

Αποκατάσταση του Εδαφικού Άνθρακα: Μπορεί η Βιολογία να το πετύχει;

Από τον Jack Kittredge,

Διευθυντής Πολιτικής,

NOFA/Mass

www.nofamass.org

Northeast Organic Farming Association/Massachusetts Chapter, Inc.

14 Αυγούστου, 2015

Η αναγέννηση της Διεθνούς μετάφραση. Για περισσότερες πληροφορίες, επισκεφθείτε την ιστοσελίδα:
<http://www.regenerationinternational.org/international-translations>

Εισαγωγή

Πρόσφατα, ένας ευρής διάλογος μέσα στους επιστημονικούς και κυβερνητικούς κύκλους επικεντρώνεται στο πώς θα αντιμετωπιστούν οι εκπομπές των αερίων του θερμοκηπίου και τα ακραία καιρικά φαινόμενα που αυτές προκαλούν. Οι περισσότεροι αναλυτές πιστεύουν πως πρέπει να σταματήσουμε να καίμε ορυκτά καύσιμα ώστε να αποφύγουμε περαιτέρω αύξηση του ατμοσφαιρικού άνθρακα και να βρούμε τρόπους να απομακρύνουμε τον άνθρακα από την ατμόσφαιρα εάν θέλουμε να μειώσουμε περαιτέρω καιρικές κρίσεις και τις επερχόμενες ανθρώπινες τραγωδίες, την αναστάτωση της οικονομικής δραστηριότητας και τις κοινωνικές διαμάχες που αυτές προκαλούν.

Αλλά πού μπορούμε να βάλουμε τον άνθρακα από τη στιγμή που θα τον απομακρύνουμε από τον αέρα; Υπάρχει μόνο μία πρακτική προσέγγιση—να τον βάλουμε πίσω εκεί όπου ανήκει, δηλαδή στο έδαφος. Ευτυχώς, αυτή δεν είναι μία ακριβή διαδικασία. Αλλά χρειάζεται να συμφωνήσουν και να συμμετάσχουν πάρα πολλοί άνθρωποι. Εφόσον λίγοι άνθρωποι θα αλλάξουν τις συνήθειές τους χωρίς κίνητρο, έχουμε συγγράψει αυτό το σύντομο άρθρο. Ελπίζουμε ότι εξηγεί το πρόβλημα της αύξησης του διοξειδίου του άνθρακα και της κλιματικής αλλαγής, πώς το διοξείδιο μπορεί να αφαιρεθεί από την ατμόσφαιρα και να αποθηκευτεί στο έδαφος, και τα πλεονεκτήματα που μπορεί να έχουν οι αγρότες και οι καταναλωτές καλλιεργώντας σε εδάφη πλούσια σε άνθρακα.

Κλιματική Αλλαγή

Οι καιρικές ανωμαλίες είναι εμφανώς δύσκολο να τεκμηριωθούν. Για να γίνει αυτό απαιτούνται καλά δεδομένα για ένα μακρύ χρονικό διάστημα, και ξεκάθαρα πρότυπα για το τι συνιστά ανωμαλία.

Πρόσφατα, ωστόσο, δεδομένου ότι όλο

και περισσότεροι άνθρωποι δείχνουν ενδιαφέρον για το θέμα, η ανάπτυξη των δεδομένων και των προτύπων έχει προοδεύσει. Οι βασικοί παράγοντες των ακραίων καιρικών φαινομένων είναι η υπερβολική θερμότητα, η καθίζηση και η υγρασία. Πρόσφατες έρευνες έχουν διαπιστώσει ότι οι μέσες μηνιαίες θερμοκρασίες, τα ακραία φαινόμενα καθίζησης, και η μέση συγκέντρωση υγρασίας έχουν όλα αυξηθεί τα τελευταία 50 με 150 χρόνια (Couchou). Οι περισσότεροι επιστήμονες πιστεύουν ότι η αιτία τέτοιων απρόβλεπτων και ακραίων καιρικών φαινομένων είναι η ‘ανθρωποκεντρική’ (πηγάει από ανθρώπινες δραστηριότητες) συγκέντρωση αερίων του θερμοκηπίου στην ατμόσφαιρα. Σύμφωνα με ακριβείς μελέτες και αναλύσεις ακραίων καιρικών φαινομένων, οι ανθρωπογενείς αιτίες της κλιματικής αλλαγής είναι ένας παράγοντας που προκαλεί τέτοιου είδους ακραία φαινόμενα (Peterson). Σύμφωνα με την Αμερικανική Ένωση για την Πρόοδο της Επιστήμης, «με βάση τεκμηριωμένα αποδεικτικά στοιχεία, περίπου το 97% των επιστημόνων για το κλίμα έχουν καταλήξει ότι υπάρχει κλιματική αλλαγή προερχόμενη από ανθρωπογενείς αιτίες» (AAAS).

Πώς τα αέρια του Θερμοκηπίου Προκαλούν Κλιματική Αλλαγή

Τα αέρια του θερμοκηπίου, κυρίως το διοξείδιο του άνθρακα αλλά και το μεθάνιο, το όζον και το υποξείδιο του αζώτου, έχουν εκατομμύρια χρόνια που εκπέμπονται από το έδαφος και το νερό στην ατμόσφαιρα λόγω φυσικών διεργασιών όπως η αναπνοή των ζώων, η εξαέρωση και οι απελευθερώσεις του αζώτου από τα βακτήρια (EPA).

Τα αέρια αυτά διασπώνται επίσης λόγω φυσικών διεργασιών και επιστρέφουν στις πηγές τους μέσω ενός αέναου κύκλου. Εφόσον η ποσότητα εκπομπών των αερίων του θερμοκηπίου και η ποσότητα που επιστρέφει στις πηγές παραμένουν ισορροπημένες, δε θα προκαλέσουν κλιματική αλλαγή.

Χρειαζόμαστε ένα συγκεκριμένο επίπεδο αερίων του θερμοκηπίου στην ατμόσφαιρα. Τα αέρια δεσμεύουν ηλιακή ακτινοβολία έτσι ώστε η Γη αντανακλά λιγότερη πίσω στο διάστημα. Αυτό αυξάνει την ποσότητα της θερμότητας που καθοδηγεί τις πλανητικές δυνάμεις που προκαλούν τις καιρικές συνθήκες. Εάν δεν είχαμε κάποια από αυτά τα αέρια, η Γη θα ήταν παγωμένη καθόλη τη διάρκεια του χρόνου και θα θεωρούνταν πολύ κρύα για την επιβίωση των ανθρώπων. Τα επίπεδα των αερίων στην ατμόσφαιρα μετρούνται σε μονάδες «ppm». Το Άζωτο, το Οξυγόνο και το Αργό, τα πρωτογενή αέρια στην ατμόσφαιρα, αντιστοιχούν αθροιστικά σε 999,000 ppm. Κατά τη διάρκεια της ιστορίας της ανθρωπότητας το ατμοσφαιρικό επίπεδο του διοξειδίου του άνθρακα έχει παραμείνει περίπου στα 280ppm, ή λιγότερο από 0.03%.

Διαταραχή του κύκλου του Άνθρακα λόγω του ανθρώπου

Από την αυγή της γεωργίας, περίπου 12,000 χρόνια πριν, ωστόσο, η αποψίλωση των δασών, ο καθαρισμός της γης, το όργωμα του εδάφους και οι καλλιέργειες έχουν απελευθερώσει περίσσειο διοξείδιο του άνθρακα στην ατμόσφαιρα. Χρησιμοποιώντας έναν βαθύ πυρήνα τεχνικών ανάλυσης, οι επιστήμονες έχουν εντοπίσει εγκαίρως αιχμές αντιστοιχίας του ατμοσφαιρικού διοξειδίου του άνθρακα και του μεθανίου με την επέκταση της γεωργίας χιλιάδες χρόνια πριν, στη Μεσοποταμία και την Κίνα (Amundson). Πιο πρόσφατα, από το 1750 περίπου, λόγω της ραγδαίας αύξησης της καύσης των ορυκτών καυσίμων και της ακόμα πιο πρόσφατης βιομηχανοποίησης της γεωργίας, το επίπεδο και ο αριθμός των ανθρωπογενών πηγών των αερίων του θερμοκηπίου έχει αυξηθεί δραματικά. Με μεγαλύτερο αριθμό να προέρχεται από το έδαφος τώρα, και μικρότερο αριθμό να επιστρέφει σε αυτό, το επίπεδο του διοξειδίου του άνθρακα στον αέρα αυξάνεται και τώρα βρίσκεται στα 400ppm.

Η Έκταση του Προβλήματος

(για όσους αγαπούν τους αριθμούς!)

Σημείωση: όλοι οι υπολογισμοί σε αυτό το πεδίο περιέχουν χρήση του μετρικού συστήματος, στο οποίο ο τόνος είναι ένας μετρικός τόνος που ζυγίζει 1000 κιλά ή 2204.6 λίβρες. Ένας γιγατόνος είναι 1 δις μετρικοί τόνοι. Ένα εκτάριο είναι 10,000 τετραγωνικά μέτρα ή 2.47 στρέμματα.

Οι επιστήμονες έχουν εκτιμήσει ότι χρειάζεται να φέρουμε το ατμοσφαιρικό διοξείδιο του άνθρακα πίσω στα επίπεδα της τάξεως του 350ppm ώστε να αποφύγουμε μία καταστροφική κλιματική αλλαγή (NASA). (Πολλοί ερευνητές θεωρούν ότι ένας πιο ασφαλής στόχος βρίσκεται πιο κοντά στο προβιομηχανικό επίπεδο που εκτιμάται στα 275-280ppm, αλλά ο μεγαλύτερος δημόσιος διάλογος έχει παγιωθεί στα 350). Ένα ppm διοξειδίου του άνθρακα στην ατμόσφαιρα ισούται με 7.8 γιγατόνους αυτού. Ένα μόριο διοξειδίου του άνθρακα περιέχει ως επί το πλείστον οξυγόνο και ο άνθρακας σε αυτό το μόριο είναι λίγο παραπάνω από το ¼ αυτού (27.3% για την ακρίβεια). Επομένως, ένα ppm ατμοσφαιρικού άνθρακα περιέχει 2.125 γιγατόνους άνθρακα (για να το απεικονίσουμε αυτό είναι περίπου το μέγεθος ενός κυβικού χιλιομέτρου στερεού γραφίτη). Επομένως, για να ζήσουμε χρειαζόμαστε διοξείδιο του άνθρακα στα 350ppm ή λιγότερο, όμως είναι ήδη στα 400 και αυξάνεται. Τι μπορούμε να κάνουμε;

Ας Υποθέσουμε ότι μειώνουμε τις εκπομπές

Δεν υπάρχει αμφιβολία ότι ολόκληρη η ανθρωπότητα πρέπει να σταματήσει να εκπέμπει υπερποσότητες αερίων του θερμοκηπίου. Υπολογίζεται ότι περίπου τα 2/3 αυτών των εκπομπών έγκειται στις δικές μας δραστηριότητες, της καύσης των ορυκτών καυσίμων (Ontl). Θα πρέπει να σταματήσουμε να εξαρτώμαστε από τα ορυκτά καύσιμα και να αναπτύξουμε εναλλακτικές μορφές ενέργειας. Οι κυβερνήσεις το γνωρίζουν καλά. Διεθνείς ομάδες έχουν θεσμοθετηθεί ώστε να συνεχίζουν προς αυτόν το σκοπό. Θεωρείται ως μία από τις δυσκολότερες αλλαγές στην ιστορία της ανθρωπότητας, αλλά χρειάζεται να βρούμε τις πολιτικές και τους μηχανισμούς για να το πραγματοποιήσουμε, εάν θέλουμε να επιβιώσουμε. Αλλά αυτό δεν είναι το μόνο μας πρόβλημα. Ας υποθέσουμε ότι θα μπορούσαμε να σταματήσουμε όλες τις εκπομπές αύριο. Τα αέρια του θερμοκηπίου που έχουμε ήδη απελευθερώσει στην ατμόσφαιρα θα συνεχίσουν να θερμαίνουν τον πλανήτη για δεκαετίες και ίσως για αιώνες. Αυτή η θερμότητα θα λιώσει τους πάγους και τα παγωμένα εδάφη προκαλώντας άνοδο της στάθμης της θάλασσας και απελευθερώνοντας τεράστιες ποσότητες αερίων του θερμοκηπίου που είναι ακόμα παγωμένα. Αυτό είναι ένα δυνητικό πρόβλημα στην αρκτική, για παράδειγμα. Εκεί μια υπερποσότητα παγωμένου μεθανίου, ενός ισχυρού αερίου του θερμοκηπίου, μπορεί να απελευθερωθεί στην ατμόσφαιρα μέσω τήξης. Ένα τεράστιο ποσοστό άνθρακα είναι επίσης αποθηκευμένο στις παγωμένες ζώνες. Ένα θερμό περιβάλλον μπορεί να εκθέσει αυτόν τον άνθρακα σε πέψη από τα μικρόβια, και στην περίπτωση αυτή θα εκπνέεται ως διοξείδιο του άνθρακα. Εάν η πέψη συμβεί εκεί όπου δεν υπάρχει οξυγόνο, όπως στους υγρότοπους, αυτός ο άνθρακας θα απελευθερωθεί από άλλους μικροοργανισμούς ως μεθάνιο (NSIDC). Επομένως, το να μειώσουμε τις εκπομπές δεν είναι αρκετό. Μόλις το κάνουμε αυτό, πρέπει επίσης να σταματήσουμε την αύξηση της παγκόσμιας θερμοκρασίας. Εάν τώρα βρισκόμαστε περίπου στα 400ppm διοξειδίου του άνθρακα και θέλουμε γρήγορα να πάμε πίσω στα 350ppm, πρέπει να πάρουμε τον άνθρακα από την ατμόσφαιρα και να τον θάψουμε κάπου. Πρέπει να βρούμε ένα σπίτι μακράς διάρκειας για 50ppm διοξειδίου του άνθρακα, το οποίο είναι 106.25 γιγατόνοι άνθρακα. Μπορεί να γίνει αυτό;

Πού μπορούμε να βάλουμε όλον αυτόν τον άνθρακα;

Δεν μπορούμε να αποθηκεύσουμε με ασφάλεια τον ατμοσφαιρικό άνθρακα στο 70% του πλανήτη που είναι καλυμμένος με νερό. Το διοξείδιο του άνθρακα διαλύεται στο νερό και σχηματίζει ανθρακικό οξύ. Εδώ και δεκαετίες τώρα έχουμε δει τις επιπτώσεις της σταδιακά αυξανόμενης ποσότητας ανθρακικού οξέως στους ωκεανούς μας.

Το pH των ωκεανών έχει πέσει και η οξίνιση έχει σκοτώσει πολλές μορφές θαλάσσιας ζωής περιλαμβάνοντας οστρακοειδή, κοράλλια και πλαγκτόν (NOAA).

Η αποθήκευση του άνθρακα στο έδαφος, ωστόσο, είναι μία διαφορετική ιστορία. Έχει να κάνει με την προέλευση του άνθρακα και τη χρησιμότητά του. Οι επιστήμονες εκτιμούν ότι από την βιομηχανική επανάσταση ο καθαρισμός της γης με σκοπό τη γεωργία και οι καλλιέργειες έχουν απελευθερώσει 136 γιγατόνους άνθρακα από τα εδάφη, παγκοσμίως (Lal 2004). Επομένως, λόγω του καθαρισμού της γης και των οργωμένων καλλιεργειών, το έδαφος έχει χάσει περισσότερο άνθρακα από αυτόν που χρειάζεται να βάλουμε πίσω. Πόσο ακόμα άνθρακα περιέχει το έδαφος; Πολύ περισσότερο. Και πάλι, οι επιστήμονες εκτιμούν ότι στα 30 πρώτα εκατοστά (περίπου ένα πόδι) τα παγκόσμια εδάφη περιέχουν περίπου 700 γιγατόνους άνθρακα. Εάν μετρήσετε όλο το πάνω μέρος του εδάφους (μέχρι τα 3 πόδια βάθος) αυτός ο αριθμός υπερδιπλασιάζεται σε περίπου 1500 γιγατόνους (Powlson). Ξεκάθαρα το έδαφος, το οποίο κάποτε περιείχε όλον αυτόν τον άνθρακα, μπορεί να τον ξαναποθηκεύσει. Αλλά πριν προσπαθήσουμε να απαντήσουμε στην ερώτηση σχετικά με το να βάλουμε 106,25 γιγατόνους άνθρακα στο έδαφος, ας καταλάβουμε το έδαφος λίγο καλύτερα.

Η όρεξη του Εδάφους για Άνθρακα

Το έδαφος είναι κυριολεκτικά ζωντανό. Είναι γεμάτο βακτήρια, μύκητες, φύκη, πρωτόζωα, νηματώδη και πολλά, πολλά άλλα πλάσματα. Σε ένα κουταλάκι του γλυκού με υγιές χώμα, στην πραγματικότητα, υπάρχουν περισσότεροι μικροοργανισμοί από όσους είναι οι άνθρωποι πάνω στον πλανήτη (Hoogman). Βεβαίως, ως μορφές ζωής βασισμένες στον άνθρακα, αυτή η ομάδα απαιτεί συνεχόμενο εφοδιασμό με οργανική ύλη για να επιβιώσει. Αυτή η οργανική ύλη (από την οποία το 58% περίπου είναι άνθρακας) έχει με τη μορφή έμβιων οργανισμών, τα εξιδρώματά τους, που συνήθως είναι απλά σάκχαρα, και τα κατάλοιπά τους, συχνά υδατάνθρακες όπως κυτταρίνη. Αυτές οι ενώσεις είναι πλούσιες σε ενέργεια, εύκολα προσβάσιμες στους οργανισμούς, και αφομοιώνονται γρήγορα από τους μικροοργανισμούς του εδάφους. Η μισή ζωή των απλών σακχάρων στην επιφάνεια του εδάφους, για παράδειγμα, πριν καταναλωθούν, μπορεί να είναι λιγότερο από 1 ώρα (Dungait).

Αυτή η υπερβολική όρεξη των οργανισμών του εδάφους για άνθρακα σημαίνει ότι σε υγιή χώματα καταναλώνουν γρήγορα διάθεσιμη οργανική ύλη. Λαμβάνεται από τα σώματά τους ή καίγεται ως ενέργεια και εκπέμπεται ως διοξείδιο του άνθρακα. Οι μικροοργανισμοί που βρίσκονται σε ένα στρέμμα καλαμπόκι στην πραγματικότητα εκπνέουν περισσότερο διοξείδιο του άνθρακα από ότι 25 υγιείς άνδρες στη δουλειά τους (Albrecht). Μόλις αυτοί οι μικροοργανισμοί πεθάνουν ο άνθρακας στα σώματά τους γίνεται διαθέσιμος για άλλους οργανισμούς για να αποσυντεθεί και να διαφύγει μέσω της εκπνοής. Η δραστηριότητα των εδαφικών οργανισμών γίνεται σε εποχικούς αλλά και σε ημερήσιους κύκλους. Δεν είναι όλοι οι οργανισμοί δραστήριοι την ίδια χρονική στιγμή. Ανά πάσα στιγμή οι περισσότεροι είναι λίγο ενεργοί ή ακόμα και αδρανείς. Η διαθεσιμότητα της τροφής είναι ένας σημαντικός παράγοντας που επηρεάζει τον πληθυσμό και το επίπεδο της δραστηριότητας των εδαφικών οργανισμών (FAO).

Φωτοσύνθεση

Αλλά εάν ο άνθρακας καταναλώνεται τόσο γρήγορα στο έδαφος, τότε γιατί δεν εξαφανίζεται και τόσο γρήγορα; Η απάντηση είναι ότι τα φυτά ανανεώνουν συνεχώς τα αποθέματα άνθρακα. Από την εξέλιξή τους, 3.5 δις χρόνια πριν, τα φυτά έχουν αναπτυχθεί χρησιμοποιώντας την αξιοσημείωτη δύναμή τους να λαμβάνουν άνθρακα και να τον μετατρέπουν σε ζώσα ύλη. Η διαδικασία ονομάζεται, βεβαίως, φωτοσύνθεση και διδάσκεται στους περισσότερους μαθητές στα σχολεία. Λειτουργεί κάπως έτσι: το μόριο της χλωροφύλλης στα φύλλα των φυτών τους επιτρέπει να απορροφούν την ηλιακή ενέργεια και να την χρησιμοποιούν ώστε να διασπών μόρια νερού σε άτομα υδρογόνου και οξυγόνου. Στη συνέχεια το φυτό απελευθερώνει αυτά τα άτομα οξυγόνου ως μοριακό οξυγόνο (δύο άτομα οξυγόνου μαζί) πίσω στην ατμόσφαιρα και αποθηκεύει προσωρινά τα άτομα του υδρογόνου. Στο δεύτερο στάδιο της φωτοσύνθεσης τα άτομα του υδρογόνου δεσμεύονται σε μόρια διοξειδίου του άνθρακα (CO₂) για τη δημιουργία απλών υδατανθράκων όπως η γλυκόζη (C₆H₁₂O₆). Αυτή η διαδικασία, όπως όλες οι χημικές αντιδράσεις, είναι αντικείμενο της διαθεσιμότητας των στοιχείων. Εφόσον το διοξείδιο του άνθρακα υπάρχει στην ατμόσφαιρα σε τόσο χαμηλή συγκέντρωση (τώρα 0.04%) συνήθως είναι ο περιοριστικός παράγοντας στη διαδικασία (RSC). Σε μεγαλύτερες συγκεντρώσεις του αερίου, περισσότερη ενέργεια θα παραχθεί από το διαθέσιμο φως και περισσότερο νερό θα απορροφηθεί από το φυτό για να αυξήσει την παραγωγή υδατανθράκων (OnI). Σε άλλες περιπτώσεις, όπως κατά τη διάρκεια της νύχτας ή σε μία ξηρασία, το φως ή το νερό μπορεί να είναι ο περιοριστικός παράγοντας. Η τεράστια κλίμακα αυτής της διαδικασίας είναι εντυπωσιακή. Ένα στρέμμα σιταριού σε ένα χρόνο μπορεί να απορροφήσει 8,900 λίβρες άνθρακα με τη μορφή διοξειδίου του άνθρακα, που αν το συνδέσει κανείς με νερό φτιάχνει σάκχαρο. Το σάκχαρο αυτό θα ζυγίζει 22,000 λίβρες. Αυτή η διαδικασία είναι τόσο ενεργή που εκτιμάται πως το 15% όλου του ατμοσφαιρικού διοξειδίου του άνθρακα της γης κινείται μέσω των φωτοσυνθετικών οργανισμών κάθε χρόνο (SAPS).

Ριζικές Εκκρίσεις

Η φωτοσύνθεση, βεβαίως, δίνει στα φυτά και σε άλλους φωτοσυνθετικούς οργανισμούς (όπως τα μπλε φύκη) έναν σπουδαίο ρόλο στη ζωή. Όλα τα έμβια όντα βασίζονται στον άνθρακα, και χρειάζεται να καταλανώνουν άνθρακα για να επιβιώσουν. Εάν μπορείς να βγάξεις άνθρακα από αέρα κοπανιστό, όπως κάνουν τα φυτά, έχεις ένα επιβλητικό πλεονέκτημα. Αλλά ακόμα και αν δεν μπορείς να δημιουργήσεις στοιχεία άνθρακα, τα χρειάζεσαι. Πώς αλλιώς μπορούν οι μικροοργανισμοί του εδάφους να λάβουν άνθρακα; Μπορούν να τον ‘κερδίσουν’! Ένα από τα πιο αξιοσημείωτα πράγματα που μαθαίνουν οι επιστήμονες, που ασχολούνται με τα εδάφη, για τα φυτά και τους εδαφικούς οργανισμούς είναι ότι φαίνεται πως εξελίσσονται συνεργαζόμενοι δημιουργώντας μία αμοιβαία ευεργετική σχέση.

Όταν τα φυτά φωτοσυνθέτουν και δημιουργούν υδατάνθρακες στους χλωροπλάστες τους, χρησιμοποιούν κάποιες από αυτές τις ενώσεις για τα κύτταρα και τη δομή τους και κάποιες τις χρησιμοποιούν ως ενέργεια, για να ζήσουν. Αλλά χάνουν μέσω διαρροής ή αποπνέουν έναν σημαντικό αριθμό αυτών των ενώσεων ως ‘υγρό άνθρακα’ στο έδαφος (Jones SOS). Οι εκτιμήσεις ποικίλουν, αλλά ένα ποσοστό μεταξύ 20 και 40% του άνθρακα που έχει φτιάξει ένα φυτό μέσω της φωτοσύνθεσης,

μεταφέρεται στη ριζόσφαιρα (η ζώνη του εδάφους που περιβάλλει τις ρίζες) (Walker). Μα γιατί ένα φυτό να δώσει σάκχαρα μέσα στο χώμα;

Ως δόλωμα.

Πεινασμένα βακτήρια, μύκητες και άλλοι εδαφικοί οργανισμοί θα εμφανιστούν αμέσως και θα καταβροχθίσουν τις νόστιμες ριζικές εκκρίσεις που περιέχουν άνθρακα. Αλλά σύντομα θα θέλουν κι άλλο-και ο καλύτερος τρόπος, για να το πετύχουν είναι να βοηθήσουν το φυτό να φτιάξει κι άλλο. Εάν ένα φυτό είναι υγιές και δυνατό, μπορεί να αφιερώσει περισσότερους πόρους στη φωτοσύνθεση και να αποπνεύσει περισσότερο άνθρακα. Επομένως, τα μικρόβια βοηθούν το φυτό με διάφορους τρόπους ώστε να το βοηθήσουν να ευδοκιμήσει και να παράξει περισσότερο υγρό άνθρακα. Έχοντας μάθει περισσότερα σχετικά με τη βιοχημεία του εδάφους έχουμε ανακαλύψει ότι, μέσω των ριζικών εκκρίσεων, τα φυτά έχουν την δυνατότητα να ελέγχουν πολύ από το τοπικό περιβάλλον-να ρυθμίζουν την τοπική κοινωνία των εδαφικών μικροοργανισμών, να αντιμετωπίσουν φυτοφαγικές κυριαρχίες, να 'αγοράσουν' θρεπτικά συστατικά από μακριά, να μεταβάλουν τις χημικές και φυσικές ιδιότητες του εδάφους, και να αναστείλλουν την ανάπτυξη ανταγωνιστικών φυτών.

Μικροβιακή Συμβίωση

Θα πρέπει να αναφερθεί ότι πολλά από όσα ακολουθούν βρίσκονται ακόμα υπό μελέτη. Τα εδάφη είναι απλώς ένα πρώτο βήμα σχετικά με το πόσα έχουμε να μάθουμε. Η μικροβιακή κοινότητα ποικίλει σε μεγάλο βαθμό—μεταξύ 90 και 99% των μικροβίων δεν μπορούν ούτε να καλλιεργηθούν στα εργαστήρια με την παρούσα τεχνολογία (Jastrow). Περισσότεροι από το 90% των εδαφικών μικροοργανισμών είναι βακτήρια και μύκητες κατά μάζα. Η ακριβής αναλογία μεταξύ αυτών των δύο οργανισμών ποικίλει. Ανενόχλητα εδάφη όπως βοσκοτόπια και δάση θα επωφεληθούν τους μύκητες. Η καλλιέργεια ή η χρήση συνθετικών αζωτούχων λιπασμάτων, ωστόσο, μειώνει τον πληθυσμό των μυκήτων. Ένας σημαντικός παράγοντας της επιτυχίας των μικροβίων είναι εάν το άμεσο φυσικό τους περιβάλλον τους προστατεύει.

Η προστασία μπορεί να δοθεί από τον άργιλο, ο οποίος, σύμφωνα με τους επιστήμονες, ίσως περιέχει το βέλτιστο pH, απορροφά επιβλαβείς μεταβολήτες και/ή προλαμβάνει την αποξήρανση. Οι μικροί πόροι (για κρυσθώνες) στο τοπικό υπόστρωμα επίσης πιστεύεται ότι αποτρέπουν τη θήρευση των μικρότερων οργανισμών από τους μεγαλύτερους όπως τα πρωτόζωα (Six). Οι προστατευόμενοι οργανισμοί έχουν αναφερθεί ότι πεθαίνουν σε ποσοστό μικρότερο του 1% τη μέρα, ενώ περίπου 70% μη προστατευόμενων μπορούν να υποκύψουν καθημερινά.

Βακτήρια

Τα βακτήρια είναι τρομεροί χημικοί. Μία ομάδα αυτών, που ονομάζονται ριζοβακτήρια (PGPR), που προάγουν την ανάπτυξη, δουλεύουν μαγικά βοηθώντας τα φυτά μέσω ενός αριθμού βιοχημικών διαδικασιών. Μερικά ίσως 'διορθώσουν' το άζωτο στην ατμόσφαιρα, δίνοντάς του μια μορφή ώστε να είναι διαθέσιμο στα φυτά. Άλλα μπορούν να συνθέσουν φυτορμόνες που βελτιώνουν τα στάδια της ανάπτυξης των φυτών. Άλλα πάλι μπορούν να διαλύουν φωσφορικό οξύ, ένα σχετικά αδιάλυτο θρεπτικό συστατικό και να το κάνουν διαθέσιμο για την ανάπτυξη των φυτών, ή να παράγουν φυσικά μυκητοκτόνα για να βοηθούν τα φυτά να αντισταθούν σε μυκητιάσεις (Velivelli). Ένα PGPR έχει απομονωθεί από πολλά κοινά φυτά συμπεριλαμβανομένου του σιταριού, του λευκού τριφυλλίου και του σκόρδου. Αυτό το βακτήριο βασικά παράγει διαφορετικά αντιβιοτικά, ουσίες που καταπολεμούν τις παθογένειες και βοηθούν τα φυτά να αντισταθούν σε αρρώστειες (Timmusk).

Μύκητες

Ένα άλλο παράδειγμα μικροβιακής συμβίωσης είναι αυτή του δενδριώδους μυκορριζικού μύκητα. Σε αυτή τη συμβίωση ο μύκητας αποικεί σε δύο διαφορετικά περιβάλλοντα, στις ρίζες του φυτού-ξενιστή και στο περιβάλλον έδαφος, συνδέοντας τα δύο μέρη με τις μακριές υφές του. Αυτό επιτρέπει στο φυτό-ξενιστή να έχει

βελτιωμένη πρόσληψη νερού και θρεπτικών συστατικών που διεξάγεται κατά μήκος των υφών του. Αυτή η σχέση έχει τεκμηριωθεί σχετικά με πολλά θρεπτικά συστατικά συμπεριλαμβανομένων φωσφόρου, αζώτου, ψευδαργύρου και χαλκού (Jansa). Σύμφωνα με κάποιες εκτιμήσεις πάνω από το 90% των εδαφικών φυτών επωφελείται από αυτή τη συμβίωση με τους δενδριώδεις μυκορριζικούς μύκητες (Cairney).

Κάποιοι επιστήμονες εκτιμούν ότι το 85 με 90% των θρεπτικών συστατικών που χρειάζονται τα φυτά αποκτάται μέσω της ανταλλαγής άνθρακα όπου οι ριζικές εκκρίσεις παρέχουν μικροβιακή ενέργεια και παίρνουν σε αντάλλαγμα μέταλλα ή ιχνοστοιχεία που σε κάθε άλλη περίπτωση δεν είναι διαθέσιμα στα φυτά (Jones SOS).

Αυτές οι σχέσεις επωφελούν και τις δύο πλευρές, χωρίς κανένα κόστος. Η μόνη παραπάνω ενέργεια που χρειάζεται διατίθεται από το φως του ήλιου, το οποίο δίνει τη δυνατότητα στο πλέον ισχυρότερο φυτό να παράγει περισσότερες ενώσεις για να ενεργοποιεί και να στηρίζει τα μικρόβια.

Συσσωματώματα του Εδάφους

Μία σημαντική παράμετρος αυτής της ιστορίας είναι η δομή του εδάφους που ονομάζεται ‘συσσωμάτωμα’. Εάν πιέσεις μία χούφτα υγιές χώμα και μετά το απελευθερώσεις, θα πρέπει να μοιάζει με ένα τσαμπί μπιζέλια. Αυτά είναι τα συσσωματώματα. Εάν το χώμα παραμείνει σε σκληρά κομμάτια, τότε δεν υπάρχει σωστή συσσωμάτωση. Τα συσσωματώματα είναι αρκετά σταθερά ώστε να αντιστέκονται στη διάβρωση του αέρα και του νερού, αλλά είναι και αρκετά πορώδη ώστε να αφήνουν αέρα, νερό και ρίζες να κινούνται ανάμεσά τους.

Τα συσσωματώματα είναι η θεμελιώδης μονάδα για τη λειτουργία του εδάφους και παίζει παρόμοιο ρόλο με αυτόν των οξειδίων των ριζών στα όσπρια, δημιουργώντας ένα προστατευτικό περιβάλλον (Jones SOS). Οι υφές των μυκορριζικών μυκήτων βοηθούν το συσσωμάτωμα να δημιουργηθεί καθώς φτιάχνουν μία ‘κολλώδη τσάντα’ που τυλίγει και ανακατεύει τα σωματίδια του εδάφους (Jastrow). Υγρά εξιδρώματα άνθρακα από τις ρίζες των φυτών και των μυκήτων επιτρέπουν την παραγωγή κόλλας και ούλων ώστε να δημιουργηθούν τείχη από συσσωματώματα (Jones SOS).

Μέσα σε αυτά τα τείχη λαμβάνει χώρα μεγάλο μέρος βιολογικής διεργασίας, που και πάλι προωθείται από τα εξιδρώματα άνθρακα. Τα περισσότερα συσσωματώματα είναι συνδεδεμένα

με τις ρίζες των φυτών, συχνά λεπτές τροφοδοτικές ρίζες, είτε με δίκτυα μυκορριζικών μυκήτων που είναι πολύ μικρά, σχεδόν αόρατα. Η περιεκτικότητα σε υγρασία μέσα σε ένα συσσωμάτωμα είναι υψηλότερη σε σχέση με έξω, και επίσης υπάρχει μικρότερη πίεση

οξυγόνου στο εσωτερικό του. Αυτές είναι σημαντικές ιδιότητες που επιτρέπουν την παραγωγή αζώτου και τη λειτουργία άλλων βιοχημικών διεργασιών (Jones SOS).

Ένα από τα σημαντικότερα κολλώδη συστατικά που κρατάει τα συσσωματώματα ενωμένα είναι μία γλυκοπρωτεΐνη που ονομάζεται ‘glomalin’. Η πρωτεΐνη αυτή φαίνεται να είναι άρρηκτα συνδεδεμένη με τη σταθερότητα των συσσωματωμάτων του εδάφους (Nichols). Η πρωτεΐνη ‘glomalin’ ανακαλύφθηκε μόλις το 1996, και τώρα πιστεύεται, από κάποιους επιστήμονες, ότι έχει να κάνει με το 27% του άνθρακα στο έδαφος και έχει διάρκεια ζωής περισσότερο από 40 χρόνια, ανάλογα με τις συνθήκες. Η ‘Glomalin’ φαίνεται να παράγεται από δενδιώδεις μυκορριζικούς μύκητες χρησιμοποιώντας υγρό άνθρακα που αποπνέεται από τα φυτά. Ίσως επιτρέπει στις μυκητιακές υφές να δεσμεύουν ρίζες και σωματίδια του εδάφους, και να γεφυρώνει χώρους που βρίσκονται στον αέρα (Comis).

Τώρα που γνωρίζουμε περισσότερα για το έδαφος, και για το πώς ο άνθρακας διοχετεύεται μέσα σε αυτό από τα φυτά, για να ενθαρρύνει τις συμβιωτικές σχέσεις με τα μικρόβια, μπορούμε να θέσουμε το ερώτημα ξανά:

Πόσο γρήγορα μπορούμε να επαναφέρουμε αρκετό άνθρακα στο έδαφος ώστε να μετριάσουμε τα ακραία καιρικά φαινόμενα;

Είδαμε παραπάνω ότι 1ppm διοξειδίου του άνθρακα στην ατμόσφαιρα εμπεριέχει 2.125 γιγατόνους άνθρακα. Εάν έτσι έχουν τα πράγματα, και είμαστε στα 400ppm και χρειάζεται να επανέλθουμε στα 350, θα πρέπει να επαναφέρουμε 50ppm, ή αλλιώς 106.25 γιγατόνους άνθρακα, στο έδαφος.

Γνωρίζουμε ότι όλος αυτός ο άνθρακας χωράει στο έδαφος γιατί από εκεί προήλθε. Έχουμε βγάλει 136 γιγατόνους άνθρακα έξω από το έδαφος, μέσω της γεωργίας και του καθαρισμού της γης, από την έναρξη της βιομηχανικής εποχής.

Αλλά πόσο γρήγορα μπορούμε να βάλουμε αυτόν τον άνθρακα πίσω; Κατά τη διάρκεια των τελευταίων 20 χρόνων, από τότε που οι άνθρωποι ξεκίνησαν να σκέφτονται να επαναφέρουν τον άνθρακα πίσω στο έδαφος, πολλές μελέτες έχουν γίνει ώστε να μετρήσουν το ρυθμό με τον οποίο η φωτοσύνθεση μέσω της γεωργίας μπορεί να φτιάξει εδαφικό άνθρακα. Έχουμε ρίξει μια ματιά σε αυτές τις μελέτες, που πραγματοποιήθηκαν την τελευταία δεκαετία και που εξετάζουν διαφορετικά είδη εδαφών σε πέντε ηπείρους και διαφορετικές μορφές γεωργίας.

Οι μελέτες χρησιμοποιούν διάφορες μεθόδους και βέβαια αναφέρουν αποκλίνοντα αποτελέσματα. Αλλά διαβάζοντας αυτές τις μελέτες, αποδεικνύονται πολλά.

- Πολυετή αυξανόμενα συστήματα μπορούν να αποκαταστήσουν περισσότερο άνθρακα από τις περισσότερες γεωργικές μεθόδους. Όλες οι δοκιμές σε βοσκοτόπια αναφέρουν μεγάλες ποσότητες αποθηκευμένου άνθρακα, από 1.9 έως 3.2 μετρικούς τόνους ανά στρέμμα ετησίως, με μέσο όρο 2.6 τόνους (Machmuller, Rodale, IFOAM). Έχουμε βρει λίγες μελέτες πολυετών καλλιεργημένων συστημάτων τα οποία να κατασκευάζουν μεγάλες ποσότητες εδαφικού άνθρακα, αλλά υπάρχουν κάποιες ενδείξεις ότι οι πολυετείς ξυλώδεις καλλιέργειες μπορούν να το πράξουν. Μία μελέτη διαπίστωσε ότι τα υποβαθμισμένα, λόγω εξορύξεων, εδάφη κέρδιζαν 2.8 μετρικούς τόνους άνθρακα ανά στρέμμα ετησίως όταν καλλιεργούνταν με ψυχανθή και διαχειρίζονταν ως καλλιέργεια για την παραγωγή βιομάζας σε ένα σύστημα σύντομης εναλλαγής (Quinkenstein). Περισσότερες μελέτες πρέπει να γίνουν πριν μπορέσουμε να αξιολογήσουμε με σιγουριά τη συνεισφορά που έχουν οι πολυετείς ξυλώδεις ή οι ποώδεις καλλιέργειες ως προς την αποκατάσταση του άνθρακα στο έδαφος. Η χρήση συνθετικών χημικών λιπασμάτων, ειδικά αζώτου και φωσφόρου, θα μειώσουν σημαντικά ή σε πολλές περιπτώσεις θα μηδενίσουν κάθε συσσώρευση διοξειδίου του άνθρακα στο έδαφος. Η σωστή χρήση κοπριάς και κομπόστ, ωστόσο, δε φαίνεται να εμποδίζει την αύξηση του εδαφικού άνθρακα (Jones SOS, Rodale).

- Μελέτες που εξέτασαν καλλιέργειες σε σειρές, ακόμα και αν γίνονταν χωρίς τη χρήση συνθετικών χημικών, ανέφεραν κέρδη σε άνθρακα λιγότερα από εκείνα που εμφάνισαν μελέτες βοσκοτόπων, που κυμαίνονται από 0.23 έως 1.66 τόνους ανά στρέμμα, με μέσο όρο 0.55 τόνους (Khorramdel, IFOAM).

- Η ποιότητα των γεωργικών πρακτικών που μελετήθηκαν ποικίλει, ειδικά όσον αφορά στα παραδείγματα καλλιεργειών σε σειρές. Πρακτικώς όλες οι μελέτες καλλιεργειών σε σειρές που ανέφεραν σημαντικά κέρδη ήταν εκείνες στις οποίες χρησιμοποιούνταν κοπριά ή κομπόστ αντί για χημικά λιπάσματα.

Αλλά ο βαθμός στον οποίο χρησιμοποιήθηκαν άλλοι κανόνες της ‘κτίσης’ άνθρακα—όπως η συνεχής εδαφοκάλυψη με φυτά, χρησιμοποιώντας μία ευρεία μίξη καλλιεργειών, και η μείωση του οργώματος—δεν ήταν ξεκάθαρος. Αξίζει να σημειωθεί, ωστόσο, ότι στην περίπτωση που αναφέρθηκε το μεγαλύτερο κέρδος άνθρακα σε καλλιέργειες σειράς, αποκατάσταση δηλαδή 1.66 τόνων ανά στρέμμα καλλιέργειας καλαμποκιού, χρησιμοποιήθηκαν μέθοδοι βιολογικής γεωργίας χωρίς καθόλου όργωμα του εδάφους (Khorramdel).

Με βάση αυτά τα παραδείγματα, ας κάνουμε κάποιους πρόχειρους υπολογισμούς σχετικά με το κατά πόσο μπορεί η γεωργία να αποκαταστήσει 106.25 γιγατόνους άνθρακα στο έδαφος.

Σύμφωνα με τη Διεθνή Οργάνωση Τροφίμων και Γεωργίας υπάρχουν 8.3 δις στρέμματα βοσκοτόπων στον πλανήτη και 3.8 δις στρέμματα καλλιεργήσιμες εκτάσεις. Εάν ο καθένας είχε τη θέληση να χρησιμοποιήσει πρακτικές ‘κτίσης’ του άνθρακα σε αυτά τα στρέμματα, ετησίως οι βοσκότοποι, με μέσο όρο 2.6 τόνους ανά στρέμμα, θα μπορούσαν να αποκαταστήσουν 21.6 γιγατόνους και οι καλλιεργήσιμες εκτάσεις, με μέσο όρο 0.55 τόνους ανά στρέμμα, θα αποκαθιστούσαν 2.1 γιγατόνους. Το αποτέλεσμα θα ήταν 23.7 γιγατόνοι το χρόνο. Λόγω του ότι ενδιαφερόμαστε να αποκαταστήσουμε 106.25 γιγατόνους, αυτό σημαίνει ότι θα μπορούσαμε να το πετύχουμε μέσα σε 5 χρόνια!

Σταθερός Άνθρακας

Βεβαίως, εάν θέλουμε να αποκαταστήσουμε ένα μεγάλο ποσοστό άνθρακα στο έδαφος πρέπει να γίνει με τέτοιο τρόπο ώστε οι μικροοργανισμοί να μην μπορέσουν να τον καταναλώσουν. Διαφορετικά οι μικροοργανισμοί θα κάψουν αυτόν τον άνθρακα και θα τον μετατρέψουν σε διοξείδιο του άνθρακα που θα απελευθερωθεί ξανά πίσω στην ατμόσφαιρα. Πολλές μελέτες έχουν αναλύσει θεραπείες για την οργανική ύλη του εδάφους για να δουν εάν αυτές βοήθησαν ώστε να διαφυλαχθεί αυτή η οργανική ύλη. Μία δεκαετής μελέτης συνέκρινε υπολείμματα ενσωματωμένης οργανικής ύλης σε ένα οικόπεδο με ένα παράμοιο οικόπεδο από το οποίο απομακρύνθηκαν τα υπολείμματα αυτά. Μία άλλη μελέτη διήρκεσε 31 χρόνια και συνέκρινε διαφορετικές εναλλαγές καλλιέργειας και εφαρμογές λιπασμάτων σε διαφορετικά οικόπεδα. Τα αποτελέσματά της ποικίλουν δείχνοντας μέχρι και 50% αποκλίσεις σχετικά με το ποσοστό του άνθρακα που επέστρεφε στο έδαφος. Μία τρίτη μελέτη συνέκρινε ένα οικόπεδο όπου υπολείμματα καλλιεργειών καίγονταν για πολλά χρόνια με ένα άλλο οικόπεδο όπου τα υπολείμματα ενσωματώνονταν στο έδαφος. Στο τέλος κάθε μιας από αυτές τις μελέτες, οι ερευνητές που μέτρησαν την οργανική ύλη του εδάφους δε βρήκαν σημαντικές διαφορές μεταξύ των οικοπέδων παρά τις διαφορετικές μεθόδους διαχείρισης των τελευταίων (Kirkby).

Εάν τα μικρόβια απλώς πολλαπλασιαστούν και καταναλώσουν οποιαδήποτε ποσότητα άνθρακα είναι διαθέσιμη, δε θα μπορέσουμε ποτέ να 'κτίσουμε' υψηλότερα ποσοστά άνθρακα στο έδαφος. Επίσης, αν το δει κανείς με βάση την ιστορία, τα επίπεδα της οργανικής ύλης του εδάφους σε ποσοστά μεταξύ 6 έως 10% ήταν συνηθισμένα και σε κάποια σημεία έφταναν ακόμα και το 20% (LaSalle). Τι όμως απέτρεψε τους εδαφικούς μικροοργανισμούς από το να αποσυνθέσουν την οργανική ύλη στο παρελθόν;

Μία μορφή άνθρακα που μοιάζει να παραμένει σταθερή για χρόνια, ακόμα και για αιώνες, η οποία είναι το χούμους. Συντίθεται από σύνθετα μόρια που περιέχουν άνθρακα, αλλά δεν διασπώνται εύκολα από τους ζώντες οργανισμούς του εδάφους. Οι επιστήμονες δεν έχουν ξεκαθαρίσει ακόμα το πώς δημιουργείται το χούμους ή πώς αντιστέκεται στην αποσύνθεση.

Ορισμένοι πιστεύουν ότι το χούμους είναι μία πολύ απείθαρχη μορφή άνθρακα που δημιουργείται από τη μικροβιακή αποσύνθεση ριζών και παραγώγων των ριζών (Ontl).

Κάποιοι άλλοι πιστεύουν ότι οι μηχανισμοί που επιτρέπουν τη φυσική συντήρηση του εδαφικού άνθρακα αφορούν είτε στην ικανότητά του να αντισταθεί στις επιθέσεις των μικροβιακών ενζύμων μέσω της 'απορρόφησης' σε οργανικά άλατα, ή αφορούν στην προστασία του μέσα στα συσσωματώματα του εδάφους. Το πρώτο προτείνει χημικό δεσμό με τα σωματίδια αργίλου ή με τα κολλοειδή του εδάφους που είναι αρκετά ισχυρά ώστε να αντισταθούν σε κάποια επίθεση απειλητικών ενζύμων. Το δεύτερο ίσως προστατεύει τα μόρια από μια επίθεση ενζύμων κρατώντας το οξυγόνο ή άλλα αποσυντεθειμένα στοιχεία έξω από το συσσωμάτωμα του εδάφους. Παρόλα αυτά μία άλλη θεωρία λέει πως ο λόγος που ο άνθρακας δεν έχει πρόσβαση στις επιθέσεις των μικροβίων οφείλεται στο ότι βρίσκεται βαθιά μέσα στο έδαφος (Dungait).

Ωστόσο, μία άποψη αναπτύσσεται μεταξύ κάποιων επιστημόνων, ότι ο σταθερός άνθρακας δεν παράγεται από υπολείμματα εδαφικής οργανικής ύλης, αλλά από τον ίδιο τον υγρό άνθρακα. Κατά αυτή την άποψη το χούμους είναι είναι δημιούργημα των εδαφικών οργανισμών, παρά ένα προϊόν αποσυντιθέμενης οργανικής ύλης (Meléndrez, Jones letter).

Οι μελέτες που υποστηρίζουν αυτή την άποψη προτείνουν ότι το χούμους είναι μία σύνθεση οργανική και μεταλλική που συντίθεται από 60% άνθρακα, 6 έως 8% άζωτο, και συνδέεται χημικά με τα ορυκτά του εδάφους, όπως φώσφορος, θείο, σίδηρος και αλουμίνιο. Υπάρχουν ακόμα κάποιες ενδείξεις ότι η σύνθεση του χούμους βασίζεται σε συγκεκριμένες αναλογίες των βασικών συστατικών του, όχι μόνο μεταξύ άνθρακα και αζώτου, αλλά και μεταξύ άνθρακα και θείου (Kirkby). Ένας ερευνητής υποστηρίζει ότι το χούμους μπορεί να σχηματιστεί μόνο σε συγκεκριμένες περιοχές του εδάφους, όπως τα συσσωματώματα όπου το άζωτο είναι ενεργό και ο φώσφορος και το θείο διαλύονται (Jones letter).

Πώς μπορούμε να Αποκαταστήσουμε και να Σταθεροποιήσουμε τον Εδαφικό Άνθρακα;

Μόλις οι επιστήμονες του εδάφους μάθουν περισσότερα για τα συστατικά του και τις μικροβιακές διαδικασίες που σχηματίζουν το χούμους, θα είμαστε σε θέση να καταλάβουμε καλύτερα πώς μπορούμε να βοηθήσουμε στη δημιουργία του. Αλλά υπάρχουν αποδείξεις σύμφωνα με τις οποίες η ‘κτίση’ εδαφικής οργανικής ύλης δεν είναι απλώς μία διαδικασία κατά την οποία προσθέτεις οργανική ύλη στο χώμα σου. Αυτό θα δημιουργήσει μια ακμάζουσα κοινότητα μικροβίων και θα κάνει τις καλλιέργειες να ανθίσουν. Αλλά για να ‘κτίσουμε’ άνθρακα μακροπρόθεσμα, πρέπει να κάνουμε περισσότερα.

Αυτό που πρέπει να μάθουμε είναι το εξής: Τι πρακτικές πρέπει να χρησιμοποιήσουμε ώστε να ‘κτίσουμε’ και να διατηρήσουμε τον εδαφικό άνθρακα στο έδαφός μας;

Κράτα το Έδαφος Φυτεμένο

Ίσως το πιο σημαντικό πρώτο μάθημα είναι ότι το γυμνό χώμα οξειδώνει τον άνθρακα, ενώ τα φυτά τον προστατεύουν. Τα πράσινα φυτά δημιουργούν ένα εμπόδιο μεταξύ αέρα και εδάφους, μειώνοντας το ρυθμό της διαδικασίας εκπομπής του άνθρακα από τα μικρόβια.

Η διάβρωση λόγω του αέρα και του νερού είναι επίσης ένας μεγάλος εχθρός του εδαφικού άνθρακα, και τα φυτά είναι η καλύτερη προστασία από τη διάβρωση. Τέλος, τα φυτά δεν προστατεύουν μονάχα τον εδαφικό άνθρακα, αλλά επίσης προσθέτουν άνθρακα μέσω της διαδικασίας της φωτοσύνθεσης.

Με απλά λόγια, κάθε τετραγωνικό μέτρο εδάφους που μένει γυμνό—είτε είναι μεταξύ σειρών καλλιέργειας, επειδή οργώνεις ένα χωράφι, είτε έχεις μόλις μαζέψει τη σοδειά σου και το έχεις αφήσει για αγρανάπαυση—μειώνει τα αποθέματά σου σε άνθρακα.

Πρακτικές όπως η χειμερινή βλάστηση ώστε να καλύψουμε το έδαφος και όπως η σπορά με όσπρια και η εδαφοκάλυψη είναι σημαντικές ώστε μόλις μαζευτεί η σοδειά να υπάρχει μία παραγωγική κάλυψη που να αυξάνει τα επίπεδα εδαφικού άνθρακα, να προστατεύει από τη διάβρωση του εδάφους, να ταιΐζει του εδαφικούς οργανισμούς και να αυξάνει τη συσσώματωση (Azeez)

Ελαχιστοποίηση του Οργώματος

Μία από τις δυσκολότερες πρακτικές για την αποκατάσταση του άνθρακα που έχουν να ακολουθήσουν οι βιολογικοί καλλιεργητές είναι αυτή της μείωσης του οργώματος. Λόγω του ότι οι βιολογικοί καλλιεργητές δε χρησιμοποιούν ζιζανιοκτόνα, το όργωμα του εδάφους είναι το μεγάλο τους όπλο κατά των άγριων χόρτων. Αλλά το όργωμα προκαλεί αρκετές επιβλαβείς επιπτώσεις. Πρώτον, ανακατεύει το χώμα και το αφήνει εκτεθειμένο στον αέρα, οξειδώνοντας έτσι τον εδαφικό άνθρακα στο συγκεκριμένο σημείο. Δεύτερον, το όργωμα τρυπάει και καταστρέφει τις υφές των μυκορριζικών μυκήτων, των μικροβίων δηλαδή που είναι υπεύθυνα για μεγάλο μέρος της συμβίωσης η οποία είναι τόσο σημαντική για την ανάπτυξη των φυτών και την

αυξημένη έκκριση του υγρού άνθρακα. Οι υφές είναι λεπτές δέσμες σε δίκτυο που διαπερνούν το έδαφος και μεταφέρουν νερό και θρεπτικά συστατικά στις ρίζες των φυτών. Μελέτες αναφέρουν αυξήσεις στη μυκητιακή βιομάζα σε οποιοδήποτε σημείο υπάρχει μείωση πρακτικών οργώματος (Six). Τρίτον, τα σύνθετα εδαφικά συσσωματώματα που έχουν δημιουργηθεί από μικροβιακές εκκρίσεις για να προστατέψουν σημαντικούς χημικούς μετασχηματισμούς, όπως είναι η δημιουργία αζώτου και η σταθεροποίηση άνθρακα, θα καταστραφούν μέσω του οργώματος. Τέταρτον, το όργωμα τείνει να καταστρέφει τα πορώδη σημεία του εδάφους, τα οποία είναι ζωτικής σημασίας, εφόσον συγκρατούν αέρα και νερό, που επιτρέπουν στα μικρόβια να ζουν. Τέλος, το όργωμα καθεαυτό γίνεται συχνά από εξοπλισμό που καίει ορυκτά καύσιμα απελευθερώνοντας κατά τη διάρκεια της λειτουργίας του αέρια του θερμοκηπίου στην ατμόσφαιρα.

Μελέτες αναφέρουν ότι τα βιολογικά συστήματα γεωργίας με τα υψηλότερα επίπεδα αποκατάστασης άνθρακα είναι εκείνα που αποφεύγουν πρακτικές οργώματος και προσθέτουν πολλή οργανική ύλη—όπως κοπριά από αγελάδες—στο έδαφος (Khorramdel). Οι επικριτές του οργώματος αναφέρουν ότι ακόμα και ένα όργωμα μετά από αρκετά χρόνια μπορεί να έχει ως αποτέλεσμα την απώλεια του περισσότερου άνθρακα που βρίσκεται στο έδαφος (Lal 2007).

Υπάρχουν κάποιες μελέτες που αναφέρουν πως τα κέρδη εδαφικού άνθρακα λόγω της μείωσης πρακτικών οργώματος δεν αποθηκεύονται βαθειά μέσα στο έδαφος, αλλά παραμένουν κοντά στην επιφάνεια του εδάφους.

Αυτό είναι πρόβλημα, λένε, γιατί η καλύτερη ευκαιρία για τη δημιουργία χούμους και σταθεροποίησης μακροχρόνιου άνθρακα φαίνεται να βρίσκεται βαθύτερα στο έδαφος, πιο κοντά στον άργιλο και τα ορυκτά με τα οποία ο άνθρακας μπορεί να συνδεθεί ώστε να αντισταθεί στην οξειδωση. Πιστεύουν επίσης ότι ο τύπος της εδαφικής οργανικής ύλης που παράγεται λόγω της μείωσης του οργώματος ενσωματώνεται μόνο κοντά στην επιφάνεια του εδάφους και μπορεί να οξειδωθεί εύκολα σε ενδεχόμενη διαταραχή (Azeez).

Μερικές μελέτες που επισημαίνουν πως το ‘κτίσιμο’ της οργανικής ύλης -χωρίς όργωμα- λαμβάνει χώρα στην επιφάνεια του εδάφους, αναφέρουν, επίσης, μία αργή εμβάθυνση της οργανικής ύλης μετά από 10 με 15 χρόνια μέσα στο σύστημα, προφανώς λόγω αφενός της μειωμένης αποσύνθεσης της οργανικής ύλης και αφετέρου της μακροχρόνιας ανάμειξης του χώματος από μεγαλύτερους εδαφικούς οργανισμούς (Rowlson).

Υπάρχουν αρκετά συστήματα και συσκευές που σχεδιάζονται αυτή τη στιγμή για τους βιολογικούς καλλιεργητές ώστε να μειώσουν τις πρακτικές οργώματος.

Διαθέσιμοι είναι κάποιοι ‘φυτευτές’ που ανοίγουν το έδαφος τόσο ώστε να μπει μόνο ο σπόρος ή το σπορόφυτο και στη συνέχεια το κλείνουν. Έχουν σχεδιαστεί επίσης Roller-crimpers οι οποίοι κυλούν από πάνω και δημιουργούν κάποιες πτυχώσεις σε σημεία με εδαφοκάλυψη -πριν την ανθοφορία- και μεν σκοτώνοντας με αυτόν τον τρόπο τα άνθη, χωρίς δε να ενοχλούν το έδαφος. Στη συνέχεια, η καλλιέργεια φυτεύεται ανάμεσα στα καλάμια της εδαφοκάλυψης. Αναμφίβολα θα αναπτυχθούν πολλές ακόμη καλές ιδέες με σκοπό τη διευκόλυνση των βιολογικών καλλιεργητών στη μάχη τους με τα ζιζάνια. Είναι βέβαιο ότι υπάρχει ανάγκη για μεγαλύτερη πρόοδο στον τομέα αυτό.

Μία εναλλακτική μέθοδος για τον έλεγχο των ζιζανίων είναι η επίστρωση, η οποία εμποδίζει το φως του ήλιου να φτάσει στα ζιζάνια. Τα πιο απλά είδη στρώματος που μπορεί κάποιος να χρησιμοποιήσει είναι τα κομμάτια πλαστικού. Η παραγωγή τους, ωστόσο, απαιτεί συνήθως την καύση ορυκτών καυσίμων και η αφαίρεσή τους μπορεί να είναι δύσκολη και χρονοβόρος διαδικασία. Η στρώση με οργανικά υλικά όπως το άχυρο ή τα τεμαχισμένα υπολείμματα καλλιεργειών προσθέτει αποσυντεθειμένη οργανική ύλη στο έδαφος και ‘κτίζει’ άνθρακα, αλλά σε βιολογικώς ενεργά εδάφη απαιτεί συνεχείς προσθήκες υλικών τα οποία μπορεί να είναι ακριβά και επίσης να απαιτούν πολύ χρόνο. Το κύριο αρνητικό στοιχείο της επίστρωσης, ωστόσο, είναι ότι δεν απορροφά άνθρακα από την ατμόσφαιρα για να το φτιάξει μέσα στο έδαφος μέσω της φωτοσύνθεσης, όπως δηλαδή κάνουν τα φυτά.

Καλλιέργειες Εδαφοκάλυψης

Οι καλλιέργειες εδαφοκάλυψης είναι υψίστης σημασίας σε οποιαδήποτε στρατηγική βιολογικής γεωργίας που θέλει να μειώσει ή να ελαχιστοποιήσει πρακτικές οργώματος, να ελέγξει τα ζιζάνια και να ‘κτίσει’ εδαφικό άνθρακα. Οι ιδανικοί υποψήφιοι για εδαφοκάλυψη μπορούν να σκοτωθούν

(από τον παγετό, το κούρεμα του γρασιδιού, τη σύνθλιψη) πριν ανθήσουν, ώστε να μην παράξουν σπόρο και γίνουν ζιζάνια και οι ίδιοι.

Η φωτοσύνθεσή τους είναι μία σημαντική πηγή εδαφικού άνθρακα κατά τη διάρκεια της ζωής τους, και η βιομάζα τους γίνεται διαθέσιμη μετά το θάνατό τους. Τα όσπρια είναι σημαντικά για ένα μείγμα εδαφοκάλυψης, καθώς είναι φυτά με βαθιές ρίζες όπως τα δημητριακά σικάλεως τα οποία φέρνουν θρεπτικά συστατικά από βαθειά και προσθέτουν άζωτο και άνθρακα σε σημεία που τα τελευταία λείπουν.

Εκτός από την αύξηση του εδαφικού άνθρακα, οι καλλιέργειες που χρησιμοποιούνται για εδαφοκάλυψη μειώνουν τις διαρροές αζώτου και αποθαρρύνουν τη διάβρωση του αέρα και του νερού.

Βελτιώνουν τη δομή του εδάφους, αυξάνουν την το φίλτράρισμα του νερού και μειώνουν την εξάτμιση. Παρέχουν, επίσης, υψηλότερα επίπεδα λιγνίνης σε σύγκριση με τα περισσότερα φυτά, στηρίζοντας έτσι την ανάπτυξη των μυκορριζικών μυκήτων και των προϊόντων των μυκήτων όπως είναι η πρωτεΐνη ‘glomalin’ που προωθεί τους δεσμούς μεταξύ των σωματιδίων του εδάφους (Rodale, Azeez).

Ποικιλότητα και αμειψισπορά

Ένα από τα κλειδιά για την υποστήριξη της μικροβιακής ζωής στο έδαφος είναι να ενθαρρύνεις την ποικιλότητα. Μία αρχή της φύσης φαίνεται να είναι ότι όσο περισσότερη βιοποικιλότητα υπάρχει σε ένα σύστημα, τόσο περισσότερο υγιές και ανθεκτικό είναι. Αυτό ισχύει και όταν ‘κτίζουμε’ εδαφικό άνθρακα (Lal 2004). Κάτω από το έδαφος, η βιοποικιλότητα επιτρέπει σε κάθε μικρόβιο να καλύψει ένα κενό στο τροφικό πλέγμα— μύκητες, φύκη, βακτήρια, σκουλήκια, τερμίτες, μυρμήγκια, νηματώδη, σκαθάρια κοπριάς κ.ά.

Πάνω από το έδαφος, οι μονοκαλλιέργειες προσκαλούν παράσιτα και αρρώστιες ενώ οι ποικιλότητα των καλλιεργειών εμποδίζει την ανάπτυξη και την εξάπλωση αυτών των προσβολών. Αυτό ισχύει τόσο για τις κανονικές καλλιέργειες όσο και για τις καλλιέργειες εδαφοκάλυψης, οι οποίες θα πρέπει να εμπεριέχουν πολλά διαφορετικά φυτά— φύλλα και γρασίδι, όσπρια, κρύο και ζεστό καιρό, υγρό και ξηρό. Ασχέτως των συνθηκών, κάποια θα πρέπει να μπορούν να αναπτυχθούν και να φωτοσυνθέσουν. Οι μεικτές καλλιέργειες εδαφοκάλυψης περιέχουν πολλές ποικιλίες σπόρων και είναι τώρα διαθέσιμες για αγορά ώστε να διασφαλίσουν τη βιοποικιλότητα.

Η εναλλαγή των καλλιεργειών επίσης επωφελεί τη βιοποικιλότητα. Οι εναλλαγές με συνεχείς καλλιέργειες εδαφοκάλυψης μειώνουν την ανάγκη για περιόδους αγρανάπαυσης, για να ανανεώσουν τη γη και να αυξήσουν τη δραστηριότητα των ενζύμων του εδάφους. Η μικροβιακή βιομάζα είναι μεγαλύτερη όταν όσπρια περιλαμβάνονται στις εναλλαγές αυτές (Six).

Η βόσκηση από μηρυκαστικά είναι ένας ακόμη συνήθης τρόπος για βιολογικά αγροκτήματα ώστε να βελτιώσουν τα επίπεδα της εδαφικής οργανικής ύλης. Η βόσκηση από μόνη της προωθεί την ανάπτυξη, μετά γίνεται αποφολίδωση από τις ρίζες του γρασιδιού—το οποίο παρέχει άνθρακα στους

πεινασμένους εδαφικούς μικροοργανισμούς. Οι βοσκότοποι και τα πολυετή συστήματα, εάν διαχειριστούν σωστά, μπορούν να αυξήσουν πάρα πολύ την οργανική τους ύλη.

Η κοπριά των ζώων είναι ένα από τα πολυτιμότερα προϊόντα των μικρών αγροκτημάτων, έτσι όπως είναι πλούσιο σε άνθρακα και ζωντανούς οργανισμούς που εμβολιάζουν το έδαφος με βιολογική ποικιλότητα.

Όχι Χημικά

Η χρήση συνθετικών χημικών στη γεωργία είναι καταστροφική για τον εδαφικό άνθρακα. Οι τοξίνες, όπως τα παρασιτοκτόνα, είναι θανατηφόρες για τους εδαφικούς οργανισμούς, οι οποίοι παίζουν καθοριστικό ρόλο για την ενίσχυση της ζωτικότητας των φυτών και της φωτοσύνθεσης. Τα λιπάσματα έχουν επίσης αναφερθεί πως μειώνουν την οργανική ύλη του εδάφους. Οι δοκιμές με χρήση κομπόστ που έκανε το Ινστιτούτο Ροντάλε έδειξαν πως η χρήση κοπριάς σε καλλιέργειες εναλλαγής για διάστημα 10 χρόνων είχε ως αποτέλεσμα κέρδη άνθρακα μέχρι και 1 τόνο ανά στρέμμα ετησίως. Η χρήση συνθετικών λιπασμάτων χωρίς εναλλαγές στην καλλιέργεια, ωστόσο, είχαν ως αποτέλεσμα απώλειες άνθρακα της τάξεως των 0.15 τόνων ανά στρέμμα ετησίως (LaSalle).

Τα οικόπεδα Μόροου στο Πανεπιστήμιο του Ιλινόις απετέλεσαν πεδίο δράσης ενός από τα πιο μακροχρόνια παραδείγματα αγροκτημάτων στην ιστορία. Οι ερευνητές ανέλυσαν δεδομένα σε διάστημα 50 χρόνων σε χωράφια όπου είχαν προστεθεί 90 έως 124 τόνοι υπολειμμάτων άνθρακα ανά στρέμμα, που χρησιμοποιούσαν όμως και συνθετικά αζωτούχα λιπάσματα. Αυτά τα οικόπεδα έχασαν βασικά περίπου 5 τόνους εδαφικής οργανικής ύλης ανά στρέμμα κατά τη διάρκεια του πειράματος (Khan).

Μία πιθανή αιτία των αρνητικών επιπτώσεων των συνθετικών λιπασμάτων στον εδαφικό άνθρακα είναι το γεγονός ότι μειώνει το μέγεθος και το βάθος των φυτικών ριζών, διότι συγκεντρώνεται στην επιφάνεια του εδάφους και δεν εξαπλώνεται μέσα στο χώμα όπως θα έκαναν τα θρεπτικά συστατικά των οσπρίων, τα ορυκτά μέταλλα ή άλλες φυσικές πηγές (Azeez). Ένας άλλος λόγος ίσως είναι η επίδραση πάνω στο φυτό όπου απορροφά ιόντα αμμωνίας κάτι το οποίο προκαλεί την

απελευθέρωση ιόντων υδρογόνου, τα οποία καθιστούν όξινο το έδαφος (Hepperly). Μία τρίτη πιθανότητα είναι ότι η διαθεσιμότητα ελεύθερου αζώτου προκαλεί στα φυτά την έκκριση μικρότερης ποσότητας υγρού άνθρακα, ώστε να αποκτήσουν άζωτο από τα μικρόβια.

Εάν χρησιμοποιείς, ωστόσο, συνθετικά αζωτούχα λιπάσματα, και θέλεις να σταματήσεις τη χρήση τους ίσως θα ήταν σοφό να τα σταματήσεις βαθμιαία μέσα σε 3 με 4 χρόνια, επειδή θα πάρει χρόνο στα βακτήρια που φτιάχνουν άζωτο να εμφανιστούν στο έδαφός σου. Σταματώντας αυτές τις πρακτικές ίσως έχει απογοητευτικά αποτελέσματα τα πρώτα χρόνια (Jones SOS).

Βόσκησι

Όπως είπαμε και νωρίτερα, η σωστή βόσκησι αποτελεί μία σημαντική μέθοδο της γεωργίας ως προς την αποκατάσταση του εδαφικού άνθρακα. Μία πρόσφατη μελέτη αλλαγής χρήσης γης από καλλιέργειες σειράς σε εντατική βόσκησι έδειξε μία αξιοσημείωτη συγκέντρωση άνθρακα της τάξεως των 3.24 τόνων ανά στρέμμα ετησίως. Αυτό βρίσκεται στην περιοχή των βαθιά ριζωμένων Αφρικανικών χόρτων που φυτεύονται στις σαβάνες της Λατινικής Αμερικής και οι οποίες είχαν κέρδη της τάξεως των 2.87 τόνων άνθρακα ανά στρέμμα ετησίως (Machmuller).

Μέρος της αποτελεσματικότητας των βοσκοτόπων στο να φτιάχνουν άνθρακα, σχετίζεται προφανώς με το γεγονός ότι αρκετά είδη χλωρίδας χρησιμοποιούν τη C4 φωτοσυνθετική διαδικασία, η οποία εξελίχθηκε ξεχωριστά από την πιο κοινή C3 διαδικασία. Ειδικά προσαρμοσμένη σε συνθήκες με λίγο νερό, πολύ φως και υψηλές θερμοκρασίες, η C4 φωτοσυνθετική διαδικασία είναι υπεύθυνη για το 25 με 30% όλου του άνθρακα στη γη, παρά το γεγονός ότι χρησιμοποιείται μόνο από το 3% των ανθοφόρων φυτών (Muller).

Κάποιοι άνθρωποι εκφράζουν ανησυχία για την αύξηση του αριθμού των μηρυκαστικών ζώων, επειδή κατά τη διάρκεια της πέψης χρησιμοποιούν βακτήρια στα στομάχια τους που μετατρέπονται σε μεθάνιο, ένα αέριο του θερμοκηπίου το οποίο στη συνέχεια το ζώο εκπνέει. Με κάποια οικολογική προσέγγιση αυτό δεν αποτελεί πρόβλημα καθώς τα μεθανοτροφικά βακτήρια, τα οποία ζουν σε ποικίλα ενδιαιτήματα και τρέφονται μόνο με μεθάνιο, θα το μεταβολίσουν γρήγορα. Πραγματικά, μετά την πετρελαιοκηλίδα στον κόλπο του Μεξικού, περίπου 220,000 τόνοι μεθανίου βγήκαν στην επιφάνεια, αλλά καταναλώθηκαν άμεσα από έναν ταχύτατα αυξανόμενο πληθυσμό μεθανοτροφικών βακτηρίων. Μόνο στις περιπτώσεις όπου τα μηρυκαστικά βρίσκονται μακριά από βιολογικά ενεργό έδαφος ή νερό, όπως στα κτηνοτροφεία ή σε οικόπεδα που έχουν χρησιμοποιηθεί ευρέως συνθετικά χημικά, οι εκπομπές μεθανίου θα μπορούσαν να μας προκαλέσουν ανησυχία (Jones SOS).

Δάση

Η μετατροπή υποβαθμισμένων εδαφών σε δάση έχει προταθεί ως ένας τρόπος ενίσχυσης του εδαφικού άνθρακα. Όπως με άλλα φυτά, ο ρυθμός αποκατάστασης του δασικού εδαφικού άνθρακα εξαρτάται από το κλίμα, τον τύπο του εδάφους, τα είδη και τα θρεπτικά συστατικά που το διαχειρίζονται.

Οι μελέτες που έχουμε βρει σχετικά με τον εδαφικό άνθρακα στα δάση δείχνουν γενικώς λίγα κέρδη εδαφικού άνθρακα ή σε κάποιες περιπτώσεις ακόμη και καθαρή ζημία (Lal 2004). Υπάρχουν κάποιες μελέτες, ωστόσο, που προτείνουν ότι η σωστή διαχείριση των ξυλωδών φυτών θα μπορούσε επίσης να αποφέρει μεγάλα κέρδη εδαφικού άνθρακα (Quinkenstein).

Επίσης, η αναδάσωση μπορεί να οδηγήσει σε άλλες περιπτώσεις σε πιο ήπιο κλίμα και σε αποκατάσταση του κύκλου του νερού.

Βιοκάρβουνο

Η δυνητικότητα της χρήσης υπολειμμάτων κάρβουνου ώστε να ενισχύσει τη γονιμότητα του εδάφους, ενώ αποκαθίσταται άνθρακας στο έδαφος, έχει πρόσφατα τραβήξει το ενδιαφέρον πολλών. Παίρνοντας

ως χαρακτηριστικό παράδειγμα τα *terra preta* εδάφη του Αμαζονίου, όπου μαύρα εδάφη ενισχύθηκαν από τον άνθρωπο με κάρβουνο πάνω από 800 χρόνια πριν, βλέπουμε τη μεγάλη γονιμότητα που τα εδάφη αυτά έχουν μέχρι και σήμερα.

Άλλα εδάφη που εμπεριέχουν κάρβουνο είναι τα Mollisols, βοσκοτόπια στη Βόρεια Αμερική, την Ουκρανία, τη Ρωσία, την Αργεντινή και την Ουρουγουάη τα οποία παράγουν μία σημαντική μερίδα της παγκόσμιας σοδειάς σιτηρών. Το κάρβουνο στα εδάφη αυτά έχει αποδοθεί στις πυρκαγιές που συνέβησαν πολλά χρόνια πριν. Η ακριβής χημική σύσταση αυτών των υπολειμμάτων κάρβουνου μόλις πρόσφατα ερευνήθηκε. Η σταθερότητά τους και η γονιμότητά τους σχετίζεται ίσως είτε με προστατευόμενα ενδιαιτήματα που οι εσωτερικοί τους χώροι παρέχουν στα μικρόβια, ή με τη μοριακή δομή του κάρβουνου, το οποίο δημιουργεί ένα μεγάλο χώρο για ανταλλαγή κατιόντων (η ικανότητα να κρατάς ιόντα ορυκτών μετάλλων που χρειάζονται για τη θρέψη των φυτών) (Mao).

Παρόλο που το βιοκάρβουνο δεν έχει μελετηθεί εκτενώς, οι ερευνητές προτείνουν ότι η βιομάζα του άνθρακα, που μετατρέπεται σε βιοκάρβουνο, μπορεί να κρατήσει περίπου το 50% του αρχικού άνθρακα στο έδαφος για μακρά χρονικά διαστήματα, οδηγώντας σε ένα πιο σταθερό και μακράς διάρκειας εδαφικό άνθρακα, σε σύγκριση με την περίπτωση της άμεσης εφαρμογής στο έδαφος απανθρακωμένου άνθρακα (Dungait).

Βεβαίως, οποιαδήποτε μετατροπή άνθρακα σε βιοκάρβουνο θα πρέπει να εμπεριέχει μία εκτίμηση για τον κύκλο ζωής του άνθρακα, τις πηγές του άνθρακα, τις εφαρμογές του στη γη, και την ενέργεια της επεξεργασίας και εφαρμογής του. Υπάρχουν κάποιες ενδείξεις, ωστόσο, ότι το βιοκάρβουνο είναι ένας καλός τρόπος να παρέχει κανείς πρόσθετη σταθερότητα σε ασταθή ή εύθραυστη οργανική ύλη στο χώμα (Powlson).

Πλεονεκτήματα από την Αποκατάσταση του Άνθρακα στο Έδαφος

Τα πλεονεκτήματα της ‘κτίσης’ οργανικής ύλης στο χώμα σου δεν περιορίζεται μόνο στο γεγονός ότι μετακινείς διοξείδιο του άνθρακα από την ατμόσφαιρα.

Νερό

Η αύξηση του εδαφικού άνθρακα ‘κτίζει’ συσσωματώματα, τα οποία με τη σειρά τους δρουν ως σφουγγάρια και βοηθούν το έδαφος να κρατήσει νερό, εφοδιάζοντας έτσι τις ρίζες των φυτών με αποθεματικά νερού -σε περιόδους όπου τα επίπεδα βροχόπτωσης είναι χαμηλά- και με έναν έτοιμο ‘νεροχύτη’ που θα απορροφήσει το περίσσειμα νερού σε περιόδους υψηλής βροχόπτωσης. Αυτή η ικανότητα να συγκρατούν νερό μειώνει επίσης τον κίνδυνο διάβρωσης και μπορεί να οδηγήσει σε βελτιωμένη ποιότητα σοδειάς. Μερικοί παραγωγοί πιστεύουν ότι τα συντροφικά φυτά ή οι καλλιέργειες εδαφοκάλυψης θα χρησιμοποιήσουν όλο το διαθέσιμο νερό ή τα θρεπτικά συστατικά. Αντιθέτως, τα υποστηρικτικά μικρόβια του εδάφους με μία ποικιλία φυτών, βασικά, βελτιώνει την απόκτηση των θρεπτικών συστατικών των φυτών και την κατακράτηση του νερού (Jones SOS).

Είναι ενδιαφέρον ότι, από το 1930 το μέσο μέγιστο και το μέσο ελάχιστο επίπεδο του νερού στον ποταμό Μισσισιπιή έχει πάρει πιο ακραίες διαστάσεις- τα επίπεδα πλημμυρών είναι υψηλότερα και τα

επίπεδα των ρηχών ποταμών χαμηλότερα. Αυτό συμβαίνει κυρίως γιατί το νερό δεν μπορεί να διεισδύσει στο χώμα, όπως θα έπρεπε. Με σωστή διείσδυση κάποιο από το νερό χρησιμοποιείται για την παραγωγή των φυτών και κάποιο ρέει αργά μέσα από το χώμα, ώστε να γεμίσει τις πηγές και τα μικρά ρυάκια τα οποία δημιουργούν μία συνεχιζόμενη ροή που φέρνει νερό στα ποτάμια. Αλλά εάν η εδαφοκάλυψη είναι φτωχή, η συσσωμάτωση του εδάφους μειώνεται και το νερό δεν μπορεί να διεισδύσει σωστά. Επομένως στις πλημμύρες το νερό τρέχει κατά μήκος της επιφάνειας και διαβρώνει το έδαφος και στις ξηρασίες δεν υπάρχουν αποθέματα νερού στο έδαφος είτε για τα φυτά είτε για να διατηρήσουν τον ρου προς τις πηγές και τα ρυάκια (Jones SOS).

Η κυριαρχία των Μυκήτων

Οι επιστήμονες βρίσκουν ότι μία υψηλή αναλογία μυκήτων προς βακτήρια στο έδαφος είναι πολύ σημαντική για την παραγωγή των φυτών. Μπορείς να πεις εάν υπάρχει τέτοια αναλογία από τη μυρωδιά μίας χούφτας χώματος-εάν μυρίζει δηλαδή μανιτάρι και όχι ξινό. Οι μύκητες είναι εκείνοι που προμηθεύουν με νερό και θρεπτικά συστατικά τις ρίζες των φυτών, όπως χρειάζεται. Δυστυχώς, τα περισσότερα από τα καλλιεργήσιμα εδάφη μας κυριαρχούνται από βακτήρια παρά από μύκητες. Αλλά πρακτικές που αποφεύγουν το γυμνό έδαφος, δεν οργώνουν, χρησιμοποιούν καλλιέργειες εδαφοκάλυψης, και ενθαρρύνουν υψηλή πυκνότητα, αλλά μικρής διάρκειας βόσκηση, με σημαντικές περιόδους ξεκούρασης, οδηγούν το χώμα σε μία κυριαρχία μυκήτων.

Καλύτερες Καλλιέργειες

Τα φυτά, όπως ακριβώς και τα ζώα, έχουν εξελίξει σύνθετες άμυνες εναντίον των εχθρών τους. Οι μηχανισμοί τους είναι πολλοί και έξυπνοι. Κάποιοι αποφεύγουν την ανίχνευση εφαρμόζοντας οπτικής μορφής άμυνες όπως μιμούμενα άλλα φυτά ή κρύβοντας με καμουφλάζ τους εαυτούς τους. Κάποια δυσκολεύουν τις επιθέσεις βάζοντας πανοπλία, όπως χοντρά κελύφη, κέρινη επιδερμίδα ή σκληρό φλοιό. Μερικά αποφεύγουν να θηρευτούν χρησιμοποιώντας αγκάθια ή κολλώδη εξιδρώματα. Πολλά συνθέτουν δευτερογενείς μεταβολήτες, ώστε να αποφύγουν τις επιθέσεις με χημικό τρόπο (δηλητήρια, εντομοαπωθητικά, ερεθιστικά ή ακόμα και πτητικές οργανικές ενώσεις που προσελκύουν τους εχθρούς των αρπακτικών των φυτών) (Wink).

Τα φυτά επίσης προβαίνουν σε συμβιωτικές σχέσεις με τα βακτήρια, τα οποία είναι ικανά να αναστείλλουν τις τοπικές παθογένειες και ως εκ τούτου να υπερασπιστούν τα φυτά στην περίπτωση κάποιας επίθεσης. Τέτοιες ικανότητες, όπως είναι το ανοσοποιητικό σύστημα στα ζώα, είναι πιο ισχυρές όταν τα φυτά είναι υγιή. Η υγεία βρίσκεται στο βέλτιστο σημείο, όταν οι ανάγκες του φυτού σε ήλιο, θρεπτικά συστατικά, οξυγόνο και διοξείδιο του άνθρακα καλύπτονται 100%. Και βέβαια, αυτό συμβαίνει καλύτερα σε υγιή εδάφη με υψηλή περιεκτικότητα σε άνθρακα και με ποικίλο και μεγάλο πληθυσμό μικροβίων. Αυτές οι συνθήκες μπορούν να φέρουν στις καλλιέργειες με πυκνά θρεπτικά συστατικά και αντίσταση στα παράσιτα και τις ασθένειες, περισσότερα αντιοξειδωτικά και μεγαλύτερο χρόνο ζωής (Gosling, Wink, Reganold).

Τα φυτά τα οποία δεν επηρεάζονται από ασθένειες ή θήρευση και οι ανάγκες τους σε θρεπτικά συστατικά καλύπτονται, πρόκειται να ευδοκιμήσουν και να δώσουν άφθονη απόδοση. Επίσης, τα υγιή φυτά βιοσυνθέτουν τα περισσότερα από τα πτητικά μόρια και τους υψηλότερους μεταβολήτες που

παράγουν τις γεύσεις και τα αρώματα της τροφής που καλλιεργείται. Επομένως, η αποκατάσταση του άνθρακα στο έδαφος είναι ένας τρόπος για να επωφεληθούμε όλοι: οι αγρότες με μεγαλύτερες σοδειές, οι κηπουροί με γευστικότερες σοδειές και οι καταναλωτές με πιο υγιεινή τροφή.

Επίλογος

Χρησιμοποιώντας τη βιολογία ώστε να αποκαταστήσουμε την οργανική ύλη στα εδάφη και να τη σταθεροποιήσουμε δεν είναι μόνο ωφέλιμο για αυτούς που διαχειρίζονται τη γη και τις καλλιέργειες, αλλά είναι επιπλέον ζωτικό για την κοινωνία μας. Έχουμε πάρει τόσο πολύ άνθρακα από το έδαφος, τον έχουμε κάψει και στείλει στην ατμόσφαιρα ως διοξείδιο του άνθρακα. Ακόμα και αν σταματούσαμε να καίμε ορυκτά καύσιμα αύριο, τα αέρια του θερμοκηπίου που έχουν ήδη απελευθερωθεί στην ατμόσφαιρα θα συνέχιζαν να αυξάνουν τη θερμοκρασία του πλανήτη και να απελευθερώνουν ακόμα πιο επιβλαβή αέρια για πολλά χρόνια στο μέλλον.

Εάν θέλουμε να επιβιώσουμε δεν έχουμε άλλη εναλλακτική από το να μεταφέρουμε τον άνθρακα στο έδαφος. Το γεγονός ότι αυτό μπορεί να γίνει μέσω της βιολογίας χρησιμοποιώντας μία μέθοδο που έχει χρησιμοποιηθεί για εκατομμύρια χρόνια είναι συναρπαστικό. Οι αγρότες, οι κηπουροί, οι ιδιοκτήτες σπιτιών-κάθε ένας που έχει ή διαχειρίζεται γη-μπορεί να ακολουθήσει αυτές τις απλές αρχές και όχι μόνο να αποκαταστήσει άνθρακα στο έδαφος, αλλά να βοηθήσει να επανέλθει αυτό το θαυμαστό σύστημα που η φύση έχει δημιουργήσει, σύμφωνα με το οποίο η ατμόσφαιρα ανανεώνεται, ενώ παρέχει τροφή, ομορφιά και υγεία σε όλη την πλάση.

Πηγές

AAAS, American Association for the Advancement of Science, (2014) What We Know: The Reality, Risks, and Response to Climate Change

Albrecht WA, (1938) Loss of Soil Organic Matter and Its Restoration, Yearbook of Agriculture, USDA

Amundson R, Berhe AA, Hopmans JW, Olson C, Sztein AE, Sparks DL, (2015) Soil and human security in the 21st century, Science, 348, 1261071

Azeez G, (2009) Soil Carbon and Organic Farming, UK Soil Association, <http://www.soilassociation.org/LinkClick.aspx?fileticket=SSnOCMoqrXs%3D&tabid=387>

Cairney JWG, (2000) Evolution of mycorrhiza systems, Naturwissenschaften 87:467-475

Comis D, (2002) Glomalin: Hiding Place for a Third of the World's Stored Soil Carbon, Agricultural Research, <http://agresearchmag.ars.usda.gov/2002/sep/soil>

Coumou D, Rahmstorf S, (2012) A decade of weather extremes, Nature Climate Change, Vol. 2, July 2012, pages 491-496

Dungait JAJ, Hopkins DW, Gregory AS, Whitmore AP, (2012) Soil Organic Matter turnover is governed by accessibility not recalci- trance, *Global Change Biology*, **18**, 1781-1796

EPA Office of Atmospheric Programs, April 2010, Methane and Nitrous Oxide Emissions From Natural Sources

FAO, Organic matter decomposition and the soil food web, <http://www.fao.org/docrep/009/a0100e/a0100e05.htm>

Gosling P, Hodge A, Goodlass G, Bending GD, (2006) Arbuscular mycorrhizal fungi and organic farming, *Agriculture, Ecosystems and Environment* 113 (2006) 17-35

Hepperly PR, (2015) Sentinels of the Soil, *Acres USA*, June, 2015

Hoorman JJ, Islam R, (2010) Understanding soil Microbes and Nutrient Recycling, Ohio State University Fact Sheet, SAG-16-10

IFOAM (2012) Submission from IFOAM to the HLPE on Climate Change and Food Security, 10/4/2012

Jansa J, Bukovská P, Gryndler M, (May, 2013) Mycorrhizal hyphae as ecological niche for highly specialized hypersymbionts – or just soil free-riders? *Frontiers in Plant Science*, Volume 4 Article 134

Jastrow JD, Amonette JE, Bailey VL, (2006) Mechanisms control- ling soil carbon turnover and their potential application for enhanc- ing carbon sequestration, *Climatic Change* 80:5-23

Jones C, SOS (2015) Save Our Soils, *Acres USA*, Vol. 45, No. 3

Jones C, (2015) unpublished letter to an Ohio grazer, June 2015 and to author, July 2015

Khan SA, Mulvaney RL, Ellsworth TR, Boast CW, (2007) The myth of nitrogen fertilization for soil carbon sequestration, *Journal of Environmental Quality*; Nov/Dec 2007; Vol 36

Khorramdel S, Koocheki A, Mahallate MN, Khorasani R, (2013) Evaluation of carbon sequestration potential in corn fields with dif- ferent management systems, *Soil and Tillage Research* 133 25-31

Kirkby CA, Kirkegaard JA, Richardson AE, Wade LJ, Blanchard C, Batten G, (2011) Stable soil organic matter: A comparison of C:N:O:S ratios in Australian and other world soils, *Geoderma* 163 197-208

Lal R, (2004) Soil carbon sequestration to mitigate climate change, *Geoderma* 123 (2004) 1-22

Lal R, Follett RF, Stewart BA, Kimble JM, (2007) Soil carbon sequestration to mitigate climate change and advance food security, *Soil Science* 0038-075X/07/17212-943-956

LaSalle TJ, Hepperly P, (2008) Regenerative Organic Farming: A Solution to Global Warming, Rodale Institute, https://grist.files.wordpress.com/2009/06/rodale_research_paper-07_30_08.pdf

Machmuller M, Kramer MG, Cyle TK, Hill N, Hancock D, Thomp- son A, (2015) Emerging land use practices rapidly increase soil organic matter, *Nature Communications* 6, Article number 6995

Mao JD, Johnson RL, Lehmann J, Olk DC, Neves EG, Thompson ML, Schmidt-Rohr K, (2012) Abundant and stable char residues in soils: Implications for Soil Fertility and Carbon Sequestration,

Environmental Science and Technology, 46, 9581-9576

Meléndrez M, (2014) The Journey to Better Soil Health, unpublished paper presented to the First International Humus Expert's Meeting, Kaindorf, Austria, January 22 and 23, 2014

Muller A, Gattinger A, (2013) Conceptual and Practical Aspects of Climate Change Mitigation Through Agriculture: Reducing Greenhouse Gas Emissions and Increasing Soil Carbon Sequestration, Research Institute of Organic Agriculture, Switzerland

NASA, (2008) Target Atmospheric CO₂: Where Should Humanity Aim? Science Briefs, Goddard Institute for Space Studies

NOAA (National Oceanic and Atmospheric Administration), What is Ocean Acidification? <http://www.pmel.noaa.gov/>

Nichols K, Millar J, (2013) Glomalin and Soil Aggregation under Six Management Systems in the Northern Great Plains, USA, Open Journal of Soil Science, Vol 3, No. 8, pp. 374-378,

NSIDC, (2015) Methane and Frozen Ground, National Snow and Ice Data Center, <https://nsidc.org/cryosphere/frozenground/methane.html>

Ontl TA, Schulte LA (2012) Soil Carbon Storage, Nature Education Knowledge, 3(10):35

Peterson TC, Stott PA, Herring SC, Hoerling MP, (2013) Explaining Extreme Events of 2012 from a Climate Perspective, Special Supplement to the Bulletin of the American Meteorological Society, Vol. 9, No. 9

Powlson DS, Whitmore AP, Goulding WT, (2011) Soil carbon sequestration to mitigate climate change: a critical re-examination to identify the true and the false, European Journal of Soil Science, **62**, 42-55

Quinkenstein A, Böhm C, da Silva Matos E, Freese D, Hüttl RF, (2011) Assessing the carbon sequestration in short rotation coppices of Robinia pseudoacacia L. on marginal sites in northeast Germany, in Carbon Sequestration Potential of Agroforestry Systems: Opportunities and Challenges, 201, Kumar BM and Nair PKR (editors) Advances in Agroforestry 8

Reganold JP, Andrews PK, Reeve JR, Carpenter-Boggs L, Schadt CW, Alldredge JR, Ross CF, Davies NM, Zhou J, (2010) Fruit and soil quality of organic and conventional strawberry agroecosystems, PLoS One 5(10): 10-1371, Oct 6, 2010

Rodale (2014) Regenerative Organic Agriculture and Climate Change: A Down-to-Earth Solution to Global Warming, www.rodaleinstitute.org

RSC (Royal Society of Chemistry), Rate of Photosynthesis: limiting factors, <http://www.rsc.org/learn-chemistry/content/filerepository/CMP/00/001/068/Rate%20of%20photosynthesis%20limiting%20factors.pdf>

SAPS (Science and Plants for Schools), Measuring the rate of photosynthesis, (2015) <http://www.saps.org.uk/secondary/teaching-resources/157-measuring-the-rate-of-photosynthesis>

Six J, Frey SD, Thiet RK, Batten KM, (2006) Bacterial and fungal contributions to carbon sequestration in agroecosystems, Soil Science Society of America Journal 70:555-569

Timmusk S, Grantcharova N, Wagner EGH, (2005) Applied and Environmental Microbiology, Nov. 2005, P. 7292-7300

Velivelli SLS, (2011) How can bacteria benefit plants? Doctoral research at University College Cork, Ireland, published in The Boolean

Walker TS, Bais HP, Grotewold E, Vivanco JM, (2003) Root Exudation and Rhizosphere Biology, Plant Physiology vol. 132, no. 1, 44-51

Wink M (1988) Plant breeding: importance of plant secondary metabolites for protection against pathogens and herbivores, Theor. Appl. Genet. (1988) 75:225-233

**Για περισσότερες πληροφορίες για την
αποκατάσταση του εδάφικου
άνθρακα: www.nofamass.org/carbon**