

ΕΔΑΦΟΣ, ΕΠΙΣΙΤΙΣΤΙΚΗ ΑΣΦΑΛΕΙΑ ΚΑΙ ΑΝΘΡΩΠΙΝΗ ΥΓΕΙΑ

Διονύσιος Γασπαράτος

Εργαστήριο Εδαφολογίας, Τμήμα Γεωπονίας, Αριστοτέλειο Πανεπιστήμιο
Θεσσαλονίκης Θεσσαλονίκη 54124, email: gasparatos@agro.auth.gr

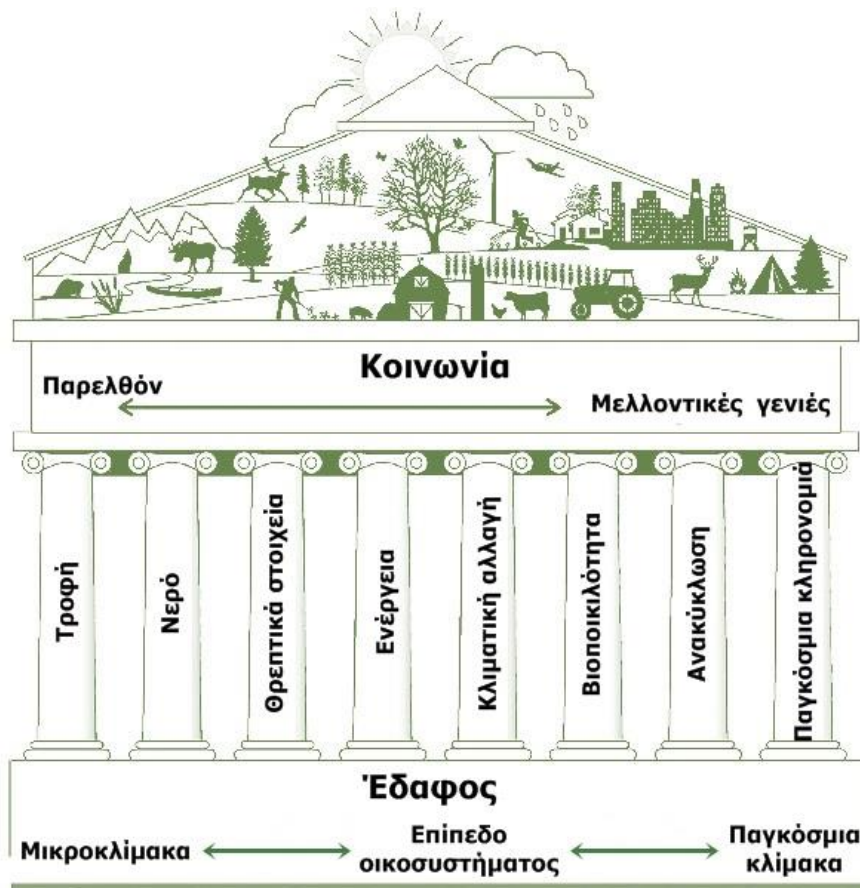
Εισαγωγή

Η επισιτιστική ασφάλεια, η έντονη υποβάθμιση του περιβάλλοντος και η κλιματική αλλαγή είναι από τις κυριότερες προκλήσεις που καλείται να αντιμετωπίσει άμεσα η ανθρωπότητα τις επόμενες δεκαετίες. Το έδαφος, το κλειδί για τη διατήρηση της ζωής στον πλανήτη, αποτελεί κρίσιμο συνδετικό κρίκο όλων αυτών των προκλήσεων με αποτέλεσμα να δέχεται ασφυκτικές πιέσεις οι οποίες διαταράσσουν τις λειτουργίες του και την ικανότητά του να προσφέρει οικολογικές, οικονομικές, και κοινωνικές υπηρεσίες. Το 2050 προβλέπεται ότι ο παγκόσμιος πληθυσμός θα αγγίξει τα 9 δις και οι παγκόσμιες ανάγκες σε τρόφιμα θα αυξηθούν > 50% (Janzen et al., 2011). Όσο αυξάνει ο πληθυσμός της γης τόσο επιτακτική είναι η ανάγκη ορθής χρήσης και προστασίας των εδαφικών πόρων. Το 97.5% της παραγωγής των τροφίμων προέρχεται άμεσα ή έμμεσα από το έδαφος και επομένως η κάλυψη των διατροφικών αναγκών του ανθρώπου σε παγκόσμιο επίπεδο εξαρτάται πρωταρχικά από την αειφορική διαχείριση των εδαφικών πόρων. Την ίδια στιγμή πέρα από τον εφοδιασμό με τα απαραίτητα θρεπτικά στοιχεία για τη διατήρηση της ανθρώπινης ζωής, το έδαφος επηρεάζει την ανθρώπινη υγεία μέσω της ικανότητας του να φιλτράρει το νερό, να αποτελεί σημαντική πηγή μέσω των μικροοργανισμών για την παραγωγή αντιβιοτικών, και να συγκρατεί ανόργανους και οργανικούς ρυπαντές (Steffan et al., 2018).

Οι κύριες λειτουργίες του εδάφους

Το έδαφος είναι ένας μη ανανεώσιμος πολύτιμος φυσικός πόρος που εξασφαλίζει στον άνθρωπο τροφή, βιομάζα και πρώτες ύλες (McBratney et al., 2014). Αποτελεί θεμελιώδες συστατικό για τη διατήρηση της ζωής, υπεισέρχεται στη διαμόρφωση του τοπίου, αποτελεί συνιστώσα του φυσικού πλούτου και διαδραματίζει κεντρικό ρόλο ως παρακαταθήκη ενδιαιτημάτων και γονιδίων. Το έδαφος αποθηκεύει, διηθεί και μετασχηματίζει πολλές ουσίες, μεταξύ των οποίων νερό, θρεπτικά συστατικά και άνθρακα. Καθορίζει τον κύκλο των θρεπτικών στοιχείων στα αγρο-οικοσυστήματα, την απόδοση των καλλιεργειών και την ανάγκη για άρδευση ή στράγγιση. Ταυτόχρονα δρα

σαν ένα ενεργό φίλτρο, το οποίο ελέγχει την κίνηση των διαλυτών ουσιών και επομένως καθορίζει την ποιότητα των επιφανειακών και υπογείων υδάτων. Ρυθμίζει την ανταλλαγή αερίων (συμπεριλαμβανομένων των υδρατμών) μεταξύ του εδάφους και της ατμόσφαιρας, τις εκπομπές των αερίων του θερμοκηπίου, τη θερμοκρασία, την ενεργειακή ισορροπία στην επιφάνεια της γης διαδραματίζοντας πρωταγωνιστικό ρόλο στην αντιμετώπιση της κλιματικής αλλαγής. Αποτελεί το οικολογικό ενδιαίτημα για πολυποίκιλους οργανισμούς με μοναδικούς γενετικούς συνδυασμούς που διαβιούν στο εσωτερικό ή την επιφάνειά του ρυθμίζοντας τη ροή του νερού, των αερίων και των θρεπτικών συστατικών για την επιβίωσή τους. Τέλος, το έδαφος χρησιμοποιείται ευρύτατα ως υλικό στη μηχανική, όπως για την κατασκευή δρόμων, κτιρίων, σαν αδρανές υλικό για τη διάθεση αποβλήτων και έχει καθοριστικό ρόλο στη διατήρηση και προστασία της παγκόσμιας πολιτιστικής κληρονομιάς. Όλες αυτές οι λειτουργίες πρέπει να προστατεύονται, λόγω της κοινωνικοοικονομικής και περιβαλλοντικής τους σημασίας (Εικόνα 1).



Εικόνα 1. Οι λειτουργίες του εδάφους που στηρίζουν την ανθρώπινη κοινωνία (τροποποιημένο από Janjen et al. 2011)

Έδαφος και επισιτιστική ασφάλεια

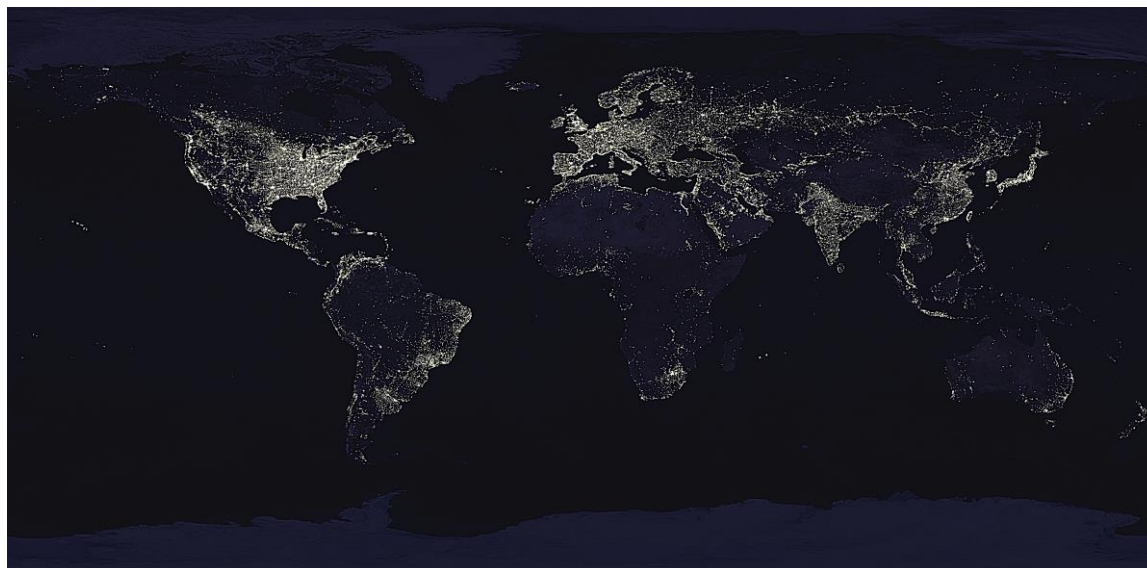
Οι εδαφικοί πόροι παρουσιάζουν σημαντική ποικιλομορφία με διαφορετική αντίδραση στις επιδράσεις που δέχονται από το περιβάλλον. Η γνώση των διάφορων κατηγοριών των εδαφών, η γεωγραφική τους κατανομή, οι ιδιότητές τους καθώς και οι αλληλεπιδράσεις με τα οικοσυστήματα είναι απαραίτητες προϋποθέσεις για την αειφορική διαχείριση της γης. Εδάφη Ultisols, Alfisols, Inceptisols και Entisols, τα οποία παρουσιάζουν σε ποικίλο βαθμό ευνοϊκές συνθήκες για την αγροτική παραγωγή, αν και υποστηρίζουν > 75% του παγκόσμιου πληθυσμού αντιπροσωπεύουν μόνο το 45% της παγκόσμιας έκτασης (Πίνακας 1). Σύμφωνα με τα πιο πρόσφατα δεδομένα, το 1/3 των εδαφών παγκοσμίως (20 δις στρέμματα) βρίσκεται σε κίνδυνο λόγω φαινομένων υποβάθμισης (Rojas et al., 2016). Η υποβάθμιση αυτή, η οποία στο μεγαλύτερο βαθμό οφείλεται σε ανθρώπινες δραστηριότητες, προκαλεί μείωση της παραγωγής των αγροτικών προϊόντων και θέτει σε κίνδυνο την επισιτιστική ασφάλεια με σοβαρές οικονομικές επιπτώσεις. Οι εκτάσεις που είναι διαθέσιμες για την παραγωγή τροφίμων είναι περιορισμένες και συνεχώς μειώνονται. Επιπρόσθετα, η έντονη αστικοποίηση και η σφράγιση των εδαφών που παρατηρείται τις τελευταίες δεκαετίες οδηγεί σε απώλεια πολύτιμων καλλιεργούμενων εκτάσεων και τη δραματική μείωση της καλλιεργήσιμης γης από 4,5 (1960) σε 2,5 (2010) με πρόβλεψη < 2,0 (μετά το 2020) στρέμματα ανά άτομο (Εικόνα 2). Κάθε χρόνο, 100 εκατ. στρέμματα αγροτικής γης εγκαταλείπονται λόγω υποβάθμισης. Όταν το έδαφος υποβαθμίζεται, μειώνονται συνολικά οι δυνατότητές του να εκτελέσει τις συνήθεις λειτουργίες του.

Πίνακας 1. Εδαφικές τάξεις, κλάσεις γαιοϊκανότητας και πληθυσμός σε παγκόσμια κλίμακα (Δεδομένα από Blum and Eswaran, 2004; Blum and Nortcliff, 2013).

	Κλάσεις Γαιοϊκανότητας	Ποσοστό Παγκόσμιας Έκτασης (%)	Ποσοστό Παγκόσμιου Πληθυσμού (%)
Mollisols (6,40%)*	I	2,38	5,9
Alfisols (8,96%)	II	4,98	13,8
Ultisols (7,84%)	III	4,55	4,6
	Άθροισμα	11,91	24,3
Entisols (15,01%)	IV	3,95	11,4
Inceptisols (9,13%)	V	16,51	28,8
Vertisols (2,25%)	VI	13,32	11,8
	Άθροισμα	33,78	52
Oxisols (6,97%)	VII	9,01	11,1

Spodosols (2,38%)	VIII	16,69	1,8
Βραχώδεις εκτάσεις (9,28%)	IX	28,61	10,9
Πάγοι (7,11%)			
	Άθροισμα	54,31	23,8

* ποσοστό της συνολικής χερσαίας έκτασης



Εικόνα 2. *Νυχτερινή άποψη της γης με τις φωτεινές περιοχές να αποτελούν ένδειξη της έντονης αστικοποίησης και της προκαλούμενης σφράγισης του εδάφους (NASA, 2012).*

Οι κύριες αιτίες υποβάθμισης – απειλές που αντιμετωπίζει το έδαφος είναι :

η σφράγιση (στεγανοποίηση), η διάβρωση, η μείωση της οργανικής ουσίας, η ρύπανση, η μείωση της εδαφικής βιοποικιλότητας, η συμπίκνωση (συμπίεση), η αλάτωση, οι κατολισθήσεις και πλημμύρες, η απώλεια θρεπτικών στοιχείων, και η ερημοποίηση (Rojas et al., 2016). Η οργανική ουσία πρωταγωνιστεί στη διαφύλαξη ζωτικών εδαφικών λειτουργιών και διαδραματίζει καθοριστικό ρόλο στην αντίσταση στη διάβρωση και την εδαφική γονιμότητα. Εξασφαλίζει τη δεσμευτική και ρυθμιστική ικανότητα του εδάφους, συμβάλλοντας στον περιορισμό της ρύπανσης που διαχέεται από το έδαφος στο νερό. Η μείωση της οργανικής ουσίας του εδάφους κάτω από το κρίσιμο όριο (3,4%) σε συνδυασμό με την απώλεια των θρεπτικών στοιχείων αποτελούν σημαντικές απειλές για την ασφάλεια τροφίμων σε πολλές περιοχές του πλανήτη.

Καθώς οι αποδόσεις των καλλιεργειών αυξάνονται, μεγαλύτερες ποσότητες θρεπτικών στοιχείων απομακρύνονται από το έδαφος. Για παράδειγμα, κάθε χρόνο στις Ηνωμένες Πολιτείες, η παραγωγή των κυριότερων καλλιεργειών απομακρύνει από το έδαφος 7,8

Tg N, 2,3 Tg P, and 6,7 Tg K, με μια ετήσια αύξηση απομάκρυνσης των θρεπτικών της τάξης περίπου του 1%. Οι Stewart et al. (2005) κατέληξαν στο συμπέρασμα ότι ποσοστό 40-60 % των παραγόμενων τροφίμων στην Αμερική και την Αγγλία στηρίζεται στη χρήση των λιπασμάτων ενώ οι Erisman et al. (2008) εκτίμησαν ότι το άζωτο που προήλθε από τα λιπάσματα κάλυψε τις διατροφικές ανάγκες σε ποσοστό 48% του παγκόσμιου πληθυσμού για το 2008. Τα δεδομένα αυτά δείχνουν ότι η επισιτιστική ασφάλεια εξαρτάται από τη συνεχή χρήση των λιπασμάτων η οποία μπορεί να στηρίξει την αειφορική εντατικοποίηση της γεωργίας με ορισμένους περιορισμούς όμως που οφείλονται στα περιορισμένα αποθέματα των πρώτων υλών, στην κατανάλωση ενέργειας για την παραγωγή τους, στο οικονομικό κόστος για τους παραγωγούς και στην προστασία του περιβάλλοντος. Ο στόχος πλέον της έρευνας μετατοπίζεται στην αύξηση της αποτελεσματικής χρήσης των λιπασμάτων, στην ανακύκλωση των θρεπτικών στοιχείων και την επιστροφή τους στη φυτική παραγωγή. Η προσπάθεια συγχρονισμού της παροχής των θρεπτικών στοιχείων σύμφωνα με τις ανάγκες της καλλιέργειας στα πλαίσια της ποικιλομορφίας των εδαφών και των έντονων καιρικών μεταβολών λόγω κλιματικής αλλαγής αποτελεί πρόκληση άμεσα συνδεδεμένη με την αντιμετώπιση της επισιτιστικής κρίσης.

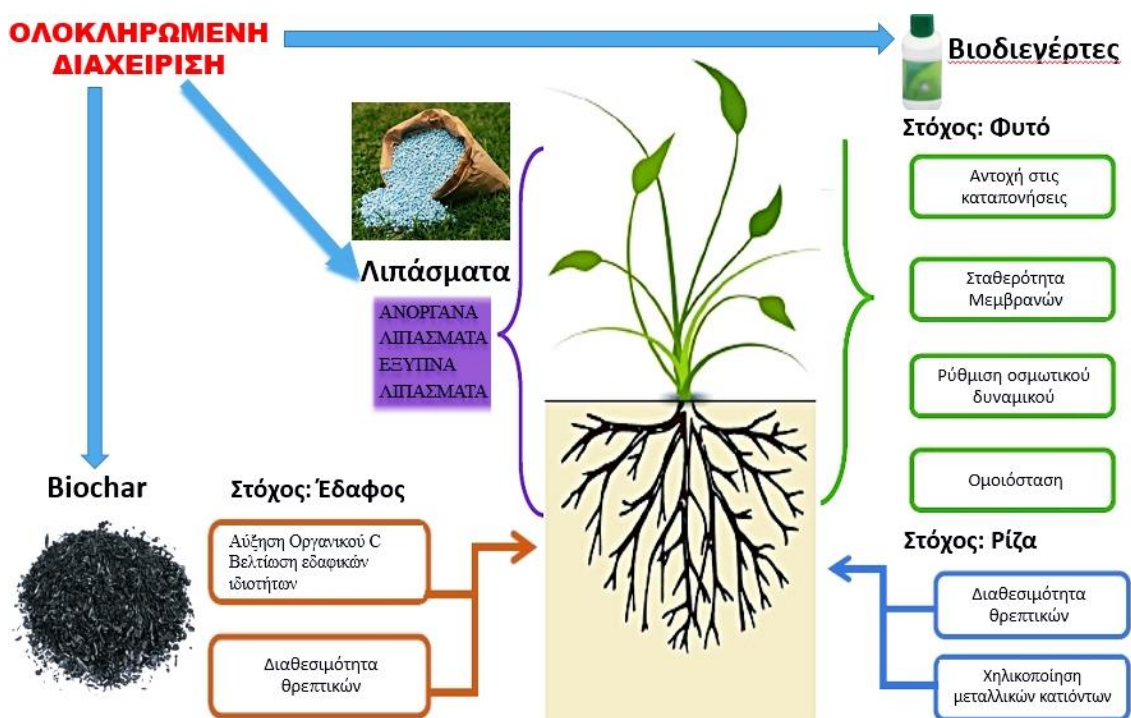
Έδαφος και ανθρώπινη υγεία

Το έδαφος επηρεάζει την ανθρώπινη υγεία άμεσα μέσω της εισπνοής, της κατάποσης και της απορρόφησης από το δέρμα και έμμεσα μέσω της ποσότητας και της ποιότητας τροφής που προέρχεται από τις καλλιέργειες (Oliver and Gregory, 2015). Τα περισσότερα απαραίτητα θρεπτικά στοιχεία για τον άνθρωπο προέρχονται από το έδαφος μέσω της κατανάλωσης φυτικών ή ζωικών προϊόντων. Σε πολλές περιπτώσεις έχει διαπιστωθεί ότι η γεωγραφική κατανομή διαφόρων ασθενειών συνδέεται άρρηκτα με τις εδαφικές ιδιότητες όπως για παράδειγμα η έλλειψη ιχνοστοιχείων η οποία επηρεάζει περίπου 2 δις ανθρώπους (Velu et al., 2014). Από την άλλη μεριά, η ρύπανση του εδάφους από βαρέα μέταλλα, ραδιονουκλίδια, οργανικές ενώσεις μπορεί να οδηγήσει στην εμφάνιση τοξικοτήτων και ακόμα και στο θάνατο (π.χ οξείες τοξικότητες αρσενικού, μολύβδου, ραδιοτοξικότητες κλπ.). Την ίδια στιγμή όμως, περίπου το 40% των συνταγογραφούμενων φαρμάκων κατά τη χρονική περίοδο 1989-1995, είχε προέλευση από το έδαφος με την πλειοψηφία των αντιβιοτικών να προέρχεται από τους ακτινομύκητες του εδάφους. Επίσης τη δεκαετία 1983 – 1994, το 60% των εγκεκριμένων αντικαρκινικών φαρμάκων προήλθαν από το έδαφος, δείχνοντας το σημαντικό ρόλο του

εδάφους στην προστασία του ανθρώπου από τις ασθένειες (Pepper et al., 2009). Η πρόληψη, η προφύλαξη και η αειφόρος διαχείριση του εδάφους θα πρέπει να αποτελέσουν αντικείμενο των πολιτικών εκείνων που θα έχουν ουσιαστικό αντίκτυπο στην προστασία την ανθρώπινης υγείας.

Ο ρόλος των λιπάνσεων

Η ολοκληρωμένη διαχείριση των θρεπτικών στοιχείων στο έδαφος, με αγρονομικές πρακτικές που εφαρμόζονται σε τοπικό επίπεδο όπως η χρήση “έξυπνων” λιπασμάτων, οργανικών εισροών και βελτιωμένου γενετικού υλικού αποτελεί στρατηγική με την οποία διατηρώντας την αειφορία των εδαφικών πόρων μπορεί να εξασφαλισθεί η επισιτιστική ασφάλεια και επομένως η ανθρώπινη υγεία (Εικόνα 3).



Εικόνα 3. Παράδειγμα ολοκληρωμένης διαχείρισης θρεπτικών στοιχείων σε καλλιέργεια κάτω από συνθήκες καταπόνησης με την συνεργιστική δράση ανόργανων λιπασμάτων και οργανικών εισροών (biochar – βιοδιεγέρτες).

Δεδομένα από μακροχρόνιους πειραματισμούς αποδεικνύουν ότι ο συνδυασμός ανόργανης και οργανικής λίπανσης έχει ως αποτέλεσμα αύξηση της παραγωγής κατά μέσο όρο 6% σε σχέση με την ανόργανη λίπανση, ποσοστό το οποίο εξαρτάται από το είδος της καλλιέργειας. Επιπλέον, στους πειραματικούς αγρούς που δεν δέχτηκαν καμία λίπανση παρατηρήθηκε σημαντική μείωση του οργανικού άνθρακα (0,36 - 2,06 %),

αποδεικνύοντας τη θετική συμβολή των λιπασμάτων στη διατήρηση της οργανικής ουσίας του εδάφους (Ladha et al., 2011; Körschens et al., 2013). Η ανάπτυξη πιο θρεπτικών καλλιεργειών μέσω του βιο-εμπλουτισμού αποτελεί μια επιλογή οικονομικής και αειφορικής διαχείρισης του προβλήματος της έλλειψης ιχνοστοιχείων (Fe, Se, Zn, I) που εμφανίζεται σε διαφορετικό βαθμό στους ανθρώπους που η διατροφή τους στηρίζεται στα σιτηρά (Mao et al., 2014; Velu et al., 2014). Για παράδειγμα έχει διαπιστωθεί ότι πάνω από 30% των εδαφών παγκοσμίως εμφανίζουν έλλειψη διαθέσιμου Fe και Zn, με αρνητικές συνέπειες στη φυτική παραγωγή και την ανθρώπινη υγεία (De Valenca et al., 2017; Zaman et al., 2018). Η χρήση λιπασμάτων εμπλουτισμένων με ιχνοστοιχεία αποδεικνύεται ότι έχει θετικές επιδράσεις στην αύξηση των αποδόσεων εξαιτίας της συνεργιστικής δράσης των μακροθρεπτικών στοιχείων N και P στην πρόσληψη των ιχνοστοιχείων. Η ισορροπημένη θρέψη με N και P προάγει την ανάπτυξη του ριζικού συστήματος και κατά συνέπεια την πρόσληψη και μεταφορά των θρεπτικών στοιχείων στους σπόρους. Σε καλλιέργεια σιταριού διαπιστώθηκε ότι η προσθήκη N αύξησε τη συγκέντρωση Fe και Zn στο ενδοσπέρμιο των κόκκων ενώ ο χρήση λιπασμάτων NP εμπλουτισμένων με Zn οδήγησε σε αύξηση των αποδόσεων (De Valenca et al., 2017).

Συμπερασματικά, μέσα στα επόμενα χρόνια οι πιέσεις που δέχονται οι πεπερασμένοι εδαφικοί πόροι θα αυξάνονται και οι απαιτήσεις για αυξημένες αποδόσεις των καλλιεργειών θα γίνονται συνεχώς μεγαλύτερες. Γίνεται επιτακτική η ανάγκη για αύξηση της αποτελεσματικότητας των λιπάνσεων κ περιορισμού των απωλειών με τη σωστή επιλογή του τύπου του λιπάσματος, του χρόνου και τρόπου εφαρμογής και της απαιτούμενης ποσότητας που θα καλύπτει τις ανάγκες του φυτού. Η εμφάνιση νέων λιπασμάτων (‘‘έξυπνα’’ λιπάσματα – βιολιπάσματα κλπ.) μπορεί να βοηθήσει προς αυτή την κατεύθυνση με σημαντικό περιβαλλοντικό όφελος. Ταυτόχρονα, η προστασία του εδάφους από την υποβάθμιση απαιτεί την εξασφάλιση ικανοποιητικών επιπέδων οργανικής ουσίας. Η στρατηγική της ολοκληρωμένης διαχείρισης των θρεπτικών στοιχείων στο έδαφος με τη συνδυασμένη χρήση των ανόργανων λιπασμάτων και των οργανικών εισροών, το κατάλληλο φυτικό υλικό και την προσαρμογή στις τοπικές συνθήκες είναι καθοριστικής σημασίας για την επισιτιστική ασφάλεια, την ανθρώπινη υγεία και την αειφορία των εδαφικών πόρων.

Βιβλιογραφία

- Blum WEH, Eswaran H (2004) Soils for sustaining global food production. *J Food Sci* 69:R37–R42.
- Blum WEH and Nortcliff S (2013) Soils and Food Security in Soils and human health, edited by: Brevik, EC and Burgess LC, Boca Raton, FL, USA, CRC Press, 290–321.
- De Valenca AW, Bake A, Brouwer ID, Giller KE (2017) Agronomic biofertilization of crops to fight hidden hunger in sub-Saharan Africa. *Gobal Food Sec* 12:8–14.
- Erisman JW, Sutton MA, Galloway J, Klimont Z, Winiwarter W (2008) How a century of ammonia synthesis changed the world. *Nature Geosci* 1(10):636–639.
- Janzen HH, Fixen P, Franzluebbers AJ, Hattey J, Izaurrealde RC, Ketterings QM, Lobb DA, Schlesinger WH (2011) Global prospects rooted in soil science. *Soil Sci Soc Am J* 75:1–8.
- Körschens M, Albert E, Armbruster M, Barkusky D, Baumecker M, Behle-Schalk L et al. (2013) Effect of mineral and organic fertilization on crop yield, nitrogen uptake, carbon and nitrogen balances, as well as soil organic carbon content and dynamics: results from 20 European long-term field experiments of the twenty-first century. *Arch Agron Soil Sci* 59:1017–1040.
- Ladha JK, Reddy CK, Padre AT, van Kessel C (2011) Role of nitrogen fertilization in sustaining organic matter in cultivated soils. *J Environ Qual* 40:1756–1766.
- Mao H, Wang J, Zan Y, Lyons G, Zou C (2014) Using agronomic biofortification to boost zinc, selenium, and iodine concentrations of food crops grown on the loess plateau in China. *J Soil Sci Plant Nutr* 14:459–470.
- McBratney A, Field DJ, Koch A (2014) The dimension of soil security. *Geoderma* 213:203–213.
- Oliver MA, Gregory PJ (2015) Soil, food security and human health: a review. *Euro J Soil Sci* 66:257–276.
- Pepper IL, Gerba CP, Newby DT, Rice CW (2009) Soil: a public health threat or savior? *Crit Rev Environ Sci Technol* 39:416–432.
- Rojas RV, Achouri M, Maroulis J et al (2016) Healthy soils: a prerequisite for sustainable food security. *Environ Earth Sci* 75:180.
- Steffan JJ, Brevik EC, Burgess LC, Cerda A (2018) The Effect of Soil on Human Health: an Overview. *Eur J Soil Sci* 69: 159–171.
- Stewart WM, Dibb DW, Johnston AE, Smyth TJ (2005) The contribution of commercial fertilizer nutrients to food production. *Agron J* 97:1–6

- Velu G, Ortiz-Monasterio I, Cakmak I, Hao Y, Singh RP (2014) Biofortification strategies to increase grain zinc and iron concentrations in wheat. *J Cereal Sci* 59:365–372.
- Zaman QU, Aslam Z, Yaseen M, Ihsan MZ, Khaliq A, Fahad S, Bashir S, Ramzani PMA, Naeem M (2018) Zinc biofortification in rice: leveraging agriculture to moderate hidden hunger in developing countries. *Arch Agron Soil Sci* 64: 147-161.