

Πρόγραμμα ΘΑΛΗΣ

“Φιλική προς το περιβάλλον παραγωγή βιομάζας”

ΚΩΔΙΚΟΣ: MIS 375726

ΠΑΡΑΔΟΤΕΟ 1.1: Ανάλυση Βιβλιογραφίας

Γέμτος Θεοφάνης, Καβαλάρης Χρήστος, Βατσανίδου Άννα, Γούλα Ιωάννα, Φουντάς Σπύρος	Πανεπιστήμιο Θεσσαλίας
Αλεξοπούλου Έφη	Κέντρο Ανανεωσίμων Πηγών Ενέργειας
Πατέρας Δημήτρης, Καλφούντζος Δημήτρης	ΤΕΙ Λάρισας

Βόλος
Νοέμβριος 2012

Περιεχόμενα

Εισαγωγή	4
Αειφορική χρήση γης	5
Ποιότητα εδάφους	6
Ενέργεια και παραγωγή βιομάζας	6
Ενεργειακές καλλιέργειες	7
Αμειψισπορές.....	8
Διάβρωση εδαφών	10
Προβλήματα που δημιουργεί η διάβρωση.....	12
Η κατάσταση στην Ευρώπη	16
Πρότυπα (Μοντέλα) διάβρωσης.....	17
Κατεργασία εδάφους	21
Συστήματα κατεργασίας του εδάφους	21
Επίδραση στις φυσικές ιδιότητες του εδάφους	23
Συμπίεση του εδάφους.....	27
Επίδραση στην ανάπτυξη της ρίζας.....	28
Επίδραση στη διάβρωση.....	30
Επίδραση στην οργανική ουσία του εδάφους.....	31
Επίδραση στη θερμοκρασία και υγρασία του εδάφους	32
Επίδραση στο ισοζύγιο CO ₂	33
Επίδραση στη θρέψη των φυτών - λίπανση.....	33
Επίδραση στα ζιζάνια	33
Επίδραση σε παράσιτα (έντομα, ασθένειες)	35
Επίδραση στην παραγωγή	37
Επίδραση στο ενεργειακό ισοζύγιο	41
Επίδραση στην οικονομικότητα	42
Κατεργασία εδάφους και επιπτώσεις στο περιβάλλον	Σφάλμα! Δεν έχει οριστεί σελιδοδείκτης.
Κατεργασία και γονιμότητα του εδάφους.....	44
Οργανική Ουσία εδάφους.....	48
Διεργασίες με τις οποίες η οργανική ουσία συνεισφέρει στη θρέψη των φυτών.....	49
Παράγοντες που επηρεάζουν την οργανική ουσία	50
Μέθοδοι για την αύξηση της οργανικής ύλης	51
Απώλεια οργανικής ουσίας.....	51

Βασικά βήματα στην υποβάθμιση της οργανικής ύλης;	52
ΟΦΕΛΗ ΚΑΙ ΠΡΟΣΕΓΓΙΣΗ ΔΙΑΧΕΙΡΙΣΗΣ ΟΡΓΑΝΙΚΗΣ ΟΥΣΙΑΣ	54
Οφέλη από Σταθερή οργανική ύλη του εδάφους.....	54
Ολοκληρωμένη προσέγγιση διαχείρισης οργανικής ουσίας.....	54
Οφέλη της οργανικής ουσίας του εδάφους.....	55
Βιολογία του εδάφους και θρεπτικών ουσιών	56
Κύκλος του άνθρακα	56
Άνθρακας του εδάφους-Ποσότητα, δομή και εδαφικές λειτουργίες.....	56
Διαχείρισης εδαφικής γονιμότητας	57
Αμειψισπορά	58
Κόμποστ	59
Κοπριά.....	60
Καύση.....	60
Χημικά λιπάσματα.....	61
Ανάλυση κύκλου ζωής.....	61
Εισαγωγή	61
Οριζμός Ανάλυσης Κύκλου Ζωής	62
Ιστορική Αναδρομή	64
Τα Στάδια της ΑΚΖ	64
Εφαρμογές ΑΚΖ στην Γεωργία.....	68
Χρήση της ΑΚΖ σε ενεργειακές καλλιέργειες και βιοκαύσιμα.....	71
Ενεργειακές Καλλιέργειες	71
Βιοκαύσιμα.....	74
ΑΚΖ και Κλιματική Αλλαγή.....	77
Φαινόμενο Θερμοκηπίου –Αέρια θερμοκηπίου	77
Ευρωπαϊκή και Διεθνή Πολιτική για την Κλιματική Αλλαγή	78
Μελέτες ΑΚΖ για τα αέρια θερμοκηπίου	79
Χρήση νέων τεχνολογιών στη μελέτη ενεργειακών φυτών.....	81
Περιγραφή γεωργίας ακριβείας.....	81
Εφαρμογή γεωργίας ακριβείας στην εκτίμηση βιομάζας.....	83
Συστήματα ελεγχόμενης κυκλοφορίας γεωργικών μηχανημάτων Controlled traffic agriculture	85
Συστήματα πλοήγησης του ελκυστήρα στο χωράφι.....	88
Βιβλιογραφία	92
Ελληνική Βιβλιογραφία	115

Εισαγωγή

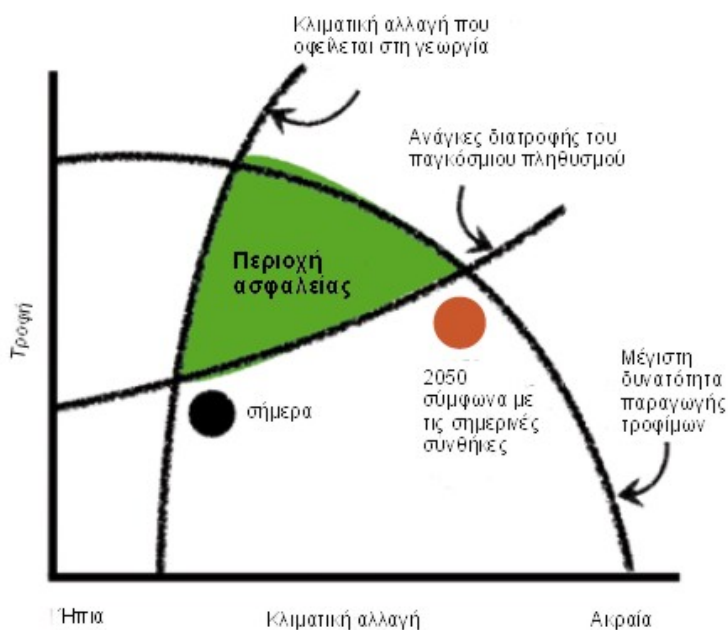
Η χώρα μας πρέπει να συμμορφωθεί με διεθνείς συμβάσεις που την υποχρεώνουν να περιορίσει μέχρι το 2010 τις εκπομπές CO₂ σε 25% πάνω από τις εκπομπές του 1990, ενώ το 5,7 % των καυσίμων των μεταφορών και 20% της ηλεκτροπαραγωγής να προέρχεται από ΑΠΕ. Για τα δύο τελευταία η εφαρμογή δεν ήταν απόλυτα υποχρεωτική. Η νέα οδηγία όμως κάνει τους στόχους υποχρεωτικούς για το 2020 και υποχρεώνει τις χώρες μέλη να καλύψουν ποσοστό της ενέργειας που καταναλώνουν από ΑΠΕ.(European Commission 2009). Ειδικότερα για την Ελλάδα προβλέπεται το ποσοστό να φτάσει στο 18% που με εσωτερικό Νόμο (Νόμος 3851 του 2010 έγινε 20% με διείσδυση των βιοκαυσίμων 10% και μείωση των εκπομπών διοξειδίου του άνθρακα κατά 20%.

Τόσο η χώρα μας όσο και η ΕΕ είμαστε εξαρτημένοι από εισαγωγές ορυκτών καυσίμων καθώς δεν διαθέτουμε αξιόλογα αποθέματα. Τα σήμερα γνωστά παγκόσμια αποθέματα ορυκτών καυσίμων επαρκούν για λίγα ακόμα έτη. Διάφορες πηγές δίνουν διαφορετικές εκτιμήσεις. Οι Shafiee and Toral (2009) δίνουν επάρκεια 35, 107 και 37 για πετρέλαιο, κάρβουνο και αέριο. Άλλες πηγές δίνουν μεγαλύτερη διάρκεια πχ πετρέλαιο, φυσικό αέριο για περίπου 50 ενώ του κάρβουνο για περισσότερα απο 200 έτη (BP 2012a, 2012b). Παράλληλα η κατανάλωση ορυκτών καυσίμων αυξάνει τις εκπομπές διοξειδίου του άνθρακα που προκαλούν κλιματική αλλαγή και θέτει σε κίνδυνο τη ζωή στον Πλανήτη (US Energy Administration 2011). Γι' αυτό είμαστε υποχρεωμένοι να στραφούμε σε πολιτικές εξοικονόμησης ενέργειας και χρήσης ΑΠΕ που έχουν μηδενικές εκπομπές CO₂. και μας επιτρέπουν να μη εξαρτούμαστε από τους παραγωγούς ορυκτών καυσίμων. Η γεωργία καταναλώνει το 10% της ενέργειας στην Ελλάδα (WWF Greece 2009), αλλά μεταξύ 6 και 7% από άλλες πηγές (Κυρίτσης 1989). Η Ελληνική γεωργία υπό την επίδραση της κοινής αγροτικής πολιτικής (ΚΑΠ) από το 1981 μέχρι το 2006 διαμορφώθηκε με κύριο χαρακτηριστικό μονοκαλλιέργειες φυτών που είχαν υψηλές επιδοτήσεις με χαρακτηριστικές το βαμβάκι στα ποτιστικά χωράφια και το σκληρό σιτάρι στα ξηρικά. Από το 2006 εφαρμόζεται στη χώρα μας η νέα ΚΑΠ που μεταφέρει τις επιδοτήσεις από το προϊόν στον ίδιο το γεωργό. Αυτό κάνει πολλές από τις σημερινές καλλιέργειες οικονομικά μη αποδοτικές. Η νέα ΚΑΠ που προετοιμάζεται για τη περίοδο 2014-2020 αναμένεται να διαφοροποιήσει τις επιδοτήσεις που πιθανότατα θα κατανεμηθούν ομοιόμορφα ανά καλλιεργούμενη έκταση. Αυτό θα μειώσει το συγκριτικό πλεονέκτημα των σήμερα ισχυρά επιδοτούμενων καλλιεργειών και θα κάνει ευκολότερη την υιοθέτηση αμειψισπορών. Η μείωση όμως των επιδοτήσεων θα προκαλέσει μια γενική μείωση του εισοδήματος από επιδοτήσεις. Οι αγρότες βρίσκονται σε αμηχανία καθώς δεν έχουν μελετηθεί εναλλακτικές καλλιέργειες που μπορούν να δώσουν διέξοδο. Οι ενεργειακές καλλιέργειες φαίνεται να είναι μια ομάδα καλλιεργειών που μπορούν να δώσουν μια λύση αν εισαχθούν σε αμειψισπορές.

Αειφορική χρήση γης

Ο πληθυσμός της Γης αναμένεται να αυξηθεί στα επόμενα έτη. Για να καλυφθούν οι ανάγκες του απαιτείται μια αύξηση της γεωργικής παραγωγής κατά τουλάχιστον 50% (Tilman et al. 2002,.) ή 70% κατά την Ευρωπαϊκή Κοινότητα (European Commission 2010 αναφερόμενη σε σχετική μελέτη του FAO). Τα έτη από το 1960 έως το 2000 η παραγωγή των σιτηρών διπλασιάστηκε με αύξηση της κατανάλωσης Νουχων λιπασμάτων κατά περίπου 8 φορές και του νερού κατά 6 (Tilman et al. 2002,.). Θα πρέπει να σημειωθεί ότι σήμερα μόνο το 30-50% της αζωτούχου λίπανσης και το 45% των φσφορικών λιπασμάτων καταλήγει στα φυτά (Tilman et al. 2002). Η προϋπολογιζόμενη αύξηση θα καλύψει τόσο την αύξηση του πληθυσμού όσο και τη βελτίωση της ποιότητας διατροφής.

Ένα επί πλέον στοιχείο που πρέπει να εκτιμηθεί είναι η επίπτωση της προβλεπόμενης κλιματικής αλλαγής στη παραγωγή. Πρόσφατη μελέτη (Beddington et al. 2012) έδωσε το ακόλουθο διάγραμμα που δείχνει του κινδύνους από την κλιματική αλλαγή. Το διάγραμμα δείχνει ότι η αναμενόμενη μείωση των αποδόσεων από την αλλαγή του κλίματος θα κάνει οριακή την επίτευξη του στόχου της παραγωγής για κάλυψη των αναγκών του πληθυσμού με προφανείς τους κινδύνους.



Η χρήση αζωτούχων λιπασμάτων φαίνεται να είναι απαραίτητη για την εξασφάλιση υψηλών αποδόσεων. Μπορεί όμως να αυξήσει τις εκπομπές αερίων του θερμοκηπίου. Οξείδια του αζώτου (NO_x), που εκπέμπονται από τη γεωργία και από καύσεις σε ΜΕΚ προκαλούν αύξηση του όζοντος που έχει αρνητικές επιπτώσεις στους ανθρώπους, τις καλλιέργειες και το περιβάλλον.

Είναι σημαντικό να αυξήσουμε τη αξιοποίηση των χρησιμοποιούμενων λιπασμάτων στο γεωργικό τομέα όσο περισσότερο γίνεται. Η χρήση τεχνολογιών (λίπανση με βάση αναλύσεις εδάφους, εφαρμογή όταν χρειάζεται κυρίως με την εφαρμογή νερού, αλλά και μεταβλητές εφαρμογές ανάλογα με τις ανάγκες κάθε μέρος του χωραφίου) μπορούν να συμβάλουν στη βελτίωση. Καλλιέργειες φυτοκάλυψης και μειωμένη κατεργασία μπορούν να μειώσουν τη βαθιά διήθηση του N (κυρίως υπολειμματικού) και να μειώσουν τις απώλειες στοιχείων από τη διάβρωση (Tilman et al. 2002).

Δημιουργία ζωνών με φυσική βλάστηση σε εδάφη με κλίσεις (Buffer zones) μπορούν να μειώσουν τη διάβρωση και τις απώλειες θρεπτικών στοιχείων.

Αύξηση της αποτελεσματικότητας χρήσης νερού είναι απαραίτητη. Το 40% της γεωργικής παραγωγής επιτυγχάνεται από το 16% της αρδευόμενης Γης. Χρήση στάγδην άρδευσης και πιβοτ μπορούν να αυξήσουν τη απόδοση. Ποικιλίες ανθεκτικές στη ξηρασία, αύξηση της υδατοικανότητας με αύξηση της οργανικής ουσίας μπορούν να βελτιώσουν την απόδοση του νερού.

Ποιότητα εδάφους

Ποιότητα του εδάφους όπως το παραγωγικό δυναμικό είναι μια έννοια που δύσκολα μπορεί να οριστεί και μετρηθεί. Ορισμοί στην πρόσφατη βιβλιογραφία τονίζουν την ικανότητα του εδάφους να στηρίζει τη βιολογική παραγωγικότητα, να διατηρήσει τη ποιότητα του περιβάλλοντος και να ενισχύσει την υγεία των φυτών και των ζώων. Ανεξάρτητα από αυτό το γενικό ορισμό είναι δύσκολο να προσδιοριστούν οι παράμετροι του εδάφους που υποστηρίζουν τη παραγωγικότητα των καλλιεργειών όπως τα αποθέματα και η επάρκεια των θρεπτικών στοιχείων, η ικανότητα συγκράτησης του νερού, την καλή δομή που επιτρέπει την καλή ανάπτυξη της ρίζας είναι ιδιότητες που στηρίζουν ταυτόχρονα και συμβάλλουν στις υπηρεσίες που το έδαφος προσφέρει στο περιβάλλον. Οι ιδιότητες αυτές συμπεριλαμβάνοντας φυσικές ιδιότητες όπως το μέγεθος και η συνέχεια των πόρων, τη σταθερότητα των συσσωματωμάτων, την αντίσταση στη διείδυση της ρίζας και την υφή που όλα μαζί ορίζουν τη δομή του εδάφους, οι χημικές ιδιότητες όπως η περιεκτικότητα σε οργανική ουσία και τη σύνθεση και αποθέματα θρεπτικών στοιχείων καθώς και στοιχείων που είναι επιβλαβή για τα φυτά καθώς και βιολογικές ιδιότητες όπως το μέγεθος, η ποικιλότητα και η δραστηριότητα της βιομάζας και της χλωρίδας και πανίδας (Gasman 1999).

Ενέργεια και παραγωγή βιομάζας

Κατά τα πρώτα στάδια εκμηχάνισης της γεωργίας, η χρήση ορυκτών καυσίμων για την παραγωγή της απαραίτητης ισχύος δεν αποτελούσε σημαντική οικονομική επιβάρυνση στο συνολικό κόστος της παραγωγής. Γι' αυτό ο γεωργικός τομέας αναπτύχθηκε στηριζόμενος στην εξέλιξη ιδιαίτερα ενεργοβόρων τεχνολογιών όπως η χρήση μεγάλων γεωργικών ελκυστήρων, η χρήση εντατικών μεθόδων κατεργασίας, η υψηλή χρήση χημικών κ.λ.π. Το 1972, από τη συνολική ενέργεια που εισέρρεε στην ευρύτερη γεωργική παραγωγή, το 33,7% καταναλώνονταν για λιπάσματα, το 18,4% για την κατεργασία, το 9,7% για την άρδευση και το 38,2% για

τις υπόλοιπες καλλιεργητικές επεμβάσεις (Fluck, 1992). Ωστόσο, από τη δεκαετία του 70, οι πρώτες ενεργειακές κρίσεις, προκάλεσαν μια γενικότερη ανησυχία για το μέλλον και τη βιωσιμότητα των τομέων παραγωγής που βασίζονταν στη χρήση του πετρελαίου. Την εποχή αυτή, έννοιες όπως η μείωση των εισροών και η ορθολογική χρήση των συντελεστών της παραγωγής ήλθαν για πρώτη φορά στο προσκήνιο. Οι έννοιες αυτές αποκτούν ακόμη μεγαλύτερη σημασία σήμερα καθώς η ανοδική πορεία με τις συνεχείς διακυμάνσεις των τιμών του πετρελαίου επιβάλλουν την διαμόρφωση ευέλικτων αγροτικών επιχειρήσεων οι οποίες θα επιβιώσουν μέσα από τη μείωση του κόστους σε όλα τα επίπεδα της παραγωγής ενώ παράλληλα θα εμφανίζουν ένα χαρακτήρα που θα ανταποκρίνεται στις σύγχρονες απαιτήσεις για σεβασμό και προστασία του φυσικού περιβάλλοντος. Με την εφαρμογή μεθόδων μειωμένων εισροών κατά τη κατεργασία του εδάφους, μπορεί να επιτευχθεί σημαντική εξοικονόμηση ενέργειας ενώ παράλληλα μειώνεται η καταπόνηση και συνεπώς η φθορά του μηχανολογικού εξοπλισμού. Εκτός αυτού, η μετάβαση σε λιγότερο εντατικές μορφές κατεργασίας προσφέρει μια σειρά από οφέλη που σχετίζονται με τη διατήρηση της γονιμότητας του εδάφους συμβάλλοντας στην αύξηση της οργανικής ουσίας στην βελτίωση της δομής του και στην καλύτερη διαχείριση του νερού και της εδαφικής υγρασίας. Επιπλέον, οι μέθοδοι αυτές, διατηρούν τα φυτικά υπολείμματα στην επιφάνεια του εδάφους και το προστατεύουν από τη διάβρωση

Οποιοσδήποτε προσπάθειες για την παραγωγή βιομάζας θα πρέπει να λαμβάνουν υπόψη τις παραπάνω παραμέτρους στοχεύοντας σε μια γεωργία, οικονομική, αυτάρκη και φιλική στο ανθρώπινο περιβάλλον.

Ενεργειακές καλλιέργειες

Με τον όρο ενεργειακή καλλιέργεια εννοούμε καλλιέργειες που η παραγωγή τους χρησιμοποιείται αποκλειστικά για παραγωγή ενέργειας. Ως ενεργειακά φυτά έχουν προταθεί μια σειρά από καλλιέργειες που είναι ετήσιες ή πολυετείς, πλώδεις ή ξυλώδεις, παράγουν στερεή βιομάζα ή πρώτη ύλη για υγρά ή αέρια βιοκαύσιμα (El Bassam 1998). Μια καλλιέργεια για να καλλιεργηθεί ως ενεργειακή πρέπει να έχει μια σειρά από χαρακτηριστικά όπως:

1. Να έχει υψηλές αποδόσεις
2. Να μπορεί να παράγει με μικρές κατά το δυνατόν εισροές
3. Να εξοικονομεί ενέργεια και άλλες πρώτες ύλες
4. Να έχει θετικό ενεργειακό ισοζύγιο, θετικό ισοζύγιο CO₂ και θετική ανάλυση κύκλου ζωής
5. Να μειώνει τις αρνητικές επιπτώσεις της γεωργίας στο περιβάλλον, όπως τη διάβρωση του εδάφους, να βελτιώνει το γονιμότητα του, να κάνει αποδοτική τη χρήση του νερού, να περιορίζει τις απαιτήσεις σε λίπανση και άλλα.

Αντικείμενο της παρούσας έρευνας είναι η διερεύνηση της δυνατότητας παραγωγής βιομάζας στη Ελλάδα για παραγωγή ενέργειας με μεθόδους φιλικές προς το περιβάλλον. Ειδικότερα θα δοκιμαστούν διάφορες καλλιέργειες που θεωρούνται ότι καλύπτουν τις προδιαγραφές των ενεργειακών φυτών όπως προαναφέρθηκαν, σε αμειψισπορές που θα βοηθήσουν τη μεγιστοποίηση της

παραγωγής και τη μείωση των εισροών και θα διατηρούν το έδαφος καλυμμένο για προστασία από διάβρωση. Παράλληλα θα εισαχθούν μέθοδοι ακαλλιέργειας (no-tillage) και μειωμένης κατεργασίας (reduced tillage, conservation tillage) που συμβάλλουν ουσιαστικά στη μείωση της διάβρωσης και τη βελτίωση της γονιμότητας του εδάφους.

Πολλές ετήσιες καλλιέργειες έχουν προταθεί ως ενεργειακές καλλιέργειες κατάλληλες για τη χώρα μας. Το ΚΑΠΕ έχει προτείνει καλλιέργειες όπως το σιτάρι, το κριθάρι, το καλαμπόκι, η ελαιοκράμβη, ο ηλίανθος, το κενάφ και το σόργο (CRESS 2006, Nicolaou et al. 1999, 2001). Εκτός από αυτές φαίνεται ότι έχουν ενδιαφέρον το τριτικάλε, η βρώμη, το λόλιο, η σόγια και άλλα ψυχανθή που μπορούν εισαγόμενα σε αμειψισπορές να προσθέσουν άζωτο στο έδαφος. Ψυχανθή μπορούν να χρησιμοποιηθούν και ως καλλιέργειες φυτοκάλυψης με ενσωμάτωση της βιομάζας για χλωρή λίπανση. Τα έτη 2007 και 2008 καλλιεργήθηκαν στη Θεσσαλία ελαιοκράμβη, ηλίανθος και γλυκό σόργο στα πλαίσια του πόλου καινοτομίας της Θεσσαλίας (Κοινοπραξία «Παραγωγή βιοκαυσίμων στη Θεσσαλία» 2008). Πολλές εργασίες έχουν δημοσιευτεί όπου παρουσιάζονται έρευνες για διάφορα ενεργειακά φυτά συνήθως σε μονοκαλλιέργειες. Νέες καλλιέργειες φαίνεται ότι προστίθενται στις προτεινόμενες ως ενεργειακές. Εταιρείες παράγουν νέα υβρίδια όπως υβρίδια καλαμποκιού για παραγωγή βιομάζας, καλλιέργειες όπως διάφορες ποικιλίες *Lolium*, η βρώμη κλπ.

Στη παρούσα έρευνα θα μελετηθούν οι ακόλουθες ενεργειακές καλλιέργειες:

A Ποτιστικές

1. Καλαμπόκι (υβρίδιο για παραγωγή βιομάζας της Pioneer)
2. Ινώδες σόργο
3. Κεναφ
4. Σόγια
5. Ηλίανθος
6. Ετήσιο τριφύλι

B. Ξηρικές

1. Τριτικάλε
2. Βρώμη
3. Λόλιο
4. Μίγματα με ψυχανθή κτηνοτροφικό μπιζέλι, βίκο, κουκιά

Αμειψισπορές

Με τον όρο αμειψισπορά εννοούμε τη σειρά των καλλιεργειών που σπέρνονται διαδοχικά σε ένα αγρό. Εννοούμε επίσης ότι οι διαδοχικές καλλιέργειες είναι διαφορετικού γένους, είδους ή ποικιλίας με χαρακτηριστικά που συνδυαζόμενα δίνουν ορισμένα πλεονεκτήματα στο όλο σύστημα καλλιέργειας. Στόχοι της αμειψισποράς είναι η βελτίωση ή η διατήρηση της γονιμότητας των εδαφών, η μείωση της διάβρωσης, η μείωση των παρασίτων, η κατανομή της εργασίας στη διάρκεια του έτους και η αποφυγή περιόδων με υψηλές απαιτήσεις σε ανθρώπινη και μηχανική εργασία. Μείωση των κινδύνων από διακυμάνσεις του καιρού και των τιμών των προϊόντων, περιορισμό της χρήσης των χημικών και η αύξηση των περιθωρίων κέρδους των αγροτών.

Ορισμένα πλεονεκτήματα των καλά σχεδιασμένων αμειψισπορών είναι (Peel 1998):

- Μειωμένα προβλήματα εντόμων, ασθeneιών και ζιζανίων
- Επωφελής μεταφορά υπολειμματικών δράσεων ζιζανιοκτόνων
- Βελτιωμένη γονιμότητα εδάφους
- Βελτίωση της δομής του εδάφους, της κατεργασιμότητας ή ευθρυπτότητας (tilth) και της σταθερότητας των συσσωματωμάτων
- Καλύτερη διαχείριση εδάφους και νερού
- Μείωση της διάβρωσης του εδάφους
- Μείωση των φυτοτοξινών και αλληλοπαθητικών επιδράσεων των καλλιεργειών

Η κάθε καλλιέργεια που χρησιμοποιείται στην αμειψισπορά δίνει συγκεκριμένα πλεονεκτήματα. Η εναλλαγή αρδευόμενων ανοιξιάτικων καλλιεργειών με ξηρικές χειμερινές συμβάλει στη μείωση των πληθυσμών ζιζανίων και ασθeneιών, καθώς και στην καλύτερη διαχείριση του διαθέσιμου νερού, της διαθέσιμης υγρασίας και της συνεχούς κάλυψης του εδάφους για περιορισμό της διάβρωσης. Γενικά οι κατάλληλες αμειψισπορές μειώνουν σε λίγα χρόνια τους πληθυσμούς των παρασίτων και ζιζανίων κάτω από τα όρια της οικονομικής ζημίας (Hostra 2008). Η συνεχής κάλυψη του εδάφους περιορίζει τη βαθιά διήθηση του N καθώς η κάθε επόμενη καλλιέργεια απορροφά το υπολειμματικό άζωτο της προηγούμενης (Sainju et al. 2006). Η εισαγωγή ψυχανθών προσθέτει σημαντικές ποσότητες αζώτου στο έδαφος που μειώνει τις απαιτήσεις σε χημικά λιπάσματα. Η εισαγωγή ψυχανθών στις αμειψισπορές μπορεί να συνδυαστεί και με αλλαγές της κατεργασίας με σημαντικά οικονομικά και περιβαλλοντικά οφέλη (Nemeceka et al. 2008).

TABLE 1 Estimates of the amounts of shoot nitrogen fixed by various legumes growing at different locations in south-eastern Australia

Location	Legume species	Amount of shoot nitrogen (N) fixed ^a (kgN/ha/yr)	
		Range	Average
Victoria			
Horsham	Faba bean	82-174	128
	Lentil	60-110	90
	Field pea	85-166	138
	Vetch	72-160	116
	Annual medic	2-90	39
	Lucerne	19-90	43
Rutherglen	Lupin	59-244	150
	Sub-clover	99-238	160
NSW			
Junee	Field pea	133-183	160
	Sub-clover	21-118	56
	Lucerne	103-167	128
Stockinbingal/Temora	Faba bean (2002)	112-146	123
	Lupin/field pea (2008)	12-83	45
Condobolin	Lupin	26-93	51
	Field pea	35-111	58
Trangie	Lucerne	13-82	37

^a The data set includes experimental trials and on-farm measures collected from commercial crops and pastures. Source: Peoples et al. (2001) *Plant and Soil* 228: 29-41, and includes unpublished data of Celia, Angus, Swan, Crews and Peoples.

Στον Πίνακα εμφανίζονται στοιχεία για τη ικανότητα δέσμευσης αζώτου από τα διάφορα ψυχανθή (Peoples and Griffiths 2009).

Ο συνδυασμός βαθύρριζων και επιπολεόρριζων φυτών αυξάνει τη δυνατότητα αξιοποίησης νερού ή θρεπτικών στοιχείων από διάφορα βάθη. Τα φυτά μπορούν να κατηγοριοποιηθούν σε τρεις κατηγορίες. Τα επιπολεόρριζα (βάθος ριζοστρώματος κάτω από 1 μέτρο) τα ενδιάμεσα (γύρω στο μέτρο) και τα βαθύρριζα (πάνω από 1,2 μέτρα) (Thorn and Thorn 1979, Martin et al. 1990)

Επιπολεόρριζα: τριφύλλια, χειμερινά ψυχανθή (βίκος, μπιζέλι)

Ενδιάμεσα: σακχαρότευτλα, Χειμερινά σιτηρά

Βαθύρριζα: ελαιοκράμβη, Ηλίανθος, μηδική, καλαμπόκι, σόργο,

Ο Peel (1998) δίνει μια ανάλυση της επίδρασης της εναλλαγής καλλιεργειών ακόμα και ποικιλιών στη παραγωγή διαφόρων καλλιεργειών στις ΗΠΑ. Σημαντικές αυξήσεις της παραγωγής επιτυγχάνονται χωρίς να υπολογιστούν οι παράπλευρες ωφέλειες στα παράσιτα κλπ

Η εισαγωγή αμειψισπορών στη γεωργία δημιουργεί σημαντική διαφοροποίηση στο εισόδημα των παραγωγών και επιτρέπει εξασφάλιση ελάχιστου εισοδήματος σε πολλές περιπτώσεις αυξάνει και το συνολικό εισόδημα ιδιαίτερα με την εισαγωγή ψυχανθών (Nemesceka et al. 2008). Αυτό είναι ιδιαίτερα σημαντικό σε περιόδους χαμηλών τιμών που διαμορφώνονται σε μια ελεύθερη αγορά όπως διαμορφώθηκε μετά τη αλλαγή της ΚΑΠ. Η αμειψισπορά βοηθά σημαντικά στη διαφοροποίηση των περιόδων υψηλών απαιτήσεων σε εργασία καθώς οι διάφορες καλλιέργειες απαιτούν καλλιεργητικές φροντίδες σε διάφορες περιόδους του έτους. Αυτό μειώνει τις απαιτήσεις σε επί πλέον εργατικά χέρια και εξοπλισμό, αυξάνει την οικογενειακή εργασία και μειώνει το κόστος παραγωγής. Επίσης επιτρέπει την καλύτερη αξιοποίηση του διαθέσιμου αρδευτικού νερού καθώς μέρος των καλλιεργειών είναι ξηρικές. Οι διαφορετικές καλλιέργειες μειώνουν και τους κινδύνους από ακραίες καιρικές ή άλλες συνθήκες καθώς η ζημία περιορίζεται μόνο σε μερικές καλλιέργειες. Από τη άλλη πλευρά δημιουργεί και προβλήματα αύξησης του κόστους από απαιτήσεις σε επιπλέον εξοπλισμό για την εκτέλεση των εργασιών. Αυτά σε μικρές εκμεταλλεύσεις μπορούν να λυθούν με τη χρήση ενοικιαζόμενων μηχανημάτων ή εκτέλεση των εργασιών από επαγγελματίες που διαθέτουν το κατάλληλο εξοπλισμό.

Διάβρωση εδαφών

Μια διαδικασία που σχετίζεται με την υποβάθμιση των εδαφών εξαιτίας της συμβατικής κατεργασίας είναι η **διάβρωση** (SoCo Team 2009, Papiernik et al. 2007). Η διάβρωση είναι το φυσικό φαινόμενο κατά το οποίο το επιφανειακό υλικό, κυρίως η άργιλος μεταφέρεται από υψηλότερα σε χαμηλότερα σημεία με τη δράση της ροής νερού ή του αέρα. Η διάβρωση του εδάφους έχει ως συνέπεια την απώλεια της επιφανειακής γόνιμης στοιβάδας και την αποκάλυψη ενός λιγότερου παραγωγικού υπεδάφους το οποίο έχει μειωμένη ικανότητα να συγκρατεί και να ανακυκλώνει τα θρεπτικά στοιχεία καθώς και να απορροφά, αποθηκεύει και διευκολύνει την κυκλοφορία του νερού και του αέρα. Στα διαβρωμένα εδάφη οι αποδόσεις των καλλιεργειών μειώνονται από 20-65% (Papendick 1992). Σύμφωνα με τους Brown and Wolf (1984) εξαιτίας της διάβρωσης μέσα σε μια δεκαετία χάνεται παγκοσμίως περίπου το 7% του επιφανειακού καλλιεργήσιμου εδάφους. Οι Μήτσιος και άλλοι, (1995), εκτιμούν ότι τα Ελληνικά εδάφη είναι από τα πιο

επιρρεπή στη διάβρωση παγκοσμίως. Τούτο οφείλεται αφενός στα ψαθυρά γεωλογικά υλικά από τα οποία συνιστώνται τα περισσότερα Ελληνικά εδάφη σε συνδυασμό με την χαμηλή περιεκτικότητά τους σε οργανική ουσία και αφ' ετέρου στις μεγάλες κλίσεις που εμφανίζουν πολλές καλλιεργήσιμες εκτάσεις. Επιπλέον, το ξηρό κλίμα της χώρας μας και οι συχνές καταρρακτώδεις βροχές, οδηγούν σε μια δραματική επιδείνωση του προβλήματος. Οι απώλειες ανέρχονται στα 150-300 εκατομμύρια τόνους γόνιμου εδάφους ετησίως, μέσω του οποίου χάνονται περίπου 1,5 εκατομμύρια τόνοι χούμου, 150.000 τόνοι ολικού αζώτου, 300.000 τόνοι ολικού φωσφόρου και 540.000 τόνοι καλίου, την στιγμή που για την λίπανση των καλλιεργειών χρησιμοποιούνται ετησίως περίπου 420.000 τόνοι N, 190.000 τόνοι P₂O₅ και 70.000 τόνοι K₂O. Από τα στοιχεία αυτά προκύπτει ότι η μισή ποσότητα των χρησιμοποιούμενων αζωτούχων λιπασμάτων χάνεται με τη διάβρωση. Μαζί με τα λιπάσματα, μεταφέρονται και σημαντικές ποσότητες φυτοφαρμάκων τα οποία πολλές φορές καταλήγουν σε επιφανειακά και υπόγεια ύδατα προκαλώντας σοβαρά προβλήματα ρύπανσης και ευτροφισμού.

Σε παγκόσμια κλίμακα, η διάβρωση αποτελεί την κυριότερη αιτία υποβάθμισης των εδαφών. Οι παράγοντες που προκαλούν διάβρωση είναι το νερό είτε της βροχής είτε της άρδευσης, ο άνεμος και πολλές φορές ο ίδιος ο άνθρωπος όταν χρησιμοποιεί ακατάλληλες τεχνικές κατεργασίας προκαλώντας την καθοδική μετακίνηση μεγάλων ποσοτήτων γόνιμου εδάφους.

Μια πρακτική για τον περιορισμό της διάβρωσης αποτελεί η διατήρηση όσο το δυνατό μεγαλύτερης επιφάνειας εδάφους και για περισσότερο χρονικό διάστημα, με φυτοκάλυψη. Η φυτοκάλυψη αυτή όταν δεν παρέχεται από την ίδια την καλλιέργεια, πρέπει να παρέχεται από φυτικά υπολείμματα. Με την κάλυψη του εδάφους, η διάβρωση περιορίζεται διότι οι φυτικοί ιστοί που παραμένουν στην επιφάνεια του εδάφους απορροφούν την κινητική ενέργεια των σταγόνων της βροχής και τις εμποδίζουν να φτάσουν με δύναμη στο έδαφος. Επιπλέον, με την φυτοκάλυψη ευνοείται η ανάπτυξη της μικροπανίδας η οποία δημιουργεί πόρους που βελτιώνουν την διήθηση. Παράλληλα, τα υπολείμματα περιορίζουν την επιφανειακή απορροή (James and Russell, 1996). Ο περιορισμός της κατεργασίας του εδάφους αποτελεί μια πρακτική που μπορεί να παρέχει ικανοποιητική φυτοκάλυψη του εδάφους καθώς τα υπολείμματα της προηγούμενης καλλιέργειας δεν ενσωματώνονται στο έδαφος παρά αποτίθενται στην επιφάνεια του (Terzoudi et al., 2006a and 2006b).

Η διάβρωση των εδαφών είναι ένα από τα σημαντικότερα περιβαλλοντικά ζητήματα, που προκαλεί αλυσιδωτά προβλήματα σε οικοσυστήματα και κοινωνίες ανθρώπων. Τα προβλήματα δεν υφίστανται μόνο στις περιοχές που απογυμνώνονται από το επιφανειακό στρώμα εδάφους. Οι κάτοικοι τέτοιων περιοχών αντιμετωπίζουν μείωση γεωργικής παραγωγής και επιτάχυνση της ερημοποίησης, προβλήματα που οδηγούν σε οικονομικά αδιέξοδα και κοινωνικές αναταράξεις. Είναι και τα υδατικά οικοσυστήματα που θα δεχθούν τα μετακινηθέντα ιζήματα. Εκεί θα έχουμε αλλαγή των πληθυσμιακών ισορροπιών των επιφανειακών υδάτων, και κυρίως τον ευτροφισμό τους. Αυτά με τη σειρά τους

έχουν βαρύτερες οικονομικές και κοινωνικές επιπτώσεις στις τοπικές κοινωνίες ανθρώπων.

Η διάβρωση θα ξεκινήσει όταν η προσθήκη του νερού στο έδαφος είναι μεγαλύτερη από τη διηθητικότητα του εδάφους. Έτσι μένει νερό στην επιφάνεια, το οποίο θα κυλήσει χαμηλότερα στο ανάγλυφο αν υπάρχει εδαφική κλίση και θα αποθηκευτεί σε μικρές κοιλάτες που τυχόν υπάρχουν. Απορροή θα έχουμε όταν το νερό πλεονάζει τόσο πολύ ώστε ούτε να διηθηθεί προλαβαίνει, ούτε οι κοιλάτες έχουν αρκετή χωρητικότητα για να το αποθηκεύσουν.

Το νερό που κυλάει χαμηλότερα στο ανάγλυφο θα παρασύρει και εδαφικά τεμαχίδια, ώστε να ανοίξει χώρο για να περάσει. Αυτό θα οδηγήσει σε απώλεια επιφανειακού εδάφους και είναι το πρώτο βήμα για τη διάβρωση του εδάφους. Όσο η ταχύτητα κίνησης του νερού είναι υψηλή, τα εδαφικά τεμαχίδια παραμένουν σε αιώρηση, ενώ όσο προχωρούμε χαμηλότερα στο ανάγλυφο, η κλίση μειώνεται και η ταχύτητα μικραίνει, αποτίθενται πρώτα τα μεγαλύτερα και ύστερα τα μικρότερα τεμαχίδια. Με άλλα λόγια, δίπλα σε ποτάμια θα περιμέναμε να βρούμε περισσότερο αμμώδη εδάφη, ενώ όσο απομακρυνόμαστε περιμένουμε τα ποσοστά της αργίλου να αυξάνονται.

Διαφορετικοί τύποι διάβρωσης προκύπτουν από διαφορετικούς συνδυασμούς επιδρώντων παραγόντων και εδαφικών χαρακτηριστικών. Οι παράγοντες πάντως που θα πρέπει οπωσδήποτε να ληφθούν υπόψη στον προσδιορισμό της έκτασης και του τύπου της διάβρωσης είναι ο άνεμος, τα γεωλογικά χαρακτηριστικά, και η επίδραση του νερού, ενώ η επίδραση που θα δεχθεί τελικά ένα έδαφος εξαρτάται κυρίως από τα χαρακτηριστικά του τα οποία καθορίζονται από το μητρικό υλικό δημιουργίας του, ενώ και άλλοι παράγοντες, όπως η περιεκτικότητά του σε οργανική ουσία, επηρεάζουν την τελική μορφή του φαινομένου. Γενικά, η διάβρωση καθορίζεται από το κλίμα, το ποσοστό εδαφοκάλυψης, την τοπογραφία, τον τρόπο χρήσης της γης (δάση, καλλιέργειες, κτίρια), τη διαχείριση της γης (καλλιεργητικές πρακτικές, άρδευση, βόσκηση).

Προβλήματα που δημιουργεί η διάβρωση

Μείωση παραγωγικότητας

Αυτή οφείλεται στην απώλεια του επιφανειακού στρώματος του εδάφους, το οποίο είναι και το πιο γόνιμο. Στα επιφανειακά 30 cm του εδάφους έχουν δράσει εντονότερα όλες οι εδαφογενετικές συνιστώσες, και εκεί έχουμε συγκέντρωση θρεπτικών και οργανικής ουσίας. Η μείωση της παραγωγικότητας των οικοσυστημάτων οδηγεί σε προχωρημένο στάδιο στην ερημοποίηση.

Φυσική ρύπανση επιφανειακών υδάτων

Η διάβρωση των χερσαίων οικοσυστημάτων ακολουθείται από την ιζηματογένεση των υδατικών. Δεν είναι μόνο, δηλαδή, ότι έδαφος θα χαθεί από εκεί που δεν πρέπει, είναι και ότι θα οδηγηθεί και εκεί που δεν πρέπει! Λόγω των εδαφικών τεμαχιδίων που παραμένουν σε αιώρηση στο ποτάμι ή αποτίθενται σε λίμνες και θάλασσες, αυξάνει η θολότητα των επιφανειακών υδάτων. Αυτό θα οδηγήσει σε

αλλοίωση των πληθυσμιακών σχέσεων. Τελικά θα ακολουθήσει μείωση της αλιείας με όλες τις αρνητικές συνέπειες που αυτό συνεπάγεται.

Επίδραση φυσικών φαινομένων

Τα φυσικά φαινόμενα που επιδρούν στη διάβρωση είναι ([Van-Camp et al., 2004](#)):

1. Καταιγίδες. Οι καταιγίδες είναι αιτία απώλειας μεγάλων ποσοτήτων εδαφικής μάζας, οι οποίες παρασύρονται και απομακρύνονται από την αρχική τους θέση.
2. Ξηρασία. Περίοδοι ξηρασίας εμφανίζονται στο μεγαλύτερο μέρος της Ευρωπαϊκής ηπείρου και ιδιαίτερα στις Μεσογειακές χώρες εκθέτοντας τα εδάφη σε υψηλό κίνδυνο διάβρωσης. Η έλλειψη νερού ελαττώνει σημαντικά την ικανότητα των εδαφών να υποστηρίξουν την τοπική βλάστηση με αποτέλεσμα να ελαττώνεται η εδαφοκάλυψη και τα γυμνά εδάφη να υφίστανται εύκολα διάβρωση, η οποία γίνεται εντονότερη εάν μετά από μία περίοδο ξηρασίας ακολουθήσουν δυνατές καταιγίδες, το νερό των οποίων παρασύρει μεγάλες ποσότητες εδάφους.
3. Πυρκαγιές. Η ύπαρξη δάσους σε μία περιοχή δρα προστατευτικά για το έδαφος, μειώνοντας σημαντικά τον κίνδυνο διάβρωσης.
4. Πλημμύρες. Επηρεάζουν κυρίως τις περιοχές που βρίσκονται στο ίδιο ή χαμηλότερο επίπεδο από τη θάλασσα.
6. Παρόχθια διάβρωση. Το φαινόμενο εμφανίζεται σε περιοχές δίπλα σε λίμνες και σε όχθες ποταμών.
7. Ανεμοθύελλες. Έχουν άμεση επίδραση αυξάνοντας τον κίνδυνο διάβρωσης αλλά κυρίως σε εδάφη η διαχείριση των οποίων επέδρασε αρνητικά στη διατήρηση των ιδιοτήτων τους.

Ανθρωπογενείς επιδράσεις

Από τη στιγμή που ο άνθρωπος άρχισε να χρησιμοποιεί και να εκμεταλλεύεται τους φυσικούς πόρους του εκάστοτε περιβάλλοντός του εμφανίστηκαν και άλλοι παράγοντες, πέραν των φυσικών, οι οποίοι επιδρούν και καθορίζουν την έκταση και τη μορφή του φαινομένου. Η διάβρωση επιτείνεται από την απογύμνωση εκτάσεων από τη φυσική χλωρίδα για καλλιεργητικούς σκοπούς, από την υπερβολική βόσκηση και τις έμμεσες προκαλούμενες μεταβολές στην εδαφοκάλυψη, από τις πυρκαγιές αλλά και τις ελεγχόμενες φωτιές στις καλλιεργούμενες εκτάσεις ή τους βοσκότοπους.

Οι προκαλούμενες μεταβολές στην εδαφοκάλυψη επιτρέπουν την ευκολότερη επίδραση των φυσικών διαβρωτικών δυνάμεων και την απώλεια του εδάφους με πολύ ταχύτερους ρυθμούς από αυτούς που αποδεδειγμένα έχουν οι διαδικασίες σχηματισμού του. Οποιαδήποτε απώλεια εδάφους μεγαλύτερη από 1 τόνο/εκτάριο/χρόνο σε διάρκεια χρόνου από 50-100 χρόνια θεωρείται ως μη αντιστρεπτή για το οικοσύστημα που την υφίσταται ([Gobin et al., 2002](#)).

Οι καλλιεργητικές πρακτικές επηρεάζουν σημαντικά τη διάβρωση του εδάφους. Οι απαιτήσεις για παραγωγή μεγάλων ποσοτήτων τροφής αλλά και το μεγαλύτερο οικονομικό όφελος οδήγησαν σε εντατικοποιημένη γεωργία με χρήση μεγαλύτερων εκτάσεων γης, πιο σύγχρονων και βαρύτερων μηχανημάτων η χρήση των οποίων

αποδείχθηκε εξαιρετικά αποδοτική αλλά συγχρόνως προκάλεσε μεγαλύτερης έκτασης συμπίεση στα εδάφη, στη χρήση φυτοφαρμάκων και ανόργανων συνθετικών λιπασμάτων τα οποία αντικατέστησαν τη χρήση της παραδοσιακής κοπριάς ή κομπόστ κάθε είδους, η χρήση των οποίων εκτός από περιβαλλοντικά οφέλη εξασφάλιζε και προσθήκη οργανικής ουσίας στο έδαφος, στην καλλιέργεια ποικιλιών με το μεγαλύτερο αναμενόμενο οικονομικό όφελος οι οποίες πολλές φορές δεν ήταν γηγενείς με αποτέλεσμα να χρησιμοποιούνται πρακτικές εχθρικές προς τα ποιοτικά χαρακτηριστικά του τοπικού εδάφους, όπως για παράδειγμα η καλλιέργεια καλαμποκιού και πατάτας η οποία απαιτεί κατανάλωση νερού και δημιουργία αρδευτικού συστήματος, στην καλλιέργεια ποικιλιών με μικρή εδαφική κάλυψη όπως ελιές και σταφύλια, στη χρήση αρδευτικών συστημάτων τα οποία κατά κύριο λόγο είναι μη κατάλληλα και σωστά προσαρμοσμένα για τις περιοχές που προορίζονται ιδιαίτερα όταν αυτές περιλαμβάνουν επικλινή εδάφη.

Όλες αυτές οι πρακτικές οδήγησαν σε σημαντική υποβάθμιση του εδάφους με σημαντική μείωση της ικανότητας συγκράτησης νερού, της διηθητικότητας του, μεταβολή των χημικών και βιολογικών ιδιοτήτων, ελάττωση της συνοχής του με αποτέλεσμα να είναι ευκολότερη η παράσυρσή του με τον αέρα ή η ακόμα ευκολότερη απομάκρυνση του με το νερό της βροχής. Η εντατική γεωργία έχει άλλωστε άμεσα συνδεθεί με κίνδυνο διάβρωσης λόγω της βροχής (Gobin et al., 2002).

Η χρήση μεγάλων, ενιαίων εκτάσεων είχε ως αποτέλεσμα την εξαφάνιση των παλιών προστατευτικών ζωνών και των διαχωριστικών τοίχων ανάμεσα στα χωράφια τα οποία δρούσαν προστατευτικά στην διαβρωτική επίδραση του ανέμου αλλά και του νερού. Οι σύγχρονες απαιτήσεις της γεωργίας οδήγησαν (και οδηγούν) στην αναδιαμόρφωση των καλλιεργούμενων εκτάσεων προκειμένου να μπορούν να χρησιμοποιηθούν μεγάλα γεωργικά μηχανήματα αλλά και να συμπεριληφθούν δραστηριότητες συλλογής, κατεργασίας και αποθήκευσης. Αυτό είχε σαν αποτέλεσμα μεγάλοι όγκοι εδάφους να απομακρυνθούν. Η μορφή αυτή διάβρωσης, γνωστή ως «καλλιεργητική διάβρωση» (tillage erosion) είναι ιδιαίτερα σημαντική και απειλητική μιας και αρκετά συχνά μπορεί να προκαλέσει ρυθμό διάβρωσης μεγαλύτερο από 500 τόνους/εκτάριο/χρόνο.

Η εγκατάλειψη εκτάσεων καλλιεργητικά ασύμφορων ή μετά από μακροχρόνια εκμετάλλευσή τους όταν το όφελος παύει να είναι το προσδοκώμενο, ή ακόμα και λόγω εσωτερικής μετανάστευσης προς αστικές περιοχές, ακολουθείται από διαδικασίες που εξαρτώνται από την κατάσταση των εγκαταλελειμμένων εκτάσεων, τη γεωμορφολογία τους και το κλίμα της περιοχής. Ένα ποσοστό περίπου 40% κάλυψης του εδάφους με βλάστηση ή φυτικά υπολείμματα θεωρείται κρίσιμο για την εμφάνιση φαινομένων διάβρωσης (Thornes, 1988). Ποσοστό κάλυψης μικρότερο του 40% είναι παράμετρος που προκαλεί επιτάχυνση της διάβρωσης ενώ ποσοστό μεγαλύτερο θεωρείται ότι δρα προστατευτικά ενάντια στη διάβρωση.

Το βάθος του εδάφους είναι ένας επίσης σημαντικός παράγοντας με κρίσιμη τιμή τα 25-30cm. Εδάφη με μικρότερο βάθος δεν μπορούν να υποστηρίξουν τη φυσική

βλάστηση και συνεπώς η διάβρωση είναι εκτεταμένη στις περιοχές αυτές (Kosmas et al., 2000).

Οι τρόποι που ασκούνται η δασοκομία και η υλοτομία επηρεάζουν επίσης τα φαινόμενα διάβρωσης του εδάφους. Υπολογίζεται ότι μόνο το 9% των δασών και των δασικών εκτάσεων που χρησιμοποιούνται για αυτές τις δραστηριότητες είναι ικανά να δράσουν προστατευτικά για το έδαφος, το νερό και το οικοσύστημα γενικά (EEA, 2003). Συχνά, κυρίως στις Μεσογειακές χώρες, γίνεται φύτευση σε εγκαταλελειμμένες περιοχές με χαμηλά υψόμετρα. Αυτό σημαίνει ότι η ύπαρξη αυτών των δασικών εκτάσεων δεν εγγυάται απαραίτητα τον περιορισμό της διάβρωσης, αντίθετα συχνά συνεισφέρει θετικά στην εξέλιξη του. Έτσι, φύτευση σε περιοχές με μεγάλες κλίσεις επιτείνουν το φαινόμενο των κατολισθήσεων, ενώ η άροση πριν τη φύτευση αυξάνει τον κίνδυνο διάβρωσης εάν δε ληφθούν προφυλακτικά μέτρα όπως για παράδειγμα χρήση ειδικών εδαφικών υποστηριγμάτων ή η διατήρηση ενός στρώματος φυτικών υπολειμμάτων στα επιφανειακά εδαφικά στρώματα. Επιπλέον η δημιουργία δρόμων μέσα στις δασικές εκτάσεις παρέχει μονοπάτια διαφυγής του χώματος μαζί με τα νερά της βροχής. Σε πολλές περιπτώσεις, υπολογίζεται ότι η ύπαρξη δρόμων αυξάνει έως και 90% τα φαινόμενα διάβρωσης. Σωστός σχεδιασμός δικτύου δρόμων με πρόβλεψη κατασκευής δικτύου καναλιών διαφυγής του νερού και συστήματος συγκράτησης του εδάφους μπορούν να ελαττώσουν σημαντικά τον κίνδυνο απώλειας του εδάφους.

Η αύξηση του πληθυσμού και η χρήση γης για την ανάπτυξη πόλεων και την κατασκευή έργων υποδομής επηρεάζει επίσης την έκταση του φαινομένου καθώς οι δραστηριότητες αυτές περιλαμβάνουν συχνά την απομάκρυνση μεγάλων εδαφικών όγκων και την τοποθέτησή τους σε άλλες περιοχές, την αύξηση της συμπίεσης του εδάφους λόγω του μεγάλου βάρους των κατασκευών αλλά κυρίως τη χρήση εδαφών που ενδείκνυνται λόγω ιδιοτήτων για καλλιέργεια με αποτέλεσμα λιγότερο γόνιμα εδάφη να παραμένουν ελεύθερα και διαθέσιμα για γεωργικές δραστηριότητες, η καλλιέργεια των οποίων όμως απαιτεί χρήση πιο δραστικών μεθόδων για αύξηση της παραγωγής. Οι περισσότερες από τις μεγάλες πόλεις είναι κτισμένες κατά μήκος της ακτογραμμής, ιδιαίτερα στις Μεσογειακές χώρες όπου η ανάπτυξη των πόλεων και του τουρισμού συναγωνίζονται τη γεωργία για χρήση επίπεδων εκτάσεων κοντά σε υδάτινους πόρους και σε οδικό δίκτυο. Η επικράτηση των πόλεων σε παραγωγικές εκτάσεις ανάγκασε τους καλλιεργητές γης να χρησιμοποιούν εκτάσεις λιγότερο πρόσφορες και με μεγαλύτερες κλίσεις, αυξάνοντας έτσι τον κίνδυνο διάβρωσης (Christensen and Perdigao, 2000).

Ο τουρισμός, όπως αναφέρθηκε, είναι ένας ακόμα αρνητικός παράγοντας εξαιτίας της δημιουργίας υποδομών σε περιοχές κυρίως κοντά στις ακτογραμμές ή τα δέλτα ποταμών όπου τα εδάφη έχουν μεγαλύτερο βάθος και ενδείκνυνται για καλλιέργεια καθώς και λόγω της εγκατάλειψης γεωργικών περιοχών από τους κατόχους τους προκειμένου να ασχοληθούν με πιο επικερδείς τουριστικές δραστηριότητες (Marin-Yaseli and Martinez, 2003).

Η κατάσταση στην Ευρώπη

Σύμφωνα με τον Ευρωπαϊκό Οργανισμό Περιβάλλοντος, 115 εκατομμύρια εκτάρια, δηλαδή ποσοστό 12% της συνολικής επιφάνειας της Ευρώπης επηρεάζονται από φαινόμενα υδατογενούς διάβρωσης, ενώ 42 εκατομμύρια εκτάρια υφίστανται αιολική διάβρωση, το 2% των οποίων θεωρείται ότι βρίσκονται σε κρίσιμη κατάσταση. Απώλειες από 20 έως 40 τόνους χώματος/εκτάριο κατά τη διάρκεια καταιγίδων παρατηρούνται στην Ευρώπη μία φορά κάθε δύο ή τρία χρόνια, απώλειες που μπορούν να φτάσουν και τους 100 τόνους χώματος/εκτάριο σε ακραία φαινόμενα (Morgan, 1995).

Ειδικά οι περιοχές της Μεσογείου είναι ιδιαίτερα εκτεθειμένες στο φαινόμενο της διάβρωσης, κυρίως εξαιτίας των ιδιαίτερων κλιματικών και μορφολογικών/τοπογραφικών χαρακτηριστικών τους. Έντονες και συνεχείς βροχοπτώσεις ακολουθούν συχνά μεγάλες περιόδους ξηρασίας, στη διάρκεια των οποίων εκδηλώνονται και πολλές πυρκαγιές, φαινόμενα τα οποία συνδυαζόμενα με τις μεγάλες κλίσεις της περιοχής, το ανώμαλο ανάγλυφο και την ύπαρξη μη ανθεκτικών τύπων εδαφών οδηγούν σε εκτεταμένη διάβρωση από το νερό και τον άνεμο. Τέτοια φαινόμενα και τοπογραφία δεν συνδυάζονται στις άλλες, βορειότερες περιοχές της Ευρώπης, όπου η βροχή είναι συχνό φαινόμενο καθ' όλη τη διάρκεια του έτους και πέφτει σε εδάφη με μικρότερες κλίσεις. Σε ορισμένες περιοχές των Μεσογειακών κρατών η διάβρωση είναι πλέον μη αντιστρεπτή και θεωρείται ότι η εξέλιξή της έχει σταματήσει, απλά γιατί δεν υπάρχει πλέον χώμα! (Yassoglou et al., 1998).

Όσον αφορά τη συμπίεση του εδάφους, η οποία δευτερογενώς εννοεί φαινόμενα διάβρωσης, υπολογίζεται ότι περίπου το 36% του ευρωπαϊκού υπεδάφους κινδυνεύει από υψηλή έως πολύ υψηλή συμπίεση. Υπάρχουν και υπολογισμοί σύμφωνα με τους οποίους 32% των εδαφών είναι ιδιαίτερα ευπαθή ενώ 18% των εδαφών έχουν μετρίως επηρεαστεί (Cerdan et al., 2010).

Η έκταση που έχει κατά μέσο όρο σφραγιστεί, δηλαδή η επιφάνεια του εδάφους που καλύπτεται από αδιάβροχα υλικά, ανέρχεται σε 9%, περίπου, του εδάφους των κρατών μελών. Την περίοδο 1990-2000, το εμβαδόν των σφραγισμένων εδαφών στην ΕΕ15 αυξήθηκε κατά 6%, ενώ παράλληλα εξακολουθεί να αυξάνει η ζήτηση για νέες κατασκευές, λόγω της αύξησης των αστικών κέντρων, και για νέες μεταφορικές υποδομές (Van-Camp et al., 2004).

Εξαιτίας των πολλών διαφορετικών παραγόντων που επιδρούν στο φαινόμενο και της πολυπλοκότητας του εδάφους σαν σύστημα, είναι πραγματικά δύσκολη μία συνολική ποσοτικοποίησή της διάβρωσης αν και μετρήσεις έχουν γίνει και συνεχίζουν να γίνονται από επιστημονικές ομάδες στην Ευρώπη και παγκοσμίως για τον προσδιορισμό των περιοχών που διατρέχουν κίνδυνο.

Ένα επιπλέον πρόβλημα είναι ότι τα αποτελέσματα των μετρήσεων προέρχονται από διαφορετικές χρονικές στιγμές, υπό διαφορετικές κλιματικές συνθήκες, και με διαφορετικές μεθόδους, μην επιτρέποντας έτσι την αρμονική εξαγωγή

συμπερασμάτων. Παρόλα αυτά, σοβαρή προσπάθεια έχει γίνει και μάλιστα τα τελευταία χρόνια γίνεται εκτεταμένα χρήση μοντέλων καταγραφής και πρόγνωσης του φαινομένου με δημιουργία ψηφιακών χαρτών (PESERA, USLE, CORINE, NUTS3, MARS, κλπ.) και τηλεσκοπικής παρακολούθησης των περιοχών που βρίσκονται σε κίνδυνο (Eckelmann et al., 2006, ESA, 2007).

Πρότυπα (Μοντέλα) διάβρωσης

Η εκτίμηση της διάβρωσης με εργασίες υπαίθρου είναι μια χρονοβόρα διαδικασία που δύσκολα μπορεί να καλύψει το σύνολο μιας λεκάνης απορροής, αλλά περιορίζεται σε συγκεκριμένες πειραματικές επιφάνειες (Vandaele and Poesen 1995, Strunk 2003, Martinez - Casanovas et al., 2002, Verstraeten and Poesen, 2002). Συμπερασματικά οι συγγραφείς δηλώνουν ότι η έρευνα ήταν χρονοβόρα και απαιτητική από άποψη ανθρώπινων πόρων και κόστους.

Γι' αυτούς ακριβώς τους λόγους και η ανάπτυξη μοντέλων σχετικά με την πρόβλεψη της διάβρωσης και της υποβάθμισης του εδάφους είναι πλούσια και συνεχής, ιδιαίτερα τις τελευταίες τέσσερις δεκαετίες. Τα περισσότερα μοντέλα αναφέρονται σε περιοχές γεωργικών καλλιεργειών ή σε μικρές λεκάνες απορροής, στα οποία λαμβάνουν χώρα έντονες διεργασίες κατά τη διάρκεια μιας ραγδαίας βροχόπτωσης (πχ. χειμαρρώδης απορροή υδάτων, απόσπαση εδάφους, επιφανειακή διάβρωση, κ.λπ.).

Τα μοντέλα διάβρωσης ή υποβάθμισης, ανεξάρτητα αν στηρίζονται στο κλίμα, στο γεωλογικό υπόστρωμα, στο ανάγλυφο ή στην κάλυψη γης, διακρίνονται, ανάλογα με τον τύπο των μεταβλητών που συμπεριλαμβάνουν, σε τέσσερις κατηγορίες: 1) στηριζόμενα σε αρχές φυσικής, 2) στοχαστικά (εμπειρικά), 3) προσδιοριστικά (αναλυτικά) και 4) ημι-ποσοτικά. Φυσικά, ο διαχωρισμός των μοντέλων διάβρωσης θα μπορούσε να γίνει και με άλλα κριτήρια, πχ. την κλίμακα μεγέθους της εξεταζόμενης επιφάνειας (Mitasova et al. 1996). Όμως ο διαχωρισμός με βάση τις μεταβλητές επιτρέπει στους χρήστες να σχεδιάσουν γρήγορα και με ακρίβεια τη διαδικασία εφαρμογής του μοντέλου (Gumiere et al. 2009).

Οι περιγραφές των σημαντικότερων μοντέλων πρόβλεψης της διάβρωσης και της υποβάθμισης που έχουν αναπτυχθεί παγκοσμίως παρατίθενται παρακάτω:

CREAM (Chemical, Runoff and Erosion from Agricultural Systems)

Αξιολογεί τις γεωργικές πρακτικές αναφορικά με τη μεταφορά ρυπογόνων ουσιών του εδάφους εξαιτίας της επιφανειακής απορροής υδάτων και του εδαφικού ύδατος που διακινείται μέσω του ριζικού συστήματος. Βασίζεται στις αρχές της φυσικής. Παρόλο που το CREAM είναι ένα μοντέλο μεταφοράς ρύπων, επειδή αυτοί συνήθως αποθηκεύονται στις φερτές ύλες, θεωρείται και μοντέλο διάβρωσης (Knisel, 1980, Woodward 1999).

SHETRAN

Στο μοντέλο SHETRAN οι φυσικές διεργασίες της διάβρωσης, της στερεομεταφοράς και της απόθεσης μπορούν να ομαδοποιηθούν σε δύο κύριες συνιστώσες: (α) στις διεργασίες στις κλιτύες και (β) στις διεργασίες στα υδατορεύματα. Η αποκόλληση

του εδαφικού υλικού γίνεται μέσω της βροχόπτωσης και της επιφανειακής απορροής ενώ η διόδευση των φερτών υλικών μέσω της επιφανειακής απορροής γίνεται με την προσεγγιστική επίλυση (μέθοδος πεπερασμένων διαφορών) των διδιάστατων μερικών διαφορικών εξισώσεων της διατήρησης της μάζας των φερτών υλικών. Η διόδευση των φερτών υλικών γίνεται ουσιαστικά μέσω της σύγκρισης της στερεομεταφορικής ικανότητας της επιφανειακής απορροής και των διαθέσιμων φερτών υλικών.

Στα μειονεκτήματα του SHETRAN συγκαταλέγονται η εμπειρική εισαγωγή αρκετών παραμέτρων που αφορούν στη διαβρωσιμότητα του εδάφους αλλά και η εμπειρική μορφή των εξισώσεων της στερεομεταφορικής ικανότητας ενώ επίσης ουσιαστικά αγνοείται ο διαχωρισμός της επιφανειακής διάβρωσης από την διάβρωση ρυακίων μέσα στην επιφάνεια προσομοίωσης (Wicks and Bathurst, 1996, Abbott et al., 1986a,b).

WEPP (Water Erosion Prediction Project)

Βασίζεται κυρίως στις αρχές της φυσικής για την επίδραση της σταγόνας κατά τη διάρκεια μιας βροχής, την απόσπαση του εδάφους σε χειμάρρους και στην επιφάνεια ανάμεσά τους. Βασίζεται ακόμη στις αρχές της υδραυλικής πάνω στην επιφανειακή απορροή υδάτων και της στερεομεταφοράς. Οι μεταβλητές που εξετάζει είναι το κλίμα, η υδατική διείσδυση στο έδαφος, η υδατική ισορροπία, η αύξηση φυτών και η αποσύνθεση, οι γεωργικές καλλιέργειες και πρακτικές, η επιφανειακή απορροή υδάτων, η απόθεση και η μεταφορά των φερτών υλών στις διάφορες εποχές του έτους (Schumacher et al.1999, Brazier et al. 2001, Klik and Zartl, 2001).

Τα μοντέλα CREAM και WEPP συμπεριλαμβάνουν μεταβλητές εκτίμησης της απόθεσης υλικών, όταν η ποσότητα των φερτών υλών που διαβρώνεται ξεπερνά την ικανότητα μεταφοράς στερεών της επιφανειακής απορροής υδάτων. Λόγω της πολυπλοκότητας των πρωτογενών τους δεδομένων, συνήθως εφαρμόζονται ως το επίπεδο των πολύ μικρών λεκανών απορροής (Evans 2002, Renschler and Harbor 2002, Kinnell 2008).

EUROSEM (European Soil Erosion Model)

Το EUROSEM αποτελεί κατά κάποιο τρόπο την ευρωπαϊκή απάντηση στο WEPP. Το EUROSEM αποτελεί ένα κατανεμημένο μοντέλο σε βάση πλημμυρικού γεγονότος. Το μοντέλο αυτό βασίζεται πάνω στην υδρολογική πλατφόρμα του μοντέλου KINEROS της USDA (Woolhiser et al., 1990). Το συνδυασμένο μοντέλο προσομοιώνει την εδαφική διάβρωση από την επίδραση της βροχόπτωσης και της επιφανειακής απορροής σε μικρές λεκάνες απορροής σε χρονικό βήμα 1 min. Ως ένα χωρικά κατανεμημένο μοντέλο, το EUROSEM χωρίζει μια λεκάνη απορροής σε μικρότερα ομοιογενή τμήματα ως προς την τοπογραφία, την εδαφική σύσταση ή τη φυτοκάλυψη. Το μοντέλο επομένως υπολογίζει την απορροή και το φορτίο των φερτών υλικών που παράγονται σε ένα τμήμα και μετά γίνεται η υδρολογική διόδυσή τους κατάντη.

Στηρίζεται στις αρχές της φυσικής και είναι προσαρμοσμένο στις συνθήκες της Κεντρικής Ευρώπης. Υπολογίζεται με τη βοήθεια ακραίων χειμαρρικών φαινομένων σε μικρές επιφάνειες ή πολύ μικρές λεκάνες απορροής προσομοιώνοντας τον τρόπο που τα ύδατα και οι φερτές ύλες κινούνται πάνω στην επιφάνεια του εδάφους. Θεωρείται αρκετά απαιτητικό μοντέλο αναφορικά με τα πρωτογενή του δεδομένα, που δε δίνει πάντα ικανοποιητικά αποτελέσματα ([Morgan et al., 1998](#), [Folly et al. 1999](#), [Kinnell 2004](#), [De Vente et al. 2006](#)).

AGNPS (Agricultural Nonpoint Source)

Προσδιοριστικό μοντέλο που έχει ως στόχο την πρόβλεψη της ποσότητας και ποιότητας της επιφανειακής απορροής, αλλά και τη διακίνηση φερτών υλών και χημικών ουσιών ως αποτέλεσμα γεωργικών πρακτικών. Βασίζεται σε ακραία φαινόμενα και έχει εφαρμοστεί σχεδόν αποκλειστικά στις Η.Π.Α., ενώ υπάρχουν λίγα παραδείγματα από άλλες περιοχές της Γης, όπως είναι η Ιταλία και η Γερμανία. Το μοντέλο διαχωρίζει κάθε λεκάνη απορροής σε μικρότερες δοκιμαστικές επιφάνειες και τα πρωτογενή του δεδομένα προέρχονται τόσο από χάρτες, όσο και από εργασίες υπαίθρου καθιστώντας το τελικά δύσχρηστο ([Zhang et al. 1996](#), [Lenzi and Luzio 1997](#), [Grunwald and Frede 1999](#)).

USLE (Universal Soil Loss Equation)

Επιστήμονες στις ΗΠΑ ανέπτυξαν την Παγκόσμια Εξίσωση Εδαφικής Απώλειας (ΠΕΕΑ) (Universal Soil Loss Equation (USLE)) [[Wischmeier and Smith, 1965, 1978](#)] ως μια τεχνική εκτίμησης της εδαφικής διάβρωσης και αποτίμησης των διαφόρων πρακτικών διατήρησης του εδαφικού στρώματος. Η USLE τουλάχιστον στην αρχική της μορφή έχει αναπτυχθεί για την εκτίμηση της εδαφικής διάβρωσης σε ετήσια τουλάχιστον κλίμακα Η USLE καθώς οι διαφοροποιήσεις της (Revised USLE και USLE-Modified) για μεμονωμένες καταιγίδες [[Williams and Bernt, 1977](#); [Renard et al., 1991](#); [Kinnell and Rise, 1998](#)] [Klik, and Zartl, 2001](#) αποτελούν τις πιο δημοφιλείς μεθόδους της κατηγορίας αυτής κυρίως λόγω της απλότητάς τους στην εφαρμογή.

Πρόκειται για το πιο διαδεδομένο μοντέλο πρόβλεψης, το οποίο αναπτύχθηκε στις Η.Π.Α. με τη βοήθεια 10.000 δοκιμαστικών επιφανειών σε γεωργικές καλλιέργειες ήπιας κλίσης (ως 9%), από το 1932 ως το 1953, και επομένως κατατάσσεται στα εμπειρικά μοντέλα ([Renschler and Harbor 2002](#), [Kinnell 2004](#)). Εξετάζει τη συνεπίδραση του κλίματος, του εδάφους, και του ανάγλυφου με τη βλάστηση. Η Αναθεωρημένη Γενική Εξίσωση της Εδαφικής Διάβρωσης (Revised Universal Soil Loss Equation/ RULSE) διατήρησε τη βασική μαθηματική δομή της ULSE, αλλά άλλαξε την τεχνολογία υπολογισμού της κάθε μεταβλητής εισάγοντας νέα δεδομένα για συγκεκριμένες συνθήκες (πχ. για ακανόνιστες κλίσεις και κατάτμηση). Η αλλαγή αυτή μετακίνησε την ULSE από τα στοχαστικά (εμπειρικά) μοντέλα στα πιο προσδιοριστικά ([Dunn and Hickey 1998](#)).

Να επισημανθεί ότι συχνή παρεξήγηση στην εκτίμηση της USLE είναι ο υπολογισμός της απόστασης από το εφαλτήριο της επιφανειακής απορροής των υδάτων μέχρι το σημείο που ξεκινά η εναπόθεση των φερτών υλών ή μέχρι το σημείο που η επιφανειακή απορροή εισέρχεται σε κανάλι μεγαλύτερο από αυτό της επιφανειακής διάβρωσης ([Kinnell 2008](#)). Οι [Parson et al. \(2006\)](#) αναφέρουν ότι η

εκτίμηση αυτή αναφέρεται σε δυναμικό διάβρωσης 22:1 επιφάνειας, το οποίο συνεπάγεται ότι, όταν εκτιμώνται η USLE ή η RUSLE σε μια μεγάλη έκταση, θα πρέπει πρώτα να διαχωριστεί αυτή σε 22 μικρότερες επιφάνειες και στη συνέχεια να υπολογιστεί σε καθεμιά ξεχωριστά. Πάντως, και τα δυο είναι υπολογισμένα σε μια συγκεκριμένη επιφάνεια με συγκεκριμένες συνθήκες και δε μπορούν να μεταφερθούν αυτόματα σε μια άλλη περιοχή που διαφέρει στο κλίμα, στην τοπογραφία, στη γεωλογία ή στην κάλυψη γης (Kinnell 2008).

Το 1975 εισήχθη η Τροποποιημένη Γενική Εξίσωση της Εδαφικής Διάβρωσης (Modified Universal Soil Loss Equation/ MRUSLE) η οποία μπορεί να προβλέψει την αναμενόμενη διάβρωση μετά την εκδήλωση ακραίων χειμαρρικών φαινομένων σε λοφώδεις εκτάσεις (Kinnell 2001, Kinnell 2008).

Οι USLE, RUSLE και MRUSLE έχουν εφαρμοστεί κατά κόρον σε διάφορα μέρη της Γης παρά τους περιορισμούς εφαρμογής τους. Ενδεικτικά αναφέρονται οι Η.Π.Α. (Molnar and Julien 1998, Wang et al. 2001, Sipel et al. 2002, Tran et al. 2002) η Κίνα (Lin et al. 2002, Zhang et al. 2008), η Αυστραλία (Zhang et al. 1996, Erskine et al. 2002), η Ισπανία (De la Rosa et al. 2000, Martinez - Casanovas and Senchez – Bosch 2000), και η Ελλάδα (Στάθης και Σαπουτζής 2002, Hrissanthou 2005, Στεφανίδης κ.α. 2007, Πατέρας κ.α. 2009).

Η USLE στην αρχική της μορφή δίδει την εδαφική απώλεια ανά μονάδα επιφάνειας (A) ως το απλό γινόμενο των ακόλουθων παραγόντων:

- R, ο συντελεστής διαβρωτικότητας της βροχόπτωσης,
- K, ο συντελεστής εδαφικής διαβρωσιμότητας,
- LS, ο τοπογραφικός συντελεστής που αποτελείται από το γινόμενο του συντελεστή μήκους κλιτύος (L) και του συντελεστή κλίσης κλιτύος (S),
- C, ο συντελεστής φυτοκάλυψης, και
- P, ο συντελεστής διαχείρισης των εδαφών κατά της διάβρωσης.

Οι αριθμητικές τιμές των έξι συντελεστών έχουν προκύψει από συγκεντρωμένα δεδομένα από διάφορες λεκάνες απορροής στις ΗΠΑ. Οι φυσικές διεργασίες της διάβρωσης που αριθμητικά αναπαριστώνται από τους πιο πάνω συντελεστές αποκλίνουν σημαντικά από τις μέσες τιμές κατά τη διάρκεια μεμονωμένων καταιγίδων, λόγω της σημαντικότερης επιρροής των τυχαίων διακυμάνσεων. Η επιρροή αυτή αρχίζει να εξισορροπείται για μεγαλύτερες διάρκειες. Επομένως η ακρίβεια της USLE για μεμονωμένα πλημμυρικά επεισόδια, ακριβώς για το λόγο των απρόβλεπτων τυχαίων διακυμάνσεων, είναι χαμηλή σε σχέση με την ακρίβεια της πρόβλεψης της εδαφικής απώλειας σε μεγαλύτερους χρονικούς ορίζοντες.

Αρκετές έρευνες έχουν διεξαχθεί για να εκτιμηθεί κατά πόσο είναι δυνατή η μεταφορά της USLE στις Ευρωπαϊκές συνθήκες. Οι μελέτες αυτές έδειξαν ότι χρειάζεται ιδιαίτερη προσοχή στην επιλογή των παραμέτρων της διαβρωτικότητας της βροχόπτωσης (R) [Chisci and Zanchi, 1981] και της εδαφικής διαβρωσιμότητας (K) [DePloey, 1986]. Δεδομένου ότι η USLE στην αρχική της μορφή υπολογίζει μόνο μέσες ετήσιες τιμές της εδαφικής διάβρωσης, ακόμα και αν η μεταφορά στις Ευρωπαϊκές συνθήκες είναι επιτυχημένη, η πληροφορία που λαμβάνεται από την

USLE είναι ελάχιστη καθώς ενδιαφέρει περισσότερο η στερεοαπορροή κατά τη διάρκεια πλημμυρικών γεγονότων. Σε κάθε περίπτωση όμως η USLE αφορά μόνο στην εδαφική διάβρωση και δεν είναι κατάλληλη να περιγράψει την ενδιάμεση απόθεση φερτών υλικών ή τη στερεομεταφορά σε συγκεντρωμένη απορροή σε υδατορεύματα. Άλλη σημαντική αδυναμία της USLE είναι ότι υπολογίζει την εδαφική διάβρωση πολλαπλασιάζοντας εντελώς διαφορετικά μεγέθη, τα οποία εκφράζουν βροχόπτωση, εδαφολογικά χαρακτηριστικά, τοπογραφικές κλίσεις, φυτοκάλυψη και πρακτικές ελέγχου της διάβρωσης ενώ στην πραγματικότητα η διάβρωση δεν μπορεί να προσεγγιστεί με τόσο απλουστευμένο τρόπο [Kirkby, 1980]. Τέλος, η USLE έχει αναπτυχθεί με βάση δεδομένα μικρών εδαφικών εκτάσεων με σχετικά ομοιόμορφα τοπογραφικά, εδαφολογικά και υδρολογικά χαρακτηριστικά και επομένως η εφαρμογή της σε λεκάνες απορροής μεγάλης κλίμακας είναι προβληματική. Αξίζει να σημειωθεί ότι η USLE έχει ενσωματωθεί σε πολλά προγράμματα που κυκλοφορούν διεθνώς και μάλιστα βασισμένα σε Συστήματα Γεωγραφικών Πληροφοριών (GIS).

Συμπερασματικά, η USLE (Wischmeier and Smith, 1965) και οι αναθεωρημένες μορφές της (Williams and Berndt, 1977; Renard et al., 1991) προβλέπουν την μέση ετήσια διάβρωση μιας κεκλιμένης εδαφικής επιφάνειας βάσει των χαρακτηριστικών της βροχόπτωσης, του εδαφικού τύπου, της τοπογραφίας, των χαρακτηριστικών της καλλιέργειας και της καλλιεργητικής πρακτικής. Η USLE προβλέπει μόνο την ποσότητα του εδάφους που χάνεται από την επιφανειακή κατά στρώσεις ή την αυλακοειδή διάβρωση από ένα κεκλιμένο εδαφικό τεμάχιο και δεν μετρά άλλες εδαφικές απώλειες που μπορούν να συμβαίνουν από την χαραδρωτική, ή την λόγω ανέμου ή καλλιέργειας διάβρωση.

Αυτό το μοντέλο της διάβρωσης δημιουργήθηκε για να χρησιμοποιείται σε επιλεγμένες καλλιέργειες και συστήματα εδαφικής διαχείρισης, και είναι επίσης εφαρμόσιμο σε μη γεωργικές συνθήκες όπως είναι ορισμένα τεχνικά έργα. Η USLE μπορεί να χρησιμοποιηθεί για να συγκρίνονται εδαφικές απώλειες από έναν συγκεκριμένο αγρό κάτω από μια ορισμένη καλλιέργεια και καλλιεργητική πρακτική με τις εν γένει "αποδεκτές εδαφικές απώλειες" (Πατέρας κ.α. 2009)

Κατεργασία εδάφους

Συστήματα κατεργασίας του εδάφους

Η δράση KASSA (Knowledge Assessment and Sharing on Sustainable Agriculture) είναι μια διεθνής συνεργασία η οποία συνοψίζει τα αποτελέσματα της έρευνας στο αντικείμενο της αειφορικής γεωργίας. Σύμφωνα με τα στοιχεία αυτής της δράσης, τα συστήματα αειφορικής διαχείρισης - διατήρησης του εδάφους έχουν σε μικρότερο βαθμό διεισδύσει στην Ευρώπη σε σχέση με άλλες περιοχές του πλανήτη. Στην Αυστραλία για παράδειγμα, ο βαθμός υιοθέτησης συστημάτων αειφορικής διαχείρισης συνεχώς αυξάνει και μάλιστα αγγίζει μέχρι και το 90% για ορισμένες περιοχές (Lewellyn et al., 2012).

Για την Ευρώπη, τα συστήματα μειωμένης κατεργασίας προτιμώνται σαφώς περισσότερο από την ακαλλιέργεια αν και συνολικά και τα δύο έχουν διαδοθεί

ελάχιστα. Η έλλειψη πληροφόρησης πάνω σε συστήματα συντήρησης (διατήρησης) του εδάφους και η απουσία δυναμικών και αποτελεσματικών δομών προώθησης τους καθιστούν δύσκολη και κοινωνικο-οικονομικά ριψοκίνδυνη υιοθέτησή τους από τους Ευρωπαίους αγρότες οι οποίοι παραδοσιακά είναι αγκιστρωμένοι σε συστήματα κατεργασίας που εμπεριέχουν το όργωμα ως βασική μορφή διαχείρισης του εδάφους (Lahmar 2010). Επίσης η απουσία παροχής εξειδικευμένης γνώσης πάνω στις επιδράσεις και αλληλεπιδράσεις που μπορεί να έχουν η μειωμένη αναμόχλευση του εδάφους, η εδαφοκάλυψη με φυτικά υπολείμματα, η εφαρμογή διαφορετικών αμειψισπορών, η ολοκληρωμένη διαχείριση των ζιζανίων και πολλά άλλα σχετικά θέματα, περιορίζουν τη δυνατότητα εξάπλωσης των συστημάτων αειφορικής διαχείρισης του εδάφους (Farooq et al., 2011). Γι' αυτό ευθύνεται η περιορισμένη διάχυση των αποτελεσμάτων της έρευνας στον τομέα της γεωργικής βιομηχανίας, του εμπορίου αλλά και στους ίδιους τους παραγωγούς. Τα περισσότερα πειράματα διεξάγονται σε μικρούς πειραματικούς αγρούς στα Ινστιτούτα Έρευνας και τα Πανεπιστήμια και τα αποτελέσματα συνήθως γίνονται γνωστά σε μια περιορισμένη επιστημονική κοινότητα. Απαιτείται η μεταστροφή σε εκτεταμένα πειράματα και πιλοτικούς αγρούς επίδειξης σε πραγματικές συνθήκες που να συμπεριλαμβάνουν και τη συμμετοχή των ιδίων των παραγωγών. Με αυτό τον τρόπο μπορεί να επιταχυνθεί σημαντικά ο ρυθμός διάδοσης των τεχνικών αειφορίας στην πραγματική γεωργική οικονομία.

Στη Νορβηγία και τη Γερμανία, τα συστήματα αειφορικής διαχείρισης προωθούνται και επιδοτούνται από την πολιτεία με απώτερο στόχο την μείωση της διάβρωσης των εδαφών. Στις υπόλοιπες χώρες, η υιοθέτηση τους εναπόκειται στην κινητοποίηση και την δραστηριοποίηση των γεωργών. Το βασικότερο κίνητρο φαίνεται να είναι η μείωση του κόστους παραγωγής μέσω της εξοικονόμησης καυσίμων και εργασίας. Αντίθετα η διατήρηση του εδάφους και του νερού φαίνεται να επηρεάζουν ελάχιστα τις αποφάσεις των γεωργών να προχωρήσουν στην εφαρμογή συστημάτων αειφορίας. (Lahmar 2010). Στην Αυστραλία αντίθετα, ο περιορισμός της διάβρωσης του εδάφους αποτέλεσε το κυριότερο κίνητρο για την μεγάλη διάδοση αυτών των συστημάτων (Llewellyn et al., 2012). Για τις χώρες της Μεσογειακής λεκάνης ειδικότερα, η εφαρμογή μεθόδων αειφορίας στο έδαφος είναι πολύ περιορισμένη. Κάποια μικρή διεύδυση παρατηρείται στην Ισπανία, τη Γαλλία, την Ιταλία και τη Πορτογαλία.

Γεγονός είναι ότι όλα τα συστήματα αειφορικής διαχείρισης του εδάφους δεν είναι το ίδιο κατάλληλα για όλα τα εδάφη και τα διαφορετικά περιβάλλοντα που εμφανίζονται στην Ευρωπαϊκή ήπειρο. Γι' αυτό θα πρέπει να δοθεί προτεραιότητα στον εντοπισμό πρώτα εκείνων των περιοχών που είναι οι πλέον κατάλληλες και στις οποίες θα προκύψουν τα περισσότερα οφέλη από την ένταξή τους σε μια αειφορική μορφή διαχείρισης. Τα κριτήρια γι' αυτή την επιλογή θα πρέπει να είναι το κλίμα, ο τύπος του εδάφους, η διάβρωση, η διαθεσιμότητα του νερού, η διάρκεια της καλλιεργητικής περιόδου, οι συνθήκες των αγροκτημάτων κ.α. (Lahmar 2010).

Ως συστήματα κατεργασίας του εδάφους που συμβάλουν στην αειφορική διαχείριση, χαρακτηρίζονται όλες οι εναλλακτικές μέθοδοι κατεργασίας οι οποίες

είτε χρησιμοποιούν λιγότερη ενέργεια από την συμβατική κατεργασία, είτε είναι λιγότερο εντατικές ή και τα δύο ταυτόχρονα. Οι μέθοδοι αυτές έχουν ως κοινό γνώρισμα τη διατήρηση της επιφάνειας του εδάφους καλυμμένης με φυτικά υπολείμματα τουλάχιστον κατά 30%. Η προετοιμασία της σποροκλίνης γίνεται με περιορισμένο αριθμό επεμβάσεων στοχεύοντας:

- 1) Στην μείωση του κόστους παραγωγής μέσω της εξοικονόμησης ενέργειας και του περιορισμού της απαιτούμενης εργασίας.
- 2) Στην διατήρηση της ποιότητας και της παραγωγικότητας του εδάφους μέσω του περιορισμού της συμπίεσης και της διάβρωσης.
- 3) Στην εξοικονόμηση εδαφικής υγρασίας.
- 4) Διατήρηση της γονιμότητας του εδάφους μέσω της αύξησης ή διατήρησης της οργανικής ουσίας και της βιοποικιλότητας του εδάφους.

Στην κατηγορία αυτή περιλαμβάνονται ένα πλήθος από διαφορετικές καλλιεργητικές τεχνικές οι οποίες κυμαίνονται από συστήματα που διατηρούν την εντατικότητα της κατεργασίας στο όριο όπου το μεγαλύτερο δυνατό όφελος επιτυγχάνεται με τις ελάχιστες δυνατές επεμβάσεις (Optimum tillage), μέχρι την ακραία περίπτωση όπου η κατεργασία του εδάφους εκλείπει παντελώς (Ακαλλιέργεια, No-tillage). Ανάμεσα από τις παραπάνω δύο ακραίες περιπτώσεις υπάρχει μια σειρά από εναλλακτικές μεθόδους κατεργασίας όπως η ελάχιστη κατεργασία (minimum tillage), η μειωμένη κατεργασία (reduced tillage) η αειφορική κατεργασία (conservation tillage) κ.α. (ASAE Standards 2002, EP291.2). Τα συστήματα αυτά έχουν ως κοινό τους γνώρισμα την επίτευξη των τεσσάρων παραπάνω στόχων. Επιπλέον, χαρακτηρίζονται από ορισμένες ιδιαιτερότητες στην εφαρμογή τους οι οποίες απαιτούν κατάλληλη επιστημονική τεχνογνωσία και σωρευμένη αγρονομική εμπειρία για να μπορέσουν να αποδώσουν τα πραγματικά τους οφέλη.

Επίδραση στις φυσικές ιδιότητες του εδάφους

Συγκρινόμενο με ένα έδαφος που οργώνεται, με ένα έδαφος στο οποίο εφαρμόζεται ακαλλιέργεια το τελευταίο παρουσιάζει ορισμένα ιδιαίτερα χαρακτηριστικά προσομοιάζοντας την κατάσταση ενός φυσικού λειμώνα. Ένα ακαλλιέργητο έδαφος είναι πιο συνεκτικό και συμπαγές εμφανίζοντας αυξημένη ξηρή φαινομενική πυκνότητα (Girma, 1998, Papendick, 1992, Salinas-Garcia et al., 1997, Martinez et al., 2008) καθώς και υψηλότερη αντίσταση στη διείσδυση (Lopez et al., 1996, Tebrügge and Düring, 1999, Ferreras, et al., 2000, Alvarez and Steinbach, 2009). Αυξημένη ξηρή φαινομενική πυκνότητα και αντίσταση στην διείσδυση παρουσιάζει επίσης το έδαφος όταν περιορίζεται η εντατικότητα της κατεργασίας (Moreno et al., 1997). Υπάρχουν ωστόσο έρευνες οι οποίες αναφέρουν και το αντίθετο. (Hao et al., 2000, Karunatikale, et al., 2000). Το έδαφος υπό καθεστώς ακαλλιέργειας εμφανίζει σταθερότερα συσσωματώματα (Abid and Lal, 2008) με αποτέλεσμα να καθίσταται λιγότερο επιρρεπές στη συμπίεση (Da Veiga et al., 2007) από τα βαριά φορτία ενώ αντίθετα τα συμβατικά κατεργασμένα εδάφη υφίστανται σημαντική συμπίεση από την διέλευση γεωργικών μηχανημάτων ήδη από τις επεμβάσεις της δευτερογενούς κατεργασίας (Botta et al. 2009) και μέχρι το τέλος της περιόδου. Τα σταθερά συσσωματώματα μειώνουν την διάβρωση του εδάφους καθώς αντιστέκονται στην απόσπαση σωματιδίων κατά τη προσκρούση των

σταγόνων της βροχής στο έδαφος. Στα συστήματα μειωμένης κατεργασίας οι διελεύσεις των μηχανημάτων στον αγρό μπορεί να είναι μέχρι και 92% λιγότερη (Kroulik et al., 2009). Μια πρακτική που μπορεί να περιορίσει τη συμπίεση του εδάφους στα συστήματα συμβατικής αλλά και μειωμένης κατεργασίας και ακαλλιέργειας, είναι οι ελεγχόμενες κινήσεις των γεωργικών μηχανημάτων στον αγρό (controlled traffic) (Unger, 1996, McHugh et al., 2009, Wang Qingjie et al., 2009). Στη περίπτωση αυτή δημιουργούνται οι προϋποθέσεις για να αναδειχθούν τα πραγματικά οφέλη των μεθόδων μειωμένης κατεργασίας όπως για παράδειγμα η μείωση της διάβρωσης (Li et al., 2007).

Η αυξημένη ξηρή φαινομενική πυκνότητα ενός ακαλλιέργητου εδάφους συνοδεύεται από ένα περιορισμένο εδαφικό πορώδες (Tebrügge and Düring, 1999). Η μείωση του πορώδους ωστόσο δεν συνοδεύεται απαραίτητα από μια ανάλογη μείωση της στράγγισης ή του αερισμού. Αντίθετα φαίνεται ότι τα συστήματα μειωμένης κατεργασίας ή ακαλλιέργειας έχουν αυξημένη διηθητικότητα. Αυτό που στην πραγματικότητα συμβαίνει με την απουσία της κατεργασίας είναι μια μείωση του μακροπορώδους και μια αύξηση των μικροπόρων (Phillips and Young, 1973, Rasmussen, 1999, Arshad et al., 1999, Ferreras, et al., 2000, Cavalieri et al., 2009). Επειδή το έδαφος είναι περισσότερο συμπαγές, οι πόροι συνιστούν ένα σταθερό δίκτυο από κανάλια μέσω των οποίων το νερό διηθείται ταχύτατα και με ευκολία. Υπεύθυνοι για την δημιουργία αυτού του δικτύου είναι οι ζωικοί οργανισμοί του εδάφους και ιδίως οι γαιοσκώληκες των οποίων ο πληθυσμός αυξάνει σημαντικά στα ακαλλιέργητα και πλούσια σε οργανική ουσία εδάφη (Rasmussen, 1999, Chan, 2001, Klavivko, 2001, Langmaack et al., 2002, Johnson-Maynard et al., 2007, Αγγελόπουλου 2003). Ένας δεύτερος, εξίσου σημαντικός παράγοντας ο οποίος συμβάλλει στην δημιουργία του πορώδους, είναι οι ρίζες των φυτών οι οποίες μετά τον θάνατό και την αποσύνθεσή τους, αφήνουν κενές σήραγγες. Στα πιο πάνω πρέπει να προστεθεί και η επίδραση της κάλυψης του εδάφους από φυτικά υπολείμματα που δεν επιτρέπουν το κτύπημα των σταγόνων της βροχής στο γυμνό έδαφος.

Η κατεργασία του εδάφους επηρεάζει το σχηματισμό και την σταθερότητα των εδαφικών συσσωματωμάτων η οποία περιλαμβάνει πολύπλοκες διαδικασίες σχηματισμού μηχανισμών συγκόλλησης που είναι διαφορετικές για τα συσσωματώματα διαφορετικής τάξης μεγέθους. Γενικά, η μειωμένη κατεργασία και η μη κατεργασία του εδάφους επιδρούν ευνοϊκά στην δομή βελτιώνοντας τη σταθερότητα των συσσωματωμάτων μέσω της αύξησης της οργανικής ουσίας του εδάφους. Αυτό είναι πολύ σημαντικό για τα επιφανειακά στρώματα τα οποία με αυτό τον τρόπο προστατεύονται από τη διάβρωση (Blanco-Moure et al., 2012). Στα συστήματα μειωμένης κατεργασίας, ο περιορισμός των μηχανικών επεμβάσεων στο έδαφος σε συνδυασμό με την συσσώρευση φυτικών υπολειμμάτων κοντά στην επιφάνεια του εδάφους οδηγεί στη διατήρηση των μακρο-συσσωματωμάτων (Six et al. 2000). Τα μακρο-συσσωματώματα συντίθενται από ένα πλέγμα μικροσυσσωματωμάτων τα οποία είναι αναμιγμένα με αποσυντιθέμενα οργανικά υποστρώματα όπως ρίζες, υφές μυκήτων και υπολείμματα βλαστών. Η οργανική ουσία που παράγεται κατ' αυτόν τον τρόπο, βρίσκεται εγκλωβισμένη μέσα στα μακρο-συσσωματώματα βελτιώνοντας κατά πρώτο λόγο την σταθερότητά τους ενώ

κατά δεύτερο λόγο, προστατεύεται η ίδια από διεργασίες οξείδωσης οι οποίες προκαλούν την διάσπασή της.

Πρέπει ωστόσο να σημειωθεί ότι οι επιπτώσεις στη δομή του εδάφους αποτελούν συνάρτηση των εδαφοκλιματικών συνθηκών μιας περιοχής, καθώς και των συνθηκών και του είδους της καλλιέργειας. Οι [Zhang et al. \(2012\)](#) διαπίστωσαν ότι, σε σχέση με την συμβατική κατεργασία, η μειωμένη κατεργασία αύξησε την συνολικά εμπεριεχόμενη στα εδαφικά συσσωματώματα οργανική ουσία του εδάφους αλλά η ακαλλιέργεια προκάλεσε αύξηση της οργανικής ουσίας μόνο στα μικρο-συσσωματώματα. Σε μια άλλη σειρά πειραμάτων οι [Huang et al. \(2010\)](#) ανακάλυψαν ότι με την εφαρμογή ακαλλιέργειας η αναλογία των συσσωματωμάτων >2000μm αυξάνει σε σχέση με την συμβατική κατεργασία του εδάφους ενώ αντίθετα η αναλογία των συσσωματωμάτων μεταξύ 250–2000μm ελαττώνεται. Καθώς και οι δυο κλάσεις συγκαταλέγονται στην κατηγορία των μακρο-συσσωματωμάτων του εδάφους οι ερευνητές κατέληξαν στο συμπέρασμα ότι η κατεργασία του εδάφους δεν επηρέασε σημαντικά την σταθερότητα των συσσωματωμάτων.

Σύμφωνα με τους [Castellanos-Navarrete et al. \(2012\)](#) η εφαρμογή μεθόδων συντήρησης (διατήρησης) του εδάφους και η διατήρηση των φυτικών υπολείμμάτων στην επιφάνεια, αύξησε τα σταθερά συσσωματώματα στην επιφάνεια και η δομική αυτή μεταβολή συνοδεύτηκε από μια μεγαλύτερη διήθηση του νερού στο υπέδαφος. Η ίδια ευνοϊκή επίδραση δεν ανιχνεύτηκε στη συμβατική κατεργασία παρόλο που η επιφάνεια του εδάφους επίσης επικαλύφθηκε με φυτικά υπολείμματα. Παρομοίως, σε μια αμειψισπορά αραβόσιτου – σίτου στην Ινδία, οι [Sharma et al. \(2011\)](#) κατέγραψαν ρυθμό διήθησης 1,16 και 1,21 μεγαλύτερο για την μειωμένη κατεργασία και την ακαλλιέργεια αντίστοιχα, σε σχέση με τη συμβατική κατεργασία. Φαίνεται ότι η μειωμένη διατάραξη του εδάφους προστατεύει το δίκτυο των κατακόρυφων πόρων που ευθύνονται κυρίως για τη ταχεία διήθηση του νερού με συνέπεια να περιορίζεται σημαντικά η επιφανειακή απορροή και τα επακόλουθα φαινόμενα της διάβρωσης. Σε ένα άλλο πείραμα στην Ελλάδα οι [Kargas et al. \(2012\)](#) βρήκαν ότι κατά τη διάρκεια της περιόδου των βροχών, περισσότερο νερό διηθούταν και αποθηκεύονταν στο έδαφος όταν εφαρμόζεται μειωμένη κατεργασία με περιστροφικό καλλιεργητή σε σχέση με το ακαλλιέργητο έδαφος ανεξάρτητα από την ύπαρξη φυτοκάλυψης. Το γεγονός αυτό αποδόθηκε στην μικρότερη ακόρεστη υδραυλική αγωγιμότητα του ακαλλιέργητου εδάφους. Αντίθετα, το κατεργασμένο με περιστροφικό καλλιεργητή έδαφος, παρότι σε συνθήκες κορεσμού εμφάνιζε μικρότερη υδραυλική αγωγιμότητα, σε ακόρεστες συνθήκες είχε αυξημένη υδραυλική αγωγιμότητα σε σχέση με την ακαλλιέργεια. Επιπλέον, η αργή καθοδική κίνηση του νερού στην ακαλλιέργεια είχε ως αποτέλεσμα τις αυξημένες απώλειες εξαιτίας της εξάτμισης. Σε σχέση με την συμβατική κατεργασία, οι [Huang Gao-bao et al. \(2012\)](#) διαπίστωσαν ότι με την εφαρμογή ακαλλιέργειας σε σιτάρι, η συνολικά αποθηκευμένη στο έδαφος ποσότητα νερού πριν από τη σπορά ήταν σημαντικά μεγαλύτερη. Υπήρχε μια αύξηση της τάξης του 6,1-6,6% για την ακαλλιέργεια όταν τα φυτικά υπολείμματα αφήνονταν όρθια και μια αύξηση της τάξης του 10,5-15,3% όταν τα φυτικά υπολείμματα κόβονταν για να σχηματίσουν αχυροστρωμή. Ομοίως ο [Cullum \(2012\)](#)

διαπίστωσε αυξημένη ικανότητα αποθήκευσης του νερού στα επιφανειακά στρώματα κατά τη διάρκεια της βροχερής περιόδου για την ακαλλιέργεια και τη μειωμένη κατεργασία. Το νερό αυτό αποδίδονταν στην μετέπειτα καλλιέργεια βελτιώνοντας τη παραγωγή. Παρόμοια αποτελέσματα αναφέρουν και οι [Chen et al. \(2011\)](#). Για λεπτόκοκκα ωστόσο εδάφη στην Νότια Ιταλία οι [Castellini and Ventrella \(2012\)](#) αναφέρουν μη σημαντικές διαφορές στην υδραυλική αγωγιμότητα του εδάφους μεταξύ της συμβατικής και της κατεργασίας διατήρησης. Οι ερευνητές υποθέτουν ότι οι επιδράσεις της κατεργασίας στην υδραυλική αγωγιμότητα για τα ρηχά στρώματα του εδάφους εξασθενούν με την πάροδο της καλλιεργητικής περιόδου εξαιτίας των γεγονότων της βροχόπτωσης, της αποκόλλησης λεπτών τεμαχιδίων από τα συσσωματώματα που προκαλούν φραγή των πόρων και σφράγιση της επιφάνειας του εδάφους με τη δημιουργία κρούστας και το φράξιμο των κατακόρυφων εδαφικών πόρων με την ανάπτυξη των ριζών μέσα από αυτούς.

Συχνά οι μέθοδοι μειωμένης κατεργασίας και ακαλλιέργειας κατηγορούνται για αύξηση της συμπύκνωσης του εδάφους η οποία επιδρά αρνητικά στην ανάπτυξη των φυτών και τη τελική παραγωγή των καλλιεργειών. Εξάλλου ένας από τους βασικούς σκοπούς της κατεργασίας του εδάφους είναι η μείωση της συμπύκνωσης μέσω της δημιουργίας τεχνητών εδαφικών πόρων οι οποίοι ωστόσο, δεν διατηρούνται περισσότερο από μια καλλιεργητική περίοδο.

Οι παράμετροι οι οποίες χρησιμοποιούνται κυρίως για την αποτύπωση της συμπύκνωσης του εδάφους είναι η ξηρή φαινομενική πυκνότητα και η αντίσταση του εδάφους στην διείσδυση. Η πρώτη αποτελεί μια άμεση ιδιότητα του εδάφους που χαρακτηρίζει την συμπύκνωση αυτού ενώ η δεύτερη είναι μια έμμεση προσέγγιση για την εκτίμηση της συμπύκνωσης η οποία παρουσιάζει μεγάλη ευχέρεια και ταχύτητα μετρήσεων αλλά υπόκειται σε σημαντικούς περιορισμούς εξαιτίας της αλληλεπίδρασης με άλλους παράγοντες όπως η υγρασία του εδάφους. Οι [Castellanos-Navarrete et al. \(2012\)](#) μέτρησαν την ξηρή φαινομενική πυκνότητα σε συμβατικά καλλιεργούμενα εδάφη και σε εδάφη καλλιεργούμενα με μεθόδους διατήρησης και διαπίστωσαν ότι δεν υπήρχαν σημαντικές διαφορές. Οι ερευνητές ωστόσο επισημαίνουν ότι η ξηρή φαινομενική πυκνότητα αποτελεί έναν πτωχό δείκτη της ποιότητας του εδάφους, όταν συγκρίνονται διαφορετικά συστήματα κατεργασίας κι αυτό διότι τα συστήματα διατήρησης σχετίζονται με μια χαλαρή και ισχυρά βιογενή μικροδομή του εδάφους εν αντιθέσει με τη συμβατική κατεργασία η οποία χαρακτηρίζεται από μια φυσιογενή μικροδομική σύσταση.

Για την αποφυγή συνθηκών αυξημένης συμπύκνωσης του εδάφους όταν εφαρμόζονται συστήματα διατήρησης οι [Xianqing Hou et al. \(2012\)](#) προτείνουν την εφαρμογή αμειψικατεργασίας δηλαδή την εναλλαγή ακαλλιέργειας και βαθιάς υπεδαφοκαλλιέργειας χρόνο με το χρόνο. Με το σύστημα αυτό οι ερευνητές διαπίστωσαν σημαντική μείωση της ξηρής φαινομενικής πυκνότητας του εδάφους. Ωστόσο οι [DeLaune and Sij \(2012\)](#) δεν συμφωνούν στην παραπάνω προτεινομένη τακτική διαπιστώνοντας ότι με τον τρόπο αυτό προκαλείται αύξηση της απώλειας επιφανειακού εδάφους κατά 38% εξαιτίας της αυξημένης επιφανειακής απορροής του νερού.

Συμπίεση του εδάφους

Για την πραγματοποίηση βαθιάς κατεργασίας ωστόσο απαιτείται η χρήση μεγάλης ισχύος και βαριών γεωργικών ελκυστήρων οι οποίοι όμως καθώς μετακινούνται στην επιφάνεια του εδάφους ασκούν έντονες κατακόρυφες πιέσεις, προκαλώντας την **συμπίεση** του (Koch et al., 2008). Η συμπίεση αποτελεί μια από τις έξι διαδικασίες υποβάθμισης του εδάφους (SoCo Team 2009). Ένα συμπιεσμένο έδαφος εμφανίζει αυξημένη ξηρή φαινομενική πυκνότητα και συνοχή (Martinez et al., 2008, Alvarez and Steinbach, 2009). Με την συμπίεση προκαλείται καταστροφή του πορώδους με δυσμενείς συνέπειες στη κίνηση του νερού και του αέρα καθώς και την ανάπτυξη των ριζών. Το μακροπορώδες είναι πιο ευάλωτο στη συμπίεση και είναι αυτό που αλλοιώνεται πρώτα, ενώ το μικροπορώδες είναι πιο σταθερό (Hatfield and Karlen, 1992). Η συμπίεση του εδάφους, ιδίως όταν έχει προκληθεί από μεγάλα φορτία μπορεί να δημιουργήσει σοβαρά προβλήματα τόσο στο φύτευμα όσο και στην ανάπτυξη και τελική απόδοση μιας καλλιέργειας. Ένα συμπιεσμένο έδαφος παρουσιάζει αυξημένη αντίσταση στην διείσδυση των ριζών, κακό αερισμό και δυσχεραίνει την μετακίνηση και πρόσληψη του νερού. Η βλάστηση των σπόρων και η ανάπτυξη των ριζών είναι δύο από τις σημαντικότερες παραμέτρους στην ανάπτυξη των φυτών οι οποίες επηρεάζονται από τη συμπίεση. Η βλάστηση των σπόρων σχετίζεται με τη πρόσληψη νερού και οξυγόνου καθώς και με τη μηχανική αντίσταση που προβάλλει το έδαφος στη ανάδυση του βλαστιδίου και την έξοδό του στην επιφάνεια. Αυξημένη μηχανική αντίσταση του εδάφους περιορίζει τη βλάστηση του σπόρου και μειώνει τη κίνηση του αέρα στο έδαφος (Chancellor 1977). Η βασική λειτουργία των ριζών είναι να αντλεί από το έδαφος το νερό και τα θρεπτικά συστατικά που είναι απαραίτητα για την ανάπτυξη των φυτών. Το μεγαλύτερο ποσοστό του νερού σε ένα συμπιεσμένο έδαφος συγκρατείται μέσα σε μικροπόρους. Στους πόρους αυτούς το νερό συγκρατείται με ισχυρές δυνάμεις συνάφειας γύρω από τα εδαφικά σωματίδια και τα φυτά πρέπει να ασκήσουν μεγαλύτερη δύναμη απορρόφησης για να το προσλάβουν. Το γεγονός αυτό μπορεί να οδηγήσει πιο εύκολα σε υδατική καταπόνηση (υδατικό στρες) όταν η υγρασία του εδάφους είναι χαμηλή. Με τη συμπίεση του εδάφους καταστρέφεται πρώτα το μακροπορώδες μέσω του οποίου στραγγίζει το νερό και κινείται ο αέρας που είναι απαραίτητος για τη λειτουργία της ρίζας. Είναι γνωστό ότι η ρίζα πρέπει να προσλάβει το οξυγόνο που χρειάζεται από το περιβάλλον στο οποίο βρίσκεται. Ένα άλλο πρόβλημα που μπορεί να εμφανιστεί είναι η μειωμένη διηθητικότητα και η στράγγιση των εδαφών. Όταν γεωργικά μηχανήματα αναγκάζονται να μετακινηθούν σε υγρό έδαφος προκαλούν ακόμη μεγαλύτερη συμπίεση δημιουργώντας ένα φαύλο κύκλο μειωμένης στράγγισης και περαιτέρω συμπίεσης. Πολλές φορές η συμπίεση από τα γεωργικά μηχανήματα μπορεί να εκτείνεται σε σημαντικό βάθος κάτω από τη στοιβάδα κατεργασίας. Με το τακτικό όργωμα ιδίως όταν η κατεργασία γίνεται διαρκώς στο ίδιο βάθος είναι δυνατόν να δημιουργηθεί σκληρός εδαφικός ορίζοντας. Ο σκληρός ορίζοντας είναι ένα στρώμα εδάφους ακριβώς κάτω από το βάθος κατεργασίας, στο οποίο παρατηρείται μια αύξηση της φαινόμενης πυκνότητας και μια αυξημένη αντίσταση στη διείσδυση. Η αυξημένη μηχανική αντίσταση που παρουσιάζει το στρώμα αυτό παρεμποδίζει την ανάπτυξη των ριζών στο υπέδαφος και επηρεάζει τις υδραυλικές ιδιότητες και την στράγγιση του εδάφους.

Καθώς η δομή του εδάφους υποβαθμίζεται, οι παραγωγοί καταφεύγουν στη συμβατική κατεργασία για να επανορθώσουν την φυσική κατάσταση της ριζόσφαιρας. Το όργωμα μπορεί να ανακουφίσει τις αρνητικές επιπτώσεις της συμπίεσης αυξάνοντας το πορώδες του εδάφους (Arvidsson and Hakansson 1996). Αυτό όμως που στην πραγματικότητα βελτιώνεται είναι μόνο το μακροπορώδες καθώς το μικροπορώδες χρειάζεται να περάσουν τουλάχιστον πέντε έτη μετά το συμβάν της συμπίεσης, για να βελτιωθεί μέσω των φυσικών διεργασιών από την επίδραση των κλιματολογικών παραγόντων (Alakukku (1996a). Τα συμπιεσμένα εδάφη είναι πιο ανθεκτικά στις δυνάμεις κατεργασίας και μετά από αυτή τείνουν να έχουν πιο πολλά συσσωματώματα (Chancellor, 1977). Όταν οργώνεται ένα συμπιεσμένο έδαφος, οι βώλοι που δημιουργούνται είναι πιο συμπαγείς και συνεκτικοί και η επιφάνεια του εδάφους αφήνεται πιο ανώμαλη. Αυτό δυσχεραίνει τις επόμενες καλλιεργητικές εργασίες και μπορεί να συμβάλει στη δημιουργία μίας κατώτερης ποιότητας σποροκλίνης (λιγότερο ψιλοχωμάτισμα) η οποία θα οδηγήσει σε ένα μειωμένο φύτευμα.

Το κόστος που προκύπτει από τη συμπίεση του εδάφους από τα γεωργικά μηχανήματα μπορεί να είναι πολύ σημαντικό. Όταν μάλιστα η χρήση του γεωργικού εξοπλισμού γίνεται σε επίπεδα υψηλής εδαφικής υγρασίας το κόστος της συμπίεσης μπορεί να υπερβαίνει το κόστος της επένδυσης και της χρήσης του μηχανολογικού εξοπλισμού (Cooke and Scott, 1993). Συνεπώς μια μελέτη για μια ορθολογική επένδυση και διαχείριση των γεωργικών μηχανημάτων θα πρέπει να λαμβάνει υπόψη και το κόστος της συμπίεσης που ενδεχομένως αυτά να δημιουργούν στο έδαφος. Οι Chamen et al. 1994 και ο Chamen (1995) απέδειξαν ότι ένα μεγάλο τμήμα της ενέργειας που καταναλώνεται για τη γεωργική παραγωγή οφείλεται στη συμπίεση του εδάφους.

Επίδραση στην ανάπτυξη της ρίζας

Το συνεκτικό και συμπυκνωμένο έδαφος στην ακαλλιέργεια συνήθως περιορίζει την ανάπτυξη των ριζών στα βαθύτερα στρώματα οδηγώντας στον σχηματισμό ενός πιο επιπόλαιου ριζικού συστήματος (Gregory, 1988a, Lopez and Arrue, 1997, Lapen et al., 2001). Πολλές φορές, η αδυναμία της ρίζας να διεισδύσει στο έδαφος, αποτελεί ένα σημαντικό παράγοντα που περιορίζει την ανάπτυξη των φυτών. Οι ρίζες των φυτών κατά κανόνα αναπτύσσονται προτιμώντας τα κανάλια των εδαφικών πόρων, αποφεύγοντας σκληρά και αδιαπέραστα τμήματα. Ωστόσο, όταν θα συναντήσουν κάποια σκληρή επιφάνεια που δημιουργεί αδιέξοδο, θα προσπαθήσουν να τη διεισδύσουν προκαλώντας την μετακίνηση εδαφικών σωματιδίων. Η διείσδυση θα είναι επιτυχής όταν η πίεση ανάπτυξης της ρίζας είναι μεγαλύτερη από την μηχανική αντίσταση του εδαφικού πλέγματος. Οι Hatfield and Karlen (1989) ωστόσο πιστεύουν ότι το γεγονός ότι ένα συμπαγές ακαλλιέργητο έδαφος δυσχεραίνει την ανάπτυξη των ριζών δεν είναι απαραίτητα και αρνητικό. Τα φυτά αναγκάζονται να αναπτύξουν ένα λεπτότερο αλλά με μεγαλύτερο συνολικό μήκος, ριζικό σύστημα, το οποίο είναι πιο αποτελεσματικό στην πρόσληψη νερού και θρεπτικών στοιχείων διότι έχει μεγαλύτερη ενεργό επιφάνεια (αναλογία επιφάνειας προς όγκο).

Το βάθος και η έκταση που αναπτύσσεται το ριζικό σύστημα στο έδαφος αποτελεί μια κρίσιμη παράμετρο για την ανάπτυξη των φυτών και την επίτευξη υψηλών

αποδόσεων των καλλιεργειών. Οι ρίζες ελέγχουν την πρόσληψη του νερού και των θρεπτικών στοιχείων. Το έδαφος μπορεί να επηρεάσει σημαντικά την ανάπτυξη του ριζικού συστήματος. Συμπιεσμένα και κακής δομής εδάφη αναστέλλουν την ανάπτυξη των ριζών με άμεσο αντίκτυπο τον περιορισμό της ανάπτυξης του υπέργειου μέρους.

Με την κατεργασία του εδάφους επιδιώκεται η δημιουργία ενός χαλαρού εδαφικού στρώματος το οποίο θα διευκολύνει την διείσδυση και ανάπτυξη των ριζών. Τα συστήματα μειωμένης κατεργασίας, λόγω ακριβώς της μειωμένης παρέμβασης στο έδαφος, πολλές φορές εμφανίζουν πιο συμπιεσμένα εδάφη τα οποία μπορεί να περιορίσουν αυτή την ανάπτυξη. Αυτό συμβαίνει και με την περίπτωση της ακαλλιέργειας, ιδίως κατά τα πρώτα έτη της εφαρμογής της. Σε αμμώδη εδάφη οι [Kadzienè et al. \(2011\)](#) διαπίστωσαν ότι η ανάπτυξη των ριζών του κριθαριού ήταν περιορισμένη όταν εφαρμόζεται ακαλλιέργεια εξαιτίας της υψηλής αντίστασης του εδάφους στη διείσδυση. Το ίδιο διαπιστώθηκε και για την μειωμένη κατεργασία κάτω από το βάθος αναμόχλευσης του εδάφους. Υπήρχε επίσης κακός αερισμός του εδάφους για τα δύο παραπάνω συστήματα αν και αυτό δεν φαίνεται να επηρέασε σημαντικά την ανάπτυξη των ριζών. Είναι γεγονός ότι τα αμμώδη εδάφη δύσκολα αναπτύσσουν μια σταθερή δομή και είναι πιο επιρρεπή στη συμπίεση γεγονός το οποίο ελαχιστοποιεί τα οφέλη από την εφαρμογή μεθόδων κατεργασίας διατήρησης. Αντίθετα τα εδάφη που περιέχουν υψηλή ποσότητα αργίλου έχουν την ικανότητα να αναπτύσσουν ένα συμπαγές και σταθερό εδαφικό πλέγμα πόρων που περιλαμβάνει μόνιμους πόρους μέσω των οποίων προωθείται η ανάπτυξη των ριζών. Σημαντικό ρόλο παίζουν εδώ οι γαιοσκώληκες που στην περίπτωση εφαρμογής ακαλλιέργειας εμφανίζουν αυξημένη δραστηριότητα ([Castellanos-Navarrete et al. 2012](#)) δημιουργώντας ένα πλούσιο δίκτυο στοών μέσω των οποίων μπορούν και αναπτύσσονται με ευχέρεια οι ρίζες. Οι [Huang Gao-bao et al. \(2012\)](#) πραγματοποίησαν μελέτες πάνω στις φυσικές ιδιότητες του εδάφους, την αποτελεσματικότητα πρόσληψης νερού, την ανάπτυξη των ριζών και την απόδοση των σιτηρών. Στην έρευνά τους αυτή διαπίστωσαν ότι η εφαρμογή ακαλλιέργειας σε μη κομμένη καλαμιά επέδρασε θετικά στο μέσο βάρος των ριζών σε σύγκριση με τη συμβατική κατεργασία. Η βελτίωση αυτή συνοδεύτηκε από μια μεγαλύτερη αποτελεσματικότητα πρόσληψης του νερού κατά 17,2-17,5% και από μια βελτίωση της παραγωγής κατά 15,6-16,8%. Στην περίπτωση που η καλαμιά κόβεται για να σχηματίσει αχυροστρωμή η αποτελεσματικότητα πρόσληψης του νερού βελτιώθηκε κατά 7,8-9,6% και η παραγωγή κατά 7,0-12,8%. Σε άλλα πειράματα οι [Munoz-Romero et al. \(2011\)](#) χρησιμοποίησαν ένα σύστημα καταγραφής του ριζικού συστήματος (minirhizotron) για να μελετήσουν τις επιπτώσεις της κατεργασίας στην ανάπτυξη των ριζών της φάβας. Διαπίστωσαν ότι η ακαλλιέργεια βοήθησε καλύτερα την ανάπτυξη των ριζών σε σχέση με τη συμβατική κατεργασία του εδάφους. Η συμπεριφορά αυτή αποδόθηκε στη καλύτερη διήθηση του νερού και τη δυνατότητα αποθήκευσής του στο έδαφος εξαιτίας της βελτίωσης της δομής του εδάφους. Η ανάπτυξη των ριζών επίσης συσχετιζονταν με το καλό φύτρωμα της καλλιέργειας, την κατανομή των βροχοπτώσεων κατά τη διάρκεια της καλλιεργητικής περιόδου και τέλος με την παραγωγή καρπού.

Σχόλιο [f1]: Τι σημαίνει μήπως μη τεμαχισμένη;

Επίδραση στη διάβρωση

Η διατήρηση των φυτικών υπολείμμάτων στην επιφάνεια του εδάφους μπορεί να δυσχεραίνει ορισμένες καλλιεργητικές εργασίες και ιδίως τη σπορά, παρέχει όμως μια σειρά από σημαντικά οφέλη, με κύριο όφελος την προστασία της επιφάνειας του εδάφους από την διάβρωση (Yoo et al., 1988, Rasmussen, 1999, Basic et al., 2001, Knapen et al., 2007, Terzoudi et al., 2006 a και b). Τα φυτικά υπολείμματα παρεμποδίζουν την επιφανειακή απορροή του νερού ενώ παράλληλα αυξάνουν τη διήθηση. Επιπλέον, εμποδίζουν τις σταγόνες της βροχής να φτάσουν με μεγάλη ταχύτητα και ορμή στο έδαφος και να προκαλέσουν διάσπαση των εδαφικών συσσωματωμάτων. Ένα άλλο σημαντικό όφελος που προκύπτει είναι ο περιορισμός της εξάτμισης του νερού και η εξοικονόμηση υγρασίας (Rasmussen, 1999, Arshad et al., 1999, Sharma and Achara, 2000, Dahiya et al., 2007, Tomasz and Koolig, 2008). Αυτή η εξοικονόμηση υγρασίας μπορεί πολλές φορές να προκύψει και από την αυξημένη διήθηση του νερού (Medeiros et al., 1996, Moreno et al. 1997). Η αυξημένη υγρασία στην περιοχή της σποροκλίνης γενικά διευκολύνει το φύτερωμα των σπόρων (Giles et al., 1995, Gemtos and Lellis, 1997) και είναι ένας κρίσιμος παράγοντας ιδιαίτερα για τις εαρινές καλλιέργειες στη χώρα μας όπου πολλές φορές η έλλειψη βροχοπτώσεων οδηγεί σε μειωμένο φύτερωμα. Ωστόσο πολλές φορές η ύπαρξη πολλών φυτικών υπολείμμάτων σε συνδυασμό με την αυξημένη συμπύκνωση στην περιοχή της σποροκλίνης που εμφανίζουν τα εδάφη που υπόκεινται σε μειωμένη κατεργασία (Munkholm et al., 2003) δυσχεραίνει την σπορά και την εγκατάσταση της νέας φυτείας. Το συνεκτικό έδαφος ανθίσταται στην διείσδυση των μηχανισμών διάνοιξης αυλακιάς της σπαρτικής με αποτέλεσμα ο σπόρος να τοποθετείται σε ένα πολύ μικρότερο βάθος. Πολλές φορές, οι μηχανισμοί διάνοιξης της αυλακιάς πραγματοποιούν συμπύεση του εδάφους δεξιά και αριστερά στα τοιχώματα της αυλακιάς παρά εκσκαφή, με αποτέλεσμα οι μηχανισμοί επικάλυψης του σπόρου που ακολουθούν να μη βρίσκουν ψιλοχωματισμένο έδαφος για να σκεπάσουν το σπόρο. Ο σπόρος μετά τη σπορά παραμένει ακάλυπτος, σε ένα περιβάλλον με περιορισμένη υγρασία και εκτεθειμένος σε διάφορους κινδύνους όπως είναι τα πουλιά. Επιπλέον, όταν η σπορά πραγματοποιείται σε υγρές συνθήκες, οι μηχανισμοί διάνοιξης της αυλακιάς συμπιέζουν το έδαφος στο κάτω μέρος της αυλακιάς δημιουργώντας ένα συμπαγές στρώμα που εμποδίζει την είσοδο του ριζιδίου και επομένως το φύτερωμα των φυτών. Συνέπεια είναι οι σημαντικές απώλειες κατά τη σπορά και ένα φτωχό φύτερωμα της καλλιέργειας. Τα φυτικά υπολείμματα από την άλλη πλευρά εμπλέκονται στους μηχανισμούς της σπαρτικής εμποδίζοντας την ομαλή τους λειτουργία. Πολλές φορές, τα φυτικά υπολείμματα που παρασέρνονται από την σπαρτική, παρασέρνουν και τον σπόρο μακριά από το σημείο τοποθέτησής του. Τα φυτικά υπολείμματα είναι δυνατόν να επηρεάσουν αρνητικά το φύτερωμα όταν ενσωματώνονται σε επαφή με το σπόρο. Είναι γνωστό ότι κάτω από αναερόβιες συνθήκες η ζύμωση της οργανικής ουσίας παράγει οργανικά οξέα (πρώτο στάδιο μεθανικής ζύμωσης) που είναι τοξικά για το σπόρο και τα νεαρά φυτά (Cochran et al., 1977, Gemtos et al., 1998). Για να επιλυθούν τα πιο πάνω προβλήματα έχουν δοκιμαστεί διάφορες τροποποιήσεις και παραλλαγές στις σπαρτικές με σκοπό να τις κάνουν ικανές να εργάζονται ακόμη και στις αντίξοες συνθήκες ενός ακαλλιέργητου εδάφους. Οι σπαρτικές αυτές είναι βαριές και στιβαρές κατασκευές που καταφέρνουν να διεισδύσουν στο συνεκτικό έδαφος που διαθέτουν ειδικούς

μηχανισμούς και συστήματα για την διαχείριση των υπολειμμάτων και τον ακριβή έλεγχο του σπόρου.

Επίδραση στην οργανική ουσία του εδάφους

Η άργιλος μαζί με την οργανική ουσία αποτελούν τα δυο βασικότερα συγκολλητικά και σταθεροποιητικά συστατικά των εδαφικών τεμαχιδίων. Όσο μεγαλύτερη είναι η περιεκτικότητα σε άργιλο και όσο υψηλότερο είναι το ποσοστό της οργανικής ουσίας, τόσο σταθερότερη είναι η δομή του εδάφους και τόσο ανθεκτικότερο είναι στη συμπίεση (Haiquan *et al.*, 1997, Mahboubi and Lai, 1998, Gomez *et al.*, 2001, Chan *et al.*, 2002). Επίσης, η οργανική ουσία του εδάφους σχετίζεται με αυξημένη συγκράτηση νερού (Larney and Lindwall (1995), αυξημένο πορώδες (Arshad *et al.*, 1999) μικρότερη ξηρή φαινομενική πυκνότητα και καλύτερο αερισμό (Reeves, 1997), καθώς και με αυξημένη ευθρυπτότητα και μειωμένη αντίσταση κατά την μηχανική κατεργασία (McLaughlin *et al.* 2002)

Ένα χαρακτηριστικό γνώρισμα των εδαφών που δεν υπόκεινται σε εντατική κατεργασία είναι η αύξηση της οργανικής ουσίας, ιδίως στην ανώτερη επιφάνεια (Simon *et al.*, 2009, Duiker and Lal, 1999, Tebrügge and Düring, 1999, Yang and Wander, 1999, Salinas-Garcia *et al.*, 2001, Mrabet, *et al.*, 2001 Thomas *et al.*, 2007, Φουντάς και άλλοι 2009, Gemtos *et al.* 2002). Η αύξηση επέρχεται σταδιακά και οφείλεται στην αποσύνθεση των ετήσιων φυτικών υπολειμμάτων (Grant, 1997) αλλά και στη μικρότερη αποσύνθεση της οργανικής ουσίας από το μειωμένο αερισμό του εδάφους. Η οργανική ουσία ενσωματώνεται στα εδαφικά συσσωματώματα (Onweremadu *et al.*, 2007, Wuest, 2007) καθιστώντας τα πιο σταθερά και ανθεκτικά στις δράσεις της συμπίεσης και της διάβρωσης.

Η περιεκτικότητα του εδάφους σε οργανική ουσία σχετίζεται άμεσα με τη μάζα των φυτικών υπολειμμάτων που επιστρέφουν στο έδαφος (Duiker and Lal, 1999, Lopez-Bellido *et al.*, 1997, Smith *et al.*, 1995, Torbert *et al.*, 1998, Marcio Dos Reis Martins *et al.* 2009, Usiri and Lal, 2009). Σε μια ανασκόπηση της βιβλιογραφίας ο Reeves (1997) σημειώνει ότι για να επέλθει αύξηση στην οργανική ουσία του εδάφους κατά την εφαρμογή συστημάτων μειωμένης κατεργασίας θα πρέπει αυτά να συνοδεύονται από εντατικοποίηση της παραγωγής με καλλιέργειες οι οποίες επιστρέφουν στο έδαφος μεγάλο όγκο φυτικών υπολειμμάτων μετά τη συγκομιδή. Μια εναλλακτική λύση είναι η εισαγωγή καλλιεργειών φυτοκάλυψης και η ενσωμάτωσή τους στο έδαφος ως χλωρή λίπανση. Μελέτες έδειξαν ότι ενώ το κύριο μέρος της οργανικής ουσίας (του χούμου) του εδάφους προέρχεται από τη ρίζα αυτό ισχύει μόνο όταν ενσωματώνονται και φυτικά υπολείμματα. Η ρίζα χωρίς φυτικά υπολείμματα (δηλαδή κυτταρίνες του υπέργειου τμήματος) φαίνεται να μη μπορεί να υξήσει την οργανική ουσία. (Βιβλ) Σύμφωνα με τους Salinas-Garcia *et al.* (2001) για να επέλθει αύξηση της οργανικής ουσίας στην επιφανειακή στοιβάδα του εδάφους, θα πρέπει με το σύστημα της μειωμένης κατεργασίας ή της ακαλλιέργειας να διατηρείται στην επιφάνεια του εδάφους τουλάχιστον το 60% των φυτικών υπολειμμάτων όταν οι κλιματολογικές συνθήκες της περιοχής ευνοούν την ταχεία διάσπαση της οργανικής ουσίας και τουλάχιστον το 30% όταν εξαιτίας των κλιματολογικών συνθηκών η διάσπαση της οργανικής ουσίας είναι βραδεία. Τα οφέλη στην οργανική ουσία του εδάφους μεγιστοποιούνται όταν συστήματα

μειωμένης κατεργασίας συνδυάζονται με καλλιέργειες εδαφοκάλυψης (cover crops) (Sainju et al., 2007)

Παρά την αδιαμφισβήτητη αύξηση της οργανικής ουσίας στην επιφάνεια του εδάφους, υπάρχουν έρευνες που διατείνονται ότι το συνολικό όφελος σε ένα μεγαλύτερο βάθος όπως π.χ. το βάθος αρόσεως στην συμβατική κατεργασία, είναι μηδενικό (Yang et al., 2008, Spargo et al., 2008). Αυτό που στην ουσία συμβαίνει είναι μια αναδιάταξη της οργανικής ουσίας η οποία συγκεντρώνεται στην επιφάνεια του εδάφους ενώ το υπέδαφος παραμένει φτωχό (Gal et al., 2007). Η αύξηση της οργανικής ουσίας είναι ιδιαίτερα εμφανής στα εδάφη της Νότιας Ευρώπης. Από την πολύχρονη κατεργασία η οργανική ουσία είναι στα επίπεδα του 1%. Ολιγόχρονη εφαρμογή ακαλιέργειας αυξάνει την οργανική ουσία σημαντικά (Φουντάς και άλλοι, 2009.). Ο όρος οργανική ουσία του εδάφους αναφέρεται στα οργανικά συστατικά του εδάφους τα οποία περιλαμβάνουν κάθε ζωικό ή φυτικό υπόλειμμα το οποίο παραμένει ή επιστρέφει στο έδαφος και υπόκειται σε διεργασίες αποικοδόμησης (LIFE-Soil Sustainability (So.S.) 2009-2012) . Το πορώδες, η δομή του εδάφους, η διηθητική ικανότητα, η βιοποικιλότητα του εδάφους, η ικανότητα συγκράτησης νερού και θρεπτικών στοιχείων καθώς και η διαθεσιμότητα των θρεπτικών συστατικών επηρεάζονται από την οργανική ουσία που αποτελεί και από τα πιο σημαντικά συστατικά του εδάφους.

Επίδραση στη θερμοκρασία και υγρασία του εδάφους

Οι επιπτώσεις της διαχείρισης των υπολειμμάτων με τη θερμοκρασία και την υγρασία έχουν ερευνηθεί για περισσότερα από 60 χρόνια, ιδίως στο πλαίσιο του οργώματος. Επιφανειακά υπολείμματα τροποποιούν το μικροκλίμα εδάφους (υγρασία και θερμοκρασία) κυρίως με μεταβολή του επιφανειακού, ενεργειακού ισοζυγίου. Ειδικότερα, το υπόλειμμα προσθέτει ένα οριακό στρώμα μεταξύ του εδάφους και της ατμόσφαιρας που αλλάζει τις αντίστοιχες εισόδους ενέργειας στο σύστημα του εδάφους (Lal and 2010). Τυπικά τα υπολείμματα έχουν ανοιχτότερο χρώμα από το έδαφος αυξάνοντας έτσι την ανακλαστικότητα της επιφάνειας που καλύπτεται από αυτά σε σύγκριση με γυμνό έδαφος. Υπολείμματα παγιδεύουν επίσης ένα σημαντικό ποσό αέρα μέσα στο στρώμα υπολειμμάτων, μειώνοντας έτσι σημαντικά την αποτελεσματική θερμική αγωγιμότητα του στρώματος υλικού και μειώνοντας την ποσότητα της θερμότητας.

Έτσι, η ποσότητα της ενέργειας που εισέρχεται στην επιφάνεια του εδάφους θα είναι μικρότερη σε ένα ήδη υπάρχον στρώμα υπολειμμάτων σε σύγκριση με το γυμνό έδαφος. Τα υπολείμματα μπορεί να δεσμεύουν το 50% έως 80% της εισερχόμενης ακτινοβολίας διατηρώντας τη θερμοκρασία στην επιφάνεια του εδάφους στους 20°C του περιβάλλοντος, ενώ στα γυμνά εδάφη η θερμοκρασία του εδάφους μπορεί να φτάσει τους 30°C ή και περισσότερο. Αυτό έχει επιπτώσεις στις καλλιέργειες την άνοιξη που θέλουν αυξημένη θερμοκρασία για να βλαστήσει ο σπόρος και να ανπτυχθούν τα φυτά.

Τα υπολείμματα αυξάνουν τη διήθηση και μειώνουν εξάτμιση, που γενικά οδηγεί σε καθαρή αύξηση της υγρασίας του εδάφους (Lal and Stewart, 2010). Γενικότερα η αυξημένη κάλυψη του εδάφους με υπολείμματα προκαλεί αύξηση της υγρασίας του εδάφους, μείωση των μέγιστων θερμοκρασιών του εδάφους και αύξηση των

ελάχιστων. Οι συνέπειες των επιπτώσεων της θερμοκρασίας και της υγρασίας από την κάλυψη υπολειμμάτων δεν είναι ιδιαίτερα ξεκάθαρες. Όλοι οι παράγοντες εξαρτώνται από τις αλληλεπιδράσεις των μεταβαλλόμενων συνθηκών του μικροκλίματος του εδάφους με άλλους παράγοντες (τύπος εδάφους, το κλίμα, το είδος των καλλιεργειών).

Επίδραση στο ισοζύγιο CO₂

Άλλο σημαντικό όφελος που προκύπτει από την εφαρμογή μειωμένης κατεργασίας είναι η δέσμευση στο έδαφος του CO₂ της ατμόσφαιρας με αποτέλεσμα την ουσιαστική συμβολή στον περιορισμό του φαινομένου του θερμοκηπίου (Subak, 2000, Ivaro-Fuentes et al., 2007, Ball et al., 2008, Almaraz et al. 2009). Με την αύξηση της οργανικής ουσίας το έδαφος μετατρέπεται σταδιακά σε δεξαμενή αποθήκευσης του CO₂ (Schlesinger, 2000).

Επίδραση στη θρέψη των φυτών - λίπανση

Το έδαφος στα συστήματα μειωμένης κατεργασίας επομένως γίνεται πιο γόνιμο ωστόσο σύμφωνα με τα υπάρχοντα πειραματικά δεδομένα, οι απαιτήσεις σε αζωτούχο λίπανση όταν εφαρμόζονται μέθοδοι μειωμένης κατεργασίας ή ακαλλιέργειας, είναι μεγαλύτερες κατά τα πρώτα έτη εφαρμογής του συστήματος (Koch and Marlander, 1994, Valboa et al., 2007). Η ενσωμάτωση των φυτικών υπολειμμάτων στο έδαφος κατά τα πρώτα έτη συνήθως επιφέρει μια αύξηση της δραστηριότητας της μικροβιακής χλωρίδας. Οι μικροοργανισμοί που αποσυνθέτουν τα υπολείμματα, ανταγωνίζονται τα φυτά της καλλιέργειας ως προς το διαθέσιμο άζωτο (McConnell et al., 1994). Η αυξημένη συμπύκνωση του εδάφους μπορεί να είναι ένας ακόμη λόγος για την μειωμένη πρόσληψη του αζώτου και γι' αυτό να απαιτούνται αυξημένες δόσεις αζωτούχων λιπασμάτων (Alvarez and Steinbach, 2009). Εκτός από το άζωτο, η μετάβαση σε ένα καθεστώς μειωμένης κατεργασίας μπορεί να επηρεάσει την πρόσληψη και των άλλων δυο μακροστοιχείων, που είναι ο φώσφορος (Wright et al., 2007, Valboa et al., 2007) και το κάλιο (Salinas-Garcia, et al., 1997, Ishaq et al., 2002, Franzluebbbers and Hons, 1996). Τα στοιχεία αυτά αντίθετα με το άζωτο, δεν είναι ευκίνητα και η πρόσληψή τους εξαρτάται κυρίως από την έκταση της ανάπτυξης του ριζικού συστήματος. Όπως έχει αναφερθεί, το έδαφος που δεν έχει υποστεί κατεργασία ευνοεί την ανάπτυξη ενός λεπτότερου αλλά με μεγαλύτερη ενεργό επιφάνεια ριζικού συστήματος που κατά συνέπεια είναι πιο αποτελεσματικό στην πρόσληψη των θρεπτικών στοιχείων. Μπορεί οι ρίζες να περιορίζονται στην ανώτερη επιφάνεια του εδάφους αλλά εκεί είναι συγκεντρωμένα και τα θρεπτικά στοιχεία (Selles et al., 1997, Franzluebbbers and Hons, 1996).

Επίδραση στα ζιζάνια

Ένα από τα βασικά προβλήματα που έχουν να αντιμετωπίσουν οι στρατηγικές αειφορικής διαχείρισης του εδάφους που εφαρμόζουν συστήματα μειωμένης κατεργασίας είναι η αντιμετώπιση των ζιζανίων. Με την κατάργηση της συστηματικής κατεργασίας υπάρχει μια ραγδαία εξάπλωση των ζιζανίων (Gill and Arshad, 1995) που θα πρέπει να ελεγχθεί με συστηματικές και προσεγμένες επεμβάσεις με χημικά μέσα (Bostrom 1999). Η καταπολέμηση των ζιζανίων αποτελεί ίσως το μεγαλύτερο πρόβλημα που πρέπει να αντιμετωπίσουν όσοι

παραγωγοί επιχειρούν να στραφούν προς την υιοθέτηση μεθόδων μειωμένης κατεργασίας του εδάφους και ιδίως ακαλλιέργειας. Με τη συμβατική κατεργασία το πρόβλημα συνήθως είναι περιορισμένο, διότι ένα σημαντικό μερίδιο στον έλεγχο των ζιζανίων, αναλαμβάνει το ίδιο το άροτρο, με την αναστροφή που πραγματοποιεί στο έδαφος. Πολλές φορές, αυτό και μόνο είναι αρκετό αλλά και ο συνδυασμός με χημικά ζιζανιοκτόνα κάνει ικανοποιητικό έλεγχο. Στα συστήματα μειωμένης κατεργασίας όμως, ο έλεγχος των ζιζανίων βασίζεται είτε στα ζιζανιοκτόνα είτε στη χρήση μακροχρόνιων αμειψισπορών. Με τη χρήση ζιζανιοκτόνων, η εφαρμογή θα πρέπει να γίνεται σε μεγαλύτερες δόσεις και στα κατάλληλα χρονικά διαστήματα για να υπάρχουν ικανοποιητικά αποτελέσματα.

Κατά την εφαρμογή ακαλλιέργειας του εδάφους, η κατανομή και η ποικιλότητα των σπόρων των ζιζανίων προσομοιάζει με αυτή των φυσικών λειμώνων. Όταν η καταπολέμηση γίνεται αποκλειστικά με τη χρήση ζιζανιοκτόνων υφίσταται μια μεταβολή στα είδη των επικρατούντων ζιζανίων από τα μονοετή στα πολυετή (Streit *et al.*, 2001, Carter *et al.*, 2002, Bilalis *et al.*, 2001). Τα πολυετή ζιζάνια είναι πολλές φορές δύσκολο να καταπολεμηθούν μόνο με χημικά μέσα και τότε απαιτείται η εφαρμογή κατεργασίας με καταλληλότερο εργαλείο το άροτρο (Gruber and Claupein 2009). Η χρήση μακροχρόνιων αμειψισποριών οδηγεί σε ικανοποιητικό έλεγχο των ζιζανίων. Ο συνδυασμός εαρινών και χειμερινών καλλιεργειών μπορεί να περιορίσει ουσιαστικά τους πληθυσμούς των ζιζανίων αλλά και το απόθεμα σπόρων στο έδαφος (seed bank).

Όπως έχει αναφερθεί, έπειτα από μακροχρόνια εφαρμογή ακαλλιέργειας προκαλείται αύξηση της οργανικής ουσίας στην ανώτερη επιφάνεια του εδάφους. Η οργανική ουσία, καθώς αποσυντίθεται παράγει οξέα με συνέπεια τη μείωση του εδαφικού pH. Το γεγονός αυτό έχει ως συνέπεια την μείωση της δραστηριότητας ορισμένων ζιζανιοκτόνων όπως το *fluometuron*, *atrazine* κ.α. (Brown *et al.*, 1994, Novak *et al.* 1996, Hang *et al.*, 2007 Warnemuende *et al.*, 2007). Κατά συνέπεια για να εξασφαλιστεί η ικανοποιητική δράση των ζιζανιοκτόνων θα πρέπει να αυξηθεί η δόση εφαρμογής (Brown *et al.*, 1987). Το πρόβλημα αυτό είναι μάλλον περιορισμένο στην Ελλάδα λόγω των κυρίως αλκαλικών εδαφών. Επιπλέον η χρήση μόνο προσπαρτικών ή προφυτρωτικών ζιζανιοκτόνων μπορεί να μην επαρκεί οπότε συχνά επιβάλλεται η χρησιμοποίηση μεταφυτρωτικών επιλεκτικών σκευασμάτων ή η χρήση μη επιλεκτικών σκευασμάτων με επιλεκτικό ψεκασμό (Griffith *et al.*, 1977, Wiese *et al.*, 1994, Burmester *et al.* (1997). Άλλοι ερευνητές (Ghersa and Martinez-Ghersa, 2000) επισημαίνουν τον κίνδυνο ανάπτυξης ανθεκτικότητας των ζιζανίων κατά την χημική καταπολέμησή τους σε συστήματα μειωμένης κατεργασίας και ακαλλιέργειας.

Υπάρχουν ωστόσο και έρευνες που δείχνουν ότι με κατάλληλη διαχείριση μπορεί να υπάρξει μείωση του φυσικού αποθέματος των σπόρων των ζιζανίων στα συστήματα μειωμένης κατεργασίας (Bilalis *et al.*, 2001). Η έκθεση των σπόρων στην επιφάνεια του εδάφους και η μη προστασία τους εντός των συσσωματωμάτων μπορεί να συμβάλει στη ταχύτερη γήρανσή τους, τη ταχύτερη διάσπαση αυτών από μικροοργανισμούς του εδάφους και την αύξηση της θνησιμότητας όταν μετά την έναρξη του φυτρώματος επικρατήσουν μη ευνοϊκές συνθήκες για την περεταίρω

ανάπτυξη των φυτών (Ghersa and Martinez-Ghersa, 2000). Τα φυτικά υπολείμματα πάλι δυσχεραίνουν πολλές φορές το φύτεμα των σπόρων (Streit *et al.*, 2001). Συνδυασμός με κατάλληλες αμειψισπορές συμβάλει προς τη κατεύθυνση της μείωσης του αποθέματος σπόρων στο έδαφος.

Σήμερα με την εξέλιξη της τεχνολογίας της πληροφορικής και της τηλεπισκόπησης και με την εισαγωγή των ηλεκτρικών στον πρωτογενή γεωργικό τομέα, αναδεικνύεται μια νέα προοπτική όπου είναι εφικτή η μηχανική καταπολέμηση των ζιζανίων με εφαρμογές γεωργίας ακριβείας (Dirk and Kurstjens, 2007, Dedoussis 2007) . Οι καινοτομίες αυτές μπορούν να απαλλάξουν τις μεθόδους μειωμένης κατεργασίας από την εξάρτησή τους από τα χημικά σκευάσματα ζιζανιοκτονίας και όλα τα αρνητικά τους συνακόλουθα.

Είναι γνωστό ότι το βαθύ όργωμα του εδάφους βοηθά στη μείωση των ζιζανίων ιδίως των πολυετών (Brandsater *et al.*, 2011). Από την άλλη πλευρά τα συστήματα κατεργασίας διατήρησης του εδάφους στηρίζονται περισσότερο στη χρήση ζιζανιοκτόνων για τον έλεγχο των ζιζανίων. Ο Cullum (2012) επισημαίνει ότι βασική προϋπόθεση για την επίτευξη υψηλών αποδόσεων του καλαμποκιού με την εφαρμογή ακαλλιέργειας είναι ο αποτελεσματικός έλεγχος των ζιζανίων. Η ανάπτυξη ωστόσο ανθεκτικότητας από την μεριά των ζιζανίων εξαιτίας της εντατικής χρήσης ζιζανιοκτόνων, αποτελεί έναν από τα σημαντικότερους κινδύνους για τους παραγωγούς που ακολουθούν αυτές τις μεθόδους. Σε αυτή τη περίπτωση επιβάλλεται η υιοθέτηση στρατηγικών όπως οι εφαρμογές αμειψισπορών, η χρήση διαφορετικών σκευασμάτων, η έγκαιρη εφαρμογή στον αγρό κ.α. που στόχο έχουν να αποτρέψουν την εμφάνιση ανθεκτικότητας. Σημαντική επίσης είναι η επέκταση της γνώσης μέσω της εμβάθυνσης της έρευνας πάνω στον τρόπο που δρουν τα ζιζανιοκτόνα εδάφους όταν εφαρμόζονται πάνω από τα φυτικά υπολείμματα που συνήθως καλύπτουν την επιφάνεια του εδάφους στα συστήματα διατήρησης (Farooq *et al.*, 2011).

Επίδραση σε παράσιτα (έντομα, ασθένειες)

Ένα άλλο σημαντικό πρόβλημα που μπορεί να προκύψει με την υιοθέτηση μεθόδων κατεργασίας οι οποίες διατηρούν τα φυτικά υπολείμματα στην επιφάνεια του εδάφους, είναι η δημιουργία ευνοϊκών προϋποθέσεων μετάδοσης ορισμένων ασθενειών και εχθρών των καλλιεργειών (Amemyia, 1997). Ως γνωστό, πολλοί παθογόνοι μικροοργανισμοί, είτε αυτοί είναι μύκητες είτε βακτήρια αναπαράγονται μέσα στους ιστούς των φυτών. Επιπλέον, πολλά έντομα τοποθετούν τα αυγά στους βλαστούς των φυτών όπου εκκολάπτονται και διαχειμάζουν οι προνύμφες. Με τη συμβατική κατεργασία τα φυτικά υπολείμματα θάβονται μέσα στο έδαφος και έτσι δεν δίνεται η ευκαιρία στους παθογόνους οργανισμούς να σποροποιήσουν και στα αυγά των εντόμων να εκκολαφθούν ενώ πολλά από τα παράσιτα καταστρέφονται από τα μικρόβια του εδάφους που αποσυνθέτουν τα φυτικά υπολείμματα. Αντίθετα με την υιοθέτηση μεθόδων κατεργασίας οι οποίες διατηρούν τα φυτικά υπολείμματα στην επιφάνεια του εδάφους δημιουργούνται ευνοϊκές προϋποθέσεις μετάδοσης ορισμένων ασθενειών και εχθρών των καλλιεργειών καθώς τα φυτικά αυτά υπολείμματα αποτελούν σοβαρές εστίες μόλυνσης για τα φυτά της επόμενης καλλιέργειας. Επιπλέον, οι μεταβολές στις φυσικοχημικές και βιολογικές ιδιότητες

του εδάφους, που συμβαίνουν όταν αυτό παραμένει ακαλλιέργητο, μπορούν επίσης να επηρεάσουν την ανάπτυξη των παθογόνων (Sturz *et al.*, 1997). Η αυξημένη συμπύκνωση, η μείωση του πορώδους και του αερισμού, μπορούν να επηρεάσουν τόσο ποσοτικά όσο και ποιοτικά τους μικροοργανισμούς της ριζόσφαιρας και την επιβίωση και διάδοση των παθογόνων. Επιπλέον, οι αναερόβιες συνθήκες μπορούν να προκαλέσουν αντιδράσεις μεταξύ των ριζών και των παθογόνων προκαλώντας τελικά την ανάπτυξη ασθενειών. Η αυξημένη συγκέντρωση οργανικών συστατικών από την αποικοδόμηση των φυτικών υπολειμμάτων στην επιφάνεια του εδάφους αποτελεί πηγή θρεπτικών υποστρωμάτων και μπορεί να βοηθήσει στην εξάπλωση των παθογόνων. Με την εφαρμογή ακαλλιέργειας παρατηρείται γενικά μια αύξηση της βιοποικιλότητας των μικροοργανισμών (Kandeler *et al.*, 1999, Kladvik, 2001, Madejon *et al.*, 2007, Madejon *et al.*, 2009, Mikanova *et al.*, 2009). Ωστόσο δεν είναι όλοι οι μικροοργανισμοί του εδάφους παθογόνοι. Η αυξημένη μικροβιακή δραστηριότητα μπορεί να οδηγήσει σε φαινόμενα ανταγωνισμού μεταξύ παθογόνων και μη παθογόνων ειδών και να δράσει ως μια φυσική αιτία περιορισμού των ασθενειών (Sturz and Carter, 1995, Franchini *et al.*, 2007). Πρόβλημα ωστόσο μπορεί να αποτελέσουν και άλλοι παρασιτικοί οργανισμοί του εδάφους όπως οι νηματώδεις και τα έντομα εδάφους (Brevault *et al.*, 2007) αλλά και μεγαλύτεροι ζωικοί εχθροί όπως οι αρουραίοι. Υπό συνθήκες μη κατεργασίας οι οργανισμοί αυτοί αναπτύσσονται και πολλαπλασιάζονται δημιουργώντας πολλές φορές σοβαρά προβλήματα για τις καλλιέργειες (Richard *et al.*, 1995, Pringas *et al.*, 2002).

Η μικροβιακή χλωρίδα αποτελεί έναν κρίσιμο παράγοντα για τη βελτίωση της δομής του εδάφους μέσω της βελτίωσης της σταθερότητας των συσσωματωμάτων στα συστήματα αειφορικής διαχείρισης (Zhang *et al.*, 2012). Η χλωρίδα αυτή αποτελείται από ένα σύμπλεγμα μυκήτων και βακτηρίων που επιβιώνουν σαπροφυτικά ή συμβιωτικά με τα φυτά στο έδαφος και συνεισφέρουν στην αύξηση της οργανικής ουσίας καθώς αποσυντίθενται. Οι υφές των μυκήτων αποσυντίθενται πολύ πιο αργά από τα υπολείμματα των βακτηρίων (van Groenigen *et al.*, 2010). Ο λόγος μυκήτων/βακτηρίων στο έδαφος αποτελεί ένα χρήσιμο δείκτη της αειφορίας των αγρο-οικοσυστημάτων με προοπτική την βελτίωση της αποθήκευσης του άνθρακα. Τα συστήματα διατήρησης θεωρείται ότι αυξάνουν αυτό το λόγο καθώς αυξάνουν την ποσότητα των διαθέσιμων φυτικών υπολειμμάτων, βελτιώνουν την υγρασία του εδάφους αλλά κυρίως δεν διαταράσσουν τις υφές των μυκήτων (Frey *et al.*, 1999). Οι Perez-Brandán *et al.* (2012) διαπίστωσαν ότι κατά την εφαρμογή ακαλλιέργειας, η μικροβιακή κοινότητα στο έδαφος ήταν πολύ πιο άφθονη και δραστήρια σε σχέση με τη συμβατική κατεργασία. Το ίδιο επιτυγχάνεται και με την εφαρμογή μειωμένης κατεργασίας του εδάφους (van Groenigen *et al.*, 2010). Οι εν λόγω ερευνητές διαπιστώνουν ότι η συνολική βιομάζα από βακτήρια και μύκητες στα επιφανειακά 0-5 cm του εδάφους είναι σημαντικά μεγαλύτερη στη μειωμένη σε σχέση με την συμβατική κατεργασία. Επισημαίνουν επίσης ότι η μειωμένη κατεργασία του εδάφους είναι ικανή να προωθήσει την αύξηση της οργανικής ουσίας δίχως να αυξήσει τον ρόλο των σαπροφυτικών μυκήτων σε σχέση με τα βακτήρια. Οι σαπροφυτικοί μύκητες συνεισφέρουν μεν στην αύξηση της οργανικής ουσίας του εδάφους, πλην όμως δρουν ανταγωνιστικά με τα φυτά ως προς την πρόσληψη θρεπτικών στοιχείων αντίθετα με τους συμβιωτικούς μύκητες οι οποίοι

προμηθεύουν θρεπτικά στοιχεία και νερό στα φυτά και προσλαμβάνουν από αυτά υδατάνθρακες.

Τα στοιχεία που αφορούν την επίδραση της κατεργασίας του εδάφους στην ανάπτυξη και διάδοση των ασθενειών του εδάφους παρουσιάζουν μεγάλες διαφορές και πολλές φορές δείχνουν αντιφατικά αποτελέσματα. Σε γενικές γραμμές οι προσβολές από ασθένειες είναι μεγαλύτερες όταν εγκαταλείπεται το όργωμα και εφαρμόζονται συστήματα κατεργασίας διατήρησης. Οι [Janusauskaite and Ciuberkis \(2010\)](#) εξέτασαν την ανάπτυξη ασθενειών στελέχους του κριθαριού και του τριτικάλε σε συστήματα αβαθούς (10-12 cm) και βαθιάς (20-25 cm) κατεργασίας του εδάφους με ή χωρίς όργωμα και διαπίστωσαν ότι η αβαθής κατεργασία περιόρισε την σοβαρότητα των συμπτωμάτων σήψης του λαιμού που οφείλονται στην ανάπτυξη μυκήτων του γένους *Helgardia*. Το γεγονός αυτό αποδόθηκε στον ανταγωνισμό των παθογόνων μυκήτων από άλλα ωφέλιμα είδη που αναπτύσσονται σε συνθήκες μεγάλης ποσότητας φυτικών υπολειμμάτων. Επίσης διαπίστωσαν ότι με την απομάκρυνση των φυτικών υπολειμμάτων από το χωράφι υπήρχε και πάλι σημαντική μείωση της προσβολής. Οι [Farooq et al. \(2011\)](#) προτείνουν τη δημιουργία ποικιλιών προσαρμοσμένων στις βιοτικές και αβιοτικές συνθήκες καταπόνησης των φυτών που δημιουργούν συχνά τα συστήματα αειφορικής διαχείρισης του εδάφους

Επίδραση στην παραγωγή

Τα περιβαλλοντικά και αγρονομικά οφέλη των συστημάτων αειφορικής διαχείρισης του εδάφους είναι σημαντικά για το κοινωνικό σύνολο και τους ιδιοκτήτες των γεωργικών εκμεταλλεύσεων, δεν είναι αυτά όμως που θα καθορίσουν την υιοθέτηση από τους παραγωγούς. Αυτό που φαίνεται πως επηρεάζει πρώτιστα την άποψη των εφαρμοστών είναι η επίδραση των συστημάτων αυτών στη παραγωγή η οποία είναι ευθέως συνδεδεμένη με το οικονομικό αποτέλεσμα της παραγωγικής διαδικασίας. Σε αυτό το πεδίο έχουν γίνει σε παγκόσμιο επίπεδο αρκετές έρευνες που μελετούν τις επιπτώσεις της χρήσης αειφορικής διαχείρισης του εδάφους σε διάφορες καλλιέργειες και κάτω από μια πληθώρα διαφορετικών κλιματικών και γεωλογικών συνθηκών και προσπαθούν να εντοπίσουν τα κρίσιμα σημεία που καθορίζουν την επιτυχία ή αποτυχία τους.

Σε γενικές γραμμές, η μειωμένη κατεργασία και ιδίως η ακαλλιέργεια, φαίνεται ότι τουλάχιστον για τα πρώτα έτη της εφαρμογής της επιφέρει μια μείωση των αποδόσεων σε σχέση με τη συμβατική κατεργασία. Η διαπίστωση αυτή αναφέρεται για μια πληθώρα διαφορετικών καλλιεργειών όπως το σιτάρι, το καλαμπόκι, το βαμβάκι, η σόγια, ο ηλιάνθος, τα ζαχαρότευτλα ([Hussain et al., 1999](#), [Printgas et al., 2002](#), [Ekeberg and Riley 1997](#), [Hajabbasi and Hemmat, 2000](#), [Lopez and Arrue, 1997](#), [Martin-Rueda et al., 2007](#), [De Vita et al., 2007](#)). Έπειτα όμως από μερικά έτη συνεχούς εφαρμογής της μεθόδου, αρχίζουν προοδευτικά να αναδεικνύονται τα πραγματικά οφέλη της αειφορικής διαχείρισης, καθώς η δομή του εδάφους βελτιώνεται και η περιεχόμενη οργανική ουσία αυξάνει, με συνέπεια οι αποδόσεις να ανακάμπτουν και σε ορισμένες περιπτώσεις να ξεπερνούν αυτές της συμβατικής κατεργασίας ([Dick et al., 1991](#), [DeMaria et al., 1999](#), [Agbede and Ojeniyi, 2009](#), [So et al., 2009](#)). Από τις καλλιέργειες, αυτές που φαίνονται να ευνοούνται περισσότερο από τη μειωμένη κατεργασία είναι οι μη αρδευόμενες. Σε αυτές τις περιπτώσεις, η

βελτιωμένη ικανότητα συγκράτησης της εδαφικής υγρασίας από το έδαφος αποδεικνύεται καθοριστικής σημασίας και σε ξηρές χρονιές μπορεί να αποτελέσει ένα κρίσιμο παράγοντα που να ευνοήσει την επίτευξη ακόμη υψηλότερων παραγωγών από τη συμβατική κατεργασία (Buschiazzo *et al.*, 1998, Harman *et al.*, 1989, Cantero-Martinez *et al.*, 1995, Arshad, *et al.*, 1999, De Vita *et al.*, 2007).

Σε ορισμένες περιπτώσεις αναφέρεται ότι για να διατηρηθούν υψηλές οι αποδόσεις των καλλιεργειών στις μεθόδους μειωμένης κατεργασίας, θα πρέπει να προστίθενται αυξημένες δόσεις λιπασμάτων (Machado *et al.*, 2007) ιδίως κατά τα πρώτα έτη μέχρι να βελτιωθεί η γονιμότητα του εδάφους.

Μια άλλη κρίσιμη παράμετρος για την επίτευξη εφάμιλλων ή και καλύτερων αποδόσεων στα συστήματα μειωμένης κατεργασίας σε σχέση με τη συμβατική, είναι ο αποτελεσματικός έλεγχος των ζιζανίων (Miller and Dexter 1983, Denton and Tyler, 1997). Για να μπορέσει η καλλιέργεια να αποδώσει το βέλτιστο της παραγωγής θα πρέπει να είναι απαλλαγμένη από τον συναγωνισμό με τα ζιζάνια σε φως, νερό και θρεπτικά στοιχεία, ιδίως στα κρίσιμα στάδια της ανάπτυξής της (Blaise and Ravindram 2003). Μια στρατηγική που προτείνεται να υιοθετηθεί παράλληλα με την εφαρμογή μειωμένης κατεργασίας για τον περιορισμό του προβλήματος με τα ζιζάνια, είναι η εισαγωγή κατάλληλων αμειψισπορών (Ekeberg and Riley, 1997).

Ο τύπος του εδάφους φαίνεται ότι παίζει επίσης καθοριστικό ρόλο στην ανταπόκριση των καλλιεργειών στα συστήματα αειφορικής διαχείρισης του εδάφους. Στα αμμώδη εδάφη, η διατήρηση των φυτικών υπολειμμάτων στην επιφάνεια, έχει ως κύρια οφέλη τον περιορισμό της εξάτμισης και συνεπώς την εξοικονόμηση εδαφικής υγρασίας, την αύξηση της οργανικής ουσίας με συνέπεια την βελτίωση της σταθερότητας και την μείωση της συμπίεσης ενώ επιπλέον, το έδαφος προστατεύεται από τη διάβρωση (Chivenge *et al.*, 2007 Nyakatawa *et al.*, 2007). Αυτά είναι έμμεσα οφέλη τα οποία όμως έχουν άμεση επίπτωση στο ύψος της παραγωγής. Τα οφέλη είναι ακόμη μεγαλύτερα όταν γίνεται παράλληλος εμπλουτισμός του εδάφους με οργανική ουσία (Mosaddeghi *et al.*, 2009). Στα αργιλώδη εδάφη αντίθετα, το σημαντικότερο ίσως πρόβλημα είναι η συμπίεση και η στράγγιση. Και εδώ ωστόσο, η εφαρμογή μεθόδων μειωμένης κατεργασίας μπορεί να αποδειχθεί επωφελής καθώς με τον περιορισμό των καλλιεργητικών επεμβάσεων, υπάρχει σταδιακή μείωση της συμπίεσης (Radford *et al.*, 2007) ενώ τα κανάλια που δημιουργούνται από την δράση των μικρών κυρίως ζώων και των οργανισμών, βελτιώνουν την στράγγιση και τον αερισμό. (Rasmussen, 1999, Simoes *et al.* 2009) Τα πλεονεκτήματα όμως από την εφαρμογή μειωμένης κατεργασίας μεγιστοποιούνται σε μέσης συστάσεως, πηλώδη εδάφη, όπου η συμπίεση, η διάβρωση και ο σχηματισμός εδαφικής κρούστας αποτελούν συνήθη προβλήματα (Hatfield and Karlen, 1989, D' Haene *et al.*, 2008).

Η τελική παραγωγή των καλλιεργειών αποτελεί το βασικότερο στοιχείο που ενδιαφέρει τους παραγωγούς καθώς σχετίζεται άμεσα με το οικονομικό αποτέλεσμα και από αυτή την άποψη αποτελεί ένα από τα κυριότερα κριτήρια που επηρεάζει την απόφασή τους να επιλέξουν κάποιο εναλλακτικό σύστημα

καλλιέργειας. Υπάρχει ένας μεγάλος αριθμός πειραμάτων σε παγκόσμια κλίμακα που εξετάζει τις επιπτώσεις από την εφαρμογή μεθόδων κατεργασίας διατήρησης του εδάφους στις αποδόσεις διαφόρων καλλιεργειών. Παρόλο που τέτοιου είδους πειράματα χρονολογούνται από τις αρχές της δεκαετίας του 1960, η έρευνα συνεχίζεται μέχρι και τις μέρες μας καθώς έχει να διερευνήσει την προσαρμογή αυτών των τεχνικών σε ένα πλήθος διαφορετικών συνθηκών που δημιουργούν ο συνδυασμός διαφορετικών εδαφοκλιματικών συνθηκών, διαφορετικών καλλιεργειών, αμειψισπορών, τεχνικών καλλιέργειας κ.λ.π. Τα αποτελέσματα αυτών των πειραμάτων πολλές φορές καταλήγουν σε αντικρουόμενα συμπεράσματα αναδεικνύοντας με αυτό τον τρόπο την πολυπλοκότητα των αλληλεπιδράσεων διαφορετικών παραγόντων στη γεωργική παραγωγή. Οι [Liu and Wiatrak, \(2012\)](#) πραγματοποίησαν τριετή πειράματα για να εντοπίσουν τις επιδράσεις της κατεργασίας του εδάφους σε λωρίδες και της ακαλλιέργειας, σε συνδυασμό με διαφορετικά επίπεδα λίπανσης στα χαρακτηριστικά της ανάπτυξης του καλαμποκιού. Στη συμβατική κατεργασία που χρησιμοποιήθηκε ως μάρτυρας και τη κατεργασία σε λωρίδες τα φυτά παρουσίασαν μεγαλύτερο δείκτη φυλλικής επιφάνειας και υψηλότερο δείκτη NDVI σε σχέση με την ακαλλιέργεια. Διαπιστώθηκαν επίσης στατιστικές σημαντικές διαφορές στην απόδοση του καλαμποκιού με τις δύο προαναφερθείσες τεχνικές να υπερτερούν της ακαλλιέργειας. Δεν διαπιστώθηκε ωστόσο κάποιου είδους αλληλεπίδραση της αζωτούχου λίπανσης με την κατεργασία του εδάφους. Σε άλλα πειράματα οι [Sharma et al. \(2011\)](#) δοκίμασαν διαφορετικές τεχνικές κατεργασίας του εδάφους σε συνδυασμό με διαφορετικά επίπεδα κάλυψης του εδάφους από φυτικά υπολείμματα σε καλλιέργειες καλαμποκιού και σίτου. Για το καλαμπόκι διαπιστώθηκαν παρόμοιες αποδόσεις μεταξύ συμβατικής και μειωμένης κατεργασίας. Για το σιτάρι όμως, η απόδοση στη μειωμένη κατεργασία ήταν σημαντικά υψηλότερη σε σχέση με τη συμβατική. Η κάλυψη του εδάφους με φυτικά υπολείμματα δεν έδειξε να επηρεάζει την απόδοση των καλλιεργειών. Σε άλλα πειράματα στο ξηροθερμικό μεσογειακό περιβάλλον της Τυνησίας αναφέρεται ότι η ακαλλιέργεια όταν συνδυάζεται με την φυτοκάλυψη του εδάφους αυξάνει την απόδοση των σιτηρών εξαιτίας της εξασφάλισης περισσότερης υγρασίας στο έδαφος ([Sihem Ben Moussa-Machraoui et al., 2010](#)). Σε ένα τετραετές πείραμα ωστόσο στη βόρεια Ινδία οι [Aulakh et al. \(2012\)](#) διαπιστώνουν ότι με τη διατήρηση των φυτικών υπολειμμάτων στην επιφάνεια του εδάφους όταν εφαρμόζεται κατεργασία διατήρησης στο χειμερινό σιτάρι προκύπτει μια μείωση της πρόσληψης αζώτου κατά 3-5% και της παραγωγής κατά 8-24%. Το γεγονός αυτό αποδίδεται στη παρουσία των φυτικών υπολειμμάτων στην επιφάνεια του εδάφους τα οποία δημιουργούν ένα ψυχρότερο περιβάλλον στη σποροκλίση, μειώνοντας το φύτρωμα και την αρχική ανάπτυξη των φυτών. Στο ίδιο πείραμα ωστόσο, η καλλιέργεια της σόγιας απέδωσε 2-6% καλύτερα στη κατεργασία διατήρησης σε σχέση με τη συμβατική, ανεξάρτητα από την παρουσία ή μη των φυτικών υπολειμμάτων. Οι [Chen et al. \(2011\)](#) αναφέρουν επίσης αυξημένες αποδόσεις (8,9-13,8%) για τη σόγια όταν καλλιεργείται με μεθόδους ακαλλιέργειας αντί συμβατικής. Διαπιστώνουν όμως μια μείωση της απόδοσης του καλαμποκιού, 15,7-28,4%, όταν σε αυτό εφαρμόζεται ακαλλιέργεια.

Από τα παραπάνω στοιχεία γίνεται κατανοητό ότι οι επιδράσεις της κατεργασίας του εδάφους στις αποδόσεις των καλλιεργειών βρίσκονται σε άμεση συσχέτιση με το περιβάλλον που αναπτύσσεται η καλλιέργεια και ότι όμοια συστήματα κατεργασίας μπορεί να συμπεριφέρονται διαμετρικά αντίθετα σε διαφορετικά περιβάλλοντα καθιστώντας επιτακτική την ανάγκη διερεύνησής τους κάτω από ένα πλήθος διαφορετικών συνθηκών για να καταλήξουμε σε ασφαλή συμπεράσματα. Για το σκοπό αυτό οι [Van den Putte et. al. \(2010\)](#) πραγματοποίησαν μετα-ανάλυση σε δεδομένα της παραγωγής των καλλιεργειών προερχόμενα από 47 Ευρωπαϊκά πειράματα δοκιμών συμβατικής κατεργασίας, μειωμένης κατεργασίας και ακαλλιέργειας. Η ανάλυσή τους έδειξε ότι η εισαγωγή μεθόδων κατεργασίας διατήρησης στην Ευρώπη έχει μια ελαφρώς αρνητική επίδραση στις αποδόσεις των καλλιεργειών. Η μέση μείωση ήταν 4,5% για την μειωμένη κατεργασία και 8,5% για την ακαλλιέργεια. Το βάθος κατεργασίας, το είδος της καλλιέργειας, η αμειψισπορά και το κλίμα της περιοχής είχαν άμεση συσχέτιση με την επίπτωση της κατεργασίας στις αποδόσεις. Διαπιστώθηκε ότι η μειωμένη κατεργασία προκαλεί μείωση των αποδόσεων του καλαμποκιού και των χειμερινών σιτηρών αλλά δεν επηρεάζει την απόδοση των εαρινών σιτηρών, των ζαχαρότευτλων και της πατάτας. Στα συστήματα μονοκαλλιέργειας σιτηρών διαπιστώθηκε μια διαρκής μείωση των αποδόσεων με το χρόνο. Η ακαλλιέργεια, φάνηκε να πλεονεκτεί στις πιο ξηρές κλιματικές συνθήκες εξαιτίας της βελτίωσης του υδατικού δυναμικού του εδάφους. Ωστόσο προβλήματα όπως η αδυναμία τοποθέτησης του σπόρου στο σωστό βάθος κατά την σπορά και η συχνή προσβολή των φυτών από ασθένειες οδηγούν πολλές φορές σε μειωμένους πληθυσμούς που επισκιάζουν τα οφέλη από την καλύτερη αξιοποίηση του νερού. Σε μια παρόμοια προσπάθεια αξιολόγησης πειραματικών δεδομένων προερχόμενων από 25 μακροχρόνια πειράματα σύγκρισης διαφορετικών μεθόδων κατεργασίας του εδάφους στην Αυστραλία, τη Κίνα, το Μεξικό, την Ισπανία, το Ηνωμένο Βασίλειο και τις Ηνωμένες Πολιτείες Αμερικής οι [Farooq et al. \(2011\)](#) διαπίστωσαν μια μικρή τάση για αύξηση των αποδόσεων κατά την εφαρμογή κατεργασίας διατήρησης σε σχέση με τη συμβατική μέθοδο στα ξηρά κλίματα της υψηλίου. Για τα πιο υγρά κλίματα ωστόσο διαπιστώθηκε ακριβώς το αντίθετο με την συμβατική κατεργασία να υπερτερεί τω μεθόδων διατήρησης.

Οι [Basso et al. \(2011\)](#) διερεύνησαν την επίπτωση που έχει στο καθαρό εισόδημα των παραγωγών αραβοσίτου η εφαρμογή μεθόδων κατεργασίας διατήρησης συγκρίνοντας δυο συστήματα μειωμένης κατεργασίας με αναστροφή και χωρίς αναστροφή του εδάφους καθώς και ένα σύστημα ακαλλιέργειας. Οι δοκιμές πραγματοποιήθηκαν σε δύο περιοχές της βορείου Ιταλίας, η μια από τις οποίες θεωρείται υψηλής παραγωγικότητας και η άλλη χαμηλής. Στη μελέτη τους αυτή διαπίστωσαν ότι η ακαλλιέργεια προσέδιδε στους παραγωγούς ένα υψηλότερο καθαρό εισόδημα, τόσο για τις υψηλής παραγωγικής ικανότητας περιοχές όσο και για της χαμηλής. Οι [Khakbazan and Hamilton \(2012\)](#) χρησιμοποίησαν ένα μαθηματικό μοντέλο για να ποσοτικοποιήσουν τις οικονομικές επιπτώσεις από την εφαρμογή συμβατικής κατεργασίας, μειωμένης κατεργασίας και ακαλλιέργειας σε συστήματα αμειψισποράς σιτηρών και ελαιοκράμβης. Για την ελαιοκράμβη, το υψηλότερο καθαρό εισόδημα προήλθε από την συμβατική κατεργασία και αυτό οφείλονταν κυρίως στην επίτευξη υψηλότερων αποδόσεων. Για τα σιτηρά ωστόσο, το καθαρό εισόδημα αποδείχθηκε ότι ήταν μεγαλύτερο στο σύστημα της μειωμένης

κατεργασίας εξαιτίας της μειωμένης κατανάλωσης καυσίμου καθώς και της παράτασης της απόσβεσης των μηχανημάτων. Οι [Sharma et al. \(2011\)](#) αναφέρουν 31,1% εξοικονόμηση ενέργειας για τη μειωμένη κατεργασία και 34,3% για την ακαλλιέργεια. Ωστόσο, σε μια ανάλυση κύκλου ζωής για την καλλιέργεια της ελαιοκράμβης που πραγματοποίησαν οι [Iriarte et al. \(2011\)](#) διαπίστωσαν ότι η συμβατική κατεργασία και η ακαλλιέργεια είχαν παρόμοιες ενεργειακές απαιτήσεις, με τα λιπάσματα να καταλαμβάνουν το 75% των συνολικών εισροών ενέργειας και να αφήνουν το μεγαλύτερο οικολογικό αποτύπωμα. Στην έρευνα των [Khakbazan and Hamilton \(2012\)](#) παρότι η ακαλλιέργεια πρόσφερε σημαντική μείωση του άμεσου κόστους καθώς είχε τις λιγότερες ενεργειακές απαιτήσεις, απαιτεί ένα αυξημένο κόστος επένδυσης για προμήθεια κατάλληλου γεωργικού εξοπλισμού, κυρίως κατάλληλης σπαρτικής, με συνέπεια το καθαρό εισόδημα να εμφανίζεται μειωμένο σε σχέση με τη μειωμένη κατεργασία. Βέβαια πολλοί παραγωγοί για να αποφύγουν το κόστος της επένδυσης για την αγορά σπαρτικής για ακαλλιέργεια, καταφεύγουν στην χρησιμοποίηση των υπάρχοντων συμβατικών μηχανών, κάτι το οποίο έχει αρνητικές επιπτώσεις στην εγκατάσταση της καλλιέργειας οδηγώντας τελικά σε μείωση των αποδόσεων η οποία και τελικά επιφέρει ένα αρνητικό οικονομικό αποτέλεσμα.

Επίδραση στο ενεργειακό ισοζύγιο

Για να αξιολογηθούν αντικειμενικά τα συστήματα αειφορικής διαχείρισης του εδάφους θα πρέπει επομένως εκτός από την επίπτωση στη παραγωγή να συνεκτιμηθούν και τα οφέλη που προκύπτουν από την εξοικονόμηση εισροών και κυρίως ενέργειας. Είναι γεγονός ότι πέρα από τα όποια αγρονομικά και περιβαλλοντολογικά οφέλη που μπορούν να προσφέρουν τα συστήματα αειφορικής διαχείρισης του εδάφους, ένα εξίσου σημαντικό τους προνόμιο είναι η μείωση των εισροών ενέργειας ([Singh et al., 2008](#)). Σύμφωνα με τον [Helsel \(1992\)](#) από την συνολική ενέργεια που χρησιμοποιείται στην γεωργία το 51% αφορά την κατασκευή και την λειτουργία των γεωργικών μηχανημάτων. Ωστόσο τα αποτελέσματα από σχετικές μελέτες παρουσιάζουν μια πολύ μεγάλη παραλλακτικότητα τόσο από καλλιέργεια σε καλλιέργεια όσο και από περιοχή σε περιοχή. Η παραλλακτικότητα αυτή σχετίζεται με τις απαιτήσεις της εκάστοτε καλλιέργειας, την εντατικότητα της γεωργίας σε κάθε περιοχή, καθώς και από τον τρόπο χρήσης και τις μορφές της χρησιμοποιούμενης ενέργειας. Πειράματα στην περιοχή της Θεσσαλίας έδειξαν ότι για τις τρεις πιο κοινές αρδευόμενες εαρινές καλλιέργειες της περιοχής (βαμβάκι, καλαμπόκι, τεύτλα) η συνολική εισροή ενέργειας κυμαίνονταν από 3.419 μέχρι 4.559 MJ/στρ ([Καβαλάρης 2004](#)). Στην συμβατική κατεργασία, η άρδευση καταλάμβανε το 59,6-65% των συνολικών εισροών. Το δεύτερο σημαντικότερο μερίδιο καταλάμβανε η λίπανση (18,3-29,6%) ενώ η κατεργασία του εδάφους αποτελούσε το τρίτο σημαντικότερο κομμάτι εισροών ενέργειας καταλαμβάνοντας το 4,4-6% των συνολικών εισροών. Κατά μέσο όρο η συνολική κατανάλωση ενέργειας για την συμβατική κατεργασία του εδάφους ήταν 335 MJ/στρ. Άλλοι ερευνητές αναφέρουν ότι η ενέργεια για την κατεργασία του εδάφους ισούται με 325 - 453 MJ/στρ ([Leach, 1976](#)), 353 MJ/στρ ([Tsatsarelis, 1991](#)) 402 MJ/στρ ([Tsatsarelis, 1992](#)). Πειραματικά δεδομένα έδειξαν ότι η μείωση της εντατικότητας της κατεργασίας μπορεί να προσφέρει εξοικονόμηση ενέργειας από 60 MJ/στρ - 335 MJ/στρ αναλόγως της εφαρμοζόμενης μεθόδου ([Καβαλάρης](#)

2004). Η εξοικονόμηση που προκύπτει είναι της τάξης του 0,8-3,9% επί των συνολικών εισροών που εκ πρώτης όψεως μπορεί να φαίνεται μικρή, είναι όμως ιδιαίτερα σημαντική αν αναλογιστεί κανείς ότι αυτή προέρχεται αποκλειστικά από ορυκτά καύσιμα καθώς ο σημερινός γεωργικός εξοπλισμός μπορεί να λειτουργήσει μόνο με αυτή τη μορφή των καυσίμων. Σήμερα η γενική αστάθεια των τιμών των ορυκτών καυσίμων σε συνδυασμό με την αυξανόμενη αβεβαιότητα της διάθεσης και της επάρκειας αυτών καθιστούν αυτή τη παράμετρο καθοριστικής και κρίσιμης σημασίας για το μέλλον και την επιβίωση της γεωργίας. Για τη συμβατική κατεργασία του εδάφους καταναλώνεται το 36,6-78,6% του συνολικού πετρελαίου που καταναλώνεται σε μια πλήρη καλλιεργητική περίοδο στον αγρό. Με την εφαρμογή μεθόδων μειωμένης κατεργασίας προκύπτει μια εξοικονόμηση πετρελαίου της τάξης του 12-77% (Καβαλάρης 2004). Οι Franzluebbbers and Francis (1995) αναφέρουν ότι η κατανάλωση πετρελαίου σε μια καλλιέργεια καλαμποκιού ήταν κατά 50% μειωμένη όταν αντί για συμβατική κατεργασία εφαρμόζεται ακαλλιέργεια. Για το επίσπορο καλαμπόκι, οι Λιθουργίδης και Τσατσαρέλης (2003) διαπίστωσαν εξοικονόμηση καυσίμου της τάξης του 6,2-11,3% κατά την απ' ευθείας σπορά σε σχέση με την συμβατική μέθοδο εγκατάστασης της καλλιέργειας.

Η εξοικονόμηση ενέργειας και καυσίμου αποκτά ακόμη μεγαλύτερη βαρύτητα όταν αναφέρεται στην αξιολόγηση μιας ενεργειακής καλλιέργειας. Η αποδοτικότητα μιας ενεργειακής καλλιέργειας κρίνεται από τον συντελεστή απόδοσης της ενέργειας που ορίζεται ως ο λόγος των συνολικών εκροών προς τις συνολικές εισροές ενέργειας κατά την παραγωγική διαδικασία. Για την γεωργία ο συντελεστής αυτός συνήθως είναι θετικός διότι στις εισροές ενέργειας δεν λογίζεται η ενέργεια του ήλιου την οποία δεσμεύουν τα φυτά με την φωτοσύνθεση και που προσφέρεται «δωρεάν». Μια ενεργειακή καλλιέργεια θα πρέπει να δίνει τον υψηλότερο συντελεστή απόδοσης και αυτό μπορεί να επιτευχθεί με την ορθολογική εξισορρόπηση των εισροών με τις εκροές. Επιπλέον, ο περιορισμός των εισροών σε ορυκτά καύσιμα μπορούν να καταστήσουν αυτόνομες ενεργειακά αγροτικές επιχειρήσεις που θα μπορούν μόνες τους να καλύπτουν τις ενεργειακές τους απαιτήσεις

Επίδραση στην οικονομικότητα

Αναφορικά με την οικονομικότητα της παραγωγής βιομάζας στην Ελλάδα, τα μέχρι σήμερα περιορισμένα δεδομένα, δείχνουν μια συγκεχυμένη κατάσταση με θετικά αλλά και αρνητικά αποτελέσματα, ανάλογα με το είδος της ενεργειακής καλλιέργειας τις καλλιεργητικές φροντίδες κλπ. Ο Δαναλάτος (2002), μελετώντας για μια σειρά ετών την καλλιέργεια της αγριαγκινάρας, διαπίστωσε ότι θα ήταν συμφέρουσα για τους παραγωγούς της Ελλάδας η αντικατάσταση της καλλιέργειας του σιταριού και του βαμβακιού με την καλλιέργεια της αγριαγκινάρας, από οικονομικής πλευράς, δίνοντας μάλιστα και συγκεκριμένα στοιχεία. Διαπίστωσε, ότι με την καλλιέργεια σιταριού ο παραγωγός κερδίζει 10 €/στρέμμα και την καλλιέργεια βαμβακιού 120 €/στρέμμα, ενώ καλλιεργώντας αγριαγκινάρα έχει κέρδος 200 €/στρέμμα. Ο Κίττας (2007), σε σχετική έρευνα σύγκρισης παραδοσιακών καλλιεργειών (βαμβακιού, καλαμποκιού, αραβόσιτου, τεύτλων και σιταριού) με τις ενεργειακές καλλιέργειες (ηλίανθου, γλυκού σόργου και ελαιοκράμβης), διαπίστωσε ότι μόνο το γλυκό σόργο μπορεί να αντικαταστήσει

επικερδώς τις παραδοσιακές καλλιέργειες, ενώ ο ηλιάνθος μόνο το σιτάρι, η δε ελαιοκράμβη καμία από αυτές, με τις υπάρχουσες σημερινές συνθήκες α απόδοσης και τιμών πώλησης. Στο ίδιο συμπέρασμα καταλήγει και ο Κωνσταντίνου (Real.gr 2011), διατυπώνοντας την άποψη ότι «το γλυκό σόργο αποτελεί μία από τις καλύτερες επιλογές για την παραγωγή βιοαιθανόλης στην Ελλάδα, δεδομένου ότι μπορεί να καλλιεργηθεί και σε μη γόνιμες περιοχές, ενώ δεν χρειάζεται πολύ νερό, σε αντίθεση με το καλαμπόκι». Σε ανάλογα συμπεράσματα κατέληξαν και οι Styles et al. (2008), οι οποίοι, ύστερα από σχετική μελέτη που πραγματοποίησαν στην Ιρλανδία, διαπίστωσαν ότι οι ενεργειακές καλλιέργειες μπορεί να προσφέρουν στους παραγωγούς μια εναλλακτική και σχετικά προσοδοφόρα λύση έναντι των συμβατικών καλλιεργειών.

Αντίθετα, μελέτη του Ινστιτούτου Αγροτικής και Συνεταιριστικής Οικονομίας (ΙΝΑΣΟ), που πραγματοποιήθηκε από τον Καθηγητή κ. Ξανθάκη Μ. και τους συνεργάτες του Βασιλάκο Ν. και Μπούκη Γ. (2007.), για λογαριασμό της ΠΑΣΕΓΕΣ, κατέληξαν στο συμπέρασμα ότι «είναι ασύμφορη για τους αγρότες (της χώρας μας) η καλλιέργεια ενεργειακών φυτών, αν δεν ληφθούν συμπληρωματικά μέτρα ενίσχυσής τους». Στο ίδιο συμπέρασμα κατέληξε και σχετική μελέτη των Μυγδάκος και άλλοι (2009), στο Νομό Αιτωλοακαρνανίας, στην οποία εξετάστηκε η οικονομικότητα των καλλιεργειών: ηλιάνθου, ελαιοκράμβης, και γλυκού σόργου και διαπιστώθηκαν αρνητικά αποτελέσματα. Μικτή εικόνα έδειξαν και τα αποτελέσματα μελέτης των Μυγδάκος et al. (2009), Ταγαράκης και άλλοι (2009), αναφορικά με τις καλλιέργειες ηλιάνθου, ελαιοκράμβης και γλυκού σόργου στην Ελλάδα. Μελέτη των Gassol et al. (2010) που πραγματοποιήθηκε στην Ιταλία, κατά την οποία συγκρίνονταν η καλλιέργεια σιταριού με ενεργειακές καλλιέργειες, έδειξε ότι απαιτείται στήριξη των καλλιεργειών αυτών από την Κυβέρνηση για να ανταγωνιστούν την καλλιέργεια του σιταριού. Ανάλογα ήταν και τα συμπεράσματα των Krasuska and Rosenqvist (2012), οι οποίοι διατύπωσαν την άποψη ότι, με την αναμενόμενη αύξηση της ζήτησης της βιομάζας και της τιμής της, μελλοντικά, οι ενεργειακές καλλιέργειες μπορεί να γίνουν κερδοφόρες για τους παραγωγούς της Πολωνίας.

Η παρούσα έρευνα, πραγματοποιούμενη από μια διεπιστημονική ομάδα, σύμφωνα με το προγραμματισμένο σχέδιο πειραματισμού σε διάφορες περιοχές της χώρας, θα προσπαθήσει να καταλήξει σε αξιόλογα συμπεράσματα, αναφορικά με την οικονομικότητα παραγωγής της βιομάζας στην πατρίδα μας, συμπεράσματα που θα μπορέσουν να αξιοποιηθούν άμεσα από τους παραγωγούς μας, εν όψη της αναμενόμενης αύξησης της ζήτησης της βιομάζας στο άμεσο μέλλον.

Κατεργασία εδάφους και επιπτώσεις στο περιβάλλον

Κατεργασία του εδάφους είναι το σύνολο των επεμβάσεων που πραγματοποιούνται με μηχανικά μέσα σε ένα έδαφος ώστε να δημιουργηθούν οι κατάλληλες συνθήκες για την εγκατάσταση και την ανάπτυξη της αγροτικής παραγωγής. Η συμβατική κατεργασία (*Conventional tillage*) περιλαμβάνει τη χρήση αρότρου και μια σειρά από επεμβάσεις προετοιμασίας της σποροκλίνης. Στην Ελλάδα περιλαμβάνει όργωμα σε βάθος συνήθως 25 εκατοστών αλλά πολλές φορές και μεγαλύτερο. Το έδαφος κόβεται σε φέτες οι οποίες αναστρέφονται και αφήνονται να υποστούν τις

ευεργετικές επιδράσεις του καιρού. Στη συνέχεια, με επεμβάσεις δευτερογενούς κατεργασίας και χρησιμοποιώντας ελαφρύτερα εργαλεία, όπως ελαφρείς καλλιεργητές και σβάρνες, επιδιώκεται ο θρυμματισμός των μεγαλύτερων βύλων και η προετοιμασία της σποροκλίνης.

Το άροτρο, με την αναστροφή που προκαλεί στη λωρίδα του εδάφους, αποδεικνύεται ιδιαίτερα αποτελεσματικό στον έλεγχο των ζιζανίων. Επιπλέον, με την ενσωμάτωση των φυτικών υπολειμμάτων, διευκολύνει την μετέπειτα εργασία των μηχανημάτων της δευτερογενούς κατεργασίας. Το όργανο μπορεί να βοηθήσει στην δημιουργία μιας ιδιαίτερα ευνοϊκής για το φύτευμα σποροκλίνης. Επιπλέον, η στοιβάδα της ριζόσφαιρας γίνεται χαλαρή βοηθώντας την φυτεία να αναπτυχθεί ομαλά και να δώσει τελικά υψηλές αποδόσεις. Το γεγονός αυτό αποτελεί την βασική αιτία για την ευρεία αποδοχή του οργάνου ως κύριας μεθόδου διαχείρισης του εδάφους. Επί πλέον η αναστροφή του εδάφους βοηθά στον έλεγχο των ζιζανίων. Οι σπόροι βρίσκονται με την αναστροφή στο βάθος οργάνου και επομένως είναι αδύνατο να φυτρώσουν την επόμενη χρονιά. Αυτό μπορεί να γίνει τη μεθεπόμενη που με τη νέα αναστροφή μπορεί να επανέλθουν οι σπόροι στην επιφάνεια αλλά σίγουρα με μικρότερους αριθμούς έτοιμων να βλαστήσουν σπόρων. Τα ριζώματα των πολυετών ζιζανίων έρχονται με την αναστροφή στην επιφάνεια και ιδιαίτερα με τα καλοκαιρινά οργάνου μπορεί να ξεραθούν και να μειωθεί ο πληθυσμός τους.

Κατεργασία και γονιμότητα του εδάφους

Τα συστήματα αειφορικής διαχείρισης του εδάφους θεωρείται ότι βελτιώνουν τη γονιμότητα του κυρίως μέσω της αύξησης της οργανικής ουσίας. Υπάρχει ωστόσο η υπόνοια ότι στα συστήματα αυτά τα φυτά της καλλιέργειας αντιμετωπίζουν αυξημένο ανταγωνισμό ως προς την πρόσληψη του αζώτου από τους μικροοργανισμούς του εδάφους, ιδίως κατά τα πρώτα έτη της εφαρμογής τους. Για το λόγο αυτό στα συστήματα ακαλλιέργειας συνήθως χρειάζονται αυξημένα επίπεδα αζωτούχου λίπανσης κατά τα πρώτα έτη εφαρμογής. Πράγματι οι [Wang et al. \(2011\)](#) έδειξαν ότι η αυξημένη αζωτούχος λίπανση σε συνδυασμό με μια μεγαλύτερη πυκνότητα σποράς οδήγησαν στην επίτευξη σημαντικά καλύτερων αποδόσεων για την ελαιοκράμβη όταν καλλιεργείται υπό καθεστώς ακαλλιέργειας. Για να επιβεβαιώσουν την παραπάνω υπόθεση οι [Giacomini et al. \(2010\)](#) τοποθέτησαν στο έδαφος ραδιενεργά σεσημασμένο άζωτο (^{15}N). Η εφαρμογή έγινε σε πειραματικά τεμάχια συμβατικής κατεργασίας και μειωμένης κατεργασίας τα οποία σπάρθηκαν με σιτάρι. Στο πείραμα αυτό οι ερευνητές διαπίστωσαν ότι το είδος της κατεργασίας του εδάφους είχε ελάχιστη επίδραση στην πρόσληψη του αζώτου. Αντίθετα το είδος της προηγούμενης καλλιέργειας επηρέαζε σημαντικά την αξιοποίηση του αζώτου. Οι [Salmeron et al. \(2011\)](#) δοκίμασαν τέσσερις διαφορετικές καλλιέργειες εδαφοκάλυψης (κριθάρι, χειμερινή και εαρινή ελαιοκράμβη, βίκο) σε συνδυασμό με δύο διαφορετικές μεθόδους εγκατάστασης (σπορά έπειτα από συμβατική κατεργασία και απευθείας σπορά) πριν από την εγκατάσταση μιας καλλιέργειας αραβοσίτου. Σε γενικές γραμμές οι καλλιέργειες εδαφοκάλυψης περιόρισαν την έκλυση του αζώτου αλλά ταυτόχρονα επέφεραν μια μείωση στην απόδοση του αραβοσίτου εξαιτίας έλλειψης του αζώτου. Η έλλειψη αυτή προκλήθηκε από την ανεπαρκή ανοργανοποίηση του αζώτου που

προσελήφθηκε από τις καλλιέργειες εδαφοκάλυψης είτε εξαιτίας του υψηλού λόγου C:N (κριθάρι), είτε εξαιτίας της χαμηλής συγκέντρωσης αζώτου στην βιομάζα (ελαιοκράμβη), είτε τέλος εξαιτίας της έλλειψης συγχρονισμού με την κρίσιμη πρόσληψη αζώτου από τον αραβόσιτο. Θα πρέπει ωστόσο να σημειωθεί ότι με την απευθείας σπορά, η σπορά μπόρεσε να γίνει πρωιμότερα δίνοντας τη δυνατότητα της ταχύτερης εγκατάστασης των καλλιεργειών εδαφοκάλυψης και κατά συνέπεια μια υψηλότερη παραγωγή βιομάζας που βελτίωσε την πρόσληψη του αζώτου από την μετέπειτα καλλιέργεια του αραβόσιτου.

Εκτός από το άζωτο φαίνεται ότι και άλλα στοιχεία επηρεάζονται από το είδος της κατεργασίας του εδάφους. Οι [Sihem Ben Moussa-Machraoui et al. \(2010\)](#) μελέτησαν την επίδραση της ακαλλιέργειας και της συμβατικής κατεργασίας σε συνδυασμό με διαφορετικά συστήματα αμειψισποράς στο Μεσογειακό κλίμα της Τυνησίας. Τα αποτελέσματά τους δείχνουν ότι έπειτα από 4 έτη εφαρμογής, η ακαλλιέργεια βελτίωσε σημαντικά την περιεκτικότητα του εδάφους σε K, K₂O, P₂O₅ και N. Επίσης διαπίστωσαν ότι η ακαλλιέργεια αύξησε την ικανότητα ανταλλαγής κατιόντων του εδάφους και μείωσε το λόγο C/N δεικνύοντας την επιτάχυνση της διαδικασίας της ανοργανοποίησης των στοιχείων. Σε άλλο πείραμα οι [Houx et al., \(2011\)](#) διαπίστωσαν ότι η συγκέντρωση φωσφόρου στην επιφάνεια του εδάφους είναι μεγαλύτερη υπό καθεστώς ακαλλιέργειας σε σύγκριση με το καθεστώς της συμβατικής κατεργασίας. Οι ερευνητές συνεχίζουν επισημαίνοντας ότι δεν είναι μόνο το άζωτο και ο φωσφόρος που επηρεάζονται από την κατεργασία του εδάφους αλλά και πολλά άλλα στοιχεία όπως το κάλιο το ασβέστιο, το θείο, ο σίδηρος και το μαγνήσιο. Τα δεδομένα αυτά αναδεικνύουν την ανάγκη της εφαρμογής διαφοροποιημένης λιπαντικής αγωγής στα συστήματα αειφορικής διαχείρισης του εδάφους καθώς και την ανάγκη περεταίρω διερεύνησης των προηγούμενων επιδράσεων.

Ένα από τα βασικά οφέλη από την εφαρμογή μεθόδων κατεργασίας διατήρησης είναι η βελτίωση της γονιμότητας του εδάφους μέσω της αύξησης της οργανικής ουσίας. Η αύξηση της οργανικής ουσίας όμως εξαρτάται από την ποιότητα και ποσότητα των φυτικών υπολειμμάτων που επιστρέφουν στο έδαφος. Το είδος των καλλιεργειών και τα εφαρμοζόμενα συστήματα αμειψισποράς επομένως έχουν καθοριστικό ρόλο στη βελτίωση της ποιότητας που επιδιώκεται με την εφαρμογή μειωμένης κατεργασίας ή ακαλλιέργειας. Η αειφορία του εδάφους προωθείται όταν τα συστήματα κατεργασίας διατήρησης συνδυάζονται με κατάλληλες αμειψισπορές και τρόπους διαχείρισης των φυτικών υπολειμμάτων ([Munkholm et al., 2012](#)). Σε σχετικά πειράματα που πραγματοποίησαν οι [Basso et al. \(2011\)](#) στην Ιταλία διαπιστώθηκε ότι η συνολική ποσότητα άνθρακα στο έδαφος εξαρτιόταν από την ποσότητα των φυτικών υπολειμμάτων που διατηρούνταν στην επιφάνεια του εδάφους. Οι [Melero et al. \(2011\)](#) διεξήγαγαν πειράματα κατεργασίας, αμειψισπορών και διαφορετικών επιπέδων λίπανσης σε μη αρδευόμενους αγρούς στην Ισπανία. Οι ερευνητές διαπίστωσαν ότι για τις μη αρδευόμενες περιοχές της Μεσογείου η κατεργασία του εδάφους δεν είναι ικανή από μόνη της να ερμηνεύσει τις μεταβολές των δεξαμενών άνθρακα και αζώτου στο έδαφος. Τα αποτελέσματά τους έδειξαν ότι υπήρχε σημαντική αλληλεπίδραση της κατεργασίας με την αμειψισπορά και την αζωτούχο λίπανση. Σε γενικές γραμμές, η ακαλλιέργεια

βελτίωσε την αποθήκευση αζώτου και άνθρακα στα 0-5 cm του εδάφους όταν συνδυάζονταν με σύστημα αμειψισποράς που περιελάμβανε ψυχανθές ή όταν εφαρμοζόταν μονοκαλλιέργεια σιταριού. Στα συστήματα αειφορικής διαχείρισης του εδάφους επομένως που στηρίζονται στην χρήση αχυροστρωμών προερχόμενων από ψυχανθή, είναι πολύ σημαντική η βελτιστοποίηση των στρατηγικών διαχείρισης του αζώτου. Οι [Zotarelli et al. \(2012\)](#) μελέτησαν τις δεξαμενές άνθρακα του εδάφους έπειτα από 12 έτη εφαρμογής συμβατικής κατεργασίας και ακαλλιέργειας. Στα πειράματα αυτά, αν και δεν διαπίστωσαν κανένα όφελος από την ακαλλιέργεια, εν τούτοις διέγνωσαν μια σημαντική μείωση της ποσότητας του άνθρακα, της τάξης τα του 19 Mg C ha^{-1} 'έπειτα από 12 έτη εφαρμογής συμβατικής κατεργασίας. Οι ερευνητές υποθέτουν ότι η διατήρηση ενός θετικού ισοζυγίου για το άζωτο αποτελεί ένα παράγοντα κλειδί για τις μεταβολές του άνθρακα στο έδαφος και προτείνουν την εισαγωγή χλωρής λίπανσης με ψυχανθή για την αντιστάθμιση των απωλειών του αζώτου και τη διατήρηση των δεξαμενών του άνθρακα. Κατά την εφαρμογή ακαλλιέργειας του εδάφους σε καλλιέργεια βιομηχανικής τομάτας στην Ιταλία, οι [Campiglia et al. \(2011\)](#) κατέληξαν ότι η απευθείας μεταφύτευση μέσα σε υπολείμματα καλλιέργειας χειμερινού ψυχανθούς αποδεικνύεται αναμφισβήτητη επωφελής για την πρόσληψη του αζώτου και την τελική παραγωγή. Σε άλλα πειράματα στην Ισπανία, οι [Sombrero and de Benito \(2010\)](#) διαπίστωσαν μια αύξηση κατά 25% της οργανικής ουσίας στα 30 cm του εδάφους έπειτα από 10 έτη εφαρμογής ακαλλιέργειας και κατά 17% με την εφαρμογή μειωμένης κατεργασίας. Στα ίδια πειράματα ωστόσο η εφαρμογή διαφορετικών αμειψισπορών σιταριού/σιταριού, σιταριού/αγρανάπαυσης και σιταριού/ψυχανθούς δεν επηρέασε την οργανική ουσία του εδάφους. Οι [Sommer et al. \(2011\)](#) πιστεύουν ότι η αβαθής κατεργασία του εδάφους σε συνδυασμό με την προσθήκη μείγματος κομποστοποίησης μπορεί να βελτιώσει σημαντικά την ποιότητα των μεσογειακών εδαφών μέσω της βελτίωσης της περιεκτικότητας σε οργανική ουσία. Σύμφωνα με τους [Mazzoncini et al. \(2011\)](#), για τις μεσογειακές κλιματικές συνθήκες είναι ευκολότερο να διατηρηθεί ή ακόμη και να αυξηθεί η οργανική ουσία του εδάφους με την υιοθέτηση μεθόδων ακαλλιέργειας. Για την επίτευξη του παραπάνω στόχου ωστόσο είναι απαραίτητη η αυξημένη αζωτούχος λίπανση καθώς και η εισαγωγή καλλιεργειών εδαφοκάλυψης υψηλής -παραγωγής. Εκτός αυτού, οι [Abreu et al. \(2011\)](#) αναφέρουν ότι η βελτίωση στην οργανική ουσία του εδάφους αποτελεί επιπλέον συνάρτηση του συνολικού χρόνου εφαρμογής της ακαλλιέργειας καθώς και του ύψους της ετήσιας βροχόπτωσης. Όσο μεγαλύτερος είναι ο χρόνος εφαρμογής και όσο υψηλότερο είναι το ύψος των βροχοπτώσεων, τόσο μεγαλύτερη θα είναι και η αύξηση της οργανικής ουσίας του εδάφους. Οι ερευνητές κατέληξαν στα παραπάνω συμπεράσματα συλλέγοντας δείγματα από οκτώ διαφορετικές περιοχές στην Οκλαχόμα των Η.Π.Α. Στην μελέτη τους αυτή διαπίστωσαν μια μέση αύξηση της οργανικής ουσίας του εδάφους κατά 0.7 g kg^{-1} για την περίπτωση της ακαλλιέργειας σε σύγκριση με τη συμβατική κατεργασία.

Με την ελάττωση της εντατικότητας της κατεργασίας και την αύξηση της ποσότητας του οργανικού C που επιστρέφει στο έδαφος ενισχύεται η συγκράτηση του εδαφικού C σε πιο σταθερές μορφές που με τη σειρά τους βελτιώνουν τη δομή και τη γονιμότητα του εδάφους ([Wang et al., 2011](#)). Σημαντικό ρόλο παίζει η προστασία των εδαφικών συσσωματωμάτων και ο βαθμός διάσπασης που προκαλεί το εκάστοτε

Σχόλιο [f2]: Τότε πως δεν βρήκαν όφελος

Σχόλιο [f3]: Ανεξάρτητα από κατεργασία;

Σχόλιο [f4]: Από τι;

είδος κατεργασίας του εδάφους. Στην ακαλλιέργεια για παράδειγμα δεν υφίσταται μηχανική διάσπαση των εδαφικών συσσωματωμάτων. Ο άνθρακας δεσμεύεται μέσα σε μικρο-συσσωματώματα τα οποία με τη σειρά τους σχηματίζουν μακρο-συσσωματώματα. Το σύμπλεγμα που διαμορφώνεται με αυτό τον τρόπο αποτελεί μια σταθερή δεξαμενή οργανικού C στο έδαφος η οποία έχει άμεση επίδραση στη γονιμότητα αυτού. Οι [Huang et al. \(2010\)](#) βρήκαν για την ακαλλιέργεια μια αύξηση της περιεκτικότητας του εδάφους σε άνθρακα της τάξης του 18,1% σε σύγκριση με τη συμβατική κατεργασία. Η βελτίωση αυτή συσχετιζόταν με μια σαφή αύξηση της συγκέντρωσης του C που βρίσκονταν δεσμευμένος σε μακρο-συσσωματώματα. Οι [Wang et al. \(2011\)](#) αναφέρουν ότι με την εφαρμογή ακαλλιέργειας μειώνεται το ποσοστό του οργανικού C που βρίσκεται δεσμευμένο σε ελαφρά κλάσματα οργανικής ουσίας ($<1.0 \text{ g cm}^{-3}$) και αυξάνει το ποσοστό του C στα βαριά κλάσματα ($>1.6 \text{ g cm}^{-3}$). Σε σχετικά πειράματα διαπίστωσαν μια συνολική αύξηση του οργανικού C στο έδαφος της τάξης του 140% με την εφαρμογή ακαλλιέργειας. Με την βελτίωση αυτή το έδαφος επανήλθε σε επίπεδα συγκρίσιμα με τα χέρσα εδάφη.

Σχόλιο [f5]: εξήγηση

Τα παραπάνω αποτελέσματα από διαφορετικά πειράματα σε γενικές γραμμές συνφωνούν σε μια αύξηση της ποσότητας του οργανικού C με την εφαρμογή μεθόδων κατεργασίας διατήρησης και ιδίως με την ακαλλιέργεια. Αυτό φαίνεται να είναι αλήθεια για την ανώτερη επιφανειακή στοιβάδα του εδάφους. Υπάρχουν όμως ενδείξεις ότι δεν συμβαίνει το ίδιο και σε μεγαλύτερα βάθη. Η άροση μάλιστα φαίνεται να εμπλουτίζει την οργανική ουσία στα βαθύτερα στρώματα μέσω της ανάμιξης του εδάφους που επιτυγχάνει. Οι [Zhongkui Luo et. al. \(2010\)](#) εφάρμοσαν μετα-ανάλυση σε δεδομένα προερχόμενα από 69 ζεύγη πειραμάτων από όλο τον κόσμο και διαπίστωσαν ότι η μετάβαση από τη συμβατική κατεργασία στην ακαλλιέργεια προκάλεσε μεταβολή της κατανομής του άνθρακα στο έδαφος χωρίς ωστόσο να αυξήσει τη συνολική ποσότητα σε ένα βάθος 40 cm. Στην ακαλλιέργεια, σε σύγκριση με τη συμβατική κατεργασία, για τα πρώτα 10 cm του εδάφους υπάρχει μια αύξηση του εδαφικού C κατά $3.15 \pm 2.42 \text{ t ha}^{-1}$ αλλά σε μεγαλύτερο βάθος, 20-40 cm, διαπιστώνεται μια μείωση κατά $3.30 \pm 1.61 \text{ t ha}^{-1}$ καθιστώντας το συνολικό κέρδος μηδενικό.

Σημαντικό είναι επίσης το ενδιαφέρον των ερευνητών ως προς την επίπτωση που έχει η εφαρμογή μεθόδων αειφορικής διαχείρισης του εδάφους στις εκπομπές αερίων θερμοκηπίου. Οι [Maraseni and Cockfield \(2011\)](#) υπολόγισαν τις συνολικές εκπομπές αερίων του θερμοκηπίου από τον αγρό για την συμβατική κατεργασία και την ακαλλιέργεια σε αγρούς με αμειψισπορές σιτηρών στην Αυστραλία. Σε σύγκριση με τη συμβατική, η ακαλλιέργεια είχε σημαντικά μειωμένες εκπομπές από τη χρήση καυσίμων για την λειτουργία των μηχανημάτων στον αγρό, αλλά σημαντικά υψηλότερες εκπομπές αερίων που οφείλονταν στη χρήση αγροχημικών. Για παράδειγμα οι εκπομπές N_2O από το έδαφος έπειτα από την εφαρμογή αζωτούχων λιπασμάτων είναι υψηλότερη ιδίως κατά τα πρώτα έτη εφαρμογής της ακαλλιέργειας σε σχέση με τη συμβατική κατεργασία ([Regina and Alakukku, 2010](#)). Αυτό οφείλεται στην μη ενσωμάτωση του λιπάσματος στο έδαφος. Κατά συνέπεια το συνολικό ισοζύγιο εκπομπών αερίων του θερμοκηπίου μπορεί να είναι θετικό αλλά το κέρδος είναι σχετικά μικρό.

Η **μείωση της βιοποικιλότητας** του εδάφους προκύπτει από την εντατική χρήση του όπως είναι η συνεχής μονοκαλλιέργεια και οι εντατικές επεμβάσεις κατεργασίας. Οι τεχνικές αυτές οδηγούν στη μείωση της οργανικής ουσίας, στην καταστροφή της μικροβιακής χλωρίδας και την εξαφάνιση πολλών ωφελίμων ζωικών οργανισμών από το έδαφος όπως ορισμένα έντομα εδάφους και οι γαιοσκώληκες (Madejon et al., 2007, Madejon et al., 2009, Mikanova et al., 2009, Αγγελόπουλου 2003).

Οργανική Ουσία εδάφους

Ο όρος "οργανική ύλη εδάφους" έχει χρησιμοποιηθεί με διάφορους τρόπους για να περιγράψει τα οργανικά συστατικά του εδάφους. Ως οργανική ουσία ορίζονται όλα τα οργανικά υλικά που βρέθηκαν στο έδαφος ανεξάρτητα από την καταγωγή ή την κατάσταση της αποσύνθεσης. Η ποσότητα οργανικής ουσίας που υπάρχει σε οποιοδήποτε έδαφος προσδιορίζεται από την ισορροπία μεταξύ των συντελεστών του οργανικού άνθρακα εισόδου (βλάστηση, ρίζες) και εξόδου (CO₂ από μικροβιακή αποσύνθεση). Ωστόσο, ο τύπος του εδάφους, το κλίμα, η διαχείριση, η σύνθεση σε μεταλλικά στοιχεία, η τοπογραφία, το έδαφος, οι ζώντες οργανισμοί και οι αλληλεπιδράσεις μεταξύ κάθε μίας από αυτές τροποποιούν τους παράγοντες που θα επηρεάσουν το συνολικό ποσό και διανομή μέσα στο έδαφος του οργανικού άνθρακα. Οι αλλαγές που γίνονται στη φυσική κατάσταση των εδαφικών συστημάτων (π.χ. αλλαγές χρήσης γης, της αποψίλωσης των δασών, φυτεία) θα οδηγήσει σε διαφορετικές συνθήκες κάτω από τις οποίες θα εισέρχεται και εξέρχεται από το σύστημα ο οργανικός άνθρακας (Set al., 2004).

Τα εδάφη τείνουν να είναι πιο παραγωγικά όταν προστίθεται οργανική ύλη τακτικά. Η οργανική ουσία του εδάφους ενισχύει τον αερισμό, τη διαπερατότητα, τη κατακράτηση νερού, την ανταλλαγή κατιόντων, έχει ρυθμιστική ικανότητα και αυξάνει την αντοχή του εδάφους σε συμπίεση (Lal and Stewart 2010). Η οργανική ύλη είναι πολύ σημαντική στη διαχείριση της γονιμότητας του εδάφους, γιατί έχει πολλές ιδιότητες που βοηθούν στην αύξηση της γονιμότητας του εδάφους και στη βελτίωση της δομής του εδάφους καθώς επίσης και μεγάλη ικανότητα για να διατηρούνται τα θρεπτικά συστατικά. Μπορεί επίσης να διατηρεί περισσότερο νερό, που σημαίνει ότι σε ξηρές περιόδους περισσότερο νερό είναι διαθέσιμο για τα φυτά για μεγαλύτερο χρονικό διάστημα. Αυτό είναι ιδιαίτερα σημαντικό σε αμμώδη εδάφη, τα οποία διατηρούν πολύ λίγα θρεπτικά συστατικά. Η οργανική ύλη μπορεί να βελτιώσει τη δομή του εδάφους κάτι πολύ σημαντικό τόσο για αμμώδη όσο και για αργιλώδη εδάφη, επειδή δεν έχουν πολύ καλή δομή. Τέλος, διεγείρει την ανάπτυξη των οργανισμών του εδάφους, τα οποία βοηθούν στο να κάνουν τα θρεπτικά συστατικά στην οργανική ύλη να είναι διαθέσιμα για τα φυτά (Van Scholl και Rienke 2004). Η οργανική ύλη στο έδαφος αποτελείται από φρέσκα οργανικά υλικά και χούμο.

Φρέσκα οργανικά υλικά είναι τα φυτικά υπολείμματα και ζωικά απόβλητα που δεν έχουν ακόμα αποσυντεθεί, όπως οι ρίζες, τα υπολείμματα των καλλιεργειών, τα περιττώματα των ζώων και πτώματα. Το φρέσκο υλικό μετασχηματίζεται από τους οργανισμούς του εδάφους σε χούμο, το οποίο καλείται επίσης οργανική ύλη του εδάφους. Κατά τη διαδικασία, τα θρεπτικά συστατικά απελευθερώνονται και

γίνονται διαθέσιμα για τα φυτά. Ο χούμος, δηλαδή η οργανική ύλη του εδάφους, είναι υλικό που έχει διασπαστεί τόσο πολύ ώστε το αρχικό οργανικό υλικό δεν είναι πλέον ευδιάκριτο. Μπορεί να διακρίνει κανείς εάν το έδαφος περιέχει πολύ ή λίγη οργανική ύλη από το χρώμα του. Η οργανική ύλη υπάρχει ως επί το πλείστον στο ανώτερο στρώμα του εδάφους. Αυτό το στρώμα παίρνει έτσι ένα πιο σκούρο χρώμα, επειδή ο χούμος είναι μαύρος. Εάν το άνω στρώμα δεν είναι αισθητά σκοτεινότερο από τα υποκείμενα στρώματα, αυτό σημαίνει ότι το έδαφος περιέχει λίγη οργανική ύλη. Μια άλλη ένδειξη της παρουσίας της οργανικής ύλης είναι η παρουσία των οργανισμών του εδάφους. Αν υπάρχουν πολλοί οργανισμοί στο έδαφος, τότε η οργανική ύλη πρέπει επίσης να είναι παρούσα. Ένας άλλος τρόπος για να διαπιστωθεί η ύπαρξη οργανικής ουσίας είναι να θερμάνει κανείς μια μεγάλη χούφτα χώμα σε μια κατσαρόλα με νερό. Εάν αρχίσει να μυρίζει σαν μούχλα, τότε το έδαφος περιέχει πιθανώς οργανική ύλη. Ο χούμος διασπάται από τους οργανισμούς του εδάφους, απελευθερώνοντας έτσι ακόμη περισσότερα θρεπτικά συστατικά, αλλά αυτή η διαδικασία διαρκεί πολύ περισσότερο. Σύμφωνα με τους Van Scholl και Rienke, (2004), η ισορροπία της οργανικής ύλης πρέπει να είναι ίση ή θετική, δηλαδή, η ποσότητα της οργανικής ύλης η οποία προστίθεται πρέπει να είναι ίση ή μεγαλύτερη από την ποσότητα που διασπάται και κατά συνέπεια χάνεται. Ωστόσο, ένα θετικό ισοζύγιο της οργανικής ύλης είναι δύσκολο να επιτευχθεί. Αυτό σημαίνει ότι εάν αρκετή οργανική ύλη χαθεί (από τη διάβρωση, για παράδειγμα), είναι δύσκολο να αυξηθεί το επίπεδο της οργανικής ύλης στο έδαφος.

Διεργασίες με τις οποίες η οργανική ουσία συνεισφέρει στη θρέψη των φυτών

Η οργανική ουσία του εδάφους βελτιώνει πολλά από τα χαρακτηριστικά του. Πιο συγκεκριμένα χάρη στη συσσωμάτωση των εδαφικών τεμαχιδίων βελτιώνει τη καλή δομή του εδάφους και κατά συνέπεια τις καλές συνθήκες αερισμού και διήθησης. Παράλληλα δίνει αντοχή στο έδαφος με αποτέλεσμα να είναι πιο ανθεκτικό στη διάβρωση. Συνήθως τα ποσοστά οργανικής ουσίας κυμαίνονται από 2-10% (LIFE-Soil Sustainability (So.S.) 2009-2012) Στην Ελλάδα πολλά εδάφη έχουν κοντά στο 1% που είναι ιδιαίτερα χαμηλό.

Τα εδάφη χωρίζονται σε δυο κατηγορίες βάσει του ποσοστού οργανικής ουσίας που διαθέτουν και ανάλογα ονομάζονται ανόργανα και οργανικά. Το μεγαλύτερο ποσοστό των εδαφών που καλλιεργούνται παγκοσμίως είναι ανόργανα και συγκεκριμένα: “ η περιεχόμενη οργανική ουσία κυμαίνεται από ίχνη έως και 30%, συνήθως όμως σε ποσοστά μικρότερα του 10%.” (LIFE-Soil Sustainability (So.S.) 2009-2012). Η συνεχής καλλιέργειά των εδαφών και η συγκομιδή και απόληψη της παραγωγής έχουν ως αποτέλεσμα τη μείωση οργανικής ουσίας και την υποβάθμιση της γονιμότητας που οδηγεί στη συνεχή μείωση των θρεπτικών συστατικών. Η ελάχιστη επιθυμητή περιεκτικότητα σε οργανική ουσία για τη διατήρηση ικανοποιητικών φυσικών και χημικών ιδιοτήτων στα καλλιεργούμενα εδάφη είναι σχετικά χαμηλή και κυμαίνεται μεταξύ 2 και 4%. Ποσοστό οργανικής ουσίας υψηλότερο από αυτό που απαιτείται για τη διατήρηση ικανοποιητικών φυσικών ιδιοτήτων προσδίδει στα εδάφη μεγαλύτερη ικανότητα συγκράτησης θρεπτικών, αλλά δεν συνεισφέρει άμεσα στην αύξηση της παραγωγικότητας των εδαφών (LIFE-Soil Sustainability (So.S.) 2009-2012). Αντίθετα τα οργανικά εδάφη, τα οποία είναι

σπάνια λόγω του πολύ υψηλού ποσοστού οργανικής ουσίας που διαθέτουν, δεν είναι ζωτικά για γεωργική παραγωγή.

Δυο είναι οι διεργασίες με τις οποίες η οργανική ουσία συνεισφέρει στη θρέψη των φυτών:

- Όλα τα θρεπτικά στοιχεία που είναι χρήσιμα για τα φυτά ελευθερώνονται σε αφομοιώσιμες μορφές κατά τη διάρκεια αποσύνθεσης των φυτικών υπολειμμάτων και αποτελούν την οργανική ουσία του εδάφους.
- Ο χούμος, ο οποίος μπορεί και συγκρατεί τα κατιόντα (CEC) αλλά και να ελευθερώνει σημαντικές ποσότητες θρεπτικών στοιχείων.

Η οργανική ουσία συμβάλλει στη βιοποικιλότητα του εδάφους και παίζει καθοριστικό ρόλο για τη γονιμότητα του εδάφους. Ο οργανικός άνθρακας βελτιώνει το φυσικό περιβάλλον των ριζών ώστε να διεισδύουν στο έδαφος και γενικότερα βελτιώνει τη δομή του εδάφους. Η οργανική ουσία απορροφά νερό – έχει την ικανότητα να συγκρατεί περίπου έξι φορές το βάρος της σε νερό – και κατά συνέπεια η σημασία της για τη βλάστηση σε φυσικά ξηρά και αμμώδη εδάφη είναι καθοριστική (Sustainable Agriculture and Soil Conservation 2007-2009). Χάρη στη καλή δομή που διαθέτουν τα εδάφη που είναι πλούσια σε οργανική ουσία η διήθηση του νερού είναι βελτιωμένη και μειώνεται η ευπάθεια του εδάφους, η συμπύκνωση, η διάβρωση, η απερίημωση και οι κατολισθήσεις. Τα εδάφη παγκοσμίως περιέχουν περίπου τη διπλάσια ποσότητα άνθρακα από εκείνη που συγκρατείται στην ατμόσφαιρα και την τριπλάσια ποσότητα από εκείνη στη βλάστηση (Sustainable Agriculture and Soil Conservation 2007-2009). Κατά την αποσύνθεση της οργανικής ουσίας γίνεται απελευθέρωση διοξειδίου του άνθρακα (CO₂) ενώ όταν αυτή σχηματίζεται διοξείδιο του άνθρακα απορροφάται από την ατμόσφαιρα.

Η οργανική ύλη του εδάφους και πιο συγκεκριμένα ο οργανικός άνθρακας του εδάφους είναι γνωστό ότι παίζουν σημαντικό ρόλο στη διατήρηση καθώς και τη βελτίωση πολλών ιδιοτήτων του εδάφους. Ενώ η γεωργία είναι ο τομέας που ενδιαφέρεται περισσότερο για βασικές λειτουργίες και τα κρίσιμα επίπεδα του οργανικού άνθρακα, η δασοκομία, η βόσκηση, καθώς και ρύπανση των υπόγειων υδάτων και απομόνωση C είναι τομείς όπου η γνώση σχετικά με τις λειτουργίες του οργανικού άνθρακα είναι ζωτικής σημασίας (Krull et al., 2004).

Παράγοντες που επηρεάζουν την οργανική ουσία

Οι κύριοι παράγοντες που επηρεάζουν το ποσοστό της οργανικής ουσίας που προστίθεται στο έδαφος σε σχέση με αυτό που απομακρύνεται είναι οι εξής (LIFE-Soil Sustainability (So.S.) 2009-2012)):

- **Κλιματικοί.** Ο οργανικός άνθρακας είναι υψηλότερος όταν οι θερμοκρασίες είναι χαμηλότερες και η βροχόπτωση υψηλότερη. Εκτιμάται ότι για κάθε 8 με 9°C αύξηση της μέσης ετήσιας θερμοκρασίας, ο ρυθμός αποσύνθεσης της οργανικής ουσίας του εδάφους διπλασιάζεται.

- **Εδαφικός τύπος.** Η ενσωμάτωση της οργανικής ουσίας στα εδαφικά συσσωματώματα, η αυξημένη συγκράτηση υγρασίας, ο περιορισμός του αερισμού κλπ. είναι κάποια από τα γνωρίσματα των εδαφών που τα διαφοποποιούν μεταξύ τους.

-Η φυτική ανάπτυξη. Η εισροή του οργανικού άνθρακα στο έδαφος αυξάνεται όσο αυξάνεται η φυτική μάζα και κυρίως τα φυτικά υπολείμματα που παραμένουν στο χωράφι μετά τη συγκομιδή. Καθοριστικό ρόλο βέβαια παίζει όχι μόνο το είδος της βλάστησης που αναπτύσσεται αλλά και ο λόγος άνθρακα προς άζωτο (C/N).

- Η τοπογραφία. Στις κεκλιμένες περιοχές λόγω αυξημένης υγρασίας παρατηρείται και μεγαλύτερη συγκέντρωση οργανικού άνθρακα.

Σχόλιο [u6]: Η επίδραση της διάβρωσης ποια είναι;

-Η μηχανική κατεργασία του εδάφους. Η αποικοδόμηση της οργανικής ουσίας εντείνεται με την εντατική κατεργασία του εδάφους με αποτέλεσμα αυτή να μειώνεται. Η μείωση αυτή αντισταθμίζεται όταν η παραγωγή βιομάζας αυξάνεται, και αυτό συμβαίνει μόνο όταν τα φυτικά υπολείμματα μετά τη συγκομιδή παραμένουν και ενσωματώνονται στο έδαφος.

Αύξηση οργανικής ουσίας προκαλούν οι εξής πρακτικές στα καλλιεργούμενα εδάφη :

- Μετά τη συγκομιδή η διατήρηση ή/και προσθήκη φυτικών υπολειμμάτων και προσθήκη οργανικών υλικών όπως κοπριά κλπ. Που μπορεί να έχουν και άλλα οφέλη όπως συγκράτηση υγρασίας, προστασία από διάβρωση κλπ.
- Η αμειψισπορά, που περιλαμβάνει πολυετή αγρωστώδη φυτά καθώς και φυτών φυτοκάλυψης ή χλωρής λίπανσης.
- Η μείωση της κατεργασίας του εδάφους, κυρίως κατά τη ζεστή και ξηρή περίοδο του έτους. (Μια λύση είναι η πρακτική αγκαλιέργειας.)
- Η συντήρηση υψηλών επιπέδων υγρασίας στο έδαφος. (LIFE-Soil Sustainability (So.S.) 2009-2012)

Τα πολυετή αγρωστώδη έχουν τα ευνοϊκότερα αποτελέσματα σε σχέση με την αύξηση της οργανικής ουσίας του εδάφους για διάφορους λόγους, μεταξύ των οποίων και οι εξής:

- Ανάπτυξη εκτεταμένου και βαθέως ριζικού συστήματος.
- Η ινώδης υφή των ριζών των πολυετών γρασιδιών.
- Η αυξημένη διηθητικότητα ακόμη και στις βαθύτερες εδαφικές στρώσεις, που υποβοηθείται από την ανάπτυξη εκτεταμένου ριζικού συστήματος.
- Η μειωμένη αποικοδόμηση της οργανικής ουσίας καθώς δεν καλλιεργείται το έδαφος. (LIFE-Soil Sustainability (So.S.) 2009-2012)

Μέθοδοι για την αύξηση της οργανικής ύλης

Υπάρχουν διάφορες πρακτικές που μπορούν να διεξαχθούν για να βελτιώσει την οργανική ύλη στο έδαφος όπως οι εξής:

- με προσθήκη κομπόστ
- με χλωρή λίπανση
- με αμειψισπορά
- με επιστροφή υπολειμμάτων καλλιεργειών
- με μηδενική καλλιέργεια
- με εφαρμογή αποβλήτων βιομηχανίας
- με την εφαρμογή κοπριάς ζώων.

Απώλεια οργανικής ουσίας

Υπάρχουν γεωργικές πρακτικές οι οποίες οδηγούν σε αυξημένη απώλεια οργανικής ουσίας. Οι πιο διαδεδομένες είναι το κάψιμο ή απλά η απομάκρυνση όλων των

φυτικών υπολειμμάτων, η εντατική κατεργασία του εδάφους, η ξήρανση και θέρμανση ακόμη και των βαθύτερων στρώσεων του εδάφους. Άλλος ένας παράγοντας που συνεισφέρει στη μείωση της οργανικής ουσίας του εδάφους είναι η καλοκαιρινή αγρανάπαυση, καθώς η αυξημένη θερμοκρασία σε συνδυασμό με την ξήρανση και τον αυξημένο αερισμό του εδάφους και τη μη ύπαρξη καλλιέργειας που να καλύπτει το έδαφος, οδηγούν σε ταχεία αποσύνθεση της οργανικής ουσίας (LIFE-Soil Sustainability (So.S.) 2009-2012). Ακόμη η διάβρωση του εδάφους οδηγεί στη μείωση των αποθεμάτων οργανικής ουσίας, καθώς έτσι απομακρύνεται το επιφανειακό έδαφος όπου εκεί είναι συγκεντρωμένο το μεγαλύτερο μέρος της οργανικής ουσίας.

Κατά καιρούς έχουν χρησιμοποιηθεί διάφορες πρακτικές προκειμένου να βελτιωθεί το έδαφος για να είναι έτοιμο για την επόμενη καλλιεργητική περίοδο. Μια ευρέως γνωστή διαδικασία που ακολουθείται είναι η καύση της βλάστησης και των υπολειμμάτων των καλλιεργειών (Bot and Benite 2005). Συνήθως αυτή η πρακτική ακολουθείται προκειμένου να βοηθήσει στον έλεγχο των εντόμων και των ασθενειών αλλά και για τη διαχείριση των υπολειμμάτων ώστε να μην προκαλούν εμπλοκές των μηχανημάτων στις εργασίες που ακολουθούν. Παρόλα αυτά η καύση μειώνει την οργανική ουσία που επιστρέφει στο χώμα με αποτέλεσμα να υπάρξουν μελλοντικά μακροπρόθεσμες συνέπειες.

Η υπερβόσκηση είναι μια ακόμη τάση ανά τον κόσμο που σαν αποτέλεσμα έχει τη μείωση της πυκνότητας του καλύμματος του φυτού αυξάνοντας έτσι το κίνδυνο διάβρωσης και μειώνοντας τη θρεπτική αξία και φέρουσα ικανότητα του εδάφους.

Βασικά βήματα στην υποβάθμιση της οργανικής ύλης;

Για να απαντηθεί το ερώτημα θα πρέπει να δοθεί προσοχή κυρίως στη νεκρή φυτική ύλη καθώς αυτή αποτελεί το μεγαλύτερο μέρος της οργανικής ύλης στο έδαφος (εκτός από τις ρίζες που ζουν). Οι ζωντανοί οργανισμοί αποτελούνται από χιλιάδες διαφορετικές ενώσεις, οπότε όταν αυτοί πεθάνουν θα υπάρχουν οι ενώσεις αυτές στο έδαφος που πρόκειται να αποσυντεθεί. Καθώς οι ενώσεις αυτές αποσυντίθενται, η οργανική ύλη στο έδαφος μετασχηματίζεται βαθμιαία και αλλάζει έτσι ώστε τελικά να μην είναι πλέον αναγνωρίσιμα ως τμήμα του αρχικού φυτού. Τα στάδια για τη μελέτη της ΟΥ αυτά είναι τα εξής:

- Κατανομή των ενώσεων που είναι εύκολο να αποσυντεθούν - όπως σάκχαρα, άμυλα και πρωτεΐνες.
- Κατανομή των ενώσεων που χρειάζονται αρκετά χρόνια για να αποσυντεθούν όπως κυτταρίνη (ένα αδιάλυτο υδατάνθρακα που βρίσκεται στα φυτά), λιγνίνες (μια πολύ περίπλοκη δομή που είναι μέρος του ξύλου).
- Ανάλυση των ενώσεων που μπορεί να διαρκέσουν έως και 10 χρόνια για να αποσυντεθούν – π.χ. φαινόλες. Αυτό περιλαμβάνει επίσης ενώσεις που έχουν σχηματιστεί σταθεροί συνδυασμοί και βρίσκονται βαθιά μέσα στα συσσωματώματα του εδάφους και συνεπώς δεν είναι προσιτά σε οργανισμούς του εδάφους.
- Ενώσεις που λαμβάνουν δεκάδες, εκατοντάδες ή χιλιάδες χρόνια για να αποσυντεθούν περιλαμβάνουν χούμο-όπως ουσίες που είναι το αποτέλεσμα της ολοκλήρωσης των ενώσεων από τα προϊόντα διάσπασης των φυτών και των ουσιών που παράγονται από μικροοργανισμούς όπως -χούμο.

Οι ενώσεις που ανήκουν στην πρώτη ομάδα είναι γρήγορο και εύκολο να αποσυντεθούν από τους μύκητες και τα βακτήρια, με αποτέλεσμα ο άνθρακας και η ενέργεια που παρέχουν να είναι άμεσα διαθέσιμα. Τα περισσότερα από τα μικρόβια που ζουν στο έδαφος διαθέτουν τα ένζυμα που χρειάζονται για να αποσυνθέσουν αυτές τις απλές ενώσεις. Αυτό το είδος της αποσύνθεσης είναι το πρώτο στάδιο κατά τη διάρκεια της αποδόμησης της οργανικής ύλης. Ακάρεα και μικρά ζώα εδάφους βοηθούν συχνά αυτό το στάδιο με διάλυση της οργανικής ύλης σε μικρότερα κομμάτια εκθέτοντας περισσότερο από το υλικό στον αποικισμό από βακτήρια και μύκητες.

Το δεύτερο στάδιο περιλαμβάνει τα μικρόβια που αποσυνθέτουν πιο πολύπλοκες ενώσεις. Πολλοί, αλλά όχι όλοι, οι μύκητες και τα βακτήρια μπορούν να αποσυνθέσουν αυτές τις ενώσεις. Οι ενώσεις χρειάζονται περισσότερο χρόνο για να αποσυντεθούν επειδή είναι πιο περίπλοκες από τις ενώσεις της πρώτης ομάδας. Ειδικά ένζυμα, τα οποία δεν παράγονται συνήθως από τους περισσότερους μικροοργανισμούς απαιτούνται για να διασπαστούν οι ενώσεις αυτές.

Θα πρέπει να σημειωθεί ότι η αποσύνθεση θα πραγματοποιηθεί μόνο αν οι συνθήκες είναι κατάλληλες. Το ποσοστό της κατανομής επηρεάζεται σε μεγάλο βαθμό από τις συνθήκες. Πρέπει να υπάρχει κάποια διαθέσιμη υγρασία, η θερμοκρασία εδάφους πρέπει να είναι κατάλληλη (συνήθως μεταξύ 10 και 35 ° C) και το χώμα δεν πρέπει να είναι υπερβολικά όξινο ή αλκαλικό. Η αποσύνθεση λαμβάνει επίσης χώρα σε υψηλότερες θερμοκρασίες.

Οι απώλειες της οργανικής ουσίας που οφείλονται στην εντατική διαχείριση των οικοσυστημάτων συμβάλλουν ουσιαστικά στην αύξηση διοξειδίου του άνθρακα (CO₂) στην ατμόσφαιρα. Η αύξηση των επιπέδων του διοξειδίου του άνθρακα ενισχύει τη πρωτογενή παραγωγή αυξάνοντας έτσι την είσοδο νέου άνθρακα προερχόμενου από τα φυτά στο έδαφος χορτολιβαδικών οικοσυστημάτων (Marhan et al., 2007). Αυτό μπορεί να επηρεάσει θετικά τη δέσμευση του άνθρακα στο έδαφος. Ωστόσο, αυτή η αυξημένη εισροή άνθρακα σε χορτολιβαδικές εκτάσεις εδαφών μπορεί να αντιμετωπισθεί με ενίσχυση της αποσύνθεσης του παλαιού οργανικού υλικού του εδάφους (επίδραση της προκατεργασίας), περιορίζοντας έτσι τις δυνατότητες των χορτολιβαδικών εκτάσεων να αφομοιώσουν άνθρακα κάτω από την αύξηση της ατμοσφαιρικής συγκέντρωσης διοξειδίου του άνθρακα, CO₂. Ανάλογα με τον τύπο και την ποιότητα των απορριμμάτων, η αποσύνθεση των καταλοίπων από τα φυτά που καλλιεργούνται κάτω από αυξημένη συγκέντρωση διοξειδίου του άνθρακα, CO₂, μπορεί να είναι είτε μειωμένη, ενισχυμένη ή να παραμένει ανεπηρέαστη, σε σύγκριση με τα σκουπίδια που παράγονται στο περιβάλλον. Η αποσύνθεση του υλικού που προέρχεται από τη ρίζα αναφέρθηκε (Marhan et al., (2007). πως επηρεάζεται διαφορετικά από την αυξημένη ποσότητα ατμοσφαιρικού διοξειδίου του άνθρακα [CO₂], ανάλογα με τη διαθεσιμότητα N στο έδαφος

Σχόλιο [f7]: δυσνόητο

Σχόλιο [u8]: Πως δηλαδή;

Η συνεχιζόμενη μείωση της οργανικής ουσίας του εδάφους, που προέρχονται από τη γεωργική παραγωγή, έχει ορισθεί ως ένα κρίσιμο πρόβλημα για τα περισσότερα εδάφη σε ολόκληρο τον κόσμο. Είναι σχετικά εύκολο να ποσοτικοποιηθεί η

οργανική ουσία αλλά η αξιολόγηση της ποιότητας της είναι πιο πολύπλοκη (Riviero et al. (2004).

ΟΦΕΛΗ ΚΑΙ ΠΡΟΣΕΓΓΙΣΗ ΔΙΑΧΕΙΡΙΣΗΣ ΟΡΓΑΝΙΚΗΣ ΟΥΣΙΑΣ

Οφέλη από Σταθερή οργανική ύλη του εδάφους

Τα οφέλη της οργανικής ουσίας χωρίζονται σε 3 κατηγορίες:

Οφέλη ΣΤΙΣ ΦΥΣΙΚΕΣ ΙΔΙΟΤΗΤΕΣ

- Η σταθερότητα του εδάφους, η διήθηση του νερού, ο αερισμός του εδάφους και η μείωση της απορροής βελτιώνονται όπως επίσης και η ικανότητα συγκράτησης του νερού.
- Χάρη στην οργανική ουσία τα εδάφη είναι πιο εύκολο να καλλιεργηθούν εφόσον μειώνεται η ακαμψία των αργιλωδών εδαφών.

Οφέλη στις χημικές ιδιότητες

- Το έδαφος αντιστέκεται καλύτερα στις αλλαγές του pH.
- Χάρη στη σύντομη αποσύνθεση των μετάλλων στο έδαφος με τη πάροδο του χρόνου τα θρεπτικά συστατικά στα μέταλλα καθίστανται διαθέσιμα .

Οφέλη στα βιολογικά χαρακτηριστικά

- Παρέχει τροφή για τους ζωντανούς οργανισμούς του εδάφους.
- Ενισχύει και βελτιώνει τη βιοποικιλότητα του εδάφους καθώς και τη μικροβιακή δραστηριότητα, η οποία κατά συνέπεια μπορεί να βοηθήσει στην καταστολή των ασθενειών και των παρασίτων.
- Παρατηρείται αύξηση της διείσδυσης της ρίζας και μείωση της απορροής εφόσον ενισχύονται οι πόροι μέσα από τις δράσεις των μικροοργανισμών του εδάφους (Fenton et al. 2008).

Η οργανική ύλη του εδάφους είναι το θεμέλιο για ένα παραγωγικό έδαφος. Προωθεί υγιείς καλλιέργειες, τη διαθεσιμότητα των πόρων για τα μικρόβια και άλλους οργανισμούς του εδάφους, και ρυθμίζει την παροχή του νερού, του αέρα και θρεπτικά συστατικά για τα φυτά (Snapp et al. 2011). Μπορεί ακόμη να προσφέρει πάνω από το μισό του αζώτου και το ένα τέταρτο των απαιτήσεων των καλλιεργειών σε φώσφορο, επηρεάζοντας έτσι σημαντικά τις ανάγκες σε λίπασμα.

Ολοκληρωμένη προσέγγιση διαχείρισης οργανικής ουσίας

Οι προσπάθειες για τη διαχείριση της οργανικής ουσίας για τη βελτίωση της παραγωγικότητας των καλλιεργειών και της ποιότητας του περιβάλλοντος πρέπει να επικεντρωθεί στην αύξηση της συγκέντρωσης άνθρακα (C). Αυτός είναι ο καλύτερος τρόπος για την επίτευξη των βραχυπρόθεσμων στόχων για την παροχή θρεπτικών συστατικών διαμέσου του κύκλου εργασιών και των μακροπρόθεσμων στόχων για την αύξηση θρεπτικών συστατικών. Ένας τρόπος για να επιτευχθεί αυτό είναι μέσω της προσθήκης μιας ποικιλίας εισροών, συμπεριλαμβανομένων των υπολειμμάτων των καλλιεργειών με διάφορες χημικές συνθέσεις και αναλογίες C: N, καθώς και λίπασμα και κοπριά. Η μείωση της συχνότητας οργώματος ή της έντασης της κατεργασίας του αδάφους μπορεί επίσης να αυξήσει την οργανική ύλη στο έδαφος (Snapp et al., 2011). Η αποσύνθεση επιταχύνεται με όργωμα, το οποίο φέρνει τα οργανικά υλικά σε επαφή με οργανισμούς και γενικά βελτιώνει το περιβάλλον για βιολογική δραστηριότητα (αύξηση αερισμού). Μειωμένη άροση και καλλιεργητικές πρακτικές που μειώνουν την διατάραξη του εδάφους, έχουν ως αποτέλεσμα να

μένει ένα κάλυμμα επιφάνειας από υπολείμματα της καλλιέργειας. Το κάλυμμα αυτό προστατεύει από τη διάβρωση του αέρα και των υδάτων, συμβάλλοντας στη διατήρηση του εδάφους. Ωστόσο, έχει παρατηρηθεί ότι η αποφυγή οργώματος είναι το πιο αποτελεσματικό για την ενίσχυση της οργανικής ουσίας αν συνδυάζεται με αμειψισπορές καλλιέργειες κάλυψης που περιλαμβάνουν καλλιέργειες βαθιά ριζωμένες και φυτά υψηλής παραγωγής υπολειμμάτων. Και οι δύο από αυτές πρακτικές θα πρέπει να ασκούνται μακροπρόθεσμα για την οικοδόμηση οργανικής ύλης του εδάφους. Η αφαίρεση των υπολειμμάτων από τις καλλιέργειες θα μπορούσε να θέσει σε κίνδυνο την ποιότητα του εδάφους. Μια λύση θα ήταν η αφαίρεση για πώληση ορισμένων υπολειμμάτων αλλά να καλλιεργηθεί ένα φυτό το οποίο να αντικαθιστά τα υπολείμματα και να προστατεύει και να διατηρεί το έδαφος.

Η χρήση γης και η διαχείριση γεωργικών πρακτικών όπως αμειψισπορά, όργωμα εδάφους και η αποσύνθεση της οργανικής ουσίας ανάλογα με τις ειδικές συνθήκες χώρου, μπορούν να επηρεάσουν την οργανική ύλη του εδάφους. Αλλαγές στη περιεκτικότητα οργανικού άνθρακα του εδάφους προκύπτουν συνήθως πάντα σε αποσυνθέσιμο μέρος του. Η τάση των αποσυνθέσιμων αλλαγών άνθρακα εξαρτάται επίσης από το αρχικό επίπεδο. Εφαρμογή της ίδιας λίπανσης και του ίδιου συστήματος καλλιέργειας μπορεί να προκαλέσει μείωση του περιεχομένου της οργανικής ουσίας αν το αρχικό επίπεδο ήταν υψηλό, καθώς επίσης και μια αύξηση της οργανικής ουσίας αν το αρχικό επίπεδο ήταν χαμηλό (CVETKOV 2010). Δεδομένου ότι η οργανική ουσία αλληλεπιδρά με την άργιλο στο χώμα για να σχηματίσουν σύμπλοκα και μικρο-αδρανή υλικά που κάνουν την οργανική ουσία λιγότερο προσβάσιμη στους αποικοδομητές, ο οργανικός άνθρακας τείνει να αυξάνεται και ο ρυθμός ορυκτοποίησης να μειώνεται με τη περιεκτικότητα σε άργιλο. Η ποσότητα οργανικής ουσίας είναι γενικά υψηλότερη στα εδάφη που έχουν υποστεί λίπανση σε σχέση με τα εδάφη που δεν έχουν υποστεί. Διότι προφανώς η λίπανση αυξάνει τη παραγωγή φυτικών υπολειμμάτων που επανέρχονται στο έδαφος και αποτελούν πηγή δημιουργίας οργανικής ουσίας του εδάφους.

Σχόλιο [u9]: Τι σημαίνει αυτό;
Ανάλυσε το

Οφέλη της οργανικής ουσίας του εδάφους

Η λίστα με τα οφέλη από την ύπαρξη οργανικής ύλης στο έδαφος είναι εκτενής:

1. Η οργανική ύλη είναι η πηγή του 90-95 % του αζώτου σε εδάφη που δεν έχουν υποστεί λίπανση.
2. Η οργανική ύλη μπορεί να είναι η κύρια πηγή των δύο διαθέσιμων πηγών φωσφόρου και θείου όταν ο εδαφικός χούμος είναι παρών σε σημαντικές ποσότητες.
3. Η οργανική ύλη συμβάλλει στην ικανότητα ανταλλαγής κατιόντων, συχνά συμμετέχοντας στο 30-70% του συνολικού ποσού. Οι μεγάλες διαθέσιμες επιφάνειες του χούμου έχουν πολλές θέσεις ανταλλαγής κατιόντων που προσροφούν θρεπτικά συστατικά για ενδεχόμενη χρήση από τα φυτά και προσωρινά προσροφούν ρύπους βαρέων μετάλλων (μόλυβδος, κάδμιο κλπ.), τα οποία συνήθως προέρχονται από λύματα. Η προσρόφηση αυτή πιθανώς να βοηθά στην εκκαθάριση του μολυσμένου νερού.

4. Η οργανική ύλη αυξάνει συνήθως τη περιεκτικότητα σε νερό, αυξάνει τη διαθέσιμη περιεκτικότητα σε νερό σε αμμώδη εδάφη, και αυξάνει το ρυθμό ροής τόσο του αέρα όσο και του νερού μέσω λεπτής υφής του εδάφους. Αυτό το τελευταίο αποτέλεσμα είναι πιθανόν να οφείλεται κυρίως σε συσσωμάτωση του εδάφους, η οποία παράγει μεγαλύτερους πόρους του εδάφους.

5. Η οργανική ύλη δρα ως ένα χηλικό υλικό. Πρόσδεμα είναι οποιαδήποτε οργανική ένωση η οποία μπορεί να συνδέεται με ένα μέταλλο (συνήθως σίδηρο, ψευδάργυρο, χαλκό ή μαγγάνιο) με περισσότερους από έναν δεσμούς και σχηματίζουν ένα δακτύλιο ή κυκλική δομή από την εν λόγω συγκόλληση, που ονομάζεται χηλική ένωση.

Οι διαλυτές χηλικές ενώσεις πιθανώς να συμβάλουν στην κινητοποίηση των μικροθρεπτικών συστατικών μετάλλων και ιχνοστοιχείων αυξάνοντας τη διαθεσιμότητά τους για τα φυτά και τη γενική κινητικότητα στο έδαφος. Οι μηχανισμοί δράσης των χηλικών δεν είναι πλήρως γνωστοί σήμερα.

7. Η οργανική ύλη είναι μια προσφορά άνθρακα για πολλά μικρόβια που εκτελούν άλλες ευεργετικές λειτουργίες του εδάφους.

8. Όταν μένει πάνω από το έδαφος ως φύλλα σε αποσύνθεση, η οργανική ύλη μειώνει τη διάβρωση, προσφέρει σκίαση στο έδαφος (εμποδίζοντας τη ταχεία απώλεια υγρασίας), και κρατά το έδαφος δροσερό όταν ο καιρός είναι πολύ ζεστός και κατά τους πιο ζεστούς χειμώνες.

Βιολογία του εδάφους και θρεπτικών ουσιών

Η φυτική βιομάζα παρέχει ένα σύνθετο πλέγμα των οργανικών υλικών που αλληλεπιδρούν με την οργανική ύλη του εδάφους. Η πολυπλοκότητα αυτή μπορεί να επηρεάσει την ποικιλομορφία της μικροβιακής κοινότητας τους εδάφους και τις φυσιολογικές και ενζυματικές διαδικασίες που σχετίζονται, επηρεάζοντας έτσι τα θρεπτικά συστατικά ανοργανοποίησης και τη διαθεσιμότητα σε άζωτο. Σε γενικές γραμμές η συγκομιδή (αφαίρεση) των υπολειμμάτων των καλλιεργειών μειώνει τους δείκτες δραστηριότητας της βιολογίας του εδάφους.

Κύκλος του άνθρακα

Όταν η υπέργεια βιομάζα συλλέγεται η ποιότητα των εισροών άνθρακα αλλάζει καθώς οι ρίζες και τα υπέργεια φυτικά όργανα μπορεί να έχουν διαφορετική χημική σύνθεση. Η οργανική ουσία που προέρχεται από βιομάζα ριζών συνεισφέρει από 1,5 έως 3 φορές περισσότερο σε σταθερή οργανική ύλη του εδάφους σε σύγκριση με άνθρακα που προέρχεται από υπέργεια βιομάζα (Lal and Stewart 2010).

Άνθρακας του εδάφους-Ποσότητα, δομή και εδαφικές λειτουργίες

Μετά την υφή, την οξύτητα, την αλατότητα, ο οργανικός άνθρακας είναι η μεταβλητή που έχει τη μεγαλύτερη επίδραση στις εδαφικές ιδιότητες. Μακροχρόνια πειράματα δείχνουν ότι το περιεχόμενο του οργανικού άνθρακα του εδάφους είναι το αποτέλεσμα της ισορροπίας ανάμεσα στις εισόδους και εξόδους του οργανικού άνθρακα (Powlson et al., 2010). Οι κύριες εισροές άνθρακα στο έδαφος είναι οι ρίζες των φυτών, τα υπέργεια φυτικά υπολείμματα και κοπριές ή άλλα οργανικά

υποπροϊόντα. Τα αποτελέσματα είναι η αποσύνθεση της οργανικής ύλης από μικροοργανισμούς του εδάφους και τη πανίδα που οδηγούν σε εξέλιξη του διοξειδίου του άνθρακα στην ατμόσφαιρα, έκπλυση των διαλυτών οργανικών ενώσεων άνθρακα και απώλειες σωματιδίων μέσω διάβρωσης ((Rowlson et al.,2010). Η αποσύνθεση είναι συνήθως η κυρίαρχη διεργασία εξόδου άνθρακα από το έδαφος και ελέγχεται από τη περιεκτικότητα σε άργιλο, τη θερμοκρασία, τη περιεκτικότητα σε υγρασία και τη διαθεσιμότητα του οξυγόνου στο έδαφος. Εδάφη με υψηλότερη περιεκτικότητα σε άργιλο ή υψηλότερη ικανότητα ανταλλαγής κατιόντων κινούνται συνήθως σε υψηλότερο περιεχόμενο ισορροπίας του οργανικού άνθρακα σε σχέση με αμμώδες έδαφος εξαιτίας της μεγαλύτερης ικανότητάς τους σταθεροποίησης μικροβιακών μεταβολιτών (Rowlson et al., 2010). Η συνολική ποσότητα οργανικού άνθρακα στο έδαφος μετά από συγκεκριμένες διαχειριστικές πρακτικές μπορεί συχνά να προβλεφθεί με κάποια επιτυχία χρησιμοποιώντας διάφορα τρέχοντα μοντέλα, παρόλο που απαιτείται περαιτέρω έρευνα για ορισμένες περιπτώσεις.

Διαχείρισης εδαφικής γονιμότητας

Η χρήση κοπριάς των ζώων και λιπάσματος συμβάλλει στη διατήρηση του επιπέδου της οργανικής ουσίας στο έδαφος. Χημικά λιπάσματα μπορεί να χρειαστούν ώστε να παρέχει άμεσα σε μια καλλιέργεια τα απαραίτητα θρεπτικά συστατικά. Σε αντίθεση με τα οργανικά λιπάσματα, τα χημικά, βοηθούν τα φυτά αμέσως. Τα οργανικά λιπάσματα πρέπει πρώτα να διασπαστούν σε θρεπτικά συστατικά πριν χρησιμοποιηθούν από τα φυτά. Αυτό σημαίνει πως η οργανική ύλη έχει κυρίως μακροπρόθεσμη επίδραση, ενώ τα χημικά επιδρούν άμεσα (από ημέρες έως και λίγες εβδομάδες) στη γονιμότητα του εδάφους.

Όσο τα χημικά λιπάσματα εξαντλούνται μέχρι το τέλος της εποχής, ενώ η οργανική ύλη συνεχίζει να ενισχύει την εδαφική γονιμότητα καθώς και τη δομή του εδάφους. Επιπλέον η παρουσία του οργανικού υλικού εξασφαλίζει ότι το χημικό λίπασμα χρησιμοποιείται πιο αποτελεσματικά από τη καλλιέργεια διότι εμποδίζει το λίπασμα από το να εκπλύνεται (Van Scholl και Nieuwenhuis 2004). Η εφαρμογή χημικών λιπασμάτων σε εδάφη που είναι φτωχά από οργανική ύλη είναι οικονομικά ασύμφορη αν δε γίνεται σε συνδυασμό με μέτρα για να αυξηθεί το επίπεδο οργανικής ύλης στο έδαφος.

Για να εξασφαλιστεί επαρκής παροχή θρεπτικών συστατικών για τις καλλιέργειες, πρέπει να διατηρήσουμε ένα σταθερό ισοζύγιο θρεπτικών ουσιών στο έδαφος. Η απώλεια των θρεπτικών ουσιών πρέπει να περιοριστεί και η προσθήκη των θρεπτικών να μεγιστοποιηθεί προκειμένου να αποφευχθεί μια εξάντληση των θρεπτικών συστατικών στο έδαφος.

Οι θρεπτικές ουσίες μπορούν να χαθούν με τις ακόλουθες διεργασίες:

- απομάκρυνση με τη συγκομιδή
- εξάτμιση (ειδικά Νατρίου αυτό συμβαίνει κυρίως κατά τη διάρκεια της καύσης λόγω των υψηλών θερμοκρασιών)
- απορροή (κυρίως N)
- έκπλυση

- διάβρωση (όλων των θρεπτικών συστατικών).

Θρεπτικά συστατικά προστίθενται με τις ακόλουθες διεργασίες:

- αποσύνθεση της οργανικής ύλης
- δέσμευση του αζώτου
- αποσάθρωση
- χημικά λιπάσματα
- βροχή και απόθεση στερεών

Αμειψισπορά

Οι αμειψισπορές είναι ο πιο οικονομικός τρόπος για τη επιτυχία του ανώτατου ορίου παραγωγής των καλλιεργειών. Η αυξημένη παραγωγή αυξάνει την αφαίρεση των ανόργανων στοιχείων από το έδαφος εκτός και αν χρησιμοποιηθούν καλλιέργειες όπως τα ψυχανθή που προσθέτουν άζωτο με δέσμευση από τις ρίζες. Από μελέτες που έχουν πραγματοποιηθεί σχετικά με τα συστήματα καλλιέργειας και τη γονιμότητα του εδάφους έχει αποδειχθεί πως για τη διαχείριση του εδάφους χρησιμοποιείται ασβεστη (στα όξινα εδάφη που είναι γενικά περιορισμένα στην Ελλάδα), φωσφορικά και χημικά ανόργανα άλατα όπως λιπάσματα ώστε να επιστραφούν στο έδαφος κάποια χρήσιμα στοιχεία τα οποία χρησιμοποιούνται από τα φυτά και αφαιρούνται από τις καλλιέργειες (Albrecht 2008).

Οι αγρότες σε αρχαίους πολιτισμούς, τόσο διαφορετικούς μεταξύ τους, όπως της Κίνας, της Ελλάδας, της Ρώμης μοιράζονταν μια κοινή αντίληψη για την αμειψισπορά. Έμαθαν από την εμπειρία τους ότι η καλλιέργεια του ίδιου είδους κάθε έτος στον ίδιο κομμάτι γης οδηγούσε σε χαμηλές αποδόσεις, και ότι θα μπορούσαν να αυξήσουν την παραγωγικότητα καλλιεργώντας μια σειρά από καλλιέργειες σε διάφορες εποχές. Κατόνησαν πως οι αμειψισπορές, σε συνδυασμό με αυτές τις πρακτικές προσθήκης κοπριάς και οργανικών υλικών οδηγούσαν σε αύξηση της οργανικής ύλης του εδάφους και της γονιμότητας (Boldwin 2006).

Οι πρακτικές αυτές έχουν ως αποτέλεσμα:

- Βελτίωση γονιμότητας του εδάφους.
- Διατήρηση του περιβάλλοντος.
- Ενίσχυση οικονομικής απόδοσης.
- Έλεγχο ζιζανίων, ασθενειών και επιβλαβών εντόμων.
- Προσθήκη ποικιλομορφίας στην αγορά και στις καλλιέργειες.

Οι αμειψισπορές είναι πιο αποτελεσματικές όταν συνδυάζονται με άλλες πρακτικές όπως για παράδειγμα ανόργανη ή οργανική λίπανση, κομποστοποίηση, χλωρή λίπανση, ελεγχόμενη βόσκηση κλπ.. Μαζί, αυτές οι πρακτικές βελτιώνουν τη ποιότητα του εδάφους, όπως η αυξημένη σταθερότητα σύνολο του εδάφους, μειώνει την αποξήρανση των επιφανειών του εδάφους, και αυξάνει τη κοκκώδη δομή (Boldwin 2006). Αμειψισπορές που περιλαμβάνουν γρασίδι, βοσκή, σανό ή καλλιέργειες ψυχανθών, βοηθούν στη μείωση της ξηρής φαινομενικής πυκνότητας του εδάφους, η οποία μπορεί να εμποδίσει σε μεγάλο βαθμό την ανάπτυξη των ριζών και της ροής των θρεπτικών συστατικών.

Η αμειψισπορά βοηθά στη διατήρηση της βιωσιμότητας και της αποτελεσματικότητας των καλλιεργειών σε μεγάλες χρονικές περιόδους. Διατήρηση αμειψισποράς είναι μια συστηματική ακολουθία των καλλιεργειών σε συνδυασμό με άλλες καλλιέργειες ή με χόρτα και όσπρια. Υπάρχουν λιγότερα προβλήματα με τα ζιζάνια, τα έντομα, παρασιτικά νηματοειδή, ασθένειες που προκαλούνται από βακτήρια, μύκητες και ιούς, όταν χρησιμοποιείται αμειψισπορά σε σχέση με μονοκαλλιέργειες.

Συμβουλές για τη διατήρηση της αμειψισποράς:

- Το κλίμα και τα οικονομικά αποτελέσματα καθορίζουν την επιλογή των καλλιεργειών στις αμειψισπορές.
- Μετά από μια καλλιέργεια ψυχανθών απαιτείται μια καλλιέργεια με υψηλές απαιτήσεις σε ποσότητες αζώτου.
- Καλό είναι να καλλιεργηθούν φυτά που είναι λιγότερο απαιτητικά σε άζωτο, το δεύτερο έτος μετά την καλλιέργεια ψυχανθών. Δεν είναι ορθό να καλλιεργηθούν τα ίδια φυτά σε συνεχόμενα έτη, προκειμένου να μειωθούν τα έντομα, τα ζιζάνια, οι ασθένειες και οι νηματώδεις.

Αμειψισπορά είναι ένα σύστημα όπου καλλιεργούνται διαφορετικά φυτά σε μια επαναλαμβανόμενη, καθορισμένη σειρά. Οι αμειψισπορές είναι ο κύριος μηχανισμός για την παροχή θρεπτικών συστατικών σε βιολογικά συστήματα. Οι αμειψισπορές μπορούν επίσης να σχεδιαστούν για την ελαχιστοποίηση της εξάπλωσης των παρασίτων ζιζανίων και ασθενειών (Watson et al., n.d.).

Η ανάπτυξη και η εφαρμογή μιας καλά σχεδιασμένης αμειψισποράς είναι κεντρικής σημασίας για την επιτυχία των συστημάτων βιολογικής παραγωγής. Η αμειψισπορά τροποποιεί επίσης τα φυσικά χαρακτηριστικά του εδάφους τόσο άμεσα όσο και έμμεσα. Μία από τις κύριες δυσκολίες στο σχεδιασμό αμειψισπορών για τη βιολογική γεωργία είναι η πολυπλοκότητα της διαχείρισης της γονιμότητας του εδάφους για πολλαπλούς σκοπούς.

Τα υπολείμματα καλλιεργειών μπορεί να είναι μια σημαντική πηγή θρεπτικών ουσιών για επόμενες καλλιέργειες. Είναι καλά τεκμηριωμένο ότι οι διαφορετικές ποσότητες N, P, K και δευτερεύουσες θρεπτικές ουσίες αφαιρούνται από το έδαφος και επιστρέφονται σε αυτό ανάλογα με τα είδη καλλιέργειας. Η ποσότητα και η ποιότητα των υπολειμμάτων των καλλιεργειών σαφώς θα επηρεάσει τη συσσώρευση της οργανικής ύλης. Τα υπολείμματα περιέχουν επίσης μεταβλητές ποσότητες λιγνίνης και πολυφαινολών, οι οποίες επηρεάζουν την αποσύνθεση και τα ποσοστά ανοργανοποίησης.

Κόμποστ

Όπως και η κοπριά, έτσι και το κομπόστ είναι ένα ιδανικό λίπασμα. Για να το δημιουργήσουμε απαιτείται συλλογή οργανικών υλικών (π.χ. υπολείμματα καλλιεργειών, άχυρο, κοπριά, απόβλητα κουζίνας, κλπ.) και αποθήκευσή τους προκειμένου να αποσυντεθούν από μικρο-οργανισμούς ή σκουλίκια. Πλεονεκτήματα της προσθήκης κομποστας στο έδαφος είναι ότι αυξάνει το επίπεδο της οργανικής ύλης στο έδαφος, έχει θετική επίδραση στους οργανισμούς

του εδάφους, στη δομή του εδάφους, στη διήθηση, στην ικανότητα συγκράτησης του νερού και στη συνολική σταθερότητα. Η κομπόστια είναι πλούσια σε θρεπτικά συστατικά που είναι εύκολα διαθέσιμα για τα φυτά (Van Scholl και Nieuwenhuis, 2004) ενώ έχει σταθεροποιημένη οργανική ουσία και άζωτο που περιορίζει τις απώλειές του.

Κοπριά

Η κοπριά αποτελείται από περιττώματα ζώων, συνήθως αναμιγνύεται με άχυρο ή φύλλα. Η ποσότητα και η ποιότητα των περιττωμάτων εξαρτώνται από τις ζωοτροφές. Η καλή κοπριά περιέχει κάτι περισσότερο από περιττώματα και τα ούρα. Άχυρο και τα φύλλα προστίθενται και ωριμάζει. Η γήρανση είναι απαραίτητο να διατηρήσει όλα τα θρεπτικά συστατικά. Χρησιμοποιώντας κοπριά που έχει “ωριμάσει” είναι μια ιδανική μέθοδος για να διατηρηθεί και να αυξηθεί η γονιμότητα του εδάφους.

Οι στόχοι της εφαρμογής κοπριάς είναι:

- Να αυξηθεί το επίπεδο της οργανικής ύλης.
- Να αυξηθούν τα διαθέσιμα θρεπτικά συστατικά.
- Η βελτίωση της δομής (σχηματισμός συσσωματωμάτων) και ικανότητα συγκράτησης νερού στο έδαφος.

Τα θρεπτικά συστατικά από τη διατροφή των ζώων αποθηκεύονται εν μέρει στα ζώα και τα υπόλοιπα αποβάλλεται με τα περιττώματα που μπορούν με την εφαρμογή της κοπριάς ή της κομπόστιας να επανέλθουν στο σύστημα περιορίζοντας τις ανάγκες για επί πλέον εισροές.

Εξαπλώνοντας τα περιττώματα και τα ούρα τους σε ένα χωράφι, αυτά τα θρεπτικά συστατικά τίθενται στη διάθεση των φυτών. Η κοπριά προσθέτει οργανική ύλη στο έδαφος, βελτιώνοντας τη δομή του καθώς και την ικανότητα του να συγκρατεί νερό.

Καύση

Η καύση της βλάστησης για την προετοιμασία της γης για την καλλιέργεια φυτών είναι μια κοινή πρακτική και έχει πολλά πλεονεκτήματα. Η τέφρα περιέχει πολλές θρεπτικές ουσίες σε άμεσα χρησιμοποιήσιμη μορφή. Η πρώτη συγκομιδή μετά την καύση δίνει συνήθως ένα καλό αποτέλεσμα. Μετά από μερικές περιόδους, ωστόσο, μια αρνητική επίδραση της καύσης μπορεί διαπιστωθεί στο επίπεδο των θρεπτικών ουσιών και στη γονιμότητα του εδάφους. Αυτό οφείλεται σε αρκετές αιτίες. Η καύση του οργανικού υλικού των υπολειμμάτων των καλλιεργειών και οι αναπτυσσόμενες υψηλές θερμοκρασίες μειώνουν της οργανική ουσία του εδάφους. Κατά τη διάρκεια της καύσης, μεγάλες ποσότητες αζώτου (N) και θείου (S) απελευθερώνονται. Αυτά δεν είναι πλέον διαθέσιμα για τα φυτά. Μετά από τη καύση, όλα τα θρεπτικά συστατικά που ήταν αποθηκευμένα στη βλάστηση γίνονται διαθέσιμα στο έδαφος, αλλά δεν μπορούν να χρησιμοποιηθούν πλήρως μονομιάς. Με ισχυρές βροχές, μεγάλες ποσότητες του N εκπλύνονται. Φωσφορος σε ορυκτή μορφή δεσμεύεται σταθερά στα σωματίδια του εδάφους και δεν είναι πλέον διαθέσιμο για την καλλιέργεια. Η τακτική καύση των υπολειμμάτων των καλλιεργειών μειώνει την παροχή νέου οργανικού υλικού και έτσι οδηγεί σε

μειωμένο επίπεδο της οργανικής ύλης στο έδαφος, το οποίο έχει αρνητικές μακροπρόθεσμες επιπτώσεις στη γονιμότητα του εδάφους. Μετά τη καύση, το έδαφος είναι απροστάτευτο και επομένως μπορεί να δημιουργηθεί επιφανειακά κρούστα. Η τέφρα είναι πολύ ελαφριά και επομένως εύκολα παρασύρονται από τον αέρα και το νερό. Μαζί με την τέφρα πάνε τα θρεπτικά συστατικά, αφήνοντας το έδαφος χωρίς προμήθειες για την επόμενη σοδειά.

Χημικά λιπάσματα

Τα θρεπτικά συστατικά μπορεί να προστεθούν απευθείας από την εφαρμογή των χημικών λιπασμάτων στο έδαφος. Ωστόσο, η προσθήκη χημικών λιπασμάτων από μόνη της δεν είναι αρκετή για να διατηρήσει ένα επαρκές επίπεδο γονιμότητας του εδάφους. Εάν η οργανική ύλη στο έδαφος μειώνεται, η απόδοση θα μειωθεί επίσης, ακόμα και αν γίνεται εφαρμογή μεγάλης ποσότητας λιπάσματος. Αυτό οφείλεται στην υποβάθμιση της δομής του εδάφους, μια μειωμένη ικανότητα να συγκρατεί τα θρεπτικά συστατικά και το νερό, και μια αύξηση της οξύτητας.

Σε φτωχά εδάφη δεν αρκεί για να αυξηθεί το επίπεδο της οργανικής ύλης. Σε τέτοιες περιπτώσεις είναι προτιμητέο να γίνεται συνδυασμός εφαρμογής των χημικών λιπασμάτων με μία αύξηση στο επίπεδο της οργανικής ύλης.

Ανάλυση κύκλου ζωής

Εισαγωγή

Η Αειφόρος ανάπτυξη αντιπροσωπεύει την ανάπτυξη «που καλύπτει τις ανάγκες του παρόντος χωρίς να θέτει σε κίνδυνο τη δυνατότητα των μελλοντικών γενεών να καλύψουν τις δικές τους ανάγκες» (WCED, 1987). Η Αειφόρος Ανάπτυξη ενσωματώνει τρεις βασικούς στόχους, α) ένα υγιές περιβάλλον, β) την οικονομική αποδοτικότητα και την γ) κοινωνική ισότητα (OECD, 2004). Μία δραστηριότητα για να είναι αειφόρος πρέπει να είναι βιώσιμη και στους τρεις παραπάνω στόχους. Από περιβαλλοντικής άποψης μία γεωργική δραστηριότητα είναι αειφόρα εάν οι εκπαιδόμενοι ρυπαντές της και η κατανάλωση των φυσικών πόρων μπορούν να εξισορροπηθούν μακροχρόνια από το περιβάλλον. Η διάγνωση λοιπόν της περιβαλλοντικής επίπτωσης της γεωργίας στο περιβάλλον, αποτελεί το πρώτο βήμα στην διαδικασία αξιολόγησης της αειφορίας της γεωργίας. Η περιβαλλοντική επίπτωση μιας γεωργικής δραστηριότητας μπορεί να αναλυθεί σε ένα εύρος χωρικής κλίμακας από το χωράφι, στην ευρύτερη περιοχή, σε εθνικό και σε υπερεθνικό επίπεδο. (OECD, 2001)

Οι περιβαλλοντικές επιπτώσεις της γεωργίας μπορούν να εκτιμηθούν με διάφορες τεχνικές περιβαλλοντικής διαχείρισης που έχουν κατά καιρούς αναπτυχθεί για την περιβαλλοντική, οικονομική και κοινωνική αξιολόγηση συγκεκριμένων διαδικασιών, προϊόντων ή και δραστηριοτήτων, όπως η Ανάλυση ή Αξιολόγηση Κύκλου Ζωής (AKZ) (Life Cycle Analysis or Assessment), η Χαρτογράφηση Περιβαλλοντικού Κινδύνου (Environmental Risk Mapping, ERM), Αξιολόγηση Περιβαλλοντικών Επιπτώσεων (Environmental Impact Assessment, EIA), το Οικολογικό αποτύπωμα (Environmental Footprint, EF), το Αποτύπωμα Άνθρακα (Carbon Footprint, CF), οι

Αγρο-περιβαλλοντικοί δείκτες (Agro-environmental indicators) (Payraudeau and Werf, 2005).

Η Ανάλυση Κύκλου Ζωής (ΑΚΖ) αποτελεί ένα επαρκή περιβαλλοντικό εργαλείο λήψης αποφάσεων που σε αντίθεση με την Αξιολόγηση Περιβαλλοντικών Επιπτώσεων που επικεντρώνεται σε τοπικές περιβαλλοντικές επιδράσεις, αφορά ευρείας κλίμακας περιβαλλοντικές επιπτώσεις (Von Blottnitz and Curran, 2007), ανακτώντας τα τελευταία χρόνια την ευρεία αποδοχή τόσο από τον ακαδημαϊκό χώρο όσο και από την βιομηχανία (π.χ., Grossmann and Guillén-Gosálbez, 2010). Καθώς η εκτίμηση της αειφορίας περιλαμβάνει και κοινωνική και οικονομική απόδοση, τελευταία εμφανίστηκε η ανάγκη ανάπτυξης μίας μεθοδολογίας που να ενσωματώσει στην ΑΚΖ τόσο τις οικονομικές όσο και τις κοινωνικές επιπτώσεις, ώστε η ΑΚΖ να αποτελέσει ένα εργαλείο αειφορίας (Hauschild et al., 2005). Έτσι αναπτύχθηκε η κοινωνική ΑΚΖ (Social LCA) (Jørgensen et al., 2008; Benoît et al., 2010) που εκτιμά τις ενδεχόμενες κοινωνικές επιπτώσεις και η Ανάλυση Κόστους Κύκλου Ζωής (LCCA) που υπολογίζει το συνολικό κόστος ενός προϊόντος, διαδικασίας ή και μίας δραστηριότητας στην διάρκεια της ζωής του (Norris, 2001; Jeswani et al., 2010; Ahlroth et al., 2011).

Ορισμός Ανάλυσης Κύκλου Ζωής

Το ολοένα και αυξανόμενο ενδιαφέρον για την προστασία του περιβάλλοντος και τις ενδεχόμενες επιπτώσεις που προκαλούνται σε αυτό από την παραγωγή ή κατανάλωση προϊόντων οδήγησε στην ανάπτυξη μεθόδων διαχείρισης του περιβάλλοντος που να διευθετούν και να χειρίζονται καλύτερα αυτές τις επιπτώσεις. Μία τέτοια μέθοδος που αναπτύχθηκε γι' αυτόν τον σκοπό είναι η Ανάλυση ή Αξιολόγηση Κύκλου Ζωής (Life Cycle Assessment or Life Cycle Analysis, LCA) (ISO 14040, 2006).

Η ΑΚΖ, είναι μία μέθοδος που χρησιμοποιείται για την εκτίμηση και την αξιολόγηση των περιβαλλοντικών επιπτώσεων κατά την διάρκεια του κύκλου ζωής ενός προϊόντος «από την κούνια στον τάφο» (from cradle to grave). Κατά την ΑΚΖ υπολογίζονται η κατανάλωση φυσικών πόρων (εισροές) και οι εκπομπές (εκροές) καθώς επίσης και άλλες περιβαλλοντικές ανταλλαγές σε κάθε σχετικό στάδιο (φάση) στον κύκλο ζωής ενός προϊόντος, «από την κούνια έως τον τάφο». Κάθε προϊόν έχει ένα κύκλο ζωής, ο οποίος ξεκινά από τη σύλληψη και το σχεδιασμό του προϊόντος. Ακολουθεί η εξόρυξη των πρώτων υλών, η κατασκευή του προϊόντος, η χρήση του και τέλος η πορεία προς την τελική απόρριψη του (EC, 2010; Guinée, et al., 2002). Έμμεσες αλλαγές σε άλλα συστήματα (κύκλοι ζωής άλλων προϊόντων) μπορούν επίσης να ερμηνευθούν. Ολόκληρος ο κύκλος ζωής μαζί με το σύνολο των υλικών που εμπλέκονται και των ροών ενέργειας, καλείται σύστημα προϊόντος (Rebitzer et al., 2004) Τα σημαντικότερα στάδια της ζωής ενός προϊόντος φαίνονται στο Σχήμα 1.



Σχήμα 1: Ο Κύκλος Ζωής ενός προϊόντος

Η ΑΚΖ αποτελεί εργαλείο περιβαλλοντικής διαχείρισης και λήψης αποφάσεων, που ποσοτικοποιεί και συγκρίνει τις περιβαλλοντικές επιπτώσεις της παροχής αγαθών και υπηρεσιών (προϊόντων). Οι περιβαλλοντικές επιπτώσεις αφορούν επιπτώσεις που σχετίζονται με την κατανάλωση ενέργειας (φαινόμενο θερμοκηπίου, όξινη βροχή, εξάντληση φυσικών πόρων, κ.α.), με την επιφανειακή και υπόγεια ρυπανση υδάτων (νιτρικά, χημικά, κ.α), με επιπτώσεις τοξικότητας στον άνθρωπο και στο περιβάλλον που συνδέονται με χρήση αγρο-χημικών, με μείωση της ποιότητας εδάφους (υποβάθμιση εδάφους, ρύπανση, μόλυνση, διάβρωση, κ.α.), με την εξάντληση υδατικών αποθεμάτων, με τη μείωση της βιοποικιλότητας των καλλιεργούμενων εδαφών καθώς και με άλλες ανθρώπινες δραστηριότητες.

Πλεονέκτημα μίας ‘από την κούνια στον τάφο’ (from cradle to grave) ΑΚΖ, αποτελεί η ‘ολιστική’ προσέγγιση, συγκεντρώνοντας όλες τις περιβαλλοντικές επιπτώσεις σε ένα σταθερό πλαίσιο, οπουδήποτε και οποτεδήποτε αυτές οι επιπτώσεις έχουν συμβεί ή θα συμβούν. Επιπρόσθετα ένας πολύ βασικό λόγος πραγματοποίησης μιας ΑΚΖ ‘από την κούνια στον τάφο’, είναι ότι με την ολιστική αυτή προσέγγιση αποφεύγονται ‘προβλήματα μεταφοράς’, δηλαδή δεν επιλύεται απλώς ένα περιβαλλοντικό πρόβλημα μεταφέροντάς το από το ένα στάδιο της ζωής του προϊόντος σε άλλο στάδιο, αλλά το πρόβλημα αντιμετωπίζεται συνολικά (Guinée et al., 2002).

Μια μελέτη ΑΚΖ μπορεί να βοηθήσει α) στην επισήμανση ευκαιριών για βελτίωση της περιβαλλοντικής απόδοσης των προϊόντων σε αρκετά σημεία στον κύκλο ζωής τους, β) στην διαμόρφωση στρατηγικών αποφάσεων στην βιομηχανία, και σε κυβερνητικούς και μη-κυβερνητικούς οργανισμούς (π.χ. στον στρατηγικό σχεδιασμό, στην διαμόρφωση προτεραιοτήτων, στο σχεδιασμό ή επανασχεδιασμό προϊόντων ή και διαδικασιών), γ) στην επιλογή συγκεκριμένων δεικτών περιβαλλοντικής απόδοσης και τέλος δ) στο μάρκετινγκ (π.χ. εφαρμόζοντας ένα

σχέδιο 'πράσινης ετικέτας'- ecolabelling-, ή παράγοντας ένα προϊόν με 'περιβαλλοντική ταυτότητα'-environmental product declaration)(ISO 14040, 2006).

Ιστορική Αναδρομή

Η έννοια της ανάλυσης κύκλου ζωής γεννήθηκε από την ανάγκη της αποτίμησης των περιβαλλοντικών επιπτώσεων των προϊόντων. Αρχικά, χρησιμοποιήθηκε ως εργαλείο από μεγάλα γραφεία περιβαλλοντικών συμβούλων. Πρωτοεμφανίστηκε στην Ευρώπη και στις ΗΠΑ προς το τέλος της δεκαετίας του 1960 και την αρχή της δεκαετίας του 1970. Κατά την δεκαετία 1970 – 1980 και άλλες μεγάλες εταιρείες στις Ηνωμένες Πολιτείες Αμερικής πραγματοποίησαν παρόμοιες έρευνες. Στην Ευρώπη, οι αντίστοιχες μελέτες έγιναν γνωστές ως έρευνες οικολογικού ισοζυγίου (eco-balance). Την ίδια περίοδο όσο διευρυνόταν η πετρελαϊκή κρίση, αυξανόταν το ενδιαφέρον για την ανάλυση κύκλου ζωής. Στις αρχές της δεκαετίας του 1980, ενώ στην Αμερική το ενδιαφέρον για την ανάλυση κύκλου ζωής μειώθηκε, στην Ευρώπη το ενδιαφέρον αυξήθηκε σημαντικά λόγω του προβλήματος διαχείρισης των στερεών αποβλήτων. Έτσι το 1985, η Περιβαλλοντική Διεύθυνση της Ευρωπαϊκής Κοινότητας ανάθεσε ως θέμα έρευνας τη συσκευασία των υγρών τροφίμων, με αποτέλεσμα την έρευνα παραγωγής προβληματικών συσκευασιών τροφίμων, το οποίο ενθάρρυνε τη χρήση του οικολογικού ισοζυγίου στην Ευρώπη

Ιστορικά, το πρώτο πλαίσιο μεθοδολογίας της Ανάλυσης Κύκλου Ζωής προτάθηκε από την Εταιρεία Περιβαλλοντικής Τοξικολογίας και Χημείας (Society for Environmental Toxicology and Chemistry), SETAC το 1993. (SETAC, 1993) Αποτελούνταν από τέσσερα βασικά στάδια: 1) Προσδιορισμός του σκοπού και αντικειμένου της μελέτης, 2) Απογραφή δεδομένων, 3) Εκτίμηση επιπτώσεων και, 4) Εκτίμηση βελτιώσεων. Η κυριότερη και πιο συστηματική προσπάθεια τυποποίησης της μεθοδολογίας AKZ άρχισε στα πλαίσια του Διεθνούς Οργανισμού για την Τυποποίηση (International Standardisation Organisation - ISO). Τα διεθνή πρότυπα που αναπτύχθηκαν και έγιναν αποδεκτά προς το τέλος της δεκαετίας του '90 παρουσίαζαν συστάσεις ή απαιτήσεις για διάφορα μεθοδολογικά ζητήματα που δεν καλύπτονταν στον κώδικα της SETAC. Εντούτοις, πολλά μεθοδολογικά προβλήματα παραμένουν ακόμα άλυτα στα κείμενα του ISO (Rebitzer et. al, 2004).

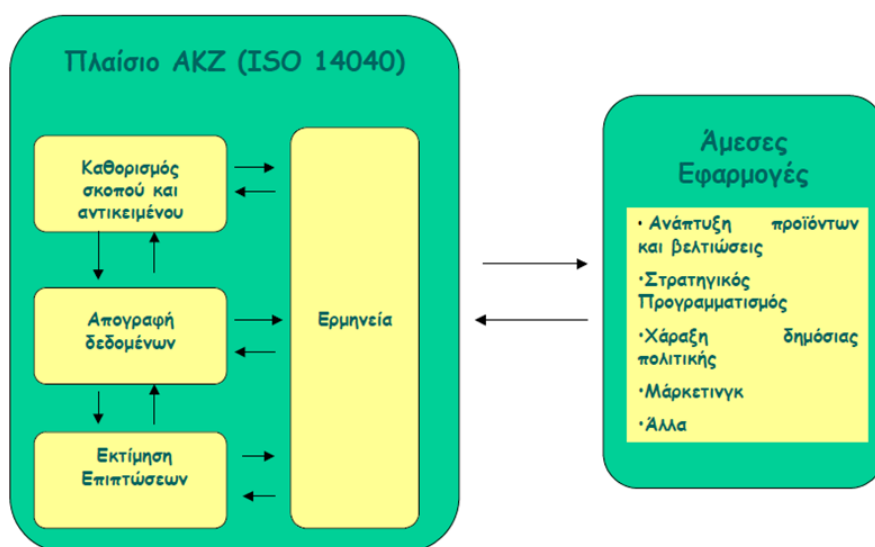
Η ανάπτυξη της μεθοδολογίας LCA και της περιβαλλοντικής έρευνας βασισμένες στη μεθοδολογία LCA εξελίχθηκαν σε διαδεδομένα ακαδημαϊκά θέματα. Ένας μεγάλος αριθμός δημοσιεύσεων για LCA δημοσιεύθηκε στο περιοδικό Journal of Cleaner Production. Η πρώτη ειδική έκδοση για LCA, τυπώθηκε το 1993. Ένα περιοδικό που αφιερώθηκε συγκεκριμένα στην έρευνα LCA (International Journal of Life Cycle Assessment) άρχισε την έκδοσή του το 1996. Επιπλέον, πολλά επιστημονικά άρθρα για LCA έχουν δημοσιευθεί σε άλλα περιοδικά που αφιερώνονται στην περιβαλλοντική επιστήμη.

Τα Στάδια της AKZ

Η εκρηκτική αύξηση χρήσης της μεθοδολογίας της Ανάλυσης Κύκλου Ζωής, δημιούργησε την ανάγκη για τη δημιουργία προτύπων εκτέλεσής της. Τα πρότυπα αυτά, έχουν ενταχθεί στην οικογένεια προτύπων περιβαλλοντικής διαχείρισης ISO

14000. Σύμφωνα με το Διεθνή Οργανισμό για την Προτυποποίηση (ISO), η μεθοδολογία για την ανάλυση κύκλου ζωής (Life Cycle Assessment) των προϊόντων (αγαθών και υπηρεσιών) αποτελείται από τέσσερα στάδια όπως φαίνεται παραστατικά στο Σχήμα 2 (ISO 14040, 2006). Αυτά είναι:

1. Καθορισμός σκοπού και αντικειμένου της μελέτης – Goal and Scope Definition (ISO 14040, 2006),
2. Απογραφή δεδομένων – Life Cycle Inventory (ISO 14044, 2006),
3. Εκτίμηση επιπτώσεων – Life Cycle Impact Assessment (ISO 14044, 2006) και
4. Ερμηνεία των αποτελεσμάτων – Life Cycle Interpretation (14044, 2006)



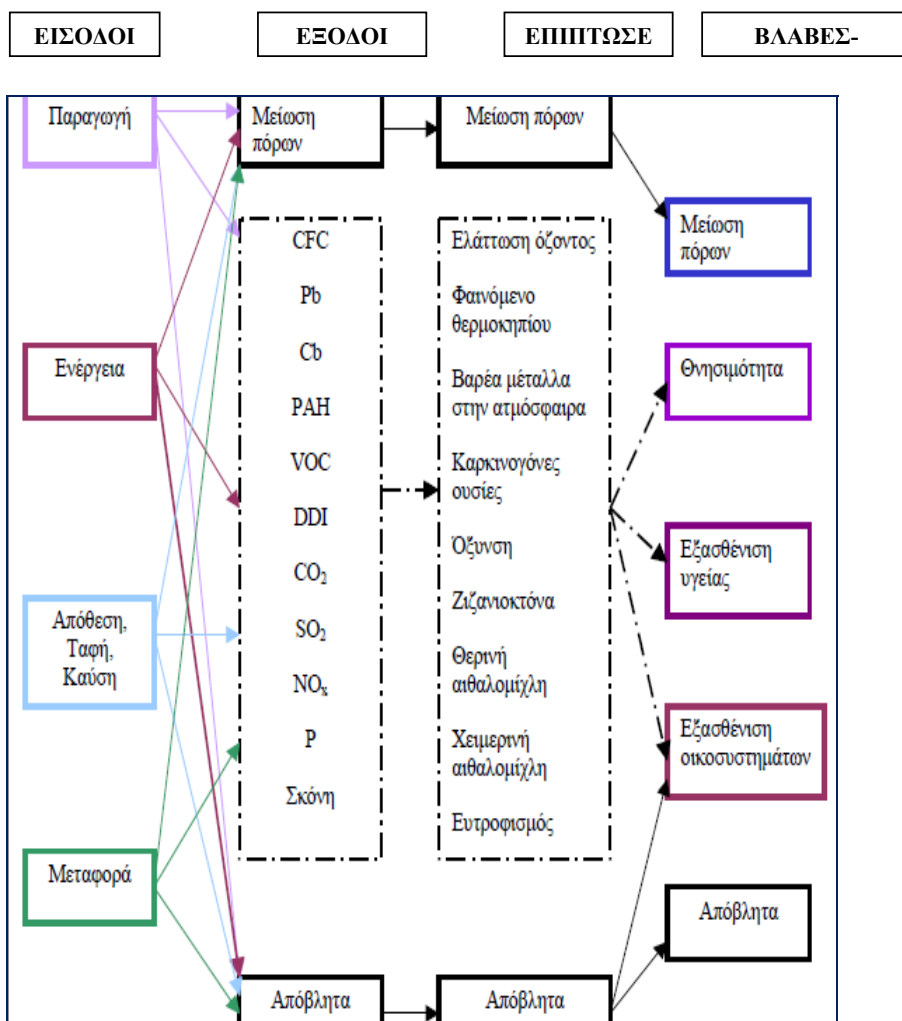
Σχήμα 2. Η μεθοδολογία της AKZ σύμφωνα με το πρότυπο ISO 14040 (2006)

Η κύρια διαφορά της αρχικής μεθοδολογίας της SETAC και αυτής των προτύπων του ISO είναι ότι πλέον η Εκτίμηση Βελτιώσεων (της μεθοδολογίας της SETAC) δεν θεωρείται πλέον ξεχωριστό στάδιο. Οι βελτιώσεις πρέπει να αποτελούν το ζητούμενο από την αρχή μέχρι το τέλος της εκτέλεσης μιας AKZ. Αυτό που έχει προστεθεί στη μεθοδολογία του ISO είναι το στάδιο της Ερμηνείας, το οποίο και αλληλεπιδρά με κάθε ένα από τα 3 άλλα στάδια.

Στο πρώτο στάδιο, 'Καθορισμός σκοπού και αντικειμένου' μιας μελέτης AKZ γίνεται η περιγραφή του συστήματος του προϊόντος με τους όρους «όρια συστήματος» και «λειτουργική μονάδα». Η λειτουργική μονάδα είναι η σημαντική βάση που επιτρέπει σε διάφορα αγαθά ή υπηρεσίες να συγκριθούν και να αναλυθούν (Rebitzer et al., 2004). Θα πρέπει να είναι πλήρως καθορισμένη, μετρήσιμη και σχετική με τα δεδομένα εισόδου και εξόδου.

Στο δεύτερο στάδιο, 'Απογραφή δεδομένων', κάθε προϊόν παρουσιάζεται ως ένα σύστημα και καταγράφονται όλοι οι καταναλισκόμενοι πρωτογενείς φυσικοί πόροι (εισροές του συστήματος) και όλες οι εκπομπές που απελευθερώνονται προς το περιβάλλον (εκροές του συστήματος). Το αποτέλεσμα είναι ένας εκτενής κατάλογος εισροών (πόροι) και εκροών (αέριες, υγρές και στερεές εκπομπές ρύπων).

Στο τρίτο στάδιο, 'Εκτίμηση Επιπτώσεων', τα αποτελέσματα της απογραφής δεδομένων αντιστοιχούνται σε κατηγορίες επιπτώσεων (Σχήμα 3). Η διαδικασία αυτή ονομάζεται ταξινόμηση. Οι ευρέως χρησιμοποιούμενες κατηγορίες επιπτώσεων σύμφωνα με το ISO 14047 (2006) είναι 9 με τις 7 πρώτες να σχετίζονται με τις εκροές και τις υπόλοιπες δύο με τις εισροές: 1. Κλιματική αλλαγή¹, 2. Η εξάντληση του στρατοσφαιρικού όζοντος², 3. Η φωτο-οξειδωτικοί σχηματισμοί,³ 4. Η οξίνιση⁴, 5. Ο ευτροφισμός⁵, 6. Η ανθρώπινη τοξικότητα, 7. Η οικοτοξικότητα, 8. Η εξάντληση των αβιοτικών πόρων (π.χ., ορυκτών καυσίμων, μετάλλων) και 9. Η εξάντληση των βιοτικών πόρων (π.χ. ξύλου, ψαριών).



¹ Κλιματική αλλαγή που οφείλεται στη μεταβολή αερίων του θερμοκηπίου, όπως N₂O, CH₄, CO₂.

² Συμβαίνει λόγω των χημικών αντιδράσεων και μπορεί να ενισχυθεί με την αλλαγή του κλίματος. Έχει ως αποτέλεσμα την αύξηση του επιπέδου της ροής της υπεριώδους ακτινοβολίας στο έδαφος

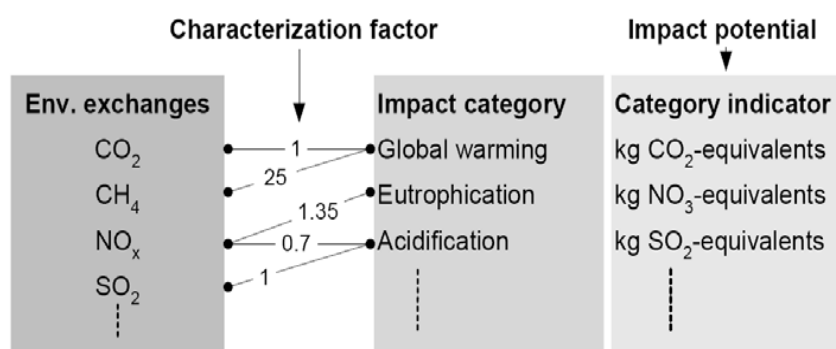
³ Είναι η δημιουργία αντιδραστικών χημικών ενώσεων στην ατμόσφαιρα όπως, είναι το όζον

⁴ Οξίνιση που οφείλεται σε εκπομπές αμμωνίας και σε SO₂ από την καύση ορυκτών καυσίμων

⁵ Ο ευτροφισμός είναι περιβαλλοντικό πρόβλημα που παρουσιάζεται σε λίμνες ή κλειστούς αβαθείς κόλπους κάτω από ορισμένες συνθήκες. Δημιουργείται από υπέρμετρη αύξηση νιτρικών (NO₃) και φωσφορικών(PO₄) που απορρέουν στα ύδατα και αμμωνίας (NH₃) που εκπέμπεται στον αέρα.

Σχήμα 3: Οι κατηγορίες επιπτώσεων στο στάδιο της Εκτίμησης Επιπτώσεων

Το επόμενο βήμα είναι ο χαρακτηρισμός (Σχήμα 4) κατά το οποίο πραγματοποιείται η ανάλυση/ποσοτικοποίηση, και όπου είναι δυνατόν, το άθροισμα των επιπτώσεων που ανήκουν στις κατηγορίες επιπτώσεων που ορίστηκαν στο προηγούμενο στάδιο. Σε αυτή τη φάση επιλέγεται ο περιβαλλοντικός δείκτης (category indicator) που θα ποσοτικοποιήσει τις επιπτώσεις. Συχνά επιλέγονται από το ενδιάμεσο επίπεδο του περιβαλλοντικού μηχανισμού⁶ (Midpoint indicators) το οποίο και αντιπροσωπεύει τα περιβαλλοντικά προβλήματα, όπως τον ευτροφισμό, την οξίνιση, ενώ άλλες φορές από το τέλος του (endpoint indicators), οι οποίοι και αντιπροσωπεύουν την ζημιά που δημιουργείται. Για παράδειγμα η κατηγορία επίπτωσης του Ευτροφισμού έχει ως ενδιάμεσους δείκτες τη συγκέντρωση των μικροστοιχείων αζώτου και φωσφόρου, και ως τελικούς δείκτες, τη βιοποικιλότητα του εδαφικού και υδάτινου οικοσυστήματος.



Σχήμα 4: Χαρακτηρισμός και δείκτες κατηγοριοποίησης (*Thrane and Schmidt, 2004*)

Η τελευταία φάση του σταδίου 'Εκτίμησης Επιπτώσεων' είναι η αξιολόγηση, όπου οι συνεισφορές των διαφόρων ειδικών κατηγοριών των επιπτώσεων σταθμίζονται κατάλληλα ώστε να μπορούν να συγκριθούν μεταξύ τους. Αυτό που επιδιώκεται σε αυτή τη φάση είναι να φτάσουμε σε μια περαιτέρω ερμηνεία και προσθήκη των δεδομένων της εκτίμησης επιπτώσεων.

Στο τέταρτο στάδιο, της 'Ερμηνείας', τα αποτελέσματα των προηγούμενων σταδίων και όλες οι παραδοχές εξετάζονται και αξιολογούνται από την άποψη της πληρότητας και της ευρωστίας. Μέσα σε αυτό το πλαίσιο, τρεις κύριες κατηγορίες δραστηριοτήτων έχουν προσδιοριστεί: α) Η αξιολόγηση των αποτελεσμάτων. β) Η ανάλυση των αποτελεσμάτων και γ) Η εξαγωγή των τελικών συμπερασμάτων και η διατύπωση προτάσεων. Τα κυριότερα στάδια που περιλαμβάνει το στάδιο της Ερμηνείας στην ΑΚΖ, σύμφωνα με το πρότυπο ISO 14044, είναι ο έλεγχος συνέπειας (Consistency check), όπου εξετάζεται εάν οι παραδοχές, οι μέθοδοι, τα πρότυπα και τα στοιχεία είναι σύμφωνα με το σκοπό και το αντικείμενο της μελέτης, ο έλεγχος

⁶ Σύστημα φυσικών, χημικών και βιολογικών διαδικασιών για συγκεκριμένη κατηγορία επίπτωσης που συνδέει τα αποτελέσματα της απογραφής με τους ενδιάμεσους και τελικούς δείκτες κατηγορίας (ISO 14047, 2006)

πληρότητας (Completeness check), όπου ελέγχεται εάν υπάρχουν λανθασμένες παραδοχές, λάθος επιλογές μοντέλων και λανθασμένα στοιχεία, η ανάλυση συμβολής (Contribution analysis), όπου υπολογίζεται η γενική συμβολή στα αποτελέσματα από τους διάφορους παράγοντες, η ανάλυση διαταραχής (Perturbation analysis), όπου περιλαμβάνει τη μελέτη των αποτελεσμάτων που επιφέρουν μικρές διαταραχές στο σύστημα που εξετάζεται και την ανάλυση ευαισθησίας και αβεβαιότητας (Sensitivity and uncertainty analysis), όπου αξιολογεί την επιρροή στα αποτελέσματα, των παραλλαγών στα δεδομένα της διεργασίας, τις επιλογές μοντέλων και των άλλων μεταβλητών. Στην ανάλυση ευαισθησίας, αυτές οι αλλαγές εισάγονται σκόπιμα προκειμένου να καθοριστεί η ευρωστία των αποτελεσμάτων όσον αφορά αυτές τις παραλλαγές. Η ανάλυση αβεβαιότητας χρησιμοποιεί εμπειρικά δεδομένα όσον αφορά τα εύρη αβεβαιότητας συγκεκριμένων στοιχείων για να υπολογίσει το συνολικό σφάλμα των αποτελεσμάτων.

Εφαρμογές AKZ στην Γεωργία

Η AKZ είχε αναπτυχθεί για την αξιολόγηση κυρίως των βιομηχανικών συστημάτων, όπως αναφέρθηκε στην ιστορική αναδρομή, τα οποία και διαφέρουν σημαντικά σε πολλά σημεία από τα γεωργικά συστήματα. Οι κύριες διαφορές έγκειται, α) στον βαθμό εξάρτησης του συστήματος από την περιοχή, για παράδειγμα, ένα σύγχρονο εργοστάσιο μπορεί να βρίσκεται οπουδήποτε και τα χαρακτηριστικά της παραγωγής του εργοστασίου μπορεί να είναι ίδια με ένα άλλο σε άλλη ήπειρο, ενώ στα αγροτικά τεμάχια οι συνθήκες μεταβάλλονται και εξαρτώνται από την τοποθεσία αλλά και από κλιματικές και εδαφικές συνθήκες που επικρατούν σε αυτήν την συγκεκριμένη περιοχή, β) στα όρια του συστήματος (τα όρια του αγροκτήματος δεν αποτελούν απαραίτητα και τα όρια του συστήματος, καθώς επίσης και τα χρονικά όρια είναι ασαφή σε αντίθεση με του βιομηχανικού συστήματος), γ) στις κύριες πηγές επιπτώσεων (οι επιπτώσεις στα γεωργικά συστήματα αλληλεπιδρούν με το χωράφι, ενώ οι περισσότερες επιπτώσεις των βιομηχανικών συστημάτων συμβαίνουν σε παγκόσμια κλίμακα), δ) στο βαθμό γνώσης του συστήματος (η γνώση του φυσικού οικοσυστήματος είναι περιορισμένη) και τέλος ε) στην λειτουργικότητα (το εργοστάσιο έχει μία λειτουργία σε σχέση με την πολυλειτουργικότητα του περιβάλλοντος).

Μέχρι σήμερα έχουν πραγματοποιηθεί αρκετές εφαρμογές της AKZ στη γεωργία. Ανάλογα με το αντικείμενο μελέτης τους μπορούν να ταξινομηθούν σε δυο κατηγορίες. Η πρώτη κατηγορία αφορά μελέτες σύγκρισης γεωργικών συστημάτων, ενώ η δεύτερη αφορά μελέτες της αποτύπωση των περιβαλλοντικών επιδράσεων των διαφόρων εισροών στο εξεταζόμενο σύστημα κατά τη διάρκεια μιας παραγωγικής διαδικασίας (Baumann and Tillman, 2004). Στις συγκριτικές μελέτες συγκρίνονται τα διάφορα συστήματα καλλιέργειας ως προς τις περιβαλλοντικές επιπτώσεις τους κατά την παραγωγική διαδικασία. Γενικά, στις περισσότερες ερευνητικές εργασίες συγκρίνεται η συμβατική γεωργία και συγκεκριμένα οι καλλιεργητικές πρακτικές που περιλαμβάνει με τις αντίστοιχες στα πιο σύγχρονα και φιλικά προς το περιβάλλον συστήματα καλλιέργειας, όπως της οργανικής και της ολοκληρωμένης (Mondelaers et al., 2009, William et al., 2010, Tuomisto et al., 2012).

Στην ανάλυσή τους οι Mondelaers et al., (2009), συγκρίνοντας την συμβατική με την οργανική γεωργία ως προς τις περιβαλλοντικές επιπτώσεις των διαφορετικών καλλιεργητικών πρακτικών τους, κατέληξαν ότι η οργανική παραγωγική διαδικασία αφήνει στο έδαφος μεγαλύτερη οργανική ουσία κατά μέσο όρο, συμβάλει θετικά στην διατήρηση της αγρο-βιοποικιλότητας και της φυσικής βιοποικιλότητας, αλλά όσο αναφορά την επίδρασή της στην απορροφή των νιτρικών και φωσφορικών στο έδαφος και την εκπομπή των αερίων θερμοκηπίου στην ατμόσφαιρα δεν υπάρχει ξεκάθαρη εικόνα. Όταν τα αποτελέσματα εκφράζονται σε κλίμακα παραγωγικής έκτασης η οργανική γεωργία υπερτερεί, αλλά όταν τα αποτελέσματα εκφράζονται ανά μονάδα προϊόντος δεν υπάρχει πλεονέκτημα από το συγκεκριμένο καλλιεργητικό σύστημα, δεδομένης της μικρής αποδοτικότητας της οργανικής γεωργίας στις αναπτυγμένες χώρες. Σε ανάλογα συμπεράσματα κατέληξαν και οι William et al., (2010) πραγματοποιώντας μία συγκριτική μελέτη ΑΚΖ στα δύο αυτά καλλιεργητικά συστήματα, οργανικής και συμβατικής, και τρεις βασικές καλλιέργειες, σιτάρι, ελαιοκράμβη και πατάτα, όπου βρήκαν ότι υπάρχουν μικρές προς μέτριες πιθανότητες ωφέλειας κατά την μετατροπή της συμβατικής σε οργανική καλλιέργεια (Hass et al., 2005). Τα αποτελέσματα τους έδειξαν ότι το οργανικό σιτάρι κατανάλωσε μικρότερη ενέργεια, ενώ η οργανική πατάτα περισσότερη από τις αντίστοιχες συμβατικές καλλιέργειες (Pimentel et al., 1983). Η επιβάρυνση από φυτοπροστατευτικά προϊόντα ήταν πάντα χαμηλότερη στην οργανική καλλιέργεια, όπως επίσης η επιβάρυνση από τη χρήση λιπασμάτων, όφελος όμως που αντισταθμίστηκε από τον περισσότερο χρόνο εργασίας και τη μικρότερη παραγωγή στην οργανική καλλιέργεια. Σε πρόσφατη έρευνα, οι Tuomisto et al., (2012), σύγκριναν τα τρία συστήματα καλλιέργειας, συμβατικής, ολοκληρωμένης και οργανικής γεωργίας, ως προς το ενεργειακό ισοζύγιο, το ισοζύγιο των αερίων θερμοκηπίου, καθώς και τις επιπτώσεις στην βιοποικιλότητα χρησιμοποιώντας την ΑΚΖ, λαμβάνοντας υπόψη τρεις διαφορετικούς τρόπους διαχείρισης της γης-ο πρώτος αφορούσε παραγωγή ενεργειακής καλλιέργειας μίσχανθου, ο δεύτερος διαχειριζόμενη δασική έκταση παραγωγής κωνοφόρων και ο τρίτος το φυσικό δάσος. Τα αποτελέσματα ανέδειξαν την σημαντικότητα της εναλλακτικής επιλογής της χρήσης γης και κατέληξαν ότι το σύστημα της ολοκληρωμένης παραγωγής έχει τις περισσότερες δυνατότητες βελτίωσης τόσο του ενεργειακού ισοζυγίου όσο και του ισοζυγίου των αερίων θερμοκηπίου, καθώς και της βιοποικιλότητας συγκρινόμενη με τα άλλα δύο συστήματα, της συμβατικής και οργανικής γεωργίας.

Η δεύτερη κατηγορία πεδίου μελέτης της ΑΚΖ αφορά την αποτύπωση των περιβαλλοντικών επιπτώσεων των διαφόρων εισροών στο εξεταζόμενο σύστημα κατά τη διάρκεια μιας παραγωγικής διαδικασίας, με στόχο την μείωση ή την αποτελεσματικότερη χρήση των εισροών, ή τη βελτίωση του περιβαλλοντικού προφίλ του παραγόμενου προϊόντος. Οι Charles et al., (2006), πραγματοποίησαν μία ΑΚΖ σε καλλιέργεια σιταριού για παραγωγή ψωμιού με σκοπό τη βελτιστοποίηση της λίπανσης, κυρίως του αζώτου (N). Η αξιολόγηση της παραγωγής σιταριού έδειξε ότι η αυξημένη λίπανση, σε συνδυασμό με την διατήρηση της ποιότητας (13% πρωτεΐνη στη ξηρή ουσία του σιταριού), μπορεί μόνο να αντισταθμιστεί από μία ανάλογη αύξηση της παραγωγής, ώστε να δικαιολογηθεί η

επιπλέον εισροή στο σύστημα και να είναι περιβαλλοντικά ευνοϊκή. Παρόμοια, οι Mila et al., (2006) πραγματοποίησαν ΑΚΖ σε ολοκληρωμένη παραγωγή μήλων, με σκοπό πρώτα να εντοπίσουν τις πρακτικές που επηρεάζουν το περιβάλλον ποσοτικοποιώντας τις εκπομπές σε επίπεδο συστήματος και έπειτα να προτείνουν εναλλακτικές μεθόδους γεωργικής παραγωγής που μπορούν να μειώσουν τις περιβαλλοντικές επιπτώσεις. Τα αποτελέσματα της έρευνάς τους έδειξαν ότι τα καύσιμα, τα λιπάσματα και τα φυτοπροστατευτικά προϊόντα μοιράζονται την ευθύνη για τις περισσότερες κατηγορίες επιπτώσεων. Συγκεκριμένα, φαίνεται ότι περισσότερο από το 50% των επιπτώσεων οφείλονται στις εκπομπές (CO₂, NO_x, SO_x, και στη προσθήκη βαρέων μετάλλων στο έδαφος) από την κατανάλωση ενέργειας, με τη συγκομιδή να αποτελεί τον κύριο καταναλωτή ενέργειας. Επίσης, οι Anraamides και Fatta (2008), σε μία από την "κούνια στην πύλη" ΑΚΖ για την αξιολόγηση των διαδικασιών εκείνων που κατά τη διάρκεια παραγωγής ελαιολάδου καταναλώνουν περισσότερες πρώτες ύλες και συμβάλουν πιο πολύ στην περιβαλλοντική επιβάρυνση, βρήκαν πώς η παραγωγή ανόργανων λιπασμάτων που χρησιμοποιούνται στο στάδιο της καλλιέργειας, αλλά και η απόθεση των υπολειμμάτων από τα ελαιοτριβεία είναι τα πιο επιβαρυντικά στάδια κατά την παραγωγή ελαιολάδου. Η εφαρμογή της ΑΚΖ για την αξιολόγηση του περιβαλλοντικού προφίλ του κύκλου ζωής του ρυζιού από το χωράφι στο ράφι, πραγματοποιήθηκε από τους Blengini και Busto (2009). Τα αποτελέσματα της ΑΚΖ έδειξαν το μέγεθος της επίπτωσης ανά κιλό αλεσμένου ρυζιού προς παράδοση-2,9 κιλά ισοδύναμου διοξειδίου του άνθρακα (CO₂eq), κύρια κατανάλωση ενέργειας 17,8 MJ και 4,3 m³ κατανάλωση νερού. Σενάρια βελτίωσης προτάθηκαν λαμβάνοντας υπόψη εναλλακτικές μεθόδους καλλιέργειας, όπως η οργανική και ορεινή καλλιέργεια (βροχοδιάιτο ρύζι). Η έρευνα έδειξε πράγματι ότι οι εναλλακτικές μορφές καλλιέργειας έχουν την δυνατότητα να μειώνουν τις επιπτώσεις ανά μονάδα καλλιεργήσιμης έκτασης, ωστόσο λόγω της μειωμένης παραγωγής ρυζιού, τα περιβαλλοντικά πλεονεκτήματα ανά κιλό τελικού προϊόντος μειώνονται στη περίπτωση της ορεινής καλλιέργειας και σχεδόν εξαφανίζονται στην περίπτωση της οργανικής. Σε πιο εξιδανικευμένη έρευνα των Birkved και Hauschild (2006), η ΑΚΖ χρησιμοποιήθηκε για την εκτίμηση τοξικότητας που προκαλείται από την χρήση φυτοπροστατευτικών προϊόντων, χρησιμοποιώντας ένα μοριακό μοντέλο (PestLCI 1.0) και μετρώντας τις εκπομπές στα διάφορα μέρη του περιβάλλοντος (αέρα, επιφανειακά και υπόγεια νερά). Το μοντέλο σε συνδυασμό με τις βάσεις δεδομένων του (δεδομένα από την Δανία), επιτρέπει την εκτίμηση 69 συγκεκριμένων φυτοπροστατευτικών προϊόντων εάν γνωρίζει το χρόνο εφαρμογής, την τοποθεσία του χωραφιού, τον τρόπο καλλιέργειας και τις κλιματικές συνθήκες. Η ανάλυση ευαισθησίας αποκάλυψε ότι οι παράμετροι με τη μεγαλύτερη επιρροή σε όλες τις εκπομπές είναι αυτοί που εξαρτώνται από την τοποθεσία του χωραφιού και το χρόνο εφαρμογής του χημικού. Σε συνέχεια της έρευνας τους οι Dijkman et al., (2011), ανέπτυξαν ένα νέο μοντέλο, PestLCI 2.0, που αποτελεί μία διευρυμένη και εκσυγχρονισμένη εκδοχή του πρώτου μοντέλου, PestLCI 1.0, ξεπερνώντας τους περιορισμούς του πρώτου και διευρύνοντας τις βάσεις δεδομένων του περιλαμβάνοντας ένα εύρος από εδαφικά προφίλ και κλιματικές ζώνες της Ευρώπης.

Χρήση της AKZ σε ενεργειακές καλλιέργειες και βιοκαύσιμα

Ενεργειακές Καλλιέργειες

Ταυτόχρονα με το ενδιαφέρον για την ελάφρυνση των περιβαλλοντικών επιβαρύνσεων των διαφόρων καλλιεργητικών πρακτικών στο χώρο της γεωργίας, άρχισε, από τις αρχές τις δεκαετίας 1990, να αυξάνεται και το ενδιαφέρον για τη χρήση της βιοενέργειας. Βιοενέργεια καλείται η ενέργεια που παράγεται με συμμετοχή και καύση βιομάζας ή παραγώγων αυτής, όπως είναι τα βιοκαύσιμα. Ως μία από τις βασικές πηγές της βιομάζας αποτελούν οι ενεργειακές καλλιέργειες. Οι ενεργειακές καλλιέργειες είναι παραδοσιακές καλλιέργειες που μπορούν να χρησιμοποιηθούν για την παραγωγή υγρών βιοκαυσίμων, είτε φυτά που δεν καλλιεργούνται προς το παρόν εμπορικά, όπως ο μίσχανθος, η αγριαγκινάρα και το καλάμι που το τελικό προϊόν τους προορίζεται για την παραγωγή ενέργειας και βιοκαυσίμων. Οι ενεργειακές καλλιέργειες χωρίζονται σε δύο κατηγορίες οι οποίες είναι οι ετήσιες, όπως σακχαρούχο ή γλυκό σόργο (*Sorghum bicolor* L. Moench), ινώδες σόργο (*Sorghum bicolor* L. Moench), κενάφ (*Hibiscus cannabinus* L.), ελαιοκράμβη (*Brassica napus* L.), βρασιδική ή αιθιόπια (*Brassica carinata* L. Braun) και οι πολυετείς, όπως η Αγριαγκινάρα (*Cynara cardunculus* L.), το καλάμι (*Arundo donax* L.), ο μίσχανθος (*Miscanthus x giganteus*) και το κεχρί, (switchgrass, *Panicum virgatum*)

Η προώθηση της βιομάζας ως πηγής ενέργειας βασίζεται σε ποικίλους λόγους. Η παραγωγή βιομάζας για ενέργεια, αρχικά, δραστηριοποιεί τον γεωργικό τομέα παραγωγής, αποτελεί γηγενή πόρο μπορεί δηλαδή να μειώσει τις ανάγκες εισαγωγής ενέργειας και πρώτων υλών από άλλες χώρες, και τέλος έχει ουδέτερο ισοζύγιο ως προς CO₂, καθώς το ποσό απελευθερώνεται προς την ατμόσφαιρα κατά την καύση της βιομάζας είναι αυτό που απορροφάται από την ατμόσφαιρα κατά τη διάρκεια της φωτοσύνθεσης της βιομάζας. Αυτό είναι μερικώς ορθό γιατί δεν λαμβάνει υπόψη τις εκπομπές διοξειδίου του άνθρακα για τη παραγωγή, συγκομιδή και διακίνηση της βιομάζας. Οι Rabl et al. (2007), υποστηρίζουν πώς ο μη υπολογισμός του CO₂ σε AKZ παραγωγής βιομάζας είναι εσφαλμένος και πώς σε όλα τα στάδια μιας AKZ θα πρέπει να υπολογίζονται η απομάκρυνση και οι εκπομπές CO₂. Σε πολλές μελέτες AKZ για τη διαχείριση των αποβλήτων βιομάζας δεν υπολογίζονται οι εκπομπές CO₂ κατά την καύση των αποβλήτων, στηριζόμενη στο γεγονός πώς η παραγωγή βιομάζας απομακρύνει τόσο CO₂ όσο παράγεται από την καύση της, θέση με την οποία διαφοροποιούνται οι Rabl et al. (2007), υποστηρίζοντας πως σε μία τέτοια μελέτη τα όρια του συστήματος είναι έως και την παραγωγή αποβλήτων βιομάζας και πώς η καύση των τελευταίων απαιτούν τον υπολογισμό του CO₂.

Οι εκπομπές διοξειδίου του άνθρακα σημείωσαν ραγδαία αύξηση κατά 80% το διάστημα 1970 έως 2004 κυρίως λόγω χρήσης των ορυκτών καυσίμων (IPCC, 2007a) και κατά δεύτερο από την αλλαγή χρήσης γης (Kucharik, et al, 2001). Η οδηγία για τις ανανεώσιμες πηγές ενέργειας (2009/28/EC), ενθαρρύνει την χρήση βιομάζας για ενέργεια με σκοπό να μειώσει τα αέρια θερμοκηπίου, να αυξήσει την ασφάλεια του ενεργειακού ανεφοδιασμού και να δημιουργήσει ευκαιρίες για εργασία και περιφερειακή ανάπτυξη. Τα πιο πολλά από τα προβλήματα είχαν εντοπιστεί από

την αρχή της πρωτοβουλίας της παραγωγής βιομάζας για ενέργεια, όπως η διαθεσιμότητα γης, περιβαλλοντικές επιπτώσεις, οικονομική βιωσιμότητα και αποτελεσματικότητα, θεωρήθηκε όμως ότι μπορούσαν να ξεπεραστούν με καλή διαχείριση και ότι οι περιορισμοί για να πετύχει μία περιβαλλοντικά αποδεκτή παραγωγή βιομάζας δεν ήταν ανυπέρβλητοι (Hall and House, 1995). Η καλλιεργήσιμη έκταση στην Ευρώπη όμως είναι περιορισμένη και η επιπλέον παραγωγή βιομάζας για να πετύχει τους στόχους της Ευρωπαϊκής οδηγίας προσθέτει επιπλέον πίεση για διαθεσιμότητα της ήδη περιορισμένης καλλιεργήσιμης έκτασης και αυξάνει την ανταγωνιστικότητα μεταξύ παραγωγής τροφίμων, ζωικών τροφών και καυσίμων. Για να μειωθεί λοιπόν ο ανταγωνισμός και να ελαχιστοποιηθεί ο κίνδυνος παράπλευρων απωλειών, όπως η καταστροφή των δασών, η αποτελεσματικότητα στη χρήση γης στον αγροτικό τομέα είναι ανάγκη να αυξηθεί, με παράλληλη μείωση των περιβαλλοντικών επιβαρύνσεων.

Με σκοπό την αξιολόγηση της περιβαλλοντικής επίδοσης των διαφόρων ενεργειακών καλλιεργειών, μέχρι σήμερα έχουν πραγματοποιηθεί πολλές μελέτες χρησιμοποιώντας διάφορα εργαλεία, όπως Αξιολόγηση Περιβαλλοντικών Επιπτώσεων (Environmental Impact Assessment, EIA), το Οικολογικό αποτύπωμα (Environmental Footprint, EF), το Αποτύπωμα Άνθρακα (Carbon Footprint, CF). Τα περισσότερα από τα εργαλεία διαχείρισης του περιβάλλοντος από τα πιο απλά, όπως το *Bilan Carbone* (Ademe, 2007) στη Γαλλία μέχρι τα πιο λεπτομερή όπως οι οδηγίες CML (Heijungs et al., 1992; Guinée et al., 2001), έχουν προέλθει από μεθόδους της AKZ. Η AKZ αποτελεί ένα αντικειμενικό, στρατηγικό και άμεσο κριτήριο για τον καθορισμό της πιο κατάλληλης καλλιέργειας για ενέργεια (Benoit, 2008), και η χρήση της ως αναλυτικό εργαλείο που μπορεί να εντοπίσει τη πολυπλοκότητα και τις αλληλεξαρτήσεις και να παράσχει μια κατανοητή και αντικειμενική περιβαλλοντική ισορροπία, συμβάλλει στην αειφόρα ανάπτυξη του συστήματος παραγωγής βιοενέργειας.

Αν και πολλές έρευνες έχουν πραγματοποιηθεί για ενεργειακές καλλιέργειες όσο αναφορά το περιβαλλοντικό προφίλ τους, πολλές μελέτες προβάλλουν αντικρουόμενα συμπεράσματα για τα πλεονεκτήματα των ενεργειακών καλλιεργειών. Οι Fargione et al. (2008), επισημαίνουν την εισροή μεγάλων ποσοτήτων άνθρακα στην ατμόσφαιρα σε τυχόν μετατροπή φυσικών οικοσυστημάτων σε ενεργειακές καλλιέργειες, ενώ η καλλιέργεια πολυετών φυτών σε μικρή έκταση έχει θετική επίδραση στο κλίμα. Ανάλογα συμπεράσματα βρίσκουν και οι Searchinger et al. (2008), όπου η μετατροπή καλλιέργειας καλαμποκιού σε ενεργειακή- π.χ. κεχρί για παραγωγή βιοαιθανόλης δεύτερης γενιάς αυξάνει κατά 50 % τις εκπομπές άνθρακα. Παραδείγματα θετικών αποτελεσμάτων από τις ενεργειακές καλλιέργειες αφορούν την απορροή αζώτου, την ποιότητα νερού και τη βιοποικιλότητα (Lewandowski and Heinz, 2003; Semere and Slater, 2007). Οι Gasol et al. (2007), στην Ισπανία, προκειμένου να επιδείξουν τις μεγάλες δυνατότητες που έχει το φυτό *Brassica carinata* ως πηγή ανανεώσιμης ενέργειας στη νότια Ευρώπη, ανέλυσαν την ενεργειακή και την περιβαλλοντική επίδοση της παραγωγής του φυτού, με τη μεθοδολογία της AKZ. Οι κατηγορίες επιπτώσεων που αξιολογήθηκαν ήταν, η εξάντληση αβιοτικών, η κλιματική αλλαγή (αέρια θερμοκηπίου), η εξάντληση της στοιβάδας του όζοντος, η ανθρώπινη τοξικότητα, η οικοτοξικότητα

τόσο του φρέσκου νερού όσο και του θαλάσσιου, η εδαφική οικοτοξικότητα, οι φωτοχημικές οξειδώσεις, η οξίνιση και ο ευτροφισμός. Η εκτίμηση των επιπτώσεων του κύκλου ζωής, έδειξε ότι η παραγωγή και χρήση των λιπασμάτων είναι η διαδικασία με τη μεγαλύτερη επίπτωση στις 6 (αέρια θερμοκηπίου, θαλλάσια και εδαφική οικοτοξικότητα, φωτοχημικές οξειδώσεις, οξίνιση και ευτροφισμός) από τις 10 κατηγορίες περιβαλλοντικών επιπτώσεων που εξετάστηκαν, αντιπροσωπεύοντας ένα ποσοστό μεταξύ 51% και 68% των επιπτώσεων σε αυτές τις κατηγορίες. Η δεύτερη πιο σημαντική επίπτωση παρουσιάζεται όταν χρησιμοποιείται ντίζελ σε γεωργικούς ελκυστήρες και οχήματα μεταφοράς, και αντιπροσωπεύει ένα ποσοστό μεταξύ 48 και 77%. Σε σύγκριση με τα ορυκτά καύσιμα, όπως είναι το φυσικό αέριο, μειώνει την κατανάλωση αρχικής ενέργειας κατά 33,2% και τις εκπομπές αερίων του θερμοκηπίου από 33,1 έως 71,2% ανάλογα με το αν υπολογίζεται η μετατόπιση του CO₂. Θετικά ήταν και τα αποτελέσματα που βρήκαν σε έρευνά τους οι Monti et al. (2009), όπου μελέτησαν αρχικά 4 πολυετείς ενεργειακές καλλιέργειες, μίσχανθο, αγριαγκινάρα, καλάμι και κεχρί ως προς τις περιβαλλοντικές επιπτώσεις των κύκλων ζωής τους δίνοντας ιδιαίτερη έμφαση στις καλλιεργητικές πρακτικές και έπειτα τις σύγκριναν με τον συμβατικό τρόπο καλλιέργειας του σιταριού-καλαμποκιού σε εναλλαγή. Τα αποτελέσματα, που ταξινομήθηκαν σύμφωνα με δύο μονάδες, την ενέργεια και την έκταση, έδειξαν ότι οι συμβατικές καλλιέργειες είχαν καθαρά τις μεγαλύτερες επιπτώσεις σε όλες τις κατηγορίες περιβαλλοντικών επιπτώσεων (αέρια θερμοκηπίου, ευτροφισμός, όξινιση, τοξικότητα κ.α.) με μέσο όρο 50% περισσότερο από τις πολυετείς ενεργειακές. Μεταξύ των ενεργειακών καλλιεργειών μικρές ήταν οι διαφορές με βάση την έκταση με το κεχρί να έχει καλύτερα αποτελέσματα στις 6 από τις 9 κατηγορίες επιπτώσεων, ενώ οι διαφορές που βρέθηκαν με βάση την μονάδα ενέργειας εξαρτιόταν αποκλειστικά από την ποσότητα παραγωγής βιομάζας. Έτσι το καλάμι που ήταν η πιο παραγωγική καλλιέργεια έδειξε την καλύτερη περιβαλλοντική συμπεριφορά, ενώ η αγριαγκινάρα είχε τα λιγότερα περιβαλλοντικά πλεονεκτήματα. Αποτελέσματα της AKZ που πραγματοποιήθηκε στα πλαίσια ενός ερευνητικού προγράμματος (4F Crops) από το Ινστιτούτο Έρευνας για την ενέργεια και το περιβάλλον που αφορούσε την σύγκριση των επιπτώσεων των κύκλων ζωής της παραγόμενης βιομάζας και βιο-υλικών 15 καλλιεργειών για παραγωγή μη-εδώδιμων προϊόντων σε διάφορα γεωγραφικά διαμερίσματα της Ευρώπης, έδειξε ότι γενικά τα ποώδη φυτά και οι ζαχαρώδεις καλλιέργειες παρουσιάζουν πλεονεκτήματα ως προς την ενέργεια και την μειωμένη εκπομπή αερίων θερμοκηπίου. Οι ξυλώδεις καλλιέργειες παρουσίασαν την καλύτερη απόδοση όσο αναφορά τις κατηγορίες επιπτώσεων της οξίνισης, του ευτροφισμού, της θερινής αιθαλομίχλης, της μείωσης του όζοντος και της ανθρώπινης τοξικότητας. Τέλος, τα ελαιούχα φυτά έδειξαν τα λιγότερα πλεονεκτήματα (Rettenmaier et al, 2010).

Σε διαφορετικό ύψος έρευνας οι Goglio et al. (2012), πραγματοποίησαν AKZ για να αξιολογήσουν αρχικά τις περιβαλλοντικές επιπτώσεις τριών καλλιεργητικών συστημάτων με διαφορετικά επίπεδα εισροών (χαμηλό, μέτριο υψηλό) που εφαρμόζονταν σε καλλιέργειες καλαμποκιού και ηλίανθου σε εναλλαγή με σιτάρι και έπειτα να εκτιμήσουν το περιβαλλοντικό όφελος της βελτιστοποίησης του καλλιεργητικού συστήματος για παραγωγή ενέργειας. Οι κατηγορίες επιπτώσεων που αξιολογήθηκαν ήταν ο λόγος εκροών –εισροών, το καθαρό ενεργειακό ισοζύγιο

δηλαδή η διαφορά των συνολικών εισροών ενέργειας από την ενέργεια που περιέχεται στις εκροές, η κλιματική αλλαγή σε χρονικό ορίζοντα 100 χρόνων, η οξίνιση των εδαφών και ο ευτροφισμός των επιφανειακών υδάτων. Τα αποτελέσματα έδειξαν ότι η μεταχείριση με χαμηλές εισροές έχει το μεγαλύτερο λόγο και τη χαμηλότερη επίπτωση στις κατηγορίες επιπτώσεων που μελετήθηκαν. Οι άλλες δύο μεταχειρίσεις είχαν μικρές διαφορές μεταξύ τους. Η χρήση λιπασμάτων, η άρδευση και η χρήση μηχανημάτων προκάλεσαν τις περισσότερες επιβαρύνσεις στο περιβάλλον. Επισημάνθηκε επίσης ότι η διαδικασία του καταμερισμού των επιβαρύνσεων σε παραπροϊόντα, όπως εδώ των υπολειμμάτων των καλλιεργειών, επηρεάζει σημαντικά την αποτελεσματικότητα του καλλιεργητικού συστήματος.

Βιοκαύσιμα

Η Βιομάζα αποτελεί ένα τοπικά παραγόμενο, συχνά φτηνό, και κυρίως ένα ανανεώσιμο καύσιμο. Υπάρχουν δύο τύποι βιομάζας: Βιομάζα σε μορφή υπολειμμάτων διαφόρων διεργασιών (τα κάθε είδους φυτικά υπολείμματα και ζωικά απόβλητα και τα απορρίμματα) και η βιομάζα που παράγεται από ενεργειακές καλλιέργειες (ΚΑΠΕ, 2007). Η αυξανόμενη διαθεσιμότητα, συνδυαζόμενη με την ανάπτυξη της τεχνολογίας που να το χρησιμοποιεί αποτελεσματικά και με χαμηλές εκπομπές αποτελεί μια ελκυστική επιλογή καυσίμου. Η καύση βιομάζας ή παραγώγων αυτής παράγουν ενέργεια που καλείται βιοενέργεια. Η βιομάζα, μετά από επεξεργασία, μπορεί να μετατραπεί σε στερεά, υγρά ή αέρια καύσιμα, τα οποία συμμετέχουν μεταξύ άλλων, στην παραγωγή θερμότητας, στην παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας και στην παραγωγή καυσίμων για οχήματα. Τα κυριότερα βιοκαύσιμα που προκύπτουν από τη βιομάζα είναι η βιο-αιθανόλη, το βιοντίζελ, ο βιοδιμεθυλαιθέρας, ο βιο-ΕΤΒΕ, ο βιο-ΜΤΒΕ, έλαια πυρόλυσης, υγρό βιο-υδρογόνο, βιο- μεθανόλη, αεριοποιημένο υδρογόνο, τα καθαρά φυτικά έλαια και τα συνθετικά βιοκαύσιμα (συνθετικοί υδρογονάνθρακες ή μείγματα συνθετικών υδρογονανθράκων που έχουν παραχθεί από βιομάζα). Κατά τη διάρκεια διαδικασιών μετατροπής, όπως η καύση, η βιομάζα απελευθερώνει την ενέργειά της υπό τη μορφή θερμότητας, ενώ αποδεσμεύεται το διοξείδιο του άνθρακα που απορροφήθηκε κατά την ανάπτυξη του φυτού. Σε γενικές γραμμές, η χρήση βιομάζας για την παραγωγή ενέργειας αποτελεί την αντίστροφη διαδικασία της φωτοσύνθεσης (Αμπελιώτης, 2008).

Η παραγωγή ενέργειας από την καύση βιομάζας και τα παράγωγα αυτής αποτέλεσε αντικείμενο μελέτης πολλών ερευνών. Περιβαλλοντικές επιπτώσεις δημιουργούνται καθ' όλη την διάρκεια της αλυσίδας παραγωγής βιοκαυσίμων, από την αλλαγή χρήσης γης, την παραγωγή και εφαρμογή λιπασμάτων και χημικών, τη καλλιέργεια ενεργειακών φυτών, τη παραγωγή βιοκαυσίμων, την μεταφορά τους και τη χρήση τους από αυτοκίνητα. Κάποιες περιβαλλοντικές επιπτώσεις δημιουργούνται από συγκεκριμένες διαδικασίες, όπως π.χ. η απορροή νιτρικών η οποία και οφείλεται σε γεωργική δραστηριότητα. Ωστόσο οι πιο πολύ ρυπαντές δημιουργούνται σε διάφορα βήματα της αλυσίδας. Ο πιο κυρίαρχος ρυπαντής αυτού του τύπου είναι το διοξείδιο του άνθρακα που παράγεται σχεδόν σε κάθε βήμα της αλυσίδας των βιοκαυσίμων (Zah, et al., 2009). Η AKZ αποτελεί το διαγνωστικό εργαλείο της περιβαλλοντικής αποτίμησης της παραγωγής βιοκαυσίμων, και παρ' όλο που επηρεάζεται από πολλούς παράγοντες, μόνο μερικοί από αυτούς έχουν σχέση με

την εκτίμηση της περιβαλλοντικής επίπτωσης. Έχει επιδειχθεί ότι το στάδιο της καλλιέργειας για παραγωγή βιομάζας αποτελεί το πιο επιβαρυντικό περιβαλλοντικά στάδιο που ακολουθείται από την επεξεργασία των βιοκαυσίμων, ενώ η μεταφορά τους είναι αμελητέας σημασίας (Zah, et al., 2007). Η ανάλυση ευαισθησίας στο στάδιο της καλλιεργητικής διαδικασίας έδειξε ότι ο πιο σημαντικός παράγοντας για την παραγωγή των αερίων θερμοκηπίου είναι οι εκπομπές υπο- οξειδίων του αζώτου N_2O , και διοξειδίου άνθρακα CO_2 από την αλλαγή χρήσης γης. Με τη χρήση της Ελβετικής μεθόδου (Frischknecht, et al., 2009) για την εύρεση της περιβαλλοντικής επιβάρυνσης, φαίνεται ότι οι παράγοντες όπου συμβάλλουν σε αυτή είναι η βαθειά διήθηση νιτρικών στα υπόγεια νερά, του φωσφόρου σε νερά ποταμών και των βαρέων μετάλλων και φυτοπροστατευτικών στο έδαφος και στα επιφανειακά νερά (Zah et al., 2009).

Πολλές έρευνες υπάρχουν όσο αναφορά την περιβαλλοντική αποτίμηση των κύκλων ζωής των βιοκαυσίμων που παρουσιάζονται είτε από μελέτες επίδειξης του περιβαλλοντικού προφίλ είτε μέσω συγκριτικών μελετών με άλλου είδους καύσιμα, κυρίως με τα ορυκτά καύσιμα. Για παράδειγμα, σε μελέτη που πραγματοποιήθηκε για τη Βόρεια Αμερική, από τους MacLean et al., (2000), διερευνήθηκαν οι κύκλοι ζωής της βενζίνης, του πετρελαίου, του συμπιεσμένου φυσικού αερίου (CNG), και της αιθανόλης (C_2H_5OH) - καύσιμα που τροφοδοτούν οχήματα με μηχανές εσωτερικής καύσης (ICE). Εξετάστηκαν επίσης οι μηχανές Port και άμεσης έγχυσης και ανάφλεξης σπινθήρων και συμπίεσης. Ακόμη, ερευνήθηκαν καύσιμα που προέρχονται από πετρέλαιο, όπως η αναμορφωμένη βενζίνη αλλά και από ανανεώσιμες πηγές ενέργειας, όπως το βιοντίζελ από σόγια καθώς επίσης και η αιθανόλη (C_2H_5OH) από καλαμπόκι, ποώδη βιομάζα, και βιομάζα κυτταρίνης. Οι υπολογισμοί για τους κύκλους ζωής έγιναν με χρήση του λογισμικού οικονομικών εισροών εκροών ανάλυσης κύκλου ζωής (EIO-LCA). Οι κύκλοι των καυσίμων και τα στάδια στο τέλος του κύκλου ζωής των οχημάτων βασίστηκαν στα δημοσιευμένα αποτελέσματα του μοντέλου. Διαπιστώθηκε ότι, οι πρόσφατες εξελίξεις στα οχήματα βενζίνης, η χαμηλή τιμή πετρελαίου και οι εκτεταμένες υποδομές για τα ορυκτά καύσιμα καθιστούν δύσκολη την εμπορική βιωσιμότητα των εναλλακτικών καυσίμων. Από τη συγκεκριμένη έρευνα προέκυψε ότι το ελκυστικότερο από τα εναλλακτικά καύσιμα είναι το συμπιεσμένο φυσικό αέριο, επειδή είναι λιγότερο ακριβό από τη βενζίνη, έχει χαμηλότερες εκπομπές ρύπων και τοξικών ουσιών, παράγει τις λιγότερες εκπομπές αερίων του θερμοκηπίου (GHG), και είναι διαθέσιμο στη Βόρεια Αμερική σε μεγάλες ποσότητες. Μία μελέτη που δίνει έμφαση στην ατμοσφαιρική ρύπανση, η οποία είναι άρρηκτα συνδεδεμένη με την αυξανόμενη ζήτηση για ενέργεια, είναι αυτή των Pascual and Tan (2004). Τα αποτελέσματα της αξιολόγησης των κύκλων ζωής του βιοντίζελ ινδικής καρύδας και του συμβατικού ντίζελ δείχνουν ότι η χρήση του βιοντίζελ καρύδας στις Φιλιππίνες μπορεί να είναι βιώσιμα εφαρμόσιμη. Αν και η χρήση των υπολειμμάτων καρύδας για τη συμπαραγωγή ισχύος αυξάνει σε μικρό ποσοστό μερικές από τις εκπομπές όπως το μονοξείδιο του άνθρακα (CO), τα οξείδια του αζώτου (NO_x) και τα αιωρούμενα σωματίδια (PM_{10}), οι συνολικές επιπτώσεις από τις εκπομπές αυτές και την κατανάλωση ενέργειας είναι χαμηλότερες σε σχέση με βιομηχανικές εφαρμογές, για όλα τα σενάρια.

Οι Hill et al. (2006), έκαναν μία προσπάθεια να εκτιμήσουν τα περιβαλλοντικά, οικονομικά και ενεργειακά κόστη και οφέλη από τη χρήση βιοντίζελ και βιοαιθανόλης. Υποστηρίζουν ότι για να είναι τα βιοκαύσιμα μια βιώσιμη εναλλακτική λύση θα πρέπει να παρέχουν καθαρό κέρδος ενέργειας, να έχουν περιβαλλοντικά οφέλη, να είναι οικονομικά ανταγωνιστικά και να μπορούν να παράγονται σε τέτοιες ποσότητες, ώστε να μην προκαλούν μείωση των προμηθειών των τροφίμων. Σκοπός της μελέτης τους ήταν να υπολογιστεί η αιθανόλη που εξάγεται από το σιτάρι και το καλαμπόκι και το βιοντίζελ που εξάγεται από τη σόγια χρησιμοποιώντας ταυτόχρονα τα παραπάνω κριτήρια. Προκειμένου να επιτευχθεί ο συγκεκριμένος στόχος χρησιμοποιήθηκε η μέθοδος της AKZ, με την οποία υπολογίστηκε ότι η αιθανόλη παράγει 25% περισσότερη ενέργεια από την ενέργεια που επενδύεται κατά την παραγωγή της, ενώ το αντίστοιχο ποσοστό για το βιοντίζελ είναι 93%. Οι εκπομπές αερίων του θερμοκηπίου, σε σύγκριση με τα συμβατικά καύσιμα, μειώνονται κατά 12% από την παραγωγή και την καύση της αιθανόλης και 41% από το βιοντίζελ, ενώ το αντιστρόφως ανάλογο συμβαίνει με τους ατμοσφαιρικούς ρύπους. Ένα από τα συμπεράσματα της μελέτης αυτής, ήταν ότι κανένας τύπος βιοκαυσίμου δεν μπορεί να αντικαταστήσει τη χρήση πετρελαίου, χωρίς να έχει αντίκτυπο στις προμήθειες τροφίμων. Σε ανάλογη έρευνά τους οι Tsoutsos et al. (2010), πραγματοποίησαν μια AKZ για να εκτιμήσουν το περιβαλλοντικό προφίλ τριών ενεργειακών καλλιεργειών (ελαιοκράμβη, ηλίανθος και σόγια) που χρησιμοποιήθηκαν για παραγωγή βιοντίζελ.

Αν τα αποτελέσματα εκτιμηθούν ανά μονάδα καλλιεργήσιμης έκτασης τότε η σόγια έδειξε χαμηλότερη περιβαλλοντική επιβάρυνση. Ωστόσο, αν η εκτίμηση αποτελεσμάτων γίνει ανά μονάδα ποσοτικής παραγωγής βιοντίζελ, τότε η καλλιέργεια με τις λιγότερες περιβαλλοντικές επιβαρύνσεις είναι ο ηλίανθος. Σε έρευνά τους οι Tonini και Astrup (2012), ποσοτικοποίησαν τις περιβαλλοντικές επιπτώσεις που σχετίζονται με μελλοντικά σενάρια παραγωγής ενέργειας για την Δανία από το 2030 έως το 2050. Αυτά τα μελλοντικά σενάρια συγκρίνονται με την υπάρχουσα ενεργειακή κατάσταση του έτους αναφοράς 2008. Η ποσοτικοποίηση αυτή έγινε με την χρήση της AKZ και όλες οι σχετικές με την ενέργεια τεχνολογίες διευθετήθηκαν (π.χ., ενέργεια από αέρα, νερό, φωτοβολταϊκά, ηλιακή) με έμφαση στην ενέργεια που παράγεται από βιομάζα, θέτοντας στόχους τον καθορισμό των πηγών της παραγόμενης βιομάζας, την κατάλληλη τεχνολογία μετατροπής της αποτελεσματικά σε ενέργεια και την ποσοτικοποίηση των περιβαλλοντικών επιπτώσεων που σχετίζονται με τα σενάρια αυτά. Τα αποτελέσματα έδειξαν ότι οι ενεργειακές καλλιέργειες για παραγωγή βιοκαυσίμων και η χρήση αυτών των βιοκαυσίμων στον τομέα της μεταφοράς ήταν υπεύθυνα για τις περισσότερες περιβαλλοντικές επιπτώσεις στο σενάριο του 2050 και συγκεκριμένα για την άνοδο των επιβαρύνσεων από τη αλλαγή χρήσης γης, τη χρήση λιπασμάτων και των οξειδίων του αζώτου (NO_x) από τον τομέα μεταφοράς. Η χρήση γης από τις ενεργειακές καλλιέργειες για παραγωγή ενέργειας αυξήθηκε. Η χρήση των ορυκτού ντίζελ στον τομέα μεταφοράς, φάνηκε περιβαλλοντικά προτιμότερος σε σχέση με το βιοντίζελ για την οξίνιση των εδαφών, τον υδάτινο ευτροφισμό και την χρήση γης. Για τα αέρια θερμοκηπίου το βιοντίζελ ήταν συγκρίσιμο με το ορυκτό ντίζελ. Τα αποτελέσματα αυτά έρχονται σε συμφωνία με τα συμπεράσματα της 47^{ης} συνάντησης για την AKZ, όπου κατέληξαν ότι η παραγωγή βιοενέργειας δεν είναι

περιβαλλοντικά φιλική καθεαυτού. Σε πολλές περιπτώσεις, η χρήση ενεργειακής βιομάζας επιτρέπει τη μείωση των αερίων θερμοκηπίου και την χρήση ενέργειας από τους φυσικούς ορυκτούς πόρους. Ωστόσο, υπάρχει μια εξουδετέρωση των θετικών αποτελεσμάτων χρήσης βιοενέργειας από τις άλλες περιβαλλοντικές επιπτώσεις που σχετίζονται με τη γεωργική παραγωγή, όπως ευτροφισμός, ή οικοτοξικότητα (Emmenegger et al., 2012)

AKZ και Κλιματική Αλλαγή

Φαινόμενο Θερμοκηπίου –Αέρια θερμοκηπίου

Η κύρια ενεργειακή πηγή για τον πλανήτη μας είναι ο ήλιος. Ένα τμήμα της εισερχόμενης ηλιακής ακτινοβολίας απορροφάται από την επιφάνεια της γης και μετατρέπεται σε θερμότητα. Η θερμότητα αυτή αποβάλλεται με τη μορφή υπέρυθρης ακτινοβολίας από την επιφάνεια της γης προς το διάστημα, μέσω της ατμόσφαιρας. Τα αέρια του θερμοκηπίου, τα οποία υπάρχουν φυσικά στην τροπόσφαιρα, απορροφούν προσωρινά την υπέρυθρη ακτινοβολία και στη συνέχεια την επανεκπέμπουν προς τυχαίες κατευθύνσεις. Έτσι, ένα τμήμα της υπέρυθρης ακτινοβολίας αντί να διαφύγει προς το διάστημα, επιστρέφει στην επιφάνεια της γης με αποτέλεσμα να τη θερμαίνει. Ο παραπάνω μηχανισμός περιγράφει το φυσικό φαινόμενο του θερμοκηπίου, που χωρίς αυτό η μέση θερμοκρασία της γης θα ήταν 30 °C χαμηλότερη. Το πρόβλημα δημιουργείται όταν οι συγκεντρώσεις των αερίων του θερμοκηπίου αυξάνονται σε υπέρμετρο βαθμό. Αυτή η υπερβολική αύξηση περιγράφεται ως το ανθρωπογενές φαινόμενο του θερμοκηπίου, το οποίο έχει ως αποτέλεσμα την υπερθέρμανση του πλανήτη. Η υπερθέρμανση του πλανήτη προκαλείται από τη διαταραχή του ισοζυγίου ενέργειας της Γης. Ο αριθμός αυτών των αερίων του θερμοκηπίου ανέρχεται περίπου σε 40. Τα τέσσερα σημαντικότερα από αυτά, κατά σειρά σπουδαιότητας, είναι το διοξείδιο του άνθρακα, το μεθάνιο, το υποξείδιο του αζώτου και οι χλωροφθοράνθρακες. Το διοξείδιο του άνθρακα (CO₂) είναι το αέριο του θερμοκηπίου με τη μεγαλύτερη συνολική συνεισφορά. Η σημαντικότερη ανθρωπογενής πηγή του είναι η καύση των ορυκτών καυσίμων, δηλαδή του αργού πετρελαίου (και κατά συνέπεια όλων των προϊόντων του), του κάρβουνου και του λιγνίτη αλλά και του φυσικού αερίου. Το διοξείδιο του άνθρακα παράγεται, πρακτικά, από κάθε καθημερινή μας δραστηριότητα στη διάρκεια της οποίας καταναλώνουμε ή παράγουμε ενέργεια. Το μεθάνιο (CH₄) είναι το παραπροϊόν της αναερόβιας ζύμωσης της οργανικής ύλης και συνεισφέρει κατά 12-20% στο σύνολο των αερίων του θερμοκηπίου και η συγκέντρωσή του έχει υπερδιπλασιαστεί τα τελευταία 200 χρόνια.

Οι ανθρωπογενείς πηγές του μεθανίου είναι οι χώροι επεξεργασίας στερεών και υγρών αποβλήτων, σε αυτούς τους χώρους, η οργανική ύλη που υπάρχει στα απόβλητα, όταν βρεθεί σε αναερόβιες συνθήκες παράγει μεθάνιο, η καύση της βιομάζας, η εξόρυξη και η επεξεργασία λιγνίτη και φυσικού αερίου και οι αγροτικές δραστηριότητες, όπως η καλλιέργεια ρυζιού και η εκτροφή των μηρυκαστικών ζώων. Η συγκέντρωση του υποξειδίου του αζώτου (N₂O) αυξάνεται στη διάρκεια του τελευταίου αιώνα και σήμερα υπολογίζεται ότι συμμετέχει σε ποσοστό 5% στο σύνολο των αερίων του θερμοκηπίου. Το υποξείδιο του αζώτου παράγεται φυσικά από τα διάφορα χερσαία και υδάτινα οικοσυστήματα. Υποξείδιο του αζώτου

παράγεται επίσης από την αντίδραση μεταξύ αζώτου και οξυγόνου κατά τη διάρκεια των καύσεων. Οι ανθρωπογενείς πηγές του N₂O είναι η χρήση των λιπασμάτων για τις καλλιέργειες, η καύση των ορυκτών καυσίμων αλλά και ορισμένες βιομηχανικές διεργασίες (π.χ. παραγωγή νάιλον) στις οποίες συμμετέχουν ενώσεις του αζώτου. Οι χλωροφθοράνθρακες (CFCs) είναι αδρανείς και πολύ σταθερές συνθετικές χημικές ενώσεις οι οποίες χρησιμοποιούνται ως ψυκτικά μέσα σε κλιματιστικά και ψυγεία, ως προωθητικά αέρια σε σπρέι ενώ έχουν και πολλές βιομηχανικές εφαρμογές ως διογκωτικά και καθαριστικά μέσα. Οι χλωροφθοράνθρακες είναι αμιγώς ανθρωπογενείς ενώσεις, δηλαδή δεν υπάρχουν φυσικές πηγές τους. Η παραγωγή και χρήση των CFCs έχει απαγορευτεί στις αναπτυσσόμενες χώρες.

Ευρωπαϊκή και Διεθνή Πολιτική για την Κλιματική Αλλαγή

Ο Ο.Η.Ε. και ο Διεθνής Οργανισμός Μετεωρολογίας αναγνωρίζοντας το μέγεθος του προβλήματος και τη διασυννοριακή του φύση προχώρησαν στη συγκρότηση της «Διακυβερνητικής Διάσκεψης για την Αλλαγή του Κλίματος» (United Nations Framework Convention on Climate Change). Η επιτροπή αυτή διοργάνωσε την πρώτη συνδιάσκεψη για την αλλαγή του κλίματος στο Ρίο της Βραζιλίας και στη τελευταία και σημαντικότερη αυτή στο Κιότο της Ιαπωνίας υπογράφηκε το διάσημο πλέον «πρωτόκολλο του Κιότο», θέτοντας εθελοντικούς εθνικούς στόχους μείωσης των εκπομπών των αερίων του θερμοκηπίου για κάθε ανεπτυγμένη βιομηχανική χώρα, με έτος αναφοράς, το 1990 και αντικειμενικό σκοπό τη κατά 5% μείωση των παγκόσμιων εκπομπών των αερίων του θερμοκηπίου μέχρι το 2010.

Το διακυβερνητικό σώμα για την κλιματική αλλαγή (Intergovernmental Panel of Climate Change – IPCC, 2007b) εξέδωσε ανακοίνωση μόλις στις αρχές του 2007 στην οποία αναφέρει πως η κλιματική αλλαγή οφείλεται στον άνθρωπο με πιθανότητα τουλάχιστον 90% και πως οι επιπτώσεις της θα διαρκέσουν για αιώνες.

Το Ευρωπαϊκό Συμβούλιο του Μαρτίου 2007 αποφάσισε ότι, έως ότου συναφθεί παγκόσμια και συνολική συμφωνία για τη μετά το 2012 περίοδο, η Κοινότητα αναλαμβάνει μονομερή δέσμευση να επιτύχει μείωση των εκπομπών αερίων θερμοκηπίου τουλάχιστον κατά 20 % έως το 2020, σε σχέση με το 1990. Το Ευρωπαϊκό Συμβούλιο ενέκρινε μια ολοκληρωμένη προσέγγιση για την κλιματική και ενεργειακή πολιτική με στόχο την καταπολέμηση της αλλαγής του κλίματος και την αύξηση της ενεργειακής ασφάλειας της ΕΕ. Οι απαιτήσεις που υιοθετήθηκαν από τους αρχηγούς κρατών και κυβερνήσεων αφορούσαν, μείωση των εκπομπών αερίων του θερμοκηπίου κατά τουλάχιστον 20% κάτω από τα επίπεδα του 1990, το 20% της κατανάλωσης ενέργειας της ΕΕ να προέρχεται από ανανεώσιμες πηγές και μείωση κατά 20% στη χρήση πρωτογενούς ενέργειας σε σύγκριση με τα προβλεπόμενα επίπεδα μέσω τη βελτίωσης της ενεργειακής απόδοσης. Η γνωστή ως «δέσμη για το κλίμα και την ενέργεια», περιλαμβάνει τα παρακάτω νομοθετήματα:

1. Την Οδηγία 2009/29/ΕΚ «για τροποποίηση της οδηγίας 2003/87/ΕΚ με στόχο τη βελτίωση και την επέκταση του συστήματος εμπορίας δικαιωμάτων εκπομπής αερίων θερμοκηπίου της Κοινότητας»

2. Την απόφαση 406/2009/ΕΚ «περί των προσπαθειών των κρατών μελών να μειώσουν τις οικείες εκπομπές αερίων θερμοκηπίου, ώστε να τηρηθούν οι δεσμεύσεις της Κοινότητας για μείωση των εκπομπών αυτών μέχρι το 2020».
3. Οδηγία 2009/28/ΕΚ «σχετικά με την προώθηση της χρήσης ενέργειας από ανανεώσιμες πηγές». Δεσμευτικοί εθνικοί στόχοι αποβλέπουν σε συμμετοχή των ΑΠΕ κατά 20% στην ενεργειακή κατανάλωση σε επίπεδο ΕΕ.
4. Οδηγία 2009/31/ΕΚ «σχετικά με την αποθήκευση διοξειδίου του άνθρακα σε γεωλογικούς σχηματισμούς». Ένα νομικό πλαίσιο για την προώθηση της ανάπτυξης και την ασφαλή χρήση της δέσμευσης και αποθήκευσης άνθρακα (CCS).

Κατά την διάσκεψη των Ηνωμένων Εθνών για την κλιματική αλλαγή (UNFCCC, COP-15 το 2009 στην Κοπεγχάγη), οι χώρες που αντιπροσωπεύουν πάνω από το 80% των παγκόσμιων εκπομπών υπέγραψαν τη «Συμφωνία της Κοπεγχάγης», όπου οι αναπτυγμένες χώρες θα πρέπει να μειώσουν τις εκπομπές τους κατά 80-95% έως το 2050.

Μελέτες AKZ για τα αέρια θερμοκηπίου

Η επίδραση των διαφόρων αερίων στο φαινόμενο του θερμοκηπίου δεν είναι ίδια, γι' αυτό και εισάγεται η χρήση του Συντελεστή Κλιματικής Επιβάρυνσης ή δείκτης GWP (Global Warming Potential), ο οποίος ποσοτικοποιεί την επίδραση των αερίων που έχουν το ίδιο αποτέλεσμα με το CO₂ στην ανάκλαση της θερμικής ακτινοβολίας. Οι δείκτες GWP εκφράζονται ως ισοδύναμα του CO₂, με χρονικό ορίζοντα 20, 100, 500 χρόνια. Ο συντελεστής αυτός δηλώνει τη σχετική «ζημιά» (δηλ., την επιβάρυνση του φαινομένου του θερμοκηπίου) που μπορεί να προκαλέσει ένα μόριο του κάθε αερίου σε σχέση με το διοξείδιο του άνθρακα στα επόμενα π.χ., 100 χρόνια. Στο διοξείδιο του άνθρακα έχει κατά συνθήκη αντιστοιχιστεί η μοναδιαία «ζημιά». Το IPCC (Intergovernmental Panel on Climate Change) έχει προτείνει συγκεκριμένες τιμές GWP για τα αέρια που έχουν την κύρια συμμετοχή στο φαινόμενο του θερμοκηπίου, που είναι: 1 g CO₂ = 1 g CO₂-eq, 1 g CH₄ = 23 g CO₂-eq, 1 g N₂O = 296 g CO₂-eq για χρονικό ορίζοντα 100 χρόνων (Cherubini, 2010).

Η AKZ είναι ευρέως αποδεκτό στην επιστημονική κοινότητα ότι αποτελεί μία από τις καλύτερες μεθόδους υπολογισμού του ισοζυγίου των αερίων θερμοκηπίου προερχόμενη από βιοενέργεια (καύση βιομάζας), αναγνωρίζοντας την ενέργεια, τα υλικά και τις άμεσες και έμμεσες εκπομπές των αερίων θερμοκηπίου (Zah, et al., 2007). Σύμφωνα με τους Bessou et al. (2011), η AKZ είναι ένα εργαλείο ανεξάρτητο του χρόνου και του τόπου και δεν μπορεί να συνυπολογίσει τις χωρικές και χρονικές διαστάσεις των εκπομπών γι' αυτό και δύσκολα χρησιμεύει ως εργαλείο λήψης αποφάσεων είτε σε τοπικό ή περιφερειακό επίπεδο. Όσο αναφορά τα αέρια θερμοκηπίου, οι παράγοντες εκπομπών που χρησιμοποιούνται στις AKZ δίνουν μια χονδρική εκτίμηση ενός ενδεχόμενου μέσου όρου εκπομπών σε εθνικό επίπεδο. Ωστόσο, δε λαμβάνουν υπόψη τον τύπο της καλλιέργειας, του εδάφους ή τις καλλιεργητικές πρακτικές. Αν όμως οι επιπτώσεις σε τοπικό επίπεδο μοντελοποιηθούν, τότε η AKZ μπορεί να εκτιμήσει καλύτερα τις αιτίες των αερίων θερμοκηπίου σε τοπικό επίπεδο, προσφέροντας έτσι μία σχετική αξιοπιστία για να συνυπολογιστεί στη λήψη αποφάσεων. Παρόλα αυτά, μια βαθύτερη κατανόηση των

διαδικασιών που περιέχονται, κυρίως των εκπομπών του N_2O , είναι απαραίτητη για να αυξήσει την ακρίβεια της ΑΚΖ. Οι πολυετείς καλλιέργειες είναι μια πολλά υποσχόμενη λύση για τα βιοκαύσιμα, λόγω της άμεσης και αποτελεσματικής χρήσης του αζώτου και των μειωμένων αγροτικών πρακτικών. Ωστόσο, ο κύριος περιοριστικός παράγοντας στην ανάπτυξη των βιοκαυσίμων θα είναι τελικά η διαθεσιμότητα γης.

Αν και στην Ευρώπη η γεωργία ευθύνεται μόνο για το 10% των εκπομπών των αερίων του θερμοκηπίου, είναι η κύρια πηγή μεθανίου (CH_4) (από εντερικές ζυμώσεις, την αποσύνθεση του λιπάσματος, την καλλιέργεια ρυζιού) και υποξειδίου του αζώτου (N_2O) (λίπασμα ζωικού κεφαλαίου και χημικά λιπάσματα). Οι αγροτικές δραστηριότητες, πολλές από τις οποίες συνδέονται με υψηλή κατανάλωση ενέργειας (χημικές ουσίες, καύσιμα, μηχανές κ.λπ.) είναι υπεύθυνες για την απελευθέρωση CO_2 στην ατμόσφαιρα, ενώ ένα ποσοστό αυτού του αερίου απελευθερώνεται και από την αποδόμηση της οργανικής ύλης στα γεωργικά εδάφη. Έχει επικρατήσει η αντίληψη ότι οι εκπομπές των αερίων του θερμοκηπίου μπορούν επίσης να μειωθούν υποκαθιστώντας τη χρήση ορυκτών καυσίμων με ενέργεια από καύση βιομάζας που προέρχεται από ενεργειακές καλλιέργειες, αλλά και υπολείμματα βιομάζας (που περιλαμβάνουν γεωργικά απόβλητα, απόβλητα επεξεργασίας τροφίμων και μια ευρεία ποικιλία υλικών από υπολείμματα ξυλείας).

Οι Zah, et al. (2007), σε έρευνα τους για την περιβαλλοντική αποτίμηση των βιοκαυσίμων κατέληξαν πώς υπάρχει μία ισορροπία (trade-off) μεταξύ της μείωσης των αερίων θερμοκηπίου και γενικότερα της μείωσης των περιβαλλοντικών επιπτώσεων. Είναι γεγονός πώς τα αέρια θερμοκηπίου μπορούν να μειωθούν πάνω από 30% αν χρησιμοποιηθούν ορισμένα βιοκαύσιμα. Ωστόσο, οι περισσότερες ενδιάμεσες διεργασίες δείχνουν μεγαλύτερες επιπτώσεις σε διάφορους περιβαλλοντικούς δείκτες σε σχέση με τη διαδικασία καύσης πετρελαίου. Η ΑΚΖ που πραγματοποίησαν, έγινε χρησιμοποιώντας δυο μεθόδους: α) την Ελβετική μέθοδο, που εκτιμά τη διαφορά μεταξύ νόμιμων ορίων και περιβαλλοντικών επιπτώσεων (Environmental Impact Points, UBP 06), και β) τη μέθοδο της Ευρωπαϊκής Eco-indicator 99, όπου ποσοτικοποιεί τη ζημιά που γίνεται στην υγεία του ανθρώπου και στο περιβάλλον. Και οι δύο μέθοδοι έδειξαν τα ίδια αποτελέσματα. Στην περίπτωση της τροπικής γεωργίας, η αποψίλωση και καταστροφή των τροπικών δασών δίνει τεράστια ποσά CO_2 στην ατμόσφαιρα, αυξάνει την αέρια μόλυνση και έχει μαζικές επιπτώσεις στη βιοποικιλότητα. Στις εύκρατες περιοχές, εν μέρει η χαμηλή αγροτική παραγωγή και εν μέρει η εντατικοποιημένη λίπανση και μηχανική άροση των εδαφών προκαλούν περιβαλλοντική επιβάρυνση. Ωστόσο, σε αντίθεση με την περίπτωση των ορυκτών καυσίμων, η περιβαλλοντική επιβάρυνση των βιοκαυσίμων μπορεί να περιοριστεί με συγκεκριμένα μέτρα. Στην ανάλυση ευαισθησίας που πραγματοποίησαν, για παράδειγμα, η μείωση της διαφυγής μεθανίου μπορεί να βελτιώσει την ΑΚΖ της παραγωγής του βιοαερίου. Ωστόσο, δεν μπορούν όλα τα βιοκαύσιμα καθαυτού να μειώσουν τις περιβαλλοντικές επιπτώσεις σε σύγκριση με τα ορυκτά καύσιμα. Από όλα τα παραγωγικά στάδια που ερευνήθηκαν είναι η χρήση των βιογενών αποβλήτων και του πράσινου ως και το ξύλο που μπορούν να μειώσουν τις περιβαλλοντικές επιπτώσεις σε σχέση με το πετρέλαιο.

Σε έρευνά τους οι Woods et al. (2008), καταλήγουν ότι υπάρχουν πλεονεκτήματα από τη μείωση των αερίων θερμοκηπίου από συμβατική παραγωγή βιοαιθανόλης και βιοντίζελ (που προέρχεται από σιτάρι και rare), πλεονεκτήματα όμως που εξαρτώνται από την τοποθεσία (κλίμα και τύπος εδάφους) και από πρακτικές διαχείρισης. Ανάλογα είναι τα συμπεράσματα από τους Carlton et al. (2012), όπου βρήκαν ότι η μειωμένη κατεργασία στο χωράφι, είχε μια μείωση της τάξης του 20% σε εκπομπές αερίων θερμοκηπίου σε όλες τις περιπτώσεις παραγωγικών συστημάτων της συμβατικής, οργανικής και ολοκληρωμένης διαχείριση. Υπήρξε σημαντική αύξηση των αερίων θερμοκηπίου που σχετίζονται με την οργανική και ολοκληρωμένη καλλιέργεια σε εθνικό επίπεδο, κυρίως λόγω των απωλειών του οργανικού άνθρακα από την αλλαγή χρήσης γης. Τα αποτελέσματα της έρευνά τους έδειξαν ότι η συμβατική καλλιέργεια συνδυαζόμενη με μειωμένη κατεργασία, όπου ήταν απαραίτητη, δίνει τις υψηλότερες αποδόσεις και επομένως μειώνει τα αέρια θερμοκηπίου. Ωστόσο, σε τοπικό επίπεδο, η ολοκληρωμένη διαχείριση έχει δυνατότητες σημαντικής μείωσης των εκπομπών αυτών.

Τέλος, οι Scacchi et al. (2010), μελέτησαν την ενδεχόμενη ενεργειακή και περιβαλλοντική επίπτωση της παραγόμενης βιοαιθανόλης από το σιτάρι στη Ιταλία. Η επίπτωση στις διάφορες φάσεις της παραγωγικής διαδικασίας (παραγωγή σιταριού, μετατροπή του σε βιοαιθανόλη, παραγωγή βενζίνης και 5 μίγματα αυτής) και της χρήσης της βιοαιθανόλης αναλύθηκε με AKZ και τα αποτελέσματα έδειξαν ότι η αιθανόλη χρησιμοποιούμενη σε μίγματα με βενζίνη μειώνει τη χρήση ενέργειας και τα αέρια θερμοκηπίου. Συγκεκριμένα, η χρήση καθαρής αιθανόλης βρέθηκε να είναι η καλύτερη εναλλακτική λύση έχοντας τη μικρότερη εκπομπή αερίων θερμοκηπίου (32% λιγότερες εκπομπές από βενζίνη) και τη μικρότερη χρήση ενέργειας (63% οικονομία. Οι διαφορές μεταξύ των μειγμάτων χαμηλής αιθανόλης και βενζίνης ήταν ελάχιστες και εξαρτιόταν από συγκεκριμένη κατανάλωση καυσίμου των μηχανών.

Χρήση νέων τεχνολογιών στη μελέτη ενεργειακών φυτών

Περιγραφή γεωργίας ακριβείας

Τα τελευταία 20 και πλέον έτη αναπτύσσεται παγκόσμια η γεωργία ακριβείας (ΓΑ), δηλαδή η ανάπτυξη μεθόδων διαχείρισης των αγρών σε επίπεδο υπό-αγροτεμχίου με βάση τις πραγματικές του ανάγκες. Οι μέθοδοι αυτοί οδήγησαν στην ανάπτυξη αισθητήρων και τεχνικών που μπορούν να βοηθήσουν στην εκτέλεση των πειραμάτων και εξαγωγή χρήσιμων συμπερασμάτων. Με τον όρο γεωργία ακριβείας (Precision Farming or Precision Agriculture or site-specific management) εννοούμε την τεχνική της καλλιέργειας που αντιμετωπίζει διαφορετικά κάθε τμήμα του εδάφους, αναφορικά με τις εισροές, με βάση τη γονιμότητα και την απόδοση κάθε συγκεκριμένου τμήματος του αγρού. Με τον τρόπο αυτό επιτυγχάνεται αύξηση της παραγωγής, βελτίωση της ποιότητας, ορθολογικότερη χρήση λιπασμάτων, φυτοπροστατευτικών σκευασμάτων, αρδευτικού νερού, σπόρων κλπ., περιορισμός της κατανάλωσης της ενέργειας, όπως και προστασία του

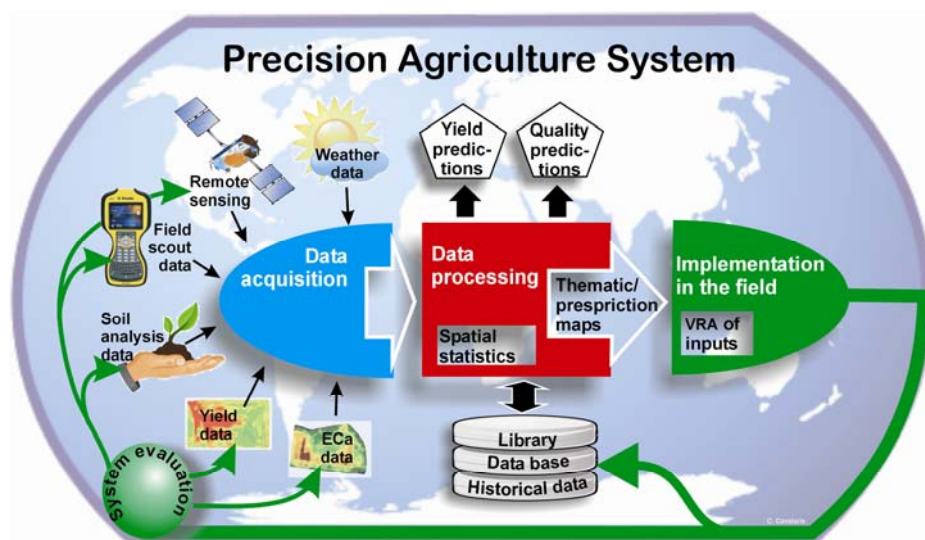
περιβάλλοντος (Blackmore et al., 2006). Η γεωργία ακριβείας έχει χαρακτηριστεί ως μία από τις 10 πιο σημαντικές εξελίξεις στη γεωργία (Crookston, 2006) αν και ξεκίνησε να χρησιμοποιείται από τις αρχές τις δεκαετίας του 1990. Η συμβολή της είναι επίσης πολύ σημαντική στην επιχειρηματικότητα και στην εξεύρεση νέων θέσεων εργασίας, όπου οι Whipker and Akridge (2006) υποστήριξαν μετά από μια σειρά από έρευνες πεδίου στις ΗΠΑ, ότι πάνω από το 30% της ανάπτυξης επιχειρήσεων στη γεωργία (νέων θέσεων εργασίας, πωλήσεις, εξαγωγές, κλπ) στο μέλλον θα προέλθουν από την υιοθέτηση πρακτικών γεωργίας ακριβείας.

Η συμβατική (παραδοσιακή) γεωργία βασίστηκε στο σκεπτικό της ομοιογένειας του αγρού σχετικά με τη γονιμότητα του εδάφους, τον πληθυσμό των εντόμων και ζιζανίων, την εδαφική υγρασία, τα χαρακτηριστικά των φυτών κλπ., και με βάση το σκεπτικό αυτό η εφαρμογή των εισροών ήταν ενιαία σε όλη την έκταση του αγρού (Weiss 1996). Αυτό όμως είναι η εξαίρεση ενώ το σύνηθες είναι η μεγάλη ποικιλομορφία και διαφοροποίηση των εδαφών σπιθαμή προς σπιθαμή, ακόμη και μέσα στον ίδιο αγρό (Gemtos et al, 2003). Η ενιαία εφαρμογή των εισροών, συνεπώς, οδηγούσε άλλοτε σε περίσσια και άλλοτε σε έλλειψη εισροών ανάλογα με την επικρατούσα κατάσταση σε κάθε τμήμα του αγροτεμαχίου και βεβαίως μακράν του αρίστου οικονομικού αποτελέσματος με όλες τις συνέπειες ρύπανσης κλπ.

Η επιτυχία της γεωργίας ακριβείας στηρίζεται στην έγκαιρη και έγκυρη πληροφόρηση του παραγωγού σχετικά με τη γονιμότητα και τις λοιπές ιδιότητες του εδάφους, την πορεία ανάπτυξης και τα χαρακτηριστικά των φυτών, τον πληθυσμό των ζιζανίων και εντόμων, τη συγκομιδή και τη μετασυλλεκτική μεταχείριση των προϊόντων. Στηρίζεται ακόμη στη σύγχρονη τεχνολογία και χρήση του ηλεκτρονικού υπολογιστή με τα σχετικά προγράμματα, στο Γεωγραφικό Σύστημα Πληροφοριών (GIS) και στο Παγκόσμιο Σύστημα Εντοπισμού (GPS), για τη χαρτογράφηση των αγρών. Στηρίζεται, επίσης, στη σωστή διαχείριση που συνδυάζει την πληροφόρηση με την τεχνολογία για την καλύτερη επιτυχία του συστήματος.

Η άποψη της διαφοροποίησης του εδάφους μέσα στο ίδιο αγροτεμάχιο επιβεβαιώνεται τα τελευταία χρόνια από τις αναλύσεις του εδάφους που πραγματοποιούνται σ' οποιονδήποτε συγκεκριμένο αγρό. Η διαπίστωση αυτή κατέστη δυνατόν να αξιοποιηθεί με την ανάπτυξη των ηλεκτρονικών και της πληροφορικής την τελευταία 20ετία (Stafford 2000). Με τη βοήθεια ενός συστήματος αισθητήρων ζύγισης και καταγραφής της απόδοσης των καλλιεργειών την ώρα της συγκομιδής, και τη συνδρομή του Παγκόσμιου Συστήματος Εντοπισμού (Global Positioning System - GPS), είναι δυνατή η χαρτογράφηση ενός αγροτεμαχίου, δηλαδή η σύνταξη χαρτών απόδοσης κατά θέσεις. Οι χάρτες αυτοί στη συνέχεια μπορούν να χρησιμοποιηθούν για διαφοροποιημένες επεμβάσεις (λιπάσματος, ζιζανιοκτόνου, εντομοκτόνου, αρδευτικού ύδατος κλπ.) μέσα στο ίδιο το αγροτεμάχιο, με συνέπεια τη βελτιστοποίηση της απόδοσης και του οικονομικού αποτελέσματος και παράλληλα τον περιορισμό της ρύπανσης του περιβάλλοντος, σύμφωνα και με τις επιταγές της πολιτικής της Ευρωπαϊκής Ένωσης και της παγκόσμιας κοινότητας γενικότερα (Godwin et al, 2003).

Η ΓΑ είναι ένα σύστημα κυκλικής και συνεχούς εφαρμογής όπως φαίνεται στο Σχήμα 5. Η εφαρμογή ξεκινά από τη συγκέντρωση των δεδομένων του αγρού, ακολουθεί η ανάλυση των στοιχείων, γίνονται η εφαρμογές με βάση τη παραλλακτικότητα, τα δεδομένα αξιολογούνται και αποθηκεύονται και η διαδικασία αρχίζει από τη αρχή για το επόμενο έτος.



Σχήμα 5. Γενικευμένο σύστημα Γεωργίας Ακριβείας

Σήμερα, η τεχνολογία έχει φτάσει σε ικανοποιητικό σημείο ώστε να μας προσφέρει τη δυνατότητα μέτρησης ενός μεγάλου πλήθους παραμέτρων. Η έρευνα αυτή τη στιγμή έχει εστιαστεί περισσότερο στο συνδυασμό όλων αυτών των παραμέτρων χωρικά και χρονικά και πως όλα αυτά θα καταλήξουν σε εφαρμόσιμες αποφάσεις, και θα αποφέρουν κέρδος στον παραγωγό πέρα από την προστασία του περιβάλλοντος και των φυσικών πόρων (Fountas et al., 2006).

Είναι προφανές ότι όσο μεγαλύτερη είναι η μεταβλητότητα της παραγωγής και των ιδιοτήτων του εδάφους σε ένα χωράφι, τόσο πιο επιτυχής και επωφελής κρίνεται μια διαχείριση με βάση τους κανόνες της γεωργίας ακριβείας. Αντίθετα, σ' ένα τελείως ομοιόμορφο χωράφι μια τέτοια διαχείριση κρίνεται αναποτελεσματική. Επομένως, βασικό κριτήριο για την εφαρμογή αυτής της ακριβέστερης διαχείρισης είναι η μεταβλητότητα της παραγωγής και ο τρόπος που αυτή κατανέμεται στην έκταση του κάθε χωραφιού σε μια ακολουθία ετών.

Εφαρμογή γεωργίας ακριβείας στην εκτίμηση βιομάζας

Για την εκτίμηση της βιομάζας στις καλλιέργειες ενεργειακών φυτών, μπορούν να χρησιμοποιηθούν συστήματα τηλεπισκόπησης. Τα συστήματα αυτά μπορούν να διαχωριστούν σε συστήματα με αισθητήρες εδάφους, με χρήση αεροσκαφών (με πιλότο ή αυτό-οδηγούμενα – Unmanned Aerial Vehicles), όπως και με ανάλυση δορυφορικών εικόνων (Mulla et al., 2012)

Με τη χρήση ενεργών αισθητήρων για την μέτρηση της ευρωστίας των φυτών, οι Kometski et al. (2012) ανέπτυξαν μια μέθοδο εκτίμησης της καταστροφής καλλιεργειών φυτοκάλυψης για να εκτιμήσουν τα αποτελέσματα εφαρμογής διαφόρων μεθόδων καταστροφής της βλάστησης. Χρησιμοποίησαν ένα ενεργό αισθητήρα φωτός (Green seeker meter) και ένα μετρητή χλωροφύλλης και τα συνέκριναν με παρατηρήσεις στο χωράφι. Οι αισθητήρες έδωσαν πολύ καλά αποτελέσματα εκτίμησης της καταστροφής της καλλιέργειας φυτοκάλυψης. Επίσης οι Μαυρομάτης κ.α. (2012) χρησιμοποίησαν τρεις μεθόδους για τον διαχωρισμό μεταξύ διαφορετικών ποικιλιών δύο καλλιεργειών (φακής και βίκου) στην περιοχή της Λάρισας. Η πρώτη μέθοδος βασίστηκε στην έμμεση εκτίμηση της περιεκτικότητας σε χλωροφύλλη και για το λόγο αυτό χρησιμοποιήθηκε το όργανο SPAD της εταιρείας Minolta Η δεύτερη μέθοδος βασίστηκε στον υπολογισμό του δείκτη βλαστικής επιφάνειας NDVI με χρήση του αισθητήρα Crop-Circle. Κύρια κριτήρια των δύο μεθόδων για τη διάκριση των εξεταζόμενων φυτικών ειδών αλλά και των ποικιλιών του κάθε είδους, ήταν α) ο ρυθμός ανάπτυξης βάση των δεικτών φυλλικής επιφάνειας και βιομάζας, β) το περιεχόμενο σε χλωροφύλλη από το στάδιο της ανθήσεως των φυτών έως σχεδόν την ωρίμανση, και γ) η συσχέτιση των δεδομένων με μορφολογικά και αγρονομικά χαρακτηριστικά όπως και με τα συστατικά της απόδοσης. Η τρίτη βασίστηκε στις διαφορές των φασματικών υπογραφών των ειδών και των ποικιλιών. Οι φασματικές υπογραφές μετρήθηκαν με χρήση του φασματοραδιόμετρου GER 1500 που καταγράφει τιμές ανακλαστικότητας σε 512 περιοχές του ορατού και του εγγύς υπέρυθρου τμήματος του φάσματος ηλεκτρομαγνητικής ακτινοβολίας (350 - 1050 nm), ενώ οι διαφορές τους ενισχύθηκαν κατόπιν ειδικών προ-επεξεργασιών. Από τις τρεις αυτές μεθόδους που χρησιμοποιήθηκαν η πρώτη δεν έδωσε ικανοποιητικά αποτελέσματα ως προς το διαχωρισμό των ποικιλιών, λόγω της μεγάλης μεταβλητότητας των τιμών όχι μόνο εντός του ίδιου πειραματικού τεμαχίου, αλλά και του ίδιου του φυτού. Η μέθοδος που βασίζεται στο δείκτη βλάστησης NDVI έδωσε πολύ καλά αποτελέσματα ως προς το διαχωρισμό των ποικιλιών του κάθε φυτικού είδους, όταν οι καλλιέργειες βρίσκονται σε προχωρημένα στάδια ανάπτυξης. Τέλος η μέθοδος των φασματικών υπογραφών έδωσε ικανοποιητικά αποτελέσματα διαχωρίζοντας όχι μόνο τις ποικιλίες της κάθε καλλιέργειας αλλά και τα 2 φυτικά είδη μεταξύ τους, ύστερα από την εφαρμογή των ενδεικνυόμενων προ-επεξεργασιών.



Σχήμα 6. Όργανο μέτρησης φυλλικής επιφάνειας Crop Circle.

Συστήματα ελεγχόμενης κυκλοφορίας γεωργικών μηχανημάτων Controlled traffic agriculture

Σε πολλές περιπτώσεις η χρήση τεχνικών της γεωργίας ακριβείας μπορεί να επιτρέψει την εκτέλεση πειραμάτων σε επίπεδο αγρού με μεγάλη ακριβεία, ειδικά στον χειρισμό των γεωργικών μηχανημάτων. Δύο από αυτά τα παραδείγματα είναι τα συστήματα ελεγχόμενης κυκλοφορίας και αυτόματου ελέγχου των γεωργικών μηχανημάτων, με τη χρήση GPS ακριβείας.

Για τη μείωση των προβλημάτων της συμπίεσης έχει προταθεί ο έλεγχος της κυκλοφορίας των μηχανημάτων στο χωράφι. Αυτό μπορεί να επιτευχθεί με διάφορους τρόπους. Ένας είναι η εκτέλεση εργασιών με ένα πέρασμα του γεωργικού ελκυστήρα. Η σύνδεση διαδοχικών μηχανημάτων πχ κατεργασίας του εδάφους και σποράς με ένα πέρασμα εξασφαλίζει τη συμπίεση μόνο ενός ποσοστού του εδάφους που είναι περίπου 30%. Αυτό μπορεί να γίνει στα συστήματα μειωμένης κατεργασίας ή μηδέν κατεργασίας. Αντίθετα η συμβατική κατεργασία με διαδοχικά περάσματα των ελκυστήρων με τα παρελκόμενα ουσιαστικά συμπιέζει το μεγαλύτερο μέρος του εδάφους. Δεδομένου δε ότι το πρώτο πέρασμα κάνει το 85% της συμπίεσης αυτό εξασφαλίζει μια συνολική συμπίεση του εδάφους. Μια δεύτερη ιδέα είναι ο πλήρης έλεγχος της κυκλοφορίας των μηχανημάτων. Αυτό μπορεί να επιτευχθεί είτε με συστήματα ελκυστήρων με μεγάλο εύρος τροχών (Gantry) της τάξεως των 6-12 μέτρων. Μεταξύ των τροχών του ελκυστήρα δημιουργείται ένας εργαλειοφορέας όπου αναρτώνται τα παρελκόμενα μηχανήματα για τις διάφορες εργασίες ενώ οι τροχοί του ελκυστήρα κινούνται σε καθορισμένους διαδρόμους ανά αποστάσεις ίσες με το πλάτος των τροχών. Εφαρμογές τέτοιων συστημάτων στις ΗΠΑ και Βρετανία απέδειξαν ότι η μειωμένη συμπίεση περιορίζει την ενέργεια για κατεργασία του εδάφους κατά 30% (Champan et al.1994) ενώ δίνει καλύτερη ανάπτυξη των φυτών και αποδόσεις. Η διαδοχική κίνηση των ελκυστήρων στους ίδιους διαδρόμους τους συμπιέζει και κάνει ευκολότερη την κίνηση ακόμα και σε υγρές συνθήκες. Μια άλλη ιδέα είναι η δημιουργία στο χωράφι διαδρομών ελεγχόμενης κυκλοφορίας με το όνομα στα Αγγλικά tramline. Στις καλλιέργειες χειμερινών σιτηρών παίρνει τη μορφή σειρών που δεν σπέρνονται για να ξεχωρίζουν οι διαδρομές. Αυτό κάνουν οι σπαρτικές οι οποίες κάθε ορισμένες διαδρομές (ουσιαστικά κάθε ορισμένα ανεβοκατεβάσματα της μηχανής ή των εργαλείων διάνοιξης της αυλακίας) ανάλογα με το πλάτος των παρελκομένων κλίνουν δύο μετρητικούς μηχανισμούς στο πλάτος των τροχών του ελκυστήρα. Αν το πλάτος των παρελκομένων (λιπασματοδιανομέα, ψεκαστικού) είναι 12 μέτρα και η σπαρτική τρία τότε κάθε τέσσερις διαδρομές αφήνονται οι δύο άσπαρτες σειρές οι οποίες απέχουν μεταξύ τους 12 μέτρα. Επομένως κατά τη λίπανση ή τον ψεκασμό οι ελκυστήρες κινούνται πάνω στις γραμμές σε ένα σταθερότερο έδαφος και η συμπίεση περιορίζεται μόνο εκεί. Αυτό εξασφαλίζει και την ακριβή κίνηση των μηχανημάτων και αποφεύγονται αλληλοεπικαλύψεις ή κενά. Μια προσπάθεια διάδοσης της ιδέας στην Ευρώπη γίνεται με την εταιρεία Controlled Traffic Farming (2011) που προωθεί την ιδέα που πλέον συνδυάζεται με τα συστήματα ελέγχου πλοήγησης που αναφερόμαστε πιο κάτω. Η εταιρεία Controlled Traffic Farming κατέληξε ότι το καλύτερο εύρος τροχών ελκυστήρα είναι

τα 3 μέτρα και όλα τα άλλα μηχανήματα να έχουν πλάτος εργασίας πολλαπλάσιο του 3.

Τα συστήματα αυτά στοχεύουν στην εγκατάσταση στους αγρούς μονίμων ζωνών κυκλοφορίας των μηχανημάτων ώστε να γίνεται με ακρίβεια η εκτέλεση των εργασιών ενώ ελέγχεται και η συμπίεση του εδάφους που περιορίζεται στις ζώνες κυκλοφορίας των μηχανημάτων. Η διατήρηση των ιδίων ζωνών από χρόνο σε χρόνο με τη βοήθεια των συστημάτων πλοήγησης εξασφαλίζει την αποφυγή συμπίεσης των χωραφιών με σημαντικά πλεονεκτήματα.

Είναι προφανές ότι η κυκλοφορία στα χωράφια ελκυστήρων και άλλων μηχανημάτων με διαφορετικά πλάτη εργασίας κάνει δύσκολη την εφαρμογή ενός τέτοιου συστήματος. Η βασική ιδέα είναι να αποκτήσουν όλα τα μηχανήματα πλάτος εργασίας πολλαπλάσιο ενός βασικού μεγέθους. Το βασικό μέγεθος που φαίνεται να ταιριάζει είναι τα 3 μέτρα. Από εκεί και πέρα όλα τα μηχανήματα πρέπει να έχουν πλάτος τροχών πολλαπλάσιο του τρία. Οι περισσότεροι ελκυστήρες έχουν πλάτη τροχών δύο μέτρα ή λιγότερο. Η δημιουργία εύρους τροχών 3 μέτρων μπορεί να γίνει με ειδικές προσθήκες τμημάτων στα ακραξόνια των τροχών (Σχήμα 14). Ο ελκυστήρας παίρνει τη μορφή των Σχημάτων 7, 9 και κινείται στο χωράφι κάνοντας τις διάφορες εργασίες όπως φαίνεται στο Σχήμα 8.



Σχήμα 7. Προσθήκη εξαρτημάτων για αύξηση του εύρους των τροχών γεωργικού ελκυστήρα.



Σχήμα 8. Γραμμές κίνησης του ελκυστήρα κατά τον ψεκασμό

Τα συστήματα ελεγχόμενης κυκλοφορίας των μηχανημάτων έχουν αρχίσει να διαδίδονται και τους αποδίδεται μια σειρά πλεονεκτήματα όπως:

1. Ο περιορισμός της κατανάλωσης ενέργειας για την κατεργασία του εδάφους. Ο Chamen et al. (1994) εκτίμησαν ότι η χρήση συστήματος ελεγχόμενης κυκλοφορίας περιορίσει την κατανάλωση ενέργειας κατά 70%. Οι Fountas et al. εκτίμησαν ότι το 90% της καταναλισκόμενης ενέργειας για την κατεργασία καταναλώνεται για να αποτραπούν τα αποτελέσματα της συμπίεσης της προηγούμενης καλλιεργητικής περιόδου.
2. Οι ελκυστήρες δεν χρειάζεται να έχουν λάστιχα μεγάλου πλάτους που κοστίζουν περισσότερο.
3. Οι ελκυστήρες μπορεί να είναι μικρότερης ισχύος και ελαφρύτεροι καθώς δεν έχουν να αντιμετωπίσουν την ισχύ που απαιτείται για τη κατεργασία εδάφους όπως το όργωμα. Επομένως χαμηλότερο κόστος εξοπλισμού
4. Το έδαφος είναι λιγότερο συμπιεσμένο, έχει καλύτερη δομή και οι καλλιέργειες αναπτύσσονται καλύτερα. Οι δείκτες υγείας όπως οι πληθυσμοί των σκουληκιών είναι σαφώς ανεβασμένοι.
5. Η διήθηση του νερού είναι καλύτερη και επομένως υπάρχει μεγαλύτερη ποσότητα διαθέσιμου νερού ενώ περιορίζεται η απορροή και η διάβρωση.
6. Μεγαλύτερη και πιο ομοιόμορφη παραγωγή
7. Μεγαλύτερη εγκαίριότητα επεμβάσεων καθώς η κίνηση στους σταθερούς διαδρόμους είναι ευκολότερη ακόμα και με σχετικά υγρές συνθήκες.
8. Η ελεγχόμενη κυκλοφορία συνδυάζεται πολύ καλά με συστήματα μειωμένης κατεργασίας ή μηδέν κατεργασίας. Ο συνδυασμός δίνει καλά αποτελέσματα καθώς δεν υπάρχει το πρόβλημα της συμπίεσης του εδάφους που παρατηρείται με αβαθή ή καθόλου κατεργασία.



Σχήμα 9. Ελκυστήρας με εύρος τροχών 3 μέτρα.

Όλα τα πλεονεκτήματα που αναφέρθηκαν κάνουν τα συστήματα ελεγχόμενης κυκλοφορίας ιδιαίτερα ελκυστικά για τη γεωργία υψηλών αποδόσεων. Στη βιβλιογραφία αναφέρονται και άλλα σημαντικά πλεονεκτήματα όπως η διευκόλυνση της συγκομιδής της πατάτας η οποία συλλέγεται με λιγότερες ξένες ύλες, καλύτερες αποδόσεις σε καλλιέργειες λαχανικών κλπ.



Σχήμα 10. Ελκυστήρας με μεγάλο άνοιγμα τροχών (Gantry)

Συστήματα πλοήγησης του ελκυστήρα στο χωράφι

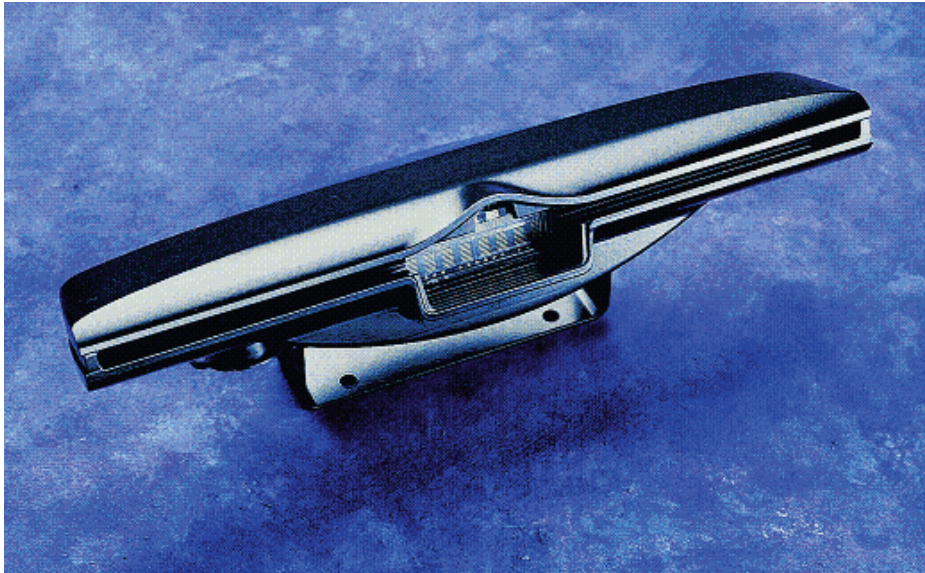
Ένα από τα προβλήματα που αντιμετωπίζουμε πολλές φορές στη γεωργική πρακτική είναι η κίνηση του ελκυστήρα σε ευθείες γραμμές και σε σταθερές αποστάσεις. Αν για παράδειγμα αποφασίσουμε να κάνουμε διαδρομές ανά 12 ή 18

μέτρα πρέπει αυτό να το πετύχουμε με ακρίβεια για να εξασφαλίσουμε την επιθυμητή εφαρμογή του λιπάσματος ή του ψεκαστικού υγρού. Αυτό εμπειρικά είναι πολύ δύσκολο να επιτευχθεί. Πολλοί αγρότες που το κάνουν βλέπουν αργότερα το αποτέλεσμα της ανομοιόμορφης διανομής στο χωράφι από το διαφορετικό χρωματισμό όταν εφαρμόζουν αζωτούχα λιπάσματα. Είναι ακόμα πιο χαρακτηριστικό να βλέπουμε σειρές με κίτρινες γρούβες (Sinapis) σε χωράφια μασιτηρά που ψεκάστηκαν χωρίς ακρίβεια. Και σε άλλες χρονιές φυτά να καταστρέφονται σε σειρές που ψεκάστηκαν δύο φορές με δραστικά ζιζανιοκτόνα όπως η ατραζίνη. Παλαιότερα οι επιμελείς γεωργοί χάραζαν το χωράφι και το σημάδευαν με καλάμια ή άλλα σημάδια για να τους καθοδηγούν και να αποφεύγουν λάθη στην εφαρμογή. Σε μηχανήματα μικρού πλάτους όπως οι σπαρτικές πρόσθεσαν τους γραμμοχαρακτες για να εξασφαλίζουν ορθή πλοήγηση. Αργότερα, ιδιαίτερα στα ψεκαστικά προστέθηκαν στο άκρο του ιστού δοχεία τα οποία άφηναν μια γραμμή με αφρό για να καθοδηγείται ο χειριστής. Επίλυση του προβλήματος προτάθηκε να γίνει με την εφαρμογή των tramline που εξασφάλιζε ακρίβεια στις επόμενες από τη σπορά εφαρμογές (επιφανειακή λίπανση, ψεκασμοί). Τα τελευταία έτη έχει γίνει μια επανάσταση στα συστήματα πλοήγησης με τη χρήση του συστήματος προσδιορισμού της θέσης στη Γη με σήματα από δορυφόρους.

Η νέα τεχνολογία με GPS (Global Positioning System- σύστημα προσδιορισμού θέσης στη Γη) έγινε εμπορικά διαθέσιμη στις αρχές της δεκαετίας του 1990. Η ελεύθερη χρήση του ιδιαίτερα μετά την κατάργηση του θορύβου (selected availability) που περιοριζε τη ακρίβεια δόθηκε η δυνατότητα να αναπτυχθούν εφαρμογές που βοηθούν τους αγρότες να κατευθύνουν τα μηχανήματά τους στο χωράφι. Τα συστήματα αυτά αναφέρονται ως συστήματα υποβοήθησης πλοήγησης (auto guidance) και συστήματα αυτόματης πλοήγησης (auto steering).

Τα GPS έχουν διάφορες ακρίβειες ανάλογα με το τύπο τους, Τα κοινά έχουν ακρίβεια 1 μέτρου, τα διαφορικά που δέχονται διορθώσεις (DGPS- Differential GPS) 0.30 μέτρα και τα RTK –GPS (Real Time Kinematic) έχουν ακρίβεια έως και 2 εκατοστά.

Τα συστήματα πλοήγησης είναι δύο κατηγοριών. Αυτά που βοηθούν το χειριστή να ακολουθήσει μια πορεία στο χωράφι. Το σύστημα αποτελείται από το δέκτη του GPS ένα μικροεπεξεργαστή που διαθέτει αλγορίθμους για την ανάλυση των σημάτων και των προγραμματισμό των διαδρομών του ελκυστήρα και μια μονάδα που δείχνει την πορεία του ελκυστήρα και δέχεται εντολές προγραμματισμού. Αρχικά είχε τη μορφή του Σχήματος 11. Νεώτερα συστήματα έχουν τη μορφή του Σχήματος 12 όπου ο χειριστής παρακολουθεί την πορεία στη μικρή οθόνη. Ο χειριστής διατηρεί τον έλεγχο του μηχανήματος.



Σχήμα 11. Μονάδα που καθοδηγεί τον χειριστή με μικρές λυχνίες που γίνονται πράσινες όταν είναι στη σωστή πορεία και κοκκινίζουν μόλις αποκλίνει.



Σχήμα 12. Νεώτερα συστήματα παρακολούθησης της πορείας και υποβοήθησης του χειριστή.

Υπάρχουν δύο τρόποι λειτουργίας του συστήματος. Ο χειριστής ξεκινά και ακολουθεί την πρώτη γραμμή στο χωράφι. Από εκεί και πέρα κανονίζει το όργανο η επόμενη γραμμή να είναι παράλληλη με την προηγούμενη και να απέχει μια προγραμματιζόμενη απόσταση. Ο τρόπος αυτό ακολουθείται από τους χειριστές με

τα συμβατικά μέσα. Το μειονέκτημα του είναι η συσσώρευση των σφαλμάτων οδήγησης καθώς κάθε διαδρομή ακολουθεί και τα σφάλματα της προηγούμενης. Στο δεύτερο τρόπο ο χειριστής δημιουργεί και πάλι τη πρώτη γραμμή στο χωράφι. Το όργανο ρυθμίζει τις επόμενες διαδρομές σε ρυθμιζόμενα πολλαπλάσια της απόστασης μεταξύ των διαδρομών που επιθυμούμε. Αυτό εξασφαλίζει μια συνεχή λειτουργία σε σχέση με την πρώτη γραμμή χωρίς να λαμβάνονται υπόψη τα σφάλματα των ενδιάμεσων διαδρομών. Αυτό διευκολύνει σημαντικά το χειρισμό και την ακρίβεια εφαρμογής του λιπάσματος ή όποιας άλλης εργασίας. Είναι προφανές ότι όσο ακριβέστερο είναι το GPS τόσο ακριβέστερα επιτυγχάνεται η επιθυμητή διαδρομή.

Τα συστήματα αυτά έχουν δύο μεγάλα πλεονεκτήματα. Ότι μπορούν να λειτουργήσουν και το βράδυ και ότι μπορούν να κινηθούν στις ίδιες γραμμές και την επόμενη χρονιά που ,μπορεί να οδηγήσει στην δημιουργία περιοχών ελεγχόμενης κυκλοφορίας για διαδοχικά χρόνια.

Εξέλιξη του συστήματος είναι το auto steering. Και εδώ έχουν αναπτυχθεί δύο συστήματα. Στο ένα τα σύστημα επιδρά άμεσα στο σύστημα διεύθυνσης του γεωργικού ελκυστήρα και το κατευθύνει. Αποτελείται και πάλι από το δέκτη GPS, τον μικροεπεξεργαστή και την κονσόλα από όπου προγραμματίζεται το σύστημα και έχει την οθόνη με τις ενδείξεις. Επί πλέον έχει μια σειρά από εξαρτήματα που συνδυάζονται με το υδραυλικό σύστημα κατεύθυνσης του ελκυστήρα και αναλαμβάνει να κάνει τις κινήσεις για την ορθή πλοήγηση του μηχανήματος. Ο χειριστής έχει τη δυνατότητα ανά πάσα στιγμή να απενεργοποιήσει το σύστημα και να αναλάβει το έλεγχο, κάτι που γίνεται συστηματικά στις στροφές στα άκρα του χωραφιού (κεφαλάρια). Ένα απλούστερο σύστημα (Σχήμα 13) έχει ένα μικρό ελαστικό τροχό που προσκολλάται στο τιμόνι του ελκυστήρα και κατευθύνει τον ελκυστήρα στην επιθυμητή γραμμή πλοήγησης. Με μια απλή κίνηση του χειριστή αποσυνδέεται ο τροχός και ο χειριστής αναλαμβάνει πάλι πλήρη έλεγχο του μηχανήματος.



Σχήμα 13. Τροχός που προσκολλάται στο τιμόνι και οδηγεί το ελκυστήρα.

Τα συστήματα αυτά έχουν τα ίδια πλεονεκτήματα με τα προηγούμενα και επί πλέον κάνουν ευκολότερο το χειρισμό του μηχανήματος ενώ επιτρέπουν στο χειριστή να ασχοληθεί περισσότερο με το έλεγχο των περελκομένων.

Τα συστήματα αυτά πραγματοποιούν πολύ καλές πωλήσεις σε όλο τον κόσμο (είναι best sellers) και διευκολύνουν σημαντικά την εργασία στο χωράφι και μπορούν να συμβάλλουν στην ανάπτυξη συστημάτων ελεγχόμενης κυκλοφορίας. Το μεγάλο τους πλεονέκτημα είναι η ακρίβεια εκτέλεσης των εργασιών που συμβάλει στην εξοικονόμηση χημικών και άλλων εισροών που επιτρέπουν τη απόσβεση του κόστους προμήθειας.

Πειράματα σε λωρίδες (Strip experiments)

Βιβλιογραφία

- Abbott, M.B., J.C. Bathurst, J.A. Cunge, P.E. O'Connell, Rasmussen, J., 1982. An introduction the European Hydrological System – Systeme Hydrologique Europeen "SHE" 2: Structure of a physically-based, distributed modelling system, *Journal of Hydrology*, 87, (1-2), 61-77, 1986b. American Society of Civil Engineers, Chapter V. Sediment sources and sediment yield, *J. Hydr. Div. ASCE* 96 (HY6), 1283-1330.
- Abbott, M.B., J.C. Bathurst, J.A. Cunge, P.E. O'Connell, Rasmussen, J., 1986. An introduction the European Hydrological System – Systeme Hydrologique Europeen "SHE" 1: History and philosophy of a physically-based, distributed modelling system, *Journal of Hydrology*, 87, (1-2), 45-59.
- Abid, M., Lal, R. 2008. Tillage and drainage impact on soil quality I. Aggregate stability, carbon and nitrogen pools. *Soil & Tillage Research* 100 (2008) 89–98
- Abreu S.L., Godsey C.B., Edwards J.T., Warren J.G. 2011. Assessing carbon and nitrogen stocks of no-till systems in Oklahoma. *Soil & Tillage Research* 117, 28–33.
- Ademe, 2007. Bilan Carbone, Calcul des facteurs d'émissions et sources bibliographiques utilisées, Version 5.0. Ademe - MIES, Paris.
- Ahlroth, S., Nilsson, M., Finnveden, G., Hjelm, O., Hochschorner, E., 2011. Weighting and valuation in selected environmental systems analysis tools e suggestions for further developments. *Journal of Cleaner Production* 19, 145-156.
- Agbede T.M., S.O. Ojaniyi. 2009. Tillage and poultry manure effects on soil fertility and sorghum yield in southwestern Nigeria. *Soil & Tillage Research* 104 (2009) 74–81

- Alakukku, L., 1996. Persistence of soil compaction due to high axle load traffic. I. Short-term effects on the properties of clay and organic soils. *Soil and Tillage Research* 37, pp 211-222.
- Almaraz J.J., Xiaomin Zhou, Fazli Mabood, Chandra Madramootoo, Philippe Rochette, Bao-Luo Ma, Donald L. Smith., 2009. Greenhouse gas fluxes associated with soybean production under two tillage systems in southwestern Quebec. *Soil & Tillage Research* 104 (2009) 134–139.
- Alvarez R., H.S. Steinbach., 2009. A review of the effects of tillage systems on some soil physical properties, water content, nitrate availability and crops yield in the Argentine Pampas. *Soil & Tillage Research* 104 (2009) 1–15
- Amemiya M., 1997. Conservation tillage in the western Corn Belt. *Journal of soil and water conservation*. Vol 32.. pp 29-36.
- Arshad, M.A. Franzluebbers, A.J. and Azooz, R.H. 1999. Components of surface soil structure under conventional and no-tillage in northwestern Canada, *Soil and Tillage Research*, Volume 53, Issue 1, Pages 41-47
- Arvidsson, J. and Hakansson, I., 1996. Do effects of soil compaction persist after ploughing? Results from 21 long-term experiments in Sweden. *Soil and Tillage Research*. 39. pp. 175-197.
- ASAE, 2002. Standard EP 291.2. Terminology and definitions for soil tillage and soil tool relationships. American Society of Agricultural Engineers. St. Joseph Michigan.
- ASABE, 2010. Standard S313.3 and EP542 ASABE, St Joseph, Michigan, USA
Controlled Traffic Farming,
<http://www.controlledtrafficfarming.com/content/default.aspx>
- Aulakh M.S., Manchanda J.S., Garg A.K., Kumar a S., Dercon G., Nguyen M.L. 2012. Crop production and nutrient use efficiency of conservation agriculture for soybean–wheat rotation in the Indo-Gangetic Plains of Northwestern India. *Soil & Tillage Research* 120, 50–60
- Avraamides, M. and D. Fatta, 2008. Resource consumption and emissions from olive oil production: a life cycle inventory case study in Cyprus. *Journal of Cleaner Production* 16, 809-821.
- Ball B.C., I. Crichton, G.W. Horgan. 2008. Dynamics of upward and downward N₂O and CO₂ fluxes in ploughed or no-tilled soils in relation to water-filled pore space, compaction and crop presence. *Soil & Tillage Research* 101 (2008) 20–30
- Basic, F. Kisic, I. Butorac, A. Nestroy, O. and Mesic, M. 2001. Runoff and soil loss under different tillage methods on Stagnic Luvisols in central Croatia, *Soil and Tillage Research*, Volume 62, Issues 3-4, Pages 145-151
- Basso B., Sartori L., Bertocod M., Cammaranoc D. and Martine E.C., and P.R. Grace. 2011. Economic and environmental evaluation of site-specific tillage in a maize crop in NE Italy. *Europ. J. Agronomy* 35, 83–92
- Baumann, H. and A. M., Tillman, 2004. *The hitch hiker’s guide to LCA*. Studentlitteratur, Lund, Sweden.
- Benoist, A., Dron, A., Zoughaib, A., 2008. A relevant LCA methodology adapted to biomass-based products. 8th European IFSA Symposium, Clermont-Ferrand.
- Benoît, C., Norris, G.A., Valdivia, S., Citroth, A., Moberg, A., Bos, U., Prakash, S., Ugaya, C., Beck, T., 2010. The guidelines for social life cycle assessment of products: just in time. *The International Journal of LCA* 15, 156-163.

- Bessou, C., Ferchaud, F., Gabrielle, B., Bruno Mary, B., 2011. Biofuels, greenhouse gases and climate change. A review. *Agron. Sustain. Dev.* 31, 1-79.
- Bilalis, D., Efdimiadis, P. and Sidiras, N. 2001. Effect of three tillage systems on weed flora in a 3-year rotation with four crops. *Journal of Agronomy and Crop Science*, 186, 135-141
- Blackmore, S., Griepentrog, H.W., Pedersen, S.M., Fountas, S., 2006. Precision Farming in Europe. In "Handbook of Precision Agriculture: Principles and Applications". The Haworth Press, Inc., USA, 567-614.
- Blackmore B.S., 2007. Agricultural robot desing. Available at www.unirobots.com/Agricultural_Robots_Desing.htm
- Blackmore, S., Griepentrog, H. W., Fountas, S., Gemtos, T., 2007. Specifications for an autonomous crop mechanization system. *Agricultural Engineering International: the CIGR Ejournal*. Manuscript PM 06 032. Vol. IX. September, 2007.
- Blanco-Moure N., Moret-Fernández D. and M. Victoria López. 2012. Dynamics of aggregate destabilization by water in soils under long-term conservation tillage in semiarid Spain. *Catena* 99, 34–41.
- Blaise, D. and Ravindran, C.D. 2003. Influence of tillage and residue management on growth and yield of cotton grown on a vertisol over 5 years on a semi-arid region of India. *Soil and tillage research*, 70 pp 163-173.
- Blengini, G.A., and Busto, M., 2009. The life cycle of rice: LCA of alternative agri-food chain management systems in Vercelli (Italy). *Journal of Environmental Management* 90, 1512–1522.
- Botta G.F., A. Tolon Becerra, F. Bellora Melcon. 2009. Seedbed compaction produced by traffic on four tillage regimes in the rolling Pampas of Argentina. *Soil & Tillage Research* 105 (2009) 128–134
- Boström, U., 1999. Type and time of autumn tillage with and without herbicides at reduced rates in southern Sweden; 1. Yields and weed quantity, *Soil and Tillage Research*, Volume 50, Issues 3-4, Pages 271-281
- BP, 2012a. BP Energy Outlook 2030 London, January 2012 http://www.bp.com/liveassets/bp_internet/globalbp/STAGING/global_assets/downloads/O/2012_2030_energy_outlook_booklet.pdf
- BP, 2012b. Statistical review of world energy June 2012 http://www.bp.com/assets/bp_internet/globalbp/globalbp_uk_english/reports_and_publications/statistical_energy_review_2011/STAGING/local_assets/pdf/statistical_review_of_world_energy_full_report_2012.pdf
- Brandsater L.O., Kjersti Bakken A., Mangerud K., Riley H., Eltund R., Fykse H. 2011. Effects of tractor weight, wheel placement and depth of ploughing on the infestation of perennial weeds in organically farmed cereals. *Europ. J. Agronomy* 34, 239–246
- Brazier R., J. Rowan, S. Anthony and P. Quinn, 2001. "MIRSED" towards an MIR approach to modelling hillslope soil erosion at the national level. *Catena* 42: 59-79.
- Brentrup, F, J. Küsters, J., Lammela, J., Barraclough, P., Kuhlmann, H., 2004. Environmental impact assessment of agricultural production systems using the life cycle assessment (LCA) methodology II. The application to N fertilizer use in winter wheat production systems. *Europ. J. Agronomy* 20, 265–279.

- Brevault T., S. Bikay, J.M. Maldas, K. Naudin. 2007. Impact of a no-till with mulch soil management strategy on soil macrofauna communities in a cotton cropping system. *Soil & Tillage Research* 97 (2007) 140–149
- Brown, B.A., Hayes, R.M., Tyler, D.D. and Mueller, T.C. 1994. Effect of tillage and cover crop on fluometuron absorption and degradation under controlled conditions. *Weed Science*, 42. pp. 629-634.
- Brown, S.M., Chandler, J.M. and Morrison, J.E. (1987). Weed Control in a conservation tillage rotation in the Texas blacklands. *Weed Science*, 35. pp 695-699.
- Burmester, C.H., Patterson, M.G., Reeves, D.W. 1997. Effect of tillage herbicide program and row spacing on cotton growth and yield in two conservation tillage systems. *Proceedings of the 1997 Beltwide Cotton Conferences. Memphis 1997*, pp 626-628.
- Buschiazzo, D.E., Panigatti, J.L. and Unger, P.W. (1998). Tillage effects on soil properties and crop production in the subhumid and semiarid Argentinean Pampas, *Soil and Tillage Research*, Volume 49, Issues 1-2, 17 Pages 105-116.
- Campiglia E., Mancinelli R., Radicetti E. 2011. Influence of no-tillage and organic mulching on tomato (*Solanum Lycopersicum* L.) production and nitrogen use in the Mediterranean environment of central Italy. *Scientia Horticulturae* 130, 588–598
- Cantero-Martinez, C., O'Leary, G.J. and Connor, D.J. (1995). Stubble retention and nitrogen fertilisation in a fallow-wheat rainfed cropping system. 1. Soil water and nitrogen conservation, crop growth and yield, *Soil and Tillage Research*, Volume 34, Issue 2, Pages 79-94
- Carlton, R.R, West, J.S, Smith, P., Bruce D. L. Fitt, B.D.L., 2012. A comparison of GHG emissions from UK field crop production under selected arable systems with reference to disease control. *Eur J Plant Pathol* 133, 333–351.
- Carter, M.R., Sanderson, J.B., Ivany, J.A. and White, R.P. (2002). Influence of rotation and tillage on forage maize productivity, weed species, and soil quality of a fine sandy loam in the cool-humid climate of Atlantic Canada. *Soil and Tillage Research*. 67 pp 85-98.
- Castellanos-Navarrete A., Rodriguez-Aragone C., de Goede R.G.M., Kooistra M.J., Sayre K.D., Brussaard L. and M.M. Pulleman. 2012. Earthworm activity and soil structural changes under conservation agriculture in central Mexico. *Soil & Tillage Research* 123, 61–70.
- Castellini M and D. Ventrella (2012). Impact of conventional and minimum tillage on soil hydraulic conductivity in typical cropping system in Southern Italy. *Soil & Tillage Research* 124, 47–56.
- Cavaliere K.M.V, Alvaro Pires da Silva, Cassio Antonio Tormena, Tairone Paiva Leao, Anthony R. Dexter, Inge Hakansson. 2009. Long-term effects of no-tillage on dynamic soil physical properties in a Rhodic Ferrasol in Parana' Brazil. *Soil & Tillage Research* 103 (2009) 158–164
- Cerdan, O. ,G. Govers, Y. Le Bissonnais, K. Van Oost, J. Poesen, N. Saby, A. Gobin, A. Vacca, J. Quinton, K. Auerswald, A. Klik, F.J.P.M. Kwaad, D. Raclot, I. Ionita, J. Rejman, S. Rousseva, T. Muxart, M.J. Roxo, T. Dostal, 2010. Rates and spatial variations of soil erosion in Europe: A study based on erosion plot data, *Geomorphology* 122:167–177.

- Chamen, W. C. T., Dowler, D., Leede, P.R., Longstaff, D. J., 1994. Design, operation and performance of a gantry system: Experience in arable cropping. *Journal of Agricultural Engineering Research* 59: 145-60.
- Chamen W.C.T., Longstaff, D.J., 1995. Traffic and Tillage effects on soil conditions and crop growth on a swelling clay soil. *Soil Use and Management* (11) 168-176
- Chan, K.Y. (2001). An overview of some tillage impacts on earthworm population abundance and diversity - implications for functioning in soils, *Soil and Tillage Research*, Volume 57, Issue 4, Pages 179-191.
- Chan, K.Y., Heenan, D.P. and Oates A. (2002). Soil carbon fractions and relationship to soil quality under different tillage and stubble management, *Soil and Tillage Research*, Volume 63, Issues 3-4, 133-139.
- Chancellor W. J. (1977). Compaction of soil by agricultural equipment. University of California. Division of Agricultural sciences. Bulletin 1881.
- Charles, R., Jolliet, O., Gaillard, G., D. Pellet, D., 2006. Environmental analysis of intensity level in wheat crop production using life cycle assessment. *Agriculture, Ecosystems and Environment* 113, 216–225.
- Chen Y., Liu S., Li a H., Li X.F., Song C.Y., Cruse R.M., Zhang X.Y. 2011. Effects of conservation tillage on corn and soybean yield in the humid continental climate region of Northeast China. *Soil & Tillage Research* 115–116, 56–61
- Cherubini, F., 2010. GHG balances of bioenergy systems – Overview of key steps in the production chain and methodological concerns. *Renewable Energy* 35, 1565–1573.
- Chisci, G. and C. Zanchi, The influence of different tillage systems and different crops on soil losses on hilly silty-clayey soil, in: Morgan, R.P.C., (ed) *Soil conservation: Problems and prospects*, pp. 211-217, Wiley, Chichester, 1981.
- Christensen, S. and Perdigao, V. 2000. "The LACOST Atlas: Land Cover changes in European Coastal Zones". European Commission - Joint Research Centre- Space Applications Institute
- Chivenge P.P., H.K. Murwira, K.E. Giller, P. Mapfumo, J. Six. 2007. Long-term impact of reduced tillage and residue management on soil carbon stabilization: Implications for conservation agriculture on contrasting soils. *Soil & Tillage Research* 94 (2007) 328–337
- CGIR (2012). Achieving food security in the face of climate change. Final report from the Commission on Sustainable Agriculture and Climate Change
- Cochran, V.L., Elliot, L.F. and Papendick, R.I. (1977). The production of phytotoxins from surface crop residue. *Soil Science Society American Journal*, 41. p 903-908
- CRES (2006). Energy crops Guide. Found in http://www.cres.gr/kape/pdf/download/energy_crops_2006_L.pdf
- Crookston, K., 2006. A top 10 list of developments and issues impacting crop management and ecology during the past 50 years. *Crop Science*, 46, 2253-2262.
- Cullum R.F. (2012). Influence of tillage on maize yield in soil with shallow fragipan. *Soil & Tillage Research* 119, 1–6
- Da Veiga M,, Rainer H., Reinert D.J. and Reichert M.J. 2007. Soil compressibility and penetrability of an Oxisol from southern Brazil, as affected by long-term tillage systems. *Soil & Tillage Research* 92 (2007) 104–113
- De la Rosa D., J. Moreno, F. Mayol and T. Bonson 2000. Assessment of soil erosion vulnerability in Western Europe and potential impact on crop productivity due to

- loss of soil depth using the ImpelERO model. *Agriculture, Ecosystems and Environment* 81: 179-190.
- De Ploey, J., 1986. Soil erosion and possible measures in loess loamy areas, in: Chisci, G. and R.P.C. Morgan (eds), *Soil erosion in the European Community: Impact of changing agriculture*, pp. 157-163, Balkema, Rotterdam, 1986.
- De Vente J., J. Poesen, P. Bazzoffi, A. Van Rompaey and G. Verstraeten 2006. Predicting catchment sediment yield in Mediterranean environments: the importance of sediment sources and connectivity in Italian drainage basins. *Earth Surface Processes and Landforms* 31: 1017-1034.
- De Vita P., E. Di Paolo, G. Fecondo, N. Di Fonzo, M. Pisante. 2007. No-tillage and conventional tillage effects on durum wheat yield, grain quality and soil moisture content in southern Italy. *Soil & Tillage Research* 92 (2007) 69–78
- D’Haene K., Vermang J., Cornelis W.M., Ben Leroy B.L.M., Schiettecatte W., De Neve S., Gabriels D., Hofman G. 2008. Reduced tillage effects on physical properties of silt loam soils growing root crops. *Soil & Tillage Research* 99 (2008) 279–290,
- Dahiya R., Joachim Ingwersen, Thilo Streck. 2007. The effect of mulching and tillage on the water and temperature regimes of a loess soil: Experimental findings and modelling. *Soil & Tillage Research* 96 (2007) 52–63
- Denton, H.P. and Tyler D.D. (1997). Surface residue cover in West Tennessee no-till cotton fields. *Proceedings of the 1997 Beltwide Cotton Conference*. National Cotton Council of America. pp 623-626.
- DeLaune P.B. and J.W. Sij. (2012). Impact of tillage on runoff in long term no-till wheat systems. *Soil & Tillage Research* 124, 32–35
- DeMaria, I.C., Nnabude, P.C. and de Castro, O.M. (1999). Long-term tillage and crop rotation effects on soil chemical properties of a Rhodic Ferralsol in southern Brazil, *Soil and Tillage Research*, Volume 51, Issues 1-2, Pages 71-79
- Dick W.A., McCoy E.L., Edwards W.M. & Lal R. (1991). Continuous application of No-Tillage to Ohio Soils. *Agronomy Journal* Vol 83, no 1 (p. 65-73).
- Dirk A.G. Kurstjens. 2007. Precise tillage systems for enhanced non-chemical weed management. *Soil & Tillage Research* 97 (2007) 293–305
- Duiker, S.W. and Lal, R. (1999). Crop residue and tillage effects on carbon sequestration in a Luvisol in central Ohio, *Soil and Tillage Research*, Volume 52, Issues 1-2, p 73-81
- Dunn M. and R. Hickey 1998. The effect of slope algorithms on slope estimates withing GIS. *Cartography* 27: 9-15.
- Eckelmann, W., Baritz, R., Bialousz, S., Bielek, P., Carre, F., Houšková, B., Jones, R.J.A., Kibblewhite, M.G., Kozak, J., Le Bas, C., Tóth, G., Tóth, T., Várallyay, G., Yli Halla, M. & Zupan, M. 2006. “Common Criteria for Risk Area Identification according to Soil Threats”. *European Soil Bureau Research Report No.20, EUR 22185 EN, 94pp*. Office for Official Publications of the European Communities, Luxembourg.
- EEA, 2003. “Europe's environment: the third assessment. Office for Official Publications of the European Communities”, Luxembourg, EUCC The Coastal Union.
- Ekeberg, E. and Riley, H.C.F. 1997. Tillage intensity effects on soil properties and crop yields in a long-term trial on morainic loam soil in southeast Norway, *Soil and Tillage Research*, Volume 42, Issue 4, Pages 277-293
- El Bassam, 1998.

- Emmenegger, M.F., Stucki, M., Hermle, S., 2012. LCA of energetic biomass utilization: actual projects and new developments—April 23, 2012, Berne, Switzerland. *Int J Life Cycle Assess*
- Erskine W., A. Mahmoudzadeh and C. Myers 2002. Land use effects on sediment yields and soil loss rates in small basins of Triassic sandstone near Sydney, NSW Australia. *Catena* 49: 271-287.
- European Commission, 2009. Directive 2009/28/EC Official Journal L 140/16
- European Commission, 2006. Biofuels in the European Union: A vision for 2030 and beyond. Final Report of the biofuels advisory Counsel, DG research Sustainable Energy Systems EU 22066
- European Commission, 2010. COMMUNICATION FROM THE COMMISSION TO THE EUROPEAN PARLIAMENT, THE COUNCIL, THE EUROPEAN ECONOMIC AND SOCIAL COMMITTEE AND THE COMMITTEE OF THE REGIONS The CAP towards 2020: Meeting the food, natural resources and territorial challenges of the future COM(2010) 672 final.
- European Space Agency. "Severity Of Desertification On World Stage". *ScienceDaily* 20 June 2007. <<http://www.sciencedaily.com/releases/2007/06/070619180431.htm>>.
- Evans R. 2002. Soil loss prediction with three erosion simulation models. *Applied geomorphology* 22: 187-208.
- Fargione, J., Hill, J., Tilman, D., Polasky, S., Hawthorne, P., 2008. Land clearing and the biofuel carbon debt. *Science* 319, 1235.
- Farooq M., Flower K.C., Jabran K., Wahid A., Kadambot Siddique H.M. 2011. Crop yield and weed management in rainfed conservation agriculture. *Soil & Tillage Research* 117, 172–183
- Ferreras, L.A., Costa, J.L., Garcia, F.G. and Pecorari, C. (2000). Effect of no-tillage on some soil physical properties of a structural degraded Petrocalcic Paleudoll of the southern "Pampa" of Argentina, *Soil and Tillage Research*, Volume 54, Issues 1-2, Pages 31-39
- Flanagan, D.C and M.A. Nearing, USDA-Water erosion prediction project: hillslope profile and watershed model documentation, NSERL Report No. 10, USDA-ARS-NSERL, West Lafayette, IN, 1995.
- Folly A., J. Quinton and R. Smith 1999. Evaluation of the EUROSEM model using data from the Catsop watershed, The Netherlands. *Catena* 37:507-519.
- Fluck, R.C. (1992). *Energy in Farm Production*. Energy in world agriculture, 6. Elsevier, Amsterdam.
- Fountas, S., Wulfsohn, D., Blackmore, S., Jacobsen, H. L., Pedersen, S.M., 2006. A model of decision making and information flows for information-intensive agriculture. *Agricultural Systems* 87, 192-210.
- Fountas, S., Gemtos, T.A., Blackmore, S., 2010. Robotics and sustainability in soil engineering, edited by Dedousis, A., Bartzanas, T. Springer. Chapter 5. ISBN: 978-3-642-03680-4.
- Frey, S.D., Elliot, E.T., Paustian, K., 1999. Bacterial and fungal abundance and biomass in conventional and no-tillage agroecosystems along two climatic gradients. *Soil Biology and Biochemistry* 31, 573–585.

- Franchini J.C, C.C. Crispino, R.A. Souza, E. Torres, M. Hungria. 2007. Microbiological parameters as indicators of soil quality under various soil management and crop rotation systems in southern Brazil. *Soil & Tillage Research* 92 (2007) 18–29
- Franzluebbers, A.J. and Francis, C.A. 1995. Energy output:input ratio of maize and sorghum management systems in eastern Nebraska, *Agriculture, Ecosystems & Environment*, Volume 53, Issue 3, May 1995, Pages 271-278
- Franzluebbers, A.J. and Hons, F.M. 1996. Soil-profile distribution of primary and secondary plant-available nutrients under conventional and no-tillage. *Soil & Tillage Research* 39, pp 229-239.
- Frischknecht, R., Steiner, R., Jungbluth, N., 2009. The Ecological Scarcity Method - Eco-Factors 2006: A Method for Impact Assessment in LCA. Federal Office for the Environment e FOEN, Zürich und Bern. Retrieved from: www.bafu.admin.ch/publikationen/publikation/01031/index.html?lang=Öen.
- Gal A., Tony J. Vyn, Erika Micheli, Eileen J. Klavivko, William W. McFee. 2007. Soil carbon and nitrogen accumulation with long-term no-till versus moldboard plowing overestimated with tilled-zone sampling depths. *Soil & Tillage Research* 96 (2007) 42–51
- Gassman, K.G., 1999. Ecological intensification of cereal production systems: Yield potential, soil quality, and precision agriculture *Proceedings Nat. Acad.Sci USA* (1999) Vol 96 5952-5959 <http://www.pnas.org/content/96/11/5952.full>
- Gasol C., Brun F., Mosso A., Rieradevall J., Gabarrell X. 2010. Assessment and comparison of acacia energy crop with annual traditional crops in Southern Europe, *Energy Policy*, Volume 38, Issue 1, January 2010, Pages 592–597
- Gemtos T.A. and Lellis T., 1997. Effects of soil compaction, water and organic matter contents on emergence and initial plant growth of cotton and sugar beet. *Journal of Agricultural Engineering Research*. 66. pp.121-134.
- Gemtos T.A., St. Galanopoulou, Chr Kavalaris, 1997. Wheat establishment after cotton with minimal tillage. *European Agronomy Journal* (8) 137-147
- Gemtos, T.A., Galanopoulou, St., and Kavalaris, C., 1998. Wheat establishment after cotton with minimal tillage. *European Journal of Agronomy* 8, 137-147.
- Gemtos T.A., C.Kavalaris, Vi.Demis, D.Pateras, Chr.Tsidari, 2002. Effect of changing tillage practices after four years of continuous reduced tillage. Paper presented in the ASAE – CIGR Conference in Chicago, USA
- Gemtos T.A., A. Alexandrou, D. Pateras, 2002. Soil Tillage, Irrigation and Fertilization Effect in Cotton Crop. *Applied Engineering in Agriculture* 18 (3) 269-276
- Gemtos T., Markinos A., Toullos L., Pateras D. and Zerva G., 2003. A precision farming application in the small cotton farmers of Greece, ITAFE Conference, Izmir, Turkey, 7-9 October 2003.
- Gemtos T.A., Chr Kavalaris, Chr. Karamoutis, 2005. Design, construction and testing of a machine for strip tillage in cotton *Proceedings of the 4th Panhellenic Confernece of the Hellenic Society of Agricultural Engineers*, Proceedings in CD, Athens 2005
- Ghersa, C.M. and Martínez-Ghersa, M.A. (2000). Ecological correlates of weed seed size and persistence in the soil under different tilling systems: implications for weed management, *Field Crops Research*, Volume 67, Issue 2, 1 July 2000, Pages 141-148

- Giacomini S.J., Machet J.M., Boizard H., and S. Recous. 2010. Dynamics and recovery of fertilizer ¹⁵N in soil and winter wheat crop under minimum versus conventional tillage. *Soil & Tillage Research* 108, 51–58.
- Gill, K.S. and M. A. Arshad, M.A. (1995). Weed flora in the early growth period of spring crops under conventional, reduced, and zero tillage systems on a clay soil in northern Alberta, Canada, *Soil and Tillage Research*, Volume 33, Issue 1, Pages 65-79
- Giles, J. F., Cattanach, A.W., Cattanach, N.R. (1995). Effect of seedbed moisture management on sugar beet stand establishment, yield and quality. *Proceedings of the 58th Winter Congress of the International Institution of Sugar Beet* pp.521-522.
- Girma, T. (1998). Effect of cultivation on physical and chemical properties of a vertisol in Middle Awash Valley, Ethiopia. *Community of Soil Scientific Plant Analysis*, 29(5&6), pp 587-598.
- Gobin, A., Govers, G., Jones, R.J.A., Kirkby, M.J. and Kosmas, C. 2002. "Assessment and reporting on soil erosion: Background and workshop report", EEA Technical Report No.84, 131pp. Copenhagen.
- Godwin R., Ricards T., Wood G., Welsh J. and Knight S. 2003. An economic analysis of the potential for precision farming in UK cereal production. *Biosystems Engineering (Special Edition on Precision Agriculture)*, 84, 533-545.
- Goglio, P., Bonari, E., Marco Mazzoncini, M., 2012. LCA of cropping systems with different external input levels for energetic purposes. *Biomass and Bioenergy* 42, 33-42.
- Gomez, E., Ferreras, L., Toresani, S., Ausilio, A. and Bisaro, V. (2001). Changes in some soil properties in a Vertic Argiudoll under short-term conservation tillage, *Soil and Tillage Research*, Volume 61, Issues 3-4, Pages 179-186
- Grant, R.F. (1997). Changes in soil organic matter under different tillage and rotation: Mathematical modeling in ecosys. *Soil Science Society American Journal*. 61, 1159-1175.
- Gregory, P.J. (1988a). Growth and functioning of plant roots. In: (Alan Wild, Editor) *Russell's Soil Conditions and Plant Growth*. 11th edn. Longman Group UK Limited pp. 113-67.
- Griffith D.R, Mannering, J.V, Moldenhauer W.C. (1977). Conservation tillage in the eastern Corn Belt. *Journal of soil and water conservation*. Vol 32. pp 20-26.
- Grossmann, I.E., Guillén-Gosálbez, G., 2010. Scope for the application of mathematical programming techniques in the synthesis and planning of sustainable processes. *Computer and Chemical Engineering* 34, 1365e1376.
- Gruber S. and W. Claupein. 2009. Effect of tillage intensity on weed infestation in organic farming. *Soil & Tillage Research* 105 (2009) 104–111
- Grunwald S. and H. Frede 1999. Using the modified agricultural non-point source pollution model in German watersheds. *Catena* 37: 319-328.
- Gumiere, Silvio José, Yves Le Bissonnais, Damien Raclot, 2009. Soil resistance to interrill erosion: Model parameterization and sensitivity, *Catena* 77: 274–284.
- Guinée, J., Gorrée, M., Heijungs, R., Huppes, G., Kleijn, R., de Koning, A., van Oers, L., Sleswijk, A., Suh, S., Udo de Haes, H., de Bruijn, H., van Duin, R., Huijbregts, M., 2001. Life cycle assessment – An operational guide to the ISO standards. Final report, CML, Leiden.

- Guinée, J.B., Gorrée, M., Heijungs, R., Huppes, G., Kleijn, R., de Koning, A., van Oers, L., Wegener Sleeswijk, A., Suh, S., de Haes, H.A.U., de Bruijn, H., van Duin, R., Huijbregts, M.A.J., Lindeijer, E., Roorda, A.A.H., van der Ven, B.L., Weidema, P.P., 2002. Handbook on Life Cycle Assessment, Operational Guide to the ISO Standards. Kluwer Academic Publishers, Dordrecht, The Netherlands.
- Haas, G., Geier, U., Frieben, B. and Köpke, U., 2005. Estimation of environmental impact of conversion to organic agriculture in Hamburg using the LCA method. Institute of Organic Agriculture, University of Bonn, Katzenburgweg 3, D-53115 Bonn, Germany
- Haiquan Zhang, Hartge, K.H. and Ringe, H. (1997). Effectiveness of organic matter incorporation in reducing soil compactibility. Soil Science Society American Journal. 61. pp.239-245.
- Hajabbasi, M.A. and Hemmat, A. (2000). Tillage impacts on aggregate stability and crop productivity in a clay-loam soil in central Iran, Soil and Tillage Research, Volume 56, Issues 3-4, Pages 205-212
- Hall, D.O., House, J.I., 1995. Biomass: a modern and environmentally acceptable fuel. Solar Energy Materials and Solar Cells 38, 521-542
- Hamzaa, M.A., Anderson, W.K. , (2005). Soil compaction in cropping systems A review of the nature, causes and possible solutions Soil & Tillage Research 82 (2005) 121–145
- Hang S., M. Nassetta, A.I. Canas, E.A. Rampoldi, M.V. Fernandez-Canigia, M. Diaz-Zorita. 2007. Changes in the atrazine extractable residues in no-tilled Mollisols. Soil & Tillage Research 96 (2007) 243–249
- Hao, X. Chang, Larney, F.J. Nitschelm, J. and Regitnig, P. (2000). Effect of minimum tillage and crop sequence on physical properties of irrigated soil in southern Alberta, Soil and Tillage Research, Volume 57, Issues 1-2, Pages 53-60
- Harman, W.L., Michels, G.J. and Wiese, A.F. (1989). A conservation tillage system for profitable cotton production in the Central Texas high plains. Agronomy Journal. 81. pp.615-618.
- Hatfield, J.L. and Karlen, D.L. 1989.
- Hatfield, J.L. and Karlen, D.L. 1992. Sustainable Agriculture Systems.
- Hauschild, M., Jeswiet, J., Alting, L., 2005. From life cycle assessment to sustainable production: status and perspectives. CIRP Annals - Manufacturing Technology 54 (2), 1-21.
- Heijungs, R., Guinée, J., Huppes, G., Lankreijer, R., Udo de Haes, H., Sleeswijk, A., Ansems, A., Eggels, P., van Duin, R., de Goede, H., 1992. Environmental Life Cycle Assessment of products. Guide, CML, TNO and B&G, Leiden.
- Helsel, R.Z., 1992. Energy and alternatives for fertilizer and pesticide use. In: R.C. Fluck (Editor), Energy in Farm Production. Energy in world agriculture, 6. Elsevier, Amsterdam, pp.177-201.
- Heraud J.A., A, F. Lange, 2009. Agricultural Automatic Vehicle Guidance from Horses to GPS: How We Got Here, and Where We Are Going. Presentation at the 2009 Agricultural Equipment Technology Conference, Louisville, Kentucky, USA 9-12 February 2009, Published by the American Society of Agricultural and Biological Engineers, 2950 Niles Road, St. Joseph, MI 49085-9659 USA

- Hill, J., Nelson, E., Tilman, D., Polasky, S. and T. Douglas (2006), "Environmental economic, and energetic costs and benefits of biodiesel and ethanol biofuels", National Academy of Sciences of the USA, Vol. 103, No. 30, pp. 11206–11210..
- Hoestra, H., 2008. Crop Rotation, Monoculture and Soil Ecology EPPO Bulletin 2008 Volume 5 Issue 2, Pages 173 – 180
- Hou J.H., Wiebold W.J., and F.B. Fritsch. 2011. Long-term tillage and crop rotation determines the mineral nutrient distributions of some elements in a Vertic Epiaqualf. *Soil & Tillage Research* 112, 27–35
- Hrissanthou, V., 2005. Estimate of sediment yield in a basin without sediment data. *CATENA* 64:333-347.
- Huang, Gao-bao, Chai Qiang, Feng Fu-xue and Yu Ai-zhong, 2012. Effects of Different Tillage Systems on Soil Properties, Root Growth, Grain Yield, and Water Use Efficiency of Winter Wheat (*Triticum aestivum* L.) in Arid Northwest China. *Journal of Integrative Agriculture*, 11(8): 1286-1296.
- Huang S., Sun Y.N., Rui W.Y., Liu W.R. and Zhang W.J. 2010. Long-Term Effect of No-Tillage on Soil Organic Carbon Fractions in a Continuous Maize Cropping System of Northeast China. *Pedosphere* 20(3): 285–292.
- Hussain, I., Olson, K.R. and Ebelhar, S.A., 1999. Impacts of tillage and no-till on production of maize and soybean on an eroded Illinois silt loam soil, *Soil and Tillage Research*, Volume 52, Issues 1-2, Pages 37-49
- Ishaq, M., Ibrahim, M. and Lal, R. (2002). Tillage effects on soil properties at different levels of fertilizer application in Punjab, Pakistan. *Soil and Tillage research*, 68 p 93-99
- IPCC, 2007a. Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories: Reference Manual. Intergovernmental Panel on Climate Change, United Nations, New York
- IPCC, 2007b. Climate change 2007: The Physical Science Basis. Cambridge University Press, Cambridge.
- ISO 14044, 2006. Environmental Management - Life Cycle Assessment - Requirements and Guidelines. International Organisation for Standardisation (ISO), Geneva, Switzerland.
- ISO 14047, 2006. Environmental management — Life cycle impact assessment — Examples of application of ISO 14042. International Organisation for Standardisation (ISO), Geneva, Switzerland.
- Iriarte A., Rieradevall J., and X. Gabarrell. 2011. Environmental impacts and energy demand of rapeseed as an energy crop in Chile under different fertilization and tillage practices. *Biomass and Bioenergy* 35, 4305-4315.
- Ivaro-Fuentes J.A, C. Cantero-Martinez, M.V. Lopez, J.L. Arrue. 2007. Soil carbon dioxide fluxes following tillage in semiarid Mediterranean agroecosystems. *Soil & Tillage Research* 96 (2007) 331–341
- James, E.B. and Russell, B., 1996. The effect of surface cover on infiltration and soil erosion. In: Agasi, M. (editor), *Soil Erosion, Conservation, and Rehabilitation*. Marcel Dekker, Inc. N.Y. pp. 107-20.
- Janusauskaite D. and Ciuberkis S. 2010. Effect of different soil tillage and organic fertilizers on winter triticale and spring barley stem base diseases. *Crop Protection* 29, 802-807

- Jeswani, H.K., Azapagic, A., Schepelmann, P., Ritthoff, M., 2010. Options for broadening and deepening the LCA approaches. *Journal of Cleaner Production* 18, 120-127.
- Johnson-Maynard J.L., K.J. Umiker, S.O. Guy, 2007. Earthworm dynamics and soil physical properties in the first three years of no-till management. *Soil & Tillage Research* 94 (2007) 338–345
- Jørgensen, A., Le Bocq, A., Nazarkina, L., Hauschild, M., 2008. Methodologies for social life cycle assessment. *The International Journal of LCA* 13 (2), 96e103.
- Kadžienė G., Munkholm L.J. and Mutegi J.K. 2011. Root growth conditions in the topsoil as affected by tillage intensity. *Geoderma* 166, 66–73
- Kandeler, E., Palli, S., Stemmer, M. and Gerzabek, M.H., 1999. Tillage changes microbial biomass and enzyme activities in particle-size fractions of a Haplic Chernozem, *Soil Biology and Biochemistry*, Volume 31, Issue 9, Pages 1253-1264
- Kargas G., Kerkides P. and Poulouvassilis A. 2012. Infiltration of rain water in semi-arid areas under three land surface treatments. *Soil & Tillage Research* 120, 15–24.
- Karunatilake, U., van Es, H.M. and Schindelbeck R.R. 2000. Soil and maize response to plow and no-tillage after alfalfa-to-maize conversion on a clay loam soil in New York, *Soil and Tillage Research*, Volume 55, Issues 1-2, Pages 31-42
- Khakbazan M. and C. Hamilton. 2012. Economic evaluation of tillage management practices at the watershed scale in southern Manitoba. *Soil & Tillage Research* 118, 40–51
- Kinnell P. 2001. Slope length factor for applying the USLE-M to erosion in grid cells. *Soil and Tillage Research* 58: 11-17.
- Kinnell P. 2004. Sediment delivery ratios: a misaligned approach to determining sediment delivery from hillslopes. *Hydrological Processes* 18: 3191-3194.
- Kinnell P. 2008. Sediment delivery from hillslopes and the Universal Soil Loss Equation: some perceptions and misconceptions. *Hydrological Processes* 22: 3168-3175.
- Kinnell, P.I.A., and L.M. Risse, 2008. USLE-M: Empirical modelling rainfall erosion through runoff and sediment concentration, *Soil. Sci. Soc. Am. J.*, 62, 1667-1672, 1998.
- Kirkby, M.J., Modelling water erosion processes. In Kirkby, M.J. and Morgan, R.P.C. (eds) *Soil Erosion*, pp. 183-216, Wiley, Chichester, 1980.
- Kladivko, E.J. (2001). Tillage systems and soil ecology, *Soil and Tillage Research*, Volume 61, Issues 1-2, Pages 61-76
- Klik, A. and A.S. Zartl, 2001. Comparison of Soil Erosion Simulations Using WEPP and RUSLE with Field Measurements. In *Soil Erosion Research for the 21st Century*, Proc. Int. Symp. (3-5 January 2001, Honolulu, HI, USA). Eds. J.C. Ascough II and D.C. Flanagan. St. Joseph, MI: ASAE.701P0007, pp. 350-353
- Knapen A., J. Poesen, S. De Baets. 2007. Seasonal variations in soil erosion resistance during concentrated flow for a loess-derived soil under two contrasting tillage practices. *Soil & Tillage Research* 94 (2007) 425–440
- Knisel, W.G., CREAMS: a field scale model for chemicals, runoff and erosion from agricultural management systems, USDA Conservation Research Report No. 26, USDA-ARS, Washington, DC. 1980.

- Koch, H.J. and Marlander, B. 1994. Wetchen Beitrag Kann die Bodenbearbeitung zum integrierten Anbau von Zuckerruben leisten? Proceedings of the 57th Winter Congress of the International Institution of Sugar Beet Research. pp.1-22.
- Koch H.J, Henning H., Tomanova O., Marlander B. 2008. Cumulative effect of annually repeated passes of heavy agricultural machinery on soil structural properties and sugar beet yield under two tillage systems. *Soil & Tillage Research* 101 (2008) 69–77
- Kometski T.S., Arriaga F.J., A.J. Price (2012) Evaluation of methods to assess termination rates of cover crops using visual and non-visible light active sensors. *Trans of the ASABE* 55(3) 733-741
- Kosmas, C., Gerontidis, S., and Marathianou, M., 2000. "The effect of land use change on soils and vegetation over various lithological formations on Lesbos (Greece)". *CATENA*, 40 (1):51-68.
- Krasuska E. and Rosenqvist H. 2012. Economics of energy crops in Poland today and in the future. *Biomass and Bioenergy*, Volume 38, March 2012, Pages 23-33.
- Kroulik M., Kumhala F., Hula J., Honzík I. 2009. The evaluation of agricultural machines field trafficking intensity for different soil tillage technologies. *Soil & Tillage Research* 105 (2009) 171–175
- Kucharik, C.J., Brye, K.R., Norman, J.M., Foley, J.A., Gower, S.T., Bundy, L.G., 2001. Measurements and modeling of carbon and nitrogen cycling in agroecosystems of southern Wisconsin: potential for SOC sequestration during the next 50 years. *Ecosystems* 4, 237–258.
- Κυρίτσης Σπ. (1989) Ενέργεια στην Ελληνική Γεωργία και δυναμικό ηλιακών τεχνολογιών (Energy in Greek Agriculture and the Potential of Solar Technologies). Commission of European Communities, DG for Science, Research and Development, Official orders 3/87, 7/89. Printed in Athens.
- Langmaack, M. Schrader St., Rapp-Bernhardt U. and Karin Kotzke K., 2002. Soil structure rehabilitation of arable soil degraded by compaction, *Geoderma*, Volume 105, Issues 1-2, Pages 141-152
- Lapen, D.R., Topp, G.C., Hayhoe, H.N., Gregorich, E.G. and Curnoe, W.E., 2001. Stochastic simulation of soil strength/compaction and assessment of corn yield risk using threshold probability patterns, *Geoderma*, Volume 104, Issues 3-4, Pages 325-343
- Larney, F.J. and Lindwall, C.W., 1995. Rotation and tillage effects on available soil water for winter wheat in a semi-arid environment, *Soil and Tillage Research*, Volume 36, Issues 3-4, December 1995, Pages 111-127
- Leach, G. (1976). Energy and food production. IPC Business Press Limited, England.
- Lenzi M. and M. Luzio 1997. Surface runoff, soil erosion and water quality modelling in the Alpone watershed using AGNPS integrated with Geographic Information System. *European Journal of Agronomy*.
- Lewandowski, I., Heinz, A., 2003. Delayed harvest of miscanthus—influences on biomass quantity and quality and environmental impacts of energy production. *Eur. J. Agron.* 19, 45–63.
- Lin C.Y., Lin W.T. and W.C. Chou 2002. Soil erosion prediction and sediment yield estimation: the Taiwan experience. *Soil & Tillage Research* 68:143-152.
- Liu K. and Wiatrak P. 2012. Corn production response to tillage and nitrogen application in dry-land environment. *Soil & Tillage Research* 124, 138–143.

- Llewellyna R.S., D'Emden F.H, and Kuehne G. 2012. Extensive use of no-tillage in grain growing regions of Australia. *Field Crops Research* 132, 204–212
- Li Y.X., J.N. Tullberg, D.M. Freebairn. 2007. Wheel traffic and tillage effects on runoff and crop yield. *Soil & Tillage Research* 97 (2007) 282–292
- Lopez, M.V., Arrue, J.L. and Sanchez-Giron, V., 1996. A comparison between seasonal changes in soil water storage and penetration resistance under conventional and conservation tillage systems in Aragon. *Soil and tillage research* 37: pp 251-271.
- López, M.V. and Arrúe, J.L., 1997. Growth, yield and water use efficiency of winter barley in response to conservation tillage in a semi-arid region of Spain, *Soil and Tillage Research*, Volume 44, Issues 1-2, 1, Pages 35-54
- Lopez-Bellido L, Lopez-Garrido F.L, Fuentes M, Castillo J.E, Fernandez E.J., 1997. Influence of tillage, crop rotation and nitrogen fertilization on soil organic matter and nitrogen under rain-fed Mediterranean conditions. *Soil and Tillage Research* 43. Pages 277-293.
- Machado S., Petrie St., Rhinhart K., Qu, A., 2007. Long-term continuous cropping in the Pacific Northwest: Tillage and fertilizer effects on winter wheat, spring wheat, and spring barley production. *Soil & Tillage Research* 94 (2007) 473–481
- MacLean, H., L., Lave, L., B., Lankey, R. and S. Joshi, 2000. A Life-Cycle Comparison of Alternative Automobile Fuels. *Journal of the Air & Waste Management Association*, Vol. 50, pp. 1769-1779.
- Madejon E., F. Moreno, J.M. Murillo, F. Pelegrin, 2007. Soil biochemical response to long-term conservation tillage under semi-arid Mediterranean conditions. *Soil & Tillage Research* 94 (2007) 346–352
- Madejon E., J.M. Murillo, F. Moreno, M.V. Lopez, J.L. Arrue, J. Alvaro-Fuentes, C. Cantero. 2009. Effect of long-term conservation tillage on soil biochemical properties in Mediterranean Spanish areas. *Soil & Tillage Research* 105 (2009) 55–62
- Mahboubi A.A., Lai R., 1998. Long term tillage effects on changes in structural properties of two soils in central Ohio. *Soil and Tillage Research* 45 pp. 107-118.
- Maraseni T.N. and G. Cockfield, 2011. Does the adoption of zero tillage reduce greenhouse gas emissions? An assessment for the grains industry in Australia. *Agricultural Systems* 104, 451–458
- Marin-Yaseli, M.L. and Martinez, T.L., 2003. "Competing for meadows - A case study on tourism and livestock farming in the Spanish Pyrenees". *Mountain Research and Development*, 23,169-176.
- Martin D.L., E.C. Stegman, E. Fereres, 1990. Irrigation scheduling principles, in Hoffman G.J., T.A. Howell and K.H. Solomon *Management of Farm Irrigation Systems*, ASABE, Michigan, USA
- Martin-Rueda I., L.M. Munoz-Guerra, F. Yunta, E. Esteban, J.L. Tenorio, J.J. Lucena. 2007. Tillage and crop rotation effects on barley yield and soil nutrients on a Calcicortidic Haploxeralf. *Soil & Tillage Research* 92 (2007) 1–9
- Martins R.M., Cora J.E., Jorge F.R., Marcelo A.V. 2009. Crop type influences soil aggregation and organic matter under no-tillage. *Soil & Tillage Research* 104 (2009) 22–29
- Martinez - Casanovas J. and I. Senchez – Bosch 2000. Impact assessment of changes in land use/conservation practices on soil erosion in the Penedes - Anoia vineyard region (NE Spain). *Soil and Tillage Research*:101-106.

- Martinez - Casanovas J., M. Ramos and M. Ribes – Dasi 2002. Soil erosion caused by extreme rainfall events: mapping and quantification in agricultural plots from very detailed digital elevation models. *Geoderma* 105: 125-140.
- Martnez E., Fuentes J.P., Silva P., Valle S., Acevedo E. 2008. Soil physical properties and wheat root growth as affected by no-tillage and conventional tillage systems in a Mediterranean environment of Chile. *Soil & Tillage Research* 99 (2008) 232–244
- Mazzoncini M., Sapkota T.B., Barberi P., Antichi D., Risaliti R. 2012. Long-term effect of tillage, nitrogen fertilization and cover crops on soil organic carbon and total nitrogen content. *Soil & Tillage Research* 114, 165–174.
- Medeiros, J.C., Serrano, R.E., Hernanz Martos, J.L. and Sánchez Girón, V. (1996). Effect of various soil tillage systems on structure development in a Haploxeralf of central Spain, *Soil Technology*, Volume 11, Issue 2, June 1997, Pages 197-204
- McHugh A.D., J.N. Tullberg, D.M. Freebairn. 2009. Controlled traffic farming restores soil structure. *Soil & Tillage Research* 104 (2009) 164–172
- McConnell, J.S., Baker, W.H., Rothrock, C.S. and Frizzell, B.S., 1994. Reduced tillage and cover crops. *Arkansas Experimental Station Special Report* 166, pp 27-30.
- McLaughlin, N.B. Gregorich, E.G. Dwyer, L.M. and Ma, B.L., 2002. Effect of organic and inorganic soil nitrogen amendments on mouldboard plow draft, *Soil and Tillage Research*, Volume 64, Issues 3-4, Pages 211-219
- Melero S., Lopez-Bellido R.J., Lopez-Bellido L., Munoz-Romero V., Moreno F., Murillo J.M., 2011. Long-term effect of tillage, rotation and nitrogen fertiliser on soil quality in a Mediterranean Vertisol. *Soil & Tillage Research* 114, 97–107
- Mikanova O., M. Javurek, T. Simon, M. Friedlova , M. Vach. 2009. The effect of tillage systems on some microbial characteristics. *Soil & Tillage Research* 105 (2009) 72–76
- Miller, S.D. and Dexter, A.G. (1983). No-tillage sugarbeet production. *Sugarbeet Research and Extension Reports*. Vol 21 pp 124-25.
- Mitasova H., J. Hofierka, M. Zlocha and L. Iverson 1996. Modelling topographic potential for erosion and deposition using GIS. *International Journal of Geographical Information Systems* 10 (5): 629-641.
- Molnar D. and P. Julien 1998. Estimation of upland erosion using GIS. *Computers and Geosciences* 24 (2): 183-192.
- Mondelaers, K., Aertsens, J., Van Huylenbroeck, G., 2009. A meta-analysis of the differences in environmental impacts between organic and conventional farming. *British Food Journal* 111, 1098–1119.
- Moreno, F., Pelegrín, F., Fernández, J.E. and Murillo, J.M. (1997). Soil physical properties, water depletion and crop development under traditional and conservation tillage in southern Spain, *Soil and Tillage Research*, Volume 41, Issues 1-2, Pages 25-42
- Mosaddeghi M.R., A.A. Mahboubi, A. Safadoust. 2009. Short-term effects of tillage and manure on some soil physical properties and maize root growth in a sandy loam soil in western Iran. *Soil & Tillage Research* 104 (2009) 173–179
- Morgan R.P.C., 1986. *Soil Erosion and Conservation*. Longman Scientific and Technical
- Morgan, R.P.C. 1995. *Soil Erosion and Conservation*. Second Edition. Longman, Essex.

- Morgan, R.P.C, Quinton, J.N., Smith, R.E., Govers, G., Poesen, J.W.A., Auerswald, K., Chisci, G., Torri, D., Styczen, M.E. and Folly, A.J.V., 1998. The European Soil Erosion Model (EUROSEM): Documentation and user guide, Version 3.6., Silsoe College, U.K., 1998.
- Mrabet, R., Saber, N., El-Brahli, A., Lahlou, S. and Bessam, F. (2001). Total, particulate organic matter and structural stability of a Calcixeroll soil under different wheat rotations and tillage systems in a semiarid area of Morocco, *Soil and Tillage Research*, Volume 57, Issue 4, Pages 225-235
- Mulla, D., 2012. Twenty five years of remote sensing in precision agriculture: key advances and remaining knowledge gaps. *Biosystems Engineering*. In Press. DOI: 10.1016/j.biosystemseng.2012.08.009.
- Munkholm, L.J., Schjonning, P., Rasmussen, K.J. and Tanderup, K., 2003. Spatial and temporal effects of direct drilling on soil structure in the seedling environment. *Soil and Tillage Research* 71, pp 163-173.
- Munkholm L.J., Heck R.J., Deen B. 2012. Long-term rotation and tillage effects on soil structure and crop yield. *Soil & Tillage Research* Article in press.
- Munoz-Romero V., Lopez-Bellido L., Lopez-Bellido R.J. 2011. Faba bean root growth in a Vertisol: Tillage effects. *Field Crops Research* 120, 338–344
- Mygdakos E., Papanikolaou C., Sakellariou-Makrantonaki M. 2009. Sorghum economics under different irrigation methods and water doses, *New Medit, Mediterranean Journal of Economics, Agriculture and Environment*, Vol. VIII (4) pp 47-54.
- Nemeceka Thomas, Julia-Sophie von Richthofen, Gaëtan Dubois, Pierre Casta, Raphaël Charles, Hubert Pahl (2008) Environmental impacts of introducing grain legumes into European crop rotations *Europ. J. Agronomy* 28 (2008) 380–393
- Nikolaou, A. and Dercas, N. (1999). Productivity trial on sweet and fiber sorghum genotypes in central Greece (<http://www.eeci.net/archive/biobase/B10477.html>).
- Nikolaou A., I. Namatov, G. Kavadas, K. Tsiotas, C. Panoutsou and N. Danalatos, 2001. Evaluation Of Growth And Productivity Of Eight Sorghum Genotypes For Biomass and Energy. 2nd Conference of the Hellenic Society of Agricultural Engineers, Volos.
- Norris, G.A., 2001. Integrating economic analysis into LCA. *Environmental Quality Management* 10 (3), 59-64.
- Novak, J.M., Watts, D.W. and Hunt, P.G (1996).. Long-term tillage effects on atrazine and fluometuron sorption in Coastal Plain soils, *Agriculture, Ecosystems & Environment*, Volume 60, Issues 2-3, Pages 165-173
- Nyakatawa E.Z., V. Jakkula, K.C. Reddy, J.L. Lemunyon, B.E. Norris Jr. 2007. Soil erosion estimation in conservation tillage systems with poultry litter application using RUSLE 2.0 model. *Soil & Tillage Research* 94 (2007) 410–419
- OECD (Organisation for Economic Co-operation and Development), 2001. *Environmental Indicators for Agriculture – Methods and Results*, vol. 3. OECD Publications, Paris, France, p. 409.
- OECD, 2004. *Measuring Sustainable Development: Integrated Economic, Environmental and Social Frameworks*. Paris, France.
- Onweremadu E.U., V.N. Onyia, M.A.N. Anikwe. 2007. Carbon and nitrogen distribution in water-stable aggregates under two tillage techniques in Fluvisols of Owerri area, southeastern Nigeria. *Soil & Tillage Research* 97 (2007) 195–206

- Papiernik S.K., M.J. Lindstrom, T.E. Schumacher, J.A. Schumacher, D.D. Malo, D.A. Lobb. 2007. Characterization of soil profiles in a landscape affected by long-term tillage. *Soil & Tillage Research* 93 (2007) 335–345
- Papendick, R.I., 1992. Maintaining Soil Physical Conditions. In: Greenland, D.J. and Szabolcs, I. (Editors), (1994). *Soil Resilience and Sustainable Land Use*. Cab international, Wallingford, Oxon, U.K. pp. 216-17.
- Parson A., J. Wainwright, R. Brazier and D. Powell, 2006. Is sediment delivery a fallacy? *Earth Surface Process* 31: 1325-1328.
- Pascual, L.M. and R.R. Tan, 2004. Comparative Life Cycle Assessment of Coconut Biodiesel and Conventional Diesel for Philippine Automotive Transportation and Industrial Boiler Application. Chemical Engineering Department, College of Engineering De La Salle University Manila, Philippines.
- Payraudeau, S. and H.M.G. van der Werf, 2005. Environmental impact assessment for a farming region: a review of methods. *Agriculture, Ecosystems and Environment* 107, 1–19
- Peel, D. M., 1998. Crop Rotations for Increased Productivity. Found in the site <http://www.ag.ndsu.edu/pubs/plantsci/crops/eb48-1.htm>
- Perez-Brandán C., Arzeno J.L., Huidobro J., Grümberg B., Conforto C., Hilton S., Bending G.B., Meriles J.M., Vargas-Gil, S., 2012. Long-term effect of tillage systems on soil microbiological, chemical and physical parameters and the incidence of charcoal rot by *Macrophomina phaseolina* (Tassi) Goid in soybean. *Crop Protection* 40, 73-82.
- Phillips S.H. and Young H.M.Jr. (1973). *No tillage farming*. Reisman Associates. Millwaukee, Wiskonsin.
- Pringas, Chr., Miller, H. and Koch, H-J. (2002). Long term ploughless tillage in sugar beets – Formation of yield, pests and diseases. *Proceedings of the 65th IIRB Congress, February 2002 Brussels* pp. 513-518.
- Pimentel, D., Berardi, G. and Fast, S., 1983. Energy efficiency of farming systems: organic and conventional agriculture. *Agric. Ecosystems Environ.*, 9:359--372.
- Rabah L., 2010. Adoption of conservation agriculture in Europe Lessons of the KASSA project. *Land Use Policy* 27, 4–10.
- Rabl, A., Benoist, A., Dron, D., Peuportier, B., Spadaro, J.V., Zoughaib, A., 2007. How to Account for CO2 Emissions from Biomass in an LCA. *Int J LCA* 12 (5) 281
- Radford B.J., D.F. Yule, D. McGarry, C. Playford. 2007. Amelioration of soil compaction can take 5 years on a Vertisol under no till in the semi-arid subtropics. *Soil & Tillage Research* 97 (2007) 249–255
- Randy L. Raper R.L. J. Mac Kirby, 2006. Soil compaction: How to do it, undo it, or avoid doing it. ASAE Distinguish Lecture No 30. For presentation at the 2006 Agricultural Equipment Technology Conference Louisville, Kentucky, USA 12-14 February 2006. Published by the American Society of Agricultural and Biological Engineers 2950 Niles Road, St. Joseph, MI 49085-9659 USA
- Raper, R.L. 2005. Agricultural traffic impacts on soil *Journal of Terramechanics* 42 (2005) 259–280
- Rasmussen, K.J. 1999. Impact of ploughless soil tillage on yield and soil quality: A Scandinavian review, *Soil and Tillage Research*, Volume 53, Issue 1, Pages 3-14
- Rebitzer, G., Ekvall, T., Frischknecht, R., Hunkeler, D., Norris, G., Rydberg, T., Schmidt, W.T Suh, S., Weidema B.P. and A.W. Pennington, 2004. A Life cycle assessment:

- Part 1: Framework, goal and scope definition, inventory analysis, and applications. *Environment International*, 30, 701-720.
- Reeves, D.W., 1997. The role of soil organic matter in maintaining soil quality in continuous cropping systems, *Soil and Tillage Research*, Volume 43, Issues 1-2, 1, Pages 131-167
- Regina K. and Alakukku L. 2010. Greenhouse gas fluxes in varying soils types under conventional and no-tillage practices. *Soil & Tillage Research* 109, 144–152
- Renard, K.G., G.R. Foster, G.A. Weesies, and J.P. Porter, RUSLE: Revised Universal Soil Loss Equation, *J. Soil and Water Cons.*, 46, 30-33, 1991.
- Renschler C. and J. Harbor 2002. Soil erosion assessment tools from point to regional scales - the role of geomorphologists in land management research and implementation. *Geomorphology* 47: 189-209.
- Rettenmaier, N., Köppen, S, Gärtner, S., Reinhardt, G., 2010. 4F Crops-D13 Final Report: Life Cycle Analyses. Institute for Energy and Environmental Heidelberg GmbH.
- Richard, G. and Guerif, J. (1992). Influence of aeration conditions in the seedbed on sugar beet seed germination; experimental study and model. *Proceedings of the 55th Winter Congress of the International Institution on the Sugar Beet Research* pp.103-108.
- Sainju U.M., Harry H. Schomberg, Bharat P. Singh, Wayne F. Whitehead, P. Glynn Tillman, Sharon L. Lachnicht-Weyers. 2007. Cover crop effect on soil carbon fractions under conservation tillage cotton. *Soil & Tillage Research* 96 (2007) 205–218
- Salinas-Garcia, J.R., Matocha, J.E. and Hons, F.M. (1997). Long-term tillage and nitrogen fertilization effects on soil properties of an Alfisol under dryland corn/cotton production, *Soil and Tillage Research*, Volume 42, Issues 1-2, Pages 79-93
- Salinas-Garcia, J.R., Baez-Gonzalez, A.D. Tiscareno-Lopez, M., and Rosales-Robles, E. (2001). Residue removal and tillage interaction effects on soil properties under rain-fed corn production in Central Mexico, *Soil and Tillage Research*, Volume 59, Issues 1-2, Pages 67-79
- Salmerona M., Isla R., and J. Cavero. 2011. Effect of winter cover crop species and planting methods on maize yield and N availability under irrigated Mediterranean conditions. *Field Crops Research* 123, 89–99
- Scacchi, C.C.O., González-García, S., Caserini, S., Rigamonti, L., 2010. Greenhouse gases emissions and energy use of wheat grain-based bioethanol fuel blends. *Science of the Total Environment* 408, 5010–5018.
- Schlesinger, W.H. 2000. Carbon sequestration in soils: some cautions amidst optimism, *Agriculture, Ecosystems & Environment*, Volume 82, Issues 1-3, Pages 121-127
- Schumacher T., M. Lindstrom, J. Schrumacher and G. Lemme, 1999. Modelling spatial variation in productivity due to tillage and water erosion. *Soil and Tillage Research* 51: 331-339.
- Selles, F., Kochhann, R.A., Denardin, J.E., Zentner, R.P. and Faganello, A. 1997. Distribution of phosphorus fractions in a Brazilian Oxisol under different tillage systems, *Soil and Tillage Research*, Volume 44, Issues 1-2, 1, Pages 23-34

- Semere, T., Slater, F.M., 2007. Ground flora, small mammal and bird species diversity in miscanthus (*Miscanthus x giganteus*) and reed canary-grass (*Phalaris arundinacea*) fields. *Biomass. Bioenergy*, 31, 20–29.
- Shafiee Sh., E. Topal, 2009. When will fossil fuel reserves be diminished? *Energy policy*, January, 37, 181-189
- Sharma, P.K. and Acharya, C.L. (2000). Carry-over of residual soil moisture with mulching and conservation tillage practices for sowing of rainfed wheat (*Triticum aestivum* L.) in north-west India, *Soil and Tillage Research*, Volume 57, Issues 1-2, Pages 43-52
- Sharma P., Abrol V., and Sharma R.K. (2011). Impact of tillage and mulch management on economics, energy requirement and crop performance in maize–wheat rotation in rainfed subhumid inceptisols, India. *Europ. J. Agronomy* 34, 46–51
- Siepel A., T. Steenhuis, C. Rose, J. Yves - Parlange and G. Mclsaak 2002. Numeric analysis of hydrogeochemical data: a case study (Alto Guadalentin, southeast Spain). *Journal of Hydrology* 258: 111-121.
- Siheem Ben Moussa-Machraoui, Faiek Errouissi, Moncef Ben-Hammouda, Said Nouria. 2010. Comparative effects of conventional and no-tillage management on some soil properties under Mediterranean semi-arid conditions in northwestern Tunisia. *Soil & Tillage Research* 106, 247–253
- Simoes R.P., R.L. Raper, F.J. Arriaga, K.S. Balkcom, J.N. Shaw. 2009. Using conservation systems to alleviate soil compaction in a Southeastern United States ultisol. *Soil & Tillage Research* 104 (2009) 106–114
- Simon T., M. Javurek, O. Mikanova, M. Vach. 2009. The influence of tillage systems on soil organic matter and soil hydrophobicity. *Soil & Tillage Research* 105 (2009) 44–48
- Six, J., E.T. Elliott, K. Paustian, 2000. Soil macroaggregate turnover and microaggregate formation: a mechanism for C sequestration under no-tillage agriculture. *Soil Biology and Biochemistry*, 32, 2099-2103
- Smith, J.A., Yonts, C.D., Biere, D.A. and Rath, M.D. (1995). Field operation energy use for a Corn - Dry edible bean – Sugar beet rotation. *Transactions of the American Society of Agricultural Engineers* 11(2) 219-234.
- So H.B., A. Grabski, P. Desborough. 2009. The impact of 14 years of conventional and no-till cultivation on the physical properties and crop yields of a loam soil at Grafton NSW, Australia. *Soil & Tillage Research* 104 (2009) 180–184
- SoCo Project Team. 2009. Addressing soil degradation in EU agriculture: relevant processes, practices and policies Report on the project 'Sustainable Agriculture and Soil Conservation (SoCo)' (Louwagie G., Hubertus St. and Burrell G.A. editors)
- Sombrero A. and de Benito A. 2010. Carbon accumulation in soil. Ten-year study of conservation tillage and crop rotation in a semi-arid area of Castile-Leon, Spain. *Soil & Tillage Research* 107, 64–70
- Sommer R., Ryan J., Masri S., Singh M., and J. Diekmann. 2011. Effect of shallow tillage, moldboard plowing, straw management and compost addition on soil organic matter and nitrogen in a dryland barley/wheat-vetch rotation. *Soil & Tillage Research* 115–116, 39–46

- Society for Environmental Toxicology and Chemistry, 1993. Guidelines for Life Cycle Assessment – A Code of Practice. Workshop report (March 31-April 3, 1993), SETAC, Pensacola FL, U.S.A.
- Spargo J.T., Marcus M. Alley, Ronald F. Follett, James V. Wallace. 2008. Soil carbon sequestration with continuous no-till management of grain cropping systems in the Virginia coastal plain. *Soil & Tillage Research* 100 (2008) 133–140
- Stafford, J., 2000. Implementing Precision Agriculture in the 21st Century. *Journal of Agricultural Engineering Research*, 76, 267-275.
- Streit, B., Rieger, S.B., Stamp, P. and Richner, W. (2001). The effect of tillage intensity and time of herbicide application on weed communities and populations in maize in central Europe, *Agriculture, Ecosystems & Environment*, vol 92 Issues 2-3 pp 211-224.
- Sturz, A.V. and Carter, M.R. (1995). Conservation tillage systems, fungal complexes and disease development in soybean and barley rhizospheres in Prince Edward Island, *Soil and Tillage Research*, Volume 34, Issue 4, Pages 225-238
- Sturz, A.V., Carter, M.R. and Johnston, H.W. 1997. A review of plant disease, pathogen interactions and microbial antagonism under conservation tillage in temperate humid agriculture, *Soil and Tillage Research*, Volume 41, Issues 3-4, Pages 169-189
- Strunk H. 2003. Soil degradation and overland flow as causes of gully erosion on mountain pastures and in forests. *Catena* 50: 185-198.
- Styles, D., Thorne F., Jones M., 2008. Energy crops in Ireland: An economic comparison of willow and Miscanthus production with conventional farming systems, *Biomass and Bioenergy*, Volume 32, Issue 5, May 2008, Pages 407- 421.
- Subak, S., 2000. Agricultural soil carbon accumulation in North America: considerations for climate policy, *Global Environmental Change*, Volume 10, Issue 3, Pages 185-195
- Tebrügge, F. and Düring, R.A. 1999. Reducing tillage intensity - a review of results from a long-term study in Germany, *Soil and Tillage Research*, Volume 53, Issue 1, p 15-28
- Terzoudi C., J. Mitsios, D. Pateras, and T. Gemtos. 2006. Interrill Soil Erosion as Affected by Tillage Methods under Cotton in Greece. *CIGR e-journal Manuscript LW 05 006*. Vol. VIII. February, 2006.
- Terzoudi C., T.A. Gemtos, N.G. Danalatos, I. Argyrokastritis. 2007. Applicability of an empirical runoff estimation method in central Greece. *Soil & Tillage Research* 92, 198–212
- Thomas G.A., R.C. Dalal, J. Standley. 2007. No-till effects on organic matter, pH, cation exchange capacity and nutrient distribution in a Luvisol in the semi-arid subtropics. *Soil & Tillage Research* 94 (2007) 295–304.
- Thorn, D.W. and M. D.Thorn 1979. *Soil Water and Crop production*, AVI Publishing Co. Westport, Connecticut.
- Thornes, J.B., 1988. "Erosional equilibria under grazing". In: Bintliff, J., Davidson, D., Grant, E. (Eds.), *Conceptual Issues in Environmental Archaeology*, Edinburgh University Press, pp.193–210.
- Thrane, M., J Schmidt, J., 2004. Life Cycle Assessment (LCA). Chapter 12 in: Arler F, L Kørnø and A Remmen (eds.) *Tools for Sustainable Development*, Department of Development and Planning, Aalborg University.

- Tilman D, K, G. Cassman, P. A. Matson, R.Naylor & S. Polasky (2002) Agricultural sustainability and intensive production practices *Nature* 418, 671-677 (8 August 2002) | doi:10.1038/nature01014
- Tomasz Gła, Bogdan Kulig. 2008. Effect of mulch and tillage system on soil porosity under wheat (*Triticum aestivum*). *Soil & Tillage Research* 99 (2008) 169–178
- Tonini, A., Astrup, T., 2012. LCA of biomass-based energy systems: A case study for Denmark. *Applied Energy* 99, 234–246.
- Torbert, H.A., Potter, K.N. and Morrison, J.E. Jr. (1998). Tillage intensity and crop residue effects on nitrogen and carbon cycling in a vertisol. *Community of Soil Scientific Plant Analysis*, 29(5&6), pp 717-727
- Tran L., M. Ridgley and L. Duckstein 2002. Application of fuzzy logic-based modelling to improve the performance of the Revised Universal Soil Loss Equation. *Catena* 47: 203-226.
- Tsatsarelis, C.A., 1991. Energy requirements for cotton production in central Greece. *Journal of Agricultural Engineering Research*, 50, pp 239-246.
- Tsatsarelis, C.A., 1992. Energy flow in sugarbeet production in Greece. *Applied Engineering in Agriculture*, ASAE Vol 8, No 5: pp 585-589.
- Tsoutsos, T., Kouloumpis, V., Zafiris, Z., Foteinis, S., 2010. Life Cycle Assessment for biodiesel production under Greek climate conditions. *Journal of Cleaner Production* 18 328–335
- Tuomisto, H.L., Hodge, I.D., Riordan, P. and Macdonald, D.W., 2012. Comparing energy balances, greenhouse gas balances and biodiversity impacts of contrasting arming systems with alternative land uses. *Agricultural Systems*, 108, 42-49.
- Unger, P.W. (1996). Soil bulk density, penetration resistance, and hydraulic conductivity under controlled traffic conditions, *Soil and Tillage Research*, Volume 37, Issue 1, Pages 67-75
- Upendra M. Sainju , Wayne F. Whitehead , Bharat P. Singh , Shirley Wang (2006) Tillage, cover crops, and nitrogen fertilization effects on soil nitrogen and cotton and sorghum yields *Europ. J. Agronomy* 25 (2006) 372–382
- Ussiri D.A.N. and Lal R. 2007. 2009. Long-term tillage effects on soil carbon storage and carbon dioxide emissions in continuous corn cropping system from an alfisol in Ohio. *Soil & Tillage Research* 104 (2009) 39–47
- U.S. Energy Information Administration (2011). *International Energy Outlook* September 2011 <http://www.eia.gov/forecasts/ieo/>
- Von Blottnitz, H., Curran, M.A., 2007. A review of assessment conducted on bioethanol as a transportation fuel from a net energy, greenhouse gas, and environmental life cycle perspective. *Journal of Cleaner Production* 15, 607-619.
- van den Puttea, An, Goversa J., Dielsa J., Gillijns K., Demuzerea M. 2010. Assessing the effect of soil tillage on crop growth: A meta-regression analysis on European crop yields under conservation agriculture. *Europ. J. Agronomy* 33, 231–241
- van Groenigen, K.-J., Bloem, J., Bååth, E., Boeckx, P., Rousk, J., Bodé, S., Forristal, D., et al. 2010. Abundance, production and stabilization of microbial biomass under conventional and reduced tillage. *Soil Biology and Biochemistry*, 42(1), 48–55.
- Van-Camp. L., Bujarrabal, B., Gentile, A-R., Jones, R.J.A., Montanarella, L., Olazabal, C. and Selvaradjou, S-K. 2004. “Reports of the Technical Working Groups Established under the Thematic Strategy for Soil Protection”. EUR 21319 EN/2,

- 872 pp. Office for Official Publications of the European Communities, Luxembourg.
- Valboa P.R., Piovanelli Carlo G., Brandi G. 2007. Nitrogen and phosphorous in a loam soil of central Italy as affected by 6 years of different tillage systems. *Soil & Tillage Research* 92 (2007) 175–180
- Vandaele K. and J. Poesen 1995. Spatial and temporal patterns of soil rates in an agricultural catchment, central Belgium. *Catena* 25: 213-226.
- Verstraeten G. and J. Poesen 2002. Using sediment deposits in small ponds to quantify sediment yield from small catchments: possibilities and limitations. *Earth Surface Processes and Landforms* 27: 1425-1439.
- Wang C.C., Chen A.W., Wang J.J., Zhang D.X., Tang S., Zhou G-S., Hu L.Y., Wu J-S. and Fu T.D. 2010 . Growth and Yield Formation of Direct-Seeding Rapeseed Under No-Tillage Cultivation in Double Rice Cropping Area in Hubei Province. *ACTA Agronomica Sinica*, Vol 37(4)
- Wang G., G. Gertner, X. Liu, A. Anderson 2001. Uncertainty assessment of soil erodibility factor for revised universal soil loss equation. *Catena* 46:1-14.
- Wang Q., Chen H., Li H., Li W., Wang X., A.D. McHugh, He J., Gao H., 2009. Controlled traffic farming with no tillage for improved fallow water storage and crop yield on the Chinese Loess Plateau. *Soil & Tillage Research* 104 (2009) 192–197
- Wang Y., Tu C., Cheng L., Li Ch., Gentry L.F., Hoyt G.D., Zhang X., Hu Sh. 2011. Long-term impact of farming practices on soil organic carbon and nitrogen pools and microbial biomass and activity. *Soil & Tillage Research* 117, 8–16.
- Warnemuende E.A., Judodine P. Patterson, Douglas R. Smith, Chi-hua Huang. 2007. Effects of tilling no-till soil on losses of atrazine and glyphosate to runoff water under variable intensity simulated rainfall. *Soil & Tillage Research* 95 (2007) 19–26
- WCED (World Commission on Environment and Sustainable Development), 1987. *Our Common Future (The Brundtland Report)*. Oxford University Press, Oxford. Bungay, Suffolk, UK.
- Weise, A.F., Harman, W.L. and Regier, C. (1994). Economic evaluation of conservation tillage systems for dryland and irrigated cotton (*Gossypium hirsutum*) in the Southern Great Plains. *Weed Science*, 42. pp.316-321.
- Weiss, M. 1966. Precision farming and spatial economic analysis: Research challenges and opportunities. *American Journal of Agricultural Economics*, 78, pp. 1275-1280.
- Whipker, L. D., Akridge, J., D., 2006. Precision agricultural services dealership survey results. Staff paper. W. Lafayette, IN., USA: Department of Agricultural Economics, Purdue University.
- Wicks, J.M and J.C. Bathurst, SHESED: a physically based, distributed erosion and sediment yield component for the SHE hydrological modelling system, *Journal of Hydrology*, 175, 213-238, 1996.
- Williams, J.R. and H.D. Berndt, Sediment yield prediction based on watershed hydrology, *Trans. ASAE* 20, 1100-1104, 1977.
- Williams, A.G., Audsley, E., Sandars, D.L., 2010. Environmental burdens of producing bread wheat, oilseed rape and potatoes in England and Wales using simulation and system modelling. *International Journal of Life Cycle Assessment* 15, 855–868.

- Wischmeier, W.H. and Smith, D.D., 1965. Predicting rainfall - erosion losses from cropland east of the Rocky Mountains. Agric. Handbook No. 282, USDA, Washington, DC.
- Wischmeier, W.H. and Smith, D.D., 1978. Predicting rainfall erosion losses - A guide to conservation planning. USDA Agr. Res. Ser. Handbook 537.
- Woods, J., Gareth Brown, G., Hardy, A.G., Bradley, R.S., Daniel Kindred, D., Mortimer, N., 2008. Facilitating carbon (GHG) accreditation schemes for biofuels: feedstock production. HGCA Project.
- Woodward D. 1999. Method to predict cropland ephemeral gully erosion. *Catena* 37: 393-399.
- Woolhiser, D.A., R.E. Smith and D.C. Goodrich, KINEROS, A kinematic runoff and erosion model: documentation and user manual, USDA-Agricultural Research Service, ARS-77, pp 130., 1990.
- Wright A.L., Hons F.M, Lemon R.G, McFarland M.L., Nichols R.L. 2007. Stratification of nutrients in soil for different tillage regimes and cotton rotations. *Soil & Tillage Research* 96 (2007) 19–27.
- Wuest S.B. 2007. Surface versus incorporated residue effects on water-stable aggregates. *Soil & Tillage Research* 96 (2007) 124–130
- Wyngaard N., Echeverri H.E., Sainz Rozas H.R., Divito G.A. 2012. Fertilization and tillage effects on soil properties and maize yield in a Southern Pampas Argiudoll. *Soil & Tillage Research* 119, 22–30
- Xianqing Houa, Rong Li, Zhikuan Jia, Qingfang Hana, Wei Wanga, Baoping Yang. 2012. Effects of rotational tillage practices on soil properties, winter wheat yields and water-use efficiency in semi-arid areas of north-west China. *Field Crops Research*, 129, 7-13.
- Yang, X-M and Wander, M.M. 1999. Tillage effects on soil organic carbon distribution and storage in a silt loam soil in Illinois, *Soil and Tillage Research*, Volume 52, Issues 1-2, Pages 1-9.
- Yang X.M., C.F. Drury, W.D. Reynolds, C.S. Tan. 2008. Impacts of long-term and recently imposed tillage practices on the vertical distribution of soil organic carbon *Soil & Tillage Research* 100 (2008) 120–124
- Yassoglou, N., Montanarella, L., Govers, G., Van Lynden, G., Jones, R.J.A., Zdruli, P., Kirkby, M., Giordano, A., Le Bissonnais, Y., Daroussin, J., King, D. 1998. "Soil Erosion in Europe". European Soil Bureau Technical Report.
- Yoo, K.H., Touchton, J.T. and Walker, R.H. (1988). Runoff, sediment and nutrient losses from various tillage systems of cotton. *Soil and Tillage. Research*. 12. pp.13-24.
- Zah R, Hischier R, Gauch M, Lehmann M, Böni H, Wäger P., 2007. Life cycle assessment of energy products: environmental assessment of biofuels. Final report. Bern:EMPA – Technology and Society Lab, Auftrag des Bundesamtes für Energie, des Bundesamtes für Umwelt und des Bundesamtes für Landwirtschaft; 2007.
- Zah R., Faist, M., Reinhard, J., Birchmeier, D., 2009. Standardized and simplified life-cycle assessment (LCA) as a driver for more sustainable biofuels. *Journal of Cleaner Production* 17, S102–S105

- Zhang, K.L., Shu, A.P., Xu, X.L., Yang, Q.K., Yu, B., 2008. Soil erodibility and its estimation for agricultural soils in China. *Journal of Arid Environments*, Vol. 72, Issue 6, pp. 1002-1011
- Zhang L., A. O' Neil and S. Lacey, 1996. Modelling approaches to the prediction of soil erosion in catchments. *Environmental Software* 11, Issues 1-3: 123-133.
- Zhang S., Li Q., Zhang X., Wei K., Chen L., Liang W. 2012. Effects of conservation tillage on soil aggregation and aggregate binding agents in black soil of Northeast China. *Soil & Tillage Research* 124, 196–202.
- Zhongkui Luoa, Enli Wang, Osbert J. Sunc. 2010. Can no-tillage stimulate carbon sequestration in agricultural soils? A meta-analysis of paired experiments. *Agriculture, Ecosystems and Environment* 139, 224–231
- Zotarelli L., Zatorrea N.P., Boddey R.M., Urquiaga S., Jantalia C.P., Franchini J.C. and Alves B.J.R., 2012. Influence of no-tillage and frequency of a green manure legume in crop rotations for balancing N outputs and preserving soil organic C stocks. *Field Crops Research* 132, 185–195

Προσθήκες

- European Commission (2010) COMMUNICATION FROM THE COMMISSION TO THE EUROPEAN PARLIAMENT, THE COUNCIL, THE EUROPEAN ECONOMIC AND SOCIAL COMMITTEE AND THE COMMITTEE OF THE REGIONS
The CAP towards 2020: Meeting the food, natural resources and territorial challenges of the future COM(2010) 672 final Brussels, 18.11.2010
- Beddington J, Asaduzzaman M, Clark M, Fernández A, Guillou M, Jahn M, Erda L, Mamo T, Van Bo N, Nobre CA, Scholes R, Sharma R, Wakhungu J. 2012. Achieving food security in the face of climate change: Final report from the Commission on Sustainable Agriculture and Climate Change. CGIAR Research Program on Climate Change, Agriculture and Food Security (CCAFS). Copenhagen, Denmark. Available online at: www.ccafs.cgiar.org/commission.

Ελληνική Βιβλιογραφία

- Αγγελούπου, Α. Καβαλάρης, Χ. Καραμούτης, Χ. Βαβουλίδου, Χ. και Θ.Α. Γέμος. (2005). Μακροχρόνια επίδραση πέντε μεθόδων κατεργασίας του εδάφους σε καλλιέργεια ζαχαροτεύτλων (Long term effect of soil tillage in sugar beet crop) Proceedings of the 4th Panhellenic Conference of the Hellenic Society of Agricultural Engineers, Proceedings in CD, Athens 2005
- Αγγελούπου Κ. (2004). Μακροχρόνια επίδραση πέντε μεθόδων κατεργασίας του εδάφους στο έδαφος και στην καλλιέργεια ζαχαροτεύτλων. Μεταπτυχιακή Διατριβή, Πανεπιστήμιο Θεσσαλίας.
- Αμπελιώτης, Κ., 2008. Κλιματική Αλλαγή και Ατμόσφαιρα. «Κέντρα Εκπαίδευσης Ενηλίκων IV», έργο που εντάσσεται στο Ε.Π.Ε.Α.Ε.Κ. II του ΥΠ.Ε.Π.Θ.
- Δεούσης Θ. R.J. Godwin (2007) Σχεδιασμός Κατασκευή και Αξιολόγηση Ενός Νέου Μηχανήματος για Μηχανική Καταπολέμηση των Ζιζανίων στη Γραμμή Σποράς 5ο Συνέδριο της Ελληνικής Εταιρείας Γεωργικών Μηχανικών, Λάρισα, 2007, Πρακτικά σε CD

- Κίττας Κ. 2007. Βιοκαύσιμα και ενεργειακές καλλιέργειες, 2ο Πανελλήνιο Συνέδριο Εναλλακτικών Καυσίμων και Βιοκαυσίμων, 26-27 Απριλίου 2007, Καρδίτσα..
- Κοινοπραξία «Παραγωγή βιοκαυσίμων στη Θεσσαλία», 2008. Τελική Έκθεση at www.keta.gr
- Μαυρομάτης Α., Βλαχοστέργιος Δ., Φουντάς Σ., Συκάς Δ., Καραθανάση, Β., Γέμτος, Θ., 2012. Μέθοδοι φαινοτυπικής αποτύπωσης και αξιολόγησης σε ποικιλίες ΒΙΚΟΥ ΚΑΙ φακής. Συνέδριο Γενετικής Βελτίωσης Φυτών. Οκτώβριος 2012, Θεσσαλονίκη.
- Μήτσιος, Ι.Κ., Πασχαλίδης, Χ.Δ. και Παγανιάς, Κ.Π., 1995. Διάβρωση των εδαφών. Αντιδιαβρωτικά μέτρα προστασίας. Εκδόσεις Zymel. Αθήνα.
- Μυγδάκος Ε., Ρεζίτης Α., Κελεπούρης Χ. 2009. Οικονομικότητα και τεχνική αποτελεσματικότητα ενεργειακών καλλιεργειών στο Νομό Αιτωλοακαρνανίας, Πρακτικά 6ου Συνεδρίου της Εταιρίας Γεωργικών Μηχανικών Ελλάδας, Θεσσαλονίκη, 8-10 Οκτωβρίου, σελ. 415-424.
- Λιθουργίδης, Α.Σ. και Σατσαρέλης, Κ.Α., 2003. Επίδραση καλλιεργητικών τεχνικών στην απόδοση και το ενεργειακό κόστος του επίσπορου αραβοσίτου. Πρακτικά 3ου Εθνικού Συνεδρίου Γεωργικής Μηχανικής. Θεσ/νίκη 2003. σελ. 119-26.
- Κυρίσης ()**
- Νόμος 3851 του 2010 Επιτάχυνση της ανάπτυξης των Ανανεώσιμων Πηγών Ενέργειας για την αντιμετώπιση της κλιματικής αλλαγής και άλλες διατάξεις σε θέματα αρμοδιότητας του Υπουργείου Περιβάλλοντος, Ενέργειας και Κλιματικής Αλλαγής ΦΕΚ 85/4-6-10**
- Πατέρας, Χ, Τερζούδη, Χ, και Θ. Γέμτος. 2009. Δοκιμή της USLE σε διαφορετικές μεθόδους κατεργασίας και καλλιεργητικής πρακτικής. Πρακτικά 6ου Πανελληνίου Συνεδρίου Γεωργικής Μηχανικής, 8-10 Οκτωβρίου 2009, Θεσσαλονίκη, σσ. 205-212.
- ΠΑΣΑΓΕΣ.gr. Ενεργειακά φυτά: Εάν δεν επιδοτηθούν δεν συμφέρουν. Ολόκληρη η μελέτη του ΙΝΑΣΟ, 15 Φεβρουαρίου Real.gr, Real περιβάλλον 2011. Οι ενεργειακές καλλιέργειες στην Ελλάδ, 10 Δεκεμβρίου.
- Στάθης Δ. και Μ. Σαπουτζής 2002. Εκτίμηση του στερεοφορτίου λεκάνης απορροής στη θέση κατασκευής φράγματος ταμίευσης νερού. 10ο Πανελλήνιο Δασολογικό Συνέδριο, Τρίπολη 26-29 Μαΐου 2002.
- Στεφανίδης Π., Δ. Στάθης και Φ. Τζιαφτάνη 2007. Εκτίμηση του στερεοφορτίου λεκάνης απορροής του χειμάρρου Μοδίου με την εξίσωση εδαφικής διάβρωσης και τη χρήση Γεωγραφικών Συστημάτων Πληροφοριών. 13ο Πανελλήνιο Δασολογικό Συνέδριο, Χλόη Καστοριάς, 07-10/10/2007.
- Ταγαράκης Α., Καραμούτης Χ., Καβαλάρης Χ., Μυγδάκος Ε., Γέμτος Θ. 2009. Το οικονομικό ισοζύγιο τριών ενεργειακών καλλιεργειών στη Θεσσαλία, Πρακτικά 6ου Συνεδρίου της Εταιρίας Γεωργικών Μηχανικών Ελλάδας, Θεσσαλονίκη, 8-10 Οκτωβρίου, σελ. 399-406.
- Φουντάς Σπ., Μπουλουλής Κ., Παγάνης Π. Καβαλάρης Χρ., Γέμτος Θ.Α., Νάνος Γ., Παρασκευόπουλος Α. Γαλάνης Μ., 2009. Σύγκριση Διαχείρισης Ζιζανιοχλωρίδας στη Ελιά με Κατεργασία του Εδάφους, Μηχανική Καταστροφή και Χημική Ζιζανιοκτονία. Γεωργία και Κτηνοτροφία τεύχος 1 σελίδες 34-37.

