωριστεί πως τα εδάφη είναι εξαιρετικά πλούσια σε είδη, αλλά ένα μεγάλο ποσοστό δεν έχει περιγραφεί ακόμα και η οικολογία τους σπάνια είναι καλά ορισμένη. Επομένως είναι δύσκολο να υποθέσουμε ποιες μπορεί να είναι οι συνέπειες. Υπάρχει μεγάλη ανάγκη για την περαιτέρω κατανόηση των οργανισμών κάτω από το έδαφος, για να καλυφθεί αυτό το κενό πριν χαθούν τα είδη. Αν και υπάρχουν λίγα στοιχεία, είναι πιθανό ότι οι συνεχείς πιέσεις από τις παγκόσμιες αλλαγές όπως η χρήση της γης συμπεριλαμβανομένης της αυξανόμενης διασποράς παθογόνων και παρασίτων και της αστικής ανάπτυξης, της κλιματικής αλλαγής, μπορεί να οδηγήσουν σε τοπικές εξαφανίσεις οργανισμών που

υπάρχουν στο έδαφος (Anne Winding et al.,2020).

Είναι αόριστο αν θα υπάρξουν εξαφανίσεις σε παγκόσμια κλίμακα, δεδομένου του μεγάλου αριθμού ατόμων και της ευρείας κατανομής των περισσότερων οργανισμών του εδάφους. Ωστόσο, είναι προφανές ότι η ρύπανση του εδάφους, η υποβάθμιση της γης, ακόμα και η γεωργία θα έχουν ως αποτέλεσμα την εξαφάνιση της τοπικής βιοποικιλότητας του εδάφους. Το πιο σημαντικό είναι ότι οι μεγαλύτεροι οργανισμοί είναι πιο πιθανό να κινδυνεύουν από τους μικρότερους. Συγκεκριμένα, ο κατακερματισμός μπορεί να οδηγήσει σε μειωμένη ροή γονιδίων μεταξύ των πληθυσμών, με αποτέλεσμα τον αυξημένο κίνδυνο απώλειας της βιοποικιλότητας (Anne Winding et al.,2020).

Οι μειώσεις της βιοποικιλότητας του εδάφους σε τοπικές κλίμακες θα έχουν άγνωστες επιπτώσεις στην επίγεια βιοποικιλότητα, τη λειτουργία ολόκληρου του οικοσυστήματος και κατά συνέπεια την ανθρώπινη ευημερία. Ένα παράδειγμα είναι οι μεταβολές των μικροβιακών συνόλων θα μπορούσαν να οδηγήσουν σε πιθανή απώλεια ωφέλιμων μικροβίων που βοηθούν την ανάπτυξη των φυτών και την αντοχή του σε παθογόνους παράγοντες και συμπίεση του εδάφους, με αποτέλεσμα τις αρνητικές επιπτώσεις τόσο στα φυσικά όσο και στα διαχειριζόμενα τοπία (Anne Winding et al.,2020).

Επίσης, υπάρχει η πιθανότητα ότι η απώλεια της βιοποικιλότητας και οι νέες περιβαλλοντικές συνθήκες θα μπορούσαν να αυξήσουν τον κίνδυνο εκδήλωσης ασθενειών και να μειώσουν την ικανότητα των τοπικών κοινοτήτων να αντιστέκονται σε διεισδυτικά είδη, τόσο στο επάνω μέρος του εδάφους όσο και στο κάτω. Η χρήση χημικών μπορεί να συμβάλει στην ανάπτυξη της αντοχής στα φυτοφάρμακα, καθιστώντας τον έλεγχο των παθογόνων τόσο και πιο δύσκολος ενώσεις (Anne Winding et al.,2020).

Επιπλέον, η απώλεια της ποικιλομορφίας μπορεί να παρεμποδίσει την ανάπτυξη νέων τεχνολογιών, φαρμακευτικών και αγροτικών προϊόντων μέσω της απώλειας λειτουργικών δυνατοτήτων ιδιαίτερα μικροβίων όπως για παράδειγμα, ενζύμων και αντί-μικροβιακές ενώσεις (Anne Winding et al.,2020).

Διάφορα είδη μικροοργανισμών έχουν τη δυνατότητα να προκαλέσουν επιδημικές-πανδημικές ασθένειες, μεταξύ αυτών οι κορονοϊοί που αποτελούν σημαντικό ενδιαφέρον, όχι μόνο λόγω της τρέχουσας πανδημίας COVID-19 ή ακόμα για προηγούμενες επιδημίες ασθενειών, αλλά και της δυνατότητας δημιουργίας νέων εστιών στο μέλλον, με ενδεχόμενο εμπλέκονται νέοι κορονοϊοί. Όπως άλλοι μικροοργανισμοί και ιοί, πολλοί διαφορετικοί κορονοϊοί αλλάζουν

συνεχώς μέσω μεταλλάξεων και ορισμένοι από αυτούς έχουν τη δυνατότητα να προκαλέσουν ασθένειες μετάδοσης (Manuel Conde-Cid et al.,2021).

Για τον SARS-CoV-2 (Ο κορονοϊός που προκαλεί το σοβαρό οξύ αναπνευστικό σύνδρομο τύπου 2, γνωστός με το διεθνές όνομα SARS-CoV-2. “Βικιπαίδεια”, 2021) και άλλους διαφορετικούς παθογόνους μικροοργανισμούς, η κοπράνη - στοματική οδός μετάδοσης είναι μια πιθανότητα που πρέπει να ληφθεί υπόψη. Επιπλέον, για μικροοργανισμούς που πάσχουν από συχνές μεταλλάξεις, πρέπει να λαμβάνονται υπόψη νέα χαρακτηριστικά στη πιθανότητα και στη μετάδοση να είναι μολυσματικά και να προκαλούν ασθένειες μέσω νέων οδών (Manuel Conde-Cid et al.,2021).

Λαμβάνοντας υπόψη αυτό, η ανίχνευση του SARS-CoV-2 ή ακόμα και άλλων παθογόνων μικροοργανισμών, δεν θα μπορούσε να είναι απλώς ένα επιδημιολογικά χρήσιμο εργαλείο για την επιδημιολογία με βάση τα λύματα, αναφέροντας την περίπτωση της νόσου, αλλά θα μπορούσε να ενημερώσει για μελλοντικούς κινδύνους άμεσης μετάδοσης, για τις επιπτώσεις όπου ενδεχόμενες νέες μεταλλάξεις θα μπορούσαν να κάνουν τον SARS-CoV-2 ή άλλους μικροοργανισμούς, σαφώς μολυσματικό μέσω της κοπράνου-στοματικής οδού (Manuel Conde-Cid et al.,2021).

Εάν αυτό μπορεί να είναι σχετικό με τα λύματα, θα μπορούσε ακόμα να είναι για τη λάσπη λυμάτων και στη συνέχεια για εδάφη που λαμβάνουν εξάπλωση και των δύο υλικών, καθώς και για φυτά που αναπτύσσονται σε αυτά τα εδάφη, ακόμα και για επιφανειακά και υπόγεια ύδατα στην περιοχή, τα οποία θα μπορούσαν να μολυνθούν μέσω απορροής. Σαφώς, οι κίνδυνοι βιοτικής ρύπανσης θα ήταν υψηλότεροι σε περιοχές όπου οι επεξεργασίες λυμάτων και λάσπης λυμάτων, συμπεριλαμβανομένης της απολύμανσης, δεν πραγματοποιούνται ή απλώς είναι σπάνιες (Manuel Conde-Cid et al.,2021).

Μέχρι στιγμής, δεν έχει δημοσιευθεί κανένα έγγραφο με κριτές που να επικεντρώνεται στον SARS-CoV-2 στη λάσπη λυμάτων, ακόμη και αν κάποια σχόλια έχουν παρουσιαστεί σε λίγες δημοσιεύσεις με αξιολόγηση από ομότιμους. Επίσης δεν έχει δημοσιευθεί κανένα άρθρο σχετικά με την ανίχνευση, τον προσδιορισμό ή τον ποσοτικό προσδιορισμό του SARS-CoV-2 σε εδάφη. Μόλις τρία έγγραφα που συνδυάζουν εδάφη και SARS-CoV-2, σε αυτό το κομμάτι συζήτησης προτείνεται μια μεθοδολογική προσέγγιση προκειμένου να καθοριστούν ορισμένα βήματα που πρέπει να ακολουθηθεί μελέτη αυτού του ιού

(και ακόμη άλλων παθογόνων μικροοργανισμών) σε εδάφη και δείγματα που σχετίζονται με το έδαφος (Manuel Conde-Cid et al.,2021).

## **ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑ |**

Οι ρυθμοί της αλλαγής απειλούν τα εδάφη με συνέπειες για τις κοινότητες μικροβίων και ζωικών ειδών που ζουν σε αυτό. Τα εδάφη και οι οργανισμοί που τα κατοικούν είναι ένας πόρος που δεν είναι άπειρος και πρέπει να διατηρείται. Η βιοποικιλότητα του εδάφους μειώνεται και μπορεί να επηρεάσει αρνητικά τον έλεγχο των μικροοργανισμών, την ποιότητα του νερού, την αποσύνθεση των θρεπτικών συστατικών, την υγεία των ζώων, των φυτών και του ανθρώπου. Όλα αυτά έχουν για τον άνθρωπο ισχυρές κοινωνικές, οικονομικές, υγειονομικές και περιβαλλοντικές επιπτώσεις. Η σημασία της βιοποικιλότητας του εδάφους είναι σημαντική για την ζωή και την οικονομία μας. Η βιοποικιλότητα του εδάφους είναι κρίσιμη για τη λειτουργία του εδάφους και τη φυτική παραγωγή, αλλά σε μεγάλο βαθμό έχει αγνοηθεί από τις πολιτικές που αφορούν την κλιματική αλλαγή, τη διαχείριση της γης και την απώλεια της βιοποικιλότητας. Παρόλο που η απώλεια της βιοποικιλότητας βρίσκεται πρώτη στην κλίμακα των παγκόσμιων ανησυχιών, η βιοποικιλότητα που βρίσκεται κάτω από το έδαφος δεν αποκτά τη σημασία που της αξίζει. Είναι ιδιαίτερα σημαντικό οι συνεχιζόμενες προετοιμασίες για το πλαίσιο βιοποικιλότητας μετά το 2020 να αναγνωρίζουν σαφώς το ρόλο της βιοποικιλότητας του εδάφους στην παγκόσμια βιοποικιλότητα, έτσι ώστε αυτό να μεταφραστεί σε συγκεκριμένες δράσεις. Σε πολλές περιοχές του κόσμου, τα κενά για τη βιοποικιλότητα του εδάφους πρέπει να αναγνωριστούν. Μια συνολική αξιολόγηση είναι μια πιθανή μέθοδος για την επίτευξη μιας πιο ολοκληρωμένης κατανόησης της κατανομής των οργανισμών του εδάφους.

Υπάρχει μια μεγάλη έλλειψη λεπτομερών στοιχείων για τη βιοποικιλότητα του εδάφους, ιδίως σε επίπεδο ειδών όλων των κύριων ομάδων βιολογικών εδαφών, σε τοπικό, εθνικό, και παγκόσμιο επίπεδο. Ένα παράδειγμα είναι τα λίγα διαθέσιμα πληροφοριακά συστήματα εδάφους και έρευνες εδάφους που περιλαμβάνουν τη βιοποικιλότητα και τις μεταξύ αυτών ιδιότητες του εδάφους που πρέπει να ληφθούν υπόψη. Οι πληροφορίες αυτές στο μέλλον μπορούν να ενισχυθούν με την συνεχή συγκέντρωση και συνδυασμό δεδομένων για τη βιοποικιλότητα του εδάφους, οι οποίες απαιτούνται για την αξιολόγηση των

αλλαγών με την πάροδο του χρόνου και την καλύτερη κατανόηση των επιπτώσεων της παγκόσμιας αλλαγής.

## ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ |

ΥΠΟΥΡΓΕΙΟ ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝΤΟΣ, ΕΝΕΡΓΕΙΑΣ & ΚΛΙΜΑΤΙΚΗΣ ΑΛΛΑΓΗΣ, Εθνική στρατηγική & σχέδιο δράσης για τη βιοποικιλότητα, 2014  
<http://globalsustain.org/files/%CE%A3%CE%A4%CE%A1%CE%91%CE%A4%CE%97%CE%93%CE%99%CE%9A%CE%97%20%CE%92%CE%99%CE%9F%CE%A0%CE%9F%CE%99%CE%9A%CE%99%CE%9B%CE%9F%CE%A4%CE%97%CE%A4%CE%91%CE%A3.pdf>

Συνέντευξη — Έδαφος: ο ζωντανός θησαυρός κάτω από τα πόδια μας, 2019  
<https://www.eea.europa.eu/el/simata-eop-2010/simata-2019/arthra/synenteyksi-2014-edafos-o-zontanos>

Κολλέμβολα, Από τη Βικιπαίδεια, 2021  
<https://el.wikipedia.org/wiki/%CE%9A%CE%BF%CE%BB%CE%BB%CE%AD%CE%BC%CE%B2%CE%BF%CE%BB%CE%B1>

Βιοθεραπεία εδάφους, Από τη Βικιπαίδεια, 2021  
[https://el.wikipedia.org/wiki/%CE%92%CE%B9%CE%BF%CE%B8%CE%B5%CF%81%CE%B1%CF%80%CE%B5%CE%AF%CE%B1\\_%CE%B5%CE%B4%CE%AC%CF%86%CE%BF%CF%85%CF%82](https://el.wikipedia.org/wiki/%CE%92%CE%B9%CE%BF%CE%B8%CE%B5%CF%81%CE%B1%CF%80%CE%B5%CE%AF%CE%B1_%CE%B5%CE%B4%CE%AC%CF%86%CE%BF%CF%85%CF%82)

Πράσινη Επανάσταση, Από τη Βικιπαίδεια, 2021  
[https://el.wikipedia.org/wiki/%CE%A0%CF%81%CE%AC%CF%83%CE%B9%CE%BD%CE%B7\\_%CE%95%CF%80%CE%B1%CE%BD%CE%AC%CF%83%CF%84%CE%B1%CF%83%CE%B7](https://el.wikipedia.org/wiki/%CE%A0%CF%81%CE%AC%CF%83%CE%B9%CE%BD%CE%B7_%CE%95%CF%80%CE%B1%CE%BD%CE%AC%CF%83%CF%84%CE%B1%CF%83%CE%B7)

SARS-CoV-2, Από τη Βικιπαίδεια, 2021, <https://el.wikipedia.org/wiki/SARS-CoV-2>

Σαβάννα, Από τη Βικιπαίδεια, 2021  
<https://el.wikipedia.org/wiki/%CE%A3%CE%B1%CE%B2%CE%AC%CE%BD%CE%B1>  
<https://esdac.jrc.ec.europa.eu/themes/soil-biodiversity>

Distinct bacterial community structure and composition along different cowpea producing ecoregions in Northeastern Brazil, (de Sousa Lopes L., Mendes L.W., Antunes J.E.L., de Souza Oliveira L.M., Melo V.M.M., de Araujo Pereira A.P., da



Costa A.F., de Paula Oliveira J., Martínez C.R., Figueiredo M.V.B., Araujo A.S.F.), 2021, Available from: <https://www.scopus.com/record/display.uri?eid=2-s2.0-85099206861&origin=resultslist&sort=plf-f&src=s&nlo=&nlr=&nls=&sid=de29b1e2b99523fd7ee8509a8a8c9eeb&sot=b&sdt=b&sl=21&s=ALL%28Bacteria+in+soil%29&relpos=23&citeCnt=0&searchTerm=#>

Lifestyle Impact on Biodiversity and Nature. Exploring how lifestyles around the world impact nature and biodiversity. Sustainable Lifestyles and Education, 2021. Available from: <https://library.unccd.int/Details/books/1709>

Armillaria ostoyae From Wikipedia , 2021 Available from: [https://en.wikipedia.org/wiki/Armillaria\\_ostoyae](https://en.wikipedia.org/wiki/Armillaria_ostoyae)

Taxon From Wikipedia, 2021 Available from: <https://en.wikipedia.org/wiki/Taxon>

Hypha From Wikipedia, 2021 Available from: <https://en.wikipedia.org/wiki/Hypha>

Lysis, From Wikipedia 2021 Available from: <https://en.wikipedia.org/wiki/Lysis>

SARS-CoV-2 and other viruses in soil: An environmental outlook (Anand U., Bianco F., Suresh S., Tripathi V., Nunez-Delgado A., Race M.), 2021 Available from: <https://www.scopus.com/record/display.uri?eid=2-s2.0-85105519172&origin=resultslist&sort=plf-f&src=s&sid=b8099326a9d479142cb7a9c2b14a4c94&sot=b&sdt=b&sl=77&s=TITLE-ABS-KEY%28SARS-CoV-2+and+other+viruses+in+soil%3a+An+environmental+outlook%29&relpos=0&citeCnt=0&searchTerm=>

Virus From Wikipedia, 2021 Available from: [https://en.wikipedia.org/wiki/Virus#cite\\_ref-Dimmock\\_4-1](https://en.wikipedia.org/wiki/Virus#cite_ref-Dimmock_4-1)

Habitats Directive, From Wikipedia, 2021, Available from: [https://en.wikipedia.org/wiki/Habitats\\_Directive](https://en.wikipedia.org/wiki/Habitats_Directive)

Plant invasion alters community structure and decreases diversity of arbuscular mycorrhizal fungal communities (Řezáčová V., Řezáč M., Gryndler M., Hršelová H., Gryndlerová H., Michalová T.), 2021, Available from: <https://www.scopus.com/record/display.uri?eid=2-s2.0-85104358246&origin=resultslist&sort=plf->

f&src=s&sid=23a5330438dcfbf0ec24ac01f703e021&sot=b&sdt=b&sl=42&s=TITLE-ABS-KEY%28Fungi+and+soil+biodiversity%29&relpos=7&citeCnt=1&searchTerm=

Algae as New Kids in the Beneficial Plant Microbiome (Lee S.-M., Ryu C.-M.) 2021 Available from: <https://www.scopus.com/record/display.uri?eid=2-s2.0-85101066488&origin=resultslist&sort=plf->

f&src=s&sid=171ca21d73217dbc5bfe3e4e9bbce489&sot=b&sdt=b&sl=67&s=TITLE-ABS-

KEY%28Algae+as+New+Kids+in+the+Beneficial+Plant+Microbiome%29&relpos=0&citeCnt=0&searchTerm=

Soil mesofauna, From Wikipedia, 2021 Available from: [https://en.wikipedia.org/wiki/Soil\\_mesofauna](https://en.wikipedia.org/wiki/Soil_mesofauna)

Soil acidification, From Wikipedia, 2021 Available from: [https://en.wikipedia.org/wiki/Soil\\_acidification](https://en.wikipedia.org/wiki/Soil_acidification)

Decomposer, From Wikipedia, 2021 Available from: <https://en.wikipedia.org/wiki/Decomposer>

Contribution of Good Agricultural Practices to Soil Biodiversity (Beata Houšková, Rastislav Bušo, Jarmila Makovníková) 2021, Available from: <https://www.scirp.org/journal/paperinformation.aspx?paperid=106586>

ONE-YEAR SPRING TILLAGE STUDY IN CORN & SOYBEANS (Jason Lee) 2021 Available from: <https://blog.agcocorp.com/2021/02/one-year-spring-tillage-study-in-corn-soybeans/>

Rhizosphere, From Wikipedia, 2021 Available from: <https://en.wikipedia.org/wiki/Rhizosphere>

Farmland acreage falls in Pa. while population rises in prime agricultural areas, (Chuck Gill) , 2021 Available from: <https://news.psu.edu/story/650383/2021/03/09/research/farmland-acreage-falls-pa-while-population-rises-prime-agricultural>

Crop rotation history constrains soil biodiversity and multifunctionality relationships (Minghui Li, Junjie Guo, Tao Ren, Gongwen Luo, Qirong Shen, Jianwei Lu, Shiwei Guo, Ning Ling) , 2021 Available from: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0167880921002541>

The impact of fire on soil-dwelling biota: A review (Certini G., Moya D., Lucas-Borja M.E., Mastrolonardo G.), 2021 Available from: <https://www.scopus.com/record/display.uri?eid=2-s2.0-85101387210&origin=resultslist&sort=plf->

[f&src=s&sid=23c4250d0d01a38cae9407ca51129cb6&sot=b&sdt=b&sl=41&s=TITLE-ABS-KEY%28Fire+and+soil+biodiversity%29&relpos=5&citeCnt=2&searchTerm=](https://www.scopus.com/record/display.uri?eid=2-s2.0-85101387210&origin=resultslist&sort=plf-f&src=s&sid=23c4250d0d01a38cae9407ca51129cb6&sot=b&sdt=b&sl=41&s=TITLE-ABS-KEY%28Fire+and+soil+biodiversity%29&relpos=5&citeCnt=2&searchTerm=)

Climate crisis: Uttarakhand may see forest fires round the year (Varsha Singh), 2021 Available from: <https://www.downtoearth.org.in/news/climate-change/climate-crisis-uttarakhand-may-see-forest-fires-round-the-year-74926>

Soil Erosion – Definition Causes, Effects 2021, By Eagrovision, 2021 Available from: <https://www.eagrovision.com/soil-erosion/>

Mutualism (biology), From Wikipedia, 2021 Available from: [https://en.wikipedia.org/wiki/Mutualism\\_\(biology\)](https://en.wikipedia.org/wiki/Mutualism_(biology))

Arable lands under the pressure of multiple land degradation processes. A global perspective (Remus Prăvălie, Cristian Patriche, Pasquale Borrelli, Panos Panagos, Bogdan Roșca, Monica Dumitrașcu, Ion-Andrei Nita, Ionuț Săvulescu, Marius-Victor Birsan, Georgeta Bandoc), 2021 Available from: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0013935120315966>

The Global Forest Goals Report, United Nations, 2021 Available from: <https://www.un.org/esa/forests/wp-content/uploads/2021/04/Global-Forest-Goals-Report-2021.pdf>

Sustainable soil management to unleash soil biodiversity potential and increase environmental, economic and social wellbeing, Agriculture and food development authority, 2021, Available from: <https://www.teagasc.ie/news--events/news/2021/h2020projectsoilguard.php>

Faster recovery of soil biodiversity in native species mixture than in Eucalyptus monoculture after 60 years afforestation in tropical degraded coastal terraces, (Wenjia Wu, Luhui Kuang, Yue Li, Lingfeng He, Zhijian Mou, Faming Wang, Jing Zhang, Jun Wang, Zhi'an Li, Hans Lambers, Jordi Sardans, Josep Peñuelas, Stefan Geisen, Zhanfeng Liu), 2021 Available from: [https://onlinelibrary.wiley.com/doi/full/10.1111/gcb.15774?saml\\_referrer](https://onlinelibrary.wiley.com/doi/full/10.1111/gcb.15774?saml_referrer)

Evidence for the importance of land use, site characteristics and vegetation composition for rooting in European Alps (Tasser E., Gamper S., Walde J., Obojes N., Tappeiner U.), 2021, Available from: <https://www.scopus.com/record/display.uri?eid=2-s2.0-85107016317&origin=resultslist&sort=plf-f&src=s&sid=9dc2c007e0dd09789f3335a4b1c2afec&sot=b&sdt=b&sl=74&s=TITLE-ABS-KEY%28The+importance+and+value+for+the+study+of+soil+biodiversity%29&relpos=0&citeCnt=0&searchTerm=>

Quantifying carbon stocks and sequestration potential in agroforestry systems under divergent management scenarios relevant to India's Nationally Determined Contribution (Nath A.J., Sileshi G.W., Laskar S.Y., Pathak K., Reang D., Nath A., Das A.K.), 2021 Available from: [https://www.scopus.com/record/display.uri?eid=2-s2.0-85095779978&origin=resultslist&sort=plf-f&src=s&sid=036e63be67bf6da63360142dda72f750&sot=b&sdt=b&sl=184&s=TITLE-ABS-KEY%28Quantifying+carbon+stocks+and+sequestration+potential+in+agroforestry+systems+under+divergent+management+scenarios+relevant+to+India%e2%80%99s+Nationally+Determined+Contribution%29&relpos=0&citeCnt=4&searchTerm=&featureToggles=FEATURE\\_NEW\\_METRICS\\_SECTION:1](https://www.scopus.com/record/display.uri?eid=2-s2.0-85095779978&origin=resultslist&sort=plf-f&src=s&sid=036e63be67bf6da63360142dda72f750&sot=b&sdt=b&sl=184&s=TITLE-ABS-KEY%28Quantifying+carbon+stocks+and+sequestration+potential+in+agroforestry+systems+under+divergent+management+scenarios+relevant+to+India%e2%80%99s+Nationally+Determined+Contribution%29&relpos=0&citeCnt=4&searchTerm=&featureToggles=FEATURE_NEW_METRICS_SECTION:1)

How to study SARS-CoV-2 in soils?, 2021, Available from: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S001393512031361X>

The impact of fire on soil-dwelling biota: A review (Giacomo Certini, Daniel Moya, Manuel Esteban Lucas-Borja, Giovanni Mastrolonardo), 2021 Available from: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0378112721000785>

Ecosystem restoration in fire-managed savanna woodlands: Effects on biodiversity, local livelihoods and fire intensity (Maria Ulrika Johansson , Firew Bekele Abebe, Sileshi Nemomissa, Tamrat Bekele, Kristoffer Hylander), 2021 Available from: <https://link.springer.com/content/pdf/10.1007/s13280-020-01343-7.pdf>

Soil Erosion 101, The loss of topsoil to wind, rain, and other forces is a natural process, but when intensified by human activity, it can have negative environmental, societal, and economic impacts. (Keith Mulvihill), 2021 Available from: <https://www.nrdc.org/stories/soil-erosion-101>

Millennium Ecosystem Assessment, From Wikipedia, 2021, Available from: [https://en.wikipedia.org/wiki/Millennium\\_Ecosystem\\_Assessment](https://en.wikipedia.org/wiki/Millennium_Ecosystem_Assessment)

The utility of spatial data to delineate river riparian functions and management zones: A review (Stutter M., Baggaley N., O hUallachain D., Wang C.), 2021 Available from: [https://www.scopus.com/record/display.uri?eid=2-s2.0-](https://www.scopus.com/record/display.uri?eid=2-s2.0-85097586421&origin=resultslist&sort=plf-)

[85097586421&origin=resultslist&sort=plf-f&src=s&sid=bf57a04d856f7fc330e4e838ced8d724&sot=b&sdt=b&sl=62&s=TITLE-ABS-KEY%28Effects+of+erosion+control+on+soil+biodiversity%29&relpos=8&citeCnt=3&searchTerm=](https://www.scopus.com/record/display.uri?eid=2-s2.0-85097586421&origin=resultslist&sort=plf-f&src=s&sid=bf57a04d856f7fc330e4e838ced8d724&sot=b&sdt=b&sl=62&s=TITLE-ABS-KEY%28Effects+of+erosion+control+on+soil+biodiversity%29&relpos=8&citeCnt=3&searchTerm=)

Effect of Long-Term Soil Management Practices on Tree Growth, Yield and Soil Biodiversity in a High-Density Olive Agro-Ecosystem ( Sauro Simoni, Giovanni Caruso, Nadia Vignozzi, Riccardo Gucci, Giuseppe Valboa, Sergio Pellegrini , Giacomo Palai, Donatella Goggioli, Elena Gagnarli) 2021, Available from: <https://www.mdpi.com/2073-4395/11/6/1036/htm>

Biodiversity in agricultural used soils: Threats and options for its conservation in Germany and Europe, Soil Organisms, 2021 Available from: <http://soil-organisms.org/index.php/SO/article/view/152>

Soil microbial diversity–biomass relationships are driven by soil carbon content across global biomes (Felipe Bastida, David J. Eldridge, Carlos García, G. Kenny Png, Richard D. Bardgett & Manuel Delgado-Baquerizo), 2021, Available from: <https://www.nature.com/articles/s41396-021-00906-0>

Algae utilization and its role in the development of green cities (Kit Wayne Chew, Kuan Shiong Khoo, Hui Thung Foo, Shir Reen Chia, Rashmi Walvekar, Siew Shee Limc) 2021, Available from: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0045653520335190?via%3Dihub>

The role of landscape history in the distribution and conservation of threatened flora in the Southwest Australian Floristic Region (Gosper C.R., Coates D.J., Hopper S.D., Byrne M., Yates C.J.) 2021, Available from: <https://www.scopus.com/record/display.uri?eid=2-s2.0-85107838044&origin=resultslist&sort=plf->

f&src=s&sid=b5d5623ee29958c77d8f6b8797644c35&sot=b&sdt=b&sl=56&s=TITLE-ABS-KEY%28The+history+and+role+of+soil+biodiversity%29&relpos=4&citeCnt=3&searchTerm=

Soil and water conservation measures improve soil carbon sequestration and soil quality under cashews (Mahajan G.R., Das B., Manivannan S., Manjunath B.L., Verma R.R., Desai S., Kulkarni R.M., Latore A.M., Sale R., Murgaonkar D., Patel K.P., Morajkar S.), 2021 Available from: <https://www.scopus.com/record/display.uri?eid=2-s2.0-85089989920&origin=resultslist&sort=plf->

f&src=s&sid=bf57a04d856f7fc330e4e838ced8d724&sot=b&sdt=b&sl=62&s=TITLE-ABS-KEY%28Effects+of+erosion+control+on+soil+biodiversity%29&relpos=6&citeCnt=2&searchTerm=

Exploring the multiple land degradation pathways across the planet (Právělie R.), 2021, Available from: <https://www.scopus.com/record/display.uri?eid=2-s2.0-85106941095&origin=resultslist&sort=plf->

f&src=s&sid=811510f9a9173da198ff13bc7573ec81&sot=b&sdt=b&sl=46&s=TITLE-ABS-KEY%28Pollution+and+soil+biodiversity%29&relpos=11&citeCnt=1&searchTerm=

Regional target loads of atmospheric nitrogen and sulfur deposition for the protection of stream and watershed soil resources of the Adirondack Mountains (McDonnell T.C., Driscoll C.T., Sullivan T.J., Burns D.A., Baldigo B.P., Shao S., Lawrence G.B.), 2021, Available from: <https://www.scopus.com/record/display.uri?eid=2-s2.0-85104288204&origin=resultslist&sort=plf->

f&src=s&sid=0ab938a16e13d6d13d00c93b77960833&sot=b&sdt=b&sl=46&s=TITLE-ABS-KEY%28Acid+rain+and+soil+biodiversity%29&relpos=0&citeCnt=0&searchTerm=

Diversity and structure of phenanthrene degrading bacterial communities associated with fungal bioremediation in petroleum contaminated soil (Li Q., Li J., Jiang L., Sun Y., Luo C., Zhang G.), 2021 Available from: <https://www.scopus.com/record/display.uri?eid=2-s2.0->

[85091072611&origin=resultslist&sort=plf-f&src=s&sid=98ab729ee274a7b9d26cf2982f27ce43&sot=b&sdt=b&sl=155&s=TITLE-ABS-KEY%28Diversity+and+structure+of+phenanthrene+degrading+bacterial+communities+associated+with+fungal+bioremediation+in+petroleum+contaminated+soil%29&relpos=0&citeCnt=7&searchTerm=](https://www.unccd.int/1622_CB1928EN.pdf)

State of knowledge of soil biodiversity – Status, challenges and potentialities. (Anne Winding, Brajesh K. Singh, Elizabeth Bach, George Brown κ.α.), 2020 Available from: [https://catalogue.unccd.int/1622\\_CB1928EN.pdf](https://catalogue.unccd.int/1622_CB1928EN.pdf)

Terrace Farming- The basics to get started (Aditya), 2020 Available from: <https://rocketskills.in/terrace-farming-the-basics-to-get-started/>

File:Guiera senegalensis Piry 1.jpg, From Wikimedia Commons, 2020 Available from: [https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Guiera\\_senegalensis\\_Piry\\_1.jpg](https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Guiera_senegalensis_Piry_1.jpg)  
Summary for policy makers, 2020. Available from: <https://library.unccd.int/Details/books/1621>

Monoculture Farming In Agriculture Industry, 2020 Available from: <https://eos.com/blog/monoculture-farming/>

Soil Biodiversity: State-of-the-Art and Possible Implementation in Chemical Risk Assessment, Integrated Environmental Assessment and Management (Cornelis AM van Gestel, Liesje Mommer, Luca Montanarella, Silvia Pieper, Mike Coulson, Andreas Toschki, Michiel Rutgers, Andreas Focks, Jörg Römbke), 2020 Available from: <https://setac.onlinelibrary.wiley.com/doi/full/10.1002/ieam.4371>

Soil biodiversity enhances the persistence of legumes under climate change (Gaowen Yang, Julien Roy, Stavros D. Veresoglou, Matthias C. Rillig), 2020 Available from: <https://nph.onlinelibrary.wiley.com/doi/full/10.1111/nph.17065>

Challenges and Opportunities for Soil Biodiversity in the Anthropocene, 2019 (Geisen S., Wall D.H., van der Putten W.H.,) Available from: <https://www.scopus.com/record/display.uri?eid=2-s2.0-85072777828&origin=resultslist&sort=plf-f&src=s&sid=903e2f71af229d6e084f28ef8e53fed8&sot=b&sdt=b&sl=85&s=TITLE-ABS->

KEY%28Challenges+and+Opportunities+for+Soil+Biodiversity+in+the+Anthropocene%29&relpos=0&citeCnt=37&searchTerm=

Soil biodiversity, 2018 Available from: <https://www.environment.nsw.gov.au/topics/land-and-soil/soil-degradation/soil-biodiversity>

Conserving healthy soils, issues briefs IUCN, 2018 Available from: <https://www.iucn.org/resources/issues-briefs/conserving-healthy-soils#solutions>

How to apply fertilizers?, 2018 Available from: <https://abcofagri.com/how-to-apply-fertilizers/>

Soil biodiversity, Recare, 2018 Available from: <https://www.recare-hub.eu/soil-threats/soil-biodiversity>

Soil biodiversity and soil erosion: It is time to get married: Adding an earthworm factor to soil erosion modelling (Orgiazzi A., Panagos P.), 2018 Available from: [https://www.scopus.com/record/display.uri?eid=2-s2.0-85052391909&origin=resultslist&sort=plf-](https://www.scopus.com/record/display.uri?eid=2-s2.0-85052391909&origin=resultslist&sort=plf-f&src=s&sid=940e94b94e598d139f58833ec70aae08&sot=b&sdt=b&sl=76&s=TITLE-ABS-)

[f&src=s&sid=940e94b94e598d139f58833ec70aae08&sot=b&sdt=b&sl=76&s=TITLE-ABS-](https://www.scopus.com/record/display.uri?eid=2-s2.0-85052391909&origin=resultslist&sort=plf-f&src=s&sid=940e94b94e598d139f58833ec70aae08&sot=b&sdt=b&sl=76&s=TITLE-ABS-)

KEY%28Soil+biodiversity+and+soil+erosion%3a+It+is+time+to+get+married%29&relpos=0&citeCnt=16&searchTerm=

Alberto Orgiazzi, Richard D. Bardgett, Edmundo Barrios , Valerie Behan-Pelletier, María J. I. Briones, Jean-Luc Chotte, Gerlinde B. De Deyn, Paul Eggleton, Noah Fierer, Tandra Fraser, Katarina Hedlund, Simon Jeffery, Nancy C. Johnson, Arwyn Jones, et al. , 2016. Global Soil Biodiversity Atlas. Available from: <https://esdac.jrc.ec.europa.eu/content/global-soil-biodiversity-atlas>

Jannes Stolte, Mehreteab Tesfai, Lillian Øygarden, Sigrun Kværnø (NIBIO), Jacob Keizer, Frank Verheijen (University of Aveiro), Panos Panagos, Cristiano Ballabio (JRC), Rudi Hessel (Alterra WUR), 2016. Soil threats in Europe: Status, methods, drivers and effects on ecosystem services. Available from: <https://esdac.jrc.ec.europa.eu/content/soil-threats-europe-status-methods-drivers-and-effects-ecosystem-services>



Role of Soil Fungus, 2016 Available from: <https://ohioline.osu.edu/factsheet/anr-37>

A knowledge-based approach to estimating the magnitude and spatial patterns of potential threats to soil biodiversity (Alberto Orgiazzi, Panos Panagos, Yusuf Yigini, Martha B. Dunbar, Ciro Gardi, Luca Montanarella, Cristiano Ballabio) 2015. Available from: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S004896971531247X>

Viruses in Soil, 2014 Available from: [https://link.springer.com/chapter/10.1007/978-94-017-8890-8\\_8](https://link.springer.com/chapter/10.1007/978-94-017-8890-8_8)

Soil Algae, 2012 Available from: <https://www.algalweb.net/soil.htm>

Ciro Gardi and Simon Jeffery, 2009. Soil Biodiversity, EUR23759EN, 29pp, Office for Official Publications of the European Communities Available from: <https://esdac.jrc.ec.europa.eu/content/soil-biodiversity>

Indicators for Monitoring Soil Biodiversity, Michiel Rutgers, M. Dombos, Anne Winding, 2009 Available from: [https://scholar.google.gr/scholar?q=Indicators+for+Monitoring+Soil+Biodiversity+Michiel+Rutgers,+M.+Dombos,+Anne+Winding&hl=el&as\\_sdt=0&as\\_vis=1&oi=scholar](https://scholar.google.gr/scholar?q=Indicators+for+Monitoring+Soil+Biodiversity+Michiel+Rutgers,+M.+Dombos,+Anne+Winding&hl=el&as_sdt=0&as_vis=1&oi=scholar)

Soil Biodiversity Inventory in Europe (C. Gardi) , Sept 2008 , Available from: <https://esdac.jrc.ec.europa.eu/content/soil-biodiversity-inventory-europe-c-gardi>

Biogeochemical Cycle, From: Encyclopedia of Ecology (Second Edition), 2008 Available from: <https://www.sciencedirect.com/topics/earth-and-planetary-sciences/biogeochemical-cycle>

Soil biodiversity for agricultural sustainability, Lijbert Brussaard , Peter C. de Ruiter , George G. Brown, 2007. Available from: [http://www.fsp-parrur.irenal.edu.mg/Data-FSP-PARRUR/Les%20activit%C3%A9s/IST/S%C3%A9minaires-Ecoles/Ecole%20th%C3%A9matique/ECOLE%20THEMATIQUE%20SOL\\_LRI-IRD/Bibliographies-Expos%C3%A9s/Biodiversit%C3%A9%20des%20sols/BIBLIOGRAPHIE/Brussaard%20etal%202007.pdf](http://www.fsp-parrur.irenal.edu.mg/Data-FSP-PARRUR/Les%20activit%C3%A9s/IST/S%C3%A9minaires-Ecoles/Ecole%20th%C3%A9matique/ECOLE%20THEMATIQUE%20SOL_LRI-IRD/Bibliographies-Expos%C3%A9s/Biodiversit%C3%A9%20des%20sols/BIBLIOGRAPHIE/Brussaard%20etal%202007.pdf)

Encyclopedia of Soils in the Environment, 2005 Available from:  
<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/B0123485304001405>

Agricultural intensification, soil biodiversity and agroecosystem function, 1998  
Available from:  
<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0929139396001497>

USDA Logo Natural Resources Conservation Service Soils, Available from:  
[https://www.nrcs.usda.gov/wps/portal/nrcs/detailfull/soils/health/biology/?cid=nrcs142p2\\_053862](https://www.nrcs.usda.gov/wps/portal/nrcs/detailfull/soils/health/biology/?cid=nrcs142p2_053862)

Bacteriophage virus, Britannica, Available from:  
<https://www.britannica.com/science/bacteriophage>

Soil biodiversity and soil erosion (EUROPEAN SOIL DATA CENTRE, ESDAC) Available  
from: <https://esdac.jrc.ec.europa.eu/themes/soil-biodiversity-and-soil-erosion>

Piliostigma reticulatum, JIRCAS, by Reiichi Miura Available from:  
[https://www.jircas.affrc.go.jp/project/africa\\_dojo/FakaraPlants/Contents/Species\\_pages/Pilioiret.html](https://www.jircas.affrc.go.jp/project/africa_dojo/FakaraPlants/Contents/Species_pages/Pilioiret.html)