

ΜΕΡΟΣ ΔΕΥΤΕΡΟ

Αυτοοικολογική Αγροοικολογία ή Τα φυτά και οι παράγοντες του περιβάλλοντος

Γενικά

Ακόμη και στα πιο απλά αγροοικοσυστήματα, ανάμεσα στα φυτά που προορίζονται για συγκομιδή, τα φυτά που αναπτύσσονται ελεύθερα (άγρια φυτά), τα ζώα και τους μικροοργανισμούς του εδάφους, αλλά και μεταξύ της καθεμιάς από τις παραπάνω ομάδες βιοτικών παραγόντων με κάποια άλλη ομάδα και του φυσικού περιβάλλοντος, υφίστανται πολύπλοκες σχέσεις. Πριν αποπειραθούμε να εξετάσουμε όλες τις υφιστάμενες σχέσεις και αλληλεπιδράσεις, ώστε να μπορέσουμε να τις κατανοήσουμε στο πλήρες τους επίπεδο, θεωρούμε ότι θα ήταν περισσότερο χρήσιμο να μελετήσουμε τα αγροοικοσυστήματα, από μια περισσότερο περιορισμένη οπτική γωνιά, αυτή που αφορά τον ανεξάρτητο οργανισμό του κάθε φυτού παραγωγής σε σχέση με το περιβάλλον του. Είναι αυτό που στην Οικολογία ονομάζουμε **αυτοοικολογική προσέγγιση**.

Η αυτοοικολογική μελέτη των αγροοικοσυστημάτων αρχίζει με τη διάσπαση του περιβάλλοντος σε **ανεξάρτητους παράγοντες** και θα ανακαλύψουμε με ποιο τρόπο κάθε παράγοντας επηρεάζει τον οργανισμό. Συνεπείς λοιπόν με την θεώρηση αυτή, το παρόν κεφάλαιο θα το αφιερώσουμε στη μελέτη του κάθε ενός σημαντικού περιβαλλοντικού παράγοντα ξεχωριστά. Σε κάθε κεφάλαιο περιγράφεται πως ο κάθε παράγοντας λειτουργεί μέσα στο χωροχρόνο και θα παραθέσουμε παραδείγματα από τη βιβλιογραφία για το πώς οι παραγωγοί προσαρμόζουν τη συγκομιδή της καλλιέργειάς τους στον παράγοντα αυτό ή με ποιο τρόπο αυτοί επωφελούνται από τον παράγοντα αυτό, ώστε να βελτιώσουν την αιφορικότητα του αγροοικοσυστήματος.

Τα κεφάλαια του παρόντος μέρους ακολουθούνται από ένα κεφάλαιο που ανακεφαλαιώνει τη βασική δομή και λειτουργία του φυτού αυτού καθεαυτού, παρέχοντας τη βάση για την κατανόηση των αντιδράσεων του φυτού. Τέλος, το δεύτερο μέρος καταλήγει με ένα κεφάλαιο στο οποίο επεξηγείται με ποιο τρόπο οι ανεξάρτητοι παράγοντες πρέπει να αντιμετωπίζονται, ως μέρη του συνόλου του δυναμικού του συστήματος.

Κεφάλαιο Τέταρτο

Το Φυτό

4.1. Γενικά

Για τα αγροοικοσυστήματα των αειφορικών καρπώσεων ο σχεδιασμός και η διαχείριση τους βασίζονται, σε σημαντικό βαθμό, στη γνώση και την κατανόηση του τρόπου, αλλά και των διαδικασιών με τους οποίους τα φυτά μεγαλώνουν, αυξάνουν, και αναπτύσσονται, έτσι ώστε, με την πάροδο του χρόνου, αυτά να αποτελέσουν τη φυτική ύλη την οποία εμείς θα καταναλώσουμε, θα χρησιμοποιήσουμε, ή με αυτή θα διαθρέψουμε τα αγροτικά μας ζώα. Στο κεφάλαιο αυτό θα προσπαθήσουμε να ανασκοπήσουμε κάποιες από τις σπουδαιότερες φυσιολογικές διαδικασίες, οι οποίες δίνουν τη δυνατότητα στο φυτό να επιβιώσει, να μετατρέψει το ηλιακό φως σε χημική ενέργεια και στη συνέχεια, να αποθηκεύσει την ενέργεια αυτή στα όργανά του και μάλιστα, σε εκείνες τις μορφές που θα είναι χρήσιμες για τις ανάγκες μας. Επίσης, θα εξετάσουμε κάποιες από τις βασικές διατροφικές ανάγκες που έχει το φυτό. Τέλος, θα αναφερθούμε σε μερικές από τις σημαντικότερες έννοιες και τους απαραίτητους όρους που χρησιμοποιούνται για να περιγράψουμε τους τρόπους με τους οποίους τα κατέκαστα φυτά ανταποκρίνονται και προσαρμόζονται στο εύρος των περιβαλλοντικών παραγόντων που θα εξετάσουμε.

4.2. Η διατροφή του φυτού

Ως γνωστόν, τα φυτά είναι αυτότροφοι οργανισμοί, αποτέλεσμα της ικανότητας που μόνο αυτά παρουσιάζουν να συνθέτουν υδατάνθρακες, χρησιμοποιώντας το νερό (H_2O), το διοξείδιο του άνθρακα (CO_2) και την ηλιακή ενέργεια. Η διαδικασία με την οποία λαμβάνει χώρα η σύλληψη και η χρήση της ηλιακής ενέργειας, διαδικασία που αποτελεί και τον ακρογωνιαίο λίθο στη διατροφή του φυτού, ονομάζουμε **φωτοσύνθεση**.

Όμως, η δημιουργία των υδατανθράκων αποτελεί, απλώς, μόνο ένα μέρος της συνολικής διαδικασίας της **αύξης** και της **ανάπτυξης** του φυτού¹, διότι, για να σχηματισθούν οι οργανικές ενώσεις των υδατανθράκων, των αμινοξέων και των πρωτεϊνών, δηλαδή οι οργανικές ενώσεις οι οποίες θα δημιουργήσουν τους φυτικούς ιστούς και θα παρέχουν σημαντικές λειτουργίες στις διαδικασίες της ζωής του φυτού, απαιτείται, επιπλέον, και η παρουσία ή η προσθήκη μιας σειράς από ουσιώδη θρεπτικά στοιχεία, και ασφαλώς του νερού.

4.2.1. Η φωτοσύνθεση

Η **φωτοσύνθεση** συνιστά συνδυασμό βιοφυσικών και βιοχημικών διεργασιών, οι οποίες καθορίζονται και κατευθύνονται από την ηλιακή ακτινοβολία της φασματικής περιοχής 400 έως 700 nm, η οποία προσλαμβάνεται από τους **χλωροπλάστες**. Η ακτινοβολία αυτή μετατρέπεται σε ελεύθερη χημική ενέργεια, η οποία ακολούθως, χρησιμοποιείται στη βιοσύνθεση των προϊόντων της φωτοσύνθεσης.

Μέσα από τη διαδικασία της φωτοσύνθεσης, τα φυτά μετατρέπουν την ηλιακή ενέργεια σε χημική, η οποία, στη συνέχεια, αποθηκεύεται στις χημικές ενώσεις των μορίων των σακχάρων. Επειδή η διαδικασία αυτή της δέσμευσης είναι τόσο σημαντική για την αύξηση και την επιβίωση των φυτών και ασφαλώς, επειδή αυτή είναι τόσο σημαντική ώστε τα φυτά ως φυτά καλλιέργειας να καταστούν χρήσιμα για τον άνθρωπο, η κατανόηση της λειτουργία της φωτοσύνθεσης αποτελεί αντικείμενο ουσιώδους σημασίας και ενδιαφέροντος.

Την περιγραφή των διαδικασιών της φωτοσύνθεσης που ακολουθεί, προσπαθήσαμε να την διατάξουμε, όσο ήταν δυνατό, περισσότερο απλοποιημένη, διότι, για τους σκοπούς μας, είναι πιο σημαντικό να κατανοήσουμε τις αγροοικολογικές συνέπειες των διαφόρων μορφών, ή τύπων αν θέλετε, φωτοσύνθεσης, παρά να καταστήσουμε κοινωνοί των πραγματικών χημικών διαδρομών της. Αν όμως κάποιος επιθυμεί να αποκτήσει μια περισσότερο λεπτομερή γνώση της φωτοσύνθεσης, μπορεί να συμβουλευτεί τη βιβλιογραφία του παρόντος κεφαλαίου.

Η διαδικασία της φωτοσύνθεσης, στο σύνολό της, είναι η παραγωγή της γλυκόζης με βάση το νερό (H₂O) και το διοξείδιο του άνθρακα (CO₂), με την επενέργεια ασφαλώς της ηλιακής ενέργειας, όπως θα μπορούσαμε να τη συνοψίσουμε στην απλή χημική εξίσωση που ακολουθεί.

¹ Ως **αύξηση** (growth) της βλάστησης θεωρείται κάθε αλλαγή, συνήθως κάθε επαύξηση, της φυτικής βιομάζας. Άλλωστε, πολύ συχνά μιλάμε για την ανάπτυξη ενός φύλλου, ενός φυτού ή μιας ολόκληρης γεωργικής καλλιέργειας. Συνεπώς, μπορούμε να πούμε ότι η ανάπτυξη μιας καλλιέργειας είναι ισοδύναμη με την παραγωγικότητα του, την οποία συνήθως μετράμε σε **τόνους φυτικής βιομάζας ανά εκτάριο ανά έτος** (t/Ha/έτος).

Όταν όμως μιλάμε για την **ανάπτυξη** ή την **εξέλιξη** (development), τότε αναφερόμαστε στη διέλευση ενός οργανισμού, μέσα από το βιολογικό του κύκλο. Αυτή τη διέλευση ή το «πέρασμα» του, μπορούμε να το εξετάσουμε στο επίπεδο του οργανιδίου ή του οργάνου, όπως επίσης και στο σύνολο του φυτικού οργανισμού ή της καλλιέργειας.



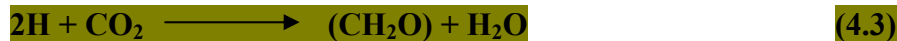
όπου, το $nh\nu$ συμβολίζει την ηλιακή ενέργεια. Συχνά όλη η χημική εξίσωση πολλαπλασιάζεται επί 6, οπότε στη θέση της ανύπαρκτης χημικής ουσίας CH_2O λαμβάνεται $\text{C}_6\text{H}_{12}\text{O}_6$, που αντιπροσωπεύει ομάδα υδατανθράκων.

Η φωτοσύνθεση αποτελείται από δύο φάσεις:

(α) τη **φωτοχημική φάση**, κατά την οποία λαμβάνουν χώρα οι φωτεινές αντιδράσεις, οι οποίες περιλαμβάνουν, εκτός των άλλων, την **οξειδωση** του νερού (φωτόλυση), απ' όπου απελευθερώνεται υδρογόνο και οξυγόνο, και

(β) την **ενζυματική φάση**, στην οποία η ηλιακή ακτινοβολία δεν παίζει κανένα ρόλο, και στην οποία συμβαίνουν η **καρβοξυλίωση** του CO_2 και η **αναγωγή** του σε υδατάνθρακες.

Έτσι, η **εξίσωση (4.1)** μπορεί να χωριστεί σε δύο επιμέρους εξισώσεις που αντιπροσωπεύουν, αντίστοιχα, την οξείδωση (**εξίσωση 4.2**) και την αναγωγή (**εξίσωση 4.3**), ως εξής:



Οι φωτεινές αντιδράσεις λειτουργούν για να μετατρέψουν την ενέργεια του φωτός σε χημική ενέργεια, με τη μορφή του ATP (αδενοσινοφωσφορικό) και της χημικής ένωσης **NADPH**. Οι αντιδράσεις αυτές χρησιμοποιούν το νερό και εκλύουν το οξυγόνο. Οι σκοτεινές αντιδράσεις (οι οποίες λαμβάνουν χώρα ανεξάρτητα από την παρουσία του φωτός), παίρνουν τα άτομα του άνθρακα από το CO_2 της ατμόσφαιρας και τα χρησιμοποιούν για να σχηματίσουν οργανικές ενώσεις. Η διαδικασία αυτή καλείται **δέσμευση του άνθρακα** και καθοδηγείται από το ATP και το NADPH, που παράγονται από τις φωτεινές αντιδράσεις. Το άμεσο τελικό προϊόν της φωτοσύνθεσης είναι η γλυκόζη, ένα απλό σάκχαρο. Η γλυκόζη χρησιμεύει ως μια πηγή ενέργειας για την αύξηση και τον μεταβολισμό, τόσο για τα φυτά όσο και τα ζώα, διότι άμεσα μετασχηματίζεται σε χημική ενέργεια (ATP) και CO_2 , μέσω της διαδικασίας της αναπνοής. Η γλυκόζη αποτελεί επίσης το θεμέλιο λίθο πολλών άλλων οργανικών ενώσεων των φυτών. Ανάμεσα στις χημικές αυτές ενώσεις συγκαταλέγεται η **κυτταρίνη**, το κυριότερο δομικό υλικό του φυτού και το **άμυλο**, μια αποθησαυριστική μορφή της γλυκόζης.

Από αγροοικολογικής σκοπιάς, είναι πολύ σημαντικό να κατανοήσουμε πότε και πως η φωτοσύνθεση είναι δυνατόν να είναι περιορισμένη. Δυο σημαντικοί παράγοντες είναι η **θερμοκρασία** και η **υδατική διαθεσιμότητα**. Εάν οι θερμοκρασίες είναι αρκετά υψηλές ή η κακουχία (stress) της υγρασίας είναι πολύ μεγάλη κατά τη διάρκεια της ημέρας, τα ανοίγματα, γνωστά και ως **στόματα**, τα οποία βρίσκονται στην επιφάνεια του φύλλου και μέσω αυτών διέρχεται το CO_2 , αρχίζουν να κλείνουν. Ως αποτέλεσμα του κλεισίματος αυτού, έχουμε περιορισμό της εισερχόμενης ποσότητας του CO_2 , γεγονός που προκαλεί την επιβράδυνση της διαδικασίας της φωτοσύνθεσης. Όταν η εσωτερική συγκέντρωση του CO_2 στο φύλλο υποχωρεί κάτω από μια κρίσιμη περιοριστική συγκέντρωση, το φυτό προσεγγίζει στο **σημείο συμψηφισμού CO_2** , κατάσταση στην οποία η φωτοσύνθεση είναι ίση με την αναπνοή, και δεν αποφέρει κανένα ενεργειακό όφελος στο φυτό. Το κλείσιμο των στομάτων, σε συνθήκες υδατικής

ή θερμοκρασιακής κακουχίας, μειώνει την διαδικασία ψύξης του φύλλου, μέσω της εξάτμισης, και αυξάνει τη συγκέντρωση του οξυγόνου στο φύλλο. Οι συνθήκες αυτές διεγείρουν την ενεργειακά άχρηστη διαδικασία της **φωτοαναπνοής**, κατά την οποία το οξυγόνο στις σκοτεινές αντιδράσεις της φωτοσύνθεσης αναπληρώνεται από το CO₂, με την παραγωγή μη χρήσιμων προϊόντων, τα οποία και απαιτούν περαιτέρω ενέργεια για να μεταβολιστούν.

Κάποια είδη φυτών έχουν αναπτύξει διαφορετικούς τρόπους δέσμευσης του άνθρακα που μειώνουν την φωτοαναπνοή. Οι εναλλακτικές μορφές δέσμευσης του άνθρακα συνιστούν διακεκριμένες φωτοσυνθετικές διαδρομές. Συνολικά, είναι γνωστοί τρεις τύποι φωτοσύνθεσης, η **C₃ φωτοσύνθεση**, η **C₄ φωτοσύνθεση** και η **CAM φωτοσύνθεση**. Κάθε τύπος εμφανίζει, κάτω από συγκεκριμένες συνθήκες, πλεονεκτήματα και μειονεκτήματα.

Πίνακας 4.1. Σύγκριση των τριών φωτοσυνθετικών διαδρομών

	C ₃	C ₄	CAM
Σημείο απορρόφησης φωτός (πόδια-κηρία)	3.000-6.000	8.000-10.000	?
Άριστη θερμοκρασία (°C)	15-30	30-45	30-35
Σημείο ανταγωνισμού CO ₂ (ppm CO ₂)	30-70	0-10	0-4
Μέγιστος ρυθμός φωτοσύνθεσης (mg CO ₂ /dm ² /ώρα)	15-35	30-45	3-13
Μέγιστος ρυθμός αύξησης (g/dm ² /ημέρα)	1	4	0,02
Φωτοαναπνοή	υψηλή	χαμηλή	χαμηλή
Συμπεριφορά στομάτων	Ανοικτά την ημέρα, κλειστά τη νύκτα	Ανοικτά ή κλειστά την ημέρα, κλειστά τη νύκτα	Κλειστά την ημέρα, ανοικτά τη νύκτα

Πηγή: Δεδομένα από τους Larcher (1980), Loomis and Conner (1992), Etherington (1995).

4.2.1.1. Η C₃ φωτοσύνθεση

Ο πλέον διαδεδομένος τύπος φωτοσύνθεσης είναι γνωστός ως **C₃ φωτοσύνθεση**. Η αναγωγή ακολουθεί τον κύκλο των **Calvin - Benson** (Calvin and Benson 1948), και καταλήγει στη δημιουργία ενός μορίου με 6 άτομα άνθρακα, το οποίο στη συνέχεια διασπάται σε δύο μόρια **τριφωσφογλυκερικού οξέος** που το καθένα περιλαμβάνει 3 άτομα άνθρακα. Για το λόγο αυτό άλλωστε, τα φυτά της κατηγορίας αυτής ονομάζονται **C₃ - φυτά**. Στα φυτά που χρησιμοποιούν τη διαδρομή αυτή, το CO₂ προσλαμβάνεται κατά τη διάρκεια της ημέρας μέσα από τα ανοικτά στόματα και χρησιμοποιείται στις σκοτεινές αντιδράσεις για να σχηματιστεί γλυκόζη.

Τα φυτά που ακολουθούν τη C₃ φωτοσύνθεση αναπτύσσονται σε κρύες συνθήκες, είναι φυτά δηλαδή των ευκράτων περιοχών, αφού γι αυτά η άριστη θερμοκρασία για να φωτοσυνθέσουν είναι σχετικά χαμηλή (**Πίνακας 4.1**). Επειδή όμως, τα στόματά τους κατά τη διάρκεια της ημέρας πρέπει να είναι ανοικτά για να προσλαμβάνουν το CO₂, τα C₃ φυτά υπόκεινται σε φωτοσυνθετικούς περιορισμούς, καθόν χρόνο αυτά υφίστανται

κακουχίες θερμότητας ή ξηρασίας. Επίσης, το κλείσιμο των στομάτων, γεγονός που θα εμποδίσει τις απώλειες υγρασίας, περιορίζει την πρόσληψη του CO₂ και αυξάνει την φωτοαναπνοή.

Στις πιο κοινές καλλιέργειες που ακολουθούν την C₃ φωτοσύνθεση, συγκαταλέγονται τα φασόλια, τα κολοκυθάκια και οι τομάτες, πολλά γένη αγρωστωδών (π.χ. *Dactylis*, *Festuca*, *Phalaris* κ.λ.π.) μεταξύ των οποίων και τα χειμερινά σιτηρά (π.χ. σιτάρι, κριθάρι και βρώμη), καθώς και γένη άλλων βοτανικών οικογενειών.

4.2.1.2. Η C₄ φωτοσύνθεση

Κατά τη διάρκεια της C₄ φωτοσύνθεσης η αναγωγή ακολουθεί τον κύκλο των **Hatch - Slack - Kortschak** (Kortschak *et al.* 1965, Hatch *et al.* 1967, Johnson and Hatch 1968) και γίνεται σε δύο φάσεις. Η πρώτη φάση λαμβάνει χώρα στην μεσοφυλλική περιοχή γύρω από τον αγωγό ιστό και καταλήγει στη δημιουργία του **οξάλοακετικού οξέος**, που είναι ένα δικαρβοξυλικό οξύ με 4 άτομα άνθρακα από τα οποία και ονομάστηκαν τα φυτά της κατηγορίας αυτής ως **C₄ φυτά**. Η δεύτερη φάση γίνεται στο μεσόφυλλο και είναι ίδια με την πορεία που ακολουθούν τα C₃ φυτά.

Η διαδρομή που ακολουθεί η C₄ φωτοσύνθεση επιτρέπει να συμβεί η δέσμευση του άνθρακα σε πολύ χαμηλότερες συγκεντρώσεις του CO₂, από αυτές που απαιτούνται για τις διαδρομές της C₃ φωτοσύνθεσης. Η κατάσταση αυτή αποτελεί την ικανή συνθήκη ώστε η φωτοσύνθεση να λαμβάνει χώρα ενώ τα στόματα είναι κλειστά, με το CO₂ να απελευθερώνεται από την εσωτερική αναπνοή, αφού συλλαμβάνεται ευκολότερα από ότι συλλαμβάνεται το ελεύθερο στην ατμόσφαιρα CO₂. Η διαδρομή που ακολουθεί η C₄ φωτοσύνθεση εμποδίζει επίσης, να συντελεστεί το φαινόμενο της φωτοαναπνοής, διότι στις σκοτεινές αντιδράσεις είναι πολύ δυσκολότερο για το οξυγόνο να ανταγωνιστεί το CO₂. Συνεπώς, η φωτοσύνθεση στα C₄ - φυτά μπορεί να συμβεί κάτω από συνθήκες υδατικής και θερμοκρασιακής κακουχίας, ενώ στα C₃ - φυτά αυτή, κάτω από τέτοιες συνθήκες, περιορίζεται. Ταυτόχρονα, τα C₄ φυτά έχουν συνήθως μια υψηλότερη άριστη θερμοκρασία φωτοσύνθεσης.

Τα C₄ φυτά λοιπόν, χρησιμοποιούν λιγότερη υγρασία κατά την περίοδο υψηλού φωτοσυνθετικού δυναμικού και κάτω από θερμές και υγρές συνθήκες έχουν υψηλότερη καθαρή φωτοσύνθεση και υψηλότερη συγκέντρωση βιομάζας σε σύγκριση με τα C₃ - φυτά. Στην C₄ φωτοσύνθεση παρατηρείται ένα επί πλέον βιοχημικό στάδιο, αλλά, κάτω από συνθήκες έντονου άμεσου ηλιακού φωτός, υψηλότερων θερμοκρασιών και υδατικής κακουχίας, αυτή παρέχει ένα διακριτό πλεονέκτημα.

Ανάμεσα στις γνωστότερες γεωργικές καλλιέργειες, τα φυτά των οποίων ακολουθούν την C₄ φωτοσύνθεση, είναι πολλές από τις λεγόμενες εαρινές γεωργικές καλλιέργειες, όπως π.χ. ο αραβόσιτος, το βαμβάκι, το σόργο, και το ζαχαροκάλαμο. Τα C₄ φυτά είναι περισσότερο κοινά στις τροπικές περιοχές, ιδιαίτερα στους ξηρούς τροπικούς. Φυτά που έλκουν την προέλευσή τους από ξηρές, ερημικές περιοχές ή λιβαδικές κοινότητες των θερμών εύκρατων και τροπικών κλιμάτων έχουν μεγαλύτερες πιθανότητες να καταταγούν στα C₄ φυτά, όπως φυτά που ανήκουν σε διάφορα γένη των αγρωστωδών (π.χ. *Crypsogon*, *Dichanthium*, *Cynodon* κ.λ.π.).

4.2.1.3. Η CAM φωτοσύνθεση

Η CAM φωτοσύνθεση είναι ένας τρίτος τύπος φωτοσύνθεσης. Μοιάζει πολύ με την C₄ φωτοσύνθεση. Τα φυτά που ακολουθούν τον κύκλο CAM (Crassulacean acid metabolism), διατηρούν, κατά τη διάρκεια της νύκτας, τα στόματα ανοικτά, χωρίς να

προκληθεί απώλεια ή σπατάλη ποσοτήτων υγρασίας. Κατά τη διάρκεια της νύκτας λοιπόν, προσροφάται το CO₂ και ανάγεται σε μαλικό οξύ. Την επόμενη ημέρα, όταν τα στόματα είναι κλειστά, το μαλικό οξύ διασπάται σε πυρουβικό οξύ και CO₂, το οποίο εισέρχεται στον γνωστό κύκλο των Calvin - Benson για την παραγωγή υδατανθράκων. Η ιδιομορφία αυτή των κλειστών κατά τη διάρκεια της ημέρας στομάτων, συντελεί στη μείωση της απώλειας νερού, γεγονός το οποίο αποτελεί προσαρμογή των φυτών στις συνθήκες ξηρού κλίματος όπου αναπτύσσονται, αλλά συγχρόνως επιβραδύνει δραστικά το ρυθμό παραγωγής.

Όπως είναι αναμενόμενο, τα **CAM φυτά** ευδοκιμούν στα θερμά και ξηρά περιβάλλοντα, όπως οι έρημοι. Μια σημαντική γεωργική καλλιέργεια, που τα φυτά της ακολουθούν την CAM φωτοσύνθεση, είναι ο ανανάς, φυτό της οικογένειας *Bromeliaceae*. Στην κατηγορία αυτή ανήκουν επίσης, και τα παχύφυτα είδη των οικογενειών *Liliaceae*, *Cactaceae*, *Crassulaceae*. Τα φυτά της κατηγορίας αυτής έχουν μικρή εξάπλωση στην Ελλάδα, οπότε και η σημασία τους, ιδιαίτερα για τη διατροφή των αγροτικών ζώων στη χώρα μας είναι περιορισμένη.

Πίνακας 4.2. Σύγκριση των καθαρών φωτοσυνθετικών ρυθμών μεταξύ των C₃ και των C₄ – φυτών.

Τύπος καλλιέργειας	Καθαρός φωτοσυνθετικός ρυθμός (mg CO ₂ /dm ² /ΦΕ/ώρα)
C₃ - φυτά	
Σπανάκι	16
Καπνός	16-21
Σιτάρι	17-31
Ρύζι	12-30
Φασόλια	12-17
C₄ - φυτά	
Αραβόσιτος	46-63
Ζαχαροκάλαμο	42-49
Σόργο	55
Βερμούδα γκρας	35-43
Αμάρανθος	58

Πηγή: Δεδομένα από τους Zelitch (1971) και Larcher (1980).

4.2.1.4. Η σύγκριση των φωτοσυνθετικών διαδρομών

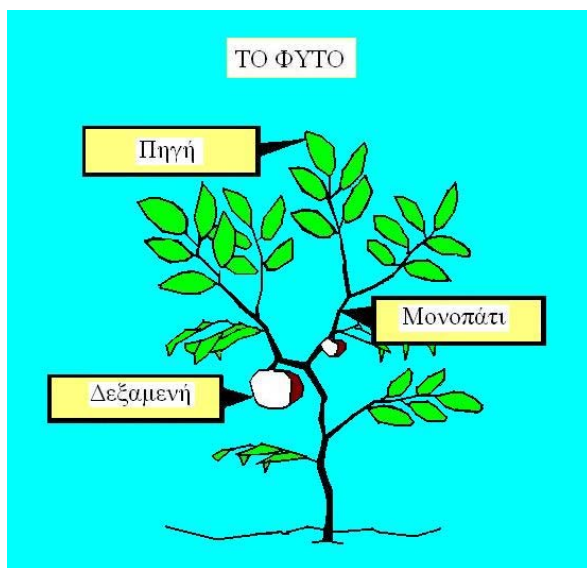
Ένας συγκριτικός πίνακας των διαφορετικών φωτοσυνθετικών διαδρομών είναι και ο **Πίνακας 4.1**. Η διαφορετική διευθέτηση των χλωροπλαστών μέσα στα φύλλα κάθε τύπου συσχετίζονται με τις ανταποκρίσεις στο φως, τη θερμοκρασία και το νερό. Τα C₃ φυτά έχουν την τάση να παρουσιάζουν μέγιστο ρυθμό φωτοσύνθεσης σε μέτριες εντάσεις φωτός και θερμοκρασίας, ενώ πράγματι εμποδίζονται από την υπερβολική έκθεση στο φως και την υψηλή θερμοκρασία. Τα C₄ φυτά είναι καλύτερα προσαρμοσμένα στις συνθήκες υψηλού φωτισμού και υψηλής θερμοκρασίας, έχουν την ικανότητα να κλείνουν τα στόματα κατά την διάρκεια των ωρών του ημερήσιου φωτός, ώστε να αντιδρούν στις υψηλές θερμοκρασίες και την κακουχία της εξάτμισης, τέλος μπορούν και χρησιμοποιούν το νερό περισσότερο αποτελεσματικά κάτω από αυτές τις

συνθήκες. Τα CAM φυτά ανθίστανται στις πλέον επίμονες θερμές και ξηρές συνθήκες, διατηρώντας τα στόματα κλειστά κατά τη διάρκεια της ημέρας, αλλά θυσιάζουν την αύξηση και τους φωτοσυνθετικούς ρυθμούς, για να μπορέσουν να επιβιώσουν σε ακραίες συνθήκες.

Παρά την μεγαλύτερη φωτοσυνθετική αποτελεσματικότητα των C_4 φυτών, τα C_3 φυτά, όπως π.χ. το ρύζι και το σιτάρι, είναι υπεύθυνα για τη μεγαλύτερη παγκόσμια παραγωγή. Η ανωτερότητα της C_4 φωτοσύνθεσης δημιουργεί διαφορά μόνο, όταν η ικανότητα της γεωργικής παραγωγής να μετατρέψει το φως σε βιομάζα είναι ο μοναδικός περιοριστικός παράγοντας, μια κατάσταση που σπάνια συμβαίνει στον αγρό.

4.2.2. Η κατανομή του άνθρακα

Οι χημικές ενώσεις του άνθρακα που παράγονται με τη φωτοσύνθεση παίζουν σημαντικό ρόλο στη αύξηση και την αναπνοή του φυτού λόγω ακριβώς του διπλού τους



Εικόνα 4.1. Η κατανομή του άνθρακα.

διαδικασία με την οποία αυτή μετατρέπεται σε βιομάζα δύσκολα ξεπερνά το 2%. Η αποτελεσματικότητα αυτή είναι χαμηλή για δυο κυρίους λόγους: πρώτον, επειδή το μεγαλύτερο μέρος της φωτοσύνθεσης χρησιμοποιείται για την εσωτερική αναπνοή (φωτοσυνθετική οξείδωση για τη συντήρηση των κυττάρων) και δεύτερον, επειδή, όταν το φωτοσυνθετικό δυναμικό είναι υψηλότατο, η φωτοαναπνοή περιορίζει την φωτοσυνθετική απόδοση.

Με δεδομένο ότι η ικανότητα των φυτών να δημιουργούν βιομάζα είναι ορισμένη, το πώς κατανέμεται ο δεσμευμένος άνθρακας που αυτά δημιουργούν είναι τεράστιας σημασίας στη γεωργία. Έτσι, οι άνθρωποι επιλέγουν φυτά που φωτοσυνθέτουν στο τμήμα του φυτού που πρόκειται να συγκομιστεί, σε βάρος των άλλων τμημάτων του φυτού.

Το συγκομίσσιμο ή το συγκομιζόμενο τμήμα των περισσότερων παραγωγικών φυτών, συνήθως έχει αυτό καθεαυτό, περιορισμένη φωτοσυνθετική ικανότητα, με συνέπεια οι αποδόσεις να βασίζονται σε μεγάλο βαθμό στους υδατάνθρακες που μεταφέρονται μέσω των κυττάρων του φλοιώματος, από τα φωτοσυνθετικά δραστήρια τμήματα προς τα προς συγκομιδή τμήματα.

ρόλου, ως πηγή ενέργειας αφενός και αφετέρου, ως σκελετικά υλικά άνθρακος για τη δόμηση οργανικών ενώσεων. Το πώς ένα φυτό διανέμει τις προερχόμενες από τη φωτοσύνθεση ενώσεις του άνθρακα και τις κατανέμει στις διάφορες φυσιολογικές διαδικασίες και τα μέρη του φυτού, περιγράφεται με τον όρο κατανομή του άνθρακα. Η διαδικασία αυτή είναι σημαντικού γεωργικού ενδιαφέροντος, δεδομένου ότι καλλιεργούμε τα φυτά γιατί έχουν την ικανότητα να παράγουν συγκομίσσιμη βιομάζα.

Μολονότι η φωτοσύνθεση εμφανίζει αποτελεσματικότητα σύλληψης της ενέργειας που ανέρχεται στο 20% περίπου, η

Σε οικολογικούς όρους, συχνά αναφερόμεθα στην κατανομή του άνθρακα ως φαινόμενα πηγής, διαδρομής και δεξαμενής (Εικόνα 4.1). Η πηγή είναι συνήθως το φύλλο, και πιο συγκεκριμένα οι χλωροπλάστες του. Αρκετά αναλυτική έρευνα έχει διεξαχθεί στη βιοχημεία και την φυσιολογία της πραγματικής μεταφοράς του άνθρακα από τους χλωροπλάστες προς τις διαδρομές μεταφοράς. Στη διαδικασία αυτή βρίσκεται σε δράση ένας πολύπλοκος συνδυασμός από χημικούς εντοπιστές (locators) και ένζυμα. Ακολουθώς, ο άνθρακας, μετά το φλοίωμα, μετακινείται μέσω του βλαστού στους σπόρους, τα άνθη, τους καρπούς, τους σωλήνες ή τα άλλα τμήματα τα οποία αποτελούν τις δεξαμενές. Στο σημείο αυτό παρατηρούμε το φλοίωμα να «αποφορτίζεται» και η δεξαμενή να «γεμίζει». Η πραγματική μεταφορά από τους ηθμαγγιώδεις αγωγούς στους αποδέκτες ιστούς, συχνά βασίζεται, σε μια βαθμίδα συγκέντρωσης σακχάρου.

Τα προϊόντα της φωτοσύνθεσης είναι ενώσεις άνθρακα, οξυγόνου και υδρογόνου που συνιστούν το 90% περίπου της ξηρής ουσίας του φυτού. Συνεπώς, υπάρχει μια στενή σχέση ανάμεσα στη συνολική φωτοσύνθεση του φυτού και τη συνολική παραγωγικότητα του φυτού. Οι συνολικοί φωτοσυνθετικοί ρυθμοί συσχετίζονται με τους ρυθμούς ανά μονάδα φυλλικής επιφάνειας, σχετίζονται όμως επίσης, και από το ρυθμό μεταφοράς από την πηγή προς τη δεξαμενή. Ο άνθρακας διατηρείται στην περιοχή ανάπτυξης του φύλλου, καθόν χρόνο νέα φύλλα δημιουργούνται και μόνο όταν σχηματιστούν όλα τα φύλλα μπορεί να λάβει χώρα η μεταφορά σε άλλες δεξαμενές. Μετά το κλείσιμο της κομοστέγης η φωτοσύνθεση της καλλιέργειας και η αύξησή της εξαρτάται κυρίως από την καθαρή δέσμευση του CO₂ ανά μονάδα φυλλικής επιφάνειας.

Μέσα στην αυξητική περίοδο, οι διάφορες δεξαμενές του φυτού ανταγωνίζονται μεταξύ τους για την προμήθεια του άνθρακα που παράχθηκε από τα φύλλα, με αποτέλεσμα κάποια τμήματα του φυτού να συσσωρεύουν περισσότερη βιομάζα από κάποια άλλα.

Οι μηχανισμοί που ρυθμίζουν την κατανομή της φωτοσύνθεσης μέσα στο φυτό δεν έχουν ακόμη διασαφηνιστεί πλήρως, εντούτοις όμως, είναι ξεκάθαρο ότι η διαδικασία είναι δυναμική και σχετίζεται, τόσο με τις περιβαλλοντικές συνθήκες, όσο και με τις γενετικά καθορισμένες αναπτυξιακές μορφές του φυτού. Διάφοροι ερευνητές έχουν μελετήσει τους τρόπους τροποποίησης της κατανομής του άνθρακα στα φυτά συγκομιδής. Ένα παράδειγμα σχετίζεται με την ανάπτυξη των πολυετών καρποδοτικών φυτών, όπου η πρόκληση που τίθεται είναι η εξισορρόπηση του άνθρακα ανάμεσα στο βλαστητικό τμήμα του πολυετούς φυτού (ειδικότερα τις ρίζες και τους βλαστούς) και το σπόρο.

4.2.3. Οι διατροφικές ανάγκες των φυτών

Η φωτοσύνθεση προμηθεύει το φυτό με ένα μεγάλο τμήμα των διατροφικών αναγκών, δηλαδή με ενέργεια, άνθρακα και οξυγόνο, για τη δημιουργία των σημαντικών δομικών και λειτουργικών οργανικών ενώσεων. Μαζί με το υδρογόνο, το οποίο προέρχεται κυρίως από το νερό, το οποίο προσλαμβάνει το φυτό μέσω των ριζών ως αποτέλεσμα της διαπνοής, ο άνθρακας και το οξυγόνο αποτελούν το 95% περίπου του μέσου χλωρού βάρους του φυτού.

Τα στοιχεία που συνιστούν το υπόλοιπο 5% του χλωρού βάρους του φυτού πρέπει να προέλθουν από κάπου αλλού και συγκεκριμένα, πρέπει να προέλθουν από το έδαφος. Τα στοιχεία αυτά είναι τα ουσιώδη θρεπτικά στοιχεία του φυτού. Τα θρεπτικά στοιχεία απαιτούνται για να σχηματιστούν οι δομές του φυτού, τα νουκλεϊνικά οξέα που καθοδηγούν ποικίλες διαδικασίες του φυτού, τα ένζυμα και οι καταλύτες που ρυθμίζουν τον μεταβολισμό του φυτού. Αυτά βοηθούν επίσης, στη διατήρηση της

εσωτερικής ισορροπίας της ώσμωσης και παίζουν ένα σημαντικό ρόλο στην απορρόφηση των ιόντων από το υδατικό διάλυμα. Εάν ένα ουσιώδες θρεπτικό στοιχείο δεν είναι διαθέσιμο σε επαρκείς ποσότητες, το φυτό υποφέρει και δεν αναπτύσσεται ικανοποιητικά. Άλλωστε, στη γεωργική πρακτική έχουμε μάθει πώς να ρυθμίζουμε την παροχή αυτών των θρεπτικών στοιχείων στο έδαφος, ώστε να καλύπτουμε τις ανάγκες των καλλιεργειών.

Τα τρία (3) θρεπτικά στοιχεία τα οποία απαιτούνται σε σχετικά μεγάλες ποσότητες και τα οποία έχουν παίξει ένα τόσο σημαντικό ρόλο ως ανόργανα λιπάσματα στη γεωργία είναι το άζωτο, ο φωσφόρος και το κάλιο. Αυτά ως γνωστό χαρακτηρίζονται και ως μακροστοιχεία.

4.2.3.1. Το άζωτο

Τα φυτά έχουν ανάγκη από μεγάλες ποσότητες αζώτου, ενώ ταυτόχρονα αυτό, παγκοσμίως, είναι το πιο ελλειμματικό θρεπτικό στοιχείο. Υπάρχει σε κάθε αμινοξύ και ως εκ τούτου είναι το μείζον συστατικό των πρωτεϊνών. Το άζωτο εμπλέκεται, κατά κάποιο τρόπο, σε πάνω από το 50% της ξηρής βιομάζας του φυτού. Είναι απαραίτητο για τη σύνθεση των ενζύμων και η έλλειψή του επηρεάζει σχεδόν, κάθε ενζυματική αντίδραση. Το άζωτο σχηματίζει τμήμα της χλωροφύλλης και συνεπώς είναι άκρως απαραίτητο για τη σύνθεσή της. Για το λόγο αυτό άλλωστε, και για τα φυτά τα οποία εμφανίζουν φύλλα κιτρινωπά, ο χρωματισμός τους αποτελεί ένδειξη της έλλειψης των απαιτούμενων ποσοτήτων στο έδαφος του θρεπτικού αυτού στοιχείου. Επαρκείς ποσότητες αζώτου απαιτούνται επίσης, για την κανονική άνθηση και τη δημιουργία καρπών σε όλα τα είδη των φυτών. Συνήθως, το άζωτο στα φυτά αποτελεί το 1-2% του ξηρού του βάρους, αλλά ποσοστά που φτάνουν το 5% δεν είναι ασυνήθη.

Εκτός από το άζωτο το οποίο συλλαμβάνεται από τον ατμοσφαιρικό αέρα από τους συμβιωτικούς μικροοργανισμούς που συμβιώνουν στις ρίζες των περισσότερων μελών της οικογένειας των ψυχανθών, αλλά και λίγων άλλων οικογενειών, και μεταφέρεται στα φυτά ξενιστές σε άμεσα διαθέσιμη μορφή, τα περισσότερα φυτά προσλαμβάνουν το απαραίτητο για τις ανάγκες τους άζωτο, μέσα από την ανταλλαγή ιόντων με το εδαφικό διάλυμα ως NO_3^- ή από την αμμωνία (NH_4) που απορροφάται στο χούμο ή τον άργιλο. Οι διαθέσιμες μορφές του αζώτου στο έδαφος γενικά διατηρούνται σε χαμηλά επίπεδα, επειδή αυτός, είτε προσλαμβάνεται ταχύτατα όταν είναι διαθέσιμος, είτε παρουσιάζει υψηλό δυναμικό απώλειας μέσω της απόπλυσης με τη βροχόπτωση ή της απόσπασης με την άρδευση.

4.2.3.2. Ο φωσφόρος

Ο φωσφόρος αποτελεί σημαντικό συστατικό των νουκλεϊνικών οξέων, των νουκλεοπρωτεϊνών, της φυτίνης, των φωσφολιπιδίων, του ATP, και αρκετών άλλων τύπων φωσφορικών ενώσεων, συμπεριλαμβανομένων κάποιων σακχάρων. Ο φωσφόρος δομείται στο DNA των χρωμοσωμάτων και το RNA του πυρήνα και των ριβοσωμάτων. Οι κυτταρικές μεμβράνες εξαρτώνται από τα φωσφολιπίδια για τη ρύθμιση της κίνησης των υλικών μέσα και έξω από τα κύτταρα και τα οργανίδια. Ο φωσφόρος με τη μορφή των φωσφορικών εμφανίζεται σε κάποια ένζυμα που καταλύουν μεταβολικές αντιδράσεις. Ο μεταβολισμός των σακχάρων στα φυτά για παράδειγμα, εξαρτάται από τη φωσφορογλυκομυτάση. Υπάρχει επίσης, στα πρωταρχικά κυτταρικά τοιχώματα με τη μορφή ενζύμων και επηρεάζει την περατότητα του κυτταρικού τοιχώματος. Οι αρχικές αντιδράσεις της φωτοσύνθεσης εμπλέκουν τον

φωσφόρο καθώς αυτός ανευρίσκεται στο σάκχαρο με 5 άνθρακες με το οποίο το CO₂ αρχικά αντιδρά.

Ο φωσφόρος απορροφάται ως φωσφορικό από το εδαφικό διάλυμα μέσω των ριζών του φυτού. Τα φωσφορικά σε διάλυση είναι άμεσα διαθέσιμα για να προληφθούν από τα φυτά, αλλά στα περισσότερα εδάφη ο διαθέσιμος φωσφόρος βρίσκεται σε αρκετά χαμηλό επίπεδο, αν εξαιρέσουμε φυσικά, εκείνα τα εδάφη που έχουν προέλθει από μητρικό πέτρωμα με υψηλή περιεκτικότητα σε φωσφόρο ή όπου τα επίπεδα του φωσφόρου έχουν σχηματιστεί μέσα στο χρόνο, ως αποτέλεσμα μακροχρόνιας λίπανσης. Όταν ο φωσφόρος είναι άμεσα διαθέσιμος, τα φυτά, ευκαιριακά, θα προσλάβουν μεγάλες ποσότητες του στοιχείου αυτού, οι οποίες φτάνουν μέχρι και το 0,25% του ξηρού βάρους, αλλά γρήγορα εμφανίζουν φαινόμενα έλλειψης όταν αυτός βρίσκεται σε επίπεδα ανεπάρκειας. Τα φύλλα σχηματίζουν μια κυανόχροη κρούστα ή παραμένουν έντονα βαθιά πράσινα και, στην κάτω επιφάνεια των φύλλων, τα αγγεία και τις άκρες των φύλλων πορφυρές χρωστικές (ανθοκυανίνες) κάνουν την έντονη εμφάνισή τους. Τέλος, όταν έχουμε έλλειψη φωσφόρου, η ανάπτυξη των ριζών και η δημιουργία καρπών εμποδίζεται σε σοβαρό βαθμό.

4.2.3.3. Το κάλιο

Το κάλιο δεν αποτελεί δομικό συστατικό του φυτού, ούτε συστατικό των ενζύμων ή των πρωτεϊνών. Πρωτίστως, η λειτουργία του είναι ρυθμιστική. Εμπλέκεται, για παράδειγμα, στη ρύθμιση της ώσμωσης (κίνηση των στομάτων) και είναι συμπληρωματικός παράγοντας για πολλά ενζυμικά συστήματα. Πολλά γνωρίζουμε για το που βρίσκεται το κάλιο στα φυτά, αλλά πολύ λιγότερα για το τι πραγματικά κάνει. Οι περισσότερες μεταβολικές διαδικασίες που έχουν μελετηθεί, επηρεάζονται από το κάλιο. Στο μεταβολισμό της πρωτεΐνης, για παράδειγμα, φαίνεται ότι το κάλιο ενεργοποιεί κάποια ένζυμα που είναι υπεύθυνα για τη σύνθεση των πεπτιδικών δεσμών και την ενσωμάτωση των αμινοξέων στην πρωτεΐνη.

Το κάλιο απαιτείται να είναι παρόν στο σχηματισμό του αμύλου και των σακχάρων, καθώς επίσης και στην εκ των υστέρων μεταφορά τους μέσα στο φυτό. Το θρεπτικό αυτό στοιχείο έχει αποδειχθεί ότι είναι απαραίτητο για την κυτταρική διαίρεση και αύξηση, και τρόπον τινά συνδέεται με την διαπερατότητα του κυττάρου και την ενυδάτωση. Τέλος, τα φυτά επιδεικνύουν μεγαλύτερη αντίσταση στις ασθένειες όταν οι ποσότητες του καλίου είναι επαρκείς.

Τα φυτά προσλαμβάνουν το κάλιο με την μορφή του κατιόντος K⁺ από τις ρίζες, ως ανταλλάξιμο ιόν, είτε από τις θέσεις απορρόφησης από το ορυκτό έδαφος, είτε από το εδαφικό διάλυμα σε μια διαλυτή μορφή. Όταν το κάλιο βρίσκεται σε κατάσταση ανεπάρκειας, τα φυτά αρχικά παρουσιάζουν ασυνέχειες στο υδατικό ισοζύγιο, φαινόμενο που εμφανίζεται δίκην ξηρών κορυφών ή κατσαρώματος των άκρων των φύλλων και, πολλές φορές, με μια υψηλότερη επικράτηση σάπιων ριζών. Το κάλιο είναι συνήθως άφθονο στο έδαφος, και στους ιστούς των φυτών, σε άριστες συνθήκες, συνιστά το 1-2% της ξηρής ουσίας. Όμως, μια υπερβολική απομάκρυνση του καλίου με τη συγκομιδή, το οδηγεί σε κατάσταση ανεπάρκειας.

4.2.3.4. Άλλα μακροστοιχεία

Τρία ακόμη στοιχεία συγκαταλέγονται στα μακροστοιχεία. Αυτά είναι το ασβέστιο (Ca), το μαγνήσιο (Mg) και το θείο (S). Όμως, η κατάταξη αυτών στα μακροστοιχεία αποδίδεται περισσότερο στη λειτουργική συμβολή τους, επειδή αυτά

συσσωρεύονται στους φυτικούς ιστούς σε σχετικά υψηλά επίπεδα και λιγότερο στην σπουδαιότητα που έχει η συμβολή τους στις διάφορες δομές και διαδικασίες του φυτού. Αυτό δεν σημαίνει φυσικά, ότι αυτά δεν παίζουν σημαντικούς ρόλους, διότι όταν κάποιο από αυτά τα θρεπτικά στοιχεία είναι ανεπαρκές στο έδαφος, η ανάπτυξη των φυτών υποφέρει και τα συμπτώματα της ανεπάρκειάς τους φαίνονται γρήγορα. Το ασβέστιο και το μαγνήσιο είναι άμεσα προσλήψιμα από τις ρίζες των φυτών μέσω της ανταλλαγής κατιόντων (Ca^{2+} και Mg^{2+}), το θείο όμως, προσλαμβάνεται ως ανιόν θειικής ρίζας (SO_4^{2-}) από θέσεις με οργανικούς δεσμούς ή μετά από τη διάλυση των θεικών αλάτων ασβεστίου, μαγνησίου ή νατρίου.

4.2.3.5. Άλλα μικροστοιχεία

Ο σίδηρος (Fe), ο χαλκός (Cu), ο ψευδάργυρος (Zn), το μαγγάνιο (Mn), το μολυβδαίνιο (Mo), το βόριο (B) και το χλώριο (Cl) αποτελούν την ομάδα των **μικροστοιχείων** ή αλλιώς των **ιχνοστοιχείων**. Κάθε ένα από αυτά παίζει ένα ζωτικό ρόλο για τα φυτά, συνήθως όμως σε εξαιρετικά μικρές ποσότητες. Όλα τα μικροστοιχεία προσλαμβάνονται από το εδαφικό διάλυμα, μέσω της ανταλλαγής ιόντων που συντελείται στην επιφάνεια των ριζών.

Πίνακας 4.3. Τα μικροστοιχεία και οι διαδικασίες στις οποίες αυτά εμπλέκονται.

Θρεπτικό ιχνοστοιχείο	Διαδικασίες
Βόριο (B)	Μεταφορά υδατανθράκων και μεταβολισμός, μεταβολισμός της φαινόλης, δραστηριοποίηση των ρυθμιστών αύξησης
Χλώριο (Cl)	Ενυδάτωση του κυττάρου, δραστηριοποίηση των ενζύμων στη φωτοσύνθεση
Χαλκός (Cu)	Βασικός μεταβολισμός, μεταβολισμός του αζώτου, δευτερεύων μεταβολισμός
Σίδηρος (Fe)	Χλωροφυλλική σύνθεση, ένζυμα μεταφοράς ηλεκτρονίων
Μαγγάνιο (Mn)	Βασικός μεταβολισμός, σταθεροποίηση της δομής των χλωροπλαστών, μεταβολισμός του αζώτου
Μολυβδαίνιο (Mo)	Αζωτοδέσμευση, μεταβολισμός του φωσφόρου, απορρόφηση και καταμερισμός του σιδήρου
Ψευδάργυρος (Zn)	Σχηματισμός χλωροφύλλης, δραστηριοποίηση ενζύμων, βασικός μεταβολισμός, διάσπαση πρωτεϊνών, βιοσύνθεση ορμονών

Πηγή: Προσαρμογή από τον Treshow (1970).

Στον **Πίνακα 4.3** φαίνεται ο ρόλος που καθένα από τα μικροστοιχεία αυτά παίζουν στις διαδικασίες της ζωής των φυτών. Όπως θα μπορούσε κάποιος να φανταστεί, κάθε μια από τις αναφερόμενες στον **Πίνακα 4.3** σημαντικές διαδικασίες, μπορεί να εμποδιστεί ή να τροποποιηθεί από την ανεπάρκειά τους. Πολλά ανόργανα λιπάσματα φέρουν μικρές ποσότητες των στοιχείων αυτών, και μίγμα των ιχνοστοιχείων προστίθενται στα εδάφη τα οποία έχουν υποστεί συμβατική διαχείριση για πολλά έτη. Πλούσια σε μικροστοιχεία είναι τα οργανικά λιπάσματα, ιδιαίτερα μάλιστα, εκείνα που παρασκευάζονται από φυτικά υλικά και κοπριά.

4.2.4. Η διαπνοή

Όλες οι διαδικασίες στη ζωή των φυτών, συμπεριλαμβανομένων της φωτοσύνθεσης, της κατανομής του άνθρακα, και του μεταβολισμού, εξαρτώνται από τη συνεχή ροή του νερού από τις ρίζες προς την ατμόσφαιρα, μέσω μιας διαδρομής που αρχίζει από το έδαφος, συνεχίζει στις ρίζες, περνάει από τους βλαστούς και τα φύλλα και καταλήγει στα στόματα. Η διαδικασία αυτή ονομάζεται **διαπνοή**.

Η απώλεια του νερού από τα φύλλα δημιουργεί μια συγκέντρωση χαμηλής βαθμίδωσης, ή ένα χαμηλό υδατικό δυναμικό, στα φύλλα, συνέπεια του οποίου είναι να μετακινείται τριχοειδώς περισσότερο νερό στο φυτό και τα φύλλα, έτσι ώστε οι απώλειες να αναπληρώνονται. Η πραγματική ποσότητα του νερού που δεσμεύεται στους ιστούς των φυτών ή η ποσότητα που πραγματικά εμπλέκεται στις διαδικασίες, όπως π.χ. στη φωτοσύνθεση, είναι πολύ μικρή, σε αναλογία με την διαπνευστική απώλεια του νερού, σε ημερήσια βάση. Η κίνηση του νερού μέσω των φυτών είναι πολύ σημαντική για τους διατροφικούς κύκλους και προπαντός, όταν αυτοί υλοποιούνται κάτω από συνθήκες περιορισμένης διαθεσιμότητας νερού στο έδαφος.

4.3. Το φυτό και η αλληλεπίδραση του με το περιβάλλον

Κάθε μια από τις φυσιολογικές διαδικασίες που παραπάνω περιγράψαμε, επιτρέπουν στα φυτά να αντιδρούν και να αναπτύσσονται στο περιβάλλον που επιβιώνουν. Έτσι, η κατανόηση των τρόπων με του οποίους τα φυτά και η φυσιολογία τους επηρεάζονται από τους διάφορους παράγοντες του περιβάλλοντος, αποτελεί ουσιώδες συστατικό του σχεδιασμού και της διαχείρισης των συστημάτων αειφορικής εκμετάλλευσης.

Η οικολογική μελέτη της αντίδρασης των φυτών στους διάφορους παράγοντες του περιβάλλοντος, γνωστή και ως **αυτοοικολογία** ή **φυσιολογική οικολογία**, στη θεωρητική της έννοια, ή **οικολογία γεωργικής παραγωγής**, στην εφαρμοσμένη της έννοια, αποτελεί κατά συνέπεια τον ακρογωνιαίο λίθο της αγροοικολογικής αντίληψης. Στη συνέχεια του κεφαλαίου αυτού θα εξετάσουμε κάποιες από τις εννοιολογικές βάσεις της αυτοοικολογίας.

4.3.1. Η θέση του φυτού στο περιβάλλον

Κάθε είδος καταλαμβάνει μια συγκεκριμένη θέση στο οικοσύστημα, γνωστή με τον όρο **βιότοπος** (habitat), η οποία χαρακτηρίζεται από ένα συγκεκριμένο σύνολο περιβαλλοντικών συνθηκών, στο οποίο περιλαμβάνεται και η αλληλεπίδραση του είδους αυτού με άλλα είδη. Μέσα στην βιότοπό τους, τα είδη διαδραματίζουν ένα συγκεκριμένο οικολογικό ρόλο ή λειτουργία, γνωστή και ως **οικοθέση**, ή **οικολογική θέση** ή **οικολογικός θώκος** (ecological niche)².

² Ο Odum, εξηγώντας τις έννοιες βιότοπος και οικοθέση, κάνει ένα ανθρωπομορφικό παραλληλισμό και αναφέρει ότι, ο βιότοπος είναι η διεύθυνση στην οποία ένας άνθρωπος διαμένει και οικοθέση ο ρόλος του μέσα στην κοινότητα, το επάγγελμά του, οι ασχολίες του και οι επιδράσεις που ασκεί σε άλλους ανθρώπους.

4.3.2. Αντίδραση στους παράγοντες του περιβάλλοντος

Κάθε φυτό στη διάρκεια της ζωής του περνάει μέσα από τα διακριτά στάδια της ανάπτυξης, στα οποία περιλαμβάνονται το φύτευμα των σπόρων, η αρχική εγκατάσταση, η αύξηση, η άνθηση και η διασπορά των σπόρων. Καθένα από τα στάδια αυτά εμφανίζει κάποια μορφή φυσιολογικής αλλαγής, ή **αντίδρασης**, στα φυτά. Οι περισσότερες μορφές ανταπόκρισης είναι άμεσα συνδεδεμένες με τους περιβαλλοντικούς παράγοντες.

4.3.2.1. Πυροδοτούμενες αντιδράσεις

Πολλές από τις αντιδράσεις των φυτών προκαλούνται από κάποια εξωτερικά ερεθίσματα. Οι αντιδράσεις είναι αποτέλεσμα ενός συγκεκριμένου παράγοντα, πλην όμως για να συνεχιστεί η αντίδραση ο εξωτερικός αυτός παράγοντας δεν είναι απαραίτητο να διατηρηθεί. Για παράδειγμα, οι σπόροι του καπνού για να βλαστήσουν απαιτείται να εκτεθούν στο ηλιακό φως. Η έκθεση αυτή απαιτείται να είναι διάρκειας μόλις κλάσματος του δευτερολέπτου. Έτσι, ο σπόρος θα βλαστήσει ακόμη και αν φυτευτεί σε συνθήκες πλήρους σκότους, εάν προηγουμένως υποστεί μικρής διάρκειας έκθεση στο ηλιακό φως.

4.3.2.2. Εξαρτημένες αντιδράσεις

Οι αντιδράσεις κάποιων φυτών εξαρτώνται από τη συνεχή παρουσία ενός συγκεκριμένου εξωτερικού παράγοντα. Η αντίδραση προκαλείται και διατηρείται εξ αιτίας του παράγοντα αυτού. Ένα παράδειγμα αυτού του τύπου της αντίδρασης είναι η παραγωγή των φύλλων στον ακανθώδη βλαστό του φυτού οκοτίγιο (*Fouquieria splendens*). Μέσα σε μια ή δυο ημέρες εμφανίζονται τα φύλλα στους βλαστούς και όσο τα επίπεδα της υγρασίας στο έδαφος είναι επαρκή, τα φύλλα διατηρούνται, αλλά αμέσως μόλις φτάσουν στο σημείο μαρασμού τα φύλλα πέφτουν.

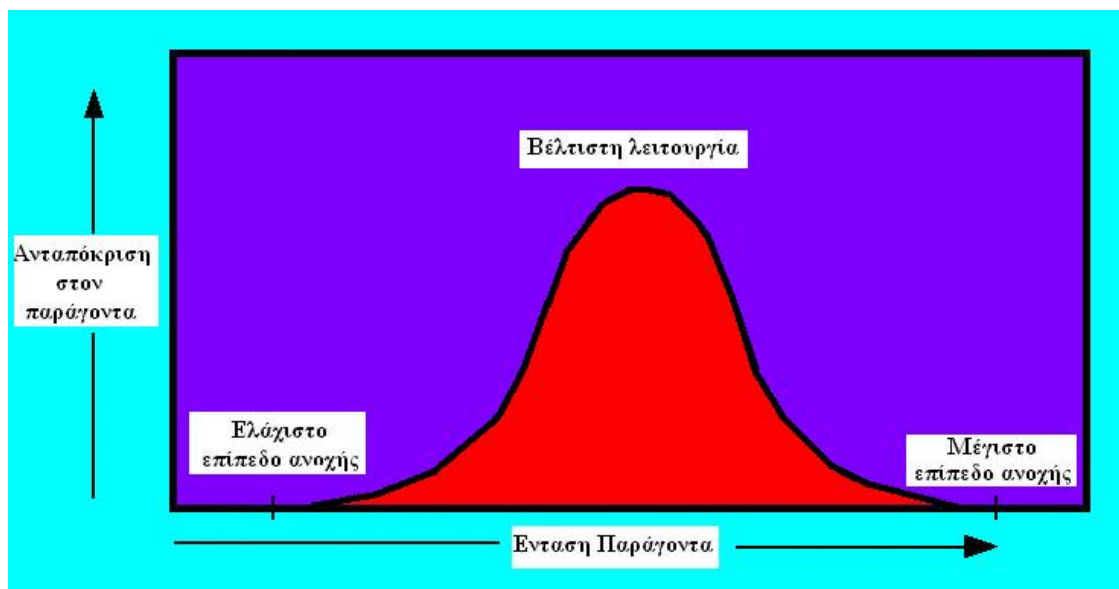
4.3.2.3. Ανεξάρτητες αντιδράσεις

Κάποιες αντιδράσεις στα φυτά συμβαίνουν ανεξάρτητα των συνθηκών που επικρατούν στο άμεσο περιβάλλον και είναι αποτέλεσμα κάποιων εσωτερικά ελεγχόμενων, φυσιολογικά καθοριζόμενων ομάδων παραγόντων. Για παράδειγμα, ένα φυτό αραβοσίτου αρχίζει να ανθίζει διότι ένα συγκεκριμένο στάδιο της αύξησης και της ανάπτυξης του έχει επιτευχθεί. Οι εξωτερικές συνθήκες μπορεί να προκαλέσουν, αργά ή γρήγορα την άνθηση επηρεάζοντας την αύξηση, η πραγματική αλλαγή στη φαινολογία του φυτού όμως, ελέγχεται εσωτερικά.

4.3.3. Όρια και ανοχές

Η ικανότητα ενός είδους να καταλάβει τον συγκεκριμένο βιότοπό του είναι αποτέλεσμα μιας δέσμης προσαρμογών που το συγκεκριμένο φυτό ανάπτυξε εξελικτικά μέσα στο χρόνο. Οι προσαρμογές αυτές επιτρέπουν στο φυτό να αντιμετωπίζει κάποια επίπεδα διαθέσιμης υγρασίας, θερμοκρασίας, φωτός, ανέμου αλλά και άλλων συνθηκών. Για κάθε ένα από τους παράγοντες που οριοθετεί τον βιότοπο κάθε φυτού, υπάρχουν ένα μέγιστο επίπεδο ανοχής και ένα ελάχιστο, πέρα από τα οποία το φυτό δεν

μπορεί να αντεπεξέλθει. Ανάμεσα σ' αυτές τις ακραίες θέσεις υπάρχει ένα άριστο στο οποίο τα είδη αντιδρούν ή λειτουργούν άριστα. Για παράδειγμα, το τροπικό φυτό της μπανάνας θέλει μια άριστη μέση μηνιαία θερμοκρασία στους 27 °C. Πάνω από τους 50 °C τα δένδρα της μπανάνας υποφέρουν από τον ήλιο και σταματούν την αύξηση, ενώ κάτω από τους 21 °C παρατηρείται μειωμένη παραγωγή φύλλων και βλαστών.



Εικόνα 4.2. Το εύρος ανοχής του φυτού για περιβαλλοντικό παράγοντα.

Για κάθε φυτό το συγκεκριμένο εύρος ορίων ανοχής και άριστου απέναντι σε ένα περιβαλλοντικό παράγοντα είναι, σε τελική ανάλυση, το αποτέλεσμα του τρόπου με τον οποίο ο παράγοντας αυτός επηρεάζει την κάθε μια από τις φυσιολογικές διαδικασίες του φυτού. Η ανοχή ενός φυτού σε ένα εύρος θερμοκρασιών για παράδειγμα, συνδέεται με τον τρόπο που η θερμοκρασία επηρεάζει τη φωτοσύνθεση, και τις λοιπές φυσιολογικές διαδικασίες του φυτού. Όταν όλοι οι βιοτικοί και αβιοτικοί παράγοντες του περιβάλλοντος εισέρχονται στην εξίσωση ανοχής, το πλήρες εύρος της προσαρμοστικότητας του φυτού καθίσταται προφανές. Ο βióτοπος και η οικοθέση ενός είδους ενσωματώνονται πλήρως.

Ένα είδος το οποίο παρουσιάζει ένα ευρύ σύνολο ανοχών στις περιβαλλοντικές συνθήκες, και ταυτόχρονα έχει μια μεγάλη ικανότητα να αλληλεπιδρά με άλλα είδη, (συχνά αναφερόμεθα στα είδη με μια ευρεία οικοθέση ή την ικανότητα μιας σημαντικής επικάλυψης της οικοθέσης), το είδος αυτό θα είναι περισσότερο κοινό σε μια μεγάλη περιοχή και είναι γνωστό και ως **γενικευτής**. Στον αντίποδα αυτού βρίσκεται ένα είδος με ένα στενό σύνολο ανοχών στις περιβαλλοντικές συνθήκες και με μια πολύ εξειδικευμένη οικοθέση. Το είδος αυτό είναι λιγότερο κοινό σε μια μεγάλη περιοχή και κοινό σε ένα πολύ στενό τοπικό επίπεδο και είναι γνωστό και ως **ειδικευτής**. Ένα είδος οξαλίδας, η *Oxalis oregana*, που θεωρείται οικολογικά ειδικευτής, σχηματίζει πυκνές συστάδες στις οποίες είναι το τοπικά κυρίαρχο είδος, αλλά περιορίζεται στις συγκεκριμένες συνθήκες που συναντά στον κατά τμήματα σκιαζόμενο υπόροφο του δάσους της σεγκόβιας. Όταν η σκιά είναι πάρα πολύ πυκνή, η φωτοσυνθετική δραστηριότητά του δεν είναι επαρκής για να καλύψει τις αναπνευστικές ανάγκες του φυτού, και όταν το ηλιακό φως είναι πολύ έντονο, η οξαλίδα αδυνατεί να αντιμετωπίσει την επίπτωση της αφυδάτωσης που προκαλείται από τη άμεση ηλιακή ακτινοβολία. Το άριστο επίπεδο φως για την οξαλίδα βρίσκεται στο ενδιάμεσο των δυο αυτών ακραίων καταστάσεων.

Συνεπώς, κάθε φυτικό είδος διαβιώνει σε ένα συγκεκριμένο βιότοπο, και η διαβίωση αυτή είναι αποτέλεσμα της ανάπτυξης, μέσα στα χρόνια, ενός συγκεκριμένου συνόλου προσαρμοστικών αντιδράσεων απέναντι στο περιβάλλον. Τα όρια ανοχής των ειδών περιορίζουν τα είδη αυτά σε ένα συγκεκριμένο βιότοπο, στα όρια του οποίου συμβαίνουν οι αλληλεπιδράσεις με τα άλλα είδη. Το φαινόμενο αυτό αφορά φυσικά τόσο τα αγροοικοσυστήματα όσο και τα φυσικά οικοσυστήματα. Για το πώς ένα φυτό συμπεριφέρεται σε ένα αγροοικοσύστημα εξαρτάται από το πώς κάθε παράγοντας του περιβάλλοντος το επηρεάζει. Τους παράγοντες αυτούς θα εξετάσουμε στα επόμενα κεφάλαια.

4.4. Χρήσιμη συμπληρωματική βιβλιογραφία

Campell, Neil. 1987. *Biology*. Benjamin Cummings: Menlo Park.

Epstein, E. 1972. *Mineral Nutrition of Plants: Principles and Perspectives*. John Wiley and Sons: New York.

Hall, D. O., and K. K. Rao. 1995. *Photosynthesis*. Fifth Edition. Cambridge University Press: Cambridge.

Lacher, W. 1995. *Physiological Plant Ecology*. Third Edition. Springer: Berlin.

Loomis, R. S., and D. J. Connor. 1992. *Crop Ecology: Productivity and Management in Agricultural Systems*. Cambridge University Press: Cambridge.

Κεφάλαιο Πέμπτο

Το Φως

5.1. Γενικά

Για τα οικοσυστήματα, το ηλιακό φως αποτελεί την πρωταρχική πηγή ενέργειας. Η σύλληψή του φωτός από τα φυτά συντελείται με τη διαδικασία της φωτοσύνθεσης και η ενέργειά του αποθηκεύεται στους χημικούς δεσμούς των οργανικών ενώσεων. Επίσης, το ηλιακό φως καθοδηγεί τον καιρό της γης. Η ενέργεια του φωτός μετατρέπεται σε θερμότητα επηρεάζει το είδος των κατακρημνισμάτων, την θερμοκρασία της επιφανείας της γης, τους ανέμους και την υγρασία. Ο τρόπος με τον οποίο αυτοί οι παράγοντες του περιβάλλοντος κατανέμονται στην επιφάνεια της γης, καθορίζουν το κλίμα, το οποίο με τη σειρά του, θεωρείται σημαντικό για τη γεωργία.

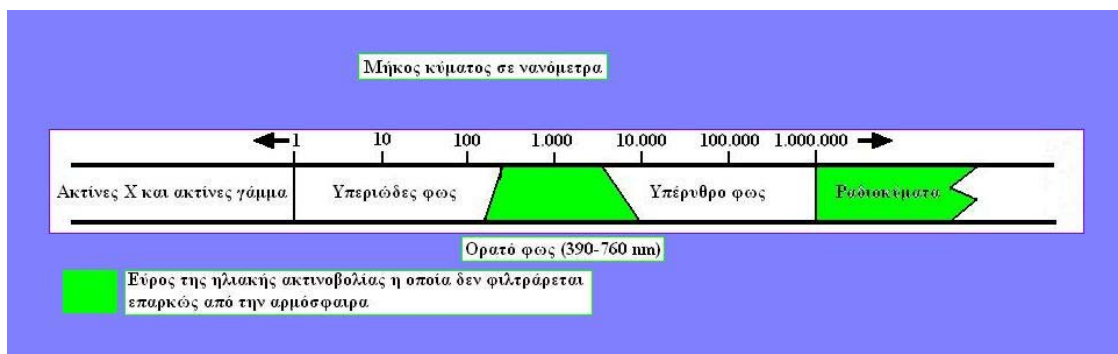
Το κεφάλαιο αυτό εστιάζεται στο περιβάλλον του φωτός, καθώς αυτό επηρεάζει άμεσα τα αγροοικοσυστήματα. Το περιβάλλον του φωτός περιλαμβάνει εκείνο το τμήμα του ηλεκτρομαγνητικού φάσματος που κυμαίνεται από το μη ορατό υπεριώδες και φτάνει, μέσω του ορατού φάσματος του φωτός, μέχρι το μη ορατό υπέρυθρο. Εξετάζεται στο κεφάλαιο αυτό επίσης, πως το περιβάλλον του φωτός μπορεί να διαχειριστεί με τον πλέον αποτελεσματικό τρόπο, μέσω του συστήματος, την ανανεώσιμη αυτή πηγή ενέργειας, πως αυτό μπορεί να χρησιμοποιηθεί για να διατηρήσει τις πολλές και ποικίλες λειτουργίες του συστήματος και σε τελική ανάλυση, να μετατρέψει ένα μέρος του σε αειφορικές αποδόσεις.

Όλους αυτούς, τους σχετιζόμενους με το φως παράγοντες, θα ανασκοπήσουμε στο παρόν κεφάλαιο, με τη μεγαλύτερη δυνατή λεπτομέρεια.

5.2. Η ηλιακή ακτινοβολία

Η ενέργεια του ηλιακού φωτός που προσλαμβάνεται από τη Γη φτάνει με τη μορφή ηλεκτρομαγνητικών κυμάτων, το μήκος των οποίων κυμαίνεται από 0,001 νανόμετρα (nm) έως 1.000.000.000 nm. Η ενέργεια αυτή δημιουργεί αυτό που

ονομάζεται **ηλεκτρομαγνητικό φάσμα**. Το τμήμα του ηλεκτρομαγνητικού φάσματος του φωτός μεταξύ του 1 nm και του 1.000.000 nm θεωρείται ότι είναι το φως, μολονότι, όλο αυτό το εύρος δεν είναι ορατό. Φως με μήκος κύματος ανάμεσα στο 1 και τα 390 nm αποτελεί το υπεριώδες τμήμα. Το ορατό φως έρχεται αμέσως μετά, με μήκος κύματος ανάμεσα στα 400 nm και τα 760 nm. Το φως με μήκος κύματος πάνω από 760 nm και μικρότερο από 1.000.000 nm είναι γνωστό ως υπέρυθρο φως και όπως ισχύει για το υπεριώδες, είναι και αυτό μη ορατό από το ανθρώπινο μάτι. Όταν το μήκος κύματος του υπέρυθρου φωτός ξεπερνάει τα 3.000 nm, τότε αυτό γίνεται αισθητό ως θερμότητα. Στη **εικόνα 5.1**, παρουσιάζεται το ηλεκτρομαγνητικό φάσμα και η διαίρεσή του στους τύπους ενέργειας.



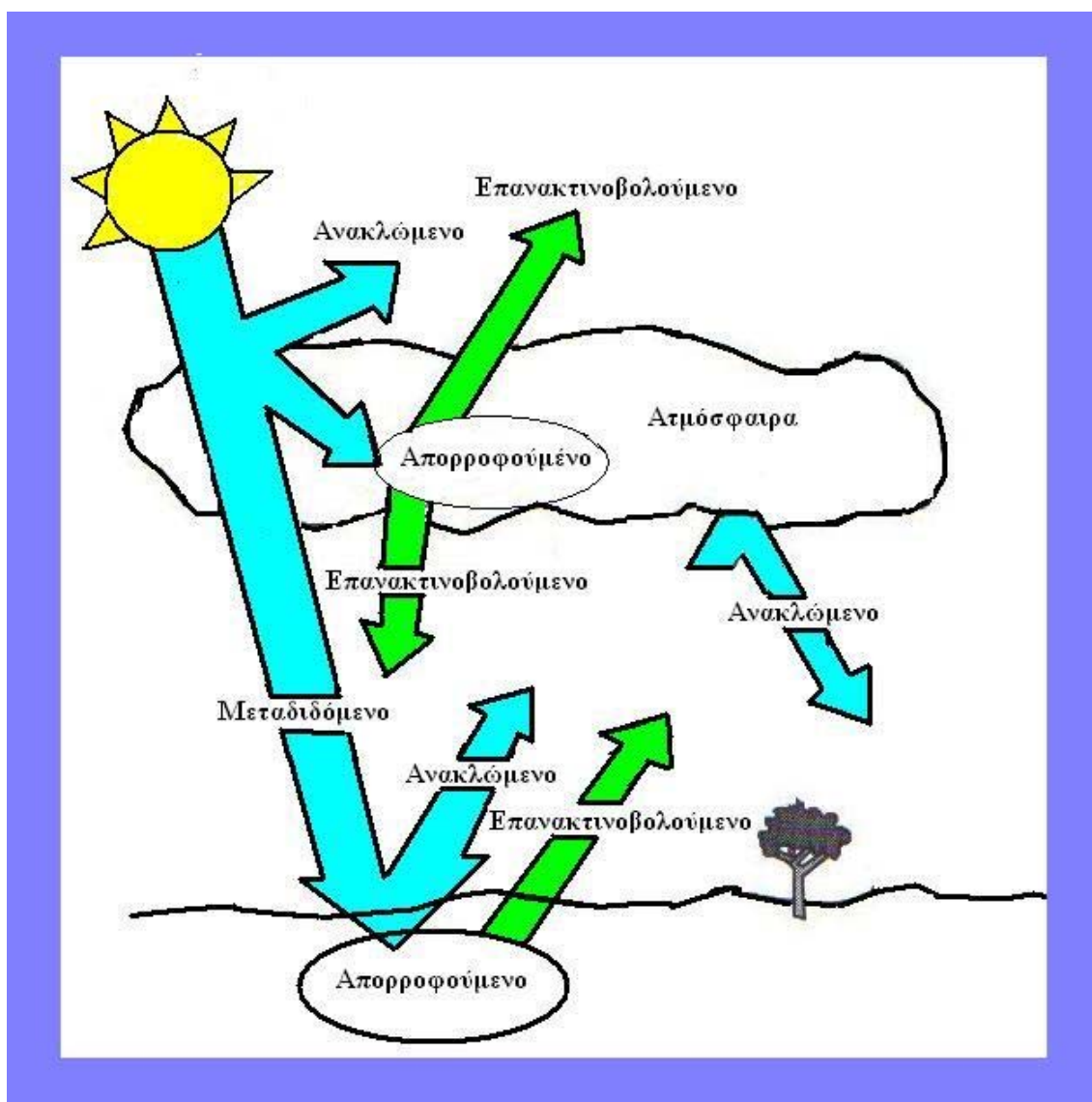
Εικόνα 5.1. Το ηλεκτρομαγνητικό φάσμα. Ο ήλιος εκπέμπει το πλήρες φάσμα της ηλεκτρομαγνητικής ενέργειας η ατμόσφαιρα όμως ανακλά και φιλτράρει το μεγαλύτερο τμήμα της ακτινοβολίας μικρού μήκους κύματος, μεγάλο τμήμα της υπέρυθρης και τα μακρύτερα μακρού μήκους ραδιοκύματα. Μια σχετικά στενή μπάνα ενέργειας επικεντρωνόμενη στο φάσμα του ορατού φωτός φτάνει στην επιφάνεια της γης, σχεδόν ανεμπόδιστα.

5.3. Η ατμόσφαιρα ως φίλτρο και ανακλαστήρας

Όταν το φως του ήλιου φτάνει αρχικά στα ανώτερα σημεία της ατμόσφαιρας της Γης, αποτελείται σε ποσοστό 10% περίπου από υπεριώδες φως (UV = ultraviolet), 50% από ορατό φως και 40% από υπέρυθρο φως (IR = infrared) ή θερμική ενέργεια. Καθώς το φως αλληλεπιδρά με την ατμόσφαιρα της Γης, μπορούν να συμβούν αρκετά πράγματα, όπως παρατηρούμε στην **Εικόνα 5.2**.

Μέρος του φωτός **διασκορπίζεται** ή διαχέεται. Οι διαδρομές του, καθ' οδό προς την επιφάνεια της Γης, τροποποιούνται (διαφοροποιούνται) λόγω παρεμβολών από μόρια τα οποία αιωρούνται στην ατμόσφαιρα, αλλά το μήκος κύματος του δεν αλλάζει στη συνέχεια της πορείας του. Το μεγαλύτερο μέρος του διασκορπισμένου φωτός φτάνει στην επιφάνεια, και στη συνέχεια προσδίδει στην ατμόσφαιρα το μοναδικό γαλάζιο του ουρανού. Ένα μικρό μέρος ανακλάται από την ατμόσφαιρα και επιστρέφει στο διάστημα. Ωσαύτως, το μήκος κύματος του τμήματος αυτού παραμένει αναλλοίωτο στη συνέχεια. Τέλος, ένα μικρό μέρος του φωτός απορροφάται από το νερό, τη σκόνη, τον καπνό, το όζον, το CO₂ ή από άλλα αέρια της γήινης ατμόσφαιρας. Η ενέργεια που έχει απορροφηθεί αποθηκεύεται για μια χρονική περίοδο και ακολούθως, **επανακτινοβολείται**, ως μεγαλύτερου κύματος θερμική ενέργεια. Ολόκληρη σχεδόν η ποσότητα του υπεριώδους φωτός με μήκος κύματος μικρότερου ή ίσου με 300 nm απορροφάται από τη γήινη ατμόσφαιρα, πριν αυτή προσκρούσει στην επιφάνεια. Να σημειωθεί εδώ ότι, το υπεριώδες φως με μήκος κύματος κάτω από 200 nm αποτελεί θανάσιμη απειλή για τους ζωντανούς οργανισμούς. Το φως που δεν ανακλάται από την

ατμόσφαιρα ή δεν απορροφάται, μεταδίδεται και φτάνει στην επιφάνεια. Η ενέργεια αυτή είναι ως επί το πλείστον ορατό φως, αλλά περιέχει επίσης, και κάποιες ποσότητες υπεριώδους και υπέρυθρου φωτός.



Εικόνα 5.2. Η μοίρα του φωτός φτάνοντας στη Γη. Το μεταδιδόμενο από τον ήλιο φως βρίσκεται ως επί το πλείστον στο εύρος του ορατού φωτός ενώ, η επανακτινοβολούμενη ενέργεια βρίσκεται ως επί το πλείστον στο υπέρυθρο εύρος.

Στην επιφάνεια της γης, το μεταδιδόμενο αυτό φως απορροφάται από το έδαφος, το νερό ή τους οργανισμούς. Μέρος της απορροφούμενης ενέργειας ανακλάται πίσω στην ατμόσφαιρα και μέρος επανακτινοβολείται με τη μορφή της θερμότητας. Εκείνο όμως που μας ενδιαφέρει να εξετάσουμε είναι η απορρόφηση του ορατού φωτός από τα φυτά και ο ρόλος του στη φωτοσύνθεση.

5.4. Η οικολογική σημασία του φωτός πάνω στη Γη

Όλα τα μήκη κύματος του φωτός που αυτό φτάνει στην επιφάνεια της γης, έχουν μεγάλη σημασία για τους ζώντες οργανισμούς. Μέσα στον εξελικτικό τους χρόνο, οι οργανισμοί έχουν αναπτύξει διάφορες προσαρμογές, ώστε να είναι σε θέση να

επιβιώσουν σε διάφορα φάσματα φωτός. Σε γενικές γραμμές, οι προσαρμογές αυτές ποικίλουν, από τη σύλληψη της χρήσιμης ηλιακής ενέργειας μέχρι την πλήρη αποφυγή της έκθεσης στην ηλιακή ενέργεια.

5.4.1. Το υπεριώδες φως

Μολονότι το υπεριώδες φως δεν είναι ορατό, αυτό είναι δυνατόν να είναι άκρως ενεργό για κάποιες χημικές αντιδράσεις των φυτών. Μαζί με τα μικρότερων μηκών κύματα του ορατού φάσματος, το υπεριώδες φως τείνει να προωθήσει τον σχηματισμό των χρωστικών των φυτών, που είναι γνωστές ως ανθοκυανίνες και εμπλέκεται στην απενεργοποίηση κάποιων ορμονικών συστημάτων, που έχουν σημαντική συμβολή στην επιμήκυνση των βλαστών και το φωτοτροπισμό.

Σε γενικές γραμμές όμως, επειδή η υπεριώδης ακτινοβολία μπορεί να καταστρέψει τους φυτικούς ιστούς και επειδή το συνολικό επίπεδο της υπεριώδους ενέργειας που φτάνει στην επιφάνεια είναι αρκετά ελαττωμένο, τα φυτά δεν έχουν αναπτύξει αρκετούς μηχανισμούς προσαρμογής, ώστε να το χρησιμοποιήσουν. Αντιθέτως μάλιστα, η υπεριώδης ακτινοβολία συνήθως αποφεύγεται. Η αδιαφανής επιδερμίδα των περισσότερων φυτών εμποδίζει την επιβλαβή υπεριώδη ακτινοβολία να εισέλθει στους ευαίσθητους ιστούς ή τα κύτταρα. Η μείωση του στρώματος του όζοντος στην ανώτερη ατμόσφαιρα είναι ένας σοβαρός λόγος ανησυχίας των πιθανών αρνητικών αποτελεσμάτων που η υπερβολική υπεριώδης ακτινοβολία μπορεί να προκαλέσει τόσο στα φυτά όσο και τα ζώα.

5.4.2. Φωτοσυνθετικά ενεργός ακτινοβολία

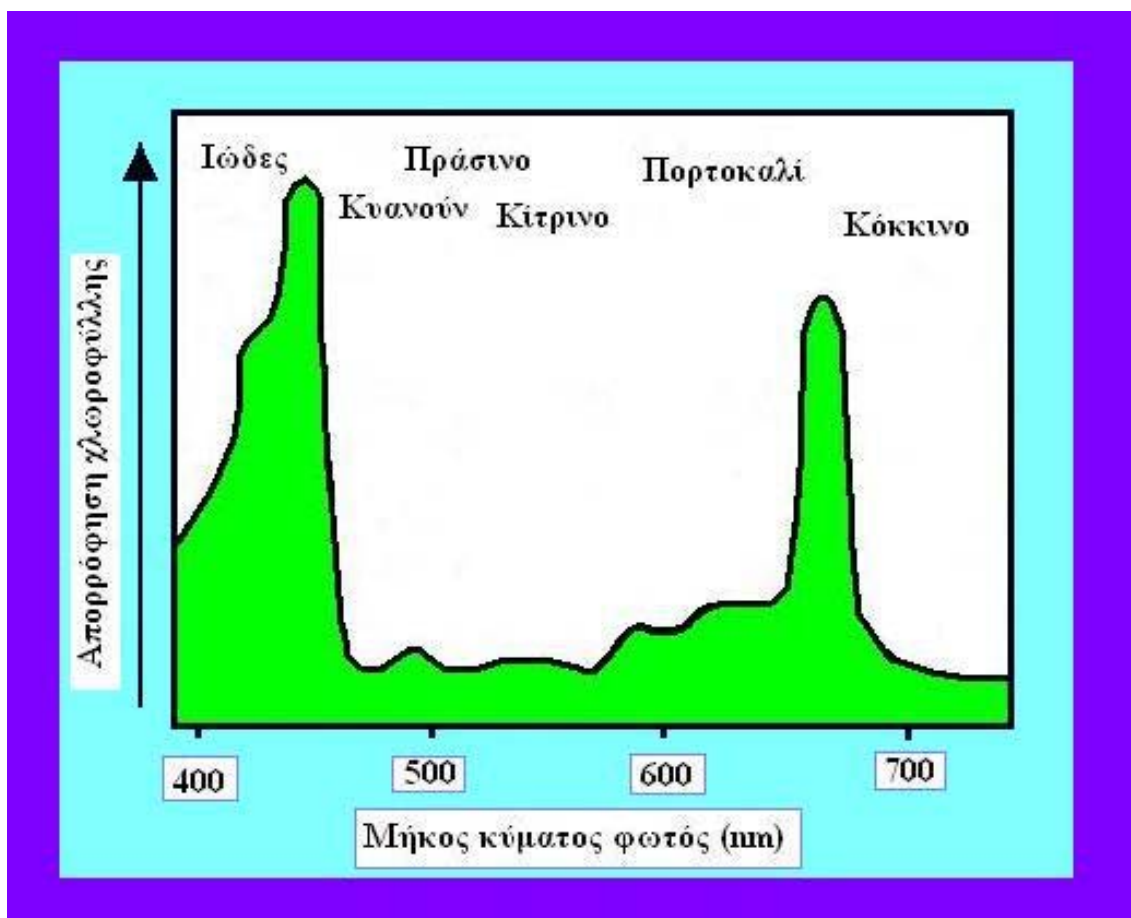
Η ενέργεια του φωτός στο ορατό φάσμα αποτελεί πολύ σημαντικό παράγοντα για τα αγροοικοσυστήματα. Ανάλογα με τις τοπικές κλιματικές συνθήκες, σχηματίζει το 40 έως 60% της συνολικής ενέργειας της ηλιακής ακτινοβολίας που φτάνει στην επιφάνεια της Γης. Είναι το φως με μήκος κύματος που κυμαίνεται μεταξύ 400 και 760 nm. Τα πράσινα φυτά δεν αυξάνουν χωρίς τον συνδυασμό των περισσότερων μηκών κυμάτων του φωτός στο ορατό φάσμα.

Ασφαλώς, δεν είναι όλο το φως στο φάσμα αυτό ίσης αξίας για τη φωτοσύνθεση. Οι φωτοαποδέκτες στη χλωροφύλλη είναι, ως επί το πλείστο, απορροφητές του ιώδους – κυανού και πορτοκαλόχρου – ερυθρού φωτός, ενώ το πράσινο και το κίτρινο δεν είναι και τόσο χρήσιμα. Η χλωροφύλλη δεν μπορεί να απορροφήσει το πράσινο φως επαρκώς και αυτό έχει σαν αποτέλεσμα, μεγάλο μέρος αυτού να ανακλάται, κάνοντας έτσι τα φυτά να φαίνονται πράσινα. Στην **Εικόνα 5.3**, παρουσιάζεται ο τρόπος με τον οποίο η απορρόφηση της χλωροφύλλης μεταβάλλεται με το μήκος κύματος. Τα μήκη κύματος του φωτός που απορροφώνται από τη χλωροφύλλη αντιστοιχούν περίπου με εκείνα στα οποία η φωτοσύνθεση είναι περισσότερο αποτελεσματική.

5.4.3. Το υπέρυθρο φως

Η ενέργεια του υπέρυθρου φωτός με ένα μήκος κύματος από 800 nm έως 3000 nm (μερικές φορές αναφέρεται και σαν εγγύς υπέρυθρο εύρος), παίζει σημαντικό ρόλο στην επίδραση των ορμονών που εμπλέκονται στη βλάστηση, την ανταπόκριση των ειδών στις αλλαγές της ημερήσιας φωτοπεριόδου και σε άλλες διαδικασίες του φυτού. Στο μήκος πάνω από τα 3000 nm το υπέρυθρο φως μετατρέπεται σε θερμότητα και τότε

παρατηρούνται διάφορες οικολογικές επιδράσεις. Με το θέμα της θερμοκρασίας όμως, θα ασχοληθούμε στο επόμενο κεφάλαιο.



Εικόνα 5.3. Η απορρόφηση της χλωροφύλλης με τη μεταβολή του μήκους κύματος. Η χλωροφύλλη απορροφά ως επί το πλείστον το ιώδες-κυανό και ερυθρό –κίτρινο φως και έτσι τα φύλλα ανακλούν το πράσινο και το κίτρινο φως.

5.4.4. Καταστροφή του στρώματος του όζοντος

Μόνο το 1% περίπου του υπεριώδους φωτός που εισέρχεται στην ανώτερη ατμόσφαιρα της Γης φτάνει ουσιαστικά στην επιφάνεια αυτής. Το υπόλοιπο απορροφάται από ένα στρώμα αερίου όζοντος που βρίσκεται ψηλά στην ατμόσφαιρα. Οι οργανισμοί είναι απόλυτα εξαρτημένοι από το φιλτράρισμα του στρώματος του όζοντος, διότι οι περισσότεροι από αυτούς δεν έχουν τα μέσα αυτοπροστασίας απέναντι στα επιβλαβή αποτελέσματα της υπεριώδους ακτινοβολίας, ανάμεσα στα οποία είναι τα εγκαύματα, οι καρκίνοι και οι θανάσιμες μεταλλάξεις.

Όταν το υπεριώδες φως προσκρούει σε ένα μόριο όζοντος (O_3) το όζον διασπάται και η ενέργεια του υπεριώδους φωτός απορροφάται. Δημιουργούνται έτσι, ένα μόριο οξυγόνου (O_2) και ένα ελεύθερο άτομο οξυγόνου (O), που καλείται ελεύθερη ρίζα. Το ελεύθερο άτομο οξυγόνου όμως, είναι εξαιρετικά ευαίσθητο στις αντιδράσεις και αμέσως, ενώνεται με ένα μόριο οξυγόνου για να ανασχηματίσουν ένα μόριο όζοντος. Όταν η αντίδραση αυτή συμβαίνει, τότε απελευθερώνεται ενέργεια με τη μορφή θερμότητας. Έτσι, η απορρόφηση του υπεριώδους φωτός στο στρώμα του όζοντος σημαίνει εκτός από την συνεχή καταστροφή, αλλά και την ανασύνθεση του όζοντος και τον μετασχηματισμό του υπεριώδους φωτός σε θερμική ενέργεια

(υπέρυθρο φως). Στο στρώμα του όζοντος υπάρχει ικανός αριθμός μορίων όζοντος για να προσλάβουν όλο το υπεριώδες φως που διέρχεται μέσα από αυτό.

Το στρώμα του όζοντος βρίσκεται στην εξωτερική **στρατόσφαιρα**, αρχίζει από ένα ύψος 20 χιλιομέτρων, πάνω από τη στάθμη της θάλασσας και εκτείνεται για άλλα 30 χιλιόμετρα μέσα στο διάστημα. Η στρατόσφαιρα βρίσκεται πάνω από τη λεπτή, θυελλώδη περιοχή της ατμόσφαιρας και είναι υπεύθυνη για τον καιρό, αρκετά απομακρυσμένη όμως, από τις περισσότερες ανθρώπινες δραστηριότητες και τις επιφανειακές πηγές ρύπανσης. Παρόλα αυτά όμως, είναι ευρέως γνωστό ότι οι το στρώμα του όζοντος επηρεάζεται από τις ανθρώπινες δραστηριότητες.

Για πολλές δεκαετίες έχουν παραχθεί τεχνητά αέρια, οι γνωστοί **χλωροφθοράθρακες**, για να χρησιμοποιηθούν ως ψυκτικά υγρά για τα ψυγεία και τα κλιματιστικά μηχανήματα, ή ως ψεκάσιμα προωθητικά (sprays) και τέλος, για την κατασκευή πλαστικών αφρών. Τα αέρια αυτά έχουν ελεύθερα αφεθεί στην ατμόσφαιρα καθώς έχουν διαρρεύσει από τα συστήματα ψύξης. Άπαξ και εισέλθουν στην ατμόσφαιρα, στη συνέχεια μεταναστεύουν με αργό ρυθμό στη στρατόσφαιρα.

Στη στρατόσφαιρα, το υπεριώδες φως βομβαρδίζει τα μόρια των χλωροφθορανθράκων και στη συνέχεια από κάθε ένα μόριο τους αποσπάται ένα άτομο χλωρίου, με τη μορφή ελεύθερης ρίζας χλωρίου. Οι ελεύθερες ρίζες χλωρίου που σχηματίζονται μέσα από αυτή τη διαδικασία της φωτοαποσύνδεσης, επιτίθενται και καταστρέφουν τα μόρια του όζοντος, σχηματίζοντας οξειδία του χλωρίου (ClO) και μόρια οξυγόνου (O₂), σύμφωνα με την **αντίδραση (5.1)**.



Σχηματιζόμενο έτσι το οξείδιο του χλωρίου, έχει την ικανότητα να αντιδρά με το όζον και να το καταστρέφει, σύμφωνα με την **αντίδραση (5.2)**.



Και το χειρότερο, κάθε μόριο του διοξειδίου του χλωρίου μπορεί επίσης να αντιδράσει με μια ελεύθερη ρίζα οξυγόνου, η οποία δημιουργείται σε σταθερό ρυθμό εξαιτίας της απορρόφησης του υπεριώδους φωτός από το όζον, εμποδίζοντας τις ελεύθερες ρίζες οξυγόνου να σχηματίσουν όζον και αναπαράγουν τις ελεύθερες ρίζες του χλωρίου, σύμφωνα με την **αντίδραση (5.3)**.



Λόγω της ικανότητας της ελεύθερης ρίζας χλωρίου να αναδημιουργείται, κάθε μια από αυτές, σύμφωνα με τις εκτιμήσεις, μπορεί να καταστρέψει μέχρι και 100.000 μόρια όζοντος, πριν αντιδράσει με ένα μόριο όζοντος για να σχηματίσει το σχετικά ανενεργό διοξείδιο του χλωρίου (ClO₂).

Το βρώμιο έχει και αυτό μια παρόμοια με το χλώριο επίδραση στο όζον. Μια σημαντική πηγή βρωμίου στην ανώτερη ατμόσφαιρα είναι το βρωμιούχο μεθύλιο, μια χημική ένωση που χρησιμοποιείται στη γεωργία για την απολύμανση και αποστείρωση του εδάφους, πριν από την φύτευση κάποιων γεωργικών καλλιεργειών, όπως για παράδειγμα, στην καλλιέργεια της φράουλας.

Μολονότι, πολλές χώρες έχει απαγορευθεί η παραγωγή των περισσότερων χλωροφθορανθράκων, αυτοί εντούτοις, συνεχίζουν να χρησιμοποιούνται σε όλο τον πλανήτη και, όλα τα ψυγεία και τα μηχανήματα κλιματισμού, πλην αυτών που παράγονται εσχάτως, περιέχουν τα αέρια αυτά. Επιπροσθέτως, το βρωμιούχο μεθύλιο

εξακολουθεί να χρησιμοποιείται σε μεγάλη έκταση στη γεωργία, αλλά και στην απολύμανση των σπιτιών για την εξάλειψη των τερμιτών.

Οι επιστήμονες που ασχολούνται με την ατμόσφαιρα κάνουν μετρήσεις στο στρώμα του όζοντος από τη δεκαετία του 70. Μολονότι, η συγκέντρωση του όζοντος στη στρατόσφαιρα εκ φύσεως ποικίλει από έτος σε έτος, έχει διαπιστωθεί, από το 1984 τουλάχιστον, όταν παρατηρήθηκε στο στρώμα του όζοντος πάνω από την Ανταρκτική μια θερινή «τρύπα», μια χαρακτηριστική εποχιακή καταστροφή.

Είναι δύσκολο να προβλεφθεί κατά πόσο το στρώμα του όζοντος θα καταστραφεί στο μέλλον, γι' αυτό και παρατηρείται μια ασυμφωνία στην επιστημονική κοινότητα για το κατά πόσο είναι δυνατόν το στρώμα του όζοντος να λεπτύνει, πριν από τη στιγμή που οι συνέπειες της αυξημένης έκθεσης στην υπεριώδη ακτινοβολία αρχίσουν να γίνονται αισθητές. Σύμφωνα με κάποιους από αυτούς, το σημείο αυτό το έχουμε ήδη πλησιάσει.

Ελαφρές αυξήσεις έκθεσης στο υπεριώδες φως μπορεί να προκαλέσουν ζημιά στα φυτά. Η υπερβολική έκθεση καταστρέφει τα κύτταρα των φύλλων, εμποδίζει τη φωτοσύνθεση και την αύξηση, και προκαλεί μεταλλάξεις. Τα φυτά καλλιέργειας παρουσιάζουν διαφορετικά επίπεδα ευαισθησίας σε αυξημένη έκθεση στο υπεριώδες φως, αλλά ακόμη και εάν, μόλις ολίγα είδη φυτών καλλιέργειας δεν καταστεί επικτό να μεγαλώσουν, το αποτέλεσμα για την παγκόσμια γεωργική παραγωγή μπορεί να είναι δραματικό. Και ασφαλώς, εάν η υπεριώδης ακτινοβολία αυξηθεί σημαντικά, η γεωργία σε παγκόσμια βάση είναι δυνατό να απειληθεί και επιπλέον, όλα τα χερσαία και υδατικά οικοσυστήματα.

5.5. Τα χαρακτηριστικά της έκθεσης στο ορατό φως

Η ενέργεια του φωτός στο ορατό εύρος κύματος του με τη φωτοσύνθεση μετατρέπεται σε χημική ενέργεια και ακολούθως σε βιομάζα, η οποία που καθοδηγεί και το υπόλοιπο αγροοικοσύστημα, συμπεριλαμβανομένου και του τμήματος το οποίο για τις δικές μας χρήσεις και ανάγκες συγκομίζουμε από τις γεωργικές καλλιέργειες. Για να αυξήσουμε λοιπόν την αποτελεσματικότητα της διαδικασίας αυτής, είναι σημαντικό να κατανοήσουμε με ποιο τρόπο το φως, όπως αυτό εκτίθεται στα φυτά, είναι δυνατό να παρουσιάζει μια ενδιαφέρουσα ποικιλότητα. Δηλαδή, θα εξετάσουμε τις ιδιότητες του φωτός οι οποίες είναι: η ποιότητα του φωτός, η ένταση του φωτός και η διάρκεια του φωτός.

5.5.1. Ποιότητα του φωτός

Το ορατό φως είναι δυνατό να ποικίλει, ανάλογα με τα ποσά των χρωμάτων που το δημιουργούν και είναι αυτό που θεωρείται ως η **ποιότητα του φωτός**. Η μέγιστη αναλογία του άμεσου ηλιακού φωτός στην επιφάνεια της Γης βρίσκεται στο κέντρο του φάσματος του ορατού φωτός και μειώνεται ελαφρώς καθώς μετατίθεται προς τα δύο πέρατα, ήτοι: το ιώδες και το ερυθρό. Το εκπεμπόμενο από τον ουρανό φως, όπως ακριβώς συμβαίνει στη σκιά ενός κτιρίου, είναι σχετικά υψηλότερο στο κυανό και το ιώδες φως. Η ποιότητα του φωτός μπορεί να έχει μια σημαντική επίδραση στην αποτελεσματικότητα της φωτοσύνθεσης, δεδομένου ότι κάποια τμήματα του φάσματος του ορατού φωτός μπορεί να χρησιμοποιηθούν περισσότερο αποτελεσματικά από κάποια άλλα.

Η μεταβολή της ποιότητας του φωτός μπορεί να προκληθεί από ένα αριθμό παραγόντων. Στο εσωτερικό κάποιων συστημάτων φυτών καλλιέργειας, για

παράδειγμα, τα είδη του ανωρόφου απομακρύνουν το μεγαλύτερο μέρος του κυανού και του ερυθρού φωτός, επιτρέποντας πρωταρχικά να εκπέμπεται πράσινο και ερυθρό φως. Η ποιότητα του φωτός μπορεί κατά συνέπεια να καταστεί ένας περιοριστικός παράγοντας για τα φυτά που βρίσκονται κάτω από την κομοστέγη, ακόμη και στην περίπτωση που το συνολικό ποσό του φωτός μπορεί να εμφανίζεται ως επαρκές.

5.5.2. Ένταση του φωτός

Η συνολική περιεχόμενη ενέργεια του συνόλου του φωτός στην περιοχή της **Φωτοσυνθετικά Ενεργούς Ακτινοβολίας** (ΦΕΑ) το οποίο φτάνει στην επιφάνεια του φύλλου, αποτελεί την **ένταση του φωτός**. Η ένταση του φωτός μπορεί να εκφραστεί σε μια πλειάδα μονάδων ενέργειας. Οι πλέον κοινόχρηστες μονάδες όμως, είναι οι μονάδες του Langley (θερμίδες ανά cm^2), του Watt (Joules ανά δευτερόλεπτο) και του Einstein (6×10^{23} φωτόνια). Όλες οι παραπάνω μονάδες μέτρησης εκφράζουν την ποσότητα της ενέργειας που προσπίπτει στην επιφάνεια του φύλλου σε κάποια χρονική περίοδο. Σε πολύ υψηλές εντάσεις φωτός, οι φωτοσυνθετικές χρωστικές απορροφούνται, γεγονός που σημαίνει ότι το επιπρόσθετο φως δεν αυξάνει αποτελεσματικά το ρυθμό της φωτοσύνθεσης. Το επίπεδο αυτό της έντασης του φωτός καλείται **σημείο απορρόφησης**. Υπερβολικές ποσότητες φωτός μπορεί να οδηγήσουν στην υποβάθμιση των χρωστικών της χλωροφύλλης και επιπλέον να προκαλέσουν ζημιά στους ιστούς του φυτού. Από την άλλη πλευρά, τα χαμηλά επίπεδα φωτός μπορεί να φέρουν το φυτό στο **σημείο συμψηφισμού του φωτός**, ή σε επίπεδο έντασης του φωτός, όπου το ποσό της παραγόμενης φωτοσύνθεσης ισούται με το ποσό που απαιτείται για την αναπνοή. Όταν η ένταση του φωτός είναι μικρότερη του σημείου συμψηφισμού, τότε το ισοζύγιο της ενέργειας για το φυτό είναι αρνητικό. Εάν το αρνητικό ισοζύγιο δεν αντισταθμιστεί μέσα σε κάποια συγκεκριμένη περίοδο με ποσότητα ενεργούς φωτοσύνθεσης και ενεργειακού οφέλους, το φυτό μπορεί να νεκρωθεί.

5.5.3. Διάρκεια του φωτός

Η χρονική διάρκεια κατά την οποία, κάθε μέρα, οι επιφάνειες του φύλλου εκτίθενται στο ηλιακό φως, μπορεί να επηρεάσει τους ημερήσιους φωτοσυνθετικούς ρυθμούς, αλλά και την μακροπρόθεσμη αύξηση του φυτού, καθώς και την ανάπτυξή του. Η διάρκεια της έκθεσης στον ήλιο είναι επίσης, μια σημαντική μεταβλητή για το πώς η ένταση του φωτός ή η ποιότητά του μπορούν να επιδράσουν σε ένα φυτό. Για παράδειγμα, η έκθεση σε εξαιρετικά υψηλά επίπεδα φωτός, για μικρό χρονικό διάστημα, μπορεί να είναι ανεκτή από το φυτό, ενώ η έκθεση για μια μεγαλύτερη χρονικά περίοδο μπορεί να είναι καταστρεπτική. Ή ωσαύτως, μια μικρή περίοδος φωτός μεγάλης έντασης, που θα επιτρέπει στο φυτό να φωτοσυνθέσει σε υπερβολικό βαθμό, μπορεί μετά ταύτα να επιφέρει ανοχή για μια μεγαλύτερη περίοδο, κάτω από το σημείο συμψηφισμού του φωτός.

Ο συνολικός αριθμός των ωρών του ημερησίου φωτός, η **φωτοπερίοδος** δηλαδή, είναι επίσης, μια σημαντική εκδοχή της διάρκειας της έκθεσης στο ηλιακό φως. Μια ποικιλία αντιδράσεων των φυτών παρουσιάζουν συγκεκριμένες χημικές αντιδράσεις ή μηχανισμούς ελέγχου, που μπορούν να ενεργοποιηθούν ή να ακινητοποιηθούν, σε συνάρτηση με τον αριθμό των ωρών του ημερησίου φωτός, ή σε κάποιες περιπτώσεις, με τον αριθμό των ωρών χωρίς το ηλιακό φως.

5.6. Παράγοντες που καθορίζουν τις μεταβολές στο περιβάλλον του φωτός

Η ποιότητα και η ποσότητα του φωτός που προσλαμβάνεται από ένα φυτό σε μια συγκεκριμένη τοποθεσία και η διάρκεια της έκθεσής του στο φως είναι μια λειτουργία αρκετών και σημαντικών παραγόντων, όπως:

- ✚ η εποχικότητα,
 - ✚ το γεωγραφικό πλάτος,
 - ✚ το υψόμετρο,
 - ✚ το τοπογραφικό ανάγλυφο,
 - ✚ η ποιότητα του αέρα, και
 - ✚ η δομή της κομοστέγης,
- τους οποίους θα εξετάσουμε στη συνέχεια.

5.6.1. Εποχικότητα

Με εξαίρεση τον ισημερινό, οι ώρες του ημερήσιου ηλιακού φωτός είναι περισσότερες κατά τη διάρκεια του θέρους και λιγότερες κατά τη διάρκεια του χειμώνα, ενώ φτάνουν τις ακραίες τιμές στα αντίστοιχα ηλιοστάσια (θερινό και χειμερινό). Όταν όμως, κατά τη διάρκεια του χειμώνα, η γωνία πρόσπτωσης του ηλιακού φωτός, σε σχέση με τη επιφάνεια της Γης, είναι αρκετά μικρότερη στους Πόλους, τότε το ηλιακό φως που είναι διαθέσιμο οφείλει να διέλθει από μεγαλύτερο τμήμα της ατμόσφαιρας πριν φτάσει στο φυτό, καθιστώντας αυτό σημαντικά ολιγότερο έντονο. Κατά συνέπεια, προκύπτει ότι τόσο η ένταση όσο και η διάρκεια του φωτός επηρεάζονται από την εποχικότητα. Πολλά φυτά έχουν αναπτύξει προσαρμογές απέναντι στις εποχιακές μεταβολές της διάρκειας της ημέρας και της έντασης του φωτός. Μέσα από την επιλογή των προσαρμογών, οι οποίες, είτε προετοιμάζουν τα φυτά για τον επερχόμενο χειμώνα, είτε τα προετοιμάζουν ώστε να εκμεταλλευθούν τις καλύτερες συνθήκες αύξησης και ανάπτυξης, διέρχονται την εαρινή περίοδο και οδηγούνται προς το θέρος. Ο συγχρονισμός πολλών γεωργικών ασχολιών αντιστοιχεί στην αλλαγή των ωρών του ημερήσιου φωτός σε συγκεκριμένες περιόδους του έτους.

5.6.2. Γεωγραφικό Πλάτος

Είναι γνωστό ότι όσο βρισκόμαστε εγγύτερα στους Πόλους, τόσο μεγαλύτερη είναι η εποχιακή μεταβολή του ημερήσιου φωτός. Ακριβώς πάνω από τον αρκτικό κύκλο, η 24ωρη διάρκεια του ημερήσιου φωτός του θέρους εξισώνεται με την 24ωρη διάρκεια της νύκτας του χειμώνα. Κοντά στον Ισημερινό, η σταθερότητα της 12ωρης διάρκειας του ημερήσιου φωτός όλο το έτος, συνιστά ένα περιβάλλον φωτός που προωθεί καθ' όλο το έτος την καθαρή πρωτογενή παραγωγικότητα και επιτρέπει την άσκηση μιας γεωργίας, η οποία χαρακτηρίζεται από τις πολλαπλές φυτεύσεις μέσα στο έτος ή από μια πληθώρα πολυετών καλλιεργειών που παρέχουν μικτές ή διαδοχικές συγκομιδές όλο το έτος.

5.6.3. Υψόμετρο

Με την αύξηση του υψομέτρου αυξάνεται επίσης και η ένταση του φωτός, διότι η ατμόσφαιρα είναι αραιότερη και συνεπώς απορροφά και διαχέει λιγότερο φως. Τα

φυτά που αναπτύσσονται στα υψηλότερα υψόμετρα εκτίθενται περισσότερο στις συνθήκες απορρόφησης του φωτός και αντιμετωπίζουν μεγαλύτερους κινδύνους υποβάθμισης της δραστηριότητας της χλωροφύλλης, σε σύγκριση με τα φυτά που αναπτύσσονται στο επίπεδο της θάλασσας. Πολλά φυτά των υψηλών υψομέτρων έχουν αναπτύξει ανακλαστικούς χρωματισμούς ή προστατευτικές επιστρώσεις ή κλίμακες στην επιδερμίδα των φύλλων για να ελαττώνεται η ποσότητα του φωτός που διαπερνά τα φύλλα.

5.6.4. Τοπογραφικό ανάγλυφο

Η κλίση και η έκθεση της επιφάνειας του εδάφους είναι δυνατόν να δημιουργήσουν τοπικές μεταβολές στην ένταση και τη διάρκεια της έκθεσης στο ηλιακό φως. Παρότι οι επιδράσεις της θερμοκρασίας από τις μεταβολές αυτές έχουν μεγαλύτερη σημασία, οι απότομες πλαγιές με μεσημβρινή (βόρεια για το βόρειο ημισφαίριο) έκθεση, προσλαμβάνουν σημαντικά χαμηλότερη ηλίαση από κάποιες άλλες θέσεις. Ο προσανατολισμός της πλαγιάς συνήθως παρουσιάζει μεγαλύτερη σημασία για τους χειμερινούς μήνες, όταν μια βουνοπλαγιά ή ένα άλλο τοπογραφικό χαρακτηριστικό είναι δυνατό να καλύψει τη βλάστηση με σκιά. Στις γεωργικές καλλιέργειες, μικρότερες τοπογραφικές διακυμάνσεις μπορεί να δημιουργήσουν λεπτές διαφορές στο μικροκλίμα που θα επηρεάζουν την ανάπτυξη του φυτού, ιδιαίτερα όταν τα φυτά είναι ακόμη μικρά.

5.6.5. Ποιότητα του αέρα

Τα αιωρούμενα σωματίδια στην ατμόσφαιρα παρέχουν ένα σημαντικό φιλτράρισμα. Ο καπνός, η σκόνη, και οι λοιποί ρυπαντές, οι οποίοι παράγονται φυσικώς ή ανθρωπογενώς, εμπλέκονται σε μεγάλο βαθμό με τη διαδικασία της φωτοσύνθεσης, είτε μειώνοντας την ποσότητα της ηλιακής ενέργειας που φτάνει στα φύλλα, είτε επικαλύπτοντας το φύλλο και περικόπτοντας την ποσότητα του φωτός που διεισδύει στην επιδερμίδα. Τέτοιου είδους προβλήματα είναι συνήθη μέσα και γύρω από τις αστικές και τις βιομηχανικές περιοχές, πλην όμως, προβλήματα στην ποιότητα του αέρα παρατηρούνται και από τις αγροτικές δραστηριότητες, όπως είναι οι πυρκαγιές και οι εδαφικές διαταραχές. Ιδιαίτερα επηρεάζονται οι θερμοκηπιακές καλλιέργειες με την εναπόθεση μορίων βρώμικου αέρα, διότι, ακόμη και όταν τα περίβλημα του θερμοκηπίου είναι καθαρό, αυτό ελαττώνει τη διέλευση του φωτός κατά 13%.

5.6.6. Δομή της βλάστησης στην κομοστέγη

Το φύλλο που έχει μια μέση φυλλική επιφάνεια επιτρέπει τη μετάδοση του 10% περίπου του φωτός που φτάνει στην επιφάνεια. Ανάλογα με τη δομή της κομοστέγης της βλάστησης, τα φύλλα επικαλύπτονται μεταξύ τους, σε μικρότερο ή μεγαλύτερο βαθμό, αυξάνοντας την πυκνότητα της κομοστέγης και μειώνοντας την ποιότητα και την ποσότητα του φωτός που φτάνει στην επιφάνεια του εδάφους. Ταυτόχρονα όμως, σημαντικές ποσότητες ηλιακού φωτός διέρχεται ανάμεσα από τα φύλλα ή ανάμεσα από τα διαστήματα που δημιουργούνται στην κομοστέγη όταν φυσάει ο άνεμος.

5.7. Ρυθμός φωτοσύνθεσης

Όταν το φως απορροφάται από τα φύλλα και ενεργοποιεί τις διαδικασίες στους χλωροπλάστες, οι οποίες στη συνέχεια οδηγούν στην παραγωγή πλούσιων σε ενέργεια σακχάρων, οι διαφορές στον πραγματικό ρυθμό φωτοσύνθεσης καθίστανται σημαντικές. Ο ρυθμός φωτοσύνθεσης καταρχήν καθορίζεται από τρία διαφορετικά σύνολα παραγόντων, ήτοι:

- α) το στάδιο ανάπτυξης του φυτού (θέμα που εξετάσουμε σε επόμενο κεφάλαιο),
- β) τις περιβαλλοντικές συνθήκες που περιβάλλουν το φυτό, στις οποίους περιλαμβάνεται και το περιβάλλον του φωτός και
- γ) τον τύπο της φωτοσυνθετικής διαδρομής (C_3 , C_4 και CAM) που χρησιμοποιούν τα φυτά.

Είναι σημαντικό λοιπόν, όταν καλούμαστε να διαχειριστούμε το περιβάλλον του φωτός στο αγροοικοσύστημα, να γνωρίζουμε τι καθορίζει τις διαφοροποιήσεις στο ρυθμό της φωτοσύνθεσης.

5.7.1. Φωτοσυνθετική αποτελεσματικότητα και παράγοντες του περιβάλλοντος

Όπως οποιαδήποτε αντίδραση του φυτού, έτσι και η φωτοσύνθεση επηρεάζεται σε μεγάλο βαθμό από τις περιβαλλοντικές συνθήκες. Σ' αυτές περιλαμβάνονται η θερμοκρασία, η ένταση του φωτός, η ποιότητα του φωτός, η διάρκεια έκθεσης του φωτός, η επάρκεια του διοξειδίου του άνθρακα, η επάρκεια της υγρασίας και ο άνεμος. Για καθένα από τους παραπάνω τους παράγοντες, τα φυτά εμφανίζουν μέγιστες και ελάχιστες ανοχές, όπως επίσης και μια άριστη κατάσταση που κάνει τη φωτοσύνθεση περισσότερο αποτελεσματική. Τα αποτελέσματα των παραγόντων αυτών θα τα εξετάσουμε με περισσότερες λεπτομέρειες στα επόμενα κεφάλαια.

Σε γενικές γραμμές μπορούμε να πούμε, ότι το μεγαλύτερο μέρος της δομής και της λειτουργίας του φυτού έχει εξελιχθεί μέσα στο χρόνο έτσι, ώστε να προσαρμοστεί στην φωτοσυνθετική αποτελεσματικότητα. Όμως, παρά την πληθώρα των προσαρμογών, οι οποίες κυμαίνονται από τη δομή του φύλλου μέχρι τις χημικές διαδρομές, μόνο ένα μικρό ποσοστό της διαθέσιμης ηλιακής ενέργειας συλλαμβάνεται με τη διαδικασία αυτή. Τα φύλλα των περισσότερων ειδών κορεννούνται μόνο από το 20% του πλήρους ηλιακού φωτός και από το απορροφούμενο από αυτά ηλιακό φως μόνο το 20% μετατρέπεται σε χημική ενέργεια με τη μορφή μορίων σακχάρου. Το αποτέλεσμα αυτό αποδίδει στην φωτοσύνθεση μια θεωρητική αποτελεσματικότητα περίπου 4%, η οποία μπορεί να μειωθεί ακόμη περισσότερο, καθώς το διοξείδιο του άνθρακα γύρω από το φύλλο απαλείφεται. Επιπροσθέτως, μόνο ένα μέρος της ενέργειας που συμμετέχει στη φωτοσύνθεση μετατρέπεται πράγματι σε βιομάζα, ελαττώνοντας έτσι την αποτελεσματικότητα της συνολικής διαδικασίας στο 1 έως 3%. Συνεπώς, όταν από τους ερευνητές καταβάλλονται συνεχείς προσπάθειες ώστε να βρεθούν τρόποι να μεταβληθεί αυτή καθεαυτή η διαδικασία της φωτοσύνθεσης, καθίσταται λίαν σημαντική η προσπάθεια της διατήρησης των περιβαλλοντικών συνθηκών στο άριστο δυνατό σημείο, αλλά και η επιλογή εκείνων των καλλιεργούμενων φυτών με την καταλληλότερη φωτοσυνθετική διαδρομή για τα συγκεκριμένα περιβάλλοντα.

5.7.2. Διαφορές στις φωτοσυνθετικές διαδρομές

Η έρευνα που μας έχει βοηθήσει να κατανοήσουμε τους διαφορετικούς τύπους φωτοσύνθεσης και τις συνθήκες της άριστης λειτουργίας τους, μας έχει βοηθήσει επίσης, να διαλευκάνουμε τις επιλογές μας σε ότι αφορά τις κατάλληλες καλλιέργειες στα κατάλληλα περιβάλλοντα. Οι υψηλότεροι φωτοσυνθετικοί ρυθμοί, πρακτικά χωρίς απώλειες από την φωτοαναπνοή, και οι μορφολογικές προσαρμογές στα C_4 – φυτά, καθιστούν τα φυτά αυτά πλεονεκτικά στις συνθήκες υψηλής έντασης του φωτός και υψηλών θερμοκρασιών. Επίσης, οι παραπάνω δυο συνθήκες επικρατούν συχνά σε καταστάσεις περιορισμένης υγρασίας. Συνεπώς, ακόμη και σε κατάσταση κακουχίας υγρασίας, η οποία συνοδεύεται με το κλείσιμο των στομάτων, τα C_4 – φυτά εξακολουθούν να φωτοσυνθέτουν μέσω του ενδοπαραγόμενου διοξειδίου του άνθρακα αλλά και να διατηρούν την ικανότητα να υλοποιούν τη διαδικασία συμψηφισμού για το διοξείδιο του άνθρακα, ακόμη και σε χαμηλά σημεία. Όμως, στις συνθήκες αυτές της υψηλής έντασης του φωτός και της θερμότητας, τα C_4 – φυτά, τρόπον τινά περιορίζονται. Τα C_3 – φυτά εμφανίζουν μια ευρύτερη κατανομή και μια καλύτερη ικανότητα να λειτουργούν σε συνθήκες χαμηλότερων θερμοκρασιών, σκίασης και κλιματικών μεταβολών. Οι ερευνητές αναζητούν τρόπους ώστε, στο ίδιο καλλιεργητικό σύστημα να συνδυάσουν τα καλλιεργούμενα τα C_3 και C_4 - φυτά, αλλά και να αναπτύξουν C_3 - C_4 περιφορές στην καλλιέργεια οι οποίες θα ανταποκρίνονται στις αλλαγές των αυξητικών συνθηκών που τυχόν παρουσιάζονται εποχιακά.

5.7.3. Μέτρηση του ρυθμού φωτοσύνθεσης

Η μέτρηση των ρυθμών φωτοσύνθεσης στον αγρό μας επιτρέπει σε ποικίλες καλλιέργειες να καταγραφεί η αποτελεσματικότητα της σύλληψης της ενέργειας. Η πλέον ακριβής μέτρηση είναι η μέτρηση της πραγματικής ανταλλαγής αερίων από το φυτό. Ένα φύλλο, ένα μέρος του φυτού, ή ένα ολόκληρο φυτό κλείνεται σε ένα διαφανή θάλαμο, στον οποίο οι συνθήκες αφενός μεν καταγράφονται και αφετέρου διατηρούνται όσο το δυνατόν εγγύτερα στις πραγματικές συνθήκες περιβάλλοντος. Ο αέρας περνάει μέσα από το θάλαμο και οδηγείται σ' ένα υπέρυθρο αναλυτή αέρος (IRGA), έτσι ώστε, να καθορίζονται οι αλλαγές στην περιεκτικότητα σε διοξείδιο του άνθρακα που προκλήθηκαν από το ισοζύγιο φωτοσύνθεσης – φωτοαναπνοής.

Μια άλλη μορφή μέτρησης βασίζεται στην απόκτηση βάρους, σε ξηρή βιομάζα, από ολόκληρο το φυτό ή στον καθορισμό της συσχέτισης μεταξύ της απόκτησης βάρους, τόσο σε συγκεκριμένα μέρη του φυτού όσο και σε ολόκληρο το φυτό, σε βάθος χρόνου. Για ένα ετήσιο φυτό που ξεκινάει το βίο του ως σπόρος και τον ολοκληρώνει μέσα σε μια αυξητική περίοδο, η καθαρή φωτοσυνθετική του δραστηριότητα είναι άμεσα συσχετισμένη με το ξηρό βάρος του φυτού κατά τη συγκομιδή του. Σε ότι αφορά τα πολυετή φυτά, πρέπει να συγκομιστούν κάποια μέρη του φυτού και με τη χρήση προτύπων της συνολικής ανάπτυξης και κατανομής της βιομάζας, μπορεί να καθοριστούν, κατά προσέγγιση, οι τιμές της καθαρής φωτοσυνθετικής δραστηριότητας. Ο δείκτης φυλλικής επιφάνειας μπορεί επίσης να χρησιμοποιηθεί για να εκτιμηθεί η πιθανή διαθέσιμη για φωτοσύνθεση φυλλική επιφάνεια σε μια καλλιέργεια και στη συνέχεια, με βάση τη γνώση μας για τους κατά προσέγγιση φωτοσυνθετικούς ρυθμούς των ανεξάρτητων φυτών ή των μερών του φυτού, μπορούν να δημιουργηθούν εκτιμητές του φωτοσυνθετικού ρυθμού για ολόκληρη την καλλιέργεια.

5.8. Άλλες μορφές αντίδρασης στο φως

Εκτός από τη χρήση του φωτός για την παραγωγή σακχάρων, πλουσίων σε ενέργεια, τα φυτά ανταποκρίνονται στο φως και με άλλους τρόπους. Το φως έχει επίδραση στο φυτό από τη στιγμή που θα φυτρώσει ο σπόρος μέχρι που αυτό θα δώσει νέους σπόρους.

5.8.1. Φύτρωμα

Οι σπόροι πολλών φυτών για να φυτρώσουν απαιτούν την ύπαρξη του φωτός. Όταν θάβονται κάτω από το έδαφος αντιδρούν πενιχρά. Μια και μόνη, ελαφριά έκθεση στο φως όμως, όπως αυτή που ο σπόρος ενός ζιζανίου έρχεται στην επιφάνεια κατά το σκάλισμα αλλά αμέσως θάβεται ξανά με την αναστροφή του χώματος, είναι αρκετή για να προκαλέσει τη διαδικασία του φυτρώματος. Κάποιοι άλλοι σπόροι χρειάζονται επανειλημμένη έκθεση στο φως για να φυτρώσουν. Το μαρούλι είναι ίσως, ένα από τα πλέον γνωστά παραδείγματα τέτοιων γεωργικών καλλιεργειών, του οποίου το φύτρωμα ελαττώνεται κατά 70%, εάν δεν εκτεθεί στο φως. Οι σπόροι άλλων φυτών, όπως παράδειγμα οι σπόροι από τα κολοκύθια, έχουν τις αντίθετες απαιτήσεις. Οι σπόροι πρέπει να θάβονται πλήρως για να φυτρώσουν, διότι το φως πρακτικά εμποδίζει το φύτρωμα. Σε όλες αυτές τις περιπτώσεις μια ευαίσθητη στο φως ορμόνη ελέγχει την αντίδραση.

5.8.2. Αύξηση και ανάπτυξη

Με το φύτρωμα του σπόρου, το αρτίφυτρο αρχίζει τη διαδικασία της αύξησης και της ανάπτυξης. Η ένταση του φωτός ή η διάρκεια της έκθεσης στο φως μπορεί να ελέγξει την αντίδραση του φυτού, σε κάθε στάδιο της διαδικασίας, είτε ως ερέθισμα απέναντι στην αντίδραση, είτε ως περιοριστικός παράγοντας.

5.8.2.1. Εγκατάσταση

Η πρόωρη εγκατάσταση των αρτιφύτρων μπορεί να επηρεαστεί από τα επίπεδα του φωτός, ειδικότερα όταν το φύτρωμα του σπόρου ή η εγκατάσταση του αρτιφύτρου λαμβάνει χώρα κάτω από την κομοστέγη της ήδη εγκαταστημένης φυτείας. Κάποια αρτίφυτρα είναι λιγότερο ανθεκτικά στη σκίαση από κάποια άλλα και, όταν παρατηρείται έλλειψη επαρκούς φωτός που θα προσδώσει την περαιτέρω ανάπτυξη του φυτού, παρουσιάζουν μεγαλύτερες δυσκολίες στην εγκατάσταση.

5.8.2.2. Αύξηση του φυτού

Όταν ένα φυτό περιβάλλεται από άλλα φυτά, η ποσότητα του φωτός η οποία προσπίπτει στα φύλλα μπορεί να καταστεί περιοριστική και τότε, αρχίζει να συμβαίνει ο ανταγωνισμός για το φως. Ο ανταγωνισμός για το φως είναι ιδιαίτερα πιθανός στους πληθυσμούς φυτών του ίδιου είδους ή σε φυτοκοινότητες που συντίθενται από παρόμοια είδη, με πολύ παρόμοιες ανάγκες σε φως. Η αύξηση του βλαστού και του φύλλου μπορεί να περιοριστεί σοβαρά, εάν ο ανταγωνισμός προσεγγίζει το σημείο στο οποίο ένα φυτό σκιάζεται πλήρως από τους γείτονές του. Εάν κάποιο τμήμα του φυτού είναι ικανό να αναδυθεί από τη σκιά και να βρεθεί στο πλήρες ηλιακό φως, η

φωτοσύνθεση στο τμήμα αυτό είναι δυνατό να συμψηφίσει τις απώλειες από τη σκίαση που υφίστανται τα υπόλοιπα τμήματα του φυτού και να επιτρέψει την επαρκή ανάπτυξη του.

Πολλά φυτά, σε εξάρτηση με το επίπεδο σκίασης ή το επίπεδο της ηλίας, αναπτύσσουν διαφορετικά φύλλα, με ανατομικούς όρους. Τα φύλλα που αναπτύσσονται στη σκιά είναι λεπτότερα και έχουν μεγαλύτερη επιφάνεια ανά μονάδα βάρους, έχουν μια λεπτότερη επιδερμίδα, έχουν λιγότερες φωτοσυνθετικές χρωστικές, παρουσιάζουν μια πορώδη φυλλική δομή, έχουν όμως περισσότερα στόματα, από τα φύλλα τα οποία αναπτύσσονται στο ηλιακό φως. Κατά τρόπο σημαντικό αλλά και ενδιαφέροντα, τα φύλλα της σκιάς φέρονται συχνά προσαρμοσμένα στο περιβάλλον του χαμηλότερου φωτός, όντας ικανά να φωτοσυνθέτουν πάνω από το σημείο συμψηφισμού, γεγονός που οφείλεται εν μέρει, στη μεγαλύτερη περιοχή της επιφάνειας σύλληψης του φωτός. Όμως, στην περίπτωση αυτή εκείνο που είναι πολύ σημαντικό, είναι ότι τα φύλλα της σκιάς πρέπει να προστατεύονται από τις ζημιογόνες επιδράσεις του υπερβολικού φωτισμού.

5.8.2.3. Φωτοτροπισμός

Το φως μπορεί να υποκινήσει ένα φυτό ώστε αυτό να συνθέσει χλωροφύλλη και ανθοκυανίνες, οι οποίες διεγείρουν την αύξηση σε συγκεκριμένα μέρη του φυτού, όπως είναι π.χ. ο μίσχος του φύλλου και ο ποδίσκος τους άνθους, και να προκαλέσουν την αύξηση προς την κατεύθυνση του φωτός ή μακράν αυτού. Σε κάποιες περιπτώσεις, αυτή η μορφή της αύξησης πυροδοτείται από μια ορμόνη που δραστηριοποιείται από το κυανούν φως. Τα φύλλα μπορούν να προσανατολιστούν, είτε προς την κατεύθυνση του ηλίου, ώστε να συλλάβουν περισσότερο φως, είτε μακριά από τον ήλιο σε περιβάλλοντα υψηλού φωτός. Άλλωστε, τα ηλιοτρόπια πήραν το όνομά τους από τον χαρακτηριστικό προσανατολισμό του δίσκου της ταξιανθίας προς τον πρωινό ήλιο.

5.8.2.4. Φωτοπερίοδος

Επειδή η Γη περιστρέφεται γύρω από τον άξονά της, η σχετική αναλογία των ωρών του ημερήσιου φωτός και της νύκτας ποικίλει από εποχή σε εποχή. Επίσης, επειδή υπάρχει η συσχέτιση των ωρών του φωτός και της σκιάς με άλλους κλιματικούς παράγοντες, ειδικότερα μάλιστα με τη θερμοκρασία, τα φυτά έχουν αναπτύξει μέσα στο χρόνο αντιδράσεις προσαρμογής στις αλλαγές των καθεστώτων φωτός / σκότους. Παραδείγματα αυτών αποτελούν οι σημαντικές διαδικασίες της άνθησης, της βλάστησης των σπόρων, της πτώσης των φύλλων και των αλλαγών στο χρωματισμό. Στα φυτά υπάρχει μια χρωστική, η οποία είναι γνωστή ως **φυτόχρωμα**, η οποία είναι ο μείζων παράγοντας της φωτοαποδοχής και υπεύθυνη για τον έλεγχο όλων αυτών των αντιδράσεων.

Η χρωστική φυτόχρωμα έχει δύο τύπους. Ο ένας τύπος αφορά το ερυθρό φως και εμφανίζει το υψηλότερο σημείο (κορυφή) απορρόφησης στο μήκος κύματος των 660 nm και ο άλλος τύπος, ο οποίος αφορά το υπέρυθρο φως εμφανίζει το υψηλότερο σημείο απορρόφησης στο μήκος των 730 nm. Στο φως της ημέρας, ο τύπος του ερυθρού φωτός μετατρέπεται ταχύτατα στον τύπο του υπέρυθρου φωτός και στο σκότος, ο τύπος του υπέρυθρου μετατρέπεται αργά στον τύπο του ερυθρού φωτός. Άλλωστε, το υπέρυθρο φυτόχρωμα είναι βιολογικά ενεργό και υπεύθυνο για τις βασικές αντιδράσεις των φυτών, τον αριθμό των ωρών του φωτός ή του σκότους.

Τα πρωινά, λίγα μόλις λεπτά μετά την παρουσία του φωτός, το υπέρυθρο φυτόχρωμα καθίσταται η κυρίαρχος μορφή και εξακολουθεί να παραμένει κυρίαρχη σε όλη τη διάρκεια της ημέρας. Η κυριαρχία αυτή διατηρείται και τη νύκτα, αφού η επιστροφή στον ερυθρό τύπο είναι αργή στη διάρκεια του σκότους. Συνεπώς, όταν η διάρκεια της νύκτας είναι σχετικά μικρή, δεν επαρκεί ο χρόνος για να μετατραπεί το υπέρυθρο φυτόχρωμα σε ερυθρό και ο τύπος του υπέρυθρου παραμένει κυρίαρχος. Εντούτοις, ακόμη και όταν η περίοδος της κυριαρχίας του ερυθρού είναι μικρή, στις αντιδράσεις των φυτών συμβαίνουν αλλαγές.

Στα χρυσάνθεμα για παράδειγμα, το τέλος της συνεχιζόμενης κυριαρχίας του υπέρυθρου φυτοχρώματος το φθινόπωρο, ενεργοποιεί τους ανθοφόρους οφθαλμούς. Η αντίδραση αυτή είναι γνωστή ως μια «**βραχείας ημέρας**» αντίδραση, ακόμη και όταν η πραγματική αντίδραση ενεργοποιείται από τις νύκτες με μεγαλύτερη διάρκεια. Η σημασία της σκοτεινής περιόδου τονίζεται από το γεγονός ότι για τα χρυσάνθεμα ενός θερμοκηπίου, ακόμη και μια βραχεία περίοδο τεχνητού φωτός στο μέσο της νύκτας, επιτρέπει την αναστολή της άνθησης, με τη μετατροπή μιας επαρκούς ποσότητας υπέρυθρου φυτοχρώματος.

Αντίστροφη με την παραπάνω μορφή αντίδρασης εμφανίζουν οι φράουλες. Κατά την περίοδο της άνοιξης, οι βραχύτερης διάρκειας νύκτες επιτρέπουν στο υπέρυθρο φυτόχρωμα να επανακτήσει την συνεχιζόμενη κυριαρχία του, προκαλώντας έτσι, μια μετάβαση από την βλαστητική στην ανθική παραγωγή. Τα φυτά που παρουσιάζουν αυτό το είδος της αντίδρασης ονομάζονται φυτά «**μακράς ημέρας**» ακόμη και όταν οι βραχύτερης διάρκειας νύκτες είναι αυτές που ενεργοποιούν την αλλαγή. Επίσης, έχουν αναπτυχθεί κάποιες ποικιλίες φράουλας, οι καλούμενες «**ουδέτερης ημέρας**», έτσι ώστε, η ανθοφορία τους να παρατείνεται από το θέρος στις αρχές του φθινοπώρου, όταν οι κανονικές ποικιλίες υφίστανται την αλλαγή της βλαστητικής ανάπτυξης που χαρακτηρίζει τα φυτά μακράς περιόδου.

5.8.3. Παραγωγή του συγκομίσιμου τμήματος του φυτού

Οι συνθήκες του περιβάλλοντος του φωτός παίζουν ένα κρίσιμο ρόλο στην παραγωγή του τμήματος του φυτού που πρόκειται να συγκομίσουμε. Σε γενικές γραμμές, τα καλλιεργούμενα φυτά έχουν επιλεγεί επειδή φωτοσυνθέτουν στα τμήματα του φυτού που συγκομίζονται. Με άλλα λόγια, τα συγκομιζόμενα τμήματα αποτελούν τις μείζονες «δεξαμενές» κατανομής του άνθρακα. Σε τελική ανάλυση, η ικανότητα ενός φυτού να παράγει την επιθυμητή ποσότητα βιομάζας από τα συγκομιζόμενα τμήματά του εξαρτάται από τις συνθήκες του φωτός του περιβάλλοντός του. Με την κατανόηση του συμπλόκου των σχέσεων ανάμεσα στην αντίδραση του φυτού και την ποιότητα, την ποσότητα και την διάρκεια της έκθεσης του φωτός, ιδιότητες που εξετάσαμε παραπάνω, είναι δυνατόν να διαχειριστούμε το περιβάλλον του φωτός και τα φυτά να επιλεγούν με σκοπό την αριστοποίηση των εκροών του αγροοικοσυστήματος.

5.9. Διαχείριση του περιβάλλοντος του φωτός στα αγροοικοσυστήματα

Σ' ένα αγροοικοσύστημα η διαχείριση του περιβάλλοντος του φωτός γίνεται με δυο προσεγγίσεις. Η πρώτη αφορά το γεγονός ότι το φως δεν αποτελεί περιοριστικό παράγοντα, οπότε η διαχείριση προσανατολίζεται στη διευθέτηση του συστήματος προς την κατεύθυνση της ύπαρξης υπερβολικής ποσότητας του φωτός. Η δεύτερη αφορά το γεγονός της μεγάλης πιθανότητας το φως να αποτελεί περιοριστικό παράγοντα και η προσπάθειά μας ως εκ τούτου θα εστιαστεί προς την κατεύθυνση του τρόπου με τον

οποίο θα μπορέσουμε να καταστήσουμε διαθέσιμη για όλα τα φυτά του συστήματος μια ικανοποιητική ποσότητα του φωτός.

Οι περιοχές για τις οποίες το φως δεν αποτελεί περιοριστικό παράγοντα είναι γενικά οι ξηρές περιοχές. Στους τόπους αυτούς, το κλειδί της υπόθεσης στον καθορισμό της δομής της βλάστησης και της οργάνωσης του καλλιεργητικού συστήματος είναι συνήθως η διαθεσιμότητα του νερού και όχι η διαθεσιμότητα του φωτός. Τα φυτά φυτεύονται συνήθως σε μεγαλύτερους συνδέσμους, οι σχέσεις του φωτός είναι ήσσονος σημασίας, αφού υπάρχει συνήθως υπερεπάρκεια ηλιακής ενέργειας, και πολλοί οργανισμοί πρέπει να επιδείξουν προσαρμογές «αποφυγής» του φωτός παρά σύλληψης του. Τα φύλλα είναι συχνά προσανατολισμένα εγκάρσια, για να αποφεύγουν την άμεση έκθεση στο φως, εμφανίζουν λιγότερη περιεκτικότητα σε χλωροφύλλη, ώστε να απορροφούν μικρότερα ποσά ηλιακής ενέργειας και κατά συνέπεια θερμότητας, και περιέχουν ερυθρές χρωστικές σε υψηλότερες αναλογίες, ώστε να ανακλούν το ερυθρό φως που κανονικά απορροφάται με τη φωτοσύνθεση.

Το φως, είναι πιθανότερο να αποτελεί τον περιοριστικό παράγοντα στις υγρές περιοχές. Σ' αυτές, τόσο η φυσική βλάστηση, όσο και τα αγροοικοσυστήματα είναι πολύ περισσότερο στρωματοποιημένα, ώστε η ποσότητα και η ποιότητα του φωτός να τροποποιούνται, καθώς αυτό διέρχεται τους ορόφους, στο δρόμο του προς την επιφάνεια του εδάφους. Στις περιοχές αυτές, η διαχείριση του φωτός αποτελεί ένα σημαντικό παράγοντα για τη βελτιστοποίηση της παραγωγικότητας των αγροοικοσυστημάτων. Όσο περισσότερο στρωματοποιημένη είναι η δομή της βλάστησης, τόσο μεγαλύτερες είναι οι προκλήσεις για τη διαχείριση του φωτός. Στα δασικά και τα αγροοικονομικά συστήματα, για παράδειγμα, τα φυτάρια των ειδών του ανωρόφου, συχνά δεν βλαστάνουν εύκολα στο σκιαζόμενο περιβάλλον του δασοτάπητα, ένας παράγοντας που πρέπει να λαμβάνεται υπόψη για την ποικιλότητα του συστήματος.

5.9.1. Επιλογή των φυτών καλλιέργειας

Μια πλευρά της διαχείρισης του περιβάλλοντος του φωτός είναι η σύνδεση της διαθεσιμότητας του φωτός στο σύστημα με την ανταπόκριση των φυτών προς το φως. Οι απαιτήσεις των φυτών στο φως, όπως ασφαλώς και οι ανοχές τους, είναι σημαντικοί παράγοντες στη διαδικασία επιλογής των φυτών καλλιέργειας.

Ο τύπος της φωτοσύνθεσης των φυτών καλλιέργειας είναι ο πλέον καθοριστικός για τις απαιτήσεις τους σε φως. Όπως είδαμε παραπάνω, φυτά που ακολουθούν την C_4 φωτοσύνθεση απαιτούν υψηλή ένταση φωτός και έκθεση φωτός μεγάλης διάρκειας για παρουσιάσουν βέλτιστη παραγωγή, με την προσθήκη φυσικά, ότι δεν είναι προσαρμοσμένα σε περιοχές με ψυχρότερες και υγρότερες συνθήκες, ειδικότερα τη νύκτα. Αντιθέτως, πολλά C_3 - φυτά δεν θα αναπτυχθούν ικανοποιητικά σε συνθήκες φωτός παρόμοιες με αυτές των C_4 - φυτών.

Ακόμη και μεταξύ των φυτών καλλιέργειας που ακολουθούν την ίδια φωτοσυνθετική διαδρομή είναι δυνατόν να επιλέξουμε την καλλιέργεια που θα ακολουθήσουμε. Διαφορετικά σημεία συμψηφισμού, για παράδειγμα, θα μπορούσαν να καθορίσουν την επιλογή του είδους για περισσότερο σκιαζόμενα περιβάλλοντα.

5.9.2. Καλλιεργητική ποικιλότητα και δομή της κομοστέγης

Στο εσωτερικό της καλλιέργειας το περιβάλλον του φωτός ποικίλει σημαντικά. Οι καλλιέργειες μπορεί να σχεδιαστούν έτσι, ώστε να δημιουργούνται περιοχές στο

αγροοικοσύστημα όπου το περιβάλλον του φωτός είναι περισσότερο κατάλληλο για την συγκεκριμένη καλλιέργεια. Στους τροπικούς για παράδειγμα, κάτω από την κομοστέγη των δένδρων, κάνουν πλήρη εκμετάλλευση του διαφοροποιημένου περιβάλλοντος του φωτός για να δημιουργήσουν καλλιέργειες όπως καφέ, κακάο και βανίλιας. Τα φυτά του κακάο και της βανίλιας δεν ανέχονται την άμεση ηλιακή ακτινοβολία, για οποιαδήποτε εκτιμητέα χρονική διάρκεια και συχνά, βρίσκονται στην ανάγκη να αποκτήσουν μια παράγουσα σκιά κομοστέγη, η οποία πρέπει να είναι παρούσα πριν ακόμη αυτά φυτευτούν. Μόλις πρόσφατα, αναπτύχθηκαν ποικιλίες καφέ που μπορούμε να τις φυτέψουμε σε άμεσο ηλιακό φως.

Πίνακας 5.1. Μετρήσεις του περιβάλλοντος του φωτός σε μια πλειάδα αγροοικοσυστημάτων και φυσικών οικοσυστημάτων στο Mexico και την Costa Rica

	Είδη	ΔΦΕ	Κάλυψη (%)	Μετάδοση
2μηνη μονοκαλλιέργεια αραβοσίτου, συμβατικά διαχειριζόμενη	7	1,0	56	35
3,5μηνη μονοκαλλιέργεια αραβοσίτου, παραδοσιακά διαχειριζόμενη	20	2,6	88	12
Γλυκοπατάτες, μετά από σκάλισμα και ζιζανιοκτονία	8	2,9	100	11
2,5χρονη πολυκαλλιέργεια κακάο, plantain και της ενδημικής καλλιέργειας <i>Cordia alliodora</i>	4	3,4	84	13
Παλαιός δασωμένος κήπος που περιλαμβάνει ένα πολυποίκιλο μείγμα χρήσιμων φυτών	18	3,9	100	10
Φυτεία καφέ με ανώροφο δένδρα του είδους <i>Erythrina</i>	7	4,0	96	4
Τεμάχια φυτεμένα με χρήσιμα φυτά σε απομίμηση φυσικής διαδοχής, 11 μήνες μετά τον καθαρισμό	27	4,2	98	7
Φυτεία <i>Gmelina</i> (δένδρα καλλιεργούμενα για ξυλεία και πολτό με φασόλια και αραβόσιτο στον υπόροφο)	8	5,1	98	2
Τεμάχια σε φυσική διαδοχή, 11 μήνες μετά τον καθαρισμό	35	5,1	98	<1

Πηγή: Δεδομένα από τον Ewel *et al* (1982)

Σε μικτές ετήσιες καλλιέργειες, το περιβάλλον του φωτός μέσα στην κομοστέγη του συστήματος μεταβάλλεται, καθώς η καλλιέργεια ωριμάζει με τον ΔΦΕ και την ένταση του φωτός σε διαφορετικά επίπεδα να διέρχονται σημαντικές μεταβολές μέσα στο χρόνο. Οι αγρότες έχουν μάθει να εκμεταλλεύονται αυτές τις μεταβαλλόμενες συνθήκες. Ένα πολύ γνωστό παράδειγμα είναι η παραδοσιακή μικτή εκμετάλλευση αραβοσίτου – φασολιάς- κολοκυθιάς στην Κεντρική Αμερική. Σε μια ιδιόζουσα μορφή καλλιέργεια των τριών αυτών φυτών στο νοτιοανατολικό Μεξικό (Amador και Gliessman, 1990), όλα τα παραπάνω είδη φυτεύονται ταυτόχρονα, οπότε μόλις πρωτοφυτρώσουν κάθε ένα είδος συναντά ένα όμοιο περιβάλλον φωτός. Ο αραβόσιτος όμως, γρήγορα κυριαρχεί στη δομή της κομοστέγης, δημιουργώντας συνθήκες σκίασης

για την φασολιά και την κολοκυθιά. Καθώς η κομοστέγη του αραβόσιτου κλείνει, οι φασολιές καταλαμβάνουν το κατώτερο μισό έως τα δύο τρίτα της καλαμιάς του αραβόσιτου, αναρριχώμενα μάλιστα στο βλαστό του αραβόσιτου. Η κολοκυθιά προορίζεται για τον σκοτεινότερο υπόροφο, δημιουργώντας και αυτή μια βαθιά σκιά στην επιφάνεια του εδάφους και βοηθώντας στον έλεγχο των ζιζανίων για το συνολικό σύστημα καλλιέργειας (Gliessman, 1988). Μολονότι οι φασολιές και οι κολοκυθιές προσλαμβάνουν λιγότερη από τη άριστη ένταση φωτός, εντούτοις η προσλαμβανόμενη ποσότητα είναι αρκετή ώστε η παραγωγή τους να είναι επαρκής και να μην επηρεάζονται από τις πολύ υψηλές ανάγκες σε φως του αραβόσιτου. Άλλωστε, ο αραβόσιτος είναι ένα C_4 – φυτό και οι φασολιές και οι κολοκυθιές είναι C_3 – φυτά. Σε ένα τέτοιο αγροοικοσύστημα είναι προφανές ότι οι καλλιέργειες διαφορετικών φωτοσυνθετικών διαδρομών μπορούν να συνδυαστούν με διακαλλιεργητικά συστήματα και ασφαλώς, η έρευνα πάνω στο σύστημα αυτό πρέπει να διευρυνθεί και να εντατικοποιηθεί.

Μια μελέτη των περιβαλλόντων του φωτός σε εννέα διαφορετικά αγροοικοσυστήματα του Mexico και της Costa Rica, μας παρέχουν μια εικόνα του δυνατού συνδυασμού στη δομή και τα χαρακτηριστικά των περιβαλλόντων του φωτός. Τα δεδομένα της μελέτης αυτής παρουσιάζονται στον **Πίνακα 5.1**.

Σε γενικές γραμμές, οι πολυκαλλιέργειες της μελέτης ήταν περισσότερο αποτελεσματικές στο προσλαμβανόμενο ηλιακό φως από τις μονοκαλλιέργειες, μολονότι η μονοκαλλιέργεια της γλυκοπατάτας, με τα μεγάλα της φύλλα, προσλάμβανε το φως τόσο αποτελεσματικά όσο και ο δασωμένος κήπος και το σκιαζόμενο σύστημα της φυτείας του καφέ. Τα μεικτά αυτά αποτελέσματα καταδεικνύουν την δυσκολία καθορισμού της αποτελεσματικότητας ενός συστήματος χρήσης φωτός. Η μέτρηση απλώς της βλαστητικής κάλυψης, του ΔΦΕ και της μετάδοσης του φωτός στην επιφάνεια, από μόνα τους, δεν διαφωτίζουν με ποιο τρόπο το φως χρησιμοποιήθηκε από τα περιεχόμενα στο σύστημα είδη. Επίσης, δεν δείχνουν πως ένα καλά σχεδιασμένο σύστημα μπορεί να δημιουργήσει ένα περιβάλλον φωτός που να καλύπτει ταυτόχρονα τις ανάγκες μιας ποικιλομορφίας διαφορετικών φυτών.

5.9.3. Χρονική διαχείριση

Σ' ένα αγροοικοσύστημα το περιβάλλον του φωτός μεταβάλλεται μέσα στο χρόνο. Ένας τύπος μεταβολής εξαρτάται από την αύξηση των φυτών στο σύστημα και ένας άλλος από τις εποχιακές αλλαγές. Από αμφοτέρους τους τύπους των αλλαγών μπορούμε να αντλήσουμε πλεονεκτήματα, να τους τροποποιήσουμε ή να τους χρησιμοποιήσουμε για την έναρξη ειδικών τεχνικών.

Ένα είδος της χρονικής διαχείρισης που αντλεί πλεονεκτήματα από τις αλλαγές στο περιβάλλον του φωτός, όπως αυτό παρουσιάζεται καθώς τα φυτά καλλιέργειας ωριμάζουν, είναι η «υπερσπορά» ενός φυτού καλλιέργειας σε ένα άλλο. Αυτό γίνεται για παράδειγμα, για την παραγωγή μιας καλλιέργειας βρώμης/σανού ψυχανθούς. Αντί να σπείρουμε τη βρώμη, να την συγκομίσουμε και στη συνέχεια να φυτέψουμε το ψυχανθές φυτό κάλυψης (π.χ. τριφύλλι ή βίκος), οι σπόροι του ψυχανθούς μπορεί να σπαρθούν όταν η βρώμη φτάσει σ' ένα συγκεκριμένο στάδιο ανάπτυξης και το περιβάλλον του φωτός είναι πάρα πολύ κατάλληλο για την εγκατάσταση του ψυχανθούς. Ειδικότερα, το ψυχανθές φυτεύεται ακριβώς πριν αρχίσουν να σχηματίζονται οι κεφαλές της βρώμης, όταν τα επίπεδα του φωτός σε απόσταση 10 εκατοστών περίπου πάνω από την επιφάνεια του εδάφους ευρίσκονται στο 40% περίπου του πλήρους ηλιακού φωτός. Το τριφύλλι φαίνεται να εγκαθίσταται καλύτερα γύρω στο 50% του πλήρους ηλιακού φωτός, έτσι ώστε κατά την υπερσπορά η οποία

ολοκληρώνεται ακριβώς πριν αρχίσουν να σχηματίζονται οι κεφαλές, του ψυχανθούς βρίσκεται σε μια κατάσταση καλής αρχής. Μετά την συγκομιδή της βρώμης, τα επίπεδα του φωτός που φτάνουν στα φυτά του εγκαταστημένου ψυχανθούς πλησιάζουν ξανά εκείνα του πλήρους φωτισμού, προκαλώντας την ταχεία αύξηση του είδους αυτού, ως ένα αζωτοδεσμευτικό φυτό καλλιέργειας για κάλυψη του εδάφους.

Η διαχείριση των εποχιακών μεταβολών στο φως είναι πολύ κοινή στα πολυετή και τα αγροδοασικά συστήματα. Ένα σύστημα καφέ προσφέρει ένα καλό παράδειγμα της μορφής της χρονικής διαχείρισης του φωτός (Lagermann & Heuveldop 1982). Ο καφές τυπικά, μεγαλώνει κάτω από τη σκιά των δένδρων, συχνά κάτω από τα είδη του ψυχανθούς *Erythrina*. Μολονότι ο καφές είναι ένα πολύ σκιοφυτο είδος, εντούτοις, όταν βρίσκεται κάτω από πολύ πυκνή σκιά αυτός υποφέρει. Αυτό συμβαίνει ιδιαίτερα στην περίοδο της υγρής εποχής του έτους, όταν η σχετική υγρασία μέσα στο σύστημα καλλιέργειας του καφέ βρίσκεται για τον περισσότερο χρόνο κοντά στο 100%, δημιουργώντας τις συνθήκες για την προσβολή από μυκητικές ασθένειες, οι οποίες μπορούν να προκαλέσουν πτώση των φύλλων και των καρπών του καφέ. Ως εκ τούτου, μια κοινή πρακτική είναι η ισχυρή αποκλάδωση των δένδρων σκίασης στην αρχή της υγρής περιόδου (τον μήνα Ιούνιο) με σκοπό να εισέλθει περισσότερο φως στο εσωτερικό, το οποίο θα δώσει ξηρότερες συνθήκες και κατά συνέπεια μειωμένη πιθανότητα μυκητικής προσβολής. Άλλωστε, η μεγαλύτερη νεφοκάλυψη κατά τη διάρκεια της υγρής περιόδου, μειώνει την ανάγκη σκιάς πάνω από το καφέ. Κοντά στο τέλος της υγρής περιόδου (συνήθως Νοέμβριο ή Δεκέμβριο), μια άλλη αποκλάδωση λαμβάνει χώρα, η οποία διευρύνει ξανά την κομοστέγη της φυτείας, προκαλώντας πιθανώς, την ανάπτυξη των ανθοφόρων οφθαλμών, οι οποίοι ανοίγουν αργότερα στην ξηρή περίοδο, αλλά και διεγείρουν την αναστροφή της πλούσιας σε άζωτο βιομάζας, η οποία βοηθάει στην ταχύτερη αύξηση των φυτών του καφέ κατά τη διάρκεια αυτής της περιόδου.

5.9.4. Κατανομή του άνθρακα και αειφορικότητα

Όπως είδαμε στο προηγούμενο κεφάλαιο, ένα σχετικά μικρό ποσοστό του άνθρακα που δεσμεύεται με τη φωτοσύνθεση με τη μορφή των υδατανθράκων, μετασχηματίζεται στη συνέχεια σε βιομάζα. Για τη Γεωργία είναι ακριβώς αυτό το τμήμα της βιομάζας, το οποίο βρίσκει τη «δεξαμενή» του, με τη μορφή της συγκομιζόμενης, της καταναλωνόμενης και/ή της εμπορεύσιμης οργανικής ύλης και στο οποίο πρέπει να αποδίδουμε μεγάλη σημασία. Όλες οι συζητήσεις που γίνονται για το πως μπορούμε να διαχειριστούμε το περιβάλλον του φωτός ώστε να αυξήσουμε το μέγεθος της δεξαμενής αυτής, πρέπει να λαμβάνουν υπόψη τους ποιες μπορεί να είναι οι μακροπρόθεσμες επιδράσεις της συγκομιδής και της απομάκρυνσης της βιομάζας από το αγροοικοσύστημα.

5.10. Χρήσιμη συμπληρωματική βιβλιογραφία

Bainbridge, R., G. C. Evans and O. Rackham. 1968. *Light as an Ecological Factor*. Blackwell Scientific: Oxford.

Evans, G. C., R. Bainbridge, and O. Rackham. 1975. *Light as an Ecological Factor II*. Blackwell Scientific: Oxford.

Vince-Prue, D. 1975. *Photoperiodism in Plants*. McGraw-Hill: New York.

Κεφάλαιο Έκτο

Η Θερμοκρασία

6.1. Γενικά

Η επίδραση της θερμοκρασίας στην αύξηση και την ανάπτυξη των φυτών και των ζώων είναι πολύ γνωστή και εύκολα αποδεικνύεται. Κάθε οργανισμός παρουσιάζει καθορισμένα όρια ανοχής τόσο στις χαμηλές όσο και στις υψηλές θερμοκρασίες, καθορισμένα από τις ιδιαίτερες προσαρμογές του στις ακραίες θερμοκρασίες. Κάθε οργανισμός επίσης, έχει ένα βέλτιστο θερμοκρασιακό εύρος, το οποίο είναι δυνατό να μεταβάλλεται ανάλογα με το στάδιο της ανάπτυξής του.

Έτσι, σε μια περιοχή, το θερμοκρασιακό εύρος και ο βαθμός διακύμανσης της θερμοκρασίας μπορούν να επιβάλουν όρια στα είδη και τις ποικιλίες των καλλιεργούμενων φυτών, στα οποία μπορεί να τις καλλιεργήσει ένας παραγωγός. Επίσης, αμφότερα μπορεί να προκαλέσουν μεταβολές στην ποιότητα και τις μέσες αποδόσεις των καλλιεργειών αυτών. Όταν επιλέγουμε το είδος μιας καλλιέργειας, θεωρείται άκρως απαραίτητο να αντιμετωπίσουμε τον παράγοντα της θερμοκρασίας με τέτοιο τρόπο, έτσι ώστε, να επιλέγεται η πλέον κατάλληλη καλλιέργεια για το εύρος των συνθηκών, όπως αυτή θα εμφανίζεται από μέρα σε μέρα, ανάμεσα στη μέρα και τη νύχτα και από εποχή σε εποχή. Άλλωστε, οι θερμοκρασίες έχουν μεγάλη σημασία τόσο στην επιφάνεια του εδάφους, όσο και κάτω από αυτό.

Οσάκις μετρούμε τη θερμοκρασία του αέρα, τη θερμοκρασία του εδάφους ή τη θερμοκρασία του νερού, απλά μετρούμε τη ροή θερμότητας. Για να κατανοήσουμε καλύτερα τον παράγοντα της θερμοκρασίας, είναι χρήσιμο να έχουμε πάντοτε κατά νου ότι η ροή αυτή της θερμότητας αποτελεί τμήμα του ενεργειακού ισοζυγίου του οικοσυστήματος, τη βάση του οποίου άλλωστε, αποτελεί η ηλιακή ενέργεια.

6.2. Ο Ήλιος - Πηγή θερμικής ενέργειας του πλανήτη

Η ενέργεια που προέρχεται από τον ήλιο είναι, κατά κύριο λόγο, ακτινοβολία μικρού κύματος. Συνήθως, είναι η ενέργεια του φωτός που συντίθεται από το ορατό και

το μη ορατό φάσμα. Όπως διαπιστώσαμε στο προηγούμενο κεφάλαιο, η ηλιακή ακτινοβολία, είτε ανακλάται, είτε διαχέεται, είτε τέλος, απορροφάται από την ατμόσφαιρα και τα συστατικά της ατμόσφαιρας. Η ανακλώμενη και διαχεόμενη ενέργεια μετατρέπεται σε μορφή ενέργειας μεγάλου μήκους κύματος και εκφράζεται ως θερμότητα. Ομοίως, και η μικρού μήκους κύματος ενέργεια που φτάνει στην επιφάνεια της Γης, είτε απορροφάται, είτε ανακλάται. Η διαδικασία απορρόφησης στην επιφάνεια, με την οποία η ενέργεια μικρού μήκους κύματος μετατρέπεται σε θερμική ενέργεια μεγάλου μήκους κύματος, ονομάζεται **ηλίαση** (insolation). Η θερμοκρασία που δημιουργείται από την ηλίαση μπορεί να αποθηκευθεί στην επιφάνεια της γης ή να ανακλαστεί πίσω στην ατμόσφαιρα. Μέρος της επανακτινοβολούμενης προς την ατμόσφαιρα θερμότητας είναι δυνατό να ανακλαστεί και πάλι πίσω στην επιφάνεια.

Αποτέλεσμα των διαδικασιών αυτών είναι η θερμική ενέργεια να παγιδεύεται τόσο στην επιφάνεια όσο και κοντά σ' αυτή και η θερμοκρασία να παραμένει σχετικά υψηλή, σε σύγκριση με το ακραίο ψύχος που επικρατεί στο απώτερο διάστημα. Σε τελική ανάλυση, η θερμοκρασιακή αυτή διαδικασία αποτελεί το γεγονός εκείνο που ορίζεται ως το **φαινόμενο του θερμοκηπίου** (greenhouse effect).

Γνωρίζουμε ότι οι θερμοκρασίες στην επιφάνεια του εδάφους ποικίλουν από τόπο σε τόπο, διαφέρουν τη νύχτα από τη μέρα, αλλάζουν το θέρος από το χειμώνα. Εντούτοις όμως, διατηρείται μια συνολική ισορροπία ανάμεσα στη θερμική ενέργεια που αποκτάται από τη γη και την ατμόσφαιρά της και την θερμική ενέργεια που χάνεται. Το ισοζύγιο μεταξύ θέρμανσης και ψύξης εκφράζεται με το μαθηματικό μοντέλο που ακολουθεί **(6.1)**.

$$S(1-\alpha) + L_d - L_u \pm H_{\text{αέρα}} \pm H_{\text{εξάτμισης}} \pm H_{\text{εδάφους}} = 0 \quad (6.1)$$

Όπου: S = ηλιακό κέρδος.

α = ο βαθμός ανακλαστικής ισχύος του ανάγλυφου της επιφάνειας της Γης (η τιμή του κυμαίνεται από 0 έως 1).

L_d = η ροή της μακρού κύματος θερμικής ενέργειας στην επιφάνεια.

L_u = η ροή της μακρού κύματος θερμικής ενέργειας πέρα από την επιφάνεια.

H = το κέρδος ή η απώλεια της θερμικής ενέργειας από τον αέρα, το έδαφος και το νερό (εξάτμιση).

Το ισοζύγιο αυτό είναι δυνατό να υποστεί κάποιες μεταβολές, αντιδρώντας στις ανθρωπογενείς αλλαγές που δημιουργούνται στην ατμόσφαιρα. Οι μεταβολές αυτές περιλαμβάνουν την αύξηση του επιπέδου των εκπομπών του διοξειδίου του άνθρακα, η οποία προκαλείται από την καύση των ορυκτών καυσίμων. Έτσι, όσο περισσότερες ποσότητες διοξειδίου του άνθρακα και των άλλων «αερίων του θερμοκηπίου» προστίθενται στην ατμόσφαιρα, τόσο μεγαλύτερες ποσότητες θερμότητας παγιδεύονται ανάμεσα στην ατμόσφαιρα και την επιφάνεια της Γης. Για να διερευνηθούν οι πιθανές επιπτώσεις στη γεωργία, αρνητικές ή θετικές, σε μια πιθανή παγκόσμια αύξηση της θερμοκρασίας, διεξάγεται μια πληθώρα μελετών από ειδικούς επιστήμονες και ερευνητικές ομάδες.

6.3. Αιτίες και συνέπειες από την υπερθέρμανση της Γης

Η υπερθέρμανση της Γης είναι ένα σχετικά πρόσφατο φαινόμενο, ένα προϊόν της βιομηχανικής εποχής. Τα συγκροτήματα της βαριάς βιομηχανίας και η κυκλοφορία των αυτοκινήτων απελευθερώνουν στην ατμόσφαιρα της Γης τεράστιες ποσότητες διοξειδίου του άνθρακα, αλλά και άλλων αερίων, τα οποία παγιδεύουν την ηλιακή

ακτινοβολία στην ατμόσφαιρα της Γης. Έτσι, το συσσωρευμένο αποτέλεσμα ενός αιώνας έντονης καύσης ορυκτών καυσίμων δημιούργησε στα τελευταία πενήντα έτη μια ελαφρά αύξηση στη μέση θερμοκρασία της γήινης επιφάνειας. Λόγω της ευρείας πολυπλοκότητας της παγκόσμιας ατμοσφαιρικής δυναμικής, είναι δύσκολο οι επιστήμονες να προβλέψουν, σε οποιονδήποτε βαθμό βεβαιότητας, τι θα συμβεί στο μέλλον. Όμως, στην επιστημονική κοινότητα υπάρχει ένα ουσιαστικό ενδιαφέρον για τις συνέπειες των συνεχιζόμενων ποσών έκλυσης στην ατμόσφαιρα του διοξειδίου του άνθρακα και των υπολοίπων αερίων του θερμοκηπίου.

Από την έναρξη της βιομηχανικής εποχής και μετά, τα ποσά του άνθρακα στην ατμόσφαιρα έχουν αυξηθεί κατά 30%. Η αύξηση αυτή προέρχεται κυρίως από την καύση των ορυκτών καυσίμων για την βιομηχανική παραγωγή, την παραγωγή ενέργειας και φυσικά από την αποδάσωση. Η αποδάσωση είναι αναμφίβολα καταστρεπτική, όχι μόνο επειδή μεγάλο μέρος της αποψιλωτικά υλοτομούμενης ξυλείας συνήθως καίγεται, απελευθερώνοντας έτσι περισσότερο άνθρακα, αλλά διότι χάνονται τα φυτά, τα οποία προσλάμβαναν προηγουμένως διοξείδιο του άνθρακα.

Οι σύγχρονες γεωργικές πρακτικές ευθύνονται μεν άμεσα, αλλά έχουν ένα μικρό μόνο μέρος της ετήσιας συμβολής στο φαινόμενο του θερμοκηπίου. Ταυτόχρονα όμως, έχουν και μια έμμεση ευθύνη. Η αποψίλωση των δασών για γεωργικούς σκοπούς (συμπεριλαμβανομένης και της βόσκησης) αποτελεί μια σημαντική αιτία αποδάσωσης. Επιπρόσθετα, τα ορυκτά καύσιμα που καταναλώνονται για την παραγωγή της απαιτούμενης ενέργειας για την δημιουργία των ζιζανιοκτόνων, των εντομοκτόνων και των λιπασμάτων, αλλά και η μεταφορά των αγροτικών προϊόντων σε παγκόσμια κλίμακα, έχουν ανάγκη από περισσότερα ορυκτά καύσιμα.

Κατά μέσο όρο, ο πλανήτης μας είναι τώρα κατά 0,5 °C θερμότερος, απ' ό,τι ήταν πριν πενήντα χρόνια. Πολλά μέλη της επιστημονικής κοινότητας ανησυχούν για την πιθανότητα οι παγκόσμιες θερμοκρασίες να συνεχίσουν να αυξάνονται και τα αποτελέσματα της αύξησης αυτής μπορεί να είναι άκρως σοβαρά. Πρόσφατες μελέτες υποστηρίζουν ότι ένα θερμότερο κλίμα θα προκαλέσει περισσότερα ακραία τοπικά κλιματικά φαινόμενα, όπως πλημμύρες και ξηρασίες. Ενώ κάποιες περιοχές, μεταξύ των οποίων η Νότια και η Νοτιοανατολική Ασία, είναι δυνατό στο μέλλον να δέχονται αυξημένες ποσότητες βροχοπτώσεων. Επίσης, τα ατμοσφαιρικά μοντέλα εμφανίζουν κάποιες άλλες περιοχές, όπως είναι η Λατινική Αμερική και η υποσαχάρια Αφρική, να υποφέρουν προφανώς από μια αυξημένη ζέστη και από καταστροφικές βροχοπτώσεις. Τέλος, μια άλλη ανησυχία είναι ότι οι μεγάλες γεωργικές εκτάσεις στις παραθαλάσσιες, τις χαμηλές υψομετρικά περιοχές της υφελίου, θα κατακλυστούν, εάν η παγκόσμια θερμοκρασία αυξηθεί αρκετά τόσο που να λειώσει ακόμη και ένα μικρό μέρος από τους πολικούς πάγους.

6.4. Μορφές της θερμοκρασιακής μεταβολής στην επιφάνεια της Γης

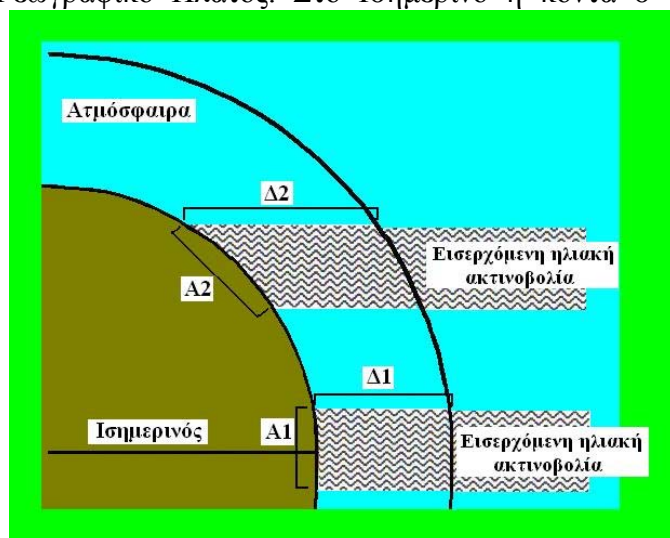
Σε ότι αφορά την κατανομή της θερμοκρασίας υπάρχουν πολλές οικολογικές απόψεις, οι οποίες είναι χρήσιμες για την κατανόηση της μεταβολής και της δυναμικής των θερμοκρασιακών συνθηκών στην επιφάνεια της Γης. Χρειαζόμαστε την πληροφόρηση αυτή, πρώτα απ' όλα, ώστε να κάνουμε τις κατάλληλες επιλογές για τους τύπους των γεωργικών καλλιεργειών που θα επιλέξουμε, να προσαρμόσουμε τα αγροοικοσυστήματα στις συνθήκες της θερμοκρασίας, αλλά και να τροποποιήσουμε τις συνθήκες αυτές, εκεί όπου αυτό είναι εφικτό.

Όταν εξετάζουμε τα κλίματα σε διάφορες περιοχές του πλανήτη, παρατηρούμε κατ' αρχήν, μεταβολές στη θερμοκρασία σε ακόμη μεγαλύτερη κλίμακα. Οι μεταβολές αυτές προκαλούνται από τις εποχιακές μορφές της θερμοκρασίας, τις βροχοπτώσεις,

τους ανέμους και τη σχετική υγρασία. Σημαντικές μεταβολές όμως συμβαίνουν επίσης και στο επίπεδο της καλλιέργειας, όταν τις εξετάζουμε κάτω από την κομοστέγη των φυτών καλλιέργειας ή ακριβώς κάτω από την επιφάνεια του εδάφους.

6.4.1. Μεταβολές Γεωγραφικού Πλάτους

Η ποσότητα της ηλιακής ακτινοβολίας που πρακτικά απορροφάται από την επιφάνεια σε μια συγκεκριμένη χρονική περίοδο επηρεάζεται σοβαρά από το Γεωγραφικό Πλάτος. Στο Ισημερινό ή κοντά σ' αυτόν, η εισερχόμενη ακτινοβολία



Εικόνα 6.1. Η επίδραση του γεωγραφικού πλάτους στο ηλιακό όφελος. Όσο μεγαλύτερο το γεωγραφικό πλάτος τόσο μεγαλύτερη η απόσταση την οποία η ηλιακή ακτινοβολία πρέπει να διανύσει μέσα στην ατμόσφαιρα $\Delta 1 > \Delta 2$ και μεγαλύτερη η επιφάνεια πάνω από την οποία διαχέεται μια συγκεκριμένη ποσότητα ηλιακής ακτινοβολίας $A 2 > A 1$.

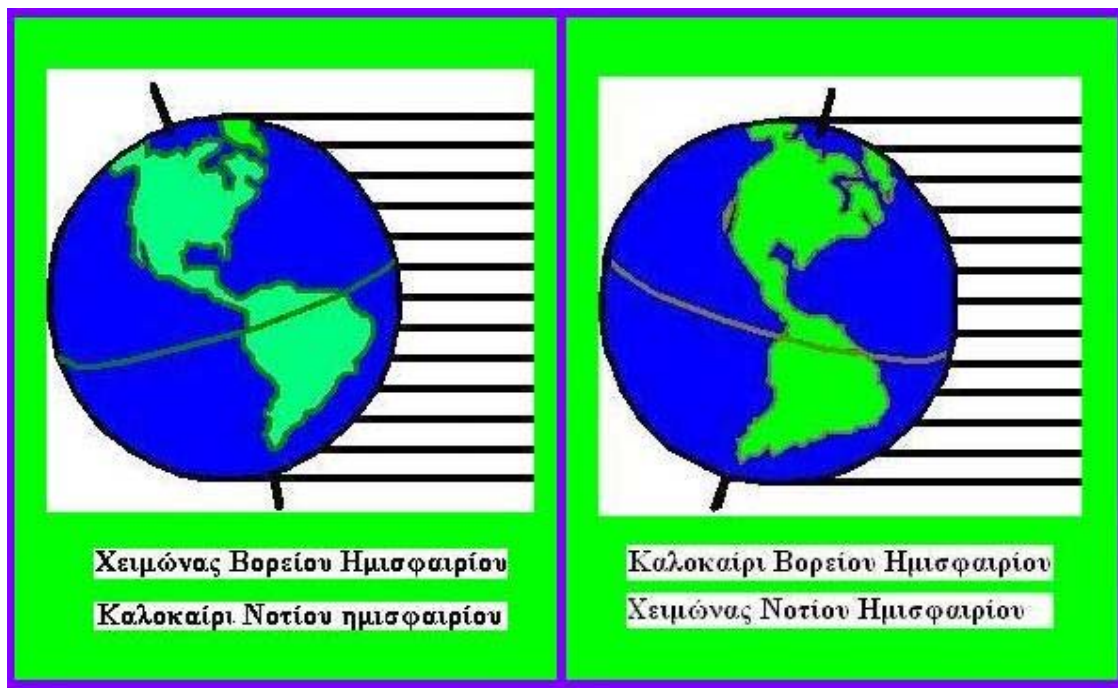
και η σκόνη. Το συνολικό αποτέλεσμα είναι μια κανονική μείωση της έντασης της ηλιακής ακτινοβολίας ανά μονάδα επιφανείας, καθώς απομακρυνόμαστε από τον Ισημερινό.

6.4.2. Υψομετρικές μεταβολές

Είναι γνωστό ότι η θερμοκρασία μειώνεται καθώς μεταφερόμαστε σε μεγαλύτερο υψόμετρο. Κατά μέσο όρο, όταν το υψόμετρο αυξάνει κατά 100 μέτρα, η θερμοκρασία του περιβάλλοντος μειώνεται κατά 0,6 °C. Σε θέσεις όπου η κατά τη διάρκεια της ημέρας αυξημένη νεφοκάλυψη συνοδεύεται με την υψομετρική αύξηση, οι διαφορές στη θερμοκρασία είναι ακόμη μεγαλύτερες, λόγω του ελαττωμένου ηλιακού κέρδους. Ταυτόχρονα, επειδή στα μεγάλα ύψη η ατμόσφαιρα γίνεται αραιότερη, αυτό έχει ως αποτέλεσμα μια μεγάλη απώλεια θερμότητας, τόσο από την επιφάνεια του εδάφους, όσο και από τον αέρα πάνω από αυτή, λόγω της νυκτερινής ακτινοβολίας. Το φαινόμενο αυτό συμβάλλει σημαντικά στην πτώση των νυκτερινών θερμοκρασιών στα

προσπίπτει επί της γήινης επιφάνειας κάθετα. Όσο οι αποστάσεις μεγαλώνουν, καθώς απομακρυνόμαστε από τον Ισημερινό, οι ακτίνες του ηλίου σχηματίζουν κατά την πρόσπτωσή τους όλο και οξύτερες γωνίες, σε σχέση με την επιφάνεια. Όσο η γωνία αυτή καθίσταται μικρότερη, η ίδια ποσότητα της εισερχόμενης ηλιακής ακτινοβολίας διαχέεται σε όλο και μεγαλύτερη περιοχή της γήινης επιφάνειας, όπως άλλωστε φαίνεται και στην **Εικόνα 6.1**. Επιπλέον, οι ακτίνες του ηλίου πρέπει να διέλθουν από ένα αυξανόμενο παχύ στρώμα ατμόσφαιρας των μεγαλύτερων Γεωγραφικών Πλατών, υποκείμενες σε απώλεια κατά την ανάκλαση και την διάχυση από τα αιωρούμενα στην ατμόσφαιρα αιωρούμενα υλικά, όπως είναι τα σταγονίδια

μεγάλα υψόμετρα. Στις ορεινές περιοχές των τροπικών (υψόμετρα πάνω από 3.000 μ.), και όσο προσεγγίζουμε τους πόλους, σε χαμηλότερα υψόμετρα, η απανακτινοβολία κατά τη νύκτα είναι τόσο έντονη, ώστε να επικρατούν, σχεδόν κάθε νύκτα που ο ουρανός είναι καθαρός, χειμωνιάτικες συνθήκες θερμοκρασίας.



Εικόνα 6.2. Εποχική μεταβολή στην γωνία πρόσπτωσης της ηλιακής ακτινοβολίας

6.4.3. Εποχιακές μεταβολές

Οι θερμοκρασιακές διαφορές που παρατηρούνται στην επιφάνεια της γης είναι αποτέλεσμα της περιστροφής της Γης γύρω από τον Ήλιο (Εικόνα 6.2.). Κατά τη διάρκεια του έτους, μια δέσμη μέγιστου ηλιακού οφέλους μετακινείται εγκάρσια στον ισημερινό, ανάλογα με τη γωνία πρόσπτωσης των ηλιακών ακτίνων και το μήκος της ημέρας. Οι μεγαλύτερες ημέρες οδηγούν σε περισσότερο ηλιακό όφελος. Η αιώρηση αυτή της ηλίας είναι η άμεση αιτία των εποχιακών μεταβολών στη θερμοκρασία. Ο βαθμός της εποχιακής μεταβολής, σε μέσες θερμοκρασίες, αυξάνει καθώς αυξάνεται η απόσταση από τον ισημερινό.

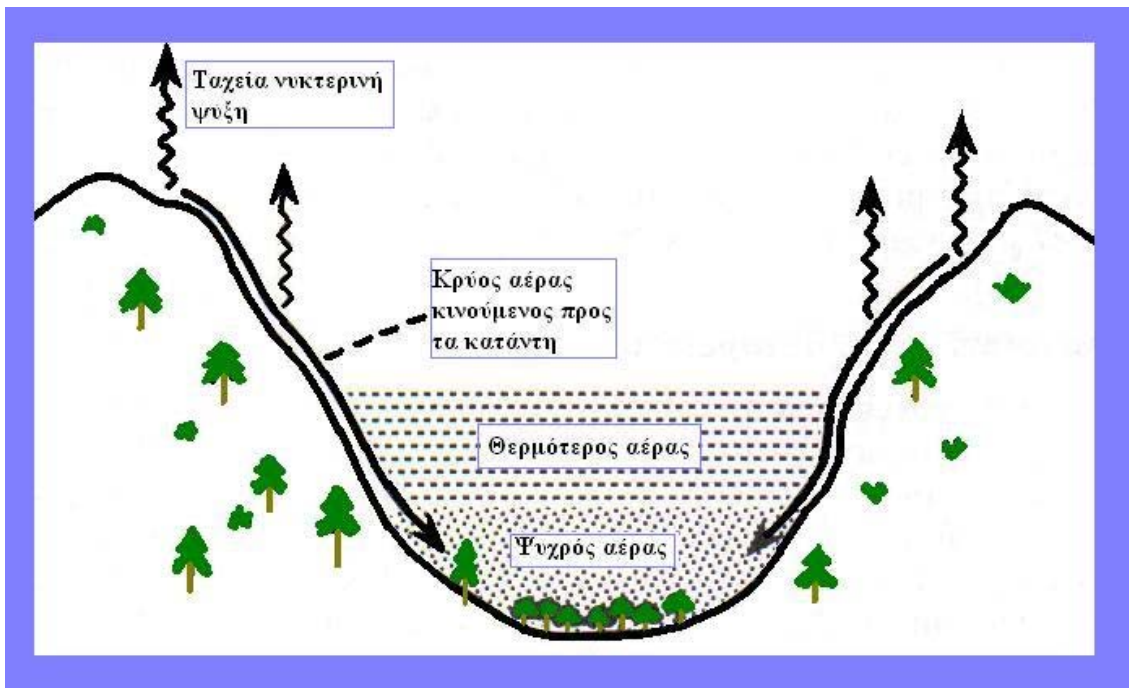
6.4.4. Θαλάσσια και ηπειρωτική επίδραση

Οι μεγάλες υδάτινες επιφάνειες, ειδικότερα οι ωκεανοί, επηρεάζουν σε μεγάλο βαθμό τη θερμοκρασία των γειτονικών με αυτές περιοχές. Επειδή το νερό αντανακλά, σε σύγκριση με το έδαφος, ένα πολύ μεγαλύτερο μέρος της ηλιακής ακτινοβολίας, αυτό χάνει άμεσα θερμότητα, μέσω της επιφανειακής εξάτμισης. Ως εκ τούτου, έχει μια υψηλή ειδική θερμότητα και αναμιγνύει τα στρώματα άμεσα και κάθετα. Συνεπώς, η θερμοκρασία των μεγάλων υδάτινων επιφανειών μεταβάλλεται με βραδύτερους ρυθμούς από την αντίστοιχη των χερσαίων. Επίσης, το έδαφος θερμαίνεται περισσότερο κατά τη διάρκεια του θέρους διότι, ολόκληρη η ποσότητα της απορροφηθείσας θερμότητας παραμένει στον επιφανειακό ορίζοντα και ψύχεται κατά τη διάρκεια του χειμώνα σε μια χαμηλότερη θερμοκρασία, λόγω της επανακτινοβολίας και των απωλειών θερμότητας. Συμπερασματικά, οι υδάτινες επιφάνειες είναι

τροποποιητές των ευρέων διακυμάνσεων της θερμοκρασίας, παρουσιάζοντας την τάση να ταπεινώνουν τις θερμοκρασίες του θέρους και να αυξάνουν τις θερμοκρασίες του χειμώνα. Το αποτέλεσμα αυτό καλείται **θαλάσσια επίδραση**, σε αντιδιαστολή με τις ευρύτερες μεταβολές διακυμάνσεων των θερμοκρασιών που απαντώνται μακράν των υδάτινων επιφανειών κάτω από μια **ηπειρωτική επίδραση**. Οι θαλάσσιες επιδράσεις βοηθούν έτσι ώστε, να δημιουργηθούν τα μοναδικά **μεσογειακού τύπου κλίματα**, που χαρακτηρίζονται από μια ήπια και βροχερή χειμερινή περίοδο και μια μακρά και ξηρή θερινή περίοδο.

6.4.5. Τοπογραφικές μεταβολές

Ο προσανατολισμός της πλαγιάς και το τοπογραφικό ανάγλυφο είναι παράγοντες που δημιουργούν τις μεταβολές στη θερμοκρασία, ιδιαίτερα μάλιστα σε τοπικό επίπεδο. Για παράδειγμα, οι πλαγιές που βλέπουν τον ήλιο, ως αποτέλεσμα της κλίσης της γης στον ηλιακό άξονα, δέχονται μεγαλύτερη ηλιακή ακτινοβολία, ειδικότερα κατά τους χειμερινούς μήνες. Συνεπώς, μια μεσημβρινή (νότια) πλαγιά είναι σημαντικά θερμότερη από μια βόρεια πλαγιά, όταν όλοι οι υπόλοιποι παράγοντες παραμένουν οι ίδιοι, και δημιουργούν μοναδικά μικροκλίματα για τις γεωργικές καλλιέργειες.



Εικόνα 6.3. Παροχέτευση του ψυχρού αέρα και στρώμα αναστροφής. Ο ψυχρός αέρας μπορεί να παροχετευτεί στο βάθος της κοιλάδας τη νύκτα και να ωθήσει από κάτω ένα θερμότερο αέρα.

Κοιλάδες που περιβάλλονται από πλαγιές βουνών δημιουργούν μοναδικά μικροκλίματα. Σε πολλά μέρη του κόσμου, ο αέρας που κινείται από το πάνω μέρος της πλαγιάς, λόγω του ανέμου ή των διαφορών στις πιέσεις, επεκτείνεται ταχέως και κατερχόμενος θερμαίνεται. Αυτή είναι μια διαδικασία η οποία είναι γνωστή ως **καταβατική θέρμανση**. Καθώς θερμαίνεται ο αέρας, αυξάνεται και η ικανότητά του να συγκρατεί την υγρασία με τη μορφή υδρατμών (σχετική υγρασία), αυξάνοντας το δυναμικό εξάτμισης του θερμότερου αέρα.

Επίσης, οι κοιλάδες υπόκεινται στη νυκτερινή μεταβολή του μικροκλίματος. Στις πλαγιές των κοιλάδων που βρίσκονται στα μεγαλύτερα υψομετρικά σημεία, έχουμε ταχύτερη επανακτινοβολία. Ο ψυχρός αέρας λοιπόν, ο οποίος επικρατεί εδώ, είναι βαρύτερος από τον θερμότερο αέρα που βρίσκεται στα χαμηλότερα σημεία, και μετακινείται προς τα χαμηλότερα σημεία, δημιουργώντας το φαινόμενο της **παροχέτευσης του ψυχρού αέρα**. Συχνά, ο ψυχρότερος αυτός αέρας διέρχεται κάτω από κάποιο θερμότερο αέρα, ωθώντας τον θερμότερο προς τα επάνω, για να σχηματιστεί η **αναστροφή**, η οποία χαρακτηρίζεται από την είσοδο θερμού στρώματος αέρος μεταξύ δυο ψυχρότερων στρωμάτων. Σε κάποιες τοποθεσίες, ο ψυχρός θύλακας του αέρα προκαλεί ψύχος και καταστροφή των φυτών, ενώ η θερμή αναστροφή του αέρα, ακριβώς πάνω του, παραμένει σημαντικά θερμότερη. Η μορφή αυτή της τοπικής θερμοκρασιακής διαφοροποίησης παρουσιάζεται στην **Εικόνα 6.3**. Η φυτεία των ευαίσθητων στο ψύχος εσπεριδοειδών σε υψόμετρο 160 έως 330 μέτρων στις χαμηλότερες πλαγιές στους πρόποδες των ορέων της Sierra Nevada της κεντρικής κοιλάδας της California, αποτελεί ένα καλό παράδειγμα για το πώς οι παραγωγοί κατανόησαν τα πλεονεκτήματα της χειμερινής αναστροφής του θερμότερου στρώματος αέρος που παροχετεύεται από τον ευρισκόμενο στα υψηλότερα σημεία ψυχρότερο αέρα.

6.5. Αντιδράσεις των φυτών στη θερμοκρασία

Στα φυτά, όλες οι φυσιολογικές διαδικασίες, συμπεριλαμβανομένων του φυτρώματος, της άνθησης, της αύξησης, της φωτοσύνθεσης και της αναπνοής, παρουσιάζουν όρια ανοχής στις ακραίες θερμοκρασίες και ένα σχετικά στενό εύρος θερμοκρασιών στο οποίο η λειτουργία της είναι άριστη. Έτσι, το καθεστώς της θερμοκρασίας στο οποίο ένα φυτό εκτίθεται είναι, σε τελική ανάλυση, συνδεδεμένο με το δυναμικό παραγωγής του.

Οι παραγωγοί πρέπει με προσοχή να προσαρμόσουν τις πρακτικές τους στο τοπικό θερμοκρασιακό καθεστώς, λαμβάνοντας υπόψη τους τις ημερήσιες μεταβολές, τις εποχιακές μεταβολές, τις τροποποιητικές επιδράσεις, το μικροκλίμα, άλλους παράγοντες που επηρεάζουν την θερμοκρασία και τη συγκεκριμένη θερμοκρασία που ανταποκρίνεται στις συγκεκριμένες καλλιέργειες. Στην California για παράδειγμα, οι αγρότες αλλάζουν τις καλλιέργειες, σε καλλιέργειες κρύας εποχής, όπως είναι τα μπρόκολα, κατάλληλα για χειμερινή καλλιέργεια.

Η θερμοκρασία τέλος, μπορεί να χρησιμοποιηθεί ως ένα κατάλληλο εργαλείο για να προκληθούν επιθυμητές αλλαγές στα φυτά. Για παράδειγμα, στην Κεντρική παραλιακή California οι καλλιεργητές της φράουλας ψύχουν τα προς μεταφύτευση νεόφυτα της φράουλας, με σκοπό να προκαλέσουν την βλαστητική αύξηση και την καλή ανάπτυξη της στεφάνης.

6.5.1. Προσαρμογές στις ακραίες θερμοκρασίες

Τα φυσικά οικοσυστήματα έχουν δημιουργηθεί από τα φυτά και τα ζώα που έχουν «φιλτραριστεί» μέσα από τη φυσική επιλογή. Οι περιοδικές ακραίες θερμοκρασίες αποτέλεσαν έναν από εκείνους τους παράγοντες οι οποίοι συνέτειναν να εξαφανισθούν τα είδη εκείνα τα οποία δεν ήταν ανθεκτικά στις τοπικές συνθήκες. Συνεπώς, είναι λογικό να αναμένουμε ότι οι θερμοκρασιακού εύρους ανοχές των ειδών των τοπικών φυσικών συστημάτων θα μας δώσουν μια ένδειξη των ακραίων θερμοκρασιών που πρέπει να αναμένουμε, όταν σε μια περιοχή πρόκειται να

καλλιεργήσουμε. Αναγνωρίζοντας αυτούς τους δείκτες, όπως επίσης και επιλέγοντας για την καλλιέργειά μας είδη που εμφανίζουν προσαρμογές σε ακραίες συνθήκες, μπορούν να μας βοηθήσουν ώστε, να αναπτύξουμε εκείνα τα καλλιεργητικά συστήματα που θα μειώνουν κάθε κίνδυνο, ο οποίος συνοδεύεται με την φυσική ποικιλότητα των ακραίων θερμοκρασιακών συνθηκών.

6.5.1.1. Θερμότητα

Οι επιπτώσεις των υψηλών θερμοκρασιών στα φυτά καλλιέργειας είναι το αποτέλεσμα μιας σύνθετης αλληλεπίδρασης ανάμεσα στην απώλεια του εξατμιζόμενου νερού, τις μεταβολές της εσωτερικής υδατικής κατάστασης και κάποιων άλλων φυσιολογικών διαδικασιών. Η θερμική κακουχία προκαλεί μείωση της μεταβολικής δραστηριότητας, η οποία προκαλείται από την αδρανοποίηση των ενζύμων και των πρωτεϊνών. Επίσης, η ζέστη αυξάνει το ρυθμό αναπνοής, η οποία προφανώς, ξεπερνώντας το ρυθμό φωτοσύνθεσης, εμποδίζει την ανάπτυξη του φυτού και τελικά θανατώνει τους φυτικούς ιστούς.

Τα ενδημικά φυτά των εύκρατων περιοχών έχουν, σε γενικές γραμμές, χαμηλότερα όρια θερμικής κακουχίας, σε σύγκριση με τα φυτά περισσότερο τροπικών περιοχών. Σε οποιαδήποτε περίπτωση όμως, στο επίπεδο των 42 °C αναστέλλονται οι λειτουργίες του φύλλου, ενώ για τους ζωντανούς ιστούς των φύλλων οι θανατηφόρες θερμοκρασίες βρίσκονται στο θερμοκρασιακό εύρος των 50 έως 60 °C.

Οι πλέον κοινές μορφολογικές προσαρμογές των φυτών απέναντι στην υπερβολική θερμότητα περιλαμβάνουν:

- ✚ υψηλό σημείο συμψηφισμού CO₂ του λόγου φωτοσύνθεση / αναπνοή, ο οποίος συχνά υποβοηθείται από αλλαγές στη δομή του φύλλου,
- ✚ λευκής ή φαιάς απόχρωσης φύλλα, που ανακλούν το φως και απορροφούν έτσι, λιγότερη θερμότητα,
- ✚ εμφάνιση τριχιδίων στην επιφάνεια των φύλλων που απομονώνουν τους ιστούς των φύλλων,
- ✚ μικρά φύλλα ώστε να εκτίθεται μικρότερη φυλλική επιφάνεια στο ηλιακό φως,
- ✚ φύλλα με μικρότερο το λόγο επιφάνεια / όγκος για την πρόσληψη λιγότερης θερμότητας,
- ✚ κάθετος προσανατολισμός των φύλλων για μειωμένη πρόσληψη θερμότητας,
- ✚ εκτεταμένο ριζικό σύστημα, ή μεγαλύτερη σχέση του λόγου ρίζα / βλαστός, για την απορρόφηση περισσότερου νερού ώστε, να αντιπαρέρχονται την απώλεια νερού από τα φύλλα ή να διατηρούν μεγαλύτερη πρόσληψη νερού σε σχέση με τη φυλλική επιφάνεια,
- ✚ παχύς, ή ινώδης φλοιός που απομονώνει το κάμβιο και το φλοιώμα του κορμού των φυτών,
- ✚ χαμηλότερη περιεχόμενη υγρασία στο πρωτόπλασμα και υψηλότερη ωσμωτική συγκέντρωση των ζωντανών ιστών.

Στις περιοχές όπου, η διαθεσιμότητα του νερού είναι περιορισμένη και οι θερμοκρασίες είναι υψηλές, οι παραπάνω χαρακτήρες μπορούν να ενσωματωθούν στα καλλιεργητικά συστήματα, είτε με τη χρήση φυτών καλλιέργειας τα οποία εμφανίζουν αυτούς τους χαρακτήρες, είτε με την δημιουργία ή την επιλογή ποικιλιών που οι χαρακτήρες θα τους εκχωρηθούν ή θα τους εμφανίζουν.

6.5.1.2. Ψύχος

Όταν οι θερμοκρασίες πέφτουν κάτω από την απαιτούμενη για την ανάπτυξη των φυτών ελάχιστη θερμοκρασία, το φυτό αδρανοποιείται, ακόμη και όταν η μεταβολική του δραστηριότητα συνεχίζεται με αργό ρυθμό. Έτσι, είναι δυνατό να εμφανιστεί η **γλώρωση**, την οποία θα ακολουθήσει αμετάκλητα η νέκρωση των ιστών. Η νέκρωση στις χαμηλές θερμοκρασίες οφείλεται στην πτώση της πρωτεΐνης (η οποία μπορεί να συμβεί και σε θερμοκρασίες πάνω από την ψύξη), την έξοδο του νερού από το πρωτόπλασμα (όταν το μεταξύ των κυττάρων νερό παγώνει) και το σχηματισμό των καταστρεπτικών παγοκρυστάλλων μέσα στο ίδιο το πρωτόπλασμα.

Η αντίσταση στις ακραίες συνθήκες ψύχους εξαρτάται σε μεγάλο βαθμό από το ύψος και τη διάρκεια της χαμηλής θερμοκρασίας, την ταχύτητα με την οποία αυτή επέρχεται, και το σύμπλεγμα των περιβαλλοντικών συνθηκών που το φυτό πρέπει να ξεπεράσει πριν από το γεγονός του ψύχους. Οι αντοχές στο ψύχος, παρέχουν κάποιες συγκεκριμένες δομικές προσαρμογές των φύλλων, όπως: η κάλυψη με κηρώδεις ουσίες ή τα τριχίδια, οι οποίες επιτρέπουν στα φύλλα να αντέξουν το εκτεταμένο ψύχος χωρίς να καταψυχθούν οι εσωτερικοί ιστοί, και η παρουσία μικρότερων κυττάρων στο φύλλο, τα οποία και ανθίστανται στην ψύξη.

Η προσωρινή αντοχή στο ψύχος μπορεί να επιδοθεί σε κάποια φυτά με τη βραχυχρόνια έκθεση τους σε θερμοκρασίες λίγων βαθμών πάνω από αυτές του ψύχους ή με τη συγκράτηση νερού για λίγες ημέρες. Τα φυτά αυτά διέρχονται την **σκληραγωγία**, η οποία τους προσδίδει περιορισμένη αντίσταση στο ακραίο ψύχος, όταν αυτό εμφανιστεί. Τα αρτίφυτρα που μεγαλώνουν στο θερμοκήπιο είναι δυνατό να σκληραγωγηθούν στο ψύχος με την έκθεσή τους σε ψυχρότερες θερμοκρασίες, σε σκιαζόμενο χώρο και με τη διακοπή της άρδευσής τους για μερικές ημέρες, πριν αυτά μεταφυτευθούν στον αγρό.

Πολλά φυτά είναι προσαρμοσμένα σε ακραίες συνθήκες ψύχους μέσω κάποιων μηχανισμών που επιτρέπουν σ' αυτά να αποφεύγουν το ψύχος. Αναφερόμεθα σε φυλλοβόλους πολυετείς θάμνους ή δένδρα που χάνουν τα φύλλα τους και παραμένουν σε λήθαργο κατά τη διάρκεια της ψυχρής περιόδου, σε βολβώδη φυτά που απορρίπτουν τα υπέργεια τμήματά τους, και σε ετήσια φυτά που συμπληρώνουν τον ετήσιο βιολογικό τους κύκλο και παράγουν σπόρους. Τα παραπάνω αποτελούν κάποια από τα παραδείγματα των φυτών που αποφεύγουν το ψύχος.

6.5.2. Η θερμοπερίοδος στα φυτά

Κάποια φυτά χρειάζονται την ημερήσια μεταβολή της θερμοκρασίας για να επιτύχουν την άριστη αύξηση ή ανάπτυξή τους. Στο κλασικό εγχειρίδιο της Οικοφυσιολογίας του Went (1944), παρουσιάζεται η περίπτωση με τα φυτά τομάτας τα οποία, αναπτυσσόμενα σε ίδιες θερμοκρασίες ημέρας και νύχτας, δεν εμφάνισαν την αυτή ανάπτυξη με άλλα φυτά τομάτας που δέχτηκαν κανονικές θερμοκρασίες ημέρας και χαμηλότερες θερμοκρασίες νύχτας. Η αντίδραση αυτή συμβαίνει, όταν η άριστη για την ανάπτυξη θερμοκρασία, η οποία σημειωτέον λαμβάνει χώρα ως επί το πλείστον κατά τη διάρκεια της νύχτας, είναι ουσιωδώς διαφορετική από την άριστη θερμοκρασία για τη φωτοσύνθεση, η οποία ως γνωστό λαμβάνει χώρα κατά τη διάρκεια της ημέρας.

Οι ημερήσιες μεταβολές της θερμοκρασίας συναντώνται στα φυτά που αναπτύσσονται σε πολλά φυσικά οικοσυστήματα και σε ανοικτά αγροοικοσυστήματα, στα ελεγχόμενα αγροοικοσυστήματα όμως, όπως αυτά των θερμοκηπίων, οι ημερήσιες μεταβολές της θερμοκρασίας είναι πολύ λιγότερο έντονες. Σε άλλες καταστάσεις, φυτά

από κλίματα με ψυχρές νύκτες δεν παρουσιάζουν την ίδια συμπεριφορά σε περιοχές με σχετικά σταθερές θερμοκρασίες ημέρας και νύκτας, όπως είναι οι υγροί τροπικοί ή οι εύκρατες ηπειρωτικές περιοχές σε όλη τη διάρκεια του θέρους.

6.5.3. Η διαχείμαση

Μερικά φυτά χρειάζεται να διέλθουν μια περίοδο ψύχους, την καλούμενη **διαχείμαση** (vernalization), πριν λάβουν χώρα συγκεκριμένες αναπτυξιακές διαδικασίες. Για παράδειγμα, στα ποολίβαδα της California, πολλά ενδημικά ποώδη είδη δεν θα σπυροβλαστήσουν μέχρις ότου παρουσιαστεί μια ψυχρή περίοδος διάρκειας μερικών ημερών, ακόμη και εάν οι πρώτες βροχές μπορεί να έχουν κάνει την εμφάνισή τους. Με δεδομένο ότι ο συγχρονισμός της πρώτης βροχής της περιόδου στην περιοχή αυτή είναι πολύ ευμετάβλητος και η πρώιμη βροχόπτωση συνήθως ακολουθείται από μια πολύ ξηρή περίοδο προτού οι σταθερού ρυθμού βροχοπτώσεις αρχίσουν, τα περισσότερα νεόφυτα προφανώς δεν θα μπορέσουν να επιβιώσουν. Αυτό λοιπόν αποτελεί ένα επιλεκτικό πλεονέκτημα της καθυστερημένης βλάστησης μέχρι να επισυμβεί η διαχείμαση.

Στο φαινόμενο της διαχείμασης ανταποκρίνονται πολλά φυτά, μεγάλης καλλιέργειας ή/και οπωροκηπευτικά. Οι βολβοί του κρίνου, για παράδειγμα, υπόκεινται στο χειρισμό του ψύχους την κατάλληλη στιγμή πριν φυτευτούν, έτσι ώστε, να ανθοφορήσουν στις βόρειες εύκρατες περιοχές πριν από το Πάσχα. Σε άλλες περιπτώσεις, σπόροι μεγάλων καλλιεργειών υφίστανται το χειρισμό του ψύχους πριν να φυτευτούν, με απώτερο σκοπό τη διασφάλιση μιας περισσότερο ομοιόμορφης φύτρωσης.

6.6. Μικροκλίμα και Γεωργία

Μέχρι τώρα εξετάσαμε διεξοδικά τη θερμοκρασία, ως ένα παράγοντα του κλίματος. Το κλίμα σχηματίζεται από τις απόλυτα προβλεπόμενες, αλλά σε υψηλό βαθμό μεταβαλλόμενες, μορφές των ατμοσφαιρικών συνθηκών που επικρατούν μακροχρόνια σε μια συγκεκριμένη γεωγραφική περιοχή. Η κλιματολογία, η επιστήμη που μελετά τις μορφές του κλίματος, μπορεί να μας πληροφορήσει για τις μέσες θερμοκρασίες που επικρατούν σε συγκεκριμένες περιοχές της γης και το βαθμό μεταβολής από τις μέσες τιμές που δυνατόν να αναμένουμε. Για το εγγύς μέλλον δεν αναμένεται να υπάρξει η δυνατότητα οι άνθρωποι να μπορέσουν να τροποποιούν το κλίμα σε οποιαδήποτε ευρεία κλίμακα. Αυτό ισχύει ειδικότερα για τις θερμοκρασίες. Οι μεγάλης κλίμακας όψεις του κλίματος, όπως τα ψυχρά μέτωπα, οι ανεμοθύελλες, και οι μορφές βροχοπτώσεων, χειρίζονται με την επιλογή των καλλιεργειών προσαρμοσμένες στο εύρος των αναμενόμενων κλιματικών συνθηκών.

Στο επίπεδο όμως των ανεξάρτητων φυτικών οργανισμών ή του αγρού με φυτά καλλιέργειας, υπάρχει μια πλευρά του κλίματος την οποία μπορούμε να τη διαχειριστούμε. Η πλευρά αυτή είναι το **μικροκλίμα**. Ως μικροκλίμα θεωρείται το σύνολο των τοπικών συνθηκών της θερμοκρασίας, της υγρασίας και της ατμόσφαιρας που βρίσκονται σε άμεση εγγύτητα με τους οργανισμούς. Σύμφωνα με κάποιους ορισμούς, το μικροκλίμα σχηματίζεται από τις συνθήκες που επικρατούν σε μια ζώνη τετραπλάσια του ύψους των εξεταζόμενων οργανισμών. Μολονότι στο φάσμα του μικροκλίματος περιλαμβάνονται και άλλοι παράγοντες εκτός της θερμοκρασίας, οι αγρότες - παραγωγοί είναι προτιμότερο να ενδιαφέρονται για τη θερμοκρασία, όταν

προσπαθούν να τροποποιήσουν το μικροκλίμα ή να εκμεταλλευτούν τις μεταβολές του μικροκλίματος.

6.6.1. Μικροκλιματικό προφίλ

Μέσα σε ένα σύστημα καλλιεργητικών επεμβάσεων οι συνθήκες της θερμοκρασίας, της υγρασίας, του φωτός, του ανέμου και της ποιότητας της ατμόσφαιρας ποικίλουν σε κάθε συγκεκριμένη τοποθεσία. Οι συνθήκες πάνω ακριβώς από την κομοστέγη της καλλιέργειας μπορεί να είναι πολύ διαφορετικές από αυτές στο εσωτερικό της, στην επιφάνεια του εδάφους και κάτω από το έδαφος στη ζώνη του ριζικού συστήματος. Οι ιδιαίτερες μικροκλιματικές συνθήκες κατά μήκος μια κάθετης τομής, μέσα σε ένα σύστημα φυτών καλλιέργειας, σχηματίζει το καλούμενο **μικροκλιματικό προφίλ** του συστήματος. Στο μικροκλιματικό προφίλ επιδρούν τόσο η δομή του συστήματος όσο και οι δραστηριότητες των μερών που συνθέτουν αυτό. Επίσης, αυτό μεταβάλλεται καθώς αναπτύσσονται τα είδη που συνθέτουν τα φυτά καλλιέργειας.

Πίνακας 6.1. Σχηματικό μικροκλιματικό προφίλ μιας ώριμης πολυκαλλιέργειας αραβοσίτου/τεύτλων/κολοκυθιών, που παρουσιάζει τα επίπεδα πέντε παραγόντων σε κάθε στρώση της κομοστέγης το μεσημέρι.

	Θερμοκρασία	Ταχύτητα ανέμου	Υδρατμοί	Φως	CO ₂
Πάνω από την κομοστέγη του αραβόσιτου	(3)	(1)	(5)	(1)	(2)
Υψηλότερα από την κομοστέγη του αραβόσιτου	(1)	(2)	(4)	(3)	(5)
Στο μέσο της εσωτερικής κατανομής	(2)	(3)	(3)	(4)	(5)
Κάτω από τα φύλλα της κολοκυθιάς	(4)	(4)	(2)	(5)	(2)
Επιφάνεια του εδάφους	(5)	(5)	(1)	(5)	(1)

Υπόμνημα: (1) υψηλότερο επίπεδο, (2) υψηλό επίπεδο, (3) μέσο επίπεδο, (4) χαμηλό επίπεδο, (5) χαμηλότερο επίπεδο.

Πηγή: Προσαρμογή από τον Montieth (1973)

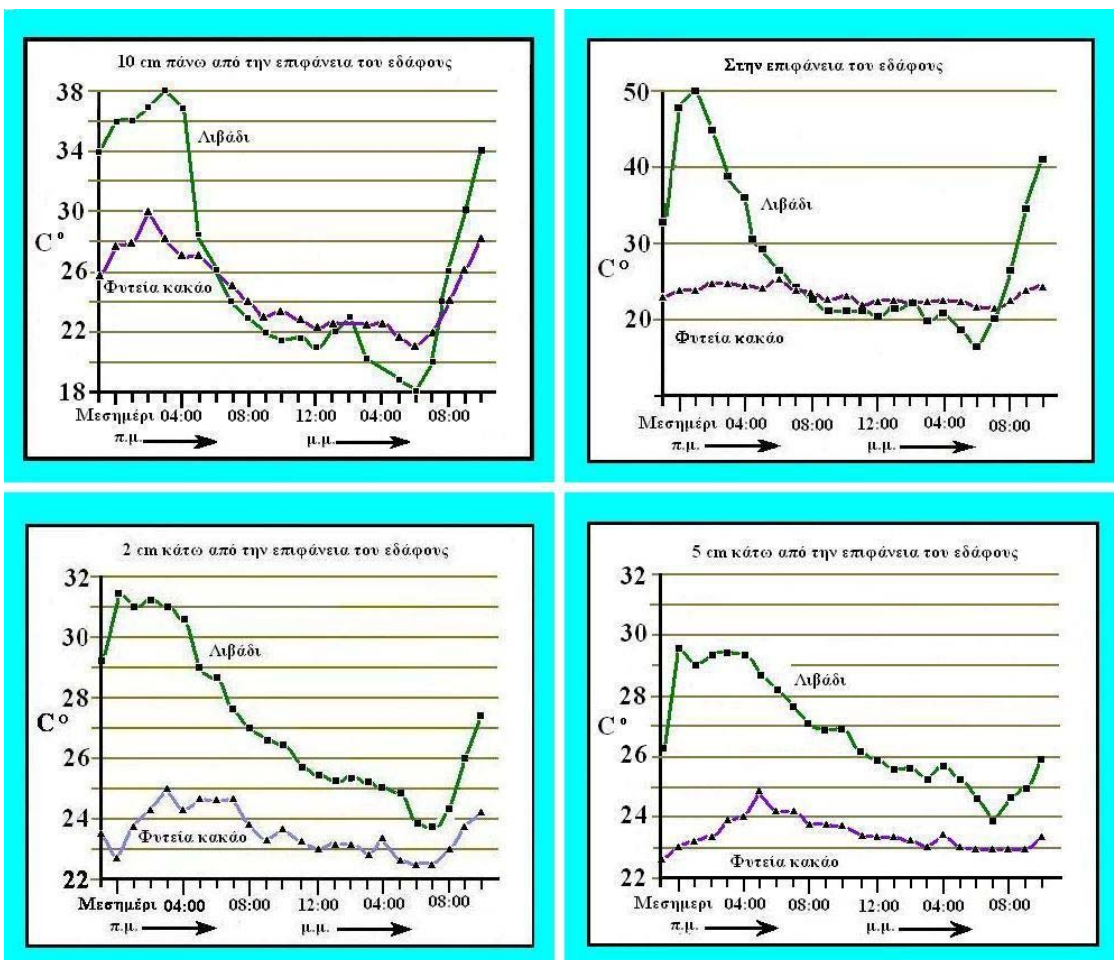
Στον **Πίνακα 6.1.** παρουσιάζεται το προφίλ μιας ώριμης πολυκαλλιέργειας αραβοσίτου/τεύτλων/κολοκυθιών σε μια σχηματική μορφή, με τους παράγοντες μετρημένους σε πέντε στρώματα της κομοστέγης. Σε ένα τέτοιο σύστημα, το μικροκλιματικό προφίλ είναι πολύ διαφορετικό σε κάθε στάδιο ανάπτυξης, από το αρχικό φύτευμα μέχρι την πλήρη ανάπτυξη.

Σημαντικό επίσης, είναι και το μικροκλιματικό προφίλ κάτω από την επιφάνεια του εδάφους. Εκτείνεται από την επιφάνεια του εδάφους μέχρι μια μικρή απόσταση κάτω από τις βαθύτερες ρίζες των φυτών καλλιέργειας. Κάτω από συγκεκριμένες συνθήκες, το εδαφικό και το ατμοσφαιρικό μικροκλίμα μιας φυτικής καλλιέργειας μπορεί να είναι πολύ διαφορετικό, ώστε αυτό να δημιουργεί προβλήματα στην καλλιέργεια. Για παράδειγμα, όταν το έδαφος είναι πολύ παγωμένο, τα θερμά ρεύματα αέρος είναι δυνατό να προκαλέσουν «στεγνώμα» του υπέργειου τμήματος του φυτού,

δεδομένου ό,τι οι ρίζες αδυνατούν να απορροφήσουν το νερό αρκετά γρήγορα, ώστε να αντισταθμίσουν τις υδατικές απώλειες.

6.6.2. Τροποποίηση της θερμοκρασίας του μικροκλίματος

Με τη βοήθεια ενός κατάλληλου σχεδιασμού και μιας ορθολογικής διαχείρισης, το μικροκλίμα ενός συστήματος μπορεί να τροποποιηθεί. Μια τέτοια τροποποίηση είναι ιδιαίτερα σημαντική όταν ο σκοπός του παραγωγού είναι να δημιουργήσει ή να διατηρήσει μικροκλιματικές συνθήκες που θα ευνοούν την αειφορικότητα του συστήματος φυτών καλλιέργειας. Αν πράγματι αυτή είναι η περίπτωση, κάθε τροποποίηση πρέπει να αξιολογείται τόσο από την πλευρά της συνεισφοράς της σε βραχυπρόθεσμες αποδόσεις και σε χρηματικές εισροές, όσο και για την συμβολή της στην μακροπρόθεσμη αειφορικότητα του συστήματος.



Εικόνα 6.4. Μεταβολές της θερμοκρασίας μέσα στο 24ωρο σε τέσσερα διαφορετικά επίπεδα σε ένα ανοικτό ποολίβαδο και σε μια φυτεία κακάο.

Πηγή: Gliessman(1978c).

Μολονότι το μικροκλίμα περιλαμβάνει πολλούς παράγοντες, η τροποποίησή του συχνά εστιάζεται ιδιαιτέρως στη θερμοκρασία. Οι πρακτικές και οι τεχνικές που χρησιμοποιούνται για την τροποποίηση της θερμοκρασίας του μικροκλίματος περιγράφονται στη συνέχεια. Επίσης, μολονότι η τροποποίηση της θερμοκρασίας αποτελεί τον κύριο και αντικειμενικό σκοπό αυτών των πρακτικών, εντούτοις, αυτές

επηρεάζουν και άλλους παράγοντες του μικροκλίματος, όπως αυτούς της υγρασίας και του φωτός.

6.6.2.1. Βιοτική κομοστέγη (κάλυψη)

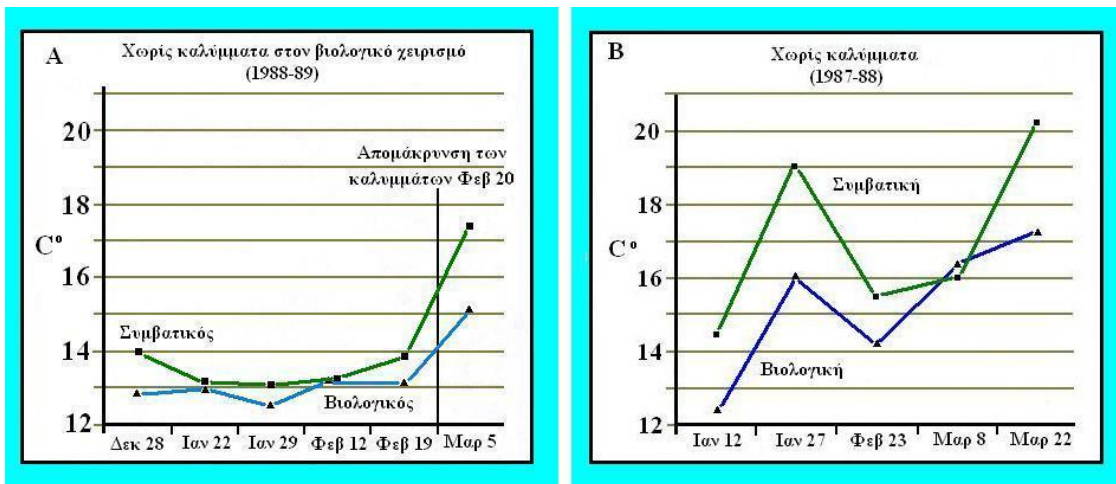
Τα δένδρα ή τα μεγάλα ύψους φυτά που δημιουργούν σ' ένα σύστημα μια κομοστέγη πάνω από τα υπόλοιπα φυτά, είναι δυνατό να τροποποιήσουν σε μεγάλο βαθμό τις συνθήκες θερμοκρασίας κάτω από την κομοστέγη. Η σκιά που δημιουργεί η κομοστέγη μειώνει μεν την είσοδο της ηλιακής ακτινοβολίας στην επιφάνεια του εδάφους, βοηθάει όμως, τη συγκράτηση της υγρασίας στο έδαφος. Τα αγροδοσικά συστήματα στους τροπικούς αποτελούν ένα πολύ καλό παράδειγμα πρακτικής αυτού του είδους.

Δεδομένα τα οποία με ευκρίνεια καταδεικνύουν τα αποτελέσματα που επιφέρουν τα δένδρα στην τροποποίηση της θερμοκρασίας βρίσκουμε στη μελέτη του Gliessman(1987c). Στη μελέτη αυτή, η θερμοκρασία του μικροκλίματος σ' ένα οπωρώνα που καλύπτεται από κακαόδενδρα συγκρίνονται με αυτή ενός παρακείμενου ανοικτού ποολίβαδου. Όπως φαίνεται και από τα σχήματα της **Εικόνας 6.4.**, οι μεταβολές της θερμοκρασίας που εμφανίζονται στην χρονική περίοδο των 24 ωρών της ημέρας στα διάφορα επίπεδα της φυτείας του κακάο, ήταν πολύ λιγότερο έντονες από αυτές του λιβαδικού οικοσυστήματος, για τα αντίστοιχα επίπεδα. Σε γενικές γραμμές, η παρουσία των δένδρων στο σύστημα της φυτείας του κακάο μετριάξει τις μεταβολές της θερμοκρασίας σε όλα τα επίπεδα, διατηρεί χαμηλότερες τις θερμοκρασίες κάτω από την επιφάνεια του εδάφους, από τις αντίστοιχες του λιβαδικού οικοσυστήματος και διατηρεί τις θερμοκρασίες στην επιφάνεια του εδάφους κατά τη νύκτα υψηλότερες. Μια παρόμοια μορφή παρουσιάζει και η σχετική υγρασία. Στο λιβαδικό οικοσύστημα η υγρασία εμφανίζει μέσα στο 24ωρο πιο έντονες διακυμάνσεις από αυτές της φυτείας του κακάο.

Για να δημιουργήσουμε μια κομοστέγη, η οποία θα είναι κατάλληλη για ένα σύστημα φυτών καλλιέργειας υπάρχουν και άλλοι τρόποι. Τα πτυσσόμενα καλύμματα από νάilon ίνες, για παράδειγμα, έχουν χρησιμοποιηθεί κατά τη διάρκεια της πρώιμης χειμερινής περιόδου πάνω από τη βιολογική καλλιέργεια της φράουλας στην California, σε μια προσπάθεια να επιτραπεί περισσότερο ηλιακό φως να διεισδύσει στην ευρισκόμενη από κάτω επιφάνεια του εδάφους, η οποία ταυτόχρονα δημιουργεί και το θετικό για την περίπτωση αποτέλεσμα του θερμοκηπίου, με το να αποδίδεται από την επιφάνεια του εδάφους η επανακτινοβολούμενη θερμότητα. Στην **Εικόνα 6.5.** παρουσιάζονται τα αποτελέσματα μιας μελέτης της πρακτικής αυτής, στην οποία οι θερμοκρασίες στα ανώτερα 5 εκατοστά του εδάφους ήταν σημαντικά ανυψωμένα για τα φυτά της φράουλας, κατά την διάρκεια της κρίσιμης περιόδου για την ανάπτυξη των ριζών και της στεφάνης (Gliessman *et al.* 1996).

Όταν οι φράουλες μεγαλώνουν κάτω από συμβατικές μεθόδους, είναι δυνατό να χρησιμοποιηθεί καθαρό πλαστικό ως ένα έδαφος – θερμοκρασία – ανερχόμενο εδαφικό κάλυμμα κατά τη διάρκεια του χειμώνα, διότι τα ζιζάνια έχουν θανατωθεί με προηγούμενο καπνισμό του εδάφους. Στις φράουλες που μεγαλώνουν με οργανικό τρόπο, τα μαύρα πλαστικά πρέπει να χρησιμοποιηθούν για να εμποδίσουν την αύξηση των ζιζανίων. Το μαύρο πλαστικό όμως, είναι λιγότερο αποτελεσματικό από το διαφανές πλαστικό στην αύξηση της θερμοκρασίας του εδάφους, όπως άλλωστε φαίνεται και στην πρώτο (αριστερό) γράφημα. Σε μια προσπάθεια συμψηφισμού της διαφοράς αυτής, καλύμματα από νάilon ίνες τοποθετήθηκαν πάνω από την οργανική (βιολογική) καλλιέργεια φράουλας κατά τη διάρκεια του δεύτερου χρόνου της μελέτης. Όπως φαίνεται στο δεύτερο (δεξιό) γράφημα τα καλύμματα επέτυχαν να στενέψουν τις

διαφορές στη θερμοκρασία του εδάφους μεταξύ των συμβατικών και των βιολογικών χειρισμών κατά την περίοδο κατά την οποία τα καλύμματα παρέμειναν στις φυτοκλίνες. (Gliessman *et al* 1996).



Εικόνα 6.5. Επίδραση των πτυσσόμενων καλυμμάτων στην θερμοκρασία του εδάφους σε ένα σύστημα οργανικής καλλιέργειας φράουλας.

Πηγή: Gliessman *et al* (1996).

Σημαντική έρευνα και πρακτικός πειραματισμός υπήρξε επίσης στη χρήση των «σπίτια με άγκιστρα» (“hoop houses”) ή των πλαστικών καναλιών για παραγωγή λαχανικών στην California, την Ισπανία και αλλού (Illic 1989). Σιδερένια ή πλαστικά άγκιστρα τοποθετήθηκαν πάνω από φυτοκλίνες και στη συνέχεια αυτά καλύφθηκαν με πλαστικό ή ύφασμα. Το επιτόπιο φαινόμενο του θερμοκηπίου των δομών αυτών παγιδεύει και κατακρατάει πρόσθετη θερμοκρασία την ημέρα και το κάλυμμα μειώνει την απώλεια της θερμότητας τη νύκτα. Τα σπίτια με τα άγκιστρα μπορούν να επιτρέψουν την πρωιμότερη φύτευση των θερμού καιρού φυτών καλλιέργειας, όπως είναι οι ντομάτες ή οι πιπεριές, ή να επεκτείνουν την καλλιεργητική περίοδο το φθινόπωρο ή τις αρχές του χειμώνα, όταν το ελαφρύ ψύχος είναι δυνατό να έλθει. Λόγω όμως του υψηλού κόστους τους, οι κατασκευές αυτές περιορίζονται ως επί το πλείστον για χρήση από φυτά καλλιέργειας που έχουν υψηλή εμπορική τιμή.

6.6.2.3. Κάλυψη της επιφάνειας του εδάφους

Οι μεταβολές στη θερμοκρασία του μικροκλίματος της επιφάνειας του εδάφους μπορεί να προκληθούν με την κάλυψη της επιφάνειας του εδάφους. Όταν καλλιεργήσουμε μια σοδειά κάλυψης, αυτή αποτελεί μια καθ' όλα αναγνωρισμένη μέθοδος τροποποίησης της θερμοκρασίας του εδάφους. Η σοδειά κάλυψης σκιάζει το έδαφος, με άμεση συνέπεια να μειώνονται οι θερμοκρασίες του εδάφους. Αυτή όμως, έχει και πρόσθετες θετικές επιπτώσεις στο περιεχόμενο της οργανικής ύλης του εδάφους, στο φύτρωμα των σπόρων των ζιζανίων και στη διατήρηση της υγρασίας. Όταν, ανάμεσα στα συγκομιζόμενα, «χρήσιμα» φυτικά είδη, φυτεύουμε κάποια είδη που προορίζονται για κάλυψη, την ενέργεια αυτή συχνά ονομάζουμε **γλωρή φυτική κάλυψη**. Η κάλυψη της μορφής αυτής μπορεί να αλλάξει τη συμπεριφορά της επιφάνειας του εδάφους, κάνοντάς το να επιδεικνύει μικρότερη αντανάκλαση και η θερμοκρασία του αέρα αμέσως πάνω από την καλλιέργεια να ανέρχεται. Δεν πρέπει όμως να παραβλέπουμε και την αντίθετη επίδραση της φυτικής κάλυψης στη θερμοκρασία, που επιδεικνύεται με την αύξηση της εξάτμισης από τη βλάστηση.

Η κάλυψη του εδάφους με άλλα υλικά, μη φυτικής προέλευσης, είτε οργανικής είτε ανόργανης φύσης, είναι δυνατό επίσης, να προκαλέσει την μεταβολή της θερμοκρασίας του μικροκλίματος. Η επίδρασή τους εξαρτάται από το χρώμα, την υφή και το πάχος του υλικού. Το άχυρα από τις καλλιέργειες, όπως αυτά που προέρχονται από τις καλλιέργειες του σιταριού, της βρώμης και της σίκαλης είναι κοινόχρηστα για ξηρή κάλυψη, όπως συνήθως είναι και η χρήση υπολειμμάτων άλλων καλλιεργούμενων ειδών ή χόρτα που μπορούν να συγκεντρωθούν από παρακείμενες μη καλλιεργούμενες εκτάσεις. Τα υδροχαρή φυτά, τα οποία πολύ συχνά αποτελούν πρόβλημα για τις υδάτινες διαδρομές, ιδιαίτερα στις τροπικές περιοχές, μπορούν να μεταφερθούν από το νερό και να χρησιμοποιηθούν ως υλικό φυτοκάλυψης. Οι προερχόμενες από τη φυτική ύλη καλύψεις στη συνέχεια ενσωματώνονται στο έδαφος και επιδρούν ευεργετικά στην περιεχόμενη στο έδαφος οργανική ουσία. Τα τελευταία χρόνια, κάποια υλικά κάλυψης μη φυτικής προέλευσης έχουν καταστεί πολύ δημοφιλή. Σ' αυτά συγκαταλέγονται οι εφημερίδες, τα παλαιά ενδύματα, και τα πλαστικά φύλλα. Έχουν επίσης αναπτυχθεί εξειδικευμένα φυτοτεχνικής προέλευσης χαρτιά τα οποία, μετά από μια χρονική περίοδο, αποσυντίθενται βιολογικά και ενσωματώνονται στο έδαφος.

Τέλος, ένα άλλο είδος πρακτικής είναι η αλλαγή του χρώματος της επιφανείας του εδάφους για να διαφοροποιηθεί η συμπεριφορά του, και κατά συνέπεια η απορροφημένη ποσότητα της ηλιακής ενέργειας. Ένας τρόπος για να καταστεί εφικτό αυτό είναι η καύση των υπολειμμάτων των καλλιεργειών. Τα υπολείμματα όταν καίγονται και δίνουν στο έδαφος ένα μαύρο χρώμα, το έδαφος τότε απορροφά μεγαλύτερη ποσότητα θερμότητας, ενώ όταν η καύση δίνει στάχτη με άσπρο χρώμα η απορροφημένη θερμότητα θα είναι λιγότερη.

6.6.2.4. Θερμοκήπια και σκίαστρα

Τα σκίαστρα και τα θερμοκήπια αποτελούν τους πλέον κοινότοπους τρόπους τροποποίησης της θερμοκρασίας του περιβάλλοντος στο επίπεδο του μικροκλίματος. Τα σκίαστρα δεσμεύουν ένα τμήμα της εισερχόμενης ηλιακής ακτινοβολίας, χαμηλώνοντας τις ηλιακές εισροές και συνεπώς τη θερμοκρασία.

Τα θερμοκήπια από την άλλη πλευρά, χρησιμοποιούνται πιο συχνά για να συντηρήσουν ή να παγιδεύσουν τη θερμότητα. Όπως περιγράψαμε σε προηγούμενο σημείο άλλωστε, το πολύ γνωστό φαινόμενο του θερμοκηπίου επιτρέπει στην ενέργεια του φωτός να διαπερνά το γυαλί ή το πλαστικό κάλυμμα ενός θερμοκηπίου, όπου αυτό μπορεί να απορροφηθεί και να επανακτινοβοληθεί ως μακρού κύματος θερμική ενέργεια. Ως τέτοια επανακτινοβολούμενη μακρού κύματος θερμική ενέργεια παγιδεύεται στη συνέχεια μέσα στο θερμοκήπιο. Στη διάρκεια εκτεταμένων ψυχρών ή συννεφιασμένων περιόδων, οι παραγωγοί μπορούν να θερμαίνουν το εσωτερικό των θερμοκηπίων τους με πολλές και ποικίλες πηγές. Συχνά χρησιμοποιείται το ανακυκλούμενο θερμό νερό για να θερμανθούν τα πατώματα των θερμοκηπίων ή παρέχεται τουλάχιστον θερμότητα στις κοιτίδες για το φύτρωμα ή την πρόωμη ανάπτυξη.

Σε συγκεκριμένες χρονικές περιόδους ή σε ιδιαίτερες κλιματικές ζώνες, είναι δυνατό να παγιδευτεί στο θερμοκήπιο υπερβολική θερμότητα, οπότε απαιτείται αερισμός ή ψύξη του αέρα. Ένας άλλος τρόπος ώστε να ελαττωθούν οι θερμοκρασίες στο θερμοκήπιο είναι να εμποδιστεί τμήμα της εισερχόμενης ηλιακής ακτινοβολίας με υφάσματα σκίασης ή κάποια άλλα υλικά. Η εξειδικευμένη πλέον διαχείριση των θερμοκηπίων χρησιμοποιεί υπολογιστικά συστήματα και αυτοματισμούς τα οποία επιτυγχάνουν αξιοσημείωτα επίπεδα ελέγχου του μικροπεριβάλλοντος.

6.6.2.5. Μέθοδοι πρόληψης παγετού

Στις περισσότερες εύκρατες περιοχές του πλανήτη μας, και ειδικότερα σ' αυτές των μεγάλων υψομέτρων και των μεγάλων γεωγραφικών πλατών, οι ζημιές του παγετού πριν ή μετά την αυξητική περίοδο, μπορεί να αποτελέσουν ένα μόνιμο και σοβαρό κίνδυνο. Ένας σημαντικός τρόπος προς την κατεύθυνση της προστασίας από τον παγετό είναι η κάλυψη του εδάφους με τα υπολείμματα των καλλιεργειών. Υπάρχουν όμως, και άλλα μέσα.

Η αύξηση της εδαφικής υγρασίας με την άρδευση, όταν αναμένεται ο παγετός, μπορεί να βοηθήσει στην αύξηση των θερμοκρασιών εγγύς του εδάφους, διότι, η εξάτμιση της υγρασίας μεταφέρει τη θερμότητα από το έδαφος στους εξατμιζόμενους υδρατμούς, οι οποίοι και στη συνέχεια περιβάλλουν τα καλλιεργούμενα φυτά. Η αυξημένη ατμοσφαιρική υγρασία αφεαυτής παρέχει επίσης, κάποιο είδος προστασίας στα φυτά.

Στις περιοχές που βρίσκονται στις χαμηλότερες θέσεις, οι οποίες υπόκεινται κατά τη διάρκεια της νύκτας στην επίδραση του ξηρού – ψυχρού αέρα, οι παραγωγοί, για να αποφύγουν την καταστροφή από το ψύχος, εφαρμόζουν προ πολλού, κάποια σχετικά απλά μέσα, ώστε η θερμοκρασία να ανυψωθεί κατά λίγους, πλην όμως απαραίτητους, βαθμούς. Μια τεχνική είναι και αυτή της κηλίδωσης (smudging), κατά την οποία κάποιο είδος καύσιμης ύλης, όπως πετρέλαιο, απορρίμματα, παλαιά ελαστικά, ή φυτική μάζα, καίγεται, για να δημιουργηθεί καπνός που θα παγιδεύσει τη θερμότητα ή να σχηματιστεί επαρκής αέρια διαταραχή, ώστε να αποφευχθεί η εγκατάσταση του ψυχρού αέρα σε κοιλάματα, κατά τη διάρκεια μιας νύκτας που θα επικρατεί άπνοια. Το πρόσφατο ενδιαφέρον που επιδεικνύεται για τους κινδύνους στην υγεία και τη μόλυνση του αέρα έχουν οδηγήσει στη μείωση της χρήσης της πρακτικής αυτής και οι παραγωγοί προτρέπονται στο να χρησιμοποιούν μεγάλους ανεμιστήρες, ώστε ο αέρας να κινείται στις περιοχές που είναι επιρρεπείς στον παγετό. Είναι προφανές ότι, οι τεχνικές του είδους αυτού λειτουργούν μόνο κάτω από συγκεκριμένες συνθήκες και μάλιστα, όταν οι λίγοι βαθμοί θερμοκρασίας έχουν την αξία τους.

6.6.3. Θερμοκρασία και αειφορικότητα

Η θερμοκρασία αποτελεί ένα παράγοντα εξαιρετικής αγροοικολογικής σημασίας. Μέρος του χειρισμού του παράγοντα αυτού είναι η κατανόηση των τοπικών κλιματικών συνθηκών και των μορφών του καιρού αλλά και ο τρόπος με τον οποίο οι μεγαλύτερης κλίμακας μορφές μπορούν να τις επηρεάσουν. Ένα άλλο μέρος είναι η γνώση του ελέγχου και της τροποποίησης του μικροκλίματος από πολύ χρόνο. Από τα παλιά χρόνια οι γεωργοί έχουν εφαρμόσει τεχνικές τροποποίησης του μικροκλίματος, αλλά και η σύγχρονη επιστημονική γνώση έχει να παρουσιάσει πολλές νέες. Εντούτοις, η γεωπονία, κατά το σχεδιασμό των αγροοικοσυστημάτων, ακόμη αντιμετωπίζει την πρόκληση εύρεσης περισσότερο και καλύτερων τρόπων που τροποποιούν από μόνα τους το μικροκλίμα, παρά να εξαρτώνται από τις ακριβές και συχνά μη ανανεώσιμες εξωτερικές εισροές.

6.7. Χρήσιμη συμπληρωματική βιβλιογραφία

Critchfield, H. 1974. *General Climatology*. Prentice-Hall, Inc.: New Jersey

Geiger, R. 1965. *The Climate Near the Ground*. Harvard University Press: Cambridge, MA.

Κεφάλαιο Έβδομο

Υγρασία και βροχοπτώσεις

7.1. Γενικά

Η φυσική βλάστηση ενός τόπου είναι συνήθως, ο αδιάψευστος μάρτυρας του καθεστώτος των βροχοπτώσεων που επικρατούν. Οι έρημοι για παράδειγμα, με τη διάσπαρτη και βραδυαυξή βλάστηση τους, υποδηλώνουν στον παρατηρητή ότι η τοπική ετήσια βροχόπτωση είναι ελάχιστη. Η πλούσια βλαστητική αύξηση των τροπικών και των εύκρατων δασών της βροχής καταδεικνύει την άφθονη βροχόπτωση για όλο το έτος. Για τα περισσότερα χερσαία οικοσυστήματα οι ποσότητες της βροχόπτωσης και η βλάστηση εμφανίζουν μια άμεση σχέση, διότι το νερό αποτελεί τον σημαντικότερο περιοριστικό παράγοντα.

Ωσαύτως και στα αγροοικοσυστήματα, το νερό αποτελεί τον σημαντικότερο περιοριστικό παράγοντα. Άλλωστε, η γεωργία αποδίδει μόνο εκεί, όπου υπάρχει επαρκής βροχόπτωση, ή εκεί όπου είναι δυνατόν να αντιμετωπισθούν, μέσα από την άρδευση, οι περιορισμοί που τίθενται από ένα ξηρό κλίμα.

Στο κεφάλαιο αυτό θα εξετάσουμε την αγροοικολογική σημασία του νερού στην ατμόσφαιρα, τόσο με τη μορφή των βροχοπτώσεων, όσο και με τη μορφή της υγρασίας. Οι μορφές των κινήσεων και των αλλαγών στην ατμόσφαιρα επηρεάζουν όχι μόνο τα είδη των βροχών, αλλά και τα είδη του ανέμου και των μεταβολών της θερμοκρασίας. Άλλωστε, οι ατμοσφαιρικοί παράγοντες συνδυαζόμενοι σχηματίζουν το κλίμα, οσάκις αναφερόμαστε στις μέσες ετήσιες συνθήκες, και τον καιρό, οσάκις αναφερόμαστε στις κλιματικές συνθήκες σε μικρότερες χρονικές στιγμές.

7.2. Οι υδρατμοί στην ατμόσφαιρα

Το νερό βρίσκεται στην ατμόσφαιρα, είτε σε αέρια μορφή, δηλαδή με τη μορφή των υδρατμών, είτε σε υγρή μορφή, ως αιωρούμενα σταγονίδια. Σε σταθερή πίεση, η ποσότητα υδρατμών τους οποίους ο αέρας μπορεί να συγκρατήσει, πριν αυτοί υγροποιηθούν και σχηματίσουν τα σταγονίδια, εξαρτάται από την θερμοκρασία. Καθώς

η θερμοκρασία του αέρα μειώνεται, η ποσότητα του νερού που μπορεί να συγκρατηθεί με τη μορφή υδρατμών μειώνεται. Συνήθως, και εξαιτίας της σχέσης αυτής, η υγρασία μετράται σε σχετικούς όρους, και όχι σύμφωνα με την απόλυτη ποσότητα υγρασίας στον αέρα. Η **σχετική υγρασία** (relative humidity) λοιπόν, είναι η σχέση της περιεκτικότητας των υδρατμών στον αέρα προς την ποσότητα των υδρατμών που ο αέρας σε μια δεδομένη θερμοκρασία, μπορεί να συγκρατήσει. Έτσι, για παράδειγμα, όταν αναφερόμαστε σε μια σχετική υγρασία 50%, αυτή αφορά την συνθήκη κατά την οποία ο αέρας συγκρατεί το 50% των υδρατμών που μπορεί να συγκρατήσει στη συγκεκριμένη θερμοκρασία. Όταν η σχετική υγρασία είναι 100%, τότε ο αέρας κορέννυται με υδρατμούς. Στο επίπεδο της σχετικής υγρασίας 100% οι υδρατμοί συμπυκνώνονται για να σχηματίσουν την ομίχλη, την αχλίδα και τα νέφη.

Η σχετική υγρασία μπορεί να μεταβληθεί. Η μεταβολή αυτή είναι δυνατό να προκύψει, είτε λόγω των αλλαγών στις απόλυτες ποσότητες των υδρατμών, είτε λόγω των αλλαγών της θερμοκρασίας. Εάν η απόλυτη ποσότητα των υδρατμών στον αέρα είναι υψηλή, μια πολύ μικρή μεταβολή της θερμοκρασίας μπορεί να επηρεάσει, σε μεγάλο βαθμό, τη σχετική υγρασία. Έτσι, κατά τις απογευματινές ή τις πρωινές ώρες, μια πτώση λίγων βαθμών της θερμοκρασίας μπορεί να ωθήσει η σχετική υγρασία να φτάσει στο 100%. Όταν η σχετική υγρασία φτάνει το 100%, τότε οι υδρατμοί αρχίζουν να συμπυκνώνονται σε σταγονίδια, τα οποία κάνουν την εμφάνισή τους με τη μορφή της **δρόσου** (δροσιά). Η θερμοκρασία κατά την οποία η συμπύκνωση αυτή αρχίζει να συμβαίνει ονομάζεται **σημείο δρόσου** (dew point).

Στα φυσικά οικοσυστήματα, η αλληλεπίδραση της θερμοκρασίας και της περιεχόμενης υγρασίας του αέρα μπορεί να είναι ένας πολύ σημαντικός παράγοντας για τον καθορισμό της δομής του οικοσυστήματος. Ένα καλό παράδειγμα αποτελούν τα δάση της Sequoia, κατά μήκος των ακτών της California. Τα ψυχρά ωκεάνια ρεύματα συμπυκνώνουν τον υγρό αέρα πάνω από τον ωκεανό, σχηματίζοντας την ομίχλη. Η παρουσία της ομίχλης σχεδόν κάθε νύκτα, κατά τη διάρκεια των ξηρών θερινών μηνών, αντισταθμίζει την απουσία των βροχοπτώσεων και θεωρείται ότι αυτή είναι η αποκλειστική αιτία που υπάρχουν ακόμη τα δάση αυτά. Κάποιες μελέτες άλλωστε, εκτιμούν ότι η ομίχλη και η αχλίδα προσθέτουν τουλάχιστον ένα επιπλέον 10% στην αποτελεσματικότητα των βροχοπτώσεων των περιοχών που επικρατούν τα δασικά αυτά οικοσυστήματα.

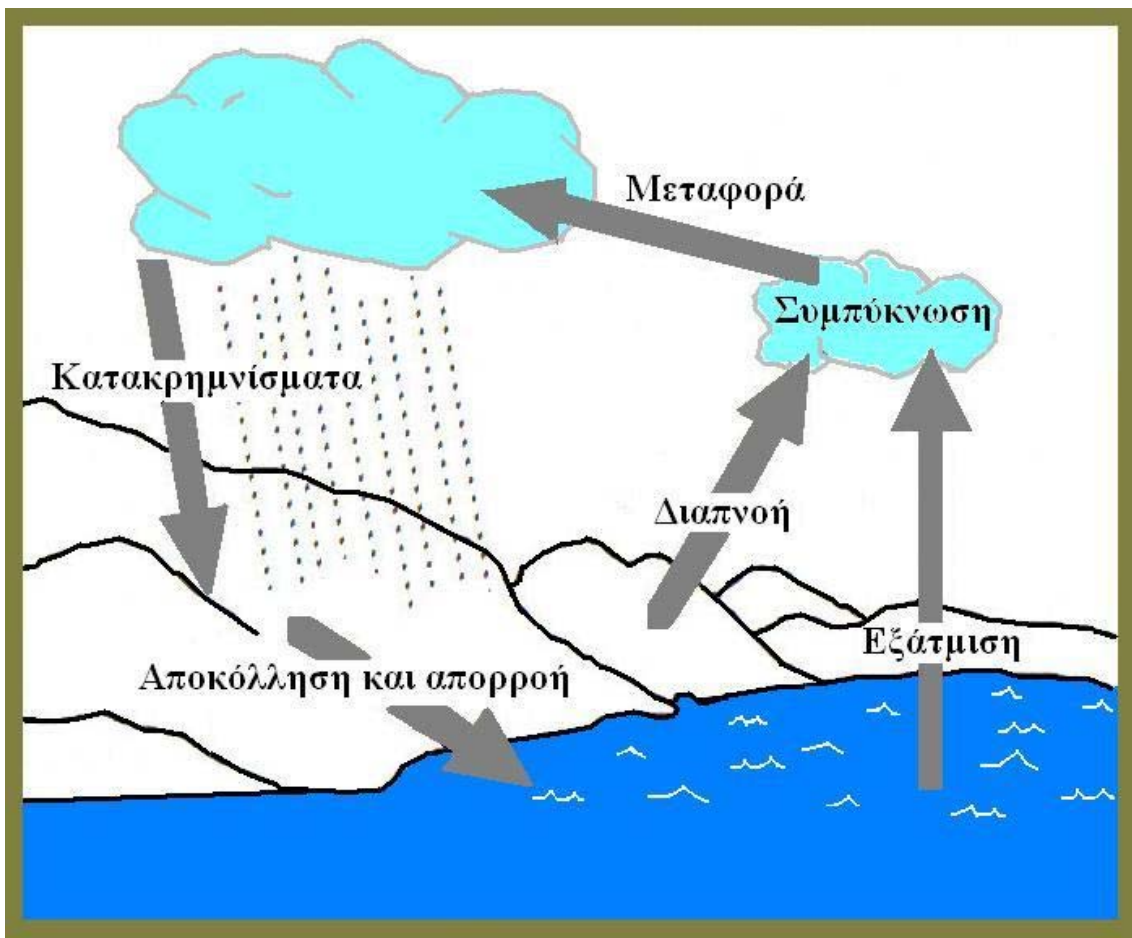
Για τους ίδιους λόγους, και τα αγροοικοσυστήματα επηρεάζονται από την υγρασία. Οι καλλιέργειες που αναπτύσσονται σε εκτάσεις οι οποίες βρίσκονται κοντά σε δασώδεις περιοχές ευνοούνται από την υπερβάλλουσα υγρασία που προσφέρεται από τη δρόσο και την ομίχλη.

7.3. Τα κατακρημνίσματα

Μολονότι η δρόσος και η ομίχλη μπορεί να συνεισφέρουν σημαντικές ποσότητες υγρασίας σε κάποιες περιοχές, η πρωτογενής πηγή ύδατος για τα αγροοικοσυστήματα όμως είναι τα κατακρημνίσματα, τα οποία εμφανίζονται συνήθως με τη μορφή της βροχής ή του χιονιού. Τα κατακρημνίσματα συνεισφέρουν στο έδαφος ποσότητες υγρασίας άμεσα, ενώ στα αρδευόμενα αγροοικοσυστήματα αυτό γίνεται έμμεσα, με τα κατακρημνίσματα να είναι η έσχατη πηγή προέλευσης όλου σχεδόν του νερού άρδευσης.

7.3.1. Ο υδρολογικός κύκλος

Τα κατακρημνίσματα αποτελούν ένα τμήμα του υδρολογικού κύκλου, ο οποίος και αποτελεί την παγκόσμια διαδικασία μετακίνησης του νερού από την επιφάνεια της γης στην ατμόσφαιρα και ξανά πάλι στη γη. Ένα διάγραμμα του υδρολογικού κύκλου παρουσιάζεται στην **Εικόνα 7.1**. Ο πυρήνας του υδρολογικού κύκλου σχηματίζεται από δύο βασικές διαδικασίες, ήτοι: τη διαδικασία της εξάτμισης και τη διαδικασία της συμπύκνωσης. Η εξάτμιση συντελείται στην επιφάνεια της γης, καθώς το νερό εξατμίζεται από το έδαφος, τις υδάτινες επιφάνειες και τις λοιπές υγρές επιφάνειες. Εξάτμιση του νερού συμβαίνει επίσης, και από τις επιφάνειες των φυτών. Το είδος αυτό της εξάτμισης ονομάζεται αναπνοή και είναι μέρος του μηχανισμού μέσω του οποίου τα φυτά, με την βοήθεια των ριζών τους, αντλούν νερό από το έδαφος. Η εξάτμιση από όλες τις προαναφερθείσες πηγές ονομάζεται εξατμισοδιαπνοή.



Εικόνα 7.1. Ο υδρολογικός κύκλος.

Όταν η απόλυτη ποσότητα των υδρατμών στον αέρα είναι επαρκής, έτσι ώστε αυτή να προσεγγίζει ή να ξεπερνά το 100% της σχετικής υγρασίας, αρχίζει η διαδικασία της συμπύκνωσης. Μικρά σταγονίδια νερού σχηματίζονται και συσσωματώνονται για να δημιουργήσουν τα νέφη. Η βροχή δημιουργείται, όταν τα σταγονίδια του νερού στα σύννεφα καθίστανται αρκετά βαριά, ώστε να πέσουν. Αυτό συνήθως συμβαίνει, όταν ο αέρας που περιέχει υγρασία ανέρχεται (πιεζόμενος από τους ανέμους πάνω από τα βουνά ή ανερχόμενος από τα ρεύματα θερμού αέρα) και αρχίζει να ψύχεται. Καθώς ο αέρας ψύχεται, η ικανότητά του να συγκρατήσει την υγρασία με τη μορφή υδρατμών ή με τη μορφή πολύ μικρών νεφοσταγόνων, αρχίζει να μειώνεται, με συνέπεια να έχουμε

μεγαλύτερη συμπύκνωση και συνεπακόλουθη συσσωμάτωση των σταγόνων. Αυτή η διαδικασία της ψύξης και της συμπύκνωσης, ονομάζεται **αδιαβατική ψύξη**. Η βροχή που δημιουργείται από την αδιαβατική ψύξη πέφτει στη γη, εισέρχεται στις λεκάνες απορροής ή τους ωκεανούς και στη συνέχεια επιστρέφει στην ατμόσφαιρα.

7.3.2. Τύποι των βροχοπτώσεων

Η βροχή, ως τμήμα του υδρολογικού κύκλου, είναι σε υψηλό βαθμό ευμετάβλητη. Οι μάζες του υγρού αέρα μετακινούνται συνεχώς πάνω από την επιφάνεια της γης, με τη συνέργεια κάποιων περίπλοκων κινήσεων της ατμόσφαιρας. Η βροχή, αλλά και οι άλλες μορφές των κατακρημνισμάτων, παρατηρείται κατά τόπους και με διαφορετικούς τρόπους, εξαρτώμενη πάντοτε από το γεωγραφικό πλάτος, την εποχή, τη θερμοκρασία, το τοπογραφικό ανάγλυφο και τις κινήσεις των αέριων μαζών. Σε γενικές γραμμές όμως, η βροχόπτωση μπορεί να ταξινομηθεί σε τρεις τύπους, οι οποίοι εξαρτώνται από τους μηχανισμούς που παράγει η αδιαβατική ψύξη της υγρής αέριας μάζας. Οι τύποι αυτοί είναι:

(1). Η μεταβιβαστική βροχόπτωση

Ο τύπος της μεταβιβαστικής βροχόπτωσης παρατηρείται, όταν τα υψηλά επίπεδα της ηλιακής θερμότητας θερμαίνουν τον ευρισκόμενο κοντά στην επιφάνεια της γης αέρα, προκαλώντας την ταχεία ανύψωση του, και ακολούθως, ψύχουν και συμπυκνώνουν την περιεχόμενη σ' αυτόν υγρασία. Συχνά, ο ανερχόμενος αέρας έλκει ψυχρό αέρα από κάποια μακρινή πηγή, όπως π.χ. μια λίμνη, ένα κόλπο ή τον ωκεανό. Η βροχή, συνδυασμένη με τα θερινά σύννεφα που φέρονται και τους κεραυνούς, αποτελεί ένα παράδειγμα της μεταβιβαστικής βροχόπτωσης. Οι μεγάλης ταχύτητας άνεμοι, ακόμη και οι καταιγίδες, είναι δυνατόν να αποτελέσουν συνοδά στοιχεία των θυελλών αυτών, όπως επίσης, και οι κεραυνοί αλλά και οι τοπικές πυρκαγιές. Σε πολλές περιοχές του πλανήτη, όπως π.χ. αυτή των μεσοδυτικών ΗΠΑ, τα αγροοικοσυστήματα, τουλάχιστον για κάποιες συγκεκριμένες περιόδους του έτους, εξαρτώνται από αυτού του τύπου τις βροχοπτώσεις. Η παραδοσιακή μορφή γεωργίας **Hopi** που εφαρμόζεται στις νοτιοδυτικές των ΗΠΑ, εξαρτάται απόλυτα από τη μεταβιβαστική βροχόπτωση, με το ρεύμα που συνοδεύει συχνά τις θύελλες αυτές να παροχετεύεται προς τα χαμηλά, αποπλένοντας τα βουνά και στη συνέχεια να απλώνεται στους καλλιεργούμενους αγρούς και στα στόμια των χαραδρών.

(2). Η ορειογραφική βροχόπτωση

Η ορειογραφική βροχόπτωση παρατηρείται, όταν οι έμπορτες υγρασίας αέριες μάζες συναντούν ένα ορεινό συγκρότημα, το οποίο τις εξαναγκάζει να ανυψωθούν στα ψυχρότερα στρώματα της ατμόσφαιρας. Κατακρημνίσματα του τύπου αυτού συμβαίνουν στις δυτικές πλαγιές του ορεινού συγκροτήματος της Sierra Nevada της California, τα οποία στους πρόποδες των ορεινών συγκροτημάτων λαμβάνουν τη μορφή της βροχής και στα υψηλότερα υψόμετρα τη μορφή του χιονιού. Τα κατακρημνίσματα αυτά αποτελούν ένα πολύ σημαντικό τροφοδοτή πλήρωσης των ρευμάτων και των υδραγωγών, οι οποίοι αργότερα θα καταστούν οι πηγές του νερού άρδευσης για τις ξηρότερες τοποθεσίες. Εδώ πρέπει να σημειωθεί ότι, η δυνατότητα της ενασχόλησης με τη γεωργία, σε μια περιοχή όπως είναι η μεγάλη κεντρική κοιλάδα (Great Central

Valley) της California, δεν θα ήταν δυνατόν να συντελεστεί, χωρίς την απαραίτητη παρουσία της ορειογραφικής βροχόπτωσης, η οποία παρατηρείται στα παρακείμενα αυτής ορεινά συγκροτήματα.

(3). Κυκλωνική βροχόπτωση

Αυτός ο τύπος της βροχόπτωσης είναι συνδεδεμένος με τις περιοχές στις οποίες παρατηρείται χαμηλή ατμοσφαιρική πίεση, η οποία συνήθως σχηματίζεται πάνω από το ωκεανό. Ο θερμός, έμφορτος υγρασίας αέρας ανυψώνεται, δημιουργώντας μια περιοχή χαμηλής πίεσης. Καθώς ο αέρας αυτός ανεβαίνει, ψύχεται, σχηματίζει κατακρημνίσματα και στη συνέχεια επιστρέφει στην επιφάνεια του ωκεανού, όπου μπορεί να συλλέξει περισσότερη υγρασία. Επιπλέον, τα αέρια ρεύματα του αυτοεπαναλαμβανόμενου αυτού συστήματος, αρχίζουν να περιστρέφονται, με κατεύθυνση αντίθετη της φοράς των δεικτών του ωρολογίου, γύρω από την περιοχή χαμηλής πίεσης και έτσι, ολόκληρο το σύστημα αρχίζει να κινείται. Τα περιστρεφόμενα αέρια ρεύματα σχηματίζουν τις χαρακτηριστικές κυκλωνικές θύελλες αλλά και τα συστήματα μετώπων που συνήθως βλέπουμε στους χάρτες καιρού. Όταν ένα από αυτά τα κυκλωνικά συστήματα κινείται προς τις ακτές, οι έμφορτες υγρασίας αέριες μάζες είναι δυνατόν να εξαναγκαστούν να κινηθούν με κατεύθυνση προς τους ορεινούς όγκους, δημιουργώντας βροχόπτωση με αιτίες προέλευσης τόσο την ορειογραφική όσο και την κυκλωνική βροχόπτωση.

7.3.3. Περιγραφή των μορφών βροχόπτωσης

Κάθε περιοχή της γης έχει τις χαρακτηριστικές της μορφές βροχόπτωσης. Η συνολική ποσότητα των κατακρημνισμάτων που δέχεται κατά τη διάρκεια ενός τυπικού έτους, η κατανομή τους μέσα στο έτος, η ένταση και η διάρκεια αυτών, αλλά και η κανονικότητα και η προβλεψιμότητα των μορφών των κατακρημνισμάτων αποτελούν, όλα μαζί, σημαντικούς καθοριστικούς παράγοντες των ευκαιριών ή των εμποδίων, για την άσκηση της γεωργίας σε μια συγκεκριμένη περιοχή.

Στη συνέχεια, θα περιγράψουμε αυτές τις όψεις των μορφών βροχόπτωσης:

(1). **Μέση συνολική ετήσια βροχόπτωση.** Η συνολική ποσότητα των κατακρημνισμάτων που πέφτουν σε μια περιοχή στη διάρκεια ενός μέσου έτους. Αποτελεί ένα καλό δείκτη της υγρότητας του κλίματος μιας περιοχής. Από οικολογικής άποψης, όμως, είναι σημαντικό επίσης, να γνωρίζουμε ποια μεταβλητότητα μπορεί να υπάρξει στην ποσότητα αυτή της βροχόπτωσης από το ένα έτος στο άλλο. Ακραίες καταστάσεις σε οποιοδήποτε πέρασ του μέσου, μπορεί να έχουν σημαντικά αρνητική επίδραση σ' ένα γεωργικό σύστημα, ακόμη και όταν η ακραία αυτή κατάσταση συμβαίνει σπάνια.

(2). **Κατανομή και περιοδικότητα.** Οι όροι αυτοί αναφέρονται στο πως η βροχόπτωση κατανέμεται μέσα στο έτος και εάν υπάρχει μια κορυφή στη βροχόπτωση.

(3). **Ένταση και διάρκεια.** Η απόλυτη ποσότητα της βροχόπτωσης σε μια μακρά περίοδο, όπως για παράδειγμα για ένα μήνα ή μια ημέρα. Δεν περιγράφει όμως πλήρως, την οικολογική σχετικότητα της βροχής. Το πόσο εντατική είναι η βροχή και πόσο αυτή διαρκεί, είναι σημαντικές όψεις. Πέντε εκατοστά βροχής σε λιγότερο από μια ώρα μπορεί να έχει πολύ διαφορετικές οικολογικές επιπτώσεις από 5 εκατοστά βροχής μέσα σ' ένα εικοσιτετράωρο.

(4). **Διαθεσιμότητα.** Σημαντικό επίσης, είναι να γνωρίζουμε πόση ποσότητα από την βροχόπτωση καθίσταται διαθέσιμη ως εδαφική υγρασία. Εισέρχεται αυτή στη

ζώνη του ριζικού συστήματος; Ποιες ήταν οι καιρικές συνθήκες αμέσως μετά τη βροχόπτωση; Ποια ήταν η θερμοκρασία και ποιες ήταν οι συνθήκες του ανέμου;

(5). **Προβλεψιμότητα.** Κάθε περιοχή έχει ένα χαρακτηριστικό βαθμό μεταβλητότητας στις μορφές των βροχοπτώσεων. Όσο μεγαλύτερη είναι η μεταβλητότητα, τόσο λιγότερο προβλέψιμη είναι η βροχόπτωση για κάθε συγκεκριμένη χρονική περίοδο.

Τέλος, μέσα από μια αγροοικολογική προοπτική μπορεί να υπάρχουν πρόσθετες όψεις τη βροχόπτωσης. Για παράδειγμα, μπορεί να είναι σημαντικό να γνωρίζουμε πόση ήταν η υγρασία στο έδαφος, όταν συνέβη η βροχόπτωση, καθώς και σε ποιο στάδιο ανάπτυξης ήταν τα φυτά καλλιέργειας.

7.3.4. Όξινη βροχή

Οι βροχοπτώσεις αποτελούν «το αίμα» τόσο για τα φυσικά οικοσυστήματα, αλλά και για τα περισσότερα αγροοικοσυστήματα. Σε πολλές περιοχές της υψηλίου όμως, το αίμα αυτό δηλητηριάζει τα περισσότερα συστήματα, τα οποία αυτό θέλει να υποστηρίξει. Η βροχή και το χιόνι που πέφτει στις περιοχές αυτές είναι αρκετά οξύ για να καταστρέψει τα φυτά καλλιέργειας και τα δάση, να σκοτώσει τα ψάρια και τους άλλους υδρόβιους οργανισμούς και να αλλοιώσει την οξύτητα του εδάφους.

Η όξινη βροχή είναι ακριβώς μια από τις πολλές συνέπειες της ανθρωπογενούς ρύπανσης της ατμόσφαιρας. Η καύση των ορυκτών καυσίμων από τα αυτοκίνητα και τα εργοστάσια παραγωγής ενέργειας προκαλεί εκπομπές μεγάλων ποσοτήτων οξειδίων του αζώτου και του θείου στην ατμόσφαιρα, κοντά στις αστικές και τις βιομηχανικές περιοχές. Τα στοιχεία αυτά ονομάζονται όξινοι «προπομποί» και εύκολα συνδυάζονται με το νερό της ατμόσφαιρας για να σχηματίσουν νιτρικά και θειικά οξέα. Στη συνέχεια, τα οξέα αυτά διαλύονται μέσα στα με φυσικό τρόπο σχηματιζόμενα σταγονίδια του νερού της ατμόσφαιρας. Τα σταγονίδια, αφού μετακινηθούν ομαλά για κάποια απόσταση, στη συνέχεια πέφτουν με τη μορφή της όξινης βροχής. Τα οξείδια του αζώτου και του θείου είναι επίσης δυνατό, να σχηματίσουν νιτρικά και θειικά στην ατμόσφαιρα και να «βρέξουν» στερεά τεμάχια. Όταν συνδυάζονται με το νερό, τα τεμάχια αυτά μετατρέπονται σε οξέα και έχουν την ίδια επίδραση με την όξινη βροχή.

Σε ένα μη ρυπανθέν περιβάλλον, η βροχόπτωση είναι ουσιαστικά ελαφρώς όξινη, δηλαδή το pH της φυσικής βροχής είναι περίπου 5,7. ενώ το καθαρό νερό έχει ένα ουδέτερο pH στο 7,0. Η κανονική αυτή οξύτητα είναι αποτέλεσμα της διάλυσης του ατμοσφαιρικού διοξειδίου του άνθρακα στα σταγονίδια νερού των νεφών και του σχηματισμού ασθενούς ανθρακικού οξέος. Συνεπώς, η όξινη βροχή είναι ένα πρόβλημα μόνο όταν οι ανθρωπογενείς όξινοι «προπομποί» χαμηλώνουν το pH κάτω από 5,7. Το που θα συμβεί αυτό, εξαρτάται αφενός μεν από τη βροχόπτωση και τις μορφές του ανέμου, και αφετέρου από τις θέσεις των σημαντικών ανθρωπογενών πηγών των όξινων «προπομπών». Οι επικρατούσες μορφές ανέμου, για παράδειγμα, έχουν την τάση να μεταφέρουν τους όξινους «προπομπούς» από τις αστικές περιοχές και τα εργοστάσια παραγωγής ρεύματος των βορειοανατολικών ΗΠΑ, στα όρη Adirondack της Πολιτείας της Νέας Υόρκης. Εδώ, η βροχή έχει ένα μέσο pH περίπου στο 4,1. Άλλες περιοχές που η όξινη βροχή αποτελεί πρόβλημα βρίσκονται στη Δυτική Ευρώπη, τις ανατολικές ΗΠΑ, τον νοτιοανατολικό Καναδά και τμήματα της νότιας California. Η κατανομή της όξινης βροχής όμως, είναι εξαιρετικά ευμετάβλητη και σχεδόν κάθε περιοχή είναι δυνατόν να την δεχθεί.

Η όξινη βροχή έχει αποδειχθεί ότι έχει πολλές δηλητηριώδεις επιπτώσεις. Τα υδάτινα οικοσυστήματα είναι ιδιαίτερα ευάλωτα. Η όξινη βροχή που συνεχίζει να πέφτει για πολλά έτη, έχει οξυνίσει πολλές από τις λίμνες των ορεινών περιοχών των

ανατολικών ΗΠΑ και του Καναδά και τις κατέστησε χωρίς ζωή. Η όξινη βροχή καταστρέφει επίσης τα δάση. Προσβάλλει τις βελόνες και τα φύλλα των δένδρων, εμποδίζει το φύτευμα των σπόρων και διαβρώνει τους προστατευτικούς κηρούς των φύλλων.

Η έκταση στην οποία η όξινη βροχή καταστρέφει τα οικοσυστήματα είναι δύσκολο να προσεγγιστεί. Κάποιες μελέτες έδειξαν μειωμένη παραγωγικότητα στα φυτά καλλιέργειας και παρεμπόδιση των σκοτεινών αντιδράσεων της φωτοσύνθεσης. Άλλες μελέτες έχουν αποδείξει καταστροφή των φύλλων και των οφθαλμών και απόπλυση του ασβεστίου από τα φύλλα. Όπου το έδαφος αδυνατεί να εξουδετερώσει τα οξέα, η όξινη βροχή έχει προκαλέσει οξύνιση του εδάφους και μεταβολές στη διαθεσιμότητα των θρεπτικών στοιχείων. Μολονότι η κατανομή της όξινης βροχής ποικίλει, και τα διαφορετικά φυτά καλλιέργειας, όπως και τα εδάφη, παρουσιάζουν διαφορετικά επίπεδα ευαισθησίας, η όξινη βροχή είναι ένα παγκόσμιο πρόβλημα με δυναμική παρέμβαση σε σημαντικές άμεσες και έμμεσες επιπτώσεις στη γεωργία.

7.4. Αγροοικοσυστήματα που ποτίζονται με τη βροχή

Η γεωργία στο μεγαλύτερο τμήμα της υφηλίου, για να καλύψει τις ανάγκες των φυτών καλλιέργειας σε νερό, ασκείται με τη βοήθεια της φυσικής βροχοπτώσης. Τα **αγροοικοσυστήματα που ποτίζονται με τη βροχή**, πρέπει να προσαρμόζονται με την κατανομή, την ένταση και την μεταβλητότητα της βροχοπτώσης, η οποία είναι χαρακτηριστική για το κλίμα της περιοχής. Η πρόκληση που πάντοτε τίθεται είναι, είτε να επιτευχθεί και να διατηρηθεί ένα ισοζύγιο μεταξύ των κατακρημνισμάτων (K) και του δυναμικού της εξατμισοδιαπνοής (ΔΕΔ), με τον κατάλληλο χειρισμό της εξατμισοδιαπνοής, είτε οι ανάγκες γύρω από ένα έλλειμμα νερού να καλύπτονται ($K - \Delta E \Delta < 0$) ή τέλος, να υπάρχει μια περίσσεια νερού ($K - \Delta E \Delta > 0$).

Στη συνέχεια θα παρουσιάσουμε κάποια παραδείγματα για τον τρόπο λειτουργίας των οικοσυστημάτων μέσα από τα εμπόδια που δημιουργούνται από τα τοπικά καθεστάτα βροχοπτώσης, δίδοντας ένα άλλο τρόπο εξέτασης των πλευρών της αειφορικότητας. Τα εμπόδια αυτά ενυπάρχουν κατά την προσέγγιση της πρακτικής της καλλιέργειας και μάλλον συνεργάζονται με τις οικολογικές συνθήκες. Δηλαδή οι καλλιεργητές δεν προσπαθούν να τα τροποποιήσουν ή να τα ελέγξουν. Τα παραδείγματα αυτά επιλέχθηκαν έτσι, ώστε να καλυφθεί ένα εύρος περιπτώσεων, από τις πολύ υγρές έως τις πολύ ξηρές περιοχές, περιοχές στις οποίες η γεωργία καλύπτει τις ανάγκες της σε νερό, αποκλειστικά από τις βροχοπτώσεις.

7.4.1. Αγροοικοσυστήματα προσαρμοσμένα σε μια μακρά υγρή περίοδο

Στις πολύ υγρές περιοχές, όπου επικρατούν εκτεταμένες βροχοπτώσεις, οι αγρότες ανησυχούν περισσότερο για την υπερέπάρκεια του νερού παρά για την έλλειψή του. Οι συχνές και έντονες βροχοπτώσεις δημιουργούν προβλήματα εξ αιτίας του κορεσμού του εδάφους με νερό, της εμφάνισης ασθενειών στις ρίζες, της απόπλυσης των θρεπτικών στοιχείων, της πλούσιας ανάπτυξη ζιζανίων και των προκαλούμενων σοβαρών επιπλοκών για τις περισσότερες αγροτικές εργασίες. Ακόμη και τα φυτά καλλιέργειας τα οποία είναι προσαρμοσμένα σε συνθήκες υγροτόπου, όπως π.χ. το ρύζι και το ταγο³, είναι δύσκολο να τα διαχειριστούν σε περιοχές με μακρά υγρή περίοδο. Οι

συμβατικές προσεγγίσεις στις υπερβολικές βροχοπτώσεις πολύ συχνά αποβλέπουν σε κάποιο τύπο τροποποίησης του μείζονος βιοτόπου, με τη βοήθεια προγραμματών αποστράγγισης και ελέγχου των πλημμυρών. Αντιθέτως, η αγροοικολογική προσέγγιση για μια εκτεταμένη υγρή περίοδο, προσβλέπει σε τρόπους προσαρμογής του συστήματος στην υπερβολική υγρασία.

Μια πολύ ενδιαφέρουσα και παραγωγική χρήση της γης που πλημμυρίζει ολόκληρη την υγρή περίοδο είναι αυτή του Tabasco, στο Μεξικό (Gliessman 1992a). Η περιοχή αυτή δέχεται περισσότερα από 3.000 χιλιοστά βροχής, τα οποία κατανέμονται μέσα σε μια μακρά υγρή περίοδο, η οποία εκτείνεται από το Μάιο μέχρι το Φεβρουάριο του επόμενου έτους. Η βασική τοπική φυτική καλλιέργεια αραβοσίτου φυτεύεται στα υψηλότερα εδάφη, γύρω από ρηχούς πλημμυρισμένους όλο το έτος υγροτόπους. Το Μάρτιο όμως, η μείωση της βροχόπτωσης επιτρέπει το φύτεμα μιας ακόμη καλλιέργειας αραβοσίτου. Οι χαμηλότερες περιοχές αποστραγγίζονται αρκετά, ώστε η επιφάνεια του εδάφους να εκτεθεί. Οι αγρότες, ακολουθούν την γραμμή του νερού, καθώς αυτή υποχωρεί με το ειδικό αυτό φύτεμα αραβοσίτου, το οποίο τοπικά είναι γνωστό ως το φύτεμα του Μαρτίου (marceno).

Στη διάρκεια του μεγαλύτερου μέρους του έτους, η συνεχής βροχόπτωση διατηρεί τις χαμηλές περιοχές πλημμυρισμένες από λίγα εκατοστόμετρα μέχρι ένα μέτρο. Η βλάστηση του έλους, που με μεγάλη πυκνότητα καλύπτει τις περιοχές αυτές στη διάρκεια της υγρής περιόδου, κόβεται γρήγορα με ειδικά μαχαίρια (machetes), καθώς η στάθμη του νερού υποχωρεί. Από τη διαδικασία αυτή παράγεται ένα πολύ πυκνό στρώμα οργανικής ύλης, πάχους 10 έως 20 εκατοστών. Οι σπόροι φυτεύονται με ένα αιχμηρό εργαλείο (μπαστούνι), σε οπές που γίνονται στο στρώμα της οργανικής ύλης. Μια βδομάδα μετά το φύτεμα, γίνεται χρήση της φωτιάς, ώστε να καεί ένα μέρος της οργανικής ύλης, αλλά και να θανατωθούν τα φυτάρια των ζιζανίων ή τα παραβλαστήματα των ανωφελών φυτών του έλους. Η φωτιά πρέπει να είναι ελεγχόμενη, ώστε να καούν μόνο τα ξηρά φύλλα της επιφάνειας του στρώματος της οργανικής ύλης και όχι οι υγρές κατώτερες στρώσεις του εδάφους. Οι σπόροι του αραβοσίτου, οι οποίοι φυτεύονται σε βάθος 10 έως 15 εκατοστών κάτω από την επιφάνεια του εδάφους, δεν καταστρέφονται από τη φωτιά. Χρησιμοποιούνται συχνότερα, εγχώριες, μικρού κύκλου ποικιλίες αραβοσίτου (2 έως 3 μήνες διαρκεί η περίοδος από το φύτεμα μέχρι τη συγκομιδή). Η πρακτική της χρησιμοποίησης σπόρων από προηγούμενες συγκομιδές για τις επόμενες σπορές, ευνοεί τη χρήση των εγχωρίων ποικιλιών, και όχι τα υβρίδια της αγοράς ή τους «εισαγόμενους» σπόρους που παράγονται σε μακρινές χώρες. Το όνομα μιας ποικιλίας αραβοσίτου είναι mejen, προερχόμενο από μια λέξη των Mayas που σημαίνει «πρώιμος», δείχνοντας πιθανώς έτσι, το δεσμό που δυνατόν να έχει το σύστημα αυτό με το παρελθόν.

Στο σύστημα αυτό ο αραβόσιτος αυξάνει πολύ γρήγορα και εάν η φωτιά δεν χρησιμοποιείται υπερβολικά αλλά και η πλημμύρα συμβαίνει κάθε έτος, η καταστροφή των ζιζανίων δεν είναι συνήθως απαραίτητη. Μετά από μια περίοδο αύξησης 2,5 μηνών, οι ώριμοι σπάδικες του αραβοσίτου υπερδιπλασιάζονται ακριβώς κάτω από το ωτίδιο του αραβοσίτου, διευκολύνοντας την τελική ξήρανση των σπόρων για 2 έως 4 εβδομάδες πριν την συγκομιδή. Καρπώσεις των 4 έως 5 τόνων ανά εκτάριο ξηρού σπόρου είναι συνηθισμένες, με κάποιες να φτάνουν τους 10 τόνους ανά εκτάριο. Πολλές φορές η μέση κάρπωση του 1 έως 1,5 τόνων ανά εκτάριο, είναι συνηθισμένη για μια εκμηχανισμένη παραγωγή, σε εδάφη που έχουν αποψιλωθεί και αποξηρανθεί στην ίδια περιοχή. Αυτές οι μεγαλύτερες καρπώσεις επιτυγχάνονται σε ένα τμήμα των

³ Τροπικό φυτό με πλούσια ρίζα που βράζεται και τρώγεται.

δαπανών εισροής και εργασίας στα συστήματα εκμηχανισμένης παραγωγής (Amador 1980).

Μετά τη συγκομιδή, όλα τα υπολείμματα καταλήγουν στην επιφάνεια του εδάφους. Η ενέργεια αυτή συμβάλλει σε ένα στοιχείο – κλειδί για την παραγωγικότητα του συστήματος, δηλαδή στη διατήρηση της οργανικής ύλης στο έδαφος. Τα εδαφικά προφίλς δείχνουν την παρουσία ενός παχιού, πλούσιου σε οργανική ουσία εδάφους, σ' ένα βάθος 30 έως 40 εκατοστόμετρων κάτω από την επιφάνεια. Κατά τη διάρκεια της 9μηνιας κατάκλισης, η οργανική ύλη η οποία παράγεται από τα φυτά του έλους ή εγκαταλείπεται από τον προηγούμενο καλλιεργητικό κύκλο, ενσωματώνεται στο έδαφος και συντηρείται κάτω από το νερό υπό αναερόβιες συνθήκες. Επιπροσθέτως, με την αποστράγγιση της επιφάνειας, τα θρεπτικά στοιχεία που υπεισέρχονται στο σύστημα συλλαμβάνονται από τον σε υψηλά επίπεδα παραγωγικό τομέα του οικοσυστήματος. Οι παράγοντες αυτοί καταλήγουν στο σχηματισμό ενός εδάφους, το οποίο περιέχει επίπεδα οργανικής ύλης πάνω από 30%, συνολικό άζωτο 3% και υψηλά επίπεδα των υπόλοιπων σημαντικών για τα φυτά θρεπτικών στοιχείων. Το στοιχείο – κλειδί για τη διαχείριση του συστήματος αυτού είναι συνεπώς, ο τρόπος με τον οποίο λαμβάνεται ως πλεονέκτημα η κατάκλιση κατά τη διάρκεια της υγρής εποχής. Όταν, σε μια προσπάθεια να επεκταθεί η καλλιεργητική περίοδος, το σύστημα αποστραγγίζεται τεχνητά, η οργανική στρώση στο έδαφος μπορεί να ελαττωθεί κατά 5 εκατοστόμετρα σε λιγότερο χρονικό διάστημα από δυο έτη και οι καρπώσεις να μειωθούν δραματικά.

7.4.2. Αγροοικοσυστήματα προσαρμοσμένα στις εναλλασσόμενες υγρές - ξηρές περιόδους των τροπικών

Πολλά σημεία της υψηλίου έχουν κλίμα τύπου μουσώνων, στο οποίο η μέση ετήσια βροχόπτωση είναι σχετικά υψηλή και όλη σχεδόν η βροχή πέφτει κατά την διάρκεια μιας μετρίου μήκους υγρής περιόδου. Οι αγροκτήμονες των περιοχών αυτών έχουν να αντιμετωπίσουν για μια περίοδο την υπερβολική βροχόπτωση και για μια άλλη την έλλειψη της βροχής.

Σε ένα τέτοιο καθεστώς με εναλλασσόμενη τη βροχή έχει παρατηρηθεί στην Πολιτεία της Tlaxcala, στο Μεξικό, ένα πολύ ενδιαφέρον και παραγωγικό αγροοικοσύστημα (Wilken 1996, Gonzalez 1986, Anaya *et al.* 1987, Crews & Gliessman 1991). Σε μια περιοχή η οποία ονομάζεται λεκάνη της Puebla, σχηματίζεται μια τριγωνική πλημμυρισμένη πεδιάδα έκτασης περίπου 290 τετραγωνικών χιλιομέτρων, ευρισκόμενη στο νότιο τμήμα της πολιτείας, όπου συναντώνται οι ποταμοί Atoyac και Zahuapan. Η μέση ετήσια βροχόπτωση είναι περίπου 700 χιλιοστόμετρα. Σ' ένα μεγάλο μέρος της κοίτης της λεκάνης η στάθμη του ύδατος, στο μεγαλύτερο τμήμα του έτους, βρίσκεται σε βάθος λιγότερο από 1 μέτρο κάτω από την επιφάνεια και τα ελώδη εδάφη έχουν πενιχρή αποστράγγιση. Για να κατορθώσουν να κάνουν μια τέτοια γη γεωργικά παραγωγική, οι περισσότεροι σύγχρονοι γεωπόνοι προφανώς θα συνιστούσαν αποξήρανση της περιοχής, ούτως ώστε, να καταστεί εφικτό να εφαρμοστούν ευρείας κλίμακας εκμηχανισμένες καλλιεργητικές πρακτικές. Όμως τα τοπικά, παραδοσιακά συστήματα καλλιέργειας χρησιμοποιούν μια εναλλακτική λύση που κάνουν χρήση της υψηλής στάθμης του ύδατος και της κατανομής της βροχόπτωσης στη λεκάνη απορροής.

Κάνοντας χρήση ενός συστήματος με προϊσπανική προέλευση, κατασκευάζουν υπερυψωμένες από το έδαφος εξέδρες (τοπικά ονομάζονται *camellones*) χρησιμοποιώντας το έδαφος που ανασκάπτουν από τις όχθες, και δημιουργούν έτσι, ένα σύστημα από εξέδρες και κανάλια (οι ντόπιοι τα ονομάζουν *zanjas*). Οι ανεξάρτητες πλατφόρμες έχουν πλάτος 15 έως 30 μέτρα, ύψος 2 έως 3 μέτρα και μήκος 150 έως 300

μέτρα. Στις εξέδρες αναπτύσσεται ένα ποικίλο μίγμα φυτών καλλιέργειας, στο οποίο περιλαμβάνονται οι συγκαλλιέργειες αραβοσίτου, φασολιών και κολοκυθιών, λαχανικών, μηδικής και άλλων ετήσιων φυτών. Αμειψισπορές με ψυχανθή, όπως π.χ. μηδική και κουκιά, βοηθούν στη διατήρηση της γονιμότητας του εδάφους, ενώ τα καλλιεργητικά μίγματα αυτά καθ' αυτά βοηθούν στον έλεγχο των ζιζανίων. Η γονιμότητα του εδάφους συντηρείται επίσης, με τις συχνές εφαρμογές κομποστοποιημένης ζωικής κοπριάς και υπολειμμάτων των φυτών καλλιέργειας. Το μεγαλύτερο μέρος της τροφής των ζώων προέρχεται από την καλλιεργούμενη στις εξέδρες μηδική ή από τα υπολείμματα των άλλων καλλιεργειών που δεν μπορούν να καταναλωθούν άμεσα από τους ανθρώπους (π.χ. καλαμιές αραβόσιτου). Η συμπληρωματική τροφή για τα ζώα προέρχεται από τη μη καλλιεργούμενη βλάστηση (δηλ. τα ζιζάνια) που απομακρύνεται επιλεκτικά από την καλλιεργούμενη περιοχή, ή από τις περιοδικές συγκομιδές που δημιουργούνται από τα αυτόχθονα είδη που αναπτύσσονται, είτε κατά μήκος των καναλιών, είτε μέσα σ' αυτά, ως υδρόβια φυτά. Η τελευταία αυτή μορφή τροφής μπορεί να συστήσει ένα πολύ σημαντικό συστατικό της διαίτας των αγροτικών ζώων κατά τη διάρκεια της ξηρής εποχής.

Μια πολύ σημαντική εκδοχή του παραδοσιακού αυτού αγροοικοσυστήματος είναι η διαχείριση του πολυδαίδαλου συμπλέγματος των καναλιών. Εκτός από το ότι αυτά λειτουργούν κατ' αρχήν, ως μια πρωταρχική πηγή εδάφους για την ανύψωση των επιφανειών των εξέδρων, λειτουργούν ωσαύτως και ως ένας μείζων ταμιευτήρας νερού για την ξηρή περίοδο. Η οργανική ουσία που σωρεύεται στα κανάλια προέρχεται από τα υδρόβια φυτά που νεκρώνουν, τα φύλλα των δένδρων τα οποία βρίσκονται στις όχθες κατά μήκος των καναλιών που πέφτουν στο νερό και ακόμη από τα ζιζάνια που απορρίπτονται στα κανάλια από τους καλλιεργούμενους αγρούς. Επίσης, στα κανάλια αποπλένεται το έδαφος από τους γύρω λόφους και τις εξέδρες, μετά τις έντονες βροχές της υγρής εποχής. Κάθε δύο με τρία έτη, τα κανάλια καθαρίζονται από το συσσωρευμένο έδαφος και από τη λάσπη, με τα υλικά της εκσκαφής να χρησιμοποιούνται ως ένα πλούσιο σε θρεπτικά στοιχεία επίθεμα των εξεδρών.

Τοιουτοτρόπως, τα κανάλια διαδραματίζουν ένα σπουδαίο ρόλο στην αειφορικότητα του αγροοικοσυστήματος. Λειτουργούν ως «δεξαμενή» θρεπτικών στοιχείων για τον αγροκτήμονα και διαχειρίζονται με τέτοιους τρόπους, έτσι ώστε να επιτρέπουν τη σύλληψη, όσο γίνεται μεγαλύτερης ποσότητας οργανικής ύλης. Από αυτά είναι δυνατό κατά την ξηρή εποχή να αντλείται συμπληρωματικό νερό άρδευσης, ενώ τα φυτά εξαρτώνται σε μεγάλο βαθμό από την υγρασία που κινείται τριχοειδώς μέσω του εδάφους, από τη στάθμη του νερού προς τα επάνω. Οι ανυψωμένες εξέδρες παρέχουν κατάλληλη φυτευτική επιφάνεια, ακόμη και κατά τη διάρκεια του υψηλότερου σημείου έντασης της βροχής. Τα επίπεδα του νερού στα κανάλια ελέγχονται από ένα δαιδαλώδες σύστημα διασυνδεδεμένων καναλιών και το νερό τελικά οδηγείται στους ποταμούς της λεκάνης. Η ροή στα κανάλια όμως, είναι περιορισμένη. Κατά τη διάρκεια της ξηρής εποχής, οι αγροκτήμονες συχνά δεσμεύουν τη ροή των καναλιών κατά μήκος των αγρών τους έτσι ώστε, να διατηρήσουν μια υψηλότερη στάθμη νερού, ενώ η υπερχειλίση του νερού στην υγρή εποχή είναι ελάχιστη. Σημαντικές ποσότητες νερού απομακρύνονται από την περιοχή μόνο σε στιγμές υπερβολικής βροχόπτωσης. Καταλήγοντας, παρατηρούμε ότι η βροχόπτωση αποτελεί ταυτόχρονα εισροή και εργαλείο στη διαχείριση του συστήματος και επιτρέπει την άσκηση της καλλιέργειας καθόλο το έτος.

7.4.3. Αγροοικοσυστήματα προσαρμοσμένα στην εποχιακή βροχόπτωση

Πέρα από τους υγρούς τροπικούς, ένα κοινό καθεστώς βροχόπτωσης είναι εκείνο στο οποίο μια ή περισσότερες υγρές εποχές διακόπτονται από σχετικά επιμήκεις ξηρές εποχές. Στις περιοχές αυτές, τα φυτά καλλιέργειας συχνά φυτεύονται στην αρχή της εποχής των βροχών, αυξάνονται και αναπτύσσονται ενώ υπάρχει υγρασία στο έδαφος και είναι έτοιμα για τη συγκομιδή στο τέλος της υγρής εποχής ή στην αρχή της ξηρής εποχής.

Το είδος αυτό της καλλιέργειας στην υγρή εποχή λαμβάνει πολλές μορφές. Στις περισσότερες από τις μεσοδυτικές περιοχές των ΗΠΑ για παράδειγμα, το ανοιξιάτικο σιτάρι, ο αραβόσιτος, και η σόγια φυτεύονται στα τέλη της άνοιξης και η ανάπτυξή τους εξαρτάται από την θερινή βροχή. Στις περιοχές με μεσογειακού τύπου κλίμα, οι ήπιοι, θερμοί χειμώνες και τα ξηρά καλοκαίρια είναι κατάλληλα για τις καλλιέργειες καρποδοτικών φυτών όπως είναι η βρώμη, η σίκαλη, το κριθάρι, τα οποία και αναπτύσσονται τον χειμώνα, με το έδαφος το καλοκαίρι να παραμένει ακαλλιέργητο ή να βόσκειται, εκτός από την περίπτωση κατά την οποία υπάρχει η δυνατότητα άρδευσης.

Ένα καλλιεργητικό σύστημα που στηρίζεται στην εποχιακή βροχόπτωση και είναι σημαντικής σημασίας είναι το μεσοαμερικανικό σύστημα πολυκαλλιέργειας αραβόσιτου – φασολιάς - κολοκυθιάς. Προσαρμοσμένο σ' ένα μεγάλο εύρος εντάσεων αλλά και ποσοτήτων βροχόπτωσης, το σύστημα αυτό πολυκαλλιέργειας το συναντάμε σε πολλές περιοχές της Λατινικής Αμερικής (Pinchinat *et al.* 1976, Laing *et al.* 1984, Davis *et al.* 1986). Τα τρία αυτά φυτά καλλιέργειας φυτεύονται σε πολλές διαφορετικές παραλλαγές, σειρές και μορφές, πολλές φορές δύο από αυτές μαζί, και άλλες φορές και οι τρεις μαζί. Όμως, ανεξάρτητα από τον συνδυασμό, εκείνη που καθορίζει το χρόνο φύτευσης είναι η άφιξη της βροχερής εποχής.

Εάν χρησιμοποιούνται οι πρακτικές της καλλιέργειας των αμειψισπορών, λαμβάνει χώρα αποψίλωση και καύση κατά την ξηρή εποχή. Μερικές φορές οι αγροκτήμονες περιμένουν να βάλουν φωτιά μετά την έλευση των πρώτων βροχών της υγρής εποχής για να ελαφρύνουν τα χαμηλότερα στρώματα των προϊόντων της αποψίλωσης. Όταν οι πρώτες αυτές βροχές διακόπτονται από κάποιες περιόδους ηλιοφάνειας, τα ανώτερα στρώματα των προϊόντων της αποψίλωσης ξηραίνονται αρκετά μεταξύ των βροχών ώστε να πάρουν φωτιά, αφού η νεοαποκτηθείσα υγρασία στα κατώτερα στρώματα εμποδίζει την υπερβολική θερμότητα να φτάσει στο έδαφος. Στη συνέχεια φυτεύονται οι σπόροι του φυτού καλλιέργειας στο στρώμα του φυτικού υπολείμματος που σχηματίζεται από την σε θρεπτικά στοιχεία πλούσια στάχτη και ένα προστατευτικό στρώμα άκαυστης οργανικής ύλης. Η πρακτική αυτή επιτυγχάνει ένα διπλό σκοπό. Αφενός μεν παρέχει θρεπτικά στοιχεία και αφετέρου προστατεύει το έδαφος από τη διάβρωση. Η προστασία του εδάφους είναι πολύ σημαντική για πολλές περιοχές στις οποίες χρησιμοποιείται το καλλιεργητικό αυτό σύστημα, αφού οι πρώιμες βροχές της εποχής εμφανίζονται πάρα πολύ συχνά με τη μορφή έντονων καταιγίδων.

Μόλις αρχίσουν οι βροχές, οι σπόροι των φυτών φυτρώνουν και αναπτύσσονται γρήγορα, καλύπτοντας το έδαφος και προστατεύοντάς το από τις συνεχόμενες βροχές. Ο χρόνος που χρειάζεται για να ωριμάσει το φυτό (από τέσσερις έως έξι μήνες) εξαρτάται από το μήκος της υγρής εποχής.

Σε περιοχές όπως αυτές της υγρής χαμηλής ζώνης του Tabasco, στο Μεξικό, μπορούν να φυτευτούν δύο καλλιέργειες αραβοσίτου, διότι η υγρή εποχή είναι μακρύτερη και χαρακτηρίζεται από μια διπλής μορφής κατανομή, με μια κορυφή των βροχοπτώσεων τον Ιούνιο / Ιούλιο και μια δεύτερη τον Σεπτέμβριο / Οκτώβριο. Η μια καλλιέργεια (ονομάζεται *milpa de año*), φυτεύεται τον Μάιο με την έναρξη της υγρής εποχής, και η φωτιά χρησιμοποιείται έτσι, ώστε να καούν τα υπολείμματα. Η συγκομιδή της καλλιέργειας να γίνεται τον Σεπτέμβριο. Η δεύτερη καλλιέργεια

(ονομάζεται *tonalmil*), φυτεύεται αμέσως μετά την δεύτερη κορυφή της βροχόπτωσης στα τέλη Οκτωβρίου ή το Νοέμβριο και αυτή οδεύει προς συγκομιδή στην αρχή της ξηρής εποχής, στα τέλη του Φεβρουαρίου. Η δεύτερη καλλιέργεια εξαρτάται σε μεγάλο βαθμό από την παρουσία της υπολειμματικής εδαφικής υγρασίας, η οποία και φθάνει μέχρι την ξηρή εποχή. Όταν η καλλιέργεια φυτεύεται στη διάρκεια της υγρής εποχής, κανένα φυτικό υπόλειμμα στην επιφάνεια της φυτείας δεν καίγεται. Επίσης, σε κάθε φυτευτικό σύστημα χρησιμοποιούνται διαφορετικές τοπικές ποικιλίες αραβοσίτου.

7.4.4. Ξερικές καλλιέργειες

Σε πολλά μέρη του κόσμου, η βροχόπτωση κατά τη διάρκεια της καλλιεργητικής περιόδου δεν καλύπτει τις ανάγκες του φυτού καλλιέργειας, είτε διότι η περιοχή δεν δέχεται αρκετή βροχόπτωση ώστε να αντισταθμίσει την απώλεια της υγρασίας μέσω της εξατμισιοδιαπνοής, είτε διότι ο καλλιεργητικός κύκλος δεν συμπίπτει με την υγρή εποχή. Ο τύπος της γεωργίας που αναπτύσσεται σε τέτοια κλίματα, (όταν η άρδευση δεν υπάρχει ως επιλογή) ονομάζεται ξερική καλλιέργεια.

Η ξερική καλλιέργεια ορίζεται ως η παραγωγή φυτών καλλιέργειας χωρίς άρδευση σε ημίξηρες περιοχές του κόσμου, όπου η μέση ετήσια βροχόπτωση κυμαίνεται ανάμεσα στα 250 και τα 500 χιλιοστόμετρα (Brenzel 1982). Όμως, η συνολική βροχόπτωση αποτελεί μόνο μια επίδραση στην ξερική καλλιέργεια. Οι ετήσιες και οι εποχιακές μεταβολές στη θερμοκρασία αλλά και ο τύπος και η κατανομή των βροχοπτώσεων είναι ουσιαστικά, παράγοντες κλειδιά. Η παραδοσιακή γεωργία στις περισσότερες ξηρές περιοχές είναι στη φύση τους κτηνοτροφικές εκμεταλλεύσεις, με τα καλλιεργούμενα φυτά να περιορίζονται σε μικρές περιοχές και να υλοποιούνται με τα χειρονακτικά εργαλεία και τα ζώα φόρτου. Σήμερα, η εκμηχάνιση προσέθεσε μια νέα διάσταση στην ξερική καλλιέργεια, αλλά οι τύποι της καλλιέργειας, η διαχείριση της σποράς και οι διαδικασίες συγκομιδής παραμένουν ως επί το πλείστον οι ίδιοι. Σε πολλές χώρες η χειρονακτική εργασία όμως εξακολουθεί να παίζει ένα μείζονα ρόλο.

Οι πλέον σημαντικές όψεις της ξερικής καλλιέργειας είναι:

- ✚ η χρήση κάποιων τύπων του συστήματος καλλιέργειας που προωθούν την διείσδυση του νερού της βροχής στο εδαφικό προφίλ και την αποθήκευσή του σε αυτό, και
- ✚ η συχνή χρήση των θερινών βροχοπτώσεων ή των υπολοίπων εποχών που επιτρέπουν την αναπλήρωση των υδατικών αποθεμάτων τα οποία αναλώνονται από την καλλιέργεια.

Επίσης, μπορεί να είναι σημαντικές και κάποιες άλλες πρακτικές. Η επεξεργασία του επιφανειακού εδάφους κατά την διάρκεια του καλλιεργητικού κύκλου χρησιμοποιείται για τον έλεγχο πιθανών ζιζανίων που χρησιμοποιούν το νερό και για τη δημιουργία μιας «στρώσης σκόνης» πολτοποιημένου επιφανειακού εδάφους, το οποίο μειώνει την αναλογία των μεγάλων πόρων και κατά συνέπεια μειώνει την εξάτμιση. Συχνά φυτεύονται κάποιες ποικιλίες φυτών που είναι ανθεκτικές στην ξηρασία ώστε να ελαττωθεί η χρήση της υγρασίας. Οι πρακτικές αυτές, όλες μαζί, επιτρέπουν ώστε μέσα από την καλλιέργεια να καταναλωθεί μια πολύ μεγαλύτερη αναλογία από την υγρασία της βροχόπτωσης, παρά από το έδαφος αυτή να περάσει στην ατμόσφαιρα.

Τα πλέον καλά ανεπτυγμένα σύγχρονα συστήματα ξερικής καλλιέργειας, τουλάχιστον σε όρους εντατικής διαχείρισης και τεχνολογίας βρίσκονται στην Αυστραλία, τον Καναδά και τις ΗΠΑ. Σε όλες αυτές τις περιοχές η καλλιέργεια των φυτών εστιάζεται στην παραγωγή καρπού. Στην Αυστραλία η καλλιέργεια σιταριού σε περιφορά με την βόσκηση, ιδιαίτερα για την προβατοτροφία και την παραγωγή μαλλιού, οδήγησε στην ανάπτυξη μοναδικών συστημάτων, στα οποία μια καλλιέργεια

για την παραγωγή καρπού αναπτύσσεται κατ' εναλλαγή με τις βοσκήσιμες εκτάσεις. Οι βοσκήσιμες εκτάσεις επιτρέπουν πράγματι την αναπλήρωση των δεξαμενών υγρασίας που είναι αναγκαίες για την παραγωγή μιας σποροκαλλιέργειας.

Ένα μοναδικό παράδειγμα της ξερικής καλλιέργειας συμβαίνει στην παραθαλάσσια κεντρική California, όπου στην αρχή της έναρξης του Μεσογειακού θέρους, το Μάιο, φυτεύονται αρκετές καλλιέργειες λαχανικών, είτε με μεταφυτευόμενα φυτάρια, είτε με απευθείας σπορά. Στο κλίμα αυτό, σπάνια παρατηρείται βροχόπτωση το θέρους, έτσι ώστε τα λαχανικά πρέπει να βασίζονται μόνο στα αποθέματα της υγρασίας που είναι αποθηκευμένα στο έδαφος. Η καλλιέργεια της τομάτας φαίνεται να αποτελεί μια καλλιέργεια η οποία είναι πολύ καλά προσαρμοσμένη στο σύστημα αυτό. Τα φυτάρια της τομάτας φυτεύονται βαθιά στο υγρό έδαφος το Μάιο, χωρίς αυτά να ποτιστούν. Η κατεργασία της επιφάνειας του εδάφους διατηρεί μια «στρώση σκόνης» χωρίς ζιζάνια και επειδή η επιφάνεια του εδάφους είναι ξηρή, αλλά και επειδή δεν υπάρχει βροχόπτωση στη διάρκεια της περιόδου, τα φυτά δεν είναι δεμένα και οι μυκητικές ασθένειες αποτελούν ένα έλασσον πρόβλημα. Η συγκομιδή αρχίζει στα τέλη του Αυγούστου και συνεχίζεται μέχρι τις πρώτες βροχές της νέας υγρής περιόδου, συνήθως στα τέλη του Οκτωβρίου ή τις αρχές του Νοεμβρίου. Οι τομάτες που συγκομίζονται από το σύστημα αυτό έχουν την φήμη της περίσσειας συγκέντρωσης γευστικών αρωμάτων.

Η αειφορικότητα των ξηρών καλλιεργητικών συστημάτων πρέπει να αντιπαραβληθεί με την πιθανότητα της απώλειας της εδαφικής οργανικής ύλης από τα ανώτερα εδαφικά επίπεδα, με το σύστημα της στρώσης της σκόνης, του κινδύνου της επιφανειακής διάβρωσης του εδάφους από τον άνεμο και τη βροχή, εξ αιτίας του χαμηλού επιπέδου της εδαφικής κάλυψης και της μη προβλεψιμότητας της διαθεσιμότητας της εδαφικής υγρασίας, γεγονός το οποίο είναι αποτέλεσμα των μεταβαλλόμενων βροχοπτώσεων κατά την περίοδο της αγρανάπαυσης. Αλλά, ως ένας άλλος τρόπος άσκησης της γεωργίας σε περιοχές με χαμηλή και απρόβλεπτη βροχόπτωση, η ξερική καλλιέργεια μπορεί να είναι μια εναλλακτική λύση χαμηλών εξωτερικών εισροών.

7.4.5. Συστήματα που χρησιμοποιούν νερό που συλλέχθηκε στις ξηρές περιοχές

Στις θερμές περιοχές του κόσμου με ξηρά κλίματα (ετήσια βροχόπτωση μικρότερη από 200 χιλιοστά), η έλλειψη της βροχής είναι ένας σημαντικός περιοριστικός παράγοντας για τη γεωργία. Σε πολλές τέτοιες θέσεις όμως, η βροχή πέφτει με κάποια κανονικότητα με τη μορφή σύντομων, χειμαρρωδών βροχοπτώσεων και είναι πιθανόν το νερό αυτό να «συλλεχθεί» μαζεύοντας και συγκεντρώνοντας την απορροή της βροχής.

Στην έρημο Negev του Ισραήλ, συστήματα γεωργικών εκμεταλλεύσεων σε μικρές λεκάνες απορροής, τα οποία ήταν κάποτε εγκαταλελειμμένα, ανασυστάθηκαν και κατέστησαν ικανά να παράγουν γεωργικές καρπώσεις ισοδύναμες με εκείνες των αρδευόμενων καλλιεργειών της ίδιας περιοχής (Enevati *et al.* 1961). Η γεωργική μονάδα αποτελείτο από την περιοχή της λεκάνης απορροής, η οποία περιβαλλόταν από επίπεδους διαύλους (κανάλια) αποστράγγισης, ώστε να συλλέγεται η βροχόπτωση από τις πλαγιές της λεκάνης. Τα πέτρινα τοιχώματα οδηγούσαν την απορροή του νερού προς τα κατάντη σε μικρούς πλημμυρισμένους διαύλους. Το σύστημα αυτό μπορεί να συλλέξει το 20 έως 40% της προσπίπτουσας βροχόπτωσης και απομακρύνοντας τους χαλαρούς βράχους από την επιφάνεια του εδάφους στις πλαγιές μπορεί να αυξήσει την συλλογή του απορρέοντος νερού μέχρι το 60%. Μικρά πέτρινα φράγματα ελέγχου

στους μεγαλύτερους διαύλους στη βάση των πλαγιών, συγκεντρώνουν το νερό της επιφανειακής απορροής σ' ένα βάθος επαρκές, ώστε να επιτραπεί στο νερό να διεισδύσει 2 μέτρα περίπου μέσα στο έδαφος, κάτω από το οποίο το έδαφος ξηραίνεται και αφήνει μια κρούστα σχετικά μη επηρεαζόμενη από την εξατμισιακές απώλειες του νερού. Καθώς κάθε φράγμα ελέγχου γεμίζει, ξεχειλίζει προς το επόμενο φράγμα που βρίσκεται προς τα κατάντη, προμηθεύοντας με νερό ένα περίπλοκο σύστημα από πλημμυρισμένα αγροτεμάχια. Οι καρπώσεις των καλλιεργειών σε σπόρους, όπως το κριθάρι και το σιτάρι και σε φρούτα όπως τα αμύγδαλα, τα βερίκοκα και τα σταφύλια, είναι απολύτως αξιосέβαστες για μια τέτοια ξηρή περιοχή. Από το να προσπαθούμε να δημιουργήσουμε μεγάλους ταμιευτήρες νερού, από τους οποίους το νερό θα μπορούσε να εξατμιστεί εύκολα και γρήγορα σ' ένα τέτοιο κλίμα (και να συσσωρεύεται πλούσια σε θρεπτικά στοιχεία αποθέσεις), είναι καλύτερο οι αποθέσεις του νερού και των πλούσιων θρεπτικών στοιχείων να αποθηκεύονται επί τόπου στο σύστημα συγκομιδής του νερού.

Ένα παρόμοιο σύστημα χρησιμοποιείται ακόμη και σήμερα στις νοτιοδυτικές Πολιτείες των ΗΠΑ, όπου οι ιθαγενείς Αμερικανικές ομάδες, όπως είναι οι Hopi και οι Parago έχουν εφαρμόσει μια μορφή συγκομιδής του νερού για πολλούς αιώνες. Η ροή από τις βαριές καταβατικές βροχοπτώσεις των ορέων της θερινής περιόδου κατευθύνονται μέσα από τους αλλουβιακούς σχηματισμούς, ως ένα απορροφητικό φύλλο απορροής και δεν αφήνονται να συγκεντρωθούν σε ένα διάυλο ρέματος. Το νερό αυτό στη συνέχεια «αρδεύει» τις ετήσιες καλλιέργειες του αραβοσίτου, των φασολιών, των κολοκυθιών και των άλλων τοπικών φυτών καλλιέργειας. Το ανώτερο τμήμα της λεκάνης απορροής δεν χειρίζεται με τον τρόπο της περίπτωσης του συστήματος της Negev, αλλά λαμβάνει χώρα ένας χειρισμός παρόμοιος με αυτόν της επίπεδης πλημμύρας των κατάντη. Οι σκοποί αμοτέρων των αγροοικοσυστημάτων είναι να λειτουργήσουν μέσα στις δυσκολίες και τους περιορισμούς του φυσικού καθεστώτος της βροχόπτωσης.

7.4.6. Συστήματα βόσκησης

Σε περιοχές στις οποίες η βροχόπτωση είναι αφενός μεν περιορισμένη και αφετέρου σε μεγάλο βαθμό απρόβλεπτη, η φυσική βλάστηση αποτελείται από ένα μίγμα ειδών που αποτελούνται από τα είδη που αναζητούν το νερό, τους ξηρανθεκτικούς θάμνους και τα πολυετή ποώδη φυτά, και από ετήσια είδη που μπορούν να φυτρώσουν και να συμπληρώσουν τους βιολογικούς ντους κύκλους σε μια βραχεία περίοδο κατά την οποία το νερό είναι διαθέσιμο. Η αντοχή στην ξηρασία των πολυετών συνδυάζεται με την αποφυγή στην ξηρασία των ετησίων για να σχηματίσουν ένα σύστημα που μπορεί να παράγει βιομάζα στο μεγαλύτερο μέρος του χρόνου. Σε πολλά μέρη της υψηλίου, αυτός ο τύπος του οικοσυστήματος συσχετίζεται με υπερβολικούς πληθυσμούς βοσκόντων ζώων. Όταν αναφερόμαστε στην ικανότητα των βοσκόντων ζώων να μετακινούνται με σκοπό την αναζήτηση επαρκών ποσοτήτων βοσκήσιμης ύλης, τα οικοσυστήματα αυτά αντανakλούν μια ικανοποιητική προσαρμοστικότητα και ποικιλότητα.

Ενδιαφέρον είναι και το γεγονός ότι, μερικά από τα πλέον πρόσφατα εξημερωμένα βόσκοντα ζώα έχουν προέλθει από περιοχές με περισσότερο ακραία, ημι-έρημα περιβάλλοντα. Τα ζώα τα οποία έχουν εκ των προτέρων προσαρμοστεί σε μια άγρια κατάσταση, όπως είναι οι άγριοι συγγενείς των προβάτων και των γιδιών, παρέχουν ένα σημαντικό μέσο στους ανθρώπους για να επιβιώσουν σε ένα κατά τα άλλα εχθρικό περιβάλλον. Έτσι, η νομαδική κτηνοτροφία είχε καταστεί μια σημαντική μορφή της πρώιμης γεωργίας.

Στις μέρες μας, πολλά διαχειριζόμενα συστήματα βόσκησης ευνοούνται από τα λιβαδοπονικά οικοσυστήματα για να διατηρήσουν την παραγωγή της βιομάζας ενόψει μιας χαμηλής και άκρως ποικίλλουσας βροχόπτωσης. Στις περισσότερες περιπτώσεις το φυσικό λιβάδι διαχειρίζεται με συγκεκριμένους ρυθμούς βοσκοφόρτωσης και χρονοδιαγράμματα για να ρυθμιστούν στη φυσική δυναμική της ανάπτυξης των φυτών σε συσχέτιση με τη βροχόπτωση. Τα ζώα μετακινούνται από ένα μέρος σε κάποιο άλλο μέσα στο χρόνο, καθώς η διαθεσιμότητα της βοσκήσιμης ύλης αλλάζει. Σε κάποιες άλλες περιπτώσεις, όπως αυτή στην οποία η βοσκήσιμη ύλη βελτιώνεται με την εισαγωγή ειδών που είναι ανθεκτικά στην ξηρασία και τα οποία εμφανίζουν πολύ επιτυχημένη συμπεριφορά κάτω από ξηρότερες συνθήκες.

7.4.7. Μαθήματα για τα αειφορικά συστήματα

Οι τεχνολογίες της άρδευσης έχουν αναπτυχθεί σε ολόκληρο τον κόσμο για να αντισταθμίσουν τις αντιξοότητες που προκαλούνται από τον παράγοντα της βροχόπτωσης, οι οικολογικές συνέπειες από αυτές τις τεχνολογίες όμως, έχουν αρχίσει να αυτό-αποκαλύπτονται με ποικίλους τρόπους. Μερικά από τα προβλήματα που δημιουργούνται είναι η διάβρωση του εδάφους, ή καθίζηση, η ακλαλικότητα και η απώλεια των φυσικών υδροτόπων και των συστημάτων των λεκανών απορροής. Ελπίζουμε ότι με την εξέταση της φύσης της υγρασίας και των βροχοπτώσεων, όπως αυτή έγινε στο παρόν κεφάλαιο, καθώς και τα παραδείγματα των αγροοικοσυστημάτων που λειτουργούν κάτω από τοπικές συνθήκες βροχόπτωσης παρά εναντίον τους, θα κατανοήσουμε μια σημαντική άποψη της αειφορικότητας.

Για ένα παράγοντα όπως είναι η βροχόπτωση, η φύση υπηρετεί ως ένα πρότυπο ανάπτυξης της αειφορικής γεωργίας. Το μεγαλύτερο μέρος της σύγχρονης γεωργικής ανάπτυξης έχει προσεγγίσει την έλλειψη ή την υπερβολή της βροχόπτωσης με την πρόθεση να εκμηδενίσει ή να τροποποιήσει τις καταστάσεις ώστε να ρυθμίσει τις ανάγκες των συστημάτων καλλιέργειας των φυτών που χρησιμοποιούνται. Αυτό συνήθως περιλαμβάνει υψηλά επίπεδα εξωτερικών εισροών ενέργειας και υλικών. Υπάρχουν πολλά και πολύ γνωστά παραδείγματα προγραμμάτων μαζικής άρδευσης, αποστράγγισης, ή αφαλάτωσης που αποπειράθηκαν να τροποποιήσουν υφιστάμενες οικολογικές καταστάσεις, αλλά εκείνο που κατάφεραν ήταν μόνο μια περιορισμένη επιτυχία, αξιολογώντας με όρους καλλιεργητικής παραγωγικότητας, οικονομικής βιωσιμότητας και κοινωνικής ευμάρειας.

Ως κατακλείδα του κεφαλαίου αυτού πρέπει να τονίσουμε ότι πρέπει να εντατικοποιήσουμε την έρευνα πάνω στους τρόπους σύζευξης της γεωργίας με την φυσική μεταβλητότητα και την μη δυνάμενη να προβλεφθεί βροχόπτωση.

7.5. Χρήσιμη συμπληρωματική βιβλιογραφία

Barry, R.C., and J. Chorley. 1987. *Atmosphere, Weather, and Climate*. Fifth Edition. Methuen: London.

Critchfield, H. J. 1974. *General Climatology*. Third Edition. Prentice Hall: Englewood Cliffs, NJ.

Postel, S. 1992. *The Last Oasis: Facing Water Scarcity*. W. W. Norton: New York.

Wilken, G. C. 1988. *Good Farmers: Traditional Agriculture Resource Management in Mexico and Central America.* University California Press: Berkeley.

Κεφάλαιο Όγδοο

Ο Άνεμος

8.1. Γενικά

Ο άνεμος, ως παράγοντας του περιβάλλοντος, δεν είναι πάντοτε παρών, είναι όμως, κατά το μάλλον ή ήττον, ικανός να επιφέρει πολύ σημαντικές επιδράσεις στα αγροοικοσυστήματα. Οι επιδράσεις αυτές είναι αποτέλεσμα της ικανότητας του ανέμου:

- (1) να ασκεί μια φυσική δύναμη στο σώμα του φυτού,
- (2) να μεταφέρει και να αποσπά από το αγροοικοσύστημα μόρια και υλικά (αλάτι, γύρη, άμμο, σπόρους) και,
- (3) να αναμειγνύει την ατμόσφαιρα που άμεσα περιβάλλει τα φυτά,

έτσι ώστε, να μεταβάλλει τη σύνθεσή του, να επηρεάζει τις ιδιότητες διασποράς της θερμότητας και να επιδρά στη φυσιολογία του φυτού.

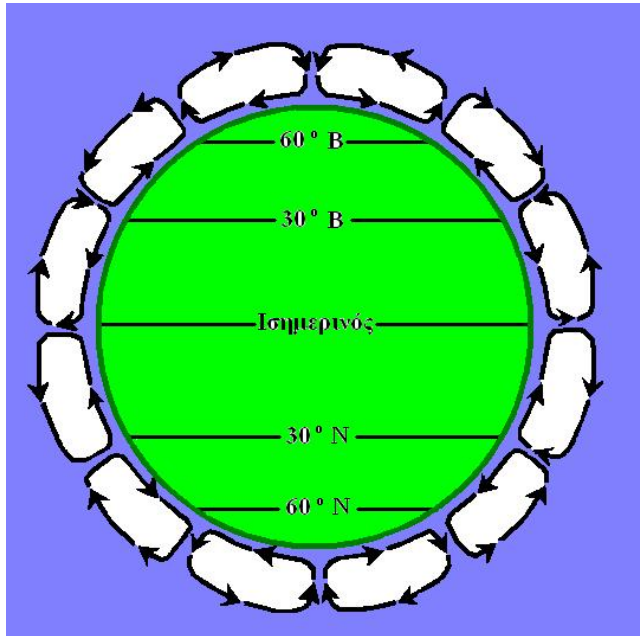
Όταν όλοι οι παραπάνω τύποι επιδράσεων ληφθούν υπόψη, ο άνεμος, ο οποίος φαινομενικά εμφανίζεται ως ένας σχετικά απλός περιβαλλοντικός παράγοντας, αποβαίνει αρκετά πολύπλοκος. Ο άνεμος μπορεί να εμφανίσει θετικές και αρνητικές επιδράσεις ή ακόμη σε κάποιες περιπτώσεις να είναι επιθυμητός και σε κάποιες άλλες αρνητικός. Κατά συνέπεια, ο άνεμος είναι ένας παράγοντας που μας προκαλεί να τον διαχειριστούμε.

8.2. Η ατμοσφαιρική κίνηση

Η ατμόσφαιρα της γης βρίσκεται συνεχώς σε κίνηση, και κυκλοφορεί σε διαρκώς μεταβαλλόμενες, πολύπλοκες και κατά τόπους ποικίλλουσες μορφές. Η κυκλοφορία αυτή είναι υπεύθυνη για τις κινήσεις των αερίων μαζών και τις καθοδηγούμενες αλλαγές του καιρού. Είναι επίσης, υπεύθυνη για την δημιουργία της επιφανειακής κίνησης του αέρα, την οποία εμείς προσλαμβάνουμε ως άνεμο.

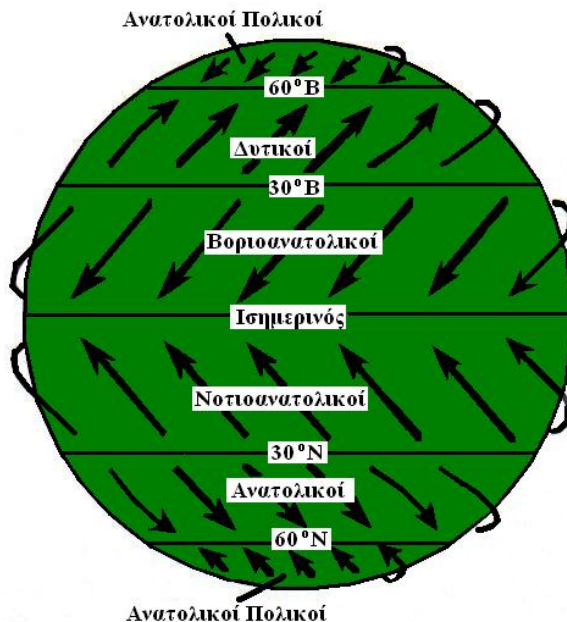
Η πλέον βασική διαδικασία που καθοδηγεί την κίνηση της ατμόσφαιρας είναι η διαφοροποιημένη θέρμανση και ψύξη στην επιφάνεια της γης. Στις περιοχές του

ισημερινού, η έντονη θέρμανση, τόσο της επιφάνειας όσο και της πάνω από αυτόν ατμόσφαιρας, προκαλεί την ανύψωση και την εξάπλωση του αέρα στην ατμόσφαιρα,



Εικόνα 8.1. «Κύτταρα» ατμοσφαιρικής κυκλοφορίας σε διευθέτηση κατά γεωγραφικό πλάτος.

και της ζώνης υψηλών πιέσεων των πόλων, δημιουργούνται σε κάθε ημισφαίριο ευρέα «κύτταρα» κυκλοφορίας, όπως φαίνεται και στην **Εικόνα 8.1**. Η ροή του αέρα στα «κύτταρα» του ισημερινού και τα «κύτταρα» των πόλων δημιουργούν ένα πρόσθετο «κύτταρο» στην εύκρατη περιοχή κάθε ημισφαιρίου.



Εικόνα 8.2. Μορφές επικρατούντων ανέμων.

Στην επιφάνεια, το τελικό αποτέλεσμα είναι η εμφάνιση ανέμων, οι οποίοι επιδεικνύουν την τάση να πνέουν από βορειοανατολικά και νοτιοδυτικά στο Βόρειο Ημισφαίριο και

δημιουργώντας έτσι, μια ζώνη χαμηλής πίεσης. Ο ευρισκόμενος μακριά από τον ισημερινό, ψυχρότερος επιφανειακός αέρας μετακινείται, για να καταλάβει τη θέση των αερίων μαζών που ανυψώνονται, ενώ, υψηλά στην ατμόσφαιρα, ο θερμός αέρας μετακινείται προς τους πόλους. Στις πολικές περιοχές συμβαίνει το αντίστροφο. Ο αέρας στους ψυχρότερους πόλους ψύχεται πολύ πιο γρήγορα υψηλότερα στην ατμόσφαιρα και κατέρχεται προς την επιφάνεια, δημιουργώντας μια ζώνη υψηλής πίεσης και την κίνηση του επιφανειακού αέρα προς τον ισημερινό.

Ως αποτέλεσμα της ζώνης χαμηλών πιέσεων του ισημερινού και της ζώνης υψηλών πιέσεων των πόλων, δημιουργούνται σε κάθε ημισφαίριο ευρέα «κύτταρα» κυκλοφορίας, όπως φαίνεται και στην **Εικόνα 8.1**. Η ροή του αέρα στα «κύτταρα» του ισημερινού και τα «κύτταρα» των πόλων δημιουργούν ένα πρόσθετο «κύτταρο» στην εύκρατη περιοχή κάθε ημισφαιρίου. Αποτέλεσμα αυτού είναι η δημιουργία μιας ζώνης χαμηλής πίεσης (ανερχόμενος αέρας) στο Γεωγραφικό Πλάτος των 60°, τόσο του βορείου όσο και του νοτίου ημισφαιρίου και μιας ζώνης υψηλής πίεσης (κατερχόμενος αέρας) στο Γεωγραφικό Πλάτος των 30°, τόσο του βορείου όσο και του νοτίου ημισφαιρίου.

Η περιστροφή της Γης τροποποιεί τη ροή των ευρείας κλίμακας αυτών «κυττάρων» κυκλοφορίας. Τα ρεύματα του αέρα αποκλίνουν προς τα δεξιά της βαθμίδωσης της πίεσης βόρεια του ισημερινού και προς τα αριστερά στα νότια. Η απόκλιση αυτή είναι γνωστή με την ονομασία **φαινόμενο Coriolis**.

νοτιοανατολικά και βορειοδυτικά στο Νότιο Ημισφαίριο. Οι άνεμοι αυτοί, τυπικοί για συγκεκριμένες ζώνες γεωγραφικού πλάτους, όπως φαίνεται και στην **Εικόνα 8.2**, είναι γνωστοί ως **επικρατούντες άνεμοι**.

Μολονότι οι επικρατούντες άνεμοι περιγράφουν τις συνολικές, μακροσκοπικές μορφές της ατμοσφαιρικής κυκλοφορίας στην επιφάνεια, αυτοί υπόκεινται σε τοπικές και εποχιακές μεταβολές μεγαλύτερης κλίμακας. Οι μεταβολές αυτές είναι αποτέλεσμα ενός αριθμού παραγόντων, στους οποίους περιλαμβάνονται η παρουσία ορεινών όγκων στις ηπείρους και οι βαθμιδώσεις της θερμοκρασίας που δημιουργούνται από τους διαφορετικούς ρυθμούς θέρμανσης και ψύξης των χερσαίων και υδάτινων επιφανειών.

Όλοι μαζί οι παράγοντες αυτοί καταλήγουν στον σχηματισμό ευρέων, κινητών αερίων μάζων, υψηλής και χαμηλής πίεσης, οι οποίες, καθώς μετακινούνται, επηρεάζουν σε μεγάλο βαθμό τις τοπικές μορφές του ανέμου. Στο Βόρειο Ημισφαίριο, ο αέρας κυκλοφορεί γύρω από τα «κύτταρα» υψηλής πίεσης με κατεύθυνση δίκην δεικτών του ωρολογίου και γύρω από τα «κύτταρα» χαμηλής πίεσης, αντιστρόφως. Στο Νότιο Ημισφαίριο ο αέρας κυκλοφορεί αντίστροφα. Στα θερμά ημισφαίρια, ο αέρας κινείται εκτός των περιοχών υψηλής πίεσης προς τις περιοχές με χαμηλή πίεση.

8.3. Οι τοπικοί άνεμοι

Οι άνεμοι δημιουργούνται επίσης από τις τοπικές συνθήκες και έχουν να κάνουν με κάποιους συγκεκριμένους παράγοντες, όπως η τοπογραφία της περιοχής και η εγγύτητα της περιοχής σε υδάτινες επιφάνειες. Σε κάποιες περιοχές μάλιστα, οι άνεμοι αυτοί είναι σχετικά προβλέψιμοι.

Κατά το θέρος, στις παράκτιες περιοχές, όπως επίσης και γύρω από τις μεγάλες υδάτινες επιφάνειες, π.χ. λίμνες, ταμιευτήρες νερού, οι ημερήσιοι άνεμοι, οι οποίοι καλούνται **θαλάσσιες ή λιμναίες αύρες**, τυπικά πνέουν προς την ξηρά, διότι η παρακείμενη χερσαία επιφάνεια θερμαίνεται ταχύτερα από την υδάτινη επιφάνεια. Ο ευρισκόμενος πάνω από την ξηρά αέρας θερμαίνεται, διογκώνεται και ανυψώνεται και στη συνέχεια, ο ευρισκόμενος πάνω από τον ωκεανό ψυχρότερος αέρας πνέει προς την ενδοχώρα για να καταλάβει τη θέση του αέρα που ανυψώνεται. Τη νύκτα η διαδικασία αυτή αντιστρέφεται, καθώς οι χερσαίες επιφάνειες ψύχονται ταχύτερα απ' ό,τι οι υδάτινες και οι άνεμοι αρχίζουν να κινούνται προς αυτές.

Οι **άνεμοι της πλαγιάς** αποτελούν μια άλλη μορφή τοπικών ανέμων. Στις περιοχές με ορεινή τοπογραφία, καθώς κατά τη διάρκεια της νύκτας οι χερσαίες επιφάνειες επανακτινοβολούν τη θερμότητα πίσω στην ατμόσφαιρα, ο ευρισκόμενος εγγύς της επιφανείας αέρας ψύχεται. Επειδή ο ψυχρότερος αέρας είναι βαρύτερος, αυτός αρχίζει να κινείται προς τα κατόντη της πλαγιάς. Μια τέτοια κίνηση περιορίζεται αρχικά στον τόπο που δημιουργείται, αλλά στη συνέχεια, οι άνεμοι που κινούνται μοναχικοί μέσα από τις χαράδρες είναι δυνατό να ενωθούν σε ένα σύστημα που εμπλέκει ολόκληρη την κοιλάδα για να σχηματίσουν έναν **ορεινό άνεμο**. Κατά τη διάρκεια της ημέρας, καθώς η θερμότητα στην κοιλάδα προκαλεί τον θερμό αέρα να ανυψωθεί προς την πλαγιά, μπορεί να συμβεί το αντίθετο αποτέλεσμα, οπότε σχηματίζεται ένας **άνεμος κοιλάδας**.

Όταν οι μεγάλες αέριες μάζες εξαναγκάζονται να περάσουν πάνω από μια ορεινή οροσειρά και στη συνέχεια να κατέβουν σε μια κοιλάδα ή σε μια πεδιάδα, οι κατερχόμενες αυτές αέριες μάζες εξαπλώνονται. Αυτό έχει ως αποτέλεσμα, οι αέριες μάζες να θερμαίνονται και να μειώνεται η σχετική τους υγρασία. Η διαδικασία αυτή της θερμότητας και της ξηρότητας ονομάζεται **καταβατική θέρμανση** και είναι υπεύθυνη για το αντίστοιχο αποτέλεσμα (similar rain shadow effect) της βροχής. Οι άνεμοι που προκαλούνται από την καταβατική θέρμανση παρατηρούνται συχνά το χειμώνα κατά

μήκος των ανατολικής έκθεσης πλαγιών των ορεινών συστημάτων της Sierra Nevada και των Rocky Mountain στις ΗΠΑ, οσάκις ένα σύστημα κυκλωνικής θύελλας κινείται προς την ενδοχώρα και πιέζει τον αέρα μετωπικά, αναγκάζοντάς τον να κατευθυνθεί πάνω από αυτές τις οροσειρές. Καθώς ο αέρας κατέρχεται από την ανατολική πλευρά των ορέων δημιουργεί θερμούς ανέμους, που είναι γνωστοί ως «σινούκς» (chinooks) που μπορεί να είναι πολύ άγριοι και προξενούν ταχεία τήξη του χιονιού στην επιφάνεια.

8.4. Οι άμεσες επιπτώσεις του ανέμου στα φυτά

Οι φυσικές επιδράσεις του ανέμου στους οργανισμούς μπορεί να είναι εξαιρετικής οικολογικής σημασίας. Αυτό επαληθεύεται ιδιαίτερα στις περιοχές που είναι επιρρεπείς σε περισσότερο μόνιμους ανέμους, όπως είναι οι μεγάλες πεδιάδες, οι περιοχές κοντά στο χείλος του ωκεανού, ή οι περιοχές των υψηλών ορέων. Σε γενικές γραμμές, όπως και με τους υπόλοιπους παράγοντες του περιβάλλοντος, το μέγεθος της επίδρασης του ανέμου εξαρτάται από την ένταση, τη διάρκεια και το συγχρονισμό του.

8.4.1. Αφυδάτωση

Κάθε άνοιγμα των στομάτων στο φύλλο του φυτού, οδηγεί στη δημιουργία ενός διαστήματος αέρος, μέσα στις περιβάλλουσες τα κυτταρικά τοιχώματα μεμβράνες του οποίου συμβαίνει η ανταλλαγή των αέριων. Αυτό το διάστημα αέρος πληρούται με υγρασία, και όσο χρονικό διάστημα τα στόματα παραμένουν ανοικτά, οι υδρατμοί από το εσωτερικό του φύλλου διαφεύγουν προς τα έξω. Όταν δεν παρατηρείται καμιά κίνηση αέρα, η μετακίνηση του κορεσμένου αέρα από τα στόματα και προς τα έξω δημιουργεί γύρω από την επιφάνεια του φύλλου μια περιβάλλουσα στρώση κορεσμένου αέρα. Η κίνηση του αέρα απομακρύνει την περιβάλλουσα αυτή στρώση, αυξάνει την διαπνοή και τελικά αυξάνει την συνολική απώλεια νερού από το φυτό. Ο ρυθμός της αφυδάτωσης αυξάνει ευθέως ανάλογα με την ταχύτητα του ανέμου, μέχρις ότου η ταχύτητα του ανέμου να πλησιάσει τα 10 χιλιόμετρα ανά ώρα. Στην ταχύτητα αυτή έχουμε ένα μέγιστο ρυθμό απώλειας.

Η φυσιολογική απώλεια του νερού από το φυτό μπορεί εύκολα να αντικατασταθεί με την πρόσληψη του νερού από τις ρίζες και την συνεπακόλουθη μεταφορά του στα φύλλα. Όμως, όταν ο ρυθμός αφυδάτωσης ξεπεράσει το ρυθμό αντικατάστασης του νερού, είναι δυνατό να συμβεί μαρasmus. Εκτεταμένος μαρasmus μπορεί να επηρεάσει την κανονική λειτουργία του φύλλου, ιδιαίτερα τη διαδικασία της φωτοσύνθεσης, και να οδηγήσει σε βραδύτερη αύξηση ολόκληρου του φυτού και προφανώς να το οδηγήσει στο θάνατο.

8.4.2. Νανισμός

Μεταξύ του ανέμου και της σμίκρυνσης του φυτού υπάρχει μια άμεση συσχέτιση. Στα αλπικά και τα παράκτια οικοσυστήματα, τα φυτά έχουν συχνά μικρό μέγεθος, εξ αιτίας των σχετικά μόνιμων υψηλών ταχυτήτων του ανέμου. Τα φυτά καλλιέργειας που αναπτύσσονται σε περιοχές με μόνιμους ανέμους, κανονικά, παρουσιάζουν βραχύτερο σχήμα, συγκρινόμενα με τα ίδια φυτά καλλιέργειας που φυτεύονται σε περιοχές χωρίς ανέμους. Το βραχύ σχήμα των φυτών είναι το αποτέλεσμα της μόνιμη αφυδάτωσης, το οποίο προκαλεί τη δημιουργία μικρότερων κυττάρων και ένα φυτό περισσότερο συμπαγές. Όπου οι άνεμοι είναι περισσότερο

μεταβλητοί, και οι εκτεταμένες περίοδοι νηνεμίας εναλλάσσονται με περιόδους ισχυρών ανέμων, τα φυτά έχουν την τάση να μην εμφανίζουν νανισμό.

8.4.3. Αποσχηματισμός

Όταν οι άνεμοι είναι σχετικά μόνιμοι και ταυτοχρόνως έχουν την ίδια διεύθυνση, είναι δυνατό να διαφοροποιήσουν μόνιμα τη μορφή ανάπτυξης των φυτών. Ανεμοθραύστες με φυτά κυρτωμένα ή αποσχηματισμένα αποτελούν τους καλύτερους δείκτες ενός μόνιμα επικρατούντος ανέμου. Ο αποσχηματισμός μπορεί να πάρει πολλές μορφές οι οποίες κυμαίνονται από μια μόνιμη κλίση από τον άνεμο μέχρι το σχήμα της σημαίας ή της έρπουσας συνήθειας. Ο μεταφερόμενος από τον άνεμο παγετός είναι ιδιαίτερα αποτελεσματικός στον αποσχηματισμό της βλάστησης.

8.4.4. Καταστροφή του φυτού και ξερίζωμα του

Εάν οι υπερβολικής ταχύτητας άνεμοι αποτελούν σχετικά ασυνήθη γεγονότα και ειδικότερα, εάν αυτοί εμφανίζονται κατά τη διάρκεια κάποιας ισχυρής βροχόπτωσης ή κάποιας χιονόπτωσης, ο άνεμος μπορεί να προκαλέσει καταστροφή στην ιστάμενη φυτική βλάστηση. Τα φύλλα μπορεί να αποκοπούν ή να σχιστούν, οι επιφάνειες των φύλλων να χαρακωθούν, τα κλαδιά να σπάσουν και να ξεκολλήσουν από το κορμό, οι κορυφές να σπάσουν και φυτά ολόκληρα να ξεριζωθούν. Στις περιοχές όπου εμφανίζονται τυφώνες, κυκλώνες ή θύελλες, ακόμη και τα ώριμα φυτά που έχουν μεγαλώσει για πολλά έτη, μπορεί να υποστούν μεγάλη καταστροφή. Διάσπαρτα υψηλά δένδρα που παρέμειναν μετά από επιλογική υλοτομία είναι πολύ επιρρεπή στο να πέσουν από τον άνεμο, μόλις χάσουν το περιβάλλον προστασίας τους από τα περιβάλλοντα αυτά, υπόλοιπα δένδρα του δάσους. Αυτό το είδος της καταστροφής καταδεικνύει τη σημασία των ανεμοθραυστών (ανεμοφρακτών). Αλλά, με αυτούς θα ασχοληθούμε στο κεφάλαιο αυτό, αργότερα.

Στα αγροοικοσυστήματα, καταστροφή από τον άνεμο συμβαίνει πολύ συχνά στα ετήσια φυτά καλλιέργειας που βρίσκονται κοντά στην ωριμότητα, ακριβώς όταν τα φυτά έχουν αρκετό βάρος λόγω των σπόρων ή των καρπών. Αυτός ο τύπος της καταστροφής, όπου που τα ιστάμενα φυτά καλλιέργειας πέφτουν στο έδαφος, καλείται πλάγιασμα (lodging). Στα φυτά καλλιέργειας που παράγουν καρπούς, όπως οι μηλιές ή οι δαμασκηνιές, ο άνεμος μπορεί να μειώσει την επικονίαση στο στάδιο της άνθησης και να ρίξει τους καρπούς στο έδαφος πριν από τη συγκομιδή.

8.4.5. Αλλαγές στη σύνθεση του αέρα που περιβάλλει τα φυτά

Ο άνεμος μπορεί επίσης, εκτός από την αφυδάτωση και την φυσική διαφοροποίηση του σχήματος του φυτού, να μεταβάλλει την ποιότητα του αέρα που περιβάλλει τα φυτά. Ο αέρας που βρίσκεται γύρω από ένα οργανισμό και πολύ κοντά σ' αυτόν έχει μεγάλη σημασία για τον οργανισμό, επειδή η ανταλλαγή των αερίων και της θερμότητας συντελείται μέσω της περιρρέουσας ατμόσφαιρας. Η ατμόσφαιρα επηρεάζει τα φυτά με τρόπο άμεσο, επειδή παρέχει αφενός μεν το CO₂, το οποίο είναι χρήσιμο για τη φωτοσύνθεση και αφετέρου το οξυγόνο, το οποίο είναι χρήσιμο για την αναπνοή.

Είναι γνωστό ότι, η κανονική σύνθεση του ατμοσφαιρικού αέρα περιέχει 78% άζωτο, 21% οξυγόνο και 0,03% CO₂ ενώ το υπόλοιπο, λιγότερο από 1%, είναι ένα μίγμα από υδρατμούς, σκόνη, καπνό, ρυπαντές και άλλα αέρια. Όμως, στην

ατμόσφαιρα η οποία περιβάλλει άμεσα το φυτό, τα επίπεδα του οξυγόνου και του CO₂ ποικίλουν σε σημαντικό βαθμό, δεδομένου ότι τα φυτά παράγουν οξυγόνο και προσλαμβάνουν CO₂. Κατά τη διάρκεια της ημέρας τα επίπεδα του οξυγόνου κοντά στο φυτό είναι δυνατό να ανέλθουν δραματικά, συνοδευόμενα από μια πτώση του CO₂, ακριβώς λόγω της φωτοσυνθετικής πρόσληψης. Εάν η συγκέντρωση του CO₂ πέσει πολύ χαμηλά, η αύξηση του φυτού μπορεί να καθυστερήσει, λόγω της περιορισμένης φωτοσύνθεσης. Η κίνηση όμως του ανέμου, επενεργεί έτσι ώστε, να αναμιχθεί ο γύρω από τα φυτά αέρας, να κατανεμηθεί η πλούσια σε οξυγόνο περιβάλλουσα τα φύλλα στρώση και να επιταχύνει την διάχυση του CO₂ προς την κατεύθυνση των στομάτων. Με τον τρόπο αυτό, ο άνεμος πραγματικά μπορεί να είναι ευεργετικός για τα φυτά.

8.5. Λοιπές επιδράσεις του ανέμου

Όπως διαπιστώσαμε παραπάνω, ο άνεμος επιδρά στα ανεξάρτητα φυτά άμεσα. Αλλά, ο άνεμος επιδρά και στο επίπεδο του αγροοικοσυστήματος, λόγω της ικανότητάς του να μεταφέρει υλικά.

8.5.1. Αιολική διάβρωση

Η αιολική διάβρωση του εδάφους μπορεί να αποτελέσει πρόβλημα στις περιοχές στις οποίες παρατηρείται μια χαμηλή ή μεταβλητή βροχόπτωση (ή κάποια περίπτωση πιθανής ξηρασίας), κάποιοι περιστασιακοί ή συχνοί άνεμοι υψηλής ταχύτητας και αρκετά υψηλές απώλειες εξάτμισης από την επιφάνεια του εδάφους. Κάτω από τέτοιες συνθήκες, μια χαλαρή, ξηρή, μαλακή και λεπτόκοκκη εδαφική επιφάνεια, στην οποία η βλαστητική κάλυψη απουσιάζει πλήρως ή μερικώς, είναι εύκολο να διαβρωθεί από τον άνεμο.

Η απώλεια του εδάφους από την αιολική διάβρωση οφείλεται σε δύο διαδικασίες: (α) την απόσπαση των μορίων και (β) τη μεταφορά των μορίων. Ο άνεμος προκαλεί την χαλάρωση των εδαφικών μορίων, τα οποία αμέσως μετά τα ανασηκώνει και τα αποσπά από τα εδαφικά συσσωματώματα. Ακολουθώντας, τα μόρια αυτά τα μεταφέρει με διάφορους τρόπους, οι οποίοι εξαρτώνται από το μέγεθος τους και από την ταχύτητα του ανέμου. Τα μικρά εδαφικά μόρια που αναπηδούν κατά μήκος της επιφάνειας, παραμένοντα σε ένα ύψος 30 εκατοστών από αυτή, μεταφέρονται από τη διαδικασία η οποία ονομάζεται **αναπήδηση**. Κάτω από τις περισσότερες συνθήκες, στην αναπήδηση χρεώνεται το 50 έως 70% της μετακίνησης του εδάφους λόγω του ανέμου. Η επίδραση των μορίων που αναπηδούν δημιουργεί μεγαλύτερα μόρια που περιστρέφονται και γλιστρούν κατά μήκος της επιφάνειας, δημιουργώντας μια ανεπαίσθητη κίνηση του εδάφους (**soil creep**), η οποία είναι υπεύθυνη για το 5 έως 25% της μετακίνησης του εδάφους. Η πλέον ορατή μορφή μεταφοράς είναι εκείνη κατά την οποία τα μόρια στο μέγεθος της λεπτής άμμου ή μικρότερου ακόμη μεγέθους, κινούνται παράλληλα προς την επιφάνεια και καθίστανται αερομεταφερόμενα. Οι αναταράξεις του ανέμου μπορούν να μεταφέρουν σύννεφα από αυτά τα αερομεταφερόμενα μόρια αρκετά χιλιόμετρα ψηλά στην ατμόσφαιρα και εκατοντάδες χιλιόμετρα μακριά, για να εναποτεθούν στη συνέχεια ή να ξεπλυθούν από τον αέρα. Σε γενικές γραμμές, η διάβρωση αυτή αποτελεί το 15% περίπου της συνολικής διάβρωσης. Υπάρχουν όμως, κάποιες γνωστές περιπτώσεις που το ποσοστό αυτό ξεπέρασε το 40%.

Όταν η γεωργία ασκείται στις περιοχές της υψηλίου που το απροστάτευτο έδαφος υπόκειται στην αιολική διάβρωση, μπορεί να χαθούν μεγάλες ποσότητες επιφανειακού εδάφους. Η ερημοποίηση στην περιοχή της Σαχάρας, εντατικοποιήθηκε

στη δεκαετία του 70 από την αιολική διάβρωση του εδάφους, η οποία προκλήθηκε από την ξηρασία, την υπερβόσκηση και την εντατική καλλιέργεια στα οριακά εδάφη. Τα γιγαντιαία σύννεφα σκόνης και άμμου που δημιουργήθηκαν κατά τη διάρκεια του μεγάλου φαινομένου της δεκαετίας του 30 στις Η.Π.Α., γνωστού με την ονομασία «dust bowl», αποτελούν ακόμη τα πλέον χαρακτηριστικά παραδείγματα της φυσικής επίδρασης του ανέμου στα συστήματα γεωργικής καλλιέργειας μέσω της απώλειας του εδάφους.

Η απομάκρυνση του εδάφους από ένα μέρος και η εναπόθεσή του σε ένα άλλο, είναι η διπλή όψη του προβλήματος της αιολικής διάβρωσης, οσάκις αυτή συμβαίνει. Όταν η γεωργία ασκείται σε περιοχές οι οποίες είναι ευάλωτες στην αιολική διάβρωση, τα τελικά αποτελέσματα θα είναι η ελαττωμένη παραγωγικότητα του εδάφους και η πενιχρή απόδοση των φυτών καλλιέργειας, εκτός εάν ληφθούν τα κατάλληλα προληπτικά μέτρα.

8.5.2. Μεταφορά άλατος από τη θάλασσα

Στις περιοχές κατά μήκος των θαλασσιών ακτών, η φυσική επίπτωση του ανέμου μπορεί να συνδυαστεί με τη βλαπτική χημική επίδραση της απόθεσης του άλατος. Όταν σπάνε τα κύματα στην ακτή, σχηματίζονται φουσκάλες και μικροσκοπικά σταγονίδια θαλάσσιου νερού, τα οποία και ανυψώνονται στον αέρα. Με την παρουσία του ανέμου, αυτά μπορούν να μεταφερθούν προς την ενδοχώρα και το αλάτι που περιέχεται σ' αυτά να εναποτεθεί στην επιφάνεια των φύλλων. Το μεταφερόμενο με τον άνεμο αλάτι και ο ψεκασμός με αλάτι των φυτών μπορεί να «κάψει» τις άκρες των φύλλων, και ακόμη μπορεί κάλλιστα να προκαλέσει την πτώση των φύλλων.

Καταστροφή από το αερομεταφερόμενο αλάτι μπορεί να συμβεί και σε πολλά χιλιόμετρα μακριά από τις ακτές, αλλά τα πιο καταστρεπτικά αποτελέσματα παρατηρούνται κοντά στην ακτογραμμή. Οι ανεμοθύελλες χωρίς βροχή είναι αυτές που προκαλούν τη μεγαλύτερη καταστροφή από το αλάτι.

Η μεταφορά και η εναπόθεση του άλατος από τον άνεμο έχει μεγαλύτερη επίδραση στη ζώνη της βλάστησης κατά μήκος των ακτών και κρίνεται λογικό στις περιοχές αυτές να φυτεύονται μόνο ανθεκτικά στο αλάτι είδη, τα οποία σημειωτέον και αυτά θεωρητικά κινδυνεύουν από την εναπόθεση του άλατος. Σε κάποιες περιοχές, κάποια φυσικά τοπογραφικά χαρακτηριστικά κατά μήκος της ακτής, όπως π.χ. οι αμμοθίνες, εμποδίζουν το μεταφερόμενο από τον άνεμο αλάτι, και επιτρέπουν να φυτευτούν στην υπήνεμη πλευρά τους ευαίσθητα στο αλάτι φυτά καλλιέργειας. Ένα κλασσικό παράδειγμα αποτελεί και η φυτεία δένδρων αβοκάντο σε τέτοιες προστατευμένες περιοχές κατά μήκος των ακτών της California από τη Santa Barbara μέχρι το San Diego. Για να επιτευχθεί το ίδιο αποτέλεσμα μπορεί επίσης να χρησιμοποιηθούν οι ανεμοθραύστες.

8.5.3. Μεταφορά ασθενειών και ζιζανίων

Ο άνεμος αποτελεί το μέσο της μεταφοράς στα αγροοικοσυστήματα, μέχρι ενός σημείου, των επιβλαβών οργανισμών ή των ασθενειών. Η μεταφορά των σπορίων των βακτηριδίων και των μυκήτων, από προσβεβλημένα φυτά σε νέους ξενιστές, εξαρτάται από τον άνεμο και πολλά επιβλαβή είδη εντόμων επωφελούνται του ανέμου για να μετακινηθούν σε μεγάλες αποστάσεις μέσα στο περιβάλλον. Αρκετές αφίδες για παράδειγμα, σ' ένα στάδιο του βιολογικού τους κύκλου αποκτούν φτερά που τα βοηθούν στη διασπορά τους και ένα στάδιο χωρίς φτερά για να αναπτυχθεί ο

παραμένον στα φυτά ξενιστές πληθυσμός. Τα φτερά αυτών των αφίδων δεν εξυπηρετούν παρά μόνο τη δυνατότητα τα έντομα να κατορθώνουν να διατηρούνται αιωρούμενα, ενώ ο άνεμος είναι εκείνος που τα μεταφέρει όπου δει. Βέβαια, εάν η περιοχή πρόσπτωσης είναι ένα μη προσβεβλημένο φυτό ξενιστής, είναι φυσιολογικό να εμφανιστεί το πρόβλημα της προσβολής.

Τα θηλυκά πολλών επιβλαβών εντόμων απελευθερώνουν μια ερωτική φερομόνη και στη συνέχεια, η προσέλκυση των αρσενικών για να ζευγαρώσουν εξαρτάται από την διασπορά της χημικής αυτής ουσίας από τον άνεμο. Επίσης, με τη βοήθεια του ανέμου διασκορπίζονται στα αγροοικοσυστήματα οι σπόροι ενός μεγάλου αριθμού ανεπιθύμητων φυτών ή ζιζανίων. Αφού τα μικρά σωματίδια, ακόμη και οι μικροί οργανισμοί μπορούν να σηκωθούν από τα αέρια ρεύματα εκατοντάδες μέτρα ψηλά στον αέρα και μετά να μεταφερθούν αρκετές εκατοντάδες χιλιόμετρα μακριά, είναι πολύ δύσκολο για τους αγρότες να αποφύγουν τη σταθερή «βροχή» των πιθανών προβλημάτων. Τέλος, θα πρέπει να υπογραμμίσουμε εδώ, ότι με την αγροοικολογική διαχείριση τέτοιων προβλημάτων διασποράς θα ασχοληθούμε στο Δέκατο Έβδομο Κεφάλαιο.

8.5.4. Ευεργετικές επιδράσεις του ανέμου

Μερικές από τις πλέον σημαντικές επιδράσεις του ανέμου λαμβάνουν χώρα στο επίπεδο του μικροκλίματος. Στο εσωτερικό του αγροοικοσυστήματος, ειδικά στις κομοστέγες των συστημάτων φυτών καλλιέργειας, η κίνηση του αέρα είναι ουσιαστική για την ανάμιξη της ατμόσφαιρας. Η καλή κυκλοφορία του αέρα διατηρεί το CO₂ σε άριστα επίπεδα, διασκορπίζει την υπερβολική υγρασία και μπορεί ακόμη να αυξήσει την δραστική ανταλλαγή αερίων. Ο επαρκώς αναμεμιγμένος αέρας χαμηλώνει τα επίπεδα υγρασίας στην επιφάνεια των φύλλων, με συνέπεια να ελαττώνει την πιθανότητα να επικρατήσουν πολλές ασθένειες. Στα θερμά κλίματα επίσης, ο άνεμος έχει σημαντική επίδραση στην επαύξηση της μεταβατικής και εξατμισιακής ψύξης στο άμεσο ηλιακό φως.

Η παρουσία του ανέμου είναι απαραίτητη και κατά την παραγωγή των φυτών καλλιέργειας που καλλιεργούνται για τους σπόρους τους, όπως π.χ. ο αραβόσιτος, οι βρώμες και το σιτάρι. Αυτά τα φυτά καλλιέργειας επικονιάζονται με τη βοήθεια του ανέμου, διότι για να διασκορπιστεί η γύρη από τις αρσενικές δομές των φυτών στις σποροπαραγωγικές θηλυκές δομές άλλων φυτών, αυτό σε μεγάλο βαθμό εξαρτάται από τον άνεμο.

8.6. Τροποποίηση και τιθάσευση του ανέμου στα αγροοικοσυστήματα

Η κατανόηση των επιπτώσεων που μπορεί να έχει ο άνεμος στα αγροοικοσυστήματα, αλλά και των μηχανισμών των επιπτώσεων αυτών, δίνει στους αγρότες – παραγωγούς την ευκαιρία να αναπτύξουν τα μέσα με τα οποία αφενός μεν θα περιορίσουν τις αρνητικές επιπτώσεις, αλλά θα επωφεληθούν και από τις θετικές επιπτώσεις. Επιπλέον, η ενέργεια του ανέμου μπορεί να τιθαρευτεί και να χρησιμοποιηθεί για μια πλειάδα χρήσεων στη γεωργία.

8.6.1. Η μέτρηση του ανέμου

Ο άνεμος συνήθως μετράται με μια συσκευή που είναι γνωστή ως ανεμόμετρο. Τα ανεμόμετρα αποτελούνται από τρεις ή τέσσερις οριζοντίως περιστρεφόμενους

βραχίονες με μικρά κύπελλα στα πέρατά τους, προσαρμοσμένους σε ένα κάθετο άξονα και, καθώς το σύστημα αυτό περιστρέφεται, ενεργοποιεί ένα μετρητή ή ένα καταγραφέα. Μια τέτοια συσκευή θα καταγράψει τον άνεμο από οποιαδήποτε οριζόντια διεύθυνση και με βάση το σύνολο των μετρημένων περιστροφών, μπορεί να καθοριστεί χρονικά, η μέση ταχύτητα του ανέμου. Ένα ανεμόμετρο με πτερύγια μπορεί να καταγράψει τις χαμηλές ταχύτητες του ανέμου με περισσότερη ακρίβεια, αλλά πρέπει να τοποθετείται στη διεύθυνση του ανέμου. Τα **θερμικά ανεμόμετρα**, τα οποία λειτουργούν με βάση τη σχέση ανάμεσα στην περιστροφή του ανέμου και τη μεταφορά της θερμότητας, χρησιμοποιούνται για πολύ χαμηλές ταχύτητες ανέμου, οι οποίες δεν μπορούν να καταγραφούν σωστά με τα συστήματα κυπέλλων ή φτερωτών. Τέλος, για την καταγραφή της διεύθυνσης του ανέμου και των απότομων μεταβολών του, υπάρχουν και άλλοι τύποι εξοπλισμού.

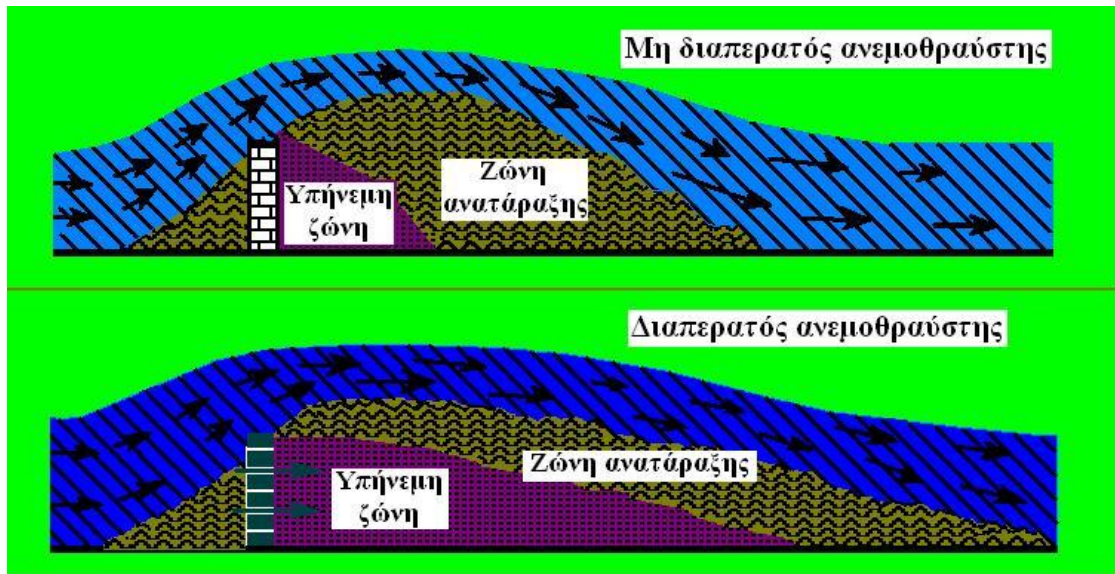
Η μέτρηση της μέσης ταχύτητας και της διεύθυνσης του ανέμου αποτελούν μόνο ένα τμήμα της σύλληψης και της κατανόησης των μορφών της κίνησης του αέρα σε ένα αγροοικοσύστημα. Διότι είναι επίσης σημαντικό, να γνωρίζουμε με ποιο τρόπο οι μορφές των τοπικών ανέμων μειώνονται στις μικροκλιματικές συνθήκες, καθώς ο άνεμος συναντά εμπόδια. Τα εμπόδια αυτά μπορεί να είναι τα φυτά, η φυσική τοπογραφική μεταβολή, ή τα σκοπίμως τοποθετημένα εμπόδια οποιασδήποτε μορφής. Η χρήση αυτών των τελευταίων θα εξαρτηθεί, από το πώς επηρεάζουν τον άνεμο τον οποίο εμείς προσπαθούμε να τροποποιήσουμε ή για να αποκτήσουμε πλεονεκτήματα από την πνοή του.

8.6.2. Τεχνικές της τροποποίησης των μορφών του ανέμου και της καταπράυνσης των ανέμων

Υπάρχουν πάρα πολύ τρόποι για τη διαχείριση του περιβάλλοντος του ανέμου στα συστήματα των φυτών καλλιέργειας. Μερικοί είναι απλοί, όπως ο τρόπος με τον οποίο θα προσανατολιστεί η φύτευση των γραμμών του φυτού καλλιέργειας, ώστε να κατευθύνεται ορθά ο άνεμος που επικρατεί μέσα από την καλλιέργεια, και κάποιοι άλλοι είναι πιο πολύπλοκοι, όπως η δημιουργία ανεμοθραυστών ή ανεμοφρακτών, ή η χρησιμοποίηση συστημάτων συγκαλλιέργειας που θα συνδυάζουν την καλλιέργεια των ευαίσθητων στον άνεμο φυτών καλλιέργειας με κάποια άλλα περισσότερο ανθεκτικά σ' αυτόν φυτά.

8.6.2.1. Ανεμοθραύστες ή ανεμοφράκτες

Στην έννοια αυτή αποδίδουμε όλες τις δομές των φραγμάτων, παρότι συνήθως αυτά αποτελούνται από δένδρα, οι οποίες τροποποιούν την πνοή του ανέμου με σκοπό να μειωθεί η αιολική διάβρωση του εδάφους, να αυξηθούν οι αποδόσεις των φυτών καλλιέργειας, να προστατευθούν οι εγκαταστάσεις των αγροκτημάτων και οι λοιπές δομές, ή σε τελική ανάλυση να πραγματοποιηθεί κάθε συνδυασμός των παραπάνω σκοπών. Οι ανεμοφράκτες δεν έχουν σκοπό να σταματήσουν τον άνεμο, αλλά αποσκοπούν στο να μεταβάλλουν τόσο την πορεία του όσο και το ρυθμό της ροής του. Συνήθως, αυτοί προσανατολίζονται κάθετα προς τον άνεμο (εάν ο σκοπός τους είναι να μετατρέψουν το ρυθμό της ροής) ή κατά μήκος της γωνίας ροής του ανέμου (εάν ο σκοπός τους είναι να ανακατευθύνουν τον άνεμο). Όταν, για τη δημιουργία μόνιμων ανεμοφρακτών στα αγροοικοσυστήματα χρησιμοποιούνται τα δένδρα, το αποτέλεσμα που προκύπτει είναι μια μορφή **αγροδασικού συστήματος**.



Εικόνα 8.3. Προφίλ του ανέμου σ' ένα φράγμα ανεμοθραύστη και σ' ένα «φίλτρο» ανεμοθραύστη. Ένα «φίλτρο» ανεμοθραύστη (διαπερατός ανεμοθραύστης) μειώνει την ταχύτητα του ανέμου αποτελεσματικότερα από ένα φράγμα ανεμοθραύστη (μη διαπερατός ανεμοθραύστης) και ο άνεμος συνεχίζει μειωμένος σε μεγαλύτερη απόσταση.

Πηγή: Προσαρμογή από τους McNaughton (1988) και Guyot (1989).

Πάνω στην τεχνολογία των ανεμοφρακτών και του ρόλου των δομών αυτών στα συστήματα φυτών καλλιέργειας σε ολόκληρο τον κόσμο, έχει διεξαχθεί μια εκτεταμένη έρευνα (Brantle & Hintz 1988). Από την έρευνα αυτή έχει αποδειχθεί ότι οι ανεμοθραύστες τροποποιούν δραματικά την ταχύτητα και τις μορφές ροής του ανέμου, και ως αποτέλεσμα αυτού προκύπτει ότι, πολλές από τις αρνητικές επιπτώσεις του ανέμου, τις οποίες παραπάνω περιγράψαμε, μειώνονται, ενώ οι καλλιέργειες ευνοούνται από κάποιες θετικές επιδράσεις. Σε τελική ανάλυση, οι αποδόσεις των φυτών καλλιέργειας και των ζώων ωφελούνται.

Η πρωταρχική επίδραση ενός ανεμοθραύστη είναι η ελάττωση της ταχύτητας του ανέμου. Ένας καλός ανεμοθραύστης μπορεί να μειώσει την ταχύτητα του ανέμου μέχρι και 80%, για μια απόσταση μετά τον ανεμοφράκτη δεκαπλάσια του ύψους των δένδρων και συχνά σε μια απόσταση 2 υψών προς την πίσω πλευρά του ανεμοθραύστη. Η περιοχή στην υπήνεμη πλευρά του φράγματος είναι γνωστή ως «ζώνη ησυχίας», μια κυρτού σχήματος περιοχή με μειωμένη σε μεγάλο βαθμό την ταχύτητα του ανέμου, με μέτρια ανατάραξη και μικρά πέρατα. Πάνω από την ήσυχη ζώνη και για μια απόσταση αρκετών υψών δένδρων περισσότερο προς τα κάτω, υπάρχει μια «αναταραγμένη ζώνη» μεγάλων περάτων, περισσότερο αναταράξιμη, και με μικρότερη μείωση της ταχύτητας του ανέμου.

Μόλις ένας ανεμοφράκτης δημιουργήσει ένα εμπόδιο στον άνεμο, καθώς ο άνεμος προσεγγίζει το φράγμα, πρακτικά αλλάζει η ροή της διεύθυνση του προς τα επάνω. Πλησίον της κορυφής του ανεμοφράκτη, η ροή συμπιέζεται και επιταχύνεται. Ακριβώς από κάτω και πίσω από το φράγμα, σε ένα συμπαγή ανεμοφράκτη η ροή μειώνεται σχεδόν στο μηδέν και σε ένα διάτρητο ανεμοφράκτη μειώνεται σε ενδιάμεσες ταχύτητες. Υπάρχει μια ζώνη ισχυρής ταχύτητας ακριβώς πάνω από την κορυφή του ανεμοφράκτη, η οποία διευρύνεται και ακολουθεί τη γραμμή ροής, καθώς αέρας ρέει προς τα κάτω. Ακολούθως, στη ζώνη ανατάραξης ο άνεμος αναμιγνύεται με τον αέρα,

μέχρι αυτός να επανακάμψει στην κανονική του ταχύτητα, σε απόσταση 20 έως 30 υψών προς την υπήνεμη πλευρά.

Η πυκνότητα και η διαπερατότητα ενός ανεμοφράκτη έχει σημαντική επίδραση στην απόσταση πάνω από την οποία ο ανεμοθραύστης μπορεί να αλλάξει την ροή του ανέμου. Οι πυκνότεροι ανεμοφράκτες δημιουργούν τις μεγαλύτερες μειώσεις στην ταχύτητα στην υπήνεμη πλευρά, αλλά η μεγαλύτερη ένταση του ανέμου βρίσκεται ανάμεσα στον αέρα που καθυστερεί πίσω από τον ανεμοθραύστη και στην ζώνη επιτάχυνσης επάνω. Επίσης, τα πυκνότερα φράγματα δημιουργούν περισσότερες αναταράξεις, αφού η κινητική ενέργεια που χάνεται από την αρχική ροή πρέπει να εξισορροπήσει από μια κινητική ενέργεια των περιδινήσεων. Αυτό οδηγεί σε μια ταχύτερη ανάκαμψη πίσω από το φράγμα της ταχύτητας του ανέμου και κατά συνέπεια, μια ελαττωμένη προστασία της περιοχής αυτής. Ένα φράγμα με διαπερατότητα 40% αποδείχτηκε ότι ελάττωσε αποτελεσματικά την ταχύτητα του ανέμου σε μια απόσταση 30 υψών προς την πορεία του ανέμου (Tibke 1988).

Εκτός από την μείωση της αιολικής διάβρωσης, η πλέον απτή επίδραση των ανεμοθραυστών είναι η επαύξηση των τελικών αποδόσεων των φυτών καλλιέργειας. Οι όγκοι των υψηλότερων αποδόσεων είναι το πλέον εμφανές κέρδος, αλλά ο πρωιμότερος χρόνος συγκομιδής και η καλύτερη συγκομίσιμη ποιότητα αποτελούν επίσης, σημαντικά οφέλη. Λιγότερη πίεση στην υπήνεμη πλευρά του φράγματος επιτρέπει στα φυτά καλλιέργειας να καταναείμουν περισσότερη ενέργεια στη βλαστητική ή την αναπαραγωγική αύξηση και λιγότερη για τη συντήρηση του φυτού. Έτσι, παρατηρείται μικρότερη φυσική καταστροφή, ελαχιστοποιούνται οι αναπνευστικές απώλειες, ενώ οι υψηλότερες θερμοκρασίες και η υψηλότερη σχετικά υγρασία συμβάλλουν στην καλύτερη ποιότητα και την μεγαλύτερη ποσότητα της παραγωγής.

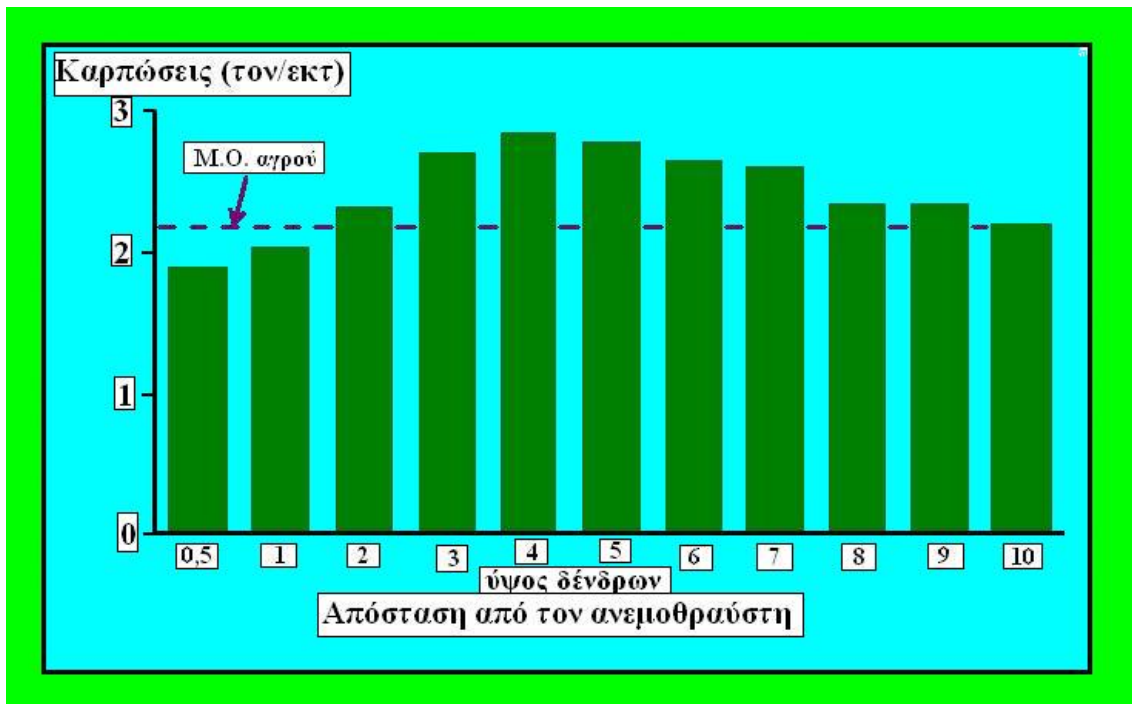
Πίνακας 8.1. Η σχετική επίπτωση των ανεμοθραυστών στις αποδόσεις σε διάφορα φυτά καλλιέργειας για παραγωγή σπόρων και ζωοτροφής

Φυτό καλλιέργειας	Σχετική αύξηση απόδοσης σε αγρούς χωρίς φράγματα
Μηδική	99
Millet	44
Τριφύλλι	25
Σίκαλη	25
Ρύζι	24
Χειμερινό σιτάρι	23
Rye	19
Μουστάρδα	13
Αραβόσιτος	12
Flax	11
Εαρινό σιτάρι	8
Βρώμη	3

Πηγή: Δεδομένα από τον Kort (1988).

Σε μια εκτεταμένη ανασκόπηση της έρευνας πάνω στα οφέλη των φυτών καλλιέργειας και των κτηνοτροφικών φυτών σε όλο τον κόσμο από την παρουσία των ανεμοφρακτών, ο Kort (1988) βρήκε ότι, τα περισσότερα από τα φυτά παρουσιάζουν καλύτερες αποδόσεις όταν αυτά αναπτύσσονται σε αγρούς με ανεμοφράκτες, αλλά μερικά επωφελούνται περισσότερο από κάποια άλλα. Ένα πλατύφυλλο κτηνοτροφικό φυτό, όπως π.χ. η μηδική, με ένα μεγάλο ρυθμό διαπνευστικής απώλειας του νερού

στον άνεμο, φαίνεται να ωφελείται περισσότερο από τον ανεμοφράκτη και οι μικροί κύκλοι σπόροι όπως είναι τα εαρινά σιτάρια και βρώμες ωφελούνται λιγότερο. Τα ευρήματα του Κοττ παρουσιάζονται στον **Πίνακα 8.1**.



Εικόνα 8.4. Η επίδραση της προστασίας του ανεμοφράκτη στις αποδόσεις της σόγιας σε ποικίλλουσες αποστάσεις από τον ανεμοφράκτη.

Πηγή: Δεδομένα από τους Baldwin & Johnston (1984).

Σε μια ανασκόπηση της επίδρασης των ανεμοφρακτών στα λαχανικά και τα ειδικά φυτά καλλιέργειας, ο Baldwin (1988) αναφέρει ότι υπάρχει μια υπερβάλλουσα ένδειξη για την υποστήριξη και τη διασάφηση των θετικών ωφελειών των καταφυγίων ανέμου. Οι αυξήσεις των αποδόσεων κυμαίνονται από 5 έως 50% για κάποιες ποικιλίες φυτών καλλιέργειας στις οποίες περιλαμβάνονται τα φασόλια, τα σακχαρότευτλα, οι τομάτες, οι πατάτες, τα πεπόνια, ο καπνός, οι φράουλες, το κακάο, ο καφές, το βαμβάκι, το καουτσούκ και η όκρα. Τα περισσότερα οφέλη παρατηρήθηκαν μέσα στα όρια των 10 υψών στην υπήνεμη πλευρά, με τα μέγιστα οφέλη να παρατηρούνται μεταξύ των 3 και των 6 υψών. Οφέλη παρατηρήθηκαν επίσης, μέσα στα 0 έως 3 ύψη δένδρων. Στην **Εικόνα 8.4** παρουσιάζεται ένα παράδειγμα που αφορά τις βελτιωμένες αποδόσεις που προκαλούνται από τους ανεμοφράκτες, αναφέρεται στη σόγια και οι αποδόσεις ποικίλουν ανάλογα με την απόσταση που αυτή έχει από τον ανεμοφράκτη. Η μεγαλύτερη ωφέλεια για τη σόγια βρέθηκε σε απόσταση 4 υψών προς την υπήνεμη πλευρά του ανεμοφράκτη. Ενδιαφέρον παρουσιάζει επίσης, ότι οι αποδόσεις της σόγιας ελαττώθηκαν μέσα στην απόσταση μικρότερη του ενός ύψους, πιθανώς, λόγω της σκίασης, του ανταγωνισμού των ριζών ή/και της αλληλοπάθειας.

Με τα λαχανικά και τα ειδικά φυτά καλλιέργειας, η βελτίωση της ποιότητας των φυτών μπορεί να έχει ένα τόσο σημαντικό όφελος όσο μπορεί να έχει και μια αυξημένη απόδοση. Η ποιότητα των φυτών καλλιέργειας μπορεί να βελτιωθεί μέσω μιας πλειάδας τρόπων, στους οποίους συμπεριλαμβάνονται η αύξηση των περιεχομένων σακχάρων στα φυτά καλλιέργειας, όπως είναι τα ζαχαρότευτλα και οι φράουλες, η μείωση της τραχύτητας από την μεταφερόμενη άμμο στα φυτά καλλιέργειας, όπως είναι τα πεπόνια και η πρωϊμότερη ωρίμανση για τις περισσότερες καλλιέργειες.

Οι ανεμοθραύστες έχουν αποδείξει επίσης ότι παρέχουν ουσιαστικά ευεργετήματα στην παραγωγή για την καλλιέργεια των οπωρώνων και των αμπελιών (Norton 1988). Η σε ολόκληρο το έτος προστασία είναι κρίσιμη για την επιβίωση και την ανάπτυξη των οπωροφόρων δένδρων και της αμπέλου. Με σκοπό την δημιουργία μεγαλύτερων αποδόσεων, η τροποποίηση του μικροκλίματος των οπωρώνων με τη μορφή ενός ανεμοθραύστη μπορεί να βελτιώσει την επικονίαση και τη καρπόδεση. Μειώνεται επίσης η μηχανική βλάβη, βελτιούμενη έτσι η ποιότητα των καρπών και το οικονομικό όφελος. Ο κατάλληλος σχεδιασμός και η κατάλληλη διαχείριση των ανεμοθραυστών μπορούν επίσης να μειώσει την εξάτμιση, να αυξήσει την ευελιξία της εφαρμογής των υλικών εντομοκτονίας, ενώ βοηθά επίσης τη διαχείριση του παγετού. Τα προστατευμένα από τον άνεμο φρούτα των εύκρατων περιοχών, όπως τα ροδάκινα, τα αχλάδια και τα σταφύλια, εμφανίζουν αυξήσεις στην κάρπωση που κυμαίνονται από 10% έως 37%, τα υποτροπικά φρούτα όπως το ακτινίδιο, τα πορτοκάλια και τα λεμόνια, εμφανίζουν αυξήσεις στην κάρπωση που είναι πάνω από 30% (ασφαλώς και σημαντικά κέρδη στην ποιότητα των φρούτων), και τα τροπικά φρούτα, όπως οι μπανάνες, εμφανίζουν αυξήσεις στην κάρπωση τουλάχιστον 15%, πρωτίστως λόγω της μείωσης του πλαγιάσματος των ώριμων βλαστών.

8.6.2.2. Τεχνικές φύτευσης

Μια εναλλακτική λύση απέναντι στους μόνιμους από δένδρα ή θάμνους ανεμοφράκτες είναι να φυτευτούν στον αγρό ετήσια φυτά που θα λειτουργήσουν υπέρ της προστασίας των φυτών καλλιέργειας από τον άνεμο. Ο αραβόσιτος (*Zea mays*), τα ηλιοτρόπια (*Helianthus annuus*) και μια πλειάδα σποροπαραγωγών φυτών καλλιέργειας, όπως το σόργο (*Sorghum bicolor*) και το πορφυρό κριθάρι (*Pennisetum americanum*) αποτελούν παραδείγματα ετήσιων φυτών που χρησιμοποιούνται για το σκοπό αυτό. Τέτοια ετήσια φράγματα έχουν συγκεκριμένα πλεονεκτήματα έναντι των πολυετών ξύλινων ανεμοφρακτών στο ότι αυτά είναι ευκολότερα, ταχύτερα και φτηνότερα να εγκατασταθούν και πολλά επιτρέπουν περισσότερη ευελιξία στις γεωργικές δραστηριότητες. Τα ετήσια φυτά – φράγματα, όπως και οι ανεμοθραύστες, ελαττώνουν την ταχύτητα του ανέμου, βελτιώνοντας έτσι τις συνθήκες υγρασίας και θερμοκρασίας για τα γειτονικά φυτά. Αυτά φυτεύονται συνήθως την ίδια χρονική στιγμή με τα φυτά της κύριας καλλιέργειας, συχνά ως ανεξάρτητες σειρές ενδιάμεσα στην κύρια καλλιέργεια.

Μια άλλη τεχνική είναι να φυτεύονται τα φυτά – φράγματα (συχνά ρύζι) ως ένα φθινοπωρινό φυτό καλλιέργειας κάλυψης και στη συνέχεια να ελαττώνεται αυτό το φυτό καλλιέργειας σε εναλλασσόμενες λωρίδες την άνοιξη με σκάψιμο (tilling), όταν φυτεύεται το φυτό κύριας καλλιέργειας. Η έρευνα έδειξε ότι η διαπερατότητα του φράγματος σε ποσοστό 40 έως 50% έχει την καλύτερη επίπτωση στις αποδόσεις του φυτού καλλιέργειας και ότι φυτά που χρειάζεται να είναι ανθεκτικά στο πλάγιασμα, φυτεύονται σε συνδέσμους σύμφωνα με τις ανάγκες των συνοδών φυτών καλλιέργειας και τις τοπικές συνθήκες του ανέμου και έχουν εγκατασταθεί αρκετά ενωρίτερα για να παρέχουν την απαραίτητη προστασία. Επειδή η φύτευση των ετήσιων ανεμοθραυστών είναι ενσωματωμένη στη διαδικασία της φύτευσης του πρωταρχικού φυτού καλλιέργειας, η τεχνική αυτή προσφέρει σημαντική ευελιξία στον αγρότη - παραγωγό. Συμπέρασμα: χάνεται ελάχιστος χρόνος και ελάχιστος χώρος καταλαμβάνεται από το φράγμα.

Τα ηλιοτρόπια συχνά χρησιμοποιούνται ως ετήσια φράγματα για να βελτιωθούν οι συνθήκες καλλιέργειας για τις τομάτες, τα μπρόκολα, τα μαρούλια και άλλα ετήσια φυτά καλλιέργειας σε ανεμόπληκτες περιοχές της California και ο αραβόσιτος συχνά

χρησιμοποιείται τα φυτά της φράουλας από την απόσχιση των φύλλων, την καταστροφή των καρπών και της μείωσης της διασποράς των επιβλαβών οργανισμών στις παράκτιες περιοχές της κεντρικής California. Οι αποδόσεις των ετήσιων φυτών καλλιέργειας, όπως τα χλωρά φασολάκια και οι νωπές τομάτες έχει αποδειχθεί ότι έχουν βελτιωθεί περισσότερο από 30% με τη χρήση τέτοιων φραγμάτων (Billbro & Frygear 1988).

Τα φυτά καλλιέργειας μπορεί επίσης να φυτευτούν με τέτοιο τρόπο ώστε από μόνα τους να καταστούν ανθεκτικά στο πλάγιασμα και τις άλλες μορφές καταστροφής από τον άνεμο. Για τα φυτά καλλιέργειας που είναι ικανά να αναπτύσσουν παράπλευρες ρίζες στο κατώτερο τμήμα του στελέχους, το βαθύτερο φύτεμα μπορεί να βοηθήσει το φυτό ώστε αυτό να αγκυρώσει γερά στο έδαφος. Τα φυτά καλλιέργειας της οικογένειας των σταυρανθών, όπως είναι τα λάχανα των Βρυξελών, τα κραμβολάχανα και τα μπρόκολα επωφελούνται σε μεγάλο βαθμό, όταν τα μεταφυτευόμενα νεόφυτα φυτεύονται αρκετά βαθιά, ώστε να καλυφθεί το μεγαλύτερο μέρος του στελέχους κάτω από της κοτυληδόνες, επιτρέποντας στο φυτό να σχηματίσει περισσότερες ρίζες καθώς αυτό αναπτύσσεται. Διαφορετικά, τα μικρά νεόφυτα με λίγα φύλλα είναι δυνατό να περιστρέφεται γύρω - γύρω, σαν ένας χαρταετός στο σχοινί όταν φυσάει και στη συνέχεια να κόβεται και να πέφτει στο χώμα.

Σε ανεμόπληκτες περιοχές στο Μεξικό, οι σπόροι του αραβόσιτου φυτεύονται βαθιά στη βάση του αυλακιού, έτσι ώστε, καθώς το φυτό αναπτύσσεται, γύρω από τη βάση του στελέχους να σχηματίζεται το έδαφος, ως ένα τμήμα της καλλιέργειας για τον έλεγχο των ζιζανίων. Μόλις το φυτό έχει σχεδόν αναπτυχθεί, τα φυτά του αραβόσιτου φαίνονται ως να έχουν φυτευτεί στην κορυφή των γραμμών και ως αποτέλεσμα της ισχυρότερης αγκύρωσής τους στο έδαφος, αυτά παρουσιάζονται περισσότερο ανθεκτικά στο πλάγιασμα. Θα λέγαμε μάλιστα, ότι θα μπορούσαν να αντέξουν συνθήκες που θα δημιουργούσαν μεταβατικές ανεμοθύελλες με ανέμους υψηλής ταχύτητας.

8.6.2.3. Χρόνος φύτευσης

Οι χρόνοι περιφοράς των φυτών καλλιέργειας μπορεί να χρησιμοποιηθούν έτσι, ώστε τα συστήματα φυτών καλλιέργειας να ρυθμιστούν με τις μορφές του ανέμου. Φυτά καλλιέργειας επιρρεπή στην καταστροφή από τον άνεμο, είναι δυνατό να φυτευτούν στις ολιγότερο ανεμόπληκτες εποχές (με την προϋπόθεση ότι όλες οι άλλες συνθήκες είναι ικανοποιητικές), και να ακολουθούν τα ανθεκτικά στον άνεμο φυτά. Εάν η υπόθεση της αιολικής διάβρωσης είναι περισσότερο από μια υπόθεση καταστροφής των φυτών καλλιέργειας από τον άνεμο, τότε θα ήταν φρονιμότερο να μην αφήσουμε ολόκληρο τον αγρό στη διάθεση του ανέμου. Έτσι, ένα τμήμα του αγρού μπορεί να φυτευτεί ενωρίτερα με ένα φυτό καλλιέργειας, το οποίο στη συνέχεια μπορεί να χρησιμοποιηθεί ως ένα είδος φράγματος για τις λωρίδες των φυτών καλλιέργειας που θα φυτευτούν σε ύστερο χρόνο. Μια άλλη επιλογή για την πρόληψη της αιολικής διάβρωσης αποτελεί η καλλιέργεια χαμηλής υπολειμματικότητας φυτών καλλιέργειας σε προστατευόμενες περιοχές και υψηλής υπολειμματικότητας φυτών καλλιέργειας σε περισσότερο εκτεθειμένες περιοχές του αγροκτήματος.

8.6.2.4. Γενετικές ποικιλίες ανθεκτικές στους ανέμους

Ένας χρήσιμος τρόπος για να προλάβουμε το πλάγιασμα των σποροπαραγωγών φυτών καλλιέργειας είναι να καλλιεργήσουμε ένα γενετικό απόθεμα που είναι

βραχύτερο σε ύψος απ' ό,τι αυτό είναι συνήθως. Οι αγρότες στο Isthmus της επαρχίας Tehuantepec στο νότιο Μεξικό για παράδειγμα, όπου ο άνεμος φυσάει σε όλη τη διάρκεια της αυξητικής περιόδου, έχουν επιλέξει για την καλλιέργεια του αραβοσίτου ποικιλίες με μικρό ύψος, με παχύτερο στέλεχος και καλά ανεπτυγμένο ριζικό σύστημα. Οι τοπικές αυτές ποικιλίες είναι σε υψηλό βαθμό ανθεκτικές στο πλάγιασμα. Μια από τις ποικιλίες αυτές, που ονομάζεται *tuxpan*, χρησιμοποιήθηκε ως γενετικό απόθεμα για διασταύρωση με βελτιωμένες ποικιλίες της Πράσινης Επανάστασης, ώστε να αναπαραχθεί βραχύτερος, ανθεκτικός στο πλάγιασμα αραβόσιτος με μεγαλύτερο βάρος σπόρου, αλλά και να αναπτυχθούν περισσότερο κατάλληλες ποικιλίες για τη συγκομιδή με μηχανήματα.

8.6.3. Τιθασεύοντας τον άνεμο

Έχουμε ήδη αναλύσει τρόπους με τους οποίους ο αγρότης – παραγωγός αντιμετωπίζει τον άνεμο με σκοπό να επωφεληθεί από τις θετικές του επιδράσεις ή να μετριάσει τις αρνητικές επιπτώσεις του. Ο άνεμος όμως, έχει και άλλες χρήσεις στα γεωργικά συστήματα, οι οποίες βοηθούν και συμβάλουν στον μεγαλύτερο σκοπό της αειφορικότητας. Η τιθάσευση της ενέργειας του ανέμου μπορεί να βοηθήσει στη μείωση των εξωτερικής προέλευσης εισροών και της χρήσης της μη ανανεώσιμης ενέργειας, ειδικότερα αυτής που προέρχεται από την κατανάλωση ορυκτών καυσίμων. Αυτό είναι ιδιαίτερα σημαντικό για τα συστήματα των μικρών αγροκτημάτων και των αγροτών των αναπτυσσόμενων χωρών.

Πολλές μέθοδοι τιθάσευσης ή χρήσης του ανέμου είναι εντελώς απλές. Για παράδειγμα, ο άνεμος μπορεί να χρησιμοποιηθεί για να ξεχωρίσουν οι σπόροι από τα λέπυρα και τα φύλλα (κοσκίνισμα). Ο άνεμος μπορεί επίσης να χρησιμοποιηθεί για την ξήρανση. Τα συγκομισμένα φυτά φασολιού μπορούν να κρεμαστούν για να προετοιμαστούν για κτύπημα, οι καρποί, όπως σταφύλια ή αχλάδια μπορεί να αφηθούν έξω για να ξηραθούν από τον άνεμο. Μια ελαφριά πνοή του ανέμου μπορεί να βοηθήσει σημαντικά στην απομάκρυνση του στρώματος υγρασίας που είναι δυνατό να σχηματιστεί γύρω από το φυτό ή το προϊόν του φυτού.

Τέλος, οι ανεμόμυλοι έχουν χρησιμοποιηθεί για να τιθαρευτεί η δύναμη του ανέμου για ένα μεγάλο εύρος γεωργικών δραστηριοτήτων, από την άντληση του νερού μέχρι τη παραγωγή ηλεκτρισμού για χρήση των αγροτικών δραστηριοτήτων ή/και των οικιστικών εγκαταστάσεων του αγροκτήματος. Τα αγροκτήματα που βρίσκονται σε απομονωμένες περιοχές, ειδικότερα στις αναπτυσσόμενες χώρες, όταν ο άνεμος αποτελεί ένα μόνιμο παράγοντα, είναι ιδιαίτερα κατάλληλα και υποψήφια για να χρησιμοποιηθεί η δύναμη του ανέμου.

8.6.4. Άνεμος και αειφορικότητα

Ο άνεμος είναι ένας σημαντικός παράγοντας του κλίματος και του καιρού σε όλη την υφήλιο. Είναι επίσης ένας παράγοντας που συχνά έχει διαλυτικές ή καταστρεπτικές επιπτώσεις στα αγροοικοσυστήματα. Εάν μάθουμε πώς πρέπει να σχεδιάζουμε τα αγροοικοσυστήματα, τότε αυτά θα είναι ικανά να σταθούν και ακόμη να αντιστρέψουν τις αρνητικές όψεις του ανέμου, και εμείς θα κάνουμε βήματα προς την αειφορικότητα. Αλλά τα πιο σημαντικά βήματα θα έρθουν με την ανάπτυξη του σχεδιασμού και τις στρατηγικές διαχείρισης που τονίζουν το θετικό ρόλο που η κίνηση του αέρα μπορεί να παίξει στη γεωργία. Σε μερικές περιπτώσεις, τα βήματα αυτά μπορεί να περιλαμβάνουν την επιστροφή στη χρήση των παλαιών τεχνολογιών, όπως

είναι η ανεμοθραύστες και οι ανεμοφράκτες. Κατά το μάλλον ή ήττον, υπάρχει η κρίσιμη αναγκαιότητα να αντιληφθούμε την οικολογική βάση στη χρήση αυτών των πρακτικών και των στρατηγικών. Μόνο τότε θα μπορέσουμε να αναπτύξουμε ένα άλλο μετρήσιμο συστατικό της αειφορικότητας, και ως αποτέλεσμα αυτού, θα βοηθήσουμε να δημιουργηθεί ένας περισσότερο δραστικός ρόλος για τους ανεμοθραύστες, τις ανεμοτουρμπίνες και τη διαχείριση των καθημερινών μορφών του ανέμου σε αειφορικά συστήματα γεωργικής καλλιέργειας.

8.7. Χρήσιμη συμπληρωματική βιβλιογραφία

Brantle, J. R. and D. L. Hintz (eds.). 1988. *Special Issue: Windbreak Technology.* Agriculture, Ecosystems, & Environment 22/23:1-598.

Caborn, M. 1965. *Shelterbelts and Windbreaks.* Faber and Faber: London.

Coutts, M. P. and J. Grace. 1995. *Wind and Trees.* Cambridge University Press: New York.

Geiger, R. 1965. *The Climate near the Ground.* Harvard University Press: Cambridge

Grace, J. 1977. *Plant response to wind.* Academic Press: London.

Reifsnyder, W. S. and T. O. Darnhofer. 1989. *Meteorology and Agroforestry.* International Council for Research in Agroforestry: Nairobi. Kenya.

Κεφάλαιο Ένατο

Το Έδαφος

9.1. Γενικά

Το έδαφος αποτελεί ένα σύνθετο, ζωντανό, μεταβαλλόμενο και δυναμικό συστατικό του αγροοικοσυστήματος. Το έδαφος υπόκειται σε μεταβολές και είναι δυνατόν αυτό είτε να υποβαθμίζεται, είτε να διαχειρίζεται με σωφροσύνη. Στο μεγαλύτερο μέρος της σύγχρονης γεωργίας, η οποία έχει στη διάθεσή της πληθώρα μηχανικών και χημικών τεχνολογιών ταχείας τροποποίησης του εδάφους, το έδαφος στο σύνολό του θεωρείται, ένα υπόβαθρο από το οποίο θα πάρουμε μια συγκομιδή. Δεν είναι άλλωστε ασύνηθες, οι γεωργοί να θεωρούν το έδαφος ως δωρεά της φύσης και να μην αποδίδουν μεγάλη σημασία στην πολυπλοκότητα των οικολογικών διαδικασιών, οι οποίες λαμβάνουν χώρα κάτω από την επιφάνεια.

Η λέξη έδαφος, στην πλέον ευρεία έννοια της, αναφέρεται σ' εκείνο το τμήμα του φλοιού της γης, πάνω στο οποίο τα φυτά απλώνουν τις ρίζες τους. Στην έννοια αυτή συμπεριλαμβάνεται και αφορά κάθε έδαφος, από τα βαθιά εδάφη του πυθμένα των ποταμών μέχρι τις σχισμές των βράχων με λίγη σκόνη και υπολείμματα φυτών. Πιο συγκεκριμένα, το έδαφος είναι το αποσαθρωμένο επιφανειακό στρώμα της γης το οποίο αναμιγνύεται με τους ζωντανούς οργανισμούς και τα προϊόντα των μεταβολικών τους δραστηριοτήτων. Το έδαφος περιλαμβάνει υλικά που προέρχονται από τους βράχους, τις οργανικές και τις ανόργανες ουσίες που προέρχονται από τους ζωντανούς οργανισμούς και τα φυσικά αέρα και το νερό που καταλαμβάνουν τους πόρους μεταξύ των μορίων του εδάφους.

Από τη γεωργική σκοπιά, ένα «ιδανικό» έδαφος συγκροτείται κατά 45% από τα ανόργανα στοιχεία, 5% από την οργανική ουσία και κατά 50% από τα κενά, με τα «κενά» να γεμίζουν κατά το ήμισυ με νερό και κατά το ήμισυ με αέρα. Είναι πολύ δύσκολο να βρεθεί ένα έδαφος, το οποίο εμείς θα μπορούσαμε να ονομάσουμε «τυπικό» έδαφος, αφού κάθε θέση ή κάθε τόπος έχει τις μοναδικές ιδιότητες, οι οποίες σε τελική ανάλυση, καθορίζουν και το τελικό αποτέλεσμα της διαδικασίας σχηματισμού του εδάφους.

9.2. Διαδικασίες σχηματισμού και ανάπτυξης του εδάφους

Σε κάθε συγκεκριμένη κλιματική περιοχή ή σε κάθε τοποθεσία, οι βιολογικές διαδικασίες συνδυάζονται με τις φυσικές και τις χημικές διαδικασίες για να σχηματίσουν το έδαφος. Μετά το σχηματισμό του, το έδαφος μεταβάλλεται και αναπτύσσεται λόγω των βιολογικών, των φυσικών και των χημικών διαδικασιών. Με τις μεταβολές στις κλίσεις, το κλίμα και τον τύπο της κάλυψης της βλάστησης, μπορούν να σχηματισθούν, σε στενή συσχέτιση του ενός με το άλλο, πολύ διαφορετικά εδάφη, ακόμη και αν το μητρικό πέτρωμα από το οποίο προέρχονται είναι δυνατό να είναι όμοιο.

Οι φυσικές διαδικασίες σχηματισμού και ανάπτυξης του εδάφους για να ολοκληρωθούν απαιτούν σημαντικά χρονικά διαστήματα. Για παράδειγμα, εκτιμάται ότι μόλις 0,5 τόνοι επιφανειακού εδάφους ανά εκτάριο σχηματίζεται ετησίως στις περιοχές παραγωγής σταριού και αραβόσιτου της κεντρικής μεσοδυτικής περιοχής των ΗΠΑ ενώ, 5 με 6 τόνοι εδάφους ανά εκτάριο εκτιμάται ότι διαβρώνονται από την εφαρμογή της συμβατικής γεωργίας στις ίδιες περιοχές. Κάποιες χρονιές οι απώλειες του εδάφους φτάνουν τους 15 με 29 τόνους (Jackson 1980).

9.2.1. Σχηματισμός του ρεγολίθου

Ως σύνολο, το στρώμα του φλοιού του ασταθούς υλικού ανάμεσα από το επιφανειακό έδαφος και του υποκείμενου αυτού στερεού μητρικού πετρώματος της γης, καλείται **ρεγολίθος**. Το πιο βασικό στοιχείο του ρεγολίθου είναι το ανόργανο συστατικό του, το οποίο σχηματίζεται από τα μόρια του εδάφους τα οποία είναι προϊόν θρυμματισμού του μητρικού πετρώματος. Σε οποιαδήποτε τοποθεσία, αυτά τα μόρια του εδάφους μπορεί να έχουν προέλθει από το υποκείμενο μητρικό πέτρωμα ή μπορεί να έχουν μεταφερθεί από οπουδήποτε αλλού. Εκεί όπου τα ανόργανα μόρια του εδάφους έχουν σχηματισθεί από το μητρικό πέτρωμα και παραμένουν επί τόπου, αυτό το έδαφος καλείται **υπολειμματικό έδαφος**. Όπου τα ανόργανα μόρια έχουν μεταφερθεί από κάποια άλλη τοποθεσία, με τη συνδρομή του ανέμου, του νερού, της βαρύτητας ή του πάγου, το έδαφος καλείται **μεταφερθέν έδαφος**.

9.2.1.1. Φυσική αποσάθρωση

Η αποσάθρωση των βράχων και των ορυκτών των πετρωμάτων είναι η πρωτογενής πηγή των ανόργανων μορίων του εδάφους, ανεξάρτητα εάν αυτά παραμένουν επί τόπου ή μεταφέρονται σε οποιοδήποτε άλλο σημείο. Οι συνδυασμένες δυνάμεις του νερού, του αέρα, της θερμοκρασίας και της βαρύτητας αποσαθρώνουν με αργό ρυθμό το μητρικό πέτρωμα, συνοδευόμενες από μια βαθμιαία αποσύνθεση αυτών καθαυτών των ανόργανων στοιχείων. Το νερό διεισδύει στις ρωγμές και τα κοιλώματα των βράχων και, λόγω των εναλλασσόμενων συνθηκών θερμότητας και ψύξης, οι βράχοι συστέλλονται και διαστέλλονται και τελικά θρυμματίζονται. Επίσης, το διοξείδιο του άνθρακα που συνοδεύει το νερό εισέρχεται στις ρωγμές των βράχων, σχηματίζει ανθρακικό οξύ, έλκει ανόργανα στοιχεία, όπως ασβέστιο και μαγνήσιο από τους βράχους και σχηματίζει ενώσεις του άνθρακα. Στη συνέχεια, αποδυναμώνει την κρυσταλλική δομή του βράχου και την καθιστά περισσότερο επιρρεπή σε μελλοντική φυσική αποσάθρωση. Τα λεπτά μόρια αναμειγνύονται με μεγαλύτερα μόρια, υποκινούμενα από τη φυσική κίνηση που δημιουργείται από τις συνδυασμένες δυνάμεις της βαρύτητας, της θερμοκρασιακής αλλαγής και των εναλλαγών ανάμεσα στην

υγρασία και την ξηρασία. Στη διάρκεια αυτής της κίνησης, ακόμη και οι συνδετικές μεταξύ των βράχων δυνάμεις μπορούν να σχηματίσουν μικρότερα μόρια. Το τελικό αποτέλεσμα είναι ο σχηματισμός ενός ασταθούς ρεγολίθου.

Ο ρεγολίθος, ανάλογα με τις τοπικές συνθήκες και τη γεωλογική ιστορία του τόπου, είναι δυνατόν είτε να έχει σχηματισθεί πρόσφατα, αφού έχει υποστεί ελαφρά αποσάθρωση και να αποτελείται ως επί το πλείστον από πρωτογενή ορυκτά συστατικά, είτε να έχει υποστεί εντατική αποσάθρωση και να έχει σχηματισθεί από περισσότερο ανθεκτικά υλικά, όπως είναι π.χ. ο χαλαζίας.

9.2.1.2. Μεταφορά

Καθώς το μητρικό πέτρωμα διασπάται σε μικρότερα και πιο χαλαρά υλικά, είναι δυνατό να παραμείνει επί τόπου και να σχηματίσει το υπολειμματικό έδαφος, αλλά η πλέον συνηθισμένη μοίρα του είναι να μεταφερθεί σε κάποια απόσταση όπου και θα εναποτεθεί. Αποσαθρωμένα εδαφικά μόρια επίσης, μπορεί να μεταφέρουν οι δυνάμεις του αέρα, της κίνησης του νερού, της βαρύτητας και του πάγου.

Τα μεταφερόμενα εδάφη εμφανίζουν διαφορετικές ταξινομήσεις, ανάλογα με τον τρόπο με τον οποίο τα μόρια του μεταφέρονται. Έτσι έχουμε:

- ✚ **Κολλούβια**, όπου τα μόρια του εδάφους έχουν μεταφερθεί λόγω της βαρύτητας,
- ✚ **Αλλούβια**, όπου τα μόρια του εδάφους έχουν μεταφερθεί λόγω της κίνησης του νερού,
- ✚ **Παγωμένα εδάφη**, όπου τα μόρια του εδάφους έχουν μεταφερθεί λόγω της κίνησης των παγετώνων,
- ✚ **Αιολικά εδάφη**, όπου τα μόρια του εδάφους έχουν μεταφερθεί λόγω του ανέμου.

9.2.2. Βιολογικές διαδικασίες

Αργά ή γρήγορα, ανάλογα με στη συνεκτικότητα του ρεγολίθου, τα φυτά εγκαθίστανται πάνω στα αποσαθρωμένα υλικά. Απλώνουν τις ρίζες τους και προσλαμβάνουν τα θρεπτικά στοιχεία από την ανόργανη ύλη, στη συνέχεια τα αποθηκεύουν για λίγο στους ιστούς τους, αλλά τελικά, αυτά επιστρέφουν στην επιφάνεια του εδάφους. Οι βαθιές ρίζες διασπών το ρεγολίθο, προσλαμβάνουν θρεπτικά στοιχεία που έχουν αποπλυθεί από την επιφάνεια και τα εναποθέτουν στην επιφάνεια σε οργανική μορφή. Τα υπολείμματα των φυτών συνεπώς, χρησιμεύουν ως μια σημαντική πηγή ενέργειας για τα βακτήρια, τους μύκητες, τους γαιοσκώληκες και τους λοιπούς μικροοργανισμούς του εδάφους, οι οποίοι είναι εγκατεστημένοι στην περιοχή.

Η οργανική ύλη διασπάται σε απλούστερες μορφές μέσω της αποσύνθεσης και της μεταλλοποίησης. Οι μικροοργανισμοί του εδάφους, σαρανταποδαρούσες, μυριόποδα, γαιοσκώληκες, ακάρεα, ακρίδες και άλλοι, καταναλώνουν τα προσφάτως αποτιθέμενα φυτικά υπολείμματα και τα μετατρέπουν, είτε σε μερικώς αποσυντιθέμενο υλικό, είτε με τη μορφή των απεκκριμάτων από τα δικά τους νεκρά σώματα. Το υλικό αυτό στη συνέχεια, αποσυντίθεται από τους μικροοργανισμούς, ως επί το πλείστο από τα βακτήρια και τους μύκητες, σε μια πλειάδα συστατικών, όπως π.χ. είναι οι υδατάνθρακες, οι λιγνίνες, τα λίπη, οι ρητίνες, ο κηρός και οι πρωτεΐνες. Ακολουθώντας, με την μεταλλοποίηση διασπώνται οι σύνθετες αυτές ενώσεις σε απλά προϊόντα, όπως π.χ. είναι το διοξείδιο του άνθρακα, το νερό, τα άλατα και τα ορυκτά στοιχεία.

Η διάσπαση της οργανικής ουσίας που παραμένει στο έδαφος, ως αποτέλεσμα της αποσύνθεσης και της μεταλλοποίησης, ονομάζεται **χούμος**. Αυτός έχει μια συγκεκριμένη διάρκεια ζωής στο έδαφος, μετά την οποία αποσυντίθεται από μόνος του. Νέος χούμος όμως, με σταθερό ρυθμό αντικαθιστά τον παλιό χούμο και το σημείο ισορροπίας ανάμεσα στους δύο αποτελεί ένα σημαντικό παράγοντα στη διαχείριση του εδάφους.

9.2.3. Χημική αποσάθρωση

Ενώ ο ρεγόλιθος σχηματίζεται και οι ζώντες οργανισμοί αρχίζουν να επιδρούν πάνω σ' αυτόν, αρχίζει επίσης και η χημική αποσάθρωση. Η χημική αποσάθρωση περιλαμβάνει τις φυσικές χημικές διαδικασίες, οι οποίες συμβάλλουν στη διάσπαση του μητρικού πετρώματος, τη μετατροπή των υλικών από τη μια μορφή στην άλλη μέσα στο έδαφος και την κίνηση των υλικών εντός του εδάφους. Πρωταρχικής σπουδαιότητας για το σχηματισμό και την ανάπτυξη του εδάφους είναι τέσσερις διαφορετικές χημικές διαδικασίες. Αυτές είναι: η **ενυδάτωση**, η **υδρόλυση**, η **διάλυση** και η **οξειδωση**.

Η **ενυδάτωση** είναι η διαδικασία της προσθήκης των μορίων του νερού στη χημική δομή ενός ορυκτού στοιχείου. Είναι μια σημαντική αιτία της κρυσταλλικής διάγνωσης και της θραύσης. Η **υδρόλυση** συμβαίνει όταν, τα ποικίλα κατιόντα της πρωτότυπης κρυσταλλικής δομής των πυριτικών ορυκτών αντικαθίστανται από ιόντα υδρογόνου, προκαλώντας την αποσύνθεση. Σε ρεγόλιθο με χαμηλό pH, η μεγαλύτερη συγκέντρωση ιόντων υδρογόνου επιταχύνει την υδρόλυση. Επίσης, στη διαδικασία αυτή, μπορεί να προσθέσει και η απελευθέρωση των οργανικών οξέων, ως ένα υποπροϊόν των μεταβολικών δραστηριοτήτων των ζώντων οργανισμών, ή ως αποσύνθεση της νεκρής οργανικής ύλης. Η διαδικασία της **διάλυσης** συμβαίνει, όταν το μητρικό πέτρωμα με μια μεγάλη συγκέντρωση ευδιάλυτων ορυκτών στοιχείων, όπως είναι τα νιτρικά και χλωρικά, οδηγείται σε διάλυση στο νερό. Ο ασβεστόλιθος είναι ιδιαίτερα επιρρεπής στη διάλυση, λόγω της παρουσίας στο νερό υψηλών ποσοτήτων ανθρακικού οξέος. Σε ακραίες περιπτώσεις, η διάλυση του ασβεστόλιθου οδηγεί στο σχηματισμό των ασβεστολιθικών σπηλαίων, σε περιοχές όπου υφίστανται υπόγειες ροές νερού. Τέλος, η **οξειδωση** είναι η διαδικασία της μετατροπής κάποιων στοιχείων, όπως π.χ. ο σίδηρος, από την πρωτότυπη ελαττωμένη μορφή τους σε μια οξειδωμένη μορφή, με την παρουσία νερού ή αέρα. Τη διαδικασία αυτή συνήθως συνοδεύει η απαλότητα της κρυσταλλικής μορφής.

Μόλις τα ορυκτά στοιχεία απελευθερωθούν από το συμπαγές μητρικό πέτρωμα, μια άλλη χημική διαδικασία με μεγάλη σημασία, είναι και ο σχηματισμός των δευτερευόντων ορυκτών στοιχείων, με τα πιο σημαντικά από αυτά να είναι τα ορυκτά της αργίλου. Η ορυκτολογία της αργίλου είναι ένα πολύ πολύπλοκο πεδίο μελέτης. Είναι όμως σημαντικό, κάποια βασικά σημεία του σχηματισμού της αργίλου να γίνουν κατανοητά, δεδομένου ότι αυτά έχουν σημαντικές επιδράσεις στην αύξηση και την ανάπτυξη των φυτών.

Τα ορυκτά στοιχεία της αργίλου είναι μεν πολύ μικρά μόρια του εδάφους, επηρεάζουν όμως, ένα εύρος διαδικασιών, οι οποίες κυμαίνονται από την συγκράτηση του νερού μέχρι τη διαθεσιμότητα των θρεπτικών στοιχείων. Ο σχηματισμός τους υλοποιείται μέσα από πολύπλοκες διαδικασίες στις οποίες τα πυριτικά ορυκτά, με χημικό τρόπο, μετατρέπονται και αναδιοργανώνονται. Τα δευτερεύοντα ορυκτά στοιχεία που σχηματίζονται είναι δύο βασικών τύπων, και εξαρτώνται από τον συνδυασμό των κλιματικών συνθηκών και του μητρικού πετρώματος. Οι τύποι είναι: (α) οι **πυριτικοί άργιλοι**, οι οποίοι κατά κύριο λόγο σχηματίζονται από μικροσκοπικές

πλάκες πυριτικού αλουμινίου με διαφορετικές διευθετήσεις και με την παρουσία ή την απουσία άλλων στοιχείων, όπως του σιδήρου και του μαγνησίου, και (β) οι **υδροξυλικόι άργιλοι**, στους οποίους απουσιάζει μια καθορισμένη κρυσταλλική δομή και σχηματίζονται από υδροξείδια αλουμινίου και σιδήρου, στα οποία πολλά από τα ιόντα πυριτίου έχουν αντικατασταθεί.

Προφανώς, οι άργιλοι που ανευρίσκονται σε οποιοδήποτε έδαφος θα είναι ένα μίγμα πολλών υποτύπων των δυο αυτών βασικών τύπων των δευτερευόντων ορυκτών της αργίλου, μολονότι είναι δυνατόν να κυριαρχούν ένας ή περισσότεροι υπότυποι. Όταν οι πυριτικοί άργιλοι κυριαρχούν, τότε υπάρχει μια πληθώρα θέσεων για να απορροφηθούν τα κατιόντα, και το έδαφος αποκτά ένα σχετικά υψηλό παραγωγικό δυναμικό. Όταν κυριαρχούν οι υδροξυλικόι άργιλοι, κατάσταση η οποία παρατηρείται σε πολλές υγρές τροπικές περιοχές, είναι διαθέσιμες λιγότερες θέσεις κατιόντων και το έδαφος καθίσταται πιο δύσκολο για την καλλιέργεια, λόγω της περιορισμένης του ικανότητας να ανταλλάσσει κατιόντα θρεπτικών στοιχείων.

Η οργανική ύλη, η οποία προέρχεται, είτε από τα υπολείμματα των φυτών, είτε από τις διεργασίες των ζωντανών οργανισμών, έχει σημαντικές επιπτώσεις σε όλες αυτές τις χημικές διαδικασίες αποσάθρωσης του μητρικού πετρώματος και επιταχύνει σε μεγάλο βαθμό τον σχηματισμό του ρεγολίθου. Όμως, δεν πρέπει να ξεχνούμε ότι, μόλις το μητρικό πέτρωμα και τα ορυκτά στοιχεία μετατραπούν σε μικρά μόρια, αρχίζει μια πλειάδα βιολογικών και χημικών αλληλεπιδράσεων, οι οποίες και παρουσιάζουν το μεγαλύτερο γεωργικό ενδιαφέρον.

9.3. Οι εδαφικοί ορίζοντες

Οι επιτόπιες χημικές, φυσικές και βιολογικές διαδικασίες στο ρεγολίθο οδηγούν, μέσα στο πέρασμα του χρόνου, στην ανάπτυξη ευδιάκριτων στρωμάτων του εδάφους, τα οποία καλούνται **ορίζοντες**. Αυτοί, όλοι μαζί, δίνουν στο έδαφος κάθε συγκεκριμένης τοποθεσίας ένα χαρακτηριστικό **εδαφικό προφίλ** (εδαφική διατομή). Κάθε ορίζοντας του εδαφικού προφίλ έχει ένα συγκεκριμένο συνδυασμό χαρακτηριστικών.

9.3.1. Το εδαφικό προφίλ

Σε γενικές γραμμές, ένα εδαφικό προφίλ αποτελείται από τέσσερις μείζονες ορίζοντες, ήτοι: τον οργανικό ή O ορίζοντα και τους τρεις ανόργανους ορίζοντες. Ο **ορίζοντας** βρίσκεται στην επιφάνεια του εδάφους. Αμέσως κάτω από αυτόν βρίσκεται ο **A ορίζοντας**, όπου συσσωρεύεται η οργανική ύλη και η δομή των εδαφικών μορίων μπορεί να είναι κοκκώδης, εύθρυπτη (με τη μορφή ψιγίων) ή πεπλατυσμένη. Κάτω από τον ορίζοντα A βρίσκεται ο **B ορίζοντας**, όπου τα υλικά που αποπλύθηκαν από τον A ορίζοντα συσσωρεύονται με τη μορφή οξειδίων του πυριτίου, της αργίλου, του σιδήρου, του αλουμινίου ή με τη μορφή του χούμου και η δομή του εδάφους είναι τετραγωνική, πρισματική ή με τη μορφή στήλης. Τέλος, υπάρχει ο **C ορίζοντας**, ο οποίος σχηματίζεται από τα αποσαθρωμένα ανόργανα υλικά, είτε αυτά προέρχονται από το υποκείμενο μητρικό πέτρωμα, είτε από υλικά που έχουν μεταφερθεί στο συγκεκριμένο χώρο σε προγενέστερους χρόνους. Μπορούμε να βρούμε επίσης, κάποια υλικά που έχουν αποπλυθεί από τους A και B ορίζοντες, όπως τα ανθρακικά άλατα του ασβεστίου και του μαγνησίου, ειδικότερα μάλιστα, σε περιοχές όπου παρατηρείται μικρή βροχόπτωση. Ανάλογα με το βάθος των παραπάνω τεσσάρων οριζόντων είναι

δυνατόν να σχηματιστεί και ένας πέμπτος ορίζοντας από συμπαγές μητρικό πέτρωμα, ο **ορίζοντας R**, ο οποίος ενδεχόμενα και να αποτελεί ένα τμήμα του εδαφικού προφίλ.



Εικόνα 9.1. Γενικευμένη σχηματική μορφή του εδαφικού προφίλ.

Δεδομένου ότι ο διαχωρισμός ανάμεσα στους ορίζοντες σπάνια είναι ευδιάκριτος, οι ορίζοντες που παραπάνω περιγράψαμε πρακτικά εμφανίζουν μια συνέχεια στο εδαφικό προφίλ. Στην **Εικόνα 9.1** παρουσιάζεται, σε σχηματική μορφή, ένα «τυπικό» εδαφικό προφίλ. Το βάθος, τα χαρακτηριστικά και η διαφοροποίηση κάθε εδαφικού προφίλ είναι αποτέλεσμα συνδυασμένων επιδράσεων των ιδιοτήτων του εδαφικού υλικού (το χρώμα του, η περιεχόμενη οργανική ουσία του, οι χημικοί και φυσικοί χαρακτήρες του), του τύπου της βλαστητικής κάλυψης και του κλίματος.

Πίνακας 9.1. Οι τέσσερις τύποι ανάπτυξης του εδάφους

Διαδικασία ανάπτυξης	Υγρασία	Θερμοκρασία	Τυπική βλάστηση	Χαρακτηριστικά
Γλειζοποίηση	Υψηλή	Ψύχος	Τούντρα	Συμπαγείς ορίζοντες, μικρή βιολογική δραστηριότητα
Ποτζολοποίηση	Υψηλή	Κρύο προς ζέστη	Δάση κωνοφόρων, Φυλλοβόλα δάση	Ανοιχτόχρωμος A ορίζοντας, κιτρινο-καστανός B ορίζοντας, πλούσιος σε σίδηρο και αλουμίνιο
Λατεριοποίηση	Υψηλή	Ζεστό προς θερμό	Δάση της βροχής	Αποσθρωμένο σε μεγάλο βάθος, μη διακριτοί ορίζοντες, πενιχρό σε θρεπτικά στοιχεία
Ασβεστοποίηση	Χαμηλή	Κρύο προς θερμό	Λιβάδια, στέπα, έρημος	Λεπτός A ορίζοντας πλούσιος σε ασβέστιο, άζωτο και οργανική ύλη (εκτός της ερήμου)

Οι διαδικασίες που οδήγησαν στη διαφοροποίηση των οριζόντων λειτουργούν με διαφορετικούς τρόπους, ανάλογα με τις περιφερειακές ή τις τοπικές συνθήκες. Οι διαφοροποιήσεις αυτές έχουν ως αποτέλεσμα τη δημιουργία τεσσάρων βασικών τύπων ανάπτυξης εδάφους, ήτοι: την **ασβεστοποίηση**, την **ποτζολοποίηση**, τη **λατεριοποίηση** και τη **γλειζοποίηση**, οι οποίοι συνοπτικά παρουσιάζονται στον **Πίνακα 9.1**. Η διαδικασία της ασβεστοποίησης είναι ως επί το πολύ χαρακτηριστική σε περιοχές με

ποώδη βλάστηση, στα ύφυγρα έως ξηρά και τα εύκρατα έως τροπικά κλίματα της υψηλίου. Η ποτζολοποίηση είναι ως επί το πλείστο χαρακτηριστική των υγρών, εύκρατων περιοχών του πλανήτη, όπου τα δάση έχουν καταστεί η κυρίαρχη βλαστητική κάλυψη για πολύ καιρό. Η λατεριοποίηση λαμβάνει χώρα σε παλαιότερα και ελαφρώς αποσαθρωμένα εδάφη των υγρών υποτροπικών και τροπικών δασωμένων περιοχών του κόσμου, και η γλειζοποίηση είναι πολύ κοινή στα εδάφη στα οποία το νερό παραμένει πάνω από ή κοντά στην επιφάνεια του εδάφους, για μια μεγάλη περίοδο του έτους. Όμως, σε συνάρτηση με τις τοπικές συνθήκες της κλίσης του εδάφους, της αποστράγγισης, της βλάστησης, του μητρικού πετρώματος κλπ., είναι δυνατόν να παρατηρηθούν συνδυασμοί των διαδικασιών αυτών. Συνολικά, ο σχηματισμός και η ανάπτυξη του εδάφους είναι μια οικολογική διαδικασία, στην οποία το έδαφος επηρεάζει τη βλάστηση και η βλάστηση επιδρά επί του εδάφους.

9.3.2. Η σπουδαιότητα του οργανικού ορίζοντα

Στα φυσικά οικοσυστήματα, ο ορίζοντας O είναι το πλέον βιολογικά δραστήριο τμήμα του εδαφικού προφίλ και κατά συνέπεια, ο πιο σημαντικός οικολογικά ορίζοντας. Παίζει ένα σημαντικό ρόλο στη ζωή και την κατανομή των φυτών και των ζώων, τη διατήρηση της γονιμότητας του εδάφους και σε πολλές άλλες διαδικασίες ανάπτυξης του εδάφους. Οι μακρο και μικροοργανισμοί που είναι υπεύθυνοι για την αποσύνθεση, είναι πάρα πολύ δραστήριοι τόσο στον ορίζοντα αυτόν, αλλά και στο ανώτερο τμήμα του A ορίζοντα. Στα καλλιεργούμενα εδάφη, ο ορίζοντας O είναι συνήθως μειωμένος ή/και πολλές φορές απουσιάζει.

O συνδυασμός του τοπικού κλίματος και του τύπου της βλάστησης συμβάλλουν στη δημιουργία συνθηκών οι οποίες προωθούν τη δραστηριότητα στον ορίζοντα αυτόν. Ακόμη, η ποιότητα του ορίζοντα αυτού έχει ισχυρή επίδραση στο είδος των οργανισμών που θα ευημερήσουν. Τα βακτήρια για παράδειγμα, ευνοούνται από τις ουδέτερες ή τις ελαφρώς αλκαλικές συνθήκες, ενώ οι μύκητες ευνοούνται από περισσότερο όξινες συνθήκες. Τα ακάρεα και κολέμπολλα που διαβιούν στο έδαφος, είναι οι περισσότερο σημαντικοί πληθυσμοί, όταν επικρατούν όξινες συνθήκες, ενώ οι γαιοσκώληκες και οι τερμίτες έχουν την τάση να κυριαρχούν σε συνθήκες ουδέτερες ή πάνω από αυτές.

Η πολύπλοκη διαδικασία της συσσωμάτωσης των εδαφικών μορίων, η οποία δημιουργεί την καλούμενη κοκκοειδή δομή του εδάφους, επηρεάζεται σε μεγάλο βαθμό από το χούμο, ο οποίος δημιουργείται κατά την αποσύνθεση του οργανικού ορίζοντα του εδάφους. Επιπλέον, πολλές διαδικασίες για τη δημιουργία της πολύτιμης γονιμότητας των εδαφών, όπως θα εξετάσουμε σε επόμενο σημείο του παρόντος κεφαλαίου, σχετίζονται στενά με τα οικολογικά χαρακτηριστικά του σημαντικού αυτού ορίζοντα.

9.4. Τα χαρακτηριστικά του εδάφους

Για να μπορέσουμε να αναπτύξουμε και να διατηρήσουμε ένα σύστημα υγιούς εδάφους, αλλά και να αποφασίσουμε να εφαρμόσουμε σταθερές και συγκεκριμένες στρατηγικές διαχείρισης αυτού, είναι πολύ σημαντικό να κατανοήσουμε κάποιες από τις πλέον σημαντικές ιδιότητες των εδαφών, οι οποίες και επηρεάζουν την παραγωγή των φυτών καλλιέργειας. Αυτές είναι η υφή του εδάφους, η δομή του εδάφους, ο χρωματισμός, η ικανότητα ανταλλαγής κατιόντων, η οξύτητα του εδάφους και το pH, η αλατότητα και η αλκαλικότητα.

9.4.1. Η υφή του εδάφους

Η υφή του εδάφους καθορίζεται, ως η εκατοστιαία αναλογία του βάρους του συνολικού ανόργανου εδάφους, όπως αυτό κατανέμεται σε διάφορες κλάσεις μεγέθους μορίων. Οι κλάσεις αυτές είναι **χονδρόκοκκο υλικό, άμμος, ιλύς και άργιλος (Πίνακας 9.2).**

Πίνακας 9.2. Ταξινόμηση της εδαφικής υφής.

Κατηγορία	Διάμετρος σε mm
Πολύ παχιά άμμος	2,00 – 1,00
Παχιά άμμος	1,00 – 0,50
Μέτρια άμμος	0,50 – 0,25
Λεπτή άμμος	0,25 – 0,10
Πολύ λεπτή άμμος	0,10 – 0,05
Πηλός	0,05 – 0,002
Άργιλος	<0,002

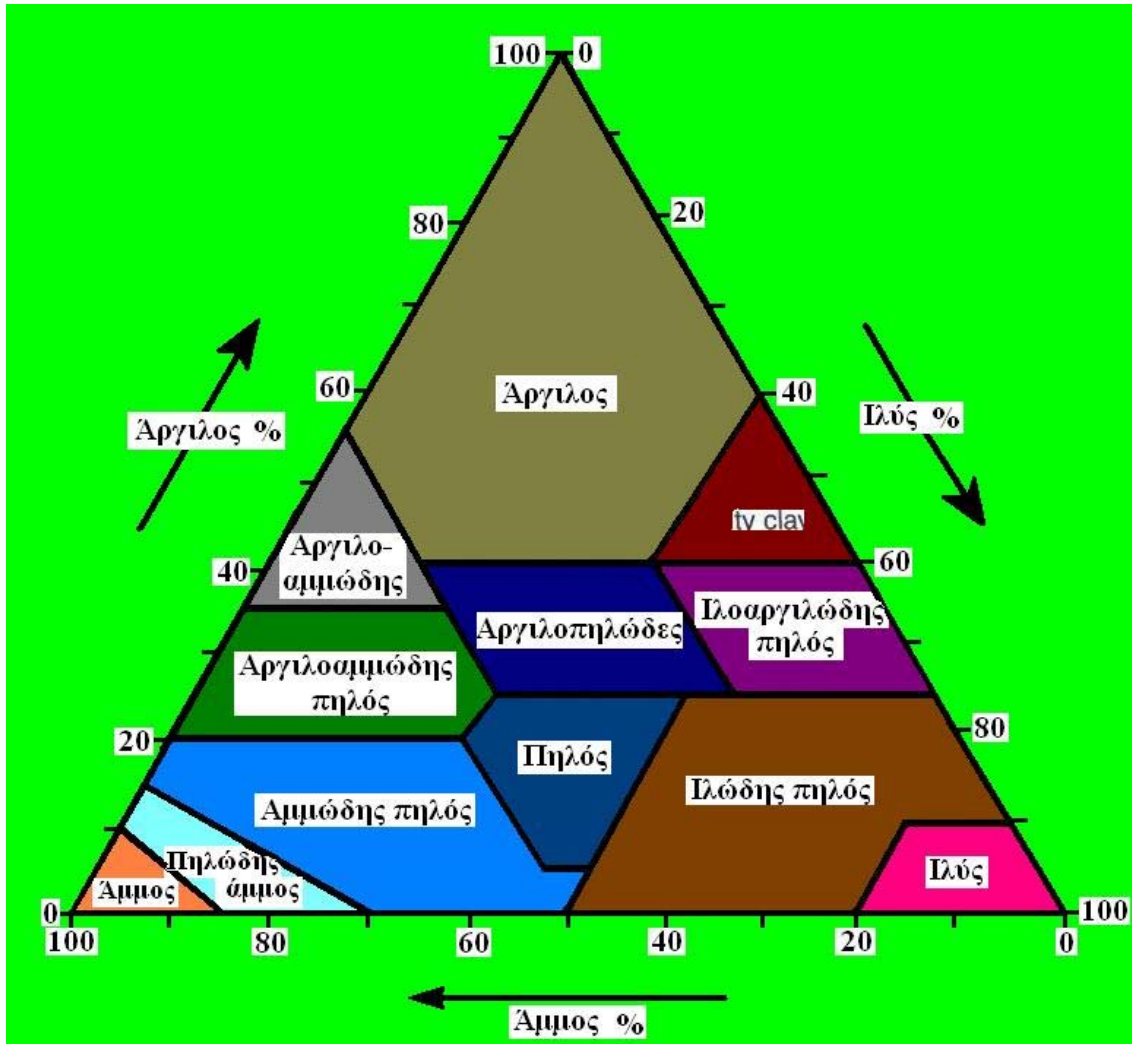
Πηγή: USDA

Τεμάχια διαμέτρου άνω των 2 χιλιοστομέτρων ταξινομούνται ως χονδρόκοκκο υλικό. Η άμμος είναι εύκολα ορατή με γυμνό οφθαλμό και, όταν την τρίβεις ανάμεσα στα δάκτυλα, έχεις την αίσθηση του τριγμού. Η χαμηλή της σχέση μεταξύ επιφανείας και όγκου την καθιστά διαπερατή από το νερό και λιγότερο ικανή να απορροφήσει και να κατακρατήσει τα θρεπτικά κατιόντα. Η ιλύς, μολονότι είναι λεπτότερη της άμμου, είναι κοκκώδης στην εμφάνιση και την αφή, αλλά συγκρατεί πρακτικά περισσότερο νερό και περισσότερα ιόντα θρεπτικών στοιχείων. Τα μόρια της αργίλου είναι δύσκολο να τα δούμε με γυμνό οφθαλμό, ξεχωριστά το ένα από το άλλο και στην όψη και την αφή αυτή μοιάζει με το αλεύρι. Τα μόρια της αργίλου που χρειάζεται μικροσκόπιο για να τα δούμε, είναι κολλοειδή, επειδή μπορούν να σχηματίσουν μια ανάρτηση στο νερό και αποτελούν δραστικές θέσεις για την συνένωση των ιόντων των θρεπτικών στοιχείων ή των μορίων του νερού. Από τα παραπάνω προκύπτει το αποτέλεσμα ότι, η ιλύς ελέγχει τις πλέον σημαντικές ιδιότητες του εδάφους, συμπεριλαμβανομένης της πλαστικότητας και της ανταλλαγής ιόντων μεταξύ των μορίων και του νερού στο έδαφος. Ένα έδαφος με υψηλή περιεκτικότητα σε ιλύ όμως, μπορεί να έχει προβλήματα με την αποστράγγιση του νερού και, όταν είναι ξηρό, μπορεί να παρουσιάσει σπασίματα.

Τα περισσότερα εδάφη αποτελούν ένα μίγμα των κλάσεων υφής, και με βάση την ποσοστιαία αναλογία κάθε κλάσης, τα εδάφη παίρνουν την ονομασία της (**Εικόνας 9.2**). Από γεωργική σκοπιά, η άμμος δίνει ένα έδαφος που αποστραγγίζεται καλά και συμβάλλει στην εύκολη καλλιέργεια, αλλά ένα αμμώδες έδαφος ξηραίνεται εύκολα και με την απόπλυση χάνει πάλι πολύ εύκολα τα θρεπτικά στοιχεία. Η άργιλος, από το άλλο άκρο, έχει την τάση να μη στραγγίζει καλά και μπορεί εύκολα να γίνει συμπαγής και δύσκολη στην κατεργασία. Όμως, είναι καλή για τη διατήρηση της υγρασίας και των θρεπτικών στοιχείων.

Στο ερώτημα για το ποια υφή είναι η καλύτερη, η απάντηση εξαρτάται από το ποια φυτά καλλιέργειας αναπτύσσονται σ' αυτή. Για παράδειγμα, οι πατάτες αποδίδουν καλύτερα σε αμμώδη, καλά στραγγιζόμενα εδάφη, τα οποία προλαμβάνουν το σάπισμα των βολβών και κάνουν ευκολότερη την συγκομιδή. Το ρύζι που καλλιεργείται σε

ελώδη εδάφη, αποδίδει πολύ καλά σε βαριά εδάφη, υψηλής περιεκτικότητας σε άργιλο, στην οποία οφείλονται και οι συγκεκριμένες προσαρμογές στα υγρά περιβάλλοντα του φυτού αυτού. Ένα ιλυοπηλώδες έδαφος μπορεί να είναι το άριστο όλων των εδαφών σε ένα ξηρό περιβάλλον, ενώ ένα αμμοπηλώδες έδαφος μπορεί να είναι καλύτερο σε ένα υγρό περιβάλλον. Οι σχέσεις των μορίων στα μίγματα μεταβάλλεται με την προσθήκη οργανικής ουσίας, όπως άλλωστε θα δούμε στη συνέχεια.



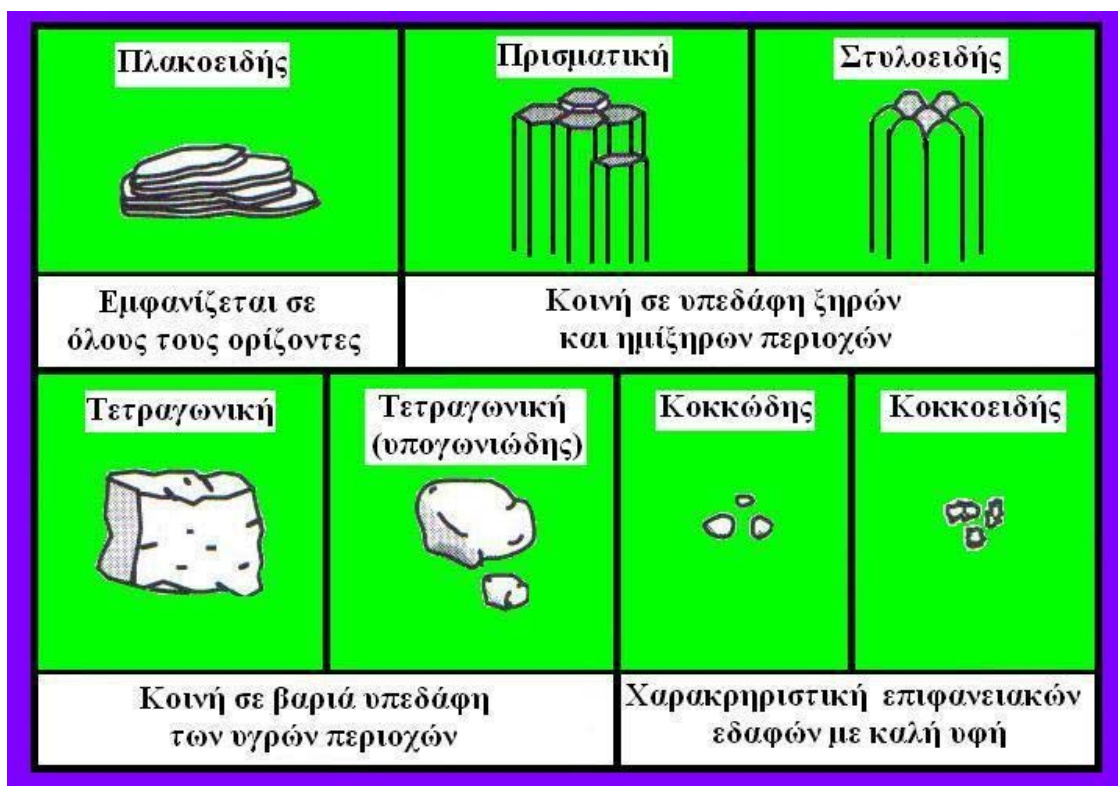
Εικόνα 9.2. Ονοματολογία της εδαφικής υφής.

Πηγή: Προσαρμογή από το USDA, 1998.

9.4.2. Η δομή του εδάφους

Μαζί με τις απόψεις της υφής που περιγράψαμε παραπάνω, τα εδάφη διαθέτουν και μια μακροδομή, η οποία σχηματίστηκε με τους τρόπους που τα ανεξάρτητα μόρια συγκρατούνται μαζί σε ομάδες διαφορετικών σχημάτων και μεγεθών, όπως παρατηρούμε άλλωστε και στην **Εικόνα 9.3**. Τα εδαφικά συσσωματώματα, με την αύξηση του βάθους του εδάφους, τείνουν να καταστούν μεγαλύτερα. Η υφή του εδάφους είναι ένας σημαντικός καθοριστικός παράγοντας της δομής, αλλά συνήθως η δομή εξαρτάται περισσότερο από την περιεχόμενη στο έδαφος οργανική ουσία, τα φυτά που αναπτύσσονται στο έδαφος, την παρουσία των οργανισμών του εδάφους και τη χημική κατάσταση του εδάφους. Η δομή του κοκκοειδούς τύπου ή του κοκκώδους

τύπου είναι από τις πλέον ωφέλιμες για την γεωργία, αφού η καλή «κοκκοειδής δομή» βελτιώνει το πορώδες του εδάφους και διευκολύνει την άροση. Όταν ένα κομμάτι από χώμα το σπάμε με το χέρι και αυτό εύκολα διαλύεται στην κοκκοειδή ή την κοκκώδη δομή, τότε μιλάμε για μια καλή κοκκοειδή δομή.



Εικόνα 9.3. Μορφές συσσωμάτωσης του εδάφους.

Πηγή: Προσαρμογή από τους Brady & Weil (1996).

Από αγροοικολογικής άποψης, μια καλή κοκκοειδής δομή έχει πολύ σπουδαία σημασία. Τα μόρια του εδάφους που είναι μαζί συνδεδεμένα, ανθίστανται στην διάβρωση από το νερό και τον αέρα, ειδικότερα μάλιστα, για την περίοδο εκείνη τους έτους κατά την οποία η βλαστητική κάλυψη είναι η ελάχιστη. Η καλή δομή επίσης, βοηθά να διατηρείται χαμηλή η **πυκνότητα**, η οποία ορίζεται ως το βάρος των στερεών ανά μονάδα όγκου του εδάφους. Το έδαφος που έχει χαμηλή πυκνότητα έχει ένα υψηλότερο ποσοστό πόρων (υψηλό πορώδες), περισσότερο αερισμό, καλύτερη διέλευση του νερού (διαπερατότητα) και μεγαλύτερη ικανότητα αποθήκευσης νερού. Προφανώς, ένα τέτοιο έδαφος είναι ευκολότερο να οργωθεί και επιτρέπει στις ρίζες των φυτών να διεισδύουν πιο εύκολα. Η υπερβολική καλλιέργεια επιταχύνει τη διάσπαση της οργανικής ουσίας και αυξάνει την πιθανότητα συμπίεσης, ανεβάζει το ποσοστό της πυκνότητας και χάνονται πολλά από τα πλεονεκτήματα της καλής κοκκοειδούς δομής.

Ο σχηματισμός των εδαφικών συσσωματωμάτων παρουσιάζει ουσιαστικά δύο συνιστώσες: την έλξη μεταξύ των καθέκαστα μορίων του εδάφους, ο βαθμός της οποίας εξαρτάται σε μεγάλο βαθμό από την εδαφική υφή, και την παγιοποίηση των ελκτικών αυτών ομάδων μορίων από την οργανική ουσία. Την πρώτη συνιστώσα δεν μπορεί εύκολα να χειριστεί ο αγρότης, αλλά η δεύτερη μπορεί πολύ εύκολα να επηρεαστεί από τις καλλιεργητικές πρακτικές. Συνεπώς, η καλή κοκκοειδής δομή μπορεί να διατηρηθεί, να υποβαθμιστεί ή να βελτιωθεί.

Για παράδειγμα, η υπερβολική άροση με βαριά μηχανήματα, ενώ το έδαφος είναι αρκετά υγρό, μπορεί να οδηγήσει στο σχηματισμό πολύ μεγάλων κομματιών

εδάφους, τα οποία όταν αργότερα ξηραθούν στην επιφάνεια, θραύονται με μεγάλη δυσκολία. Η συμπίεση, ή η απώλεια του πορώδους και η άνοδος της πυκνότητας, είναι μια ένδειξη απώλειας της κοκκώδους δομής, και μπορεί να προκληθεί από το βάρος των γεωργικών μηχανημάτων, από την απώλεια της οργανικής ουσίας λόγω υπερβολικής άρωσης, ή από το συνδυασμό και των δύο.

9.4.3. Χρωματισμός

Το χρώμα του εδάφους παίζει τον πολύ σημαντικό του ρόλο στην ταυτοποίηση των εδαφικών τύπων, ταυτόχρονα όμως, μπορεί να μας πει πολλά για την ιστορία της δημιουργίας και της διαχείρισης του εδάφους. Τα σκοτεινού χρώματος εδάφη αποτελούν γενικά μια ένδειξη, ότι το έδαφος περιέχει υψηλό ποσοστό οργανικής ουσίας. Τα ερυθρά και τα κίτρινα εδάφη υποδηλώνουν υψηλά επίπεδα οξειδίων του σιδήρου, τα οποία σχηματίστηκαν κάτω από συνθήκες καλού αερισμού και αποστράγγισης. Δεν πρέπει να παραβλέπουμε όμως, ότι τα χρώματα αυτά μπορεί να προέρχονται απευθείας από το μητρικό πέτρωμα. Τα φαιά ή τα κιτρινοκαστανά χρώματα μπορεί να είναι δείκτες πεινιχής αποστράγγισης. Τα χρώματα αυτά δημιουργούνται όταν ελαττώνεται ο σίδηρος σε μια σιδηρούχο μορφή, παρά όταν οξειδώνεται σε οξείδια του σιδήρου με την παρουσία υπερεπάρκειας οξυγόνου. Τα λευκωπά ανοιχτόχρωμα εδάφη δίνουν συχνά την ένδειξη της παρουσίας του χαλαζία, των ανθρακικών ή του γύψου. Τέλος, για τον καθορισμό του χρώματος του εδάφους χρησιμοποιούνται οι τυποποιημένοι χάρτες χρωμάτων.

Το χρώμα του εδάφους μπορεί να είναι ένας δείκτης συγκεκριμένων ειδών εδαφικών συνθηκών τις οποίες ο αγρότης – παραγωγός θα ήθελε να έχει ή θα ήθελε να αποφύγει, ανάλογα με το είδος των φυτών καλλιέργειας ή τα συστήματα καλλιέργειας που θα χρησιμοποιήσει. Για να συμπληρωθεί η εικόνα είναι απαραίτητο μια πιο ειδική ανάλυση της δομής του εδάφους και της χημείας του, αλλά το χρώμα είναι ένα καλό ξεκίνημα.

Επιπλέον, το χρώμα μπορεί να επηρεάσει την αλληλεπίδραση του εδάφους με τους άλλους παράγοντες του περιβάλλοντος. Για παράδειγμα, σε κάποια τροπικά γεωργικά συστήματα, μπορεί να θεωρηθεί πλεονέκτημα εάν έχουμε ένα ανοιχτόχρωμο, αμμώδες έδαφος στην επιφάνεια, διότι αντανακλά τις ακτίνες του ήλιου και διατηρεί το έδαφος ψυχρότερο.

Από την άλλη πλευρά, ένα σκοτεινότερο επιφανειακό έδαφος στις περιοχές με ψυχρούς χειμώνες, θα βοηθούσε έτσι, ώστε η θερμοκρασία του εδάφους να ανεβεί ευκολότερα την άνοιξη, το έδαφος να ξηραθεί ταχύτερα και να επιτραπεί σε μια πρωιμότερη χρονική στιγμή η προετοιμασία του εδάφους για το φύτεμα.

9.4.4. Ικανότητα ανταλλαγής κατιόντων

Τα φυτά προσλαμβάνουν τα θρεπτικά στοιχεία από το έδαφος με τη μορφή των διαλυτών ιόντων, η διαλυτότητα των οποίων καθορίζεται από την ηλεκτροστατική τους έλξη προς τα μόρια του ύδατος. Κάποια σημαντικά θρεπτικά στοιχεία, όπως π.χ. το κάλιο και το ασβέστιο, βρίσκονται με τη μορφή των θετικά φορτισμένων ιόντων, κάποια άλλα όμως, όπως π.χ. τα νιτρικά και τα φωσφορικά, βρίσκονται με τη μορφή των αρνητικά φορτισμένων ιόντων. Εάν τα διαλυτά αυτά ιόντα δεν προληφθούν από τις ρίζες των φυτών ή τους μύκητες, υπάρχει κίνδυνος από το εδαφικό διάλυμα να αποπλυθούν.

Τα μόρια της αργίλου και του χούμου, μεμονωμένα ή σε συσσωματώματα, σχηματίζουν επιπεδομορφες δομές, γνωστές και ως μικέλλες, και έχουν αρνητικά φορτισμένες επιφάνειες, στις οποίες κατακρατούνται στο έδαφος τα μικρότερα, περισσότερο κινητικά, θετικά φορτισμένα ιόντα. Ο αριθμός των θέσεων στις μικέλλες που είναι διαθέσιμες για τη δέσμευση των θετικά φορτισμένων ιόντων (κατιόντα), καθορίζει αυτό που ονομάζουμε **ικανότητα ανταλλαγής κατιόντων (ΙΑΚ)**, η οποία μετράται σε χιλιοισοδύναμα κατιόντων ανά 100 γραμμάρια ξηρής εδαφικής μάζας. Όσο υψηλότερη είναι η ΙΑΚ, τόσο μεγαλύτερη είναι η ικανότητα του εδάφους να συγκρατεί και να ανταλλάσσει κατιόντα, να εμποδίζει την απόπλυση των θρεπτικών στοιχείων και να παρέχει στα φυτά επαρκή διατροφή.

Η ικανότητα ανταλλαγής κατιόντων ποικίλει από έδαφος σε έδαφος, ανάλογα με τη δομή του συμπλόκου άργιλος / χούμος, τον τύπο των μικελλών που είναι παρούσες και την ποσότητα της οργανικής ουσίας που είναι ενσωματωμένη στο έδαφος. Τα πολυέδρα σχηματίζουν επιφάνειες, οι οποίες ποικίλουν σε ελκυσμό και ελαστικότητα, σε σχέση με την περιεχόμενη υγρασία. Τα κατιόντα προσκολλώνται στις αρνητικά φορτισμένες εξωτερικές επιφάνειες των μικελλών και χουμοποιούνται με ποικίλους βαθμούς έλξης. Τα πλέον συνεκτικά κατιόντα, όπως π.χ. τα ιόντα του υδρογόνου που προστίθενται με τη βροχή, τα θετικά φορτισμένα οξέα από την αποσυντιθέμενη οργανική ύλη και τα οξέα που προκύπτουν από το μεταβολισμό των ριζών, μπορεί να αντικαταστήσουν κάποια άλλα σημαντικά θρεπτικά κατιόντα, όπως αυτά του K^+ και του Ca^{2+} . Η οργανική ύλη με τη μορφή του χούμου είναι πολλαπλώς αποτελεσματική στην αύξηση της ΙΑΚ απ' ό,τι ο άργιλος, διότι διαθέτει μια περισσότερο εκτεταμένη σχέση της επιφάνειας προς τον όγκο, δηλαδή περισσότερες θέσεις απορρόφησης και διότι είναι από τη φύση της κολλοειδής. Οι καλλιεργητικές πρακτικές που ελαττώνουν την περιεκτικότητα του εδάφους σε οργανική ουσία, μειώνουν ωσαύτως και την ικανότητα ανταλλαγής κατιόντων, τον σημαντικό αυτό παράγοντα της διατήρησης της γονιμότητας του εδάφους.

Τα αρνητικά ιόντα που είναι σημαντικά για την αύξηση και την ανάπτυξη των φυτών, όπως είναι τα νιτρικά, τα θειικά και τα φωσφορικά, απορροφώνται από τις μικέλλες της αργίλου μέσω ιοντικών «γεφυρών». Κάτω από όξινες συνθήκες οι γέφυρες αυτές σχηματίζονται από ενώσεις πρόσθετων ιόντων υδρογόνου με κάποιες λειτουργικές ομάδες, όπως π.χ. η υδροξυλική ομάδα (OH). Ένα χαρακτηριστικό παράδειγμα είναι ο δεσμός της νιτρικής ρίζας (NO_3^-) με OH_2^+ , ο οποίος σχηματίζεται μετά την αποσύνδεση των μορίων του ύδατος κάτω από όξινες συνθήκες. Επειδή η οξύτητα του εδάφους επηρεάζει την ηλεκτροστατική φόρτιση στις επιφάνειες των μικελλών και ελέγχει το πότε τα άλλα ιόντα αντικαθίστανται από τις εδαφικές μικέλλες, επηρεάζει και την σε μεγάλο βαθμό κατακράτηση των ιόντων στο έδαφος και την βραχυπρόθεσμη διαθεσιμότητα των θρεπτικών στοιχείων, τα οποία αμφότερα αποτελούν παράγοντες – κλειδιά για την γονιμότητα του εδάφους.

9.4.6. Οξύτητα του εδάφους και το pH

Όλοι ασφαλώς γνωρίζουμε τη σπουδαιότητα του εδαφικού pH. Η τυπική διακύμανση του pH των εδαφών βρίσκεται ανάμεσα στο πολύ όξινο (pH = 3) και το ισχυρά αλκαλικό (pH = 8). Κάθε έδαφος με pH πάνω από 7 (ουδέτερο) θεωρείται βασικό και κάθε έδαφος με pH κάτω από 6,6 θεωρείται όξινο. Πολύ λίγα φυτά, ιδιαίτερα μεταξύ αυτών που καλλιεργούνται γεωργικά, αναπτύσσονται ικανοποιητικά έξω από το διάστημα του pH που κυμαίνεται από 5 έως 8. Τα ψυχανθή είναι ιδιαίτερος ευαίσθητα στο χαμηλό pH, λόγω της επίδρασης που έχουν τα όξινα εδάφη στη μικροβιακή συμβίωση της αζωτοδέσμευσης. Τα βακτήρια, σε γενικές γραμμές,

επηρεάζονται αρνητικά από το χαμηλό pH. Είναι αρκετά γνωστό ότι η οξύτητα του εδάφους επηρεάζει την διαθεσιμότητα των θρεπτικών στοιχείων, αλλά η επίδραση είναι λιγότερη λόγω της άμεσης τοξικότητας στα φυτά απ' ό,τι είναι λόγω της επιδεινούμενης ικανότητας του φυτού να απορροφήσει συγκεκριμένα θρεπτικά στοιχεία, είτε σε πολύ χαμηλά, είτε σε πολύ υψηλά pH. Συνεπώς, καθίσταται σημαντικό, να βρεθούν τρόποι για να διατηρηθεί το pH του εδάφους σε ένα άριστο εύρος.

Σε πολλά εδάφη η οξύτητα αυξάνεται μέσα από φυσικές διαδικασίες. Η οξύνιση του εδάφους είναι το αποτέλεσμα της απώλειας των βάσεων με την απόπλυση του ύδατος, καθώς αυτό περνάει μέσα από το εδαφικό προφίλ και κινείται προς τα βαθύτερα στρώματα, της πρόσληψης των θρεπτικών ιόντων από τα φυτά και της απομάκρυνσής τους μέσω της συγκομιδής ή της βόσκησης, αλλά και της παραγωγής οργανικών οξέων από τις ρίζες των φυτών και τους μικροοργανισμούς. Εδάφη τα οποία αδυνατούν να ανταποκριθούν σ' αυτές τις διαδικασίες εισροών ή εκροών τείνουν να αυξήσουν την οξύτητά τους.

9.4.7. Αλατότητα και αλκαλικότητα

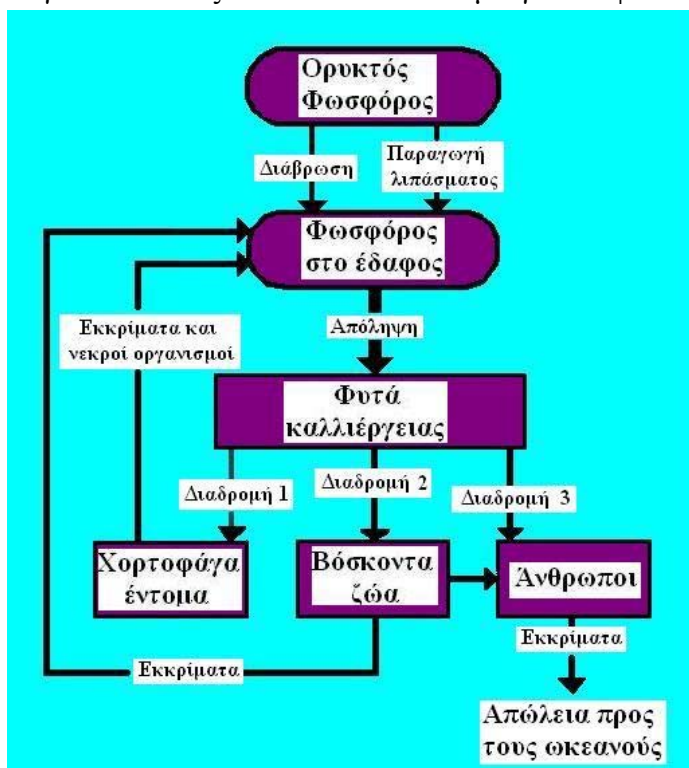
Η συσσώρευση των αλάτων, σε διαλυτή ή σε αδιάλυτη μορφή είναι συνηθισμένο φαινόμενο για τα εδάφη των ξηρών και ημίξηρων περιοχών του πλανήτη. Τα άλατα που ελευθερώνονται από το μητρικό πέτρωμα με την αποσάθρωση, συνδυάζονται με αυτά που προστίθενται από την περιορισμένη βροχόπτωση και δεν απομακρύνονται με την απόπλυση. Στις περιοχές με χαμηλό ύψος βροχοπτώσεων και με υψηλούς ρυθμούς εξάτμισης, τα διαλύματα αλάτων Na^+ και Cl^- είναι πολύ κοινά και πολλές φορές συνδυάζονται με κάποια άλλα διαλύματα αλάτων, όπως αυτά των, Ca^{2+} , Mg^{+2} , HCO_3^- και NO_3^- . Με την άρδευση μπορούν να προστεθούν περισσότερα άλατα, ειδικότερα στις περιοχές που έχουν υψηλό δυναμικό εξάτμισης, όπου, κατά τη διάρκεια της εξάτμισης, τα προστιθέμενα με τριχοειδή κίνηση άλατα μετακινούνται προς την επιφάνεια του εδάφους. Επιπλέον, πολλά ανόργανα λιπάσματα, όπως π.χ. η νιτρική αμμωνία, μπορεί να αυξήσουν την αλατότητα, επειδή έχουν την μορφή αλάτων.

Εδάφη με μια υψηλή συγκέντρωση ουδετέρων αλάτων, δηλαδή NaCl ή NaSO_4 , ονομάζονται αλατούχα εδάφη. Στις περιπτώσεις που το κάλιο συνδυάζεται με αδύνατα ανιόντα, π.χ. HCO_3^- , αναπτύσσονται τα αλκαλικά εδάφη, τα οποία έχουν ένα pH μεγαλύτερο από 8,5. Τα εδάφη με υψηλά επίπεδα ουδετέρων αλάτων αποτελούν πρόβλημα για τα φυτά, λόγω των οσμωτικών ανισορροπιών. Πρόβλημα επίσης αποτελούν και τα αλκαλικά εδάφη, εξαιτίας της υπερβολικής παρουσίας ιόντων OH^- και της δυσκολίας για να προσληφθούν τα θρεπτικά στοιχεία και να αναπτυχθούν τα φυτά. Σε κάποιες περιοχές, εμφανίζονται συνθήκες αλατότητας και αλκαλικότητας, διότι είναι παρούσες αμφότερες οι μορφές των αλάτων. Η κατάλληλη άρδευση και η ορθολογική διαχείριση του εδάφους αποτελούν το κλειδί για την επίλυση ανάλογων προβλημάτων.

9.5. Τα θρεπτικά στοιχεία του εδάφους

Αφού τα φυτά προσλάβουν τα θρεπτικά τους στοιχεία από το έδαφος, η παροχή των θρεπτικών στοιχείων στο έδαφος καθίσταται ο μείζων καθοριστικός παράγοντας για την παραγωγικότητα ενός αγροοικοσυστήματος. Για τον καθορισμό των επιπέδων των διαφόρων θρεπτικών στοιχείων του εδάφους έχουν αναπτυχθεί πολλές μεθοδολογίες ανάλυσης των θρεπτικών στοιχείων. Όταν ένα συγκεκριμένο θρεπτικό

στοιχείο δεν υπάρχει στο έδαφος σε επαρκή ποσότητα, τότε αυτό ονομάζεται **ανεπαρκές θρεπτικό στοιχείο** και πρέπει να προστεθεί. Για να καλυφτεί η ανάγκη αυτή, οι τεχνολογίες της λίπανσης έχουν προοδεύσει και έχουν εξελιχθεί. Πρέπει όμως να έχουμε καλά στο μυαλό μας, ότι η παρουσία ενός θρεπτικού στοιχείου δεν σημαίνει αναγκαστικά πως αυτό είναι διαθέσιμο για τα φυτά. Μια πλειάδα παραγόντων, στους



Εικόνα 9.4. Διαδρομές του ανακυκλωνόμενου φωσφόρου στα αγροοικοσυστήματα.

κατανοήσουμε με ποιο τρόπο τα θρεπτικά στοιχεία ανακυκλώνονται με αποτελεσματικότητα στα αγροοικοσυστήματα.

Όπως είδαμε σε προηγούμενο κεφάλαιο, τα μείζονα θρεπτικά στοιχεία είναι ο άνθρακας, το άζωτο, το οξυγόνο, ο φωσφόρος, το κάλιο και το θείο. Το κάθε ένα από τα θρεπτικά αυτά στοιχεία αποτελεί τμήμα ενός διαφορετικού βιογεωχημικού κύκλου και η σχέση του με τη διαχείριση του εδάφους είναι μοναδική. Την διαχείριση του άνθρακα θα την εξετάσουμε σε επόμενο εδάφιο, με τους όρους της οργανικής ουσίας του εδάφους, και του αζώτου στο κεφάλαιο των συμβιώσεων και του οικολογικού ρόλου της αζωτοδέσμευσης. Στο σημείο αυτό θα εξετάσουμε τον φωσφόρο, ως ένα παράδειγμα ενός σημαντικού θρεπτικού στοιχείου του εδάφους. Επειδή η αποτελεσματική ανακύκλωση του φωσφόρου εξαρτάται κυρίως από το τι συμβαίνει στο έδαφος, αυτό μπορεί να μας διδάξει αρκετά για την αειφορική διαχείριση των θρεπτικών στοιχείων.

Σε αντίθεση με τον άνθρακα και το άζωτο, των οποίων οι κυριότεροι ταμιευτήρες βρίσκονται στην ατμόσφαιρα, ο βασικός ταμιευτήρας του φωσφόρου βρίσκεται στο έδαφος. Στη φύση εμφανίζεται με τη μορφή των φωσφορικών. Τα φωσφορικά υπάρχουν στο εδαφικό διάλυμα με τη μορφή ανόργανων φωσφορικών ιόντων, ιδιαίτερα με τη μορφή της PO_4^{3-} , ή ως μέρος διαλυμάτων οργανικών ενώσεων. Όμως, η κυριότερη πηγή του φωσφόρου είναι η αποσάθρωση του μητρικού πετρώματος. Συνεπώς, η εισροή φωσφόρου στο έδαφος και η ανακύκλωσή του στα

οποίους περιλαμβάνονται το pH, η ικανότητα ανταλλαγής κατιόντων και η υφή του εδάφους, καθορίζουν την πραγματική διαθεσιμότητα των θρεπτικών στοιχείων.

Στα περισσότερα αγροοικοσυστήματα, λόγω των απωλειών ή των εκροών των θρεπτικών στοιχείων από το έδαφος εξαιτίας της συγκομιδής, της απόπλυσης ή της πτητικότητας, τα λιπάσματα πρέπει να προστίθενται συνεχώς σε μεγάλες ποσότητες. Το κόστος όμως των λιπασμάτων ως εισροή αυξάνεται και τα αποπλυνόμενα λιπάσματα ρυπαίνουν τα υδατικά αποθέματα, εδαφικά και επιφανειακά, με συνέπεια να αποκτά ουσιαστική σημασία για μια μακροπρόθεσμη αειφορικότητα, το να

αγροοικοσυστήματα περιορίζεται από τον σχετικά αργό ρυθμό της γεωλογικής αυτής διαδικασίας.

Τα ιόντα ανόργανου διαλυτού φωσφόρου απορροφούνται από τις ρίζες των φυτών και ενσωματώνονται στη βιομάζα του φυτού. Ο φωσφόρος στη βιομάζα αυτή μπορεί να φτάσει μέσα από τρεις διαφορετικές διαδρομές. Όπως φαίνεται και στην **Εικόνα 9.4**, η κατανάλωση της φυτικής βιομάζας από τα επιβλαβή φυτοφάγα, τα βόσκοντα ζώα ή τους ανθρώπους που συγκομίζουν τη βιομάζα αποτελούν τις τρεις διαδρομές. Στην πρώτη διαδρομή ο φωσφόρος επιστρέφει στο έδαφος με τη μορφή απεκκριμάτων, όπου αυτά και αποσυντίθενται, ενώ στη συνέχεια αυτά εισέρχονται στο εδαφικό διάλυμα. Στη δεύτερη διαδρομή ο φωσφόρος μπορεί να ανακυκλωθεί με τον ίδιο τρόπο, αλλά, εάν τα βόσκοντα ζώα οδηγηθούν στην αγορά, κάποια ποσότητα φωσφόρου θα φύγει μαζί τους. Στην τρίτη διαδρομή, υπάρχει πολύ μικρή πιθανότητα ο φωσφόρος να επιστρέψει στο έδαφος από το οποίο αυτός έχει εξαχθεί, εκτός ασφαλώς από τα περισσότερα μέρη της Κίνας, στα οποία τα ανθρώπινα περιττώματα χρησιμοποιούνται ως λίπασμα.

Το μεγαλύτερο μέρος του φωσφόρου που καταναλώνεται από τους ανθρώπους με τη μορφή της φυτικής βιομάζας ή της ζωικής σάρκας, είναι ουσιαστικά χαμένο για το σύστημα. Ένα παράδειγμα για το τι μπορεί να συμβεί στον φωσφόρο στην τρίτη διαδρομή (ανθρώπινη κατανάλωση), μπορεί να διασαφηνίσει το πρόβλημα, προέρχεται από τις ΗΠΑ. Τα φωσφορικά εξορύσσονται από πλούσια σε φωσφορικά θαλάσσια αποθέματα, τα οποία έχουν γεωλογικά ανυψωθεί και εκτεθεί στην πολιτεία της Florida, και μετά από τη διαδικασία της μετατροπής τους σε διαλυτά λιπάσματα ή σε σκόνη αποστέλλονται στα αγροκτήματα της Iowa, όπου εφαρμόζονται στο έδαφος για την παραγωγή σόγιας. Ένα τμήμα του φωσφόρου, με τη μορφή φωσφορικών, προσλαμβάνεται από το φυτό και στη συνέχεια στους καρπούς που συγκομίζονται και αποστέλλονται στην California, όπου οδηγούνται στην κατανάλωση. Μετά την κατανάλωση, το μεγαλύτερο μέρος του απελευθερωμένου φωσφόρου βρίσκει το δρόμο του στα τοπικά συστήματα αποχέτευσης και ακολούθως καταλήγει στη θάλασσα, 3000 μίλια μακριά από εκεί που ξεκίνησε. Επειδή λοιπόν, ο αναγκαίος χρόνος για να δημιουργηθούν οι επαρκείς αποθέσεις πετρωμάτων πλούσιων σε φωσφόρο, οι οποίες μέσω των γεωλογικών διαδικασιών θα καταστούν εξορύξιμες, ξεπερνούν τα περατά όρια του ανθρώπινου βίου και επειδή τα γνωστά, εύκολα διαθέσιμα αποθέματα φωσφόρου είναι πολύ περιορισμένα, οι τρέχουσες πρακτικές της διαχείρισης των φωσφορικών λιπασμάτων σε πολλά σύγχρονα αγροοικοσυστήματα οφείλουμε να πούμε ότι δεν είναι αειφορικές.

Για να συμβεί μια αειφορική διαχείριση του φωσφόρου, τα φωσφορικά πρέπει να διέλθουν ταχύτατα μέσα από το εδαφικό τμήμα του κύκλου και να επιστρέψουν ξανά στο φυτό, χωρίς να δεσμευτούν σε αποθέσεις ή να οδηγηθούν στη θάλασσα. Πρέπει να βρεθούν τρόποι, οι οποίοι θα διατηρούν τον φώσφορο σε μια οργανική μορφή, είτε στην ιστάμενη βιομάζα, είτε στην οργανική ουσία του εδάφους και αυτό να διασφαλίζεται από το ότι, μόλις ο φωσφόρος θα απελευθερώνεται από την οργανική αυτή μορφή, αυτός θα απορροφάται γρήγορα από τους μικροοργανισμούς του εδάφους ή τις ρίζες των φυτών.

Ένα επιπρόσθετο συστατικό της αειφορικής διαχείρισης του φωσφόρου έχει να κάνει με τον σχηματισμό των αδιάλυτων ενώσεων του φωσφόρου στο έδαφος. Τα φωσφορικά διαλύματα στο εδαφικό αντιδρούν συχνά με χημικό τρόπο, ειδικά με τον σίδηρο και το αλουμίνιο, και σχηματίζουν αδιάλυτες ενώσεις, ή παγιδεύονται στις μικέλλες της αργίλου, πέρα από τα όρια της βιολογικής ανάκαμψης. Το χαμηλό pH του εδάφους επιδεινώνει το πρόβλημα της φωσφορικής δέσμευσης σε μια αδιάλυτη μορφή. Ταυτόχρονα όμως, οι διαδικασίες αυτές παρέχουν ένα ισχυρό μηχανισμό για την

συγκράτηση του φωσφόρου στα εδάφη του αγροοικοσυστήματος. Τα φωσφορικά λιπάσματα που προστίθενται στο έδαφος συγκρατούνται σχεδόν πλήρως. Μερικά γεωργικά εδάφη της California, μετά από αρκετές δεκαετίες καλλιέργειας, επιδεικνύουν πολύ υψηλά επίπεδα συνολικού φωσφόρου, τα οποία όμως δεν είναι εύκολα διαθέσιμα. Έτσι, η απόπλυση του φωσφόρου από τα αγροοικοσυστήματα μπορεί να είναι πολύ μικρή, αλλά η μη διαθεσιμότητα του φωσφόρου από το έδαφος, ως συστατικό του συστήματος, άπαξ και δεσμευτεί, απαιτεί περαιτέρω προσθήκη διαθέσιμου φωσφόρου με τη μορφή του λιπάσματος. Ασφαλώς, το βιολογικό μέσο της απελευθέρωσης του «αποθηκευμένου» αυτού φωσφόρου θα μπορούσε να συμβάλλει καλύτερα στην αειφορικότητα. Τα μέσα αυτά έχουν πολλά να προσφέρουν στη διαχείριση της οργανικής ουσίας του εδάφους.

9.6. Η οργανική ύλη του εδάφους

Στα φυσικά οικοσυστήματα, το περιεχόμενο της οργανικής ύλης στον Α ορίζοντα μπορεί να κυμανθεί από 15 έως 20% ή και περισσότερο, αλλά στα περισσότερα εδάφη κυμαίνεται από 1 έως 5%. Όταν απουσιάζει η ανθρώπινη παρέμβαση, η περιεχόμενη στο έδαφος οργανική ύλη εξαρτάται σε μεγάλο βαθμό από το κλίμα και την κάλυψη της βλάστησης. Σε γενικές γραμμές, κάτω από τις συνθήκες των ψυχρών και υγρών κλιμάτων, η ποσότητα της οργανικής ύλης είναι μεγαλύτερη. Επίσης, είναι γνωστό ότι υπάρχει μια στενή συσχέτιση μεταξύ της ποσότητας της οργανικής ύλης του εδάφους και των περιεχομένων στο έδαφος οξυγόνου και αζώτου. Μια κατά προσέγγιση εκτίμηση της περιεχόμενης στο έδαφος οργανικής ύλης μπορεί να επιτευχθεί, είτε με το πολλαπλασιασμό της ολικής περιεκτικότητας σε άνθρακα επί 2, είτε του συνολικού αζώτου επί 20.

Η εδαφική οργανική ύλη αποτελείται από διάφορα, ετερογενή συστατικά. Η ζώσα ύλη της περιλαμβάνει τις ρίζες, τους μικροοργανισμούς και την πανίδα του εδάφους. Στα αβιοτικά υλικά περιλαμβάνονται ο ξηροτάπητας, οι νεκρές ρίζες, οι μικροβιακοί μεταβολίτες και οι χουμικές ουσίες. Τα μη βιοτικά συστατικά βρίσκονται κατά πολύ σε μεγαλύτερη αναλογία. Μεταξύ των βιοτικών και των αβιοτικών συστατικών της οργανικής ύλης επικρατεί μια συνεχής αντίδραση. Οι πολύπλοκες ανθρακικές ενώσεις του φυτικού ξηροτάπητα μεταβολίζονται ή αποσυντίθενται γρήγορα, μέσα από τη διαδικασία της χουμοποίησης, η οποία ακολούθως προσδίδει ένα σκοτεινότερο χρώμα στο έδαφος, καθώς από αυτή παράγονται χουμικά υπολείμματα ή χούμος. Τα χουμικά υπολείμματα αποτελούνται από συμπαγή αρωματικά πολυμερή, τα οποία κανονικά εμφανίζουν μια σχετική αντίσταση σε περαιτέρω διάσπαση και κανονικά είναι ικανά να σταθεροποιηθούν στο έδαφος. Το τμήμα της οργανικής ύλης που σταθεροποιείται, διέρχεται στη συνέχεια την διαδικασία της μεταλλοποίησης, απελευθερώνοντας θρεπτικά στοιχεία, τα οποία προσλαμβάνονται από τις ρίζες των φυτών. Μεταξύ της χουμοποίησης και της μεταλλοποίησης υπάρχει μια ισορροπία, η οποία όμως, υπόκειται σε μεταβολές, ανάλογα με τη εφαρμοζόμενη γεωργική πρακτική.

Κατά τη διάρκεια της ζωής της στο έδαφος, η οργανική ύλη παίζει πολύ σημαντικούς ρόλους, οι οποίοι έχουν μεγάλη σπουδαιότητα για την αειφορική γεωργία. Εκτός ασφαλώς από την παροχή της πλέον εμφανούς πηγής των θρεπτικών στοιχείων για την αύξηση των φυτών, η οργανική ύλη δομεί, προωθεί, προστατεύει και διατηρεί το εδαφικό οικοσύστημα. Όπως έχουμε συζητήσει ήδη, η οργανική ύλη του εδάφους είναι το συστατικό – κλειδί μιας καλής εδαφικής δομής, αυξάνει την συγκράτηση νερού και θρεπτικών στοιχείων, είναι η πηγή της τροφής για τους μικροοργανισμούς του εδάφους και παρέχει μια σημαντική μηχανική προστασία στην επιφάνεια του εδάφους.

Αναλόγως με τις εφαρμοζόμενες γεωργικές πρακτικές όμως, οι χαρακτήρες αυτοί μπορεί να αλλοιωθούν, προς το καλύτερο αλλά και προς το χειρότερο. Απ' όλα τα εδαφικά χαρακτηριστικά, ο παράγοντας τον οποίο εμείς μπορούμε να χειριστούμε καλύτερα είναι η οργανική ύλη.

Άπαξ και το έδαφος τεθεί υπό καλλιέργεια, τα επίπεδα της οργανικής ύλης αρχίζουν να μειώνονται, εκτός εάν ληφθούν συγκεκριμένα μέτρα για την διατήρησή τους. Μετά από μια αρχική μείωση, η πτώση επιβραδύνεται. Στο έδαφος συμβαίνουν αρκετά είδη μεταβολών ως συνέπεια της απώλειας της οργανικής ύλης. Χάνεται η κοκκιώδης δομή, αρχίζει να ανέρχεται η πυκνότητα, υποφέρει το πορώδες και υποχωρεί η βιολογική δραστηριότητα. Προβλήματα ωσαύτως μπορεί να αποτελέσουν η συμπίεση του εδάφους και η ανάπτυξη ενός συμπίεσμένου στρώματος στο μέσο καλλιεργητικό βάθος.

Υπό το καθεστώς της καλλιέργειας, η έκταση στην οποία μπορεί να φτάσει η μείωση της περιεχόμενης στο έδαφος οργανικής ουσίας εξαρτάται από τις εφαρμοζόμενες πρακτικές των φυτών καλλιέργειας. Στη συνέχεια θα παρουσιάσουμε κάποια παραδείγματα.

Σε μια μελέτη, η περιεχόμενη οργανική ύλη στα ανώτερα 25 εκατοστόμετρα του εδάφους δύο αγροοικοσυστημάτων που χρησιμοποιούνταν για την εντατική παραγωγή λαχανικών στη παράκτια κεντρική California, συγκρίθηκε τόσο μεταξύ αυτών όσο και με ένα μη καλλιεργούμενο ποολίβαδο, που χρησιμοποιήθηκε ως μάρτυρας. Το ένα σύστημα καλλιεργήθηκε για 25 έτη με τη χρήση βιολογικών γεωργικών πρακτικών και το άλλο για 40 έτη κάτω από συνθήκες συμβατικής γεωργίας. Η μελέτη έδειξε ότι, η περιεχόμενη οργανική ύλη ελαττώθηκε από τα 9.869 χιλιόγραμμα ανά κυβικό μέτρο στα 8.705 χιλιόγραμμα ανά κυβικό μέτρο στο βιολογικό σύστημα καλλιέργειας και στα 9.088 χιλιόγραμμα ανά κυβικό μέτρο στο συμβατικά καλλιεργούμενο σύστημα (Waldon 1994). Παρατηρήθηκε επίσης ότι, η καλλιέργεια μείωσε σημαντικά την οργανική ύλη του εδάφους περισσότερο από το συμβατικό σύστημα, ακόμη και με τις υψηλές εισροές της οργανικής ύλης με τη μορφή της κομπόστας και των χειμερινών καλλιεργειών κάλυψης στο βιολογικό σύστημα.

Σε μια άλλη περίπτωση, μετά από 15 έτη συνεχούς παραγωγής σποροδοτικών φυτών, όπως αυτών του αραβόσιτου και του ρυζιού, η οργανική ύλη στα ανώτερα 15 εκατοστόμετρα ενός βαρέως αλλουβιακού αργιλώδους εδάφους στις υγρές χαμηλές περιοχές του τροπικού Tabasco, στο Μεξικό, ήταν λιγότερο από 2%, συγκρινόμενη με την περιεχόμενη οργανική ύλη σε ποσοστό πάνω από 4% σε γειτονική περιοχή ανυλοτόμητου τροπικού δάσους (Gliessman & Amador 1980). Σ' ένα παρόμοιου τύπου έδαφος, μια φυτεία κακάο ήταν ικανή να διατηρήσει στα ίδια επίπεδα περίπου (3,5%), την περιεχόμενη στο έδαφος οργανική ύλη, αποδεικνύοντας την αρνητική επίδραση στην διαταραχή της οργανικής ύλης του εδάφους των καλλιεργητικών συστημάτων και του ρόλου της βλαστητικής κάλυψης στη διατήρησή της.

Σε άλλη μελέτη, η οποία συνέκρινε εδάφη μετά από 75 έτη βιολογικής και συμβατικής καλλιέργειας για την παραγωγή σιταριού, στην Ανατολική Washington, βρέθηκε ότι η οργανική ύλη όχι μόνο διατηρήθηκε στο βιολογικό σύστημα, αλλά πρακτικά αυξήθηκε με το χρόνο, ενώ τα επίπεδα παραγωγής για την βιολογικό σύστημα ήταν παραπλήσια με αυτά του συμβατικού συστήματος (Reganold *et al.* 1987).

Από τα παραπάνω τρία παραδείγματα μπορούμε να διαπιστώσουμε ότι ο τύπος του φυτού καλλιέργειας, η διαχείριση των εισροών, το τοπικό περιβάλλον και οι καλλιεργητικές πρακτικές, όλα συντέιναν, ώστε να καθοριστούν οι μακροχρόνιες επιδράσεις της καλλιέργειας στην οργανική ύλη του εδάφους.

9.7. Διαχείριση του εδάφους

Στα σύγχρονα καλλιεργητικά συστήματα, το έδαφος χρησιμοποιείται ως να ήταν κυρίως, ένα μέσο για τη στερέωση των φυτών. Όταν το έδαφος διαχειρίζεται για αειφόρο παραγωγή και η έμφαση δίδεται στο ρόλο της οργανικής ύλης του εδάφους, τότε ο ρόλος του εδάφους διευρύνεται.

Πολλοί αγρότες – παραγωγοί αισθάνονται ότι εάν από τη γη αποληφθεί μια υψηλή απόδοση, τότε αυτό αποτελεί απόδειξη ενός παραγωγικού εδάφους. Όμως, εάν η προοπτική είναι αγροοικολογική και ο σκοπός είναι η διατήρηση και η προώθηση όλων των διαδικασιών του εδαφικού σχηματισμού και της εδαφικής προστασίας και εμπλέκεται η οργανική ύλη τότε, ένα παραγωγικό έδαφος δεν είναι αναγκαστικά και ένα γόνιμο έδαφος. Οι διαδικασίες στο έδαφος που μας καθιστούν ικανούς να παράγουμε ένα φυτό καλλιέργειας αποκτούν μεγαλύτερη σπουδαιότητα στην αειφόρο γεωργία. Τα λιπάσματα μπορεί να προστεθούν για τη αύξηση της παραγωγής, αλλά η γονιμότητα του εδάφους μπορεί να συντηρηθεί και να αποκατασταθεί μόνο μέσω της κατανόησης των βιογεωχημικών κυκλωμάτων και των οικολογικών διαδικασιών, (ειδικότερα της δυναμικής της οργανικής ύλης του εδάφους).

9.7.1. Διαχείριση της οργανικής ύλης

Το πρώτο βήμα για την ανάπτυξη της οργανική ύλης του εδάφους είναι η διατήρηση σταθερών εισροών νέας οργανικής ύλης, η οποία και θα αντικαθιστά εκείνη που χάνεται μέσω της συγκομιδής και της αποσύνθεσης. Εάν το αγροοικονομικό σύστημα ήταν παρόμοιο με το φυσικό οικοσύστημα, μια ποικιλότητα φυτικών ειδών θα μπορούσε να ήταν παρούσα μαζί με το φυτό ή τα φυτά καλλιέργειας που αναπτύσσονται για συγκομιδή. Πολλά αγροδοασικά συστήματα, ειδικότερα στη γεωργία των τροπικών, εμφανίζουν ένα μεγάλο αριθμό φυτών, πολλά από τα οποία δεν είναι φυτά καλλιέργειας, ο πρωταρχικός ρόλος των οποίων είναι η παραγωγή βιομάζας και η επιστροφή της οργανικής ύλης στο έδαφος. Όμως, η σύγχρονη γεωργία, η οποία είναι προσανατολισμένη στις συνθήκες της αγοράς, έχει μειώσει σε μεγάλο βαθμό την ποικιλότητα των φυτών, έτσι ώστε, η οργανική ύλη που επιστρέφει στο έδαφος να είναι πολύ λίγη.

9.7.1.1. Υπολείμματα των καλλιεργειών

Μια σημαντική πηγή οργανικής ύλης είναι τα υπολείμματα που παραμένουν μετά τη συγκομιδή των φυτών καλλιέργειας. Πολλοί αγρότες – παραγωγοί πειραματίζονται για καλύτερους τρόπους επιστροφής στο έδαφος των τμημάτων των φυτών καλλιέργειας, τα οποία δεν προορίζονται για χρήση από τον άνθρωπο ή τα ζώα. Για να αναπτυχθούν όμως, στρατηγικές αποτελεσματικής διαχείρισης των υπολειμμάτων των φυτών καλλιέργειας, πρέπει να επιλυθούν αρκετά ζητήματα. Ένα μείζονος σημασίας ζήτημα είναι το ποιος θα είναι ο χειρισμός των επιβλαβών οργανισμών ή των ασθενειών, τους οποίους τα υπολείμματα θα φιλοξενήσουν και θα μεταφέρουν στην επόμενη καλλιεργητική περίοδο. Κάποιοι πιθανοί τρόποι για να ξεπεραστεί το πρόβλημα αυτό να είναι ίσως, η επιλογή της κατάλληλης χρονικής στιγμής για την ενσωμάτωση των υπολειμμάτων στο έδαφος, ή οι εκ περιτροπής καλλιέργειες και η κομποστοποίηση των υπολειμμάτων μακριά από τον αγρό και η επιστροφή της ολοκληρωμένης κομπόστας. Για μια περισσότερο οριστική λύση το θέμα απαιτεί περαιτέρω έρευνα.

9.7.1.2. Κάλυψη καλλιεργειών

Η καλλιέργεια των φυτών κάλυψης, στην οποία ένα φυτό κάλυψης καλλιεργείται ειδικότερα για την παραγωγή φυτικού υλικού που θα ενσωματωθεί ως «χλωρή λίπανση» στο έδαφος, είναι άλλη μια σημαντική πηγή οργανικής ύλης. Τα φυτά καλλιέργειας για κάλυψη αναπτύσσονται συνήθως σε περιφορά με ένα φυτό καλλιέργειας ή κατά τη χρονική διάρκεια του έτους που δεν υπάρχει οικονομική καλλιέργεια. Όταν χρησιμοποιούνται ως φυτά κάλυψης τα ψυχανθή, από μόνα τους ή σε συνδυασμό με άλλα μη ψυχανθή είδη, η ποιότητα της βιομάζας είναι δυνατό να βελτιωθεί σε μεγάλο βαθμό. Η βιομάζα που θα προκύψει μπορεί να ενσωματωθεί στο έδαφος ή να αφηθεί ως ένα στρώμα προστασίας στην επιφάνεια του εδάφους, μέχρις ότου αυτή αποσυντεθεί.

Σε έρευνα που διενεργήθηκε στο Πανεπιστήμιο της California Santa Cruz (Gliessman 1987), μια τοπική ποικιλία κουκιών με την τοπική ονομασία κουδουνοφάσουλο (*Vicia faba*) αναπτύχθηκε ως καλλιέργεια κάλυψης σε συγκαλλιέργεια με κριθάρι ή/και βρώμη κατά τη διάρκεια της περιόδου αγρανάπαυσης του υγρού χειμώνα. Από την μελέτη αποδείχθηκε ότι η παραχθείσα συνολική ξηρή ουσία στα μίγματα αγρωστώδη / ψυχανθή ήταν σχεδόν διπλάσια από αυτή του ψυχανθούς. Μετά από τρία έτη συνεχούς καλλιέργειας φυτών κάλυψης, τα επίπεδα της οργανικής ύλης στα εδάφη υπό μικτή χρήση, βελτιώθηκαν κατά 8,8%. Ενδιαφέρον ήταν επίσης το γεγονός, ότι μετά από τα τρία έτη, στα εδάφη με την καλλιέργεια κάλυψης μόνο του ψυχανθούς μειώθηκε ελαφρά η περιεχόμενη στο έδαφος οργανική ύλη, προφανώς λόγω της χαμηλότερης σχέσης του άνθρακα προς το άζωτο της ενσωματωμένης οργανικής ύλης, η οποία προκάλεσε και ταχύτερη μικροβιακή διάσπαση.

Μια περισσότερο πρόσφατη καινοτομία, σχετικά με τα καλλιεργούμενα φυτά κάλυψης, είναι και η χρήση της ζωντανής φυτικής ύλης, κατά την οποία κατά τη διάρκεια του καλλιεργητικού κύκλου ένα μη καλλιεργούμενο είδος φυτεύεται ανάμεσα στις γραμμές των φυτών της καλλιέργειας. Η ζωντανή φυτική ύλη είναι ιδιαίτερα δημοφιλής για τα αμπέλια, τους κήπους και τους οπωρώνες. Η έρευνα για την ελαχιστοποίηση των αρνητικών αντιδράσεων ανάμεσα στις καλλιέργειες κάλυψης και τα φυτά καλλιέργειας, ειδικότερα της ζωντανής φυτικής ύλης, είναι πάρα πολύ απαραίτητη.

9.7.1.3. Κοπριά

Μια πρακτική η οποία χρησιμοποιήθηκε για πολλά χρόνια, τόσο στα συμβατικά όσο και στα εναλλακτικά συστήματα γεωργίας, είναι η προσθήκη της κοπριάς των ζώων στο έδαφος, ώστε να βελτιωθεί η περιεχόμενη σ' αυτό οργανική ύλη. Οι κτηνοτροφικές μονάδες παράγουν μεγάλα ποσά ζωικών αποβλήτων τα οποία, όταν αυτά επιστρέφουν στους αγρούς, μετατρέπονται σε ένα χρήσιμο λιπαντικό πόρο. Οι μικρές γεωργικές μονάδες μπορούν να χρησιμοποιήσουν την κοπριά από τα ζώα που συσσωρεύεται στους στάβλους ή αλλού, για την εντατική παραγωγή λαχανικών («κι κοπριά στα λάχανα»). Η χρήση των αποβλήτων του μεταξοσκώληκα στην Κινέζικη γεωργία είναι ένα ακόμη παράδειγμα της χρησιμοποίησης της κοπριάς των ζώων. Όμως, όπως έχει αποδείξει η έρευνα, η άμεση εφαρμογή της κοπριάς από τα ζώα έχει επίσης πολλά προβλήματα. Συχνά, την άμεση εφαρμογή της κοπριάς συνοδεύουν η μυρουδιά και οι μύγες. Η απώλεια του αζώτου με την αμμωνιοποίηση μπορεί να είναι αρκετά υψηλή. Η απορροή των νιτρικών και των λοιπών διαλυτών υλικών μπορεί να

αποτελέσει άλλο ένα πρόβλημα. Και μόλις η νωπή κοπριά ενσωματωθεί στο έδαφος, και πριν λάβει χώρα το φύτευμα, απαιτείται ένας χρόνος αναμονής αποσύνθεσης και σταθεροποίησης της κοπριάς. Έτσι, η έρευνα έχει κατευθυνθεί προς την κατεύθυνση της ωρίμανσης και της κομποστοποίησης της κοπριάς.

9.7.1.4. Κομπόστες

Η κομποστοποίηση έχει αποτελέσει το θέμα πολλών πρόσφατων ερευνητικών προόδων. Πολλές και διαφορετικές πηγές οργανικών υλικών, από την κοπριά μέχρι γεωργικά υποπροϊόντα, έχουν μετατραπεί σε χρήσιμα εδαφοβελτιωτικά, μέσα από τη διαδικασία της κομποστοποίησης. Κάτω από ελεγχόμενες συνθήκες, οι οργανικές πρώτες ύλες διέρχονται τα πρώτα στάδια της αποσύνθεσης και της χουμοποίησης, έτσι ώστε, όταν προστεθούν στο έδαφος, έχουν ήδη σταθεροποιηθεί σημαντικά και μπορούν να συμβάλλουν αποτελεσματικά στην διαδικασία δόμησης της γονιμότητας του εδάφους. Με τον τρόπο αυτό, άχρηστες ύλες, στις οποίες συμπεριλαμβάνονται υλικά τα οποία διαφορετικά θα οδηγούνταν στις χωματερές, μετατρέπονται σε χρήσιμους λιπαντικούς πόρους.

Οι σκωληκοκομπόστες, ή οι κομπόστες που παράγονται με τη μορφή των εκκριμάτων των σκωλήκων, έχουν επίσης καταστεί μια δημοφιλής πηγή της εδαφικής οργανικής ύλης, ειδικότερα για τις μικρότερης κλίμακας γεωργικές εκμεταλλεύσεις και τους κήπους. Η νωπή, υγρή οργανική ύλη που προέρχεται από τα τροφικά απόβλητα καταναλώνεται από σκώληκες, ειδικότερα τους γνωστούς για την ικανότητά τους να κομποστοποιούν κοκκινোসκώληκες (όπως π.χ. ο *Eisenia foetida*), και έχουν αναπτυχθεί συστήματα στα οποία ένα μικρό οικιακό δωμάτιο σκωληκοκομποστοποίησης μπορεί να παράγει 25 χιλιόγραμμα απεκκρίματα το μήνα. Τα απεκκρίματα αυτά είναι γνωστά για τα υψηλά τους επίπεδα σε φωσφορικά, αζωτούχα και άλλα θρεπτικά στοιχεία, και περιέχουν επίσης πολυσακχαρίτες, οι οποίοι στενεύουν τα μόρια του εδάφους και βοηθούν στην ανάπτυξη της οργανικής ουσίας του. Κουβανέζοι ερευνητές έχουν πρόσφατα αναπτύξει συστήματα σκωληκοκομποστοποίησης σε κλίμακα αγροκτήματος, τα οποία σχεδιάστηκαν για να αντικαταστήσουν τα δύσκολα εισαγόμενα στην Κούβα λιπάσματα. Η περαιτέρω ανάπτυξη των μεγάλης κλίμακας συστημάτων θα μπορέσει να βοηθήσει σε μεγάλο βαθμό τη βελτίωση της διαχείρισης του εδάφους.

9.7.1.5. Λοιπά εδαφοβελτιωτικά

Μια πλειάδα άλλων τύπων οργανικών εδαφοβελτιωτικών μπορεί να χρησιμοποιηθεί. Στην αγορά υπάρχουν χουμικά, φύκη, κρεατάλευρα, ζωικά υποπροϊόντα, γκουανό κλπ. εδαφοβελτιωτικά. Κάθε ένα τους έχει συγκεκριμένες εφαρμογές, πλεονεκτήματα και μειονεκτήματα, αλλά και άριστες κλίμακες χρήσης. Κάθε πηγή οργανικής ύλης χρειάζεται να εξεταστεί για την βραχυπρόθεσμη ανταπόκριση της στα φυτά καλλιέργειας, αλλά και το πλέον σημαντικό, για τις πιθανές μακροχρόνιες συμμετοχές στην ανάπτυξη και την διατήρηση της εδαφικής οργανικής ύλης.

9.7.1.6. Λήμματα

Μια τελευταία πηγή οργανικής ύλης, η οποία υποχρησιμοποιείται, με εξαίρεση κάποια σημεία του πλανήτη, είναι τα λήμματα. Για να ολοκληρωθούν οι γεωφυσικοί κύκλοι, τα θρεπτικά στοιχεία που «εγκαταλείπουν» το αγρόκτημα πρέπει να

επιστρέφουν στο αγρόκτημα. Εάν καταστεί εφικτό να επιστρέψουν με μια οργανική μορφή, τότε αυτά έχουν θα προσθέσουν στη διαδικασία δόμησης εδάφους.

Τα σταθερά υλικά που συγκεντρώνονται από τα λήμματα, μετά από κατάλληλους χειρισμούς, είναι γνωστά και ως λασπώδη απόβλητα, τα οποία και για δεκαετίες διασπείρονται στα γεωργικά εδάφη. Ως ποσοστό ξηρού βάρους, τα λήμματα περιέχουν 6-9% άζωτο, 3-7% φωσφόρο, και πάνω από 1% κάλιο. Αυτά μπορούν να εφαρμοστούν με τη μορφή ξηρού κέικ ή κόκκων, με ένα περιεχόμενο νερού της τάξης 40-70%, ή μια υγρή λάσπη με νερό σε ποσοστό 80-90%. Η λάσπη των λημμάτων χρησιμοποιείται ευρύτατα στα ποολίβαδα, τα υποβαθμισμένα λιβάδια, και ακόμη στο έδαφος κάτω από τα οπωροφόρα δένδρα. Το υγρό μέρος των κατεργασμένων αποβλήτων, γνωστά ως υγρά απόβλητα, έχει χρησιμοποιηθεί για μεγάλο χρονικό διάστημα σε πολλά εδάφη της Ευρώπης, αλλά και σε επιλεγμένες περιοχές των ΗΠΑ. Υπάρχουν πόλεις οι οποίες κατεργάζονται τα αστικά απόβλητα και το προϊόν της κατεργασίας αυτής χρησιμοποιείται στην παραγωγή των φυτών καλλιέργειας, συνήθως ζωοτροφών ή σανού, το οποίο κατά ένα μέρος αντισταθμίζει το κόστος διάθεσης, ενώ υπάρχουν περιπτώσεις που αυτό χρησιμοποιείται για την άρδευση γηπέδων του golf, πρανή αυτοκινητοδρόμων και πολλές φορές περιαστικά δάση.

Όμως, υπάρχουν πολλά ακόμη που πρέπει να μάθουμε για τον χειρισμό των αποβλήτων, ώστε να χειριζόμαστε σωστά την παρουσία παθογενών μικροβίων. Η συλλογή, ο χειρισμός, και η μεταφορά πρέπει να εξετάζονται με την προοπτική, η οποία θα αποβλέπει στη σύνδεση της διαχείρισης των αποβλήτων με την αειφορική γεωργία. Το γεγονός ότι σε όλο τον κόσμο πολλά συστήματα αποχέτευσης δεν ξεχωρίζουν τα αστικά από τα βιομηχανικά λήμματα, μολύνοντας έτσι με τοξικές ποσότητες βαρέων μετάλλων την λάσπη που προκύπτει, περιπλέκει σε μεγάλο βαθμό τη διαδικασία αυτή.

Πάντως, και χωρίς αμφιβολία, τα λήμματα στο μέλλον θα καταστούν ένας σημαντικός μείζων πόρος, ως πηγή οργανικής ύλης, θρεπτικών στοιχείων και νερού για την παραγωγή των φυτών καλλιέργειας. Πολλές παραδοσιακές πρακτικές ή πρακτικές σε μικρή κλίμακα, της μετατροπής των λημμάτων σε χρήσιμους πόρους μπορούν να εκληφθούν σε αυτό το σημαντικό δεσμό της αειφορικότητας, ως μια σημαντική βάση μελλοντικής έρευνας.

9.7.2. Συστήματα άρωσης

Η σοφία της συμβατικής γεωργίας συνοψίζεται στη φιλοσοφία ότι το έδαφος πρέπει να καλλιεργείται για τον έλεγχο των ζιζανίων, την ενσωμάτωση της οργανικής ύλης και την αύξηση της ρίζας. Όμως, παρά τα πιθανά της ευεργετήματα, η καλλιέργεια προωθεί την απώλεια της καλής εδαφικής δομής και της οργανικής ουσίας και το καλλιεργημένο έδαφος μπορεί να αρχίσει να χάνει κάποια από τα στοιχεία της παραγωγικότητάς του. Για το λόγο αυτό, η προσοχή η οποία πρέπει να αποδίδεται στον τρόπο με τον οποίο το έδαφος καλλιεργείται, οφείλει να αποτελεί ένα αναφαίρετο τμήμα της διαχείρισης της οργανικής ύλης του εδάφους.

Υπάρχουν πολλές και διαφορετικές μορφές άρωσης, αλλά η κύρια μορφή που εφαρμόζεται στην συμβατική γεωργία είναι μια διαδικασία τριών σταδίων, στα οποία περιλαμβάνονται μια βαθιά άρωση που αναστρέφει το έδαφος, μια δευτερεύουσα άρωση προετοιμασίας της σποροκλίνης και τέλος, τις μετά το φύτεμα καλλιεργητικές ενέργειες (αυτές συχνά συνδυάζονται με την χρήση των εντομοκτόνων) για τον έλεγχο των ζιζανίων. Η διάβρωση του εδάφους, η απώλεια της καλής εδαφικής δομής και η απόπλυση των θρεπτικών στοιχείων αποτελούν πολύ γνωστά προβλήματα που είναι συνδεδεμένα με αυτή τη μορφή κατεργασίας του εδάφους. Παρόλα όμως τα προβλήματα αυτά, τα περισσότερα συμβατικά καλλιεργητικά συστήματα, ιδιαίτερα

μάλιστα αυτά που παράγουν ετήσιους σπόρους και λαχανικά, είναι εξαρτημένα από την εντατική και την επανειλημμένη άροση.

Στην άλλη άκρη, υπάρχουν πολλά παραδοσιακά συστήματα καλλιέργειας στα οποία δεν εφαρμόζεται καθόλου η άροση. Πολλοί παραδοσιακοί παραγωγοί προετοιμάζουν τους αγρούς τους εφαρμόζοντας την τεχνική της κοπής και της καύσης (slush and burn) και ακολούθως διανοίγουν τρύπες στο έδαφος για να τοποθετήσουν τους σπόρους. Τέτοια συστήματα, τα οποία έχουν την πιο μακράιωνη ιστορία στην αειφορική διαχείριση, σέβονται την ανάγκη μιας χέρσας περιόδου για τον έλεγχο της ανεπιθύμητης βλάστησης και επιτρέπουν στις διαδικασίες δημιουργίας φυσικού εδάφους να αντικαταστήσουν τα απομακρυνθέντα θρεπτικά στοιχεία. Πολλά αγροδοσιακά συστήματα, όπως π.χ. αυτά του καφέ ή του κακάο υπό σκιά, εξαρτώνται από το δενδρώδες μέρος του συστήματος, το οποίο παρέχει την εδαφική κάλυψη και την ανακύκλωση των θρεπτικών στοιχείων και λαμβάνει μόνο την εδαφική σύζευξη. Οι μόνιμες βοσκές τέλος, σπάνια υπόκεινται στη διαδικασία της καλλιέργειας.

Στα συμβατικά συστήματα των ετήσιων φυτών καλλιέργειας έχουν αναπτυχθεί και δοκιμαστεί εναλλακτικές καλλιεργητικές τεχνικές, πολλές από τις οποίες έχουν ερανιστεί από τις παραδοσιακές καλλιεργητικές πρακτικές. Αυτές απέδειξαν ότι τα ετήσια καλλιεργητικά συστήματα δεν έχουν την ανάγκη να παραμένουν εξαρτώμενα από την εντατική και την επανειλημμένη κατεργασία του εδάφους και ότι η μειωμένη καλλιεργητική επέμβαση μπορεί να βοηθήσει στην βελτίωση της ποιότητας και της γονιμότητας του εδάφους (House *et al.* 1984).

Κάνοντας χρήση της τεχνικής της **μηδενικής άροσης**, η κατεργασία του εδάφους περιορίζεται στην πραγματική προκείμενη και γίνεται τη στιγμή της σποράς. Σε μερικές περιπτώσεις χρησιμοποιείται ειδικός εξοπλισμός, ο οποίος επιτρέπει το φύτεμα άμεσα στα υπολείμματα που παρέμειναν στον αγρό από την προηγούμενη καλλιέργεια. Κάποια άλλα βήματα, όπως η λίπανση και ο έλεγχος των ζιζανίων, μπορούν να συμπληρωθούν ταυτόχρονα με το φύτεμα. Δυστυχώς, πολλά συστήματα μηδενικής άροσης έχουν αναπτύξει μια μεγάλη εξάρτηση από τα εντομοκτόνα, η οποία μπορεί να δημιουργήσει άλλα οικολογικά προβλήματα.

Με σκοπό την ελάττωση της χρήσης των εντομοκτόνων, έχει αναπτυχθεί ένας αριθμός συστημάτων **ελαττωμένης άροσης**. Συγκεκριμένα ένα από αυτά, το οποίο έχει καταστεί απόλυτα επιτυχές για την παραγωγή του αραβόσιτου και της σόγιας, είναι η **άροση των άκρων**. Μετά από ένα αρχικό όργωμα και τον σχηματισμό των φυτευτικών κλινών ή των άκρων, η μόνη καλλιεργητική δράση που συμβαίνει είναι το φύτεμα των σπόρων και η διαχείριση των ζιζανίων, με ειδικά σχεδιασμένα καλλιεργητικά εργαλεία που κατεργάζονται μόνο την επιφάνεια του εδάφους. Κάποια συστήματα άροσης των άκρων μπορούν να γίνονται για πολλά έτη επανειλημμένων φυτεύσεων, χωρίς να εφαρμόζεται η βαθειά άροση, έτσι ώστε, η ελαττωμένη διαταραχή του εδάφους να βοηθά στην διατήρηση της οργανικής ύλης και της δομής του εδάφους.

9.7.3. Αειφορική διαχείριση του εδάφους

Όταν κατανοήσουμε ότι το έδαφος είναι ένα ζωντανό και δυναμικό σύστημα (δηλ. ένα οικοσύστημα), η διαχείριση του με σκοπό την αειφορικότητα καθίσταται μία διαδικασία ολοκληρωμένη, συνολικού συστήματος. Εστιάζοντας στις διαδικασίες που προωθούν την διατήρηση ενός υγιούς, δυναμικού και παραγωγικού συστήματος αυτή καθίσταται τεράστια. Η διαχείριση της γονιμότητας βασίζεται στο να κατανοήσουμε τους κύκλους των θρεπτικών στοιχείων, την ανάπτυξη της οργανικής ύλης και την ισορροπία ανάμεσα στα ζώντα και μη ζώντα συστατικά του εδάφους. Η εφαρμογή αυτών που έχουμε μάθει για τις οικολογικές διαδικασίες, οι οποίες διατηρούν την δομή

και τη λειτουργία του εδαφικού οικοσυστήματος μέσα στο χρόνο, λαμβάνει τη μεγαλύτερη σημασία. Και εφόσον το εδαφικό οικοσύστημα είναι ένα πολύπλοκο, δυναμικό και πάντοτε μεταβαλλόμενο σύνολο παραγόντων και διαδικασιών, η ανάγκη για την κατανόηση αυτής της πολυπλοκότητας πρέπει να αυξηθεί. Η αειφορική διαχείριση του εδάφους μπορεί να προέλθει μόνο μέσα από μια τέτοια προσέγγιση.

9.8. Χρήσιμη συμπληρωματική βιβλιογραφία

Brady, N. C. and R. R. Weil. 1996. *The Nature and Properties of Soils*. Eleventh Edition. Prentice Hall: Upper Saddle River, NJ.

Frissel, M. J. (ed.).1978. *Cycling of Mineral Nutrients in Agricultural Ecosystems*. Elsevier: Amsterdam.

Jenny, H. 1941. *Factors of Soil Formation*. McGraw – Hill: New York.

Paddock, J., N. Paddock, and C. Bly. 1986. *Soil and Survival Land Stewardship and the Future of American Agriculture*. Sierra Club Books: San Fransisco.

Sanchez, P. A. 1976. *Properties and Management of Soils in the Tropics*. John Wiley and Sons: New York.

Smith, O. L. 1982. *Soil Microbiology: A Model for Decomposition and Cycling*. CRC Press: Boca Raton, FL.

Stevenson , F. J. 1986. *Cycles of Soil Carbon, Nitrogen, Phosphorus, Sulfur, and Mictonutrients*. John Wiley and Sons: New York.

Swift, M. J., O. W. Heal, and J. M. Anderson. 1979. *The Biological Decomposition in Terrestrial Ecosystems*. University of California Press: Berkeley.

Κεφάλαιο Δέκατο

Το νερό στο έδαφος

10.1. Γενικά

Μέσα από το «σώμα» του φυτού το νερό ρέει διαρκώς. Με τη διαπνοή εγκαταλείπει το φυτό από τα στόματα, και εισέρχεται σ' αυτό από τις ρίζες. Για το λόγο αυτό, τα φυτά εξαρτώνται από την συνεχή παρουσία συγκεκριμένων ποσοτήτων νερού μέσα στο έδαφος κοντά στις ρίζες. Χωρίς την παρουσία επαρκούς εδαφικής υγρασίας, τα φυτά γρήγορα θα ξηραθούν και θα θανατωθούν. Συνεπώς, η διατήρηση επαρκούς υγρασίας στο έδαφος αποτελεί έναν κρίσιμο τομέα στη διαχείριση ενός αγροοικοσυστήματος.

Όμως, η διαχείριση της εδαφικής υγρασίας δεν είναι απλά ένα ζήτημα ύπαρξης επαρκών εισροών νερού στο έδαφος από τα κατακρημνίσματα ή μέσω της άρδευσης. Η εδαφική υγρασία είναι τμήμα της οικολογίας του εδάφους και κατά συνέπεια του όλου αγροοικοσυστήματος. Η διαθεσιμότητα του νερού και η κατακράτηση του, όχι μόνο επηρεάζεται από μυριάδες παράγοντες, αλλά, και το νερό αυτό καθαυτό παίζει πολλούς ρόλους. Ήτοι: μεταφέρει διαλυτά θρεπτικά στοιχεία, επηρεάζει τον αερισμό και τη θερμοκρασία του εδάφους, και έχει επιπτώσεις στις βιοτικές διαδικασίες του εδάφους. Συνεπώς, ο αγρότης – καλλιεργητής πρέπει να είναι ενήμερος για το:

- ✚ πώς δρα το νερό στο έδαφος,
- ✚ πώς τα επίπεδα του νερού επηρεάζονται από τις καιρικές συνθήκες και τις καλλιεργητικές πρακτικές,
- ✚ πώς οι εισροές του νερού επηρεάζουν την εδαφική υγρασία, και
- ✚ ποιες είναι οι ανάγκες των φυτών καλλιέργειας σε νερό.

Σπάνια για ένα φυτό καλλιέργειας η διαθεσιμότητα της υγρασίας του εδάφους είναι ακριβώς άριστη και για μια πολύ μεγάλη χρονική περίοδο. Η παροχή του νερού κυμαίνεται μεταξύ της έλλειψης και της υπερπάρκειας, από ημέρα σε ημέρα αλλά και σε όλη την αυξητική περίοδο συλλήβδην. Η πραγματικά άριστη υγρασία, είναι πολύ δύσκολο να καθορισθεί, δεδομένου ότι αυτή επηρεάζεται από μια πλειάδα άλλων παραγόντων οι συνθήκες των οποίων συνεχώς μεταβάλλονται. Ασφαλώς όμως, γνωρίζουμε αρκετά για το εύρος των συνθηκών υγρασίας που ευνοούν τις υψηλές

αποδόσεις για πολλά φυτά καλλιέργειας. Συνεπώς η πρόκληση που τίθεται είναι να διαχειριστούμε το νερό στο έδαφος με τέτοιους τρόπους, ώστε οι συνθήκες να διατηρούνται μέσα στο εύρος αυτό.

10.2. Η κίνηση του νερού εντός και εκτός του εδάφους

Στα φυσικά οικοσυστήματα, το νερό εισέρχεται στο σύστημα με τη βροχόπτωση ή την τήξη του χιονιού στην επιφάνεια του εδάφους. Στα αγροοικοσυστήματα εισέρχεται στο σύστημα με τον ίδιο τρόπο, όπως άλλωστε αυτός έχει περιγραφεί στο έβδομο κεφάλαιο, ή προστίθεται με την άρδευση. Η αειφόρος διαχείριση του εδαφικού νερού εξαρτάται σε μεγάλο βαθμό από την κατανόηση του πεπρωμένου του χορηγούμενου νερού, με σκοπό πάντα την μεγιστοποίηση της αποτελεσματικότητας του νερού που χρησιμοποιείται από το σύστημα.

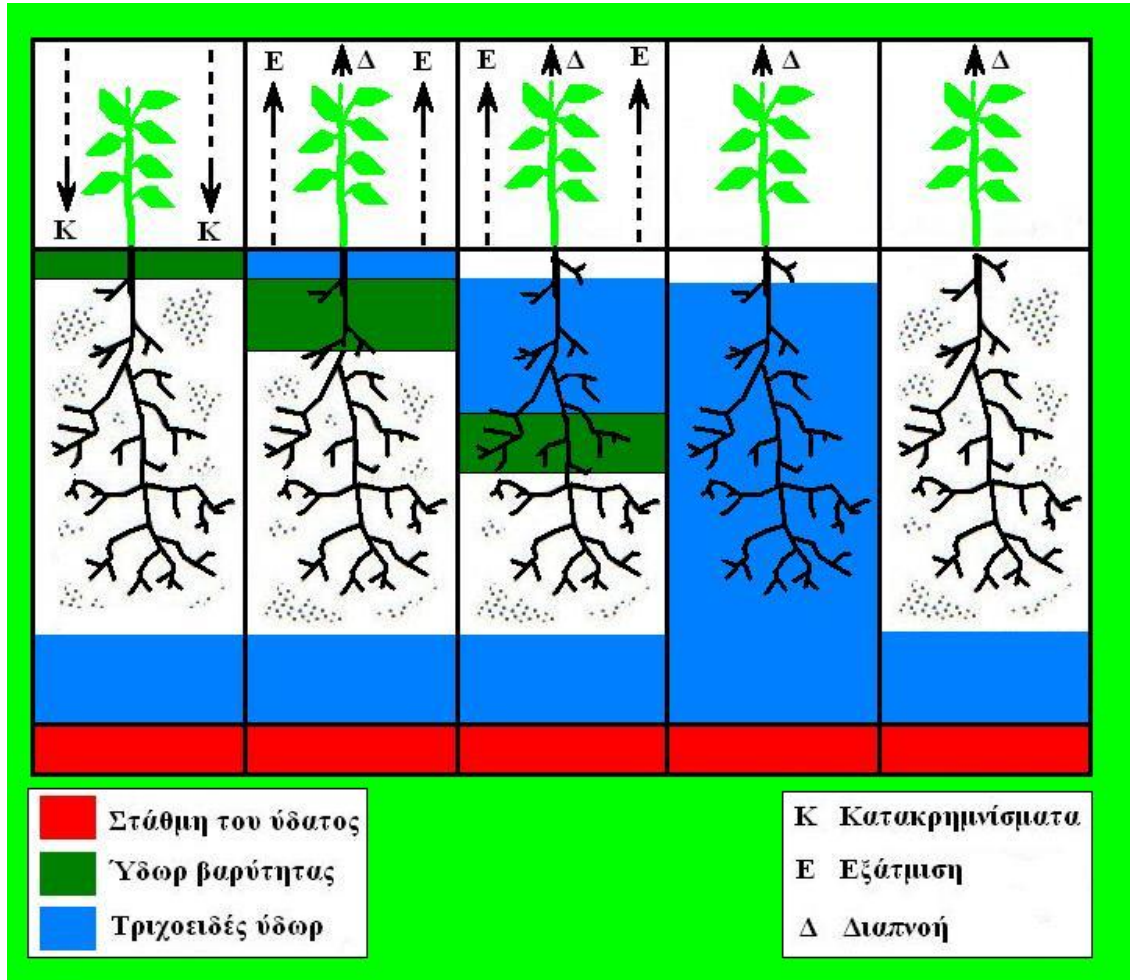
10.2.1. Η διείσδυση του νερού στο έδαφος

Για να καταστεί το χορηγούμενο στην επιφάνεια του εδάφους νερό διαθέσιμο για τα φυτά, πρέπει αυτό να διεισδύσει στο έδαφος. Για κανένα λόγο η διείσδυση δεν πρέπει να θεωρείται γεγονός δεδομένο, διότι το νερό, εάν δεν μπορεί να διεισδύσει εύκολα από την επιφάνεια του εδάφους προς τα βάθη, μπορεί να χαθεί, είτε με την επιφανειακή απορροή είτε, από την εξάτμιση ακόμη. Η διείσδυση επηρεάζεται από τον τύπο του εδάφους, την κλίση του, τη βλαστητική κάλυψη και τα χαρακτηριστικά της βροχόπτωσης αυτής καθαυτής. Τα εδάφη που παρουσιάζουν μεγαλύτερο πορώδες, όπως τα αμμώδη εδάφη ή τα εδάφη με υψηλή περιεκτικότητα σε οργανική ύλη, είναι περισσότερο ανοικτά στην εύκολη διείσδυση του νερού. Τα επίπεδα εδάφη είναι περισσότερο προσαρμοσμένα στο να επιτρέπουν μεγαλύτερη διείσδυση, απ' ό,τι τα κεκλιμένα εδάφη, και σε ένα έδαφος με ομαλή κλίση χάνεται περισσότερο νερό, λόγω της απορροής, από κάποιο άλλο που διασπάται από μικροτοπογραφικές μεταβολές, οι οποίες προκαλούνται από τους βράχους, τα εδαφικά κοιλάματα, τα ελαφρά βαθουλώματα ή τα άλλα εμπόδια που εμφανίζονται στην επιφάνεια του. Η βλαστητική κάλυψη στην επιφάνεια του εδάφους, είτε αυτή είναι ζώσα, είτε με τη μορφή του ξηροτάπητα, βοηθάει σε μεγάλο βαθμό την αρχική είσοδο του νερού. Σε γενικές γραμμές, και με την προϋπόθεση ότι οι συνθήκες είναι άριστες, όσο μεγαλύτερη είναι η ένταση της βροχόπτωσης, τόσο μεγαλύτερος είναι και ο ρυθμός της διείσδυσης, μέχρις ότου επιτευχθεί ο κορεσμός. Όμως, δεν πρέπει να ξεχνάμε ότι, μετά από εξαιρετικά έντονη βροχόπτωση, θα παρουσιαστεί αυξημένη επιφανειακή απορροή.

10.2.2. Η διήθηση του νερού

Μόλις τα ανώτερα στρώματα του εδάφους κορεστούν από νερό, οι δυνάμεις της βαρύτητας αρχίζουν να ωθούν το επιπλέον νερό πιο βαθιά, μέσα στο εδαφικό προφίλ. Η διαδικασία αυτή, γνωστή και ως **διήθηση**, φαίνεται στην **Εικόνα 10.1**. Ο ρυθμός της διήθησης καθορίζεται από την υφή, τη δομή και το πορώδες του εδάφους. Ένα έδαφος με καλή εύθρυπτη δομή και με σταθερότητα συσσωματωμάτων, θα επιτρέψει στο νερό να κινηθεί ελεύθερα ανάμεσα στα μόρια του εδάφους. Τα εδάφη με αμμώδη υφή έχουν μεγαλύτερους πόρους και λιγότερη επιφανειακή περιοχή εδαφικών μορίων για να συγκρατήσουν το νερό, απ' ό,τι έχουν τα λεπτής υφής εδάφη, τα οποία κατά συνέπεια, επιτρέπουν την ταχύτερη κίνηση του νερού. Ένα έδαφος με υψηλή περιεκτικότητα αργίλου αρχικά μπορεί να επιτρέψει την ταχεία διήθηση, μόλις όμως οι μικέλλες της

αργίλου γεμίσουν με νερό, αυτές μπορεί να κλείσουν τους χώρους των πόρων και να παρεμποδίσουν την κίνηση. Οι διάλυτοι των ριζών και οι στοές των ζώων, ειδικά αυτές που δημιουργούνται από τους γαιοσκώληκες, αποτελούν σημαντικούς διαδρόμους για τη διήθηση. Προφανώς όμως, η υφή και η δομή είναι οι μείζονος σημασίας παράγοντες, ιδιαίτερα για τα συχνά καλλιεργούμενα αγροοικοσυστήματα.



Εικόνα 10.1. Η κίνηση του νερού στο έδαφος ενός συστήματος φυτού καλλιέργειας. (Α) Νερό που διεισδύει στην επιφάνεια μετά τη βροχόπτωση. (Β) Διήθηση του νερού προς τα κάτω λόγω βαρύτητας, αφήνει το πάνω έδαφος υγρό στην ικανότητα του πεδίου με τριχοειδές νερό. Ταυτόχρονα, η εξάτμιση και η διαπνοή απομακρύνουν το νερό από το έδαφος. (Γ) Καθώς το νερό διηθείται προς τα κάτω λόγω βαρύτητας, το έδαφος κοντά στην επιφάνεια αρχίζει να αποξηραίνεται. (Δ) Όταν το νερό λόγω της βαρύτητας φτάνει στον υδατικό ορίζοντα, το μεγαλύτερο μέρος του εδαφικού προφίλ υγραίνεται πλησίον της ικανότητας του αγρού. Η εξαίρεση είναι το ανώτερο στρώμα του εδάφους, το οποίο ξηράθηκε από την εξάτμιση. (Ε) Το μεγαλύτερο τμήμα του εδάφους είναι πάνω από την τριχοειδή fringe., η περιοχή διατηρείται υγρή από τον υδατικό ορίζοντα έχει ξηραθεί και το έδαφος προσεγγίζει πάλι ξανά το σημείο μαρασμού.

Πηγή: Προσαρμογή από τον Daubenmire (1974).

10.2.3. Η εξάτμιση του νερού

Η υγρασία του εδάφους μπορεί να χαθεί στην ατμόσφαιρα με την εξάτμιση. Ο ρυθμός της εξάτμισης από την επιφάνεια του εδάφους εξαρτάται από την περιεχόμενη εδαφική υγρασία και τη θερμοκρασία που επικρατεί πάνω στην επιφάνεια, καθώς επίσης και από την θερμοκρασία αυτού καθαυτού του επιφανειακού εδάφους. Ο άνεμος επιταχύνει σε μεγάλο βαθμό τη διαδικασία της εξάτμισης, ειδικότερα μάλιστα, όταν επικρατούν υψηλές θερμοκρασίες.

Μολονότι η εξάτμιση παρατηρείται στη επιφάνεια, αυτή μπορεί να επηρεάσει την εδαφική υγρασία και σε βάθος, μέσα στο εδαφικό προφίλ. Καθώς η εξάτμιση δημιουργεί ένα υδατικό έλλειμμα στην επιφάνεια του εδάφους, η ελκτικές δυνάμεις μεταξύ των μορίων, έλκουν τα νερό από τα βάθη, μέσω μιας τριχοειδούς κίνησης. Η διαδικασία αυτή συνεχίζεται μέχρις ότου η ζώνη κορεσμού πάει αρκετά βαθιά ή το ανώτερο στρώμα του εδάφους να καταστεί αρκετά ξηρό, ώστε η τριχοειδής κίνηση να διακοπεί. Η παρουσία οποιουδήποτε είδους φυτικής στρώσης ή εδαφικής κάλυψης, η οποία μειώνει το θερμικό κέρδος της επιφάνειας του εδάφους και δημιουργεί ένα φράγμα ανάμεσα στο έδαφος και την ατμόσφαιρα, θα επιβραδύνει και το ρυθμό της εξάτμισης.

10.2.4. Η διαπνοή

Όπως ήδη έχουμε περιγράψει στο τέταρτο κεφάλαιο, τα φυτά, με τη μορφή της διαπνεόμενης υγρασίας, χάνουν το νερό από τα στόματα των φύλλων δημιουργώντας έτσι, ένα έλλειμμα νερού στο φυτό, το οποίο εξισορροπείται με πρόσληψη νερού από τις ρίζες του φυτού. Αυτή η βιοτική απομάκρυνση του νερού από το έδαφος, ιδιαίτερα από τις ρίζες, οι οποίες διεισδύουν στα βαθύτερα από τα επηρεαζόμενα από την εξάτμιση στρώματα του εδάφους, συνιστούν μια μείζονα λεωφόρο κίνησης του νερού εκτός του εδαφικού οικοσυστήματος. Εάν δεν προστεθεί εκ νέου νερό, ώστε η απώλεια αυτή να αντικατασταθεί, τα φυτά, είτε πρέπει να οδηγηθούν σε λήθαργο, είτε να εξαφανιστούν από το οικοσύστημα.

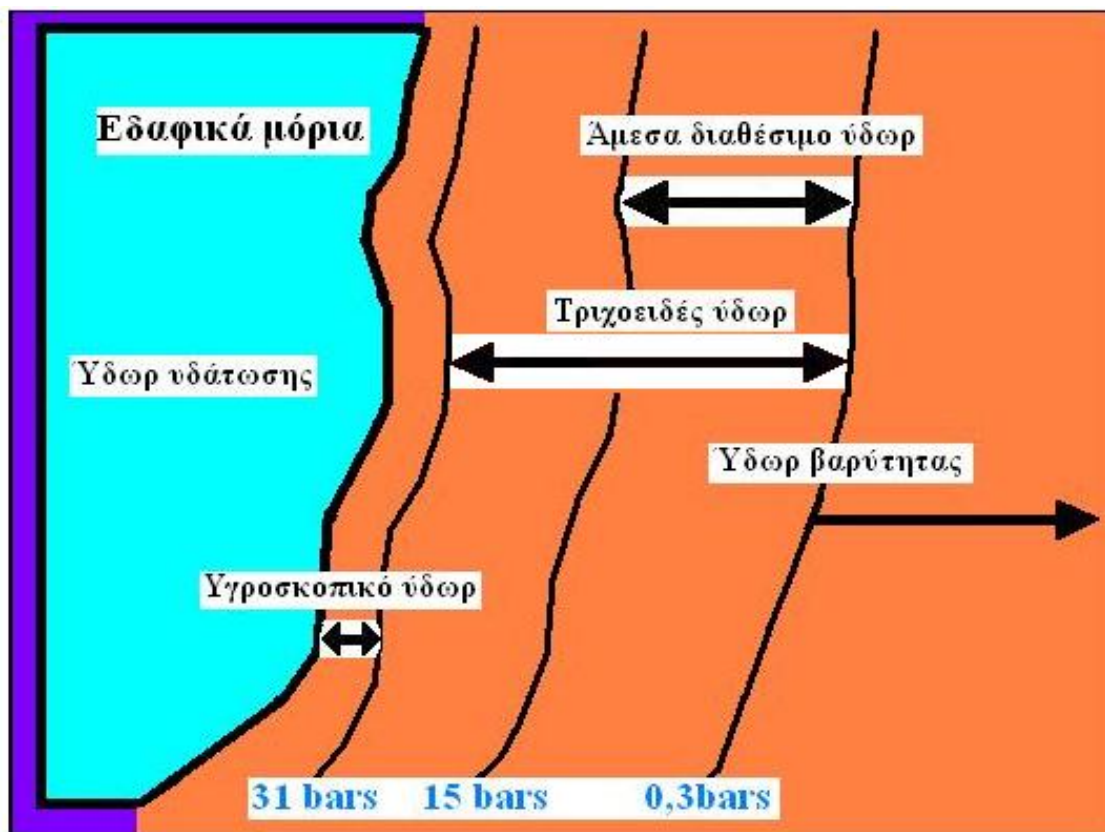
10.3. Η διαθεσιμότητα της εδαφικής υγρασίας

Οι ελκτικές δυνάμεις που λειτουργούν ανάμεσα στο νερό και τα ανεξάρτητα εδαφικά μόρια αποτελούν το σημείο - κλειδί για να καθοριστεί ο τρόπος με τον οποίο η εδαφική υγρασία θα διατηρηθεί, θα χαθεί ή/και θα χρησιμοποιηθεί από τα φυτά. Η κατανόηση των δυνάμεων αυτών υποδηλώνει την απαιτούμενη προσοχή που πρέπει να αποδίδουμε στις φυσικές και τις χημικές ιδιότητες του **εδαφικού διαλύματος**, δηλαδή την υγρή φάση του εδάφους και τους διαλυμένους διαλύτες, οι οποίοι είναι ξέχωροι από τα μόρια του εδάφους αυτά καθαυτά.

Το ποσοστό της υγρασίας η οποία είναι διαθέσιμη για να χρησιμοποιηθεί από τα φυτά έχει καθοριστεί παραδοσιακά, από την παρακάτω διαδικασία: γίνεται λήψη ενός εδαφικού δείγματος, μετριέται το βάρος του, αποξηραίνεται το εδαφικό δείγμα στους 105 °C για 24 ώρες και τέλος μετριέται το ξηρό βάρος. Η ποσότητα της υγρασίας που χάνεται κατά τη διάρκεια της αποξήρανσης διαιρείται δια του ξηρού βάρους του δείγματος και μας δίνει έναν αριθμό, ο οποίος εκφράζεται ως μια ποσοστιαία αναλογία.

Η διαδικασία αυτή όμως, δεν είναι ικανοποιητική για να μετρήσουμε την ποσότητα του νερού στο έδαφος, η οποία πράγματι είναι διαθέσιμη για τα φυτά, διότι αυτή δεν λαμβάνει υπόψη της την σημαντική μεταβλητή της συνοχής του νερού με τα

μόρια του εδάφους. Όταν η άργιλος και η περιεχόμενη οργανική ύλη στο έδαφος αυξάνονται, το νερό έλκεται ισχυρότερα από τα μόρια του εδάφους και οι ρίζες δυσκολεύονται πολύ να το προσλάβουν. Τα μαρούλια για παράδειγμα, μπορεί να μαραθούν σ' ένα αργιλώδες έδαφος με 15% υγρασία, ενώ σ' ένα αμμώδες έδαφος η υγρασία είναι δυνατό να κατέλθει στο 6%, πριν το φυτό μαραθεί.



Εικόνα 10.2. Η εδαφική υγρασία σε σχέση με τη δύναμη της έλξης των εδαφικών μορίων. Το μόνιμο σημείο μαρασμού φτάνει όταν το αμέσως διαθέσιμο νερό έχει χαθεί. Η ικανότητα του πεδίου είναι η ποσότητα του νερού που παραμένει μετά την απομάκρυνση του νερού βαρύτητας.

Πηγή: Προσαρμογή από τον Gliessman (2000).

Επειδή σε μερικά είδη εδάφους, συγκρινόμενα με κάποια άλλα, το νερό συγκρατείται ισχυρότερα, πέρα από την εκατοστιαία περιεκτικότητα σε νερό, χρειάζεται ένα άλλο μέτρο που να αντανάκλα καλύτερα τις ελκτικές δυνάμεις μεταξύ των εδαφικών μορίων και της υγρασίας. Το μέτρο αυτό επιτυγχάνεται εάν εκφράσουμε την εδαφική υγρασία σε όρους ενέργειας. Η δύναμη της έλξης των μορίων του νερού από τα μόρια του εδάφους, δηλαδή το υδατικό δυναμικό του εδάφους, εκφράζεται σε ατμόσφαιρες άντλησης (bars of suction), όπου μια ατμόσφαιρα είναι ισοδύναμη με τη σταθερή ατμοσφαιρική πίεση στη στάθμη της θάλασσας (760 χιλιοστόμετρα Hg ή 1020 εκατοστόμετρα νερού). Η μέθοδος αυτή μας δίνει ένα εργαλείο μέτρησης της διαθεσιμότητας του νερού στο εδαφικό διάλυμα και λαμβάνει υπόψη τις μεταβαλλόμενες δυνάμεις της έλξης, οι οποίες καθορίζονται από το μέγεθος των εδαφικών μορίων και την περιεχόμενη οργανική ουσία.

Για να περιγραφεί η περιεκτικότητα σε νερό και η διαθεσιμότητα της υγρασίας, με όρους ελκτικών δυνάμεων, χρησιμοποιούνται ένας ικανός αριθμός ειδικών όρων. Οι όροι αυτοί διασαφηνίζονται στην **Εικόνα 10.2** και περιγράφονται παρακάτω, ως εξής:

- ✚ **Υδωρ βαρύτητας.** Το νερό που κινείται εντός, εκτός και διαμέσου του εδάφους, μόνο με τη επίδραση της βαρύτητας. Αμέσως μετά τη βροχή ή την άρδευση, το νερό αυτό αρχίζει να κινείται προς τα κάτω, μέσα στο έδαφος, καλύπτοντας όλους τους χώρους των μεγάλων πόρων.
- ✚ **Τριχοειδές ύδωρ.** Το νερό που γεμίζει τους μικρούς πόρους του εδάφους και κατακρατείται από τα εδαφικά μόρια με μια δύναμη που βρίσκεται ανάμεσα στις 0,3 και τις 3,1 ατμόσφαιρες άντλησης.
- ✚ **Υδροσκοπικό ύδωρ.** Το νερό που κατακρατείται πάρα πολύ σφιχτά από τα μόρια του εδάφους, συνήθως πάνω από 3,1 ατμόσφαιρες άντλησης. Το υδροσκοπικό ύδωρ είναι ο εναπομένον μη χημικός δεσμός του νερού, αφού το έδαφος ξηραθεί στο ξηραντήριο.
- ✚ **Υδωρ της υδάτωσης.** Το νερό που έχει χημικό δεσμό με τα μόρια του εδάφους.
- ✚ **Αμέσως διαθέσιμο ύδωρ.** Το τμήμα του νερού στο έδαφος που εύκολα απορροφάται από τις ρίζες των φυτών. Είναι συνήθως τριχοειδές ύδωρ μεταξύ των 0,3 και 15 ατμοσφαιρών άντλησης.
- ✚ **Ικανότητα πεδίου (αγρού).** Η υγρασία που παραμένει στο έδαφος μετά το στράγγισμα των μεγάλων πόρων από το ύδωρ βαρύτητας, από την προς τα κάτω πίεση της βαρύτητας, αφήνοντας τους μικροπόρους γεμάτους με τριχοειδές ύδωρ, το οποίο κατακρατείται από τα μόρια του εδάφους με τουλάχιστον 0,3 ατμόσφαιρες άντλησης.
- ✚ **Μόνιμο σημείο μαρασμού.** Η περιεχόμενη στο έδαφος υγρασία στην οποία ένα φυτό μαραίνεται και δεν ανακάμπτει, ακόμη και όταν τοποθετηθεί σε ένα σκοτεινό υγρό περιβάλλον. Το μόνιμο σημείο μαρασμού συνήθως εμφανίζεται όταν όλο το τριχοειδές ύδωρ που κατακρατιόταν με 15 ατμοσφαιρών άντλησης έχει απομακρυνθεί από το έδαφος.
 Δεδομένου ότι, κάθε έδαφος αποτελείται από ένα διαφορετικό μίγμα μεγεθών μορίων και από μια μεταβαλλόμενη περιεκτικότητα οργανικής ύλης και επειδή τα χαρακτηριστικά αυτά καθορίζουν την ικανότητα κατακράτησης του νερού, είναι σημαντικό να καθορίζεται ο τύπος του εδάφους, ως τμήμα της ανάπτυξης ενός σχεδίου διαχείρισης του νερού. Στα περισσότερα εδάφη, η άριστη αύξηση λαμβάνει χώρα όταν η περιεκτικότητα της εδαφικής υγρασίας διατηρείται ακριβώς κάτω από την ικανότητα πεδίου. Είναι ξεκάθαρο τέλος, ότι η υγρασία που απαιτείται για την άριστη αύξηση δεν ξεπερνάει το πλήρες εύρος της περιεκτικότητας της εδαφικής υγρασίας.

10.4. Η πρόσληψη της εδαφικής υγρασίας από τα φυτά

Τα φυτά, κατά την διάρκεια της διαπνοή τους, πρέπει συνεχώς να αντικαθιστούν την σημαντική ποσότητα του νερού που χάνουν μέσω των στομάτων. Σε οποιαδήποτε χρονική στιγμή όμως, μόνο μια μικρή αναλογία διαθέσιμου εδαφικού ύδατος είναι πολύ κοντά στην επιφάνεια των ριζών, οι οποίες και στην πράξη προσλαμβάνουν το νερό. Για τον περιορισμό αυτό ενεργούν συμψηφιστικά δύο διαδικασίες. Η πρώτη διαδικασία συμβαίνει, όταν το νερό προσλαμβάνεται παθητικά μέσω του εδάφους από τις επιφάνειες των ριζών με τη βοήθεια της τριχοειδούς κίνησης του νερού, και η δεύτερη διαδικασία συμβαίνει, όταν το νερό προσλαμβάνεται ενεργητικά, καθώς οι ρίζες των φυτών μεγαλώνουν στο έδαφος και κατευθύνονται προς τις περιοχές με επαρκή υγρασία.

10.4.1. Η τριχοειδής κίνηση του νερού

Καθώς ένα φυτό προσλαμβάνει το νερό με τις ρίζες του για να αντικαταστήσει αυτό που χάνει με την διαπνοή, μειώνεται η περιεχόμενη εδαφική υγρασία της περιοχής η οποία περιβάλλει άμεσα τις ρίζες. Έτσι, η ενέργεια της άντλησης στην περιοχή αυτή αυξάνεται, δημιουργώντας μια βαθμίδωση χαμηλού υδατικού δυναμικού, που εμφανίζει την τάση να αντλεί υγρασία από όλες τις κατευθύνσεις του περιβάλλοντος εδάφους. Η μεγαλύτερη ποσότητα νερού αντλείται από τα βαθύτερα τμήματα του εδαφικού προφίλ, ειδικότερα όταν ο υδατικός ορίζοντας είναι κοντά στην επιφάνεια. Η τριχοειδής κίνηση οφείλεται εν μέρει στην έλξη των υδατικών μορίων προς τις επιφάνειες των εδαφικών μορίων και εν μέρει στην έλξη των υδατικών μορίων μεταξύ τους. Η ταχύτητα της τριχοειδούς κίνησης εξαρτάται από την ένταση της υδατικής έλλειψης και του τύπου του εδάφους. Στα περισσότερα αμμώδη εδάφη, η κίνηση αυτή είναι μάλλον ταχεία, διότι τα μεγάλων μεγεθών μόρια συγκρατούν το νερό χαλαρότερα. Στα εδάφη με περισσότερη άργιλο, ειδικότερα μάλιστα αυτά που παρουσιάζουν πτωχή εύθρυπτη δομή, η κίνηση είναι ακόμη πιο αργή.

Έχει αποδειχθεί ότι με την τριχοειδή δράση του το νερό μπορεί να κινηθεί μόνο λίγα εκατοστόμετρα την ημέρα. Όμως, λόγω του εκτεταμένου όγκου του εδάφους που καταλαμβάνεται από τα περισσότερα ριζικά συστήματα, πιθανώς, δεν θα ήταν αναγκαία μια κίνηση σε μεγαλύτερη απόσταση. Τα φυτά καταφέρνουν να προσλάβουν μια μεγάλη αναλογία των αναγκών τους σε νερό μέσω της τριχοειδούς κίνησης, ακόμη και όταν οι ρυθμοί της διαπνοής είναι πολύ υψηλοί. Η αυξημένη πίεση άντλησης, η οποία δημιουργείται κατά τη διάρκεια της ημέρας στην ενδιάμεση ζώνη των ριζών, αντικαθίσταται κατά τη διάρκεια της νύκτας με την κίνηση του νερού από περιοχές με χαμηλότερη άντληση. Υπάρχουν στιγμές που η περιεκτικότητα της εδαφικής υγρασίας έχει σοβαρά εξαντληθεί και η αύξηση του φυτού έχει επιβραδυνθεί. Τότε, μια τέτοια κίνηση είναι πολύ σημαντική, διότι σε διαφορετική περίπτωση το φυτό θα φτάσει στο μόνιμο σημείο μαρασμού.

10.4.2. Επέκταση των ριζών στο έδαφος

Τα φυτά συνεχώς επεκτείνουν το ριζικό τους σύστημα μέσα στο έδαφος, διασφαλίζοντας ότι τοιοιτοτρόπως θα δημιουργηθούν νέες θέσεις επαφής των ριζών με το έδαφος. Ρίζες, ριζίδια και ριζικά τριχίδια, όλα μαζί, συνδυάζονται για να δημιουργήσουν ένα εκτεταμένο ριζικό δίκτυο. Παρόλη όμως τη συνεχιζόμενη ριζική διεύδυση και τον μεγάλο όγκο του δικτύου των ριζών, η συνολική ποσότητα οποιουδήποτε εδαφικού όγκου το οποίο, ανά πάσα στιγμή είναι σε επαφή με τις ρίζες του φυτού, είναι πολύ μικρό. Σύμφωνα με τους περισσότερους εκτιμητές, λιγότερο από το 1% της συνολικής επιφάνειας των μορίων του εδάφους, μέσα στον εδαφικό όγκο που καταλαμβάνεται από τις ρίζες των φυτών, είναι πρακτικά σε επαφή με τις επιφάνειες των ριζών. Το γεγονός αυτό υπογραμμίζει τη σπουδαιότητα της τριχοειδούς κίνησης του νερού, την συμπληρωματικότητα της κίνησης του νερού και την επέκταση των ριζών.

Τα περισσότερα ετήσια φυτά κατανέμουν το μεγαλύτερο μέρος των ριζών τους στα ανώτερα 25 έως 30 εκατοστόμετρα του εδάφους, και αυτό έχει ως αποτέλεσμα, να απορροφούν από τον ορίζοντα αυτόν το μεγαλύτερο μέρος του νερού που χρειάζονται. Πολλά πολυετή φυτά, όπως για παράδειγμα τα αμπέλια και τα οπωροφόρα δένδρα, έχουν ρίζες που εκτείνονται πολύ πιο βαθιά στο εδαφικό προφίλ. Όμως, ακόμη και τα φυτά αυτά προφανώς, βασίζονται σε μεγάλο βαθμό στο νερό, όταν αυτό είναι

διαθέσιμο, και το οποίο οι ρίζες τους απορροφούν από στους ανώτερους ορίζοντες. Όταν το νερό δεν επαρκεί, ακόμη και τα ετήσια φυτά, όπως π.χ. τα κολοκυθάκια και ο αραβόσιτος, σε μια προσπάθεια να αναπληρώσουν τις διαπνευστικές τους απώλειες, θα βασίζονται στις βαθύτερες ρίζες τους.

Η σχέση ανάμεσα στην εδαφική υγρασία και τις ανάγκες των φυτών σε νερό είναι αποτέλεσμα μιας πολύπλοκης αντίδρασης μεταξύ των εδαφικών συνθηκών, του καθεστώτος των βροχών ή της άρδευσης και των αναγκών των φυτών καλλιέργειας. Οι αγρότες - παραγωγοί, κατά την διάρκεια της καλλιεργητικής περιόδου, προσπαθούν να διατηρήσουν μια ισορροπία ανάμεσα στους παράγοντες αυτούς αλλά, πολλές φορές, συμβαίνουν γεγονότα ή καταστάσεις όπου η ισορροπία αλλάζει προς την κατεύθυνση μιας υπερβολικής εδαφικής υγρασίας ή μιας έλλειψης νερού.

10.5. Το υπερβολικό νερό στο έδαφος

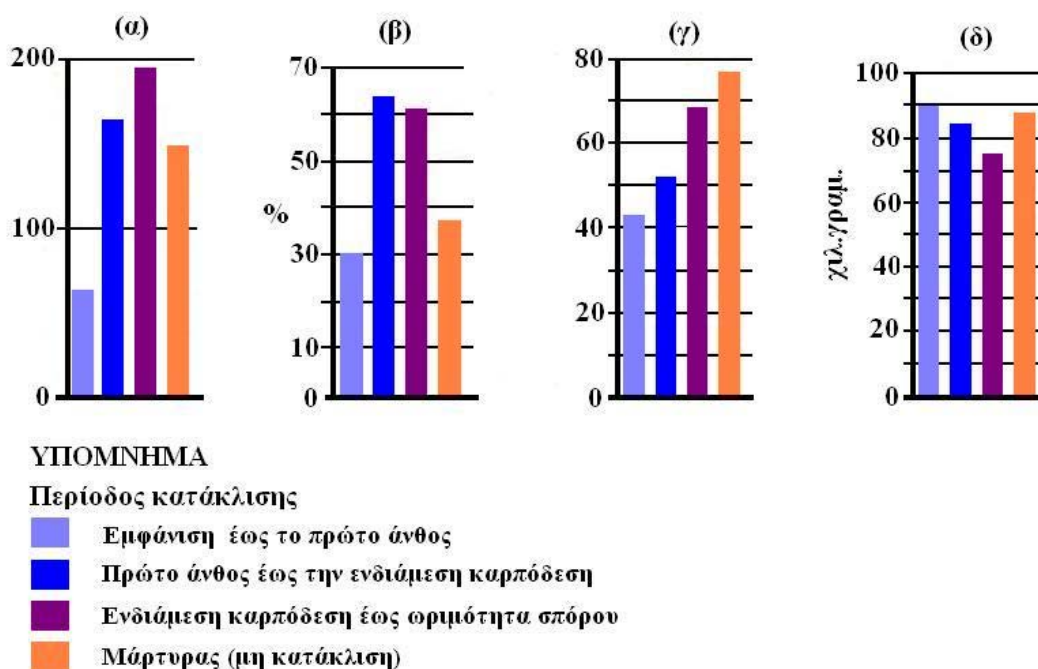
Όταν για μια εκτεταμένη χρονική περίοδο μια υπερβολική ποσότητα νερού βρίσκεται στην επιφάνεια του εδάφους ενός αγροοικοσυστήματος, ή όταν η κίνηση μιας υπερβολικής ποσότητας νερού εμποδίζεται να βρεθεί εκτός του συστήματος, τότε μπορεί να παρουσιαστεί το φαινόμενο της **κατάκλισης** (waterlogging) (Armstrong 1982). Η υψηλή βροχόπτωση, η πενιχρή διαχείριση της άρδευσης, το μη ευνοϊκό τοπογραφικό ανάγλυφο και η φτωχή επιφανειακή αποστράγγιση μπορούν να δημιουργήσουν την κατάκλιση και τις συνοδούσες αυτήν αλλαγές στο έδαφος του οικοσυστήματος. Κατακλυσμένα εδάφη υπάρχουν σε όλη την υφήλιο, από τις όχθες των ποταμών μέχρι τα έλη, τους βάλτους και τα τενάγη. Ακόμη και τα καλώς στραγγιζόμενα εδάφη μπορεί να έχουν την εμπειρία των περιοδικών κατακλίσεων, εάν αυτά υπόκεινται σε εποχιακές πλημμύρες.

Οι κατακλίσεις συμβαίνουν συχνά και είναι αρκετά διαδεδομένες. Γι αυτό τα γεωργικά συστήματα σ' όλο τον κόσμο έχουν αναπτύξει τρόπους χειρισμού των υπερβολικών ποσοτήτων νερού. Πρόσφατα, αυτές έχουν αναγκαστικά οδηγήσει στην κατασκευή πολυδάπανων υποδομών αποστράγγισης και φραγμάτων. Απλούστερες και παραδοσιακές τεχνικές αντιθέτως, αποσκοπούν στο να λειτουργήσουν μαζί με τις συνθήκες υπερβολικών ποσοτήτων νερού, παρά να απαλλαγούν από αυτές. Για παράδειγμα, σε πολλές υγρές περιοχές του κόσμου, ως ένα ιδανικό φυτό καλλιέργειας, καλλιεργείται το ρύζι, το οποίο είναι απολύτως κατάλληλο για την άσκηση της γεωργίας στους υγροτόπους.

10.5.1. Οι αρνητικές επιπτώσεις του υπερβολικού νερού

Σε ένα έδαφος στο οποίο ο αέρας γεμίζει τους πόρους που βρίσκονται ανάμεσα στα μόρια του εδάφους, η διάχυση του οξυγόνου είναι ταχεία και σπάνια παρατηρείται ανεπάρκεια οξυγόνου για τις οικολογικές διαδικασίες, δηλαδή για το ριζικό μεταβολισμό, τη δραστηριότητα των αποικοδομητών κλπ. Αλλά, όταν οι πόροι γεμίζουν ή αυτοί κορέννεται με νερό, ο ρυθμός διάχυσης του οξυγόνου ελαττώνεται σε μεγάλο βαθμό. Η κίνηση του οξυγόνου σε έδαφος κορεσμένο από το νερό, μπορεί να φτάσει το ανά χιλιοστό ή ακόμη και λιγότερο, από αυτή που παρατηρείται συνήθως σε καλώς αεριζόμενο έδαφος. Η έλλειψη του οξυγόνου μπορεί να περιορίσει σοβαρά την αναπνοή των ριζικών κυττάρων, να επιτρέψει στους πληθυσμούς των αναερόβιων μικροοργανισμών να επικρατήσουν και να εγκατασταθούν χημικά μειονεκτικές συνθήκες.

Οι καταπιεσμένοι ρυθμοί ανταλλαγής αερίων στα κατακλυσμένα εδάφη επιτρέπουν επίσης την δόμηση του CO₂ και των άλλων αερίων. Το CO₂ συγκεντρώνεται εκεί όπου συμβαίνει η αναπνοή. Ένα τέτοιο σημείο είναι και η περιοχή των ριζών, όπου το απαραίτητο οξυγόνο απομακρύνεται και πολλές μεταβολικές διαδικασίες περιορίζονται. Τα άλλα αέρια αρχίζουν να συσσωρεύονται κάτω από τις ίδιες συνθήκες. Για παράδειγμα, το μεθάνιο και το αιθυλένιο μπορούν να αυξηθούν σε τοξικά επίπεδα, ως αποτέλεσμα της αναερόβιας διάσπασης της οργανικής ύλης. Συσσωρεύονται επίσης, φυτοτοξικά υδατοδιαλυτής διάσπασης προϊόντα της αναερόβιας αποσύνθεσης της οργανικής ύλης, πρόβλημα το οποίο καταγράφηκε ακόμη και στα συστήματα παραγωγής ρυζιού (Chou 1990).



Εικόνα 9.3. Επιπτώσεις της χρονικής στιγμής κατάκλισης σε τμήματα της βίγνας (*Vigna unguiculata*). (α) αριθμός ανοικτών ανθέων ανά φυτό (β) αποβολή ανθέων (γ) αριθμός ώριμων σπερμάτων ανά φυτό (δ) μ. ο. μάζα σπόρων.

Πηγή: Δεδομένα από τους Minchin *et al.* (1978).

Κάτω από συνθήκες περιορισμένης παροχής οξυγόνου, πολλοί εδαφικοί μικροοργανισμοί κάνουν χρήση των αποδεκτών ηλεκτρονίων, εκτός του οξυγόνου, για τις αναπνευστικές τους οξειδώσεις. Αυτό έχει ως αποτέλεσμα πολυάριθμες ενώσεις να μετατρέπονται σε μια κατάσταση χημικής αφαίρεσης, όπου το οξυγόνο χάνεται και αποκτάται υδρογόνο. Αυτό στη συνέχεια οδηγεί σε ανισορροπία το δυναμικό οξείδωσης – αφαίρεσης (redox) του εδάφους, το οποίο καταδεικνύει εάν το ηλεκτρικό δυναμικό του εδάφους δέχεται ή αποδίδει ηλεκτρόνια. Τα ιόντα του σιδήρου και του μαγγανίου κάτω από αφαιρετικές συνθήκες δημιουργούν συνθήκες με τοξικά επίπεδα.

Κάποιοι αναερόβιοι ανθεκτικοί μικροοργανισμοί, οι οποίοι έχουν την ικανότητα να χρησιμοποιήσουν τα νιτρικά ως μια πηγή οξυγόνου για την αναπνοή τους, προκαλούν απονιτροποίηση, απελευθερώνοντας αέριο άζωτο ή οξείδιο του αζώτου (N₂O) σε τοξικά επίπεδα. Μπορεί επίσης, να δομηθεί αμμωνία μετά από πλημμύρα, αλλά αυτό οφείλεται περισσότερο στην αναερόβια διάσπαση της οργανικής ύλης. Επιπλέον, η αναερόβια δραστηριότητα μειώνει τα θειικά και αυξάνει τα φυτοτοξικά

διαλυτά σουλφίδια, τα οποία παράγουν το υδρόθειο (H_2S), με τη γνωστή μυρωδιά του «κλούβιου αβγού».

Κάθε μια από τις συνθήκες που παραπάνω περιγράψαμε, είτε από μόνη της, είτε σε κάποιον συνδυασμό, μπορεί να καταστεί περιοριστική για την ανάπτυξη του φυτού. Όταν ένα φυτό αδυνατίζει από τις συνθήκες αυτές, γίνεται περισσότερο ευάλωτο στις ασθένειες, ειδικότερα σ' αυτές που προσβάλλουν τη ζώνη του ριζικού συστήματος. Τέλος, πολύ σημαντική είναι και η χρονική στιγμή της πλημμύρας. Η ευπάθεια ενός φυτού καλλιέργειας απέναντι στις αρνητικές επιδράσεις των συνθηκών της υπερβολικής παρουσίας του νερού στο έδαφος δυνατό να εξαρτηθεί από το στάδιο ανάπτυξης στο οποίο βρίσκεται το φυτό, όταν συμβαίνει η κατάκλιση. Τα δεδομένα της **Εικόνας 9.3** παρουσιάζουν τους τρόπους με τους οποίους μπορεί η κατάκλιση του νερού να επηρεάσει την αύξηση, την ανάπτυξη και τις αποδόσεις του φυτού καλλιέργειας, ανάλογα με χρονική στιγμή της κατάκλισης.

10.5.2. Συστήματα αποστράγγισης

Τα συστήματα αποστράγγισης έχουν εφαρμοστεί από πολύ παλαιά για να απομακρυνθεί το υπερβολικό νερό από τη ζώνη των ριζών των φυτών καλλιέργειας και να αποτραπεί η πλημμύρα στα αγροκτήματα. Με το «κατέβασμα» των επιπέδων των νερών και της αποτροπής της πλημμύρας, το οικοσύστημα του εδάφους διατηρείται αερόβιο, συντηρεί υγιές το ριζικό σύστημα και οδηγεί σε αυξημένες αποδόσεις. Τα συστήματα αποστράγγισης είναι γνωστό ότι έχουν χρησιμοποιηθεί από τους Ρωμαίους και τους Κινέζους, πριν από περισσότερα από 2000 έτη. Πολλές από τις εκτάσεις της κοιλάδας του ποταμού Yangtze στην Κίνα, οι υποθαλάσσιες περιοχές της Ολλανδίας και της περιοχής Delta στην California, αλλά και σε άλλα μέρη της υφηλίου, δεν θα ήταν καλλιεργήσιμες, χωρίς τα πολύπλοκα συστήματα αποστράγγισης.

Τα συστήματα αποστράγγισης περιλαμβάνουν την κατασκευή ειδικών φραγμάτων (levees), καναλιών και συστήματα λεκανών (ditches), τα οποία, είτε αποτρέπουν την πλημμύρα να καταλάβει τα χαμηλές περιοχές είτε επιτρέπουν στον υδατικό ορίζοντα να κατέλθει έτσι ώστε, τα φυτά να μπορούν να καλλιεργηθούν. Σε κάποιες τοποθεσίες με κορεσμένα εδάφη, χρησιμοποιούνται ανυψωμένες σποροκλίνες. Πολύ πρόσφατα, κατέστη εφικτός ο αυστηρότερος έλεγχος της εδαφικής υγρασίας με την ανάπτυξη συστημάτων υποδομής αποστράγγισης, κάνοντας χρήση πλαστικών σωλήνων που μπορούν να συνδεθούν με ειδικές μηχανές άντλησης.

Όμως, τα συστήματα αποστράγγισης δεν είναι χωρίς κόστος. Εκτός από το οικονομικό κόστος της εγκατάστασης και της συντήρησης, τα συστήματα αποστράγγισης έχουν και οικολογικό κόστος. Το νερό που απομακρύνεται μεταφέρει μαζί του θρεπτικά στοιχεία και αποθέσεις τα οποία αφού χάνονται από το σύστημα πρέπει και να αντικατασταθούν. Στις περιοχές που παρουσιάζεται υψηλή μεταβλητότητα στις βροχοπτώσεις, μια υπερβολική αποστράγγιση μπορεί, κατά τη διάρκεια ενός ξηρού έτους, να προκαλέσει αυξημένη ξηρασία, με συνέπεια μια μεγάλη καταστροφή. Σε κάποιες περιοχές οι οποίες κατά τη διάρκεια της αυξητικής περιόδου εμφανίζουν υψηλή εξατμισιοδιαπνοή και οι αντλήσεις χρησιμοποιούνται σε μεγάλη ένταση, η διάθεση του αποστραγγιζόμενου νερού από μόνο του μπορεί να καταστεί πρόβλημα, ιδιαίτερα μάλιστα, όταν μεταφέρει υπολείμματα εντομοκτόνων και υψηλά φορτία αλάτων. Το αποτέλεσμα: δυνατόν να προκληθεί η καταστροφή των παρακείμενων φυσικών οικοσυστημάτων.

10.5.3. Φυτά καλλιέργειας προσαρμοσμένα σε υγροτόπους

Αντί να χειριζόμαστε την πλημμύρα ως ένα πρόβλημα, το οποίο πρέπει να βρει τη λύση του με τα συστήματα αποστράγγισης ή με κάποιες άλλες υποδομές, έχουμε τη δυνατότητα να αντιμετωπίσουμε την πλημμύρα ως μια ευκαιρία για την καλλιέργεια φυτών με τέτοιες προσαρμογές, οι οποίες επιτρέπουν να γίνει ανεκτή η κατάκλιση. Το ρύζι (*Oryza sativa*) είναι το πιο γνωστό παράδειγμα ενός τέτοιου φυτού καλλιέργειας. Το ρύζι που από την αρχική του φύση ήταν ένα φυτό υδροχαρές ή ένα φυτό των υγροτόπων και έχει καλλιεργηθεί μέχρι και σήμερα ως το φυτό που ευδοκιμεί σε υγροβιότοπους. Οι προσαρμογές του ρυζιού περιλαμβάνουν:

- ✚ ειδικούς αεροχώρους ιστούς στα στελέχη (καλάμια), οι οποίοι επιτρέπουν στον αέρα να διαχέεται στις ρίζες,
- ✚ ριζικό σύστημα το οποίο μπορεί να αναπτυχθεί κάτω από συνθήκες χαμηλής συγκέντρωσης οξυγόνου,
- ✚ ικανότητα των ιόντων του σιδήρου να οξειδώνονται στη ριζόσφαιρα σε κοκκινοκαστανά υδροξειδία του σιδήρου και έτσι, να αντέχουν σε εδάφη με υψηλό δυναμικό redox και
- ✚ σπόρους, οι οποίοι θα φυτρώσουν κάτω από το νερό, λόγω της χαμηλής απαίτησής τους σε οξυγόνο.

Κάποια άλλα φυτά καλλιέργειας είναι πλήρως προσαρμοσμένα σε υδρόβιες καταστάσεις, παρουσιάζουν όμως προσαρμογές οι οποίες επιτρέπουν σ' αυτά να ανεχτούν μια περιοδική πλημμύρα. Το τάρο (*Colocasia esculenta*) για παράδειγμα, είναι ικανό να αντέξει την πλημμύρα, εξαιτίας της ικανότητάς του να αποθηκεύει οξυγόνο στην βάση των φύλλων του.

10.5.4. Προσαρμογή του υπερβολικού νερού του εδάφους στο επίπεδο του αγροοικοσυστήματος

Όταν προσπαθούμε να εφαρμόσουμε μια αγροοικολογική σκέψη για να ξεπεραστεί η υπερβολική ποσότητα του νερού, κάνουμε μια ενδιάμεση προσέγγιση. Έτσι, αντί να προσπαθήσουμε να εξαφανίσουμε το νερό ή να περιοριστούμε σε μια παραγωγή από φυτά καλλιέργειας προσαρμοσμένα σε κατάκλιση, είναι δυνατό να εφαρμοστούν οι ποικίλες μορφές της παραδοσιακής γεωργίας των ανυψωμένων αγρών. Στις περιοχές που η στάθμη του νερού είναι υψηλή ή εμφανίζουν περιόδους κατάκλισης, στα επίπεδα του εδάφους δημιουργούνται τοπογραφικές μεταβολές. Το έδαφος σκάπτεται για να δημιουργηθούν ανυψωμένες σποροκλίνες και στη συνέχεια σχηματίζονται κανάλια ή λεκάνες οι οποίες μπορούν να λειτουργήσουν για την αποστράγγιση, όταν σε κάποια χρονική στιγμή στο σύστημα εισέρχονται υπερβολικές ποσότητες νερού. Όμως, ο βασικός σκοπός των μικρών αυτών λεκανών είναι να λειτουργήσουν αυτές ως συλλεκτήριες λεκάνες για τις διαβρωτικές αποθέσεις και την οργανική ύλη, και σε κάποιες άλλες περιπτώσεις για την παραγωγή ιχθύων. Αντί λοιπόν να αλλάξουμε το επίπεδο του υδροφόρου ορίζοντα, προσπαθούμε οι καλλιεργούμενες εκτάσεις να ανυψωθούν πάνω από τον υδροφόρο ορίζοντα. Εάν το σύστημα εγκαθίσταται σε μια περιοχή στην οποία επικρατεί εκτεταμένη περίοδος ξηρασίας, η τριχοειδής κίνηση του νερού από τον υδροφόρο ορίζοντα προς τα πάνω μπορεί να αποδειχθεί επαρκής για να συντηρήσει τα φυτά καλλιέργειας. Σε κάποιες περιπτώσεις, το νερό της άρδευσης μπορεί να αντληθεί από παρακείμενο κανάλι. Τα πλέον γνωστά παραδείγματα αυτών των συστημάτων ανυψωμένης σποροκλίνης είναι τα Chinampas στο κεντρικό Μεξικό, τα συστήματα κτισμένων λιμνών του Δέλτα του Κόκκινου

ποταμού στην Κίνα και τα συστήματα καναλιών – αγρών στην Ολλανδία. Πολλά από αυτά τα αγροοικοσυστήματα έχουν να επιδείξουν μια μακρά ιστορία επιτυχημένης διαχείρισης.

10.6. Ανεπάρκεια του εδαφικού ύδατος

Όταν λόγω της εξατμισιοδιαπνοής, ο ρυθμός απώλειας της υγρασίας από το έδαφος είναι μεγαλύτερος από τις εισροές της βροχής ή της άρδευσης, τα φυτά αρχίζουν να υποφέρουν. Η εξάτμιση εξαντλεί τα αποθέματα του νερού στα ανώτερα 15 έως 25 εκατοστόμετρα του εδάφους, και σε συνάρτηση με τα χαρακτηριστικά των ριζών και τους διαπνευστικούς ρυθμούς των φυτών στο έδαφος, η εξάντληση αυτή μπορεί να επεκταθεί σε μεγαλύτερο βάθος, αφού τα φυτά χάνουν νερό και προς την ατμόσφαιρα λόγω της διαπνοής. Καθώς από το έδαφος εξαντλείται η υγρασία, οι θερμοκρασίες του εδάφους κοντά στην επιφάνεια αρχίζουν να ανεβαίνουν, αυξάνοντας ακόμη περισσότερο το ρυθμό διαπνοής. Όταν μέσω των διαδικασιών αυτών, το εύκολα προσλήψιμο νερό, το οποίο κατακρατείται από τα εδαφικά μόρια εξαντλείται, τα επίπεδα της εδαφικής υγρασίας είναι δυνατό να φτάσουν για τα φυτά στο μόνιμο σημείο μαρασμού.

Εάν ο προσωρινός μαρασμός εξακολουθεί με επιμονή παραμένει, τα φύλλα αρχίζουν να κιτρινίζουν, και η αύξηση όσο και η ανάπτυξη γενικά καθυστερούν. Τα φύλλα μεγαλώνουν πολύ αργά, είναι μικρότερα και γηράσκουν ενωρίτερα. Σ' ένα φύλλο που υφίσταται την υδατική κακουχία, οι φωτοσυνθετικοί ρυθμοί πέφτουν και ένα μεγάλο ποσό φωτοσυνθετών, από αυτούς που έχουν αφομοιωθεί, αποθηκεύονται στις ρίζες του φυτού. Από την πλευρά της παραγωγής των φυτών καλλιέργειας, τέτοιες αντιδράσεις είναι συνήθως αρνητικές, αφού το τελικό αποτέλεσμα θα είναι η μείωση των συγκομισίμων προϊόντων. Από την οικολογική προσέγγιση όμως, τέτοιες αντιδράσεις μπορεί να δώσουν στο φυτό κάποιο πλεονέκτημα προσαρμογής

Πολλά φυτά είναι εφοδιασμένα με εξειδικευμένες δομές ή μεταβολικά μονοπάτια τα οποία τα βοηθούν ώστε αυτά να επιβιώνουν σε συνθήκες υδατικής κακουχίας. Οι παραγωγοί σε οποιαδήποτε περιοχή στην οποία οι καλλιέργειες υπόκεινται σε συχνές συνθήκες υδατικής κακουχίας πρέπει να αναζητήσουν νέα είδη και νέες ποικιλίες φυτών καλλιέργειας, οι οποίες θα διαθέτουν κάποια από τα παραπάνω χαρακτηριστικά προσαρμογής. Μερικά παραδείγματα φυτών καλλιέργειας είναι κάποια είδη κάκτων, ένα είδος φασολιού, το σουσάμι, η φουντουκιά και φυσικά κάποια βαθύρριζα πολυετή δένδρα, όπως π.χ. η ελιά και η χουρμαδιά.

10.7. Η οικολογία των αρδεύσεων

Στα φυσικά οικοσυστήματα, η βλάστηση είναι προσαρμοσμένη στο συνολικό καθεστώς της υγρασίας του εδάφους, ανάλογα με τον τύπο του εδάφους και τον τύπο του κλίματος. Από την άλλη πλευρά, στα αγροοικοσυστήματα χρησιμοποιούνται συχνά φυτά οι ανάγκες των οποίων σε νερό ξεπερνούν την ικανότητα των φυσικών οικοσυστημάτων ώστε να τις καλύψουν. Όταν λοιπόν είμαστε αντιμέτωποι με τέτοιες καταστάσεις, η άρδευση είναι εκείνη που χρησιμοποιείται έτσι ώστε, τα φυτά καλλιέργειας να εφοδιαστούν με επαρκή εδαφική υγρασία.

Η άρδευση αντιπροσωπεύει μια μείζονα αλλαγή στη λειτουργία του οικοσυστήματος, και δημιουργεί τα δικά της ιδιαίτερα προβλήματα. Ταυτοχρόνως, τα συστήματα παροχής νερού κοστίζουν τόσο σε χρήμα όσο και σε ενέργεια. Η χρήση

τους πρέπει να ισορροπεί τα οικολογικά και τα οικονομικά κόστη, εάν ο σκοπός μας είναι να επιτευχθεί μια μακροπρόθεσμη αειφορικότητα.

Τα συστήματα συλλογής, αποθήκευσης και παροχής νερού είναι δυνατό να εμφανίσουν μείζονες επιπτώσεις, τόσο στην επιφανειακή, όσο και την υπόγεια ροή του νερού. Οι υδροφόροι ορίζοντες μπορεί να εξαντληθούν και τα ποτάμια, τα παραποτάμια οικοσυστήματα, όπως και αυτά των υδροτόπων είναι δυνατόν να υποστούν σοβαρές καταστροφές. Εφόσον η διατήρηση της κυκλοφορίας του νερού και των αποθεμάτων του σε υγιεινές συνθήκες είναι τόσο σημαντική όσο σημαντική είναι και η διατήρηση μιας επικερδούς παραγωγής φυτών καλλιέργειας, οι επιπτώσεις των συστημάτων παροχής του νερού, σε ότι αφορά τις τοπικές και τις περιφερειακές υδρολογικές συνθήκες, πρέπει πάντοτε να λαμβάνονται πάντοτε σοβαρά υπόψη.

10.7.1. Δημιουργία αλάτων

Όλα σχεδόν τα νερά άρδευσης περιέχουν άλατα τα οποία, εάν τα αφήσουμε να συσσωρευτούν, είναι δυνατό να καταστρέψουν τα φυτά καλλιέργειας. Αφού η άρδευση χρησιμοποιείται πρωτευτόως σε περιοχές με υψηλό δυναμικό εξατμισιοδιαπνοής, η εναπόθεση των αλάτων στην επιφάνεια του εδάφους μέσα στο χρόνο είναι αναπόφευκτη. Μια τέτοια σωρευτική συγκέντρωση, εάν δεν ελεγχθεί, μπορεί να φτάσει σε ανεπιθύμητα επίπεδα εις βάρος της παραγωγής των φυτών καλλιέργειας, ειδικότερα όταν τα άλατα περιέχουν τοξικά ιχνοστοιχεία, όπως π.χ. βόριο και σελήνιο. Το συνολικό περιεχόμενο σε άλατα συνιστά την **ηλεκτρική αγωγιμότητα** και μετράται σε mhos. Για κάθε ένα χιλιοστό του mhos ανά κυβικό εκατοστό παρεχόμενου νερού άρδευσης το περιεχόμενο των αλάτων είναι περίπου 640 ppm. Ένας προσεκτικός έλεγχος των επιπέδων αλάτος στα αρδευόμενα εδάφη, μαζί με την ανάλυση των περιεχόμενων αλάτων των εισρεόντων υδάτων άρδευσης, ασφαλώς θα βοηθήσει ώστε να αποφευχθεί μια τέτοια σωρευτική συγκέντρωση.

Εξ αιτίας της αναπόφευκτης σωρευτικής συγκέντρωσης των αλάτων στα περισσότερα συστήματα άρδευσης, η μακροχρόνια αειφορικότητα δεν είναι δυνατό να καταστεί εφικτή, χωρίς την επαρκή φυσική ή τεχνητή αποστράγγιση, η οποία απομακρύνει τα συσσωρευμένα άλατα από τα ανώτερα στρώματα του εδάφους. Η βροχή είναι ο πρωτεύων φυσικός παράγοντας απόπλυσης. Όταν η επαρκής βροχόπτωση απουσιάζει, τότε είναι απαραίτητη η δημιουργία αποστραγγιστικών καναλιών. Περιοδικά, παρέχονται υπερβολικές ποσότητες νερού έτσι ώστε, να διαλύονται τα άλατα και το έμφορτο αλάτων νερό, είτε αποπλένεται κάτω από την παραγωγική ζώνη του ριζικού συστήματος, είτε απομακρύνεται από τους καλλιεργούμενους αγρούς με την επιφανειακή αποστράγγιση.

Μια φυσική συνέπεια της καλλιέργειας σε ξηρές περιοχές, όπου το δυναμικό εξατμισιοδιαπνοής είναι υψηλό και το νερό της άρδευσης μεταφέρει ανυπολόγιστα φορτία αλάτων είναι ότι, το νερό, εγκαταλείποντας το αγροοικοσύστημα, θα περιέχει μια μεγαλύτερη συγκέντρωση αλάτων από το νερό που παρέχεται στην καλλιέργεια. Συνεπώς, πρέπει να ληφθεί φροντίδα, ώστε να μη αλατοποιήσουμε τις περιοχές που θα υποδεχθούν τα νερά εκροής.

10.7.2. Οικολογικές αλλαγές

Η εισαγωγή του νερού άρδευσης σε μια καλλιεργητική περιοχή, κατά τη διάρκεια μιας κανονικής ξηρής περιόδου του έτους, μπορεί να έχει βαθιές επιπτώσεις, τόσο στους φυσικούς οικολογικούς κύκλους, όσο και τους βιολογικούς κύκλους των

ωφέλιμων αλλά και των ανωφελών οργανισμών. Κάτω από φυσικές συνθήκες, η εποχιακή ξηρασία μπορεί να έχει καταστεί ένα πολύ σημαντικό μέσο μείωσης της παρουσίας των ανωφελών οργανισμών και της πρόκλησης ασθενειών, λειτουργούσα κατά το μάλλον ή ήττον ακριβώς όπως λειτουργεί σε άλλες περιοχές η παγωνιά ή η πλημμύρα, έτσι ώστε, οι βιολογικοί κύκλοι των οργανισμών αυτών να αποσυντονιστούν. Μια απώλεια αυτού του μηχανισμού του φυσικού ελέγχου μπορεί να έχει σοβαρές συνέπειες, σε όρους επιδημιών ή αυξημένης ανθεκτικότητας στις στρατηγικές του τεχνητού ελέγχου.

Ένας άλλος τύπος αλλαγής που μπορεί να προκύψει από την εισαγωγή της άρδευσης στις φυσικές ξηρές περιοχές είναι η τοπική ή η περιφερειακή αλλαγή του κλίματος. Αυτή προκαλείται από την αυξημένη εξάτμιση του νερού από τα επιφανειακά του αποθέματα ή από τους καλλιεργούμενους αγρούς στους οποίους εφαρμόστηκε η άρδευση. Η άνοδος της ατμοσφαιρικής υγρασίας μπορεί να συνδεθεί άμεσα με τα αυξημένα προβλήματα προσβολών και ασθενειών, όπως επίσης μπορεί να συνδεθεί και με τις αλλαγές στην κατανομή και την ποσότητα των κατακρημισμάτων. Όταν έχουμε κατά νου να εφαρμόσουμε το ευρύτερο περιεχόμενο της αειφορικότητας, οι εκτός αγροκτήματος επιπτώσεις της άρδευσης πρέπει να αντιμετωπίζονται όμοια με τις εντός αγροκτήματος επιπτώσεις.

10.8. Βελτιωμένη χρήση του υδατικού πόρου

Η εδαφική υγρασία διαχειρίζεται κατά τρόπο άριστο σε εκείνα τα αγροοικοσυστήματα τα οποία έχουν σχεδιαστεί, έτσι ώστε να διασφαλίζουν ότι η πρωταρχική διαδρομή του νερού εκτός του εδάφους είναι εκείνη που περνάει μέσα από τα φυτά. Η εστίαση της διαχείρισης συνεπώς, θα σκοπεύει στην ελάττωση της εξάτμισης και την αύξηση της ροής δια της διαπνοής. Οι καλλιεργητικές πρακτικές που ενθαρρύνουν την διαφοροποιημένη αυτή κίνηση του νερού αποτελούν σημαντικά συστατικά της αειφορικότητας.

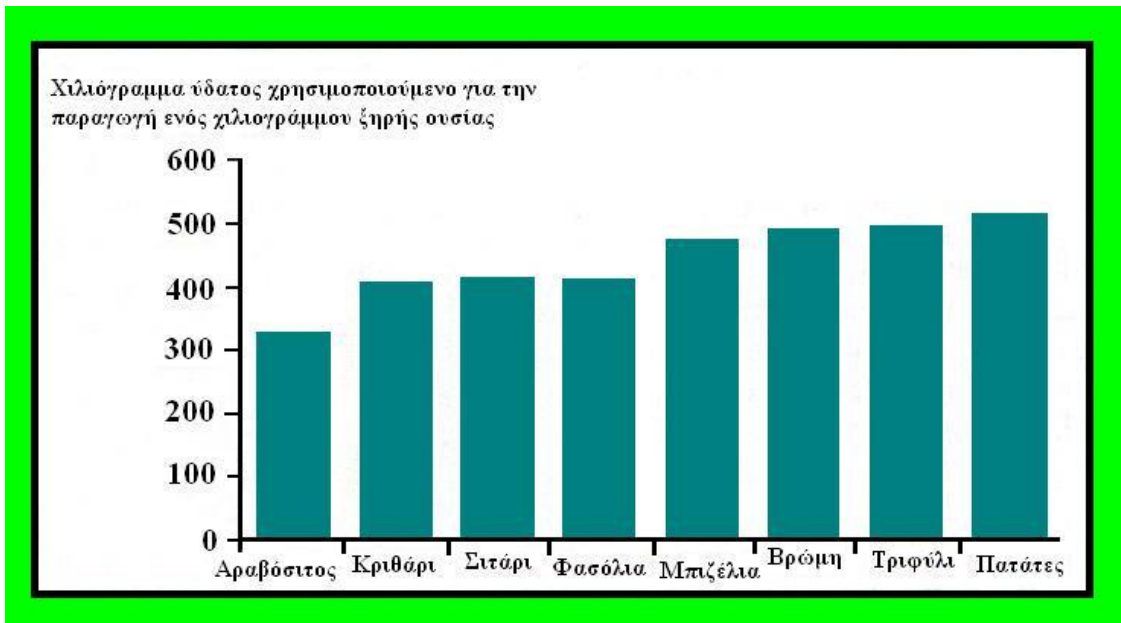
10.8.1. Επάρκεια της υδατικής χρήσης

Η βιομάζα η οποία παράγεται από ένα φυτό με μια δεδομένη ποσότητα νερού μπορεί να χρησιμοποιηθεί ως το μέτρο της αποτελεσματικότητας της χρήσης του παρεχόμενου νερού σε ένα αγροοικοσύστημα. Όταν η αποτελεσματικότητα αυτή εκφράζεται ως, η ξηρή ουσία που παράγεται ανά μονάδα νερού που διαπνέεται, τότε αυτή ονομάζεται αποτελεσματικότητα διαπνοής (Δ) και όταν υπολογίζεται με βάση την ξηρή ουσία που παράγεται ανά μονάδα νερού που χάνεται, τόσο από την εξάτμιση από την επιφάνεια του εδάφους, όσο και από την διαπνοή, τότε ονομάζεται αποτελεσματικότητα εξατμισιδιαπνοής ($E\Delta$).

10.8.1.1. Αποτελεσματικότητα διαπνοής

Τα φυτά εμφανίζουν μια ποικιλομορφία στην αποτελεσματικότητα της διαπνοής τους, μολονότι η πραγματική αποτελεσματικότητα διαπνοής εξαρτάται από τις συνθήκες που υπάρχουν εκεί όπου αναπτύσσονται τα φυτά καλλιέργειας. Τα δεδομένα υποδεικνύουν ότι τα φυτά καλλιέργειας, όπως π.χ. ο αραβόσιτος, το σόργο και το κεχρί, έχουν σχετικά υψηλές αποτελεσματικότητες διαπνοής, αφού χρησιμοποιούν λιγότερο νερό για να παράξουν 1 χιλιόγραμμα ξηρής ουσίας. Αντιθέτως, τα ψυχανθή, όπως π.χ. η μηδική, έχουν χαμηλή αποτελεσματικότητα διαπνοής και εξαρτώνται από τις υψηλές

εισροές υγρασίας για κάθε παραγόμενο χιλιόγραμμο ξηρής ουσίας. Τα περισσότερα δημητριακά και πολλά λαχανικά βρίσκονται σε μια ενδιάμεση κατάσταση. Οι μέσες αποτελεσματικότητες διαπνοής για ένα αριθμό σημαντικών φυτών καλλιέργειας παρουσιάζονται στην **Εικόνα 10.4**.



Εικόνα 10.4. Μέσες αποτελεσματικότητες διαπνοής διαφόρων φυτών καλλιέργειας. **Πηγή:** Τα δεδομένα υπολογίστηκαν από στοιχεία που ελήφθησαν από τους Lyon *et al* (1952) από ποικίλες τοποθεσίες απ' όλο τον κόσμο.

Για να φτάσει ένα φυτό καλλιέργειας στην ωριμότητα απαιτείται μια μεγάλη ποσότητα νερού. Για παράδειγμα, μια αντιπροσωπευτική καλλιέργεια αραβοσίτου που περιέχει 1.000 χιλιόγραμμο ανά στρέμμα ξηρής ουσίας και έχει ένα λόγο διαπνοής 350, θα αντλήσει από το έδαφος το ισοδύναμο των 3,5 κυβικών εκατοστών νερού ανά στρέμμα. Η υγρασία αυτή πρέπει να βρίσκεται στο έδαφος τη στιγμή που τα φυτά τη χρειάζονται, ειδάλλως, το φυτό θα υποφέρει. Αν στις τιμές του πίνακα προστεθούν οι απώλειες της εξάτμισης, θα δούμε με διαύγεια πως στις περιοχές με περιορισμένη σχετική υγρασία, η υγρασία είναι συχνά ο πλέον κρίσιμος παράγοντας της παραγωγής.

Η έρευνα που διεξάγεται με σκοπό την αύξηση της αποτελεσματικότητας της διαπνοής των φυτών καλλιέργειας συνάντησε πολύ λίγη επιτυχία. Παρά τις αλλαγές στη διαχείριση ή τις προσπάθειες διασταύρωσης φυτών, πολύ μικρή επιτυχία είχε η διαφοροποίηση του λόγου. Χωρίς κανέναν άλλον παράγοντα να είναι περιοριστικός, η ποσότητα του νερού που απαιτείται για να παραχθεί μια μονάδα ξηρής ουσίας ενός είδους ή μιας ποικιλίας φυτού καλλιέργειας, σε δεδομένες κλιματικές συνθήκες, είναι σχετικά σταθερή. Αυτό καταδεικνύει ότι, θα μπορούσαμε να κερδίσουμε περισσότερα, εάν εστιάζαμε τις προσπάθειές μας πάνω στον έλεγχο της εξάτμισης του νερού από την επιφάνεια του εδάφους.

10.8.1.2. Αποτελεσματικότητα εξατμισοδιαπνοής

Αφού το έδαφος από μόνο του είναι πολύ μεταβλητό, η αποτελεσματικότητα της εξατμισοδιαπνοής είναι και αυτή άκρως μεταβαλλόμενη. Όμως, με την αλλαγή των πρακτικών διαχείρισης της καλλιέργειας και του εδάφους, οι οποίες επηρεάζουν την εξάτμιση από το έδαφος, όπως θα περιγράψουμε στη συνέχεια, οι επιθυμητές αλλαγές

στην αποτελεσματικότητα της εξατμισιοδιαπνοής μπορούν εύκολα να επιτευχθούν. Ίδανικά, ο λόγος της απώλειας του διαπνεόμενου νερού προς την απώλεια του εξατμιζόμενου νερού πρέπει να είναι όσο το δυνατό υψηλότερος. Ένας υψηλότερος λόγος διαπνοή / εξατμισιοδιαπνοή δείχνει περισσότερη κίνηση του νερού μέσω του φυτού και κατά συνέπεια, ένα υψηλότερο δυναμικό για την παραγωγή της βιομάζας του φυτού ανά μονάδα χρησιμοποιούμενου νερού. Η αειφορική διαχείριση του νερού αποδίδει μεγαλύτερη έμφαση στην ελάττωση της εξατμισιοδιαπνοής, ώστε να έχουμε περισσότερη υγρασία για τις ανάγκες της διαπνοής και τις σχετιζόμενες με αυτή αύξηση του φυτού και διαδικασίες ανάπτυξης.

10.8.2. Διαχείριση της εξατμισιοδιαπνοής

Η διαπνοή αποτελεί μια διαδικασία του φυτού η οποία υπόκειται σε πολύ μικρό έλεγχο, εάν ένα φυτό αναπτύσσεται κανονικά. Γι αυτό, είναι καλύτερα να εστιάσουμε την προσοχή μας στην μείωση των εξατμισιακών απωλειών, διαχειριζόμενοι καλύτερα τον τρόπο με τον οποίο τα φυτά αυξάνουν.

10.8.2.1. Επιλογή των φυτών καλλιέργειας και σχεδιασμός του αγροοικοσυστήματος

Η επιλογή των φυτικών ειδών και του χρόνου της καλλιέργειας μπορούν να επηρεάσουν αμφότερες τις αποτελεσματικότητες, δηλ. της διαπνοής και της εξατμισιοδιαπνοής. Επιλέγοντας ένα φυτό καλλιέργειας με λιγότερο έντονες απαιτήσεις, όπως π.χ. τον αραβόσιτο και το σόργο, σε μια περιοχή με πολύ υψηλή εξατμισιοδιαπνοή και περιορισμένη επάρκεια νερού για άρδευση, αυτό είναι μια καλή στρατηγική για τη διαχείριση της εδαφικής υγρασίας. Επίσης, η αλλαγή της καλλιέργειας των περισσότερων υδροβόρων φυτών καλλιέργειας σε μια ψυχρότερη χρονική περίοδο του έτους, είναι δυνατό να είναι χρήσιμη, όταν η απώλεια του υδατικού δυναμικού είναι μικρότερη.

Η μεγαλύτερη φυτική κάλυψη μπορεί να ελαττώσει την εξάτμιση σε μεγάλο βαθμό. Ένας τρόπος για να αποκτήσουμε μεγαλύτερη κάλυψη είναι η χρήση των συγκαλλιερητικών τεχνικών. Μια δασική φυτεία, για παράδειγμα, σκιάζει την επιφάνεια του εδάφους, ενώ ένας οπωρώνας με μηλιές και με τις γραμμές των δένδρων σε μεγάλες αποστάσεις μεταξύ τους, εκθέτει πολύ μεγαλύτερη επιφάνεια στην επίδραση της εξάτμισης. Από τη άλλη πλευρά, μια αύξηση της φυτικής κάλυψης, η οποία θα έχει υψηλότερο δείκτη φυλλικής επιφάνειας, μπορεί να αποτελεί μια εγγυημένη λύση για τις ξηρότερες περιοχές, αφού οι ρυθμοί της χαμηλότερης εξάτμισης μπορούν να αντισταθμιστούν από τους πολύ μεγαλύτερους ρυθμούς διαπνοής, εξαντλώντας ταχύτερα τα αποθέματα της εδαφικής υγρασίας.

10.8.2.2. Αγρανάπαυση

Στις περιοχές της γης με περιορισμένη υγρασία, όπως για παράδειγμα στις Μεγάλες Πεδιάδες των ΗΠΑ και τη νοτιοανατολική ζώνη του σιταριού της Αυστραλίας, οι αγρότες – παραγωγοί μερικές φορές εναλλάσσουν την καλλιεργητική τους πρακτική ανάμεσα σε καλλιέργεια για το ένα έτος και αγρανάπαυση για το επόμενο έτος, ώστε να συντηρήσουν την υγρασία του εδάφους. Η εκμηδένιση των εξατμισιοδιαπνοϊκών απωλειών από μια καλλιέργεια στη διάρκεια του έτους της αγρανάπαυσης επιτρέπει στην υγρασία του εδάφους να αποθηκευθεί για το επόμενο καλλιεργητικό έτος. Συνήθως, τα φυτικά υπολείμματα από το προηγούμενο έτος παραμένουν στην

επιφάνεια του εδάφους, ώστε οι απώλειες από την εξάτμιση να περιοριστούν και στη συνέχεια κατά τη διάρκεια της αγρανάπαυσης εφαρμόζεται κάποιο είδος καλλιέργειας του εδάφους ή ένας χειρισμός με ζιζανιοκτόνα, ώστε να ελαχιστοποιηθούν οι απώλειες από τα ζιζάνια. Εναλλακτικά, μια καλλιέργεια κτηνοτροφικών φυτών σπέρνεται προς το τέλος της καλλιεργητικής περιόδου και αυτή παραμένει ως βοσκομένη κάλυψη στη διάρκεια της αγρανάπαυσης. Μολονότι η χαμηλή βροχόπτωση κατά τη διάρκεια της αγρανάπαυσης μπορεί να προκαλέσει χαμηλότερες αποδόσεις από αυτές των φυτών καλλιέργειας κατά το έτος καλλιέργειας, μια καλλιέργεια φυτών που φυτεύεται μετά από το έτος της αγρανάπαυσης θα έχει, σε γενικές γραμμές, μεγαλύτερη απόδοση από την αντίστοιχη καλλιέργεια, χωρίς την παρεμβολή της αγρανάπαυσης. Πράγματι, εάν κατά τη διάρκεια του έτους αγρανάπαυσης συμβεί μια μακρά και επαρκής βροχόπτωση για την αναπλήρωση των απωλειών σε νερό, τότε ο κίνδυνος της αποτυχίας της καλλιέργειας είναι μικρότερος, από την περίπτωση που η περίοδος της καλλιέργειας διέλθει ένα άνυδρο έτος.

10.8.2.3. Διαχείριση της επιφανειακής εξάτμισης

Με την απευθείας από την επιφάνεια του εδάφους εξάτμιση του νερού επιστρέφει στην ατμόσφαιρα περισσότερη υγρασία από τη μισή που αποκτήθηκε από τα κατακρημνίσματα. Το ύψος αυτό της εξατμισιακής απώλειας δεν συμβαίνει μόνο στις ξηρές περιοχές, αλλά και στις αρδευόμενες ξηρές και τις δεχόμενες βροχόπτωση υγρές περιοχές. Το αποτέλεσμα της απώλειας της υγρασίας μέσω της επιφανειακής εξάτμισης είναι, να υποφέρει η αύξηση του φυτού. Έτσι, κάθε πρακτική που θα καλύψει το έδαφος θα βοηθήσει στη μείωση των απωλειών από την εξάτμιση.

Οργανική κάλυψη. Για να καλυφθεί η επιφάνεια του εδάφους με σκοπό την μείωση της εξάτμισης, αλλά και της ταυτόχρονης ελάττωσης της αύξησης των ζιζανίων και των αναπνευστικών απωλειών από αυτά, μπορεί να χρησιμοποιηθεί ένα ευρύ πλέγμα υλικών φυτικής και ζωικής προέλευσης. Υλικά τα οποία χρησιμοποιούνται συχνότατα είναι τα πριονίδια, τα φύλλα, το άχυρο, τα κομποστοποιημένα γεωργικά απόβλητα, η κοπριά και τα υπολείμματα της συγκομιδής. Η οργανική κάλυψη παρέχει ένα πολύ αποτελεσματικό φράγμα στην απώλεια της υγρασίας και έχει ειδική εφαρμογή στα εντατικά συστήματα των κήπων και τα συστήματα των μικρών αγροκτημάτων ή στα φυτά καλλιέργειας μεγάλης αξίας, όπως στις φράουλες για παράδειγμα. Η οργανική κάλυψη λειτουργεί άριστα, όταν το καλλιεργητικό σύστημα δεν απαιτεί συχνές καλλιεργητικές παρεμβάσεις ή αυτό κυρίως εξαρτάται από το ξεβοτάνισμα.

Η οργανική κάλυψη αποτελεί μια ζωτική επιλογή για τη διαχείριση του εδαφικού νερού, αλλά ταυτοχρόνως έχει και πολλές άλλες ευεργετικές επιπτώσεις. Έτσι, το έδαφος προστατεύεται από τη διάβρωση, η οργανική ύλη και θρεπτικά στοιχεία επιστρέφουν στο έδαφος, η εδαφική λευκότητα τροποποιείται, η οριακή στρώση διάχυσης αερίων αυξάνεται και η προσπίπτουσα βροχόπτωση απορροφάται. Τα παραπάνω είναι κάποιες παραγοντικές καταστάσεις οι οποίες αλληλεπιδρούν ταυτοχρόνως.

Τεχνητή κάλυψη. Ένα ευρύ φάσμα από ειδικά κατασκευασμένα χάρτινα και πλαστικά είδη είναι πλέον διαθέσιμο για να χρησιμοποιηθούν ως υλικά τεχνητής κάλυψης. Τα υλικά αυτά εύκολα μπορούν να απλωθούν και να εξασφαλίσουν με σταθερότητα την επιφάνεια του εδάφους. Όταν τα υλικά αυτά απλώνονται άμεσα πάνω από τις σποροκλίνες, τις οπές ή τα αυλάκια, αυτό γίνεται προς όφελος των φυτών καλλιέργειας. Οι απώλειες σε υγρασία μειώνονται σε μεγάλο βαθμό και οι αποδόσεις πολύ συχνά αυξάνονται. Κάποια πλαστικά παρέχουν επίσης ένα συγκεκριμένο φαινόμενο του θερμοκηπίου, αυξάνοντας τις εδαφικές θερμοκρασίες κατά αρκετούς

βαθμούς. Αυτό αποτελεί μάλιστα ένα πολύ σημαντικό όφελος για τα φυτά καλλιέργειας που φυτεύονται κατά τη διάρκεια κρύων εποχών του έτους.

Υπολείμματα συγκομιδής και μειωμένες καλλιεργητικές παρεμβάσεις.

Εγκαταλείποντας μετά τη συγκομιδή στην επιφάνεια του εδάφους ένα υψηλό ποσοστό από τα υπολείμματα της φυτικής καλλιέργειας, δημιουργείται ένα προστατευτικό φράγμα που μειώνει την εξάτμιση. Τα φυτικά υπολείμματα προστατεύουν το ανώτερο στρώμα της επιφάνειας του εδάφους και δημιουργούν ένα εμπόδιο απέναντι στην τριχοειδή ροή του νερού προς την επιφάνεια. Οι χαμηλότερες θερμοκρασίες που δημιουργούνται από τα υπολείμματα της καλλιέργειας προφανώς βοηθούν στη μείωση της εξάτμισης.

Η μειωμένη καλλιεργητική παρέμβαση στο έδαφος ή η εφαρμογή τεχνικών μη καλλιεργητικής παρέμβασης συχνά συνδυάζονται με τη χρήση υπολειμμάτων συγκομιδής. Ο μείζων σκοπός για τα περισσότερα συστήματα μειωμένης καλλιεργητικής παρέμβασης είναι η ανάπτυξη μεγαλύτερης εδαφικής κάλυψης, έτσι ώστε να ελαττωθούν οι εξ αιτίας της εξάτμισης απώλειες από την επιφάνεια. Στα συστήματα των μη καλλιεργητικών παρεμβάσεων, οι σπόροι φυτεύονται απευθείας στο έδαφος κάτω από τη κάλυψη της προηγούμενης καλλιέργειας χωρίς όργωμα ή χωρίς σκάλισμα, αφήνοντας το φυτικό υλικό να παραμείνει ως φράγμα απέναντι στις απώλειες της εξάτμισης. Η κάλυψη του εδάφους με άχυρο αποτελεί μια κοινή πρακτική στις ύφυγρες και ημίξηρες περιοχές, στις οποίες παράγεται αρκετή βιομάζα από την προηγούμενη καλλιέργεια, ώστε να αποδώσει ικανοποιητική κάλυψη στο έδαφος. Τα υπολείμματα θρυμματίζονται ή κομματιάζονται, διασκορπίζονται ομοιόμορφα σε ολόκληρη την επιφάνεια και τελικά, αφού αυτά διεισδύσουν με την εφαρμογή ειδικής καλλιεργητικής παρέμβασης, φυτεύεται η επόμενη καλλιέργεια. Παρά τις θετικές τους επιπτώσεις πάνω στην υγρασία του εδάφους, τα συστήματα των μειωμένων καλλιεργητικών παρεμβάσεων έχουν πιθανά μειονεκτήματα. Σ' αυτά περιλαμβάνονται η αυξημένη εξάρτηση από τα φυτοκτόνα για τη διαχείριση των ζιζανίων, η δημιουργία παθογόνων στο έδαφος από τα υπολείμματα της καλλιέργειας και η ανάγκη για πιο πολύπλοκο και ακριβότερο γεωργικό εξοπλισμό.

Εδαφική κάλυψη. Στις περιοχές με μια διακριτή εναλλαγή ανάμεσα στην υγρή και την ξηρή περίοδο, μια φυσική κάλυψη από χώμα, η οποία υλοποιείται από ένα στρώμα καλλιεργημένου ξηρού χώματος στην επιφάνεια του εδάφους, μπορεί να συντηρήσει την υγρασία. Το ξηρό αυτό στρώμα διασπά την τριχοειδή ροή του νερού προς την επιφάνεια, και η διαδικασία της δημιουργίας της εξαφανίζει τα ζιζάνια που θα ήταν δυνατό να δεσμεύσουν την υγρασία κάτω από το ξηρό στρώμα και να αυξήσει τις διαπνευστικές απώλειες. Εντούτοις, τα ωφέλημα αυτά πρέπει να αντισταθμίζονται με τις πιθανές αρνητικές επιπτώσεις, όπως είναι οι αυξημένες δαπάνες για την καλλιέργεια, μια μεγαλύτερη απειλή της εδαφικής διάβρωσης από τη βροχή και τον άνεμο, και η απώλεια της οργανικής ύλης από το ξηρό στρώμα.

10.9. Χρήσιμη συμπληρωματική βιβλιογραφία

Brady, N. C. and R. R. Weil. 1996. *The Nature and Properties of Soils*. Eleventh Edition. Prentice Hall: Upper Saddle River, New Jersey.

Marshall, T. J., J. W. Holmes, and C. W. Rose. 1996. *Soil Physics*. Third Edition. Cambridge University Press: New York.

Slayter, R. O. 1967. *Plant Water Relationships*. Academic Press: New York.

Steward, R. C. and D. R. Nielsen (eds.) 1990. *Irrigation of Agricultural Crops.*
American Society of Agronomy: Madison, WI.

Κεφάλαιο Ενδέκατο

Η Φωτιά

11.1. Γενικά

Όλες σχεδόν οι μορφές βλάστησης του πλανήτη μας έχουν επηρεαστεί κατά κάποιο τρόπο από τη φωτιά. Ειδικότερα στις περιοχές με έντονες ξηρές περιόδους συμβαίνουν περιοδικές πυρκαγιές με ποικίλλουσες συχνότητες και εντάσεις. Η φωτιά είναι μια μείζων μορφή της περιβαλλοντικής αλλαγής ή διαταραχής. Απομακρύνει κυρίαρχα φυτικά είδη, απομακρύνει ζώα, επαναφέρει θρεπτικά στοιχεία στο έδαφος και πυρπολεί τον ξηροτάπητα που συσσωρεύεται στις επιφάνειες των δασών.

Οι πλέον κοινές πυρκαγιές είναι ως προς την προέλευση οι φυσικές, αλλά και οι ανθρωπογενείς πυρκαγιές έχουν μια σημαντική προϊστορία. Στη βιβλιογραφία υπάρχουν αναφορές αποθέσεων από καμένα ξύλα στις περιοχές των τροπικών δασών της βροχής, οι οποίες χρονολογούνται πριν από 6.000 έτη, πολλές από τις οποίες εμφανίζονται να είναι συνδεδεμένες με την ανθρώπινη δραστηριότητα. Πριν από την ανάπτυξη των πρώτων γεωργικών εργαλείων, η φωτιά ενδεχομένως να υπήρξε το πλέον σημαντικό «εργαλείο», το οποίο οι πρώτοι άνθρωποι είχαν για τη διαχείριση της βλάστησης.

Κάποιοι φυσικοί τύποι βλάστησης οι οποίοι έχουν αναπτυχθεί σε περιοχές στις οποίες η πυρκαγιά είναι σχετικά συχνή, εξαρτώνται πραγματικά για την μακροχρόνια σταθερότητά τους από τη φωτιά. Σ' αυτούς περιλαμβάνονται συγκεκριμένα ποολίβαδα, σαβάνες, θαμνώνες και τύποι δασών. Το οικοσύστημα των Chapparrals στην California αποτελεί προφανώς την πλέον γνωστή μορφή βλάστησης η οποία εξαρτάται από τη φωτιά. Αυτή πολλές φορές περιγράφεται ως «πυροκλιματική» (fire climax) κοινότητα. Ένα αντίστοιχο οικοσύστημα που υπάρχει και στην πατρίδα μας είναι το οικοσύστημα των ασφακώνων.

Στην πρόσφατη οικολογική έρευνα, η πυρκαγιά δεν έχει επαρκώς ερευνηθεί, διότι αντιμετωπίστηκε ως μια καταστροφική δύναμη και διότι ήταν σκληρό να παρατηρούμε τις πραγματικές επιπτώσεις. Πολύ εσχάτως όμως, λεπτομερείς μελέτες για την πυρκαγιά στα οικοσυστήματα, όπως το οικοσύστημα των Chapparrals στην California, βοήθησαν ώστε να καταστεί η πυρκαγιά ένα σημαντικό θέμα της

οικολογικής έρευνας. Σήμερα, η πυρκαγιά θεωρείται ως ένα αναπόσπαστο τμήμα πολλών οικοσυστημάτων, όπως αυτό τεκμηριώνεται από την ανερχόμενη χρήση του ελεγχόμενου πυρός στη διαχείριση των πάρκων, των ελεγχόμενων ρεζερβών αλλά και άλλων οικοσυστημάτων. Επίσης, η φωτιά παίζει πολύ σημαντικούς ρόλους στα αγροοικοσυστήματα. Είναι ένα σημαντικό μέρος για την πρακτική της αμεινισποράς, και αυτή χρησιμοποιείται για να διαχειριστούμε τα υπολείμματα των καλλιεργειών, για να φονεύονται τα ζιζάνια, και για τον καθαρισμό των υπολειμμάτων υλοτομίας.

11.2. Η φωτιά στα φυσικά οικοσυστήματα

Μια πυρκαγιά μπορεί να συμβεί όταν εκπληρώνονται τρεις συνθήκες. Δηλαδή, (α) η συσσώρευση μιας επαρκούς καύσιμης ή οργανικής ύλης, (β) ο ξηρός καιρός, και (γ) η πηγή ανάφλεξης. Για εκατομμύρια έτη, ο κεραυνός ήταν η πρωτογενής πηγή ανάφλεξης. Ακόμη και σήμερα αυτός εξακολουθεί να είναι σημαντικός παράγοντας, με παραπάνω από το 70% των φυσικών πυρκαγιών στις δυτικές ΗΠΑ να προκαλούνται από τα κτυπήματα των κεραυνών. Στον πολύ πρόσφατο γεωλογικό χρόνο, οι άνθρωποι είχαν καταστεί η πρωτογενής «πηγή ανάφλεξης». Οι άνθρωποι έχουν χρησιμοποιήσει τη φωτιά από την Παλαιολιθική εποχή, ήτοι πριν από 500.000 έτη περίπου. Η φωτιά προφανώς χρησιμοποιήθηκε πριν από το κυνήγι ή το κοπάδιασμα των ζώων και στη συνέχεια αυτή εξελίχθηκε σ' ένα εργαλείο διαχείρισης της βλάστησης. Η καύση μπορεί να έχει χρησιμοποιηθεί για να προμηθευτούν τα ζώα καλύτερη τροφή, ή ακόμη για να προωθηθεί η παρουσία κάποιων συγκεκριμένων φυτών που λειτουργούσαν ως πηγές τροφίμων για τους ανθρώπους. Προφανώς, η φωτιά κατέστη ένα εργαλείο για την προπαρασκευή του εδάφους, ώστε αυτό να δεχθεί τα φυτά, με την ένδειξη ότι η πρώιμη κοπή και καύση για τη γεωργία άρχισε πριν από 10.000 έτη.

Από μια οικολογική άποψη υπάρχουν κατ' αρχήν τρεις τύποι πυρκαγιών:

1. Η **πυρκαγιά επιφανείας (επιφανειακή πυρκαγιά)**. Είναι ο πλέον κοινός τύπος πυρκαγιάς. Οι επικρατούσες θερμοκρασίες δεν είναι τόσο θερμές, με τις φλόγες να καίνε τα κλαδιά, τις πόες ή τον ξηροτάπητα, υλικά τα οποία έχουν συσσωρευτεί στην επιφάνεια του εδάφους. Μια τέτοια φωτιά μπορεί να μετακινηθεί κάτω από την κομοστέγη του δάσους και να μην καίγονται τα δένδρα. Οι αλλαγές οι οποίες συμβαίνουν στις συνθήκες του εδάφους κατά τη διάρκεια της επιφανειακής πυρκαγιάς είναι συνήθως μικρής διάρκειας, μολονότι η βλάστηση του υπορόφου μπορεί να τροποποιηθεί σε μεγάλο βαθμό. Οι επιφανειακές πυρκαγιές μπορούν να χρησιμοποιηθούν, είτε για τον έλεγχο, είτε για την προώθηση της αύξησης της ανεπιθύμητης ή εισβάλλουσας βλάστησης, ανάλογα με τις καταστάσεις.
2. Η **πυρκαγιά κορυφής (επικόρυφη πυρκαγιά)**. Είναι ο τύπος της πυρκαγιάς ο οποίος είναι πολύ καταστροφικός για κάποιους τύπους βλάστησης, αυτή όμως μπορεί να είναι αλληλένδετη με την ανανέωση κάποιων άλλων τύπων βλάστησης. Κατά τη διάρκεια των επικόρυφων πυρκαγιών, η κομοστέγη της βλάστησης αναλώνεται και συνήθως τα ώριμα φυτικά είδη φονεύονται. Οι επικόρυφες πυρκαγιές κινούνται συνήθως ταχύτατα και συχνά συνδυάζονται με τις επιφανειακές πυρκαγιές, ώστε να καεί κάθε τι που βρίσκεται στην επιφάνεια του εδάφους.
3. Η **πυρκαγιά εδάφους**. Είναι ένας τύπος πυρκαγιάς που δεν είναι πολύ συχνός, αλλά όταν αυτή συμβαίνει, μπορεί να είναι πολύ καταστρεπτική. Είναι χαρακτηριστική των εδαφών που περιέχουν υψηλές ποσότητες οργανικής ύλης. Η οργανική ύλη στο έδαφος μπορεί να καεί μέχρι τη στρώση του ανόργανου εδάφους. Αυτές είναι συνήθως αργές πυρκαγιές, με περισσότερο καπνό απ' ό,τι

φλόγα, και καθώς κατακαίγουν το έδαφος το ξηραίνουν. Στο έδαφος οι ρίζες και οι σπόροι νεκρώνονται και οι βιότοποι των ζώων σε μεγάλο βαθμό τροποποιούνται.

Οποιαδήποτε πυρκαγιά μπορεί να συνδυάσει τις όψεις και των τριών τύπων της πυρκαγιάς. Σε γενικές γραμμές όμως, η ένταση μιας πυρκαγιάς είναι πολύ στενά συσχετισμένη με τη συχνότητα των πυρκαγιών σε μια περιοχή.

11.3. Επιδράσεις της φωτιάς στο έδαφος

Το μεγαλύτερο μέρος της οικολογικής σπουδαιότητας της φωτιάς περιστρέφεται γύρω από τις επιδράσεις της στο έδαφος. Η φωτιά έχει αξιοσημείωτες επιπτώσεις σε ένα πλέγμα αβιοτικών και βιοτικών παραγόντων στο οικοσύστημα του εδάφους, και η γνώση των επιπτώσεων αυτών είναι άκρως σημαντική, οσάκις εφαρμόζουμε τη φωτιά ως ένα εργαλείο για τη διαχείριση του αγροοικοσυστήματος. Αξίζει εδώ να σημειωθεί, ότι οι επιδράσεις της φωτιάς ποικίλουν σε ένα ευρύ φάσμα, εξαρτώμενες από τον τύπο και το στάδιο της ανάπτυξης, τον τύπο του εδάφους, την εποχή της καύσης, τις επικρατούσες καιρικές συνθήκες, τη χρονική περίοδο ανάμεσα σε δύο διαδοχικές πυρκαγιές και κάποιες άλλες συνθήκες.

11.3.1. Οι αβιοτικοί παράγοντες

Όταν συμβαίνει μια πυρκαγιά, η θερμοκρασία των επιφανειακών στρωμάτων του εδάφους ανυψώνεται. Ο πραγματικός ρυθμός θέρμανσης και το βάθος που πάει η θερμότητα εξαρτώνται από την ποσότητα της υγρασίας του εδάφους και τον τύπο της πυρκαγιάς. Η θερμοκρασία κατά τη διάρκεια της καύσης στην επιφάνεια του εδάφους σχεδόν πάντοτε ξεπερνά τους 100 °C, φτάνοντας για βραχείες χρονικές περιόδους μέχρι τους 720 °C. Η αύξηση της θερμοκρασίας κάτω από την επιφάνεια του εδάφους περιορίζεται συνήθως για λίγα μόνο λεπτά στα ανώτερα 3-4 εκατοστά, όπου αυτή ανυψώνεται από 50 έως 80 °C πάνω από τη θερμοκρασία που επικρατούσε πριν από την πυρκαγιά, (Raison 1979). Οι θερμοκρασίες αυτές είναι αρκετά υψηλές για να τροποποιήσουν το περιβάλλον του εδάφους κατά τέτοιο τρόπο, ώστε αυτός να είναι χρήσιμος για τη διαχείριση του αγροοικοσυστήματος

Η πλήρης καύση της υπέργειας οργανικής ύλης εξαφανίζει το μεγαλύτερο μέρος του αζώτου και των ενώσεων των οργανικών οξέων, προκαλώντας την επιστροφή των ανόργανων κατιόντων στο έδαφος, κυρίως των ιόντων K^+ και Ca^{2+} , τα οποία στη συνέχεια αποκτούν μια αλκαλική επίδραση. Το μέγεθος αυτού του αποτελέσματος εξαρτάται από την ένταση της φωτιάς και την ολοκληρωτική ανάφλεξη της φυτικής βιομάζας, αλλά, κατά τη διάρκεια των πρώτων ημερών που έπονται της φωτιάς, το pH του εδάφους αυξάνεται, ιδιαίτερα μάλιστα εάν το έδαφος είναι υγρό από πρόσφατη πτώση των κατακρημνισμάτων. Αυτή η αύξηση της τιμής του pH συνήθως είναι της τάξης των 3 μονάδων.

Μετά τη φωτιά, η μαυρισμένη επιφάνεια του εδάφους έχει την τάση να δέχεται περισσότερη ηλιακή ακτινοβολία. Εάν όμως, η ιστάμενη βιομάζα πριν την φωτιά ήταν επαρκής και οι θερμοκρασίες κατά την καύση ήταν πολύ υψηλές, θα εμφανιστεί στην επιφάνεια αρκετή λευκή στάχτη, η οποία για μικρή χρονική διάρκεια θα έχει τα αντίθετα αποτελέσματα. Η υψηλή λευκότητα της λευκής επιφάνειας θα ανακλάσει την ηλιακή ενέργεια και θα περιορίσει τη θέρμανση του εδάφους.

Οι υψηλές θερμοκρασίες που προκαλούνται από τη φωτιά μπορούν να ελαττώσουν σε μεγάλο βαθμό την ποσότητα της οργανικής ύλης στα ανώτερα

στρώματα του εδάφους. Σε μια θερμοκρασία 200-300 °C για 20 έως 30 λεπτά θα παρατηρηθεί μια μείωση στην οργανική ύλη της τάξης του 85%, η οποία θα συνοδεύεται και από μια απελευθέρωση CO₂, μια απώλεια αζώτου και θείου σε πτητικές μορφές και από μια εναπόθεση ανόργανων στοιχείων.

Μετά τη φωτιά παρατηρείται συνήθως μια ελάττωση στην ικανότητα του εδάφους να συγκρατεί υγρασία, παρότι με την απομάκρυνση της βλάστησης που καλύπτει το έδαφος, η πραγματική διαθεσιμότητα της υγρασίας στο έδαφος αυξάνεται, διότι μειώνονται οι απαιτήσεις του. Το μέγεθος των συσσωματωμάτων του εδάφους μειώνεται, η πυκνότητα αυξάνεται και η διαπερατότητα αλλά και οι ρυθμοί διήθησης του νερού ελαττώνονται. Συχνά, μετά από μια βροχή παρατηρείται αύξηση της επιφανειακής απορροής και της απόπλυσης θρεπτικών στοιχείων και συνεπώς η πιθανότητα μεγαλύτερης εδαφικής διάβρωσης, μέχρις ότου το έδαφος καλυφθεί ξανά με βλάστηση. Ακριβώς μετά την πυρκαγιά, είναι πολύ συνηθισμένο η ανώτερη επιφάνεια του εδάφους να είναι αδιαπέραστη από το νερό, αλλά η κατάσταση αυτή συνήθως ξεπερνιέται μετά από κάποια έκθεση σε υγρασία.

Σε γενικές γραμμές, οι περισσότερες από τις αβιοτικές επιπτώσεις έχουν μια μάλλον βραχυχρόνια φύση και διάρκεια. Η αναγέννηση της βλάστησης, μαζί με την αντικατάσταση της οργανικής ύλης στο έδαφος, η απόπλυση από τη βροχή και η προσαρμογή των φυτών στις συνθήκες της φωτιάς, αρχίζουν τη διαδικασία της ανάκαμψης. Στην περίπτωση πυρκαγιάς με μεγάλη ένταση, η οποία ακολουθεί μετά από την υπερβολική καταπίεση της φωτιάς και την μη κανονική κατανομή της καύσιμης ύλης ή στην περίπτωση που η πυρκαγιά καίει παχιές οργανικές στρώσεις από τύρφη ή χούμο που επανασυσσωρεύονται με πολύ αργό ρυθμό, οι αβιοτικές συνθήκες μπορεί να μεταβληθούν για μεγαλύτερες χρονικές περιόδους. Οι ασυνήθιστα συχνές πυρκαγιές, συνήθως ανθρωπογενούς προέλευσης, μπορεί επίσης να οδηγήσουν σε μια αλλαγή μεγαλύτερης διάρκειας.

11.3.2. Οι βιοτικοί παράγοντες

Χωρίς καμιά αμφιβολία, κάθε φυτό ή ζώο που θα βρεθεί στο δρόμο της φωτιάς βρίσκεται σε κίνδυνο. Φυτά τα οποία δεν είναι προσαρμοσμένα στη φωτιά θανατώνονται αμέσως, ειδικότερα εάν ο τύπος του φλοιού δεν προστατεύει το ζων κάμβιο. Εάν η φωτιά είναι αρκετά δυνατή και οι υπόλοιπες συνθήκες είναι θετικές, η ζώσα φυτική ύλη μπορεί να θανατωθεί, να ξηραθεί και να αναφλεγεί γρήγορα, μετατρέποντας όλη την υπέργεια φυτική ύλη σε στάχτη. Στη συνέχεια, εάν τα φυτά δεν παραβλαστάνουν από υπόγειες δομές αναβλάστησης, η ανάκαμψη θα προέλθει μόνο από το φύτρωμα των σπόρων. Οι σπόροι από κάποια είδη φυτών θανατώνονται από τη φωτιά, ενώ κάποιοι άλλοι σπόροι διεγείρονται, είτε με τη διακοπή των παραγόντων που προκαλούν τον συγκεκριμένο λήθαργο, είτε με τη δημιουργία εδαφικών συνθηκών που ευνοούν την εγκατάσταση και το φύτρωμά τους.

Οι επαναλαμβανόμενες πυρκαγιές μπορεί να καθυστερήσουν τη διαδικασία ανάκαμψης της βλάστησης, σε σημείο που ένας άλλος τύπος βλάστησης, περισσότερο ανθεκτικός στη φωτιά, να καταστεί κυρίαρχος στην περιοχή. Η μετατροπή των θαμνολίβαδων σε ποολίβαδα αποτελεί ένα ενδεικτικό παράδειγμα της διαδικασίας αυτής. Από την άλλη πλευρά, με την περιοδική καύση κάποιοι τύποι βλάστησης διατηρούνται κατά μια έννοια υγιείς, διότι η φωτιά απομακρύνει ηλικιωμένα και νεκρά άτομα, επιστρέφει αποθηκευμένα θρεπτικά στοιχεία στο έδαφος και διεγείρει την ανανέωση των νεότερων ατόμων.

Πολλά από τα μεγαλύτερα ζώα μπορούν να αποφύγουν τη φωτιά απομακρυνόμενα από αυτή, αλλά ακόμη και αν πεθάνουν εξ αιτίας της φωτιάς, οι

πληθυσμοί τους στην καμένη περιοχή μπορούν να ανακάμψουν μέσω του επανεποικισμού από κοντινές, μη καμένες περιοχές. Κάποια ζώα πράγματι επιζητούν τις πρόσφατα καμένες περιοχές, είτε εξ αιτίας της συγκέντρωσης νέας αύξησης και τροφής, είτε διότι η στάχτη μπορεί να τα βοηθήσει να βρουν παράσιτα.

Αμέσως μετά την πυρκαγιά παρατηρείται μια άμεση μείωση των πληθυσμών όλων σχεδόν των διαβιούντων μέσα στο έδαφος οργανισμών, τους οποίους περιλαμβάνονται μύκητες, αράχνες, χιλιόποδα, και γαιοσκώληκες. Πολλοί πεθαίνουν εξ αιτίας των υψηλών θερμοκρασιών, αλλά κάποιοι οργανισμοί υφίστανται επιπτώσεις από τις αλλαγές του pH που ακολουθούν τη φωτιά ή από τη διαρροή συγκεκριμένων θρεπτικών στοιχείων στο έδαφος, η οποία προκύπτει από την καμένη οργανική ύλη. Μετά από κάθε πυρκαγιά, παρατηρείται ένας πολύ ταχύς επανεποικισμός, ιδιαίτερα από τα βακτήρια που διεγείρονται από την αύξηση του pH.

Εν κατακλείδι, η φωτιά εμφανίζει στο περιβάλλον θετικές και αρνητικές επιπτώσεις, αλλά ανεξάρτητα από αυτό, πρέπει να έχουμε κατά νου ότι η ένταση, η διάρκεια και η συχνότητα των πυρκαγιών στα φυσικά οικοσυστήματα είναι απίστευτα μεταβαλλόμενες. Από το ένα έτος στο επόμενο, οι συνθήκες που ευνοούν τη φωτιά μπορεί να μεταβληθούν υπερβολικά. Και όταν συμβεί μια πυρκαγιά, τα αποτελέσματά της δεν θα είναι ομοιόμορφα. Κάποιες περιοχές θα καούν εξ ολοκλήρου, ενώ σε μικρή απόσταση από αυτή ο ίδιος τύπος οικοσυστήματος είναι δυνατό να αποφύγει τελείως τις επιπτώσεις της πυρκαγιάς.

11.4. Προσαρμογές των φυτών στην φωτιά

Σε οποιαδήποτε τοποθεσία, στην οποία η φωτιά έχει να παρουσιάσει μια μακρά εξελικτική ιστορία, τα περισσότερα φυτά και τουλάχιστον μερικά ζώα, έχουν αναπτύξει ικανότητες προσαρμογής στη φωτιά. Είναι ενδιαφέρον ότι, οι προσαρμογές που προσδίδουν στα φυτά αντοχές στη φωτιά είναι, σε πολλές περιπτώσεις, χαρακτηριστικά που καθιστούν τα φυτά ικανά να αντεπεξέλθουν στον υπερβολικό φωτισμό και την κακουχία της ξηρασίας.

Τα φυτά μπορούν να προσαρμοστούν στη φωτιά με τρεις διαφορετικούς τρόπους, οι οποίοι είναι οι παρακάτω:

- ✚ **Αντίσταση στη φωτιά.** Τα φυτά που μπορούν να αντισταθούν στη φωτιά παρουσιάζουν χαρακτηριστικά τα οποία βοηθούν τα ζωντανά μέρη τους να προφυλαχθούν από το να καούν με τη φωτιά. Στα χαρακτηριστικά αυτά περιλαμβάνονται ο παχύς φλοιός, το ανθιστάμενο στη φωτιά φύλλωμα ή ένας παχύς ξηροτάπητας που θα στηρίξει τις συχνές, αλλά λιγότερο καταστροφικές πυρκαγιές.
- ✚ **Ανοχή στη φωτιά.** Τα ανεκτικά στη φωτιά φυτά εμφανίζουν χαρακτηριστικά τα οποία επιτρέπουν στο φυτό να επιβιώσει, παρότι αυτό θα καεί από την πυρκαγιά. Ένα πολύ κοινό χαρακτηριστικό ανοχής στη φωτιά είναι η ικανότητα παραβλάστησης από τη ρίζα, αμέσως μετά την πυρκαγιά.
- ✚ **Εξάρτηση από τη φωτιά.** Τα εξαρτώμενα από τη φωτιά φυτά επιζητούν τη φωτιά για την αναπαραγωγή ή τη μακρόχρονη διαβίωσή τους. Σε κάποια φυτά, εξαρτημένα από τη φωτιά, οι σπόροι τους χρειάζονται τη φωτιά για να φυτρώσουν και οι κώνοι τους δεν ανοίγουν, εάν προηγουμένως δεν εκτεθούν στη φωτιά. Επίσης, κάποια άλλα φυτά, εξαρτημένα από τη φωτιά, δεν ανθίζουν μέχρις ότου συμβεί μια πυρκαγιά, και αυτά θα γεράσουν, εκτός εάν εκτεθούν σε περιοδικές πυρκαγιές.

11.5. Η φωτιά στα αγροοικοσυστήματα

Η χρήση της φωτιάς στη γεωργία έχει μακριά ιστορία. Από αγροοικολογικής άποψης όμως, μπορεί οι φωτιές να είναι καλές ή/και κακές, να παρατηρείται υπερβολική ή/και μικρή χρήση της φωτιάς και επιμελημένη ή/και απρόσεκτη χρήση της φωτιάς. Η πρόκληση εν προκειμένω, εστιάζεται στην ορθολογική εφαρμογή της γνώσης των οικολογικών επιπτώσεων της φωτιάς.

11.5.1. Εναλλασσόμενη καλλιέργεια (αμειψισπορά)

Τα αγροοικοσυστήματα με την μακρόχρονη ιστορία της χρήσης της φωτιάς είναι αυτά που εφαρμόζουν την αμειψισπορά. Η αμειψισπορά με τη χρήση της φωτιάς συνεχίζει ακόμη και σήμερα να είναι η πιο σημαντική μορφή γεωργικής αντικατάστασης σε πολλά μέρη του πλανήτη μας. Μολονότι αυτή εφαρμόζεται κυρίως στους τροπικούς, η αμειψισπορά που βασίζεται στη φωτιά εφαρμόστηκε και στην Ευρώπη στα αρχικά στάδια της γεωργίας, όπου τι σιτάρι και το κριθάρι καλλιεργούνταν σε 10ετείς έως 25ετείς κύκλους (Russell 1968). Μολονότι μπορεί να φαίνεται πολύ απλό να αποψιλώνεις, να καίς και να φυτεύεις, οι καλοί καλλιεργητές της αμειψισποράς μέσα από την εμπειρία τους έχουν διδαχθεί, ότι ο συγχρονισμός όλων των ενεργειών, ειδικότερα της φωτιάς, κάνει τη διαφορά ανάμεσα σ' ένα αειφορικό σύστημα και ένα υποβαθμιζόμενο σύστημα. Η αμειψισπορά λειτουργεί όταν το σύστημα διαθέτει αρκετό χρόνο για τις φυσικές διαδοχικές διαδικασίες, ώστε να αποκατασταθεί η απολεσθείσα γονιμότητα του εδάφους, μέσω της διαταραχής και της συγκομιδής της σοδειάς.

Αμέσως μετά τη φωτιά, η κινητικότητα των θρεπτικών στοιχείων στο σύστημα είναι πολύ υψηλή, και συχνά καταλήγει σε υψηλές απώλειες από την απόπλυση. Αυτό τονίζει την ανάγκη για μια περίοδο αγρανάπαυσης, με σκοπό την κάλυψη της απολεσθείσας γονιμότητας. Οι καλλιέργειες στα συστήματα κοπής και καύσης (slush – and - burn systems) χρειάζονται να προσλάβουν ταχέως τα θρεπτικά στοιχεία, τα οποία θα προστεθούν στο έδαφος από τη στάχτη, διότι σε διαφορετική περίπτωση η απόπλυση θα τα απομακρύνει ή θα αρχίσουν να τα προσλαμβάνουν τα είδη μη καλλιεργούμενων φυτών, εισβολείς. Ο ρυθμός της απώλειας των θρεπτικών στοιχείων ποικίλει σημαντικά, ανάλογα με τους τύπους των εδαφών, τα κλιματικά καθεστώτα και τις καλλιεργητικές πρακτικές. Οι μελέτες όμως έδειξαν ότι, η απώλεια μπορεί να είναι ταχεία και υψηλή, ειδικά για κάποια θρεπτικά στοιχεία, όπως π.χ. είναι το ασβέστιο, το κάλιο και το μαγνήσιο (Ewel *et al.* 1981, Jordan 1985, Nye and Greenland 1960). Οι επαναλαμβανόμενες σε βραχεία διαδοχή πυρκαγιές, καθώς και η καλλιέργεια του εδάφους, είναι δυνατόν να επιταχύνουν ακόμη περισσότερο την απώλεια θρεπτικών στοιχείων (Sanchez 1976).

Γενικά, τα συστήματα αμειψισποράς είναι ικανά να διατηρούν σχετικά χαμηλά επίπεδα ανθρώπινου πληθυσμού. Στα καλοδιαχειριζόμενα συστήματα αμειψισποράς, το μεγαλύτερο μέρος του άνθρακα και του αζώτου μετά την πυρκαγιά παραμένει, οι ρίζες παραμένουν ανέπαφες και ζωντανές, η επιφάνεια του εδάφους προστατεύεται από την κάλυψη που παρέχει κάποια μορφή βιομάζας και ακόμη επιβιώνουν οι μυκόρριζες του εδάφους. Αποτέλεσμα αυτού είναι η ελαχιστοποιημένη απώλεια από τα θρεπτικά στοιχεία και την επιφανειακή διάβρωση και τότε το σύστημα είναι αειφορικό. Όμως, πολλά από τα συστήματα αυτά δεν είναι πλέον αειφορικά, διότι μια σειρά από κοινωνικούς, οικονομικούς και πολιτισμικούς παράγοντες δημιουργούν πιέσεις, οι οποίες στενεύουν την περίοδο αγρανάπαυσης, απομακρύνουν τα πεσμένα ξύλα για να χρησιμοποιηθούν ως καυσόξυλα, ενθαρρύνουν τα μη κατάλληλα φυτά καλλιέργειας, οι

εκτάσεις υπερβόσκονται από τα ζώα και προφανώς προωθούν την εισβολή ενοχλητικών ζιζανίων ή οδηγούν σε μια κατάρρευση της διαδικασίας, η οποία επαυξάνει την ανάκαμψη των τοπικών ειδών στη βλαστητική επιφάνεια. Η υπερβολική χρήση της φωτιάς είναι συχνά η αιτία της κατάρρευσης της αειφορικότητας.

11.5.2. Η φωτιά στα σύγχρονα γεωργικά συστήματα

Στα σύγχρονα γεωργικά συστήματα, η φωτιά παίζει πολλούς και διαφορετικούς ρόλους. Τα παραδείγματα που θα παρουσιάσουμε στη συνέχεια, αντιπροσωπεύουν διαφορετικά επίπεδα τεχνολογίας και έχουν διαφορετικά επίπεδα χρήσης, ανάλογα με τον τύπο του αγροοικοσυστήματος, οι θέσεις στα σημεία του πλανήτη, και οι πολιτισμοί που τα αφορούν. Μπορούν να χρησιμοποιηθούν ανά πάσα στιγμή του καλλιεργητικού κύκλου, από την προετοιμασία του εδάφους μέχρι τη συγκομιδή, ανάλογα με το σύστημα και το σκοπό. Η πιο μεγάλη πρόκληση για τη συνολική χρήση της φωτιάς είναι η κατανόηση του τρόπου με τον οποίο αντλούμε τα πλεονεκτήματα των ωφέλιμων επιπτώσεων της φωτιάς και αποφεύγουμε ή ελαχιστοποιούμε τα αρνητικά. Για όλα αυτά όμως, απαιτείται επιδεξιότητα, εμπειρία και γνώση.

11.5.2.1. Αποψίλωση της έκτασης

Σήμερα, σε πολλά σημεία του πλανήτη, η φωτιά συνεχίζει να είναι το πλέον απόμακρο και ανυπόφορο εργαλείο απομάκρυνσης της βλάστησης και της φυτικής βιομάζας από την επιφάνεια του εδάφους, πριν από την προετοιμασία του εδάφους για το φύτεμα, ειδικότερα μάλιστα για τις σύγχρονες επιλογές της αμειψισποράς. Η χρήση της φωτιάς για την αποψίλωση της γης είναι ιδιαίτερα σημαντική σε πολλά δασικά συστήματα, στα οποία η παραμένουσα μεγάλη μάζα υπολειμμάτων υλοτομίας καίγεται αφενός μεν για να καταστεί η αναδάσωση ευκολότερη και αφετέρου για να μειωθεί η πιθανότητα μια πυρκαγιά να μετακινηθεί μέσα από τα υπολείμματα της υλοτομίας και να καταπιέσει την εγκατάσταση των σπόρων ή των μεταφυτευθέντων αρτιφύτρων.

Η ποσότητα της ξηρής ύλης η οποία προφανώς απαιτείται για να απομακρυνθεί, θα έχει μεγάλη επίδραση στον τύπο και την ένταση της πυρκαγιάς. Όπως φαίνεται στον **Πίνακα 11.1**, οι ποσότητες αυτές ποικίλουν σημαντικά, ανάλογα με το σύστημα. Τα υπολείμματα που εγκαταλείπονται στο έδαφος στα τροπικά συστήματα αμειψισποράς μπορούν εύκολα να ξεπεράσουν τα 4 χιλιόγραμμα/μ² και εάν ξηραθούν ικανοποιητικά και καούν σε μια κατάλληλη στιγμή, θα μεταφέρουν μια θερμή, ομοιόμορφη πυρκαγιά, η οποία θα καταναλώσει ολόκληρη σχεδόν τη φυτική ύλη, εκτός από τα μεγάλης διαμέτρου κλαδιά και κορμούς (Ewel *et al.* 1981). Ακόμη και η νεαρή δευτερογενής αύξηση παράγει 1-2 χιλιόγραμμα/μ² ξηρής ουσίας και μπορεί εύκολα να μεταδώσει τη φωτιά (Gliessman 1982).

Κατά την υλοτομία των ώριμων δασικών συστημάτων εγκαταλείπονται ποικίλες ποσότητες υπολειμμάτων υλοτομίας, από κορμούς, κορυφές και κλαδιά, τα οποία μόλις ξηραθούν καθίστανται επικίνδυνα. Ένα τέτοιο υλικό μπορεί επίσης να φιλοξενήσει ανωφελείς οργανισμούς και είναι καταστροφικό για την ανάκαμψη των νεαρών φυτών. Από την άλλη πλευρά, καθώς τα υπολείμματα αποσυντίθενται, αυτά βελτιώνουν την δομή του εδάφους και την κατάσταση των θρεπτικών στοιχείων, ενώ προστατεύουν το έδαφος απέναντι στην διάβρωση. Όταν λοιπόν, αποφασίζουμε εάν τα υπολείμματα πρέπει να καίγονται ομοιόμορφα στην επιφάνεια, να συγκεντρώνονται σε στοιβάδες ώστε η καύση να εντοπίζεται σε συγκεκριμένες θέσεις ή να παραμένουν άκαντα, πρέπει όλοι αυτοί οι παράγοντες να αξιολογηθούν. Σε κάποια παραδοσιακά συστήματα, όταν

τα υπολείμματα είναι περιορισμένα σε όγκο (συνήθως κάτω από 0,5 χιλιόγραμμα/μ²), αυτά στοιβάζονται, καίγονται και η στάχτη τους διασκορπίζεται ομοιόμορφα στα αποψιλωμένα βλάστησης εδάφη, ως λίπασμα.

Πίνακας 10.1. Υπολείμματα διαθέσιμα για τη φωτιά, ως τμήματα της αποψίλωσης του εδάφους σε μια πλειάδα οικοσυστημάτων.

Σύστημα	Τοποθεσία	Όγκος (χιλ./μ ²)	Πηγή
Κάλυψη ποολίβαδου	Tabasco, Mexico	1,63	Gliessman (1982)
2ετής δευτερογενής αύξηση	Tabasco, Mexico	1,18	Gliessman (1982)
8ετής δευτερογενής αύξηση	Turriabla, Costa Rica	3,85	Ewel <i>et al.</i> (1981)
Ορεινό Ρύζι και κριθάρι	Κεντρική Ιαπωνία	0,34	Koizumi <i>et al.</i> (1992)
Ορεινό ρύζι	Tabasco, Mexico	0,51	Gliessman (1982)
Κατακλεισμένο ρύζι	Κεντρική Κοιλάδα, California	0,7-0,9	Blank <i>et al.</i> (1993)
Δάσος κωνοφόρων	Pacific Northwest, ΗΠΑ	0,5-3,0	Dell & Ward (1971)
Ετήσιο λιβάδι	Κεντρική ακτή, California	0,2-0,3	Gliessman (1982)

Ένα μοναδικό παράδειγμα της χρήσης της φωτιάς για την αποψίλωση του εδάφους είναι ένα σύστημα για την ανανέωση των γερασμένων φυτειών κακάο στο Tabasco, Mexico, το οποίο δεν είναι πλέον επικερδές. Πρώτον, φυτεύονται φυτά μπανάνας στον υπόροφο. Το επόμενο έτος, υλοτομούνται όλα τα δένδρα σκίασης του ανωρόφου μαζί με τα δένδρα του κακάο, ενέργεια από την οποία προκύπτει ένας πολύ μεγάλος όγκος υπολειμμάτων, περισσότερος από 0,5 χιλιόγραμμα/μ² ο οποίος καλύπτει τα φυτά της μπανάνας. Τα υπολείμματα αυτά καίγονται, όταν ξηραθούν σε ικανοποιητικό βαθμό. Αμέσως μετά τη φωτιά, φυτεύεται η παραδοσιακή συγκαλλιέργεια αραβοσίτου – φασολιάς – κολοκυθιάς με τον ίδιο τρόπο όπως στα τοπικά συστήματα αμειψισποράς. Αυτή θα δώσει συγκομιδή μέσα σε 6 μήνες μετά την υλοτομία των δένδρων. Ενόσω τα ετήσια φυτά καλλιέργειας έχουν φυτευτεί και φροντίζονται, τα παραβλαστήματα της μπανάνας και τα νέα παραβλαστήματα από τα πρέμνα των ψυχανθών δένδρων σκίασης προστατεύονται και αναπτύσσονται επιμελώς. Μετά την συμπλήρωση του κύκλου των ετήσιων φυτών καλλιέργειας, φυτεύονται μικρού βιολογικού κύκλου πολυετή φυτά καλλιέργειας, όπως π.χ. γιούκα (κασσάβα) ή παπάγια. Όταν έρθει η στιγμή αυτά τα φυτά καλλιέργειας να συγκομιστούν, τότε η μπανάνες έχουν σχηματίσει μια ικανοποιητικά πυκνή συγκόμωση και παράγουν φρούτα ή φυτευτικό υλικό για ίδια χρήση ή για το εμπόριο. Στο τρίτο έτος, τα παραβλαστώνοντα δένδρα σκίασης έχουν ήδη αρχίσει να καθίστανται τμήμα της παράγουσας σκιά συγκόμωσης. Στο σημείο αυτό, οι συνθήκες σκίασης στην επιφάνεια του εδάφους έχουν επιστρέψει σε ελαττωμένα επίπεδα, κατάλληλα για την αναφύτευση των νέων φυταρίων του κακάο. Οι μπανάνες συγκομίζονται τη στιγμή που τα νέα φυτά του κακάο φτάνουν στο σημείο έναρξης της παραγωγής (5 έως 7 έτη μετά το φύτεμα), στο οποίο σημείο και συμπληρώνεται ο κύκλος της ανανέωσης. Οι ντόπιοι παραγωγό υποστηρίζουν ότι, χωρίς τη χρήση της φωτιάς, θα απαιτούντο τουλάχιστο δέκα έτη πριν το κακάο θα μπορούσε να αναφυτευθεί σε μια τέτοια τοποθεσία, χρονικό διάστημα αρκετά μακρύ για μια τέτοια πολύτιμη καλλιέργεια. Ασφαλώς, για να μάθουμε πόσο επακριβώς η φωτιά ωφελεί αυτό το αγροοικοσύστημα, χρειάζεται περαιτέρω έρευνα.

11.5.2.2. Προσθήκη θρεπτικών στοιχείων στο έδαφος

Σε πολλά καλλιεργητικά συστήματα του πλανήτη μας, η στάχτη που παραμένει στο έδαφος μετά την καύση των υπολειμμάτων της καλλιέργειας, των υπολειμμάτων

από τα μη καλλιεργούμενα φυτά και ακόμη από τα καυσόξυλα που χρησιμοποιούνται για το μαγείρεμα και τη θέρμανση, θεωρούνται ως μια αξιόλογη πηγή θρεπτικών στοιχείων που πρέπει να επιστρέψουν στο έδαφος. Η στάχτη μεταφέρεται γρήγορα στο έδαφος με τη βροχή και τα θρεπτικά στοιχεία που αυτή περιέχει είναι αμέσως διαθέσιμα ως τμήμα του εδαφικού διαλύματος. Οι απώλεια κατά την καύση από τα πτητικά στοιχεία του αζώτου και του φωσφόρου αντισταθμίζονται από το κέρδος που προκύπτει από όλα τα άλλα στοιχεία και από μια αύξηση της διαθεσιμότητάς του για τα φυτά. Έχει αποδειχθεί ότι η στάχτη περιέχει περισσότερο από 2,6% κάλιο και ανεκτίμητες ποσότητες φωσφόρου, ασβεστίου μαγνησίου και άλλων ανόργανων στοιχείων. Αφού η στάχτη μπορεί να φτάσει σε μια ποσότητα από 0,4 έως 0,67 χιλιόγραμμα/μ², παρουσιάζει, ως θρεπτική εισροή στο αγροοικοσύστημα, μια σημαντική δυναμική (Ewel *et al.* 1981, Seubert *et al.* 1977).

Ασφαλώς, το να είναι σε τέτοιο βαθμό διαλυτά, τα θρεπτικά στοιχεία μπορούν εύκολα να αποπλυθούν και να διαφύγουν από το σύστημα, έτσι ώστε, η αποτελεσματική φυτική κάλυψη και η καλή ανάπτυξη των ριζών πρέπει να συνοδεύονται από την προσθήκη των θρεπτικών στοιχείων της στάχτης. Ο συγχρονισμός της εφαρμογής της στάχτης είναι πολύ σημαντικός. Πρέπει να υπάρχουν στο έδαφος ενεργές ρίζες φυτών για να προσλάβουν ταχέως τα σε υψηλό βαθμό διαλυτά θρεπτικά στοιχεία. Και η γνώση των μορφών των κατακρημνισμάτων είναι απαραίτητη, ώστε να αποφεύγουμε τις ισχυρές βροχοπτώσεις, οι οποίες θα εμφανιστούν μετά την καύση, έτσι ώστε, τα θρεπτικά στοιχεία να μην ξεφεύγουν κάτω από τη ριζόσφαιρα ή να μην αποπλένονται από την επιφάνεια. Για τον καθορισμό των συστημάτων ή τον συνδυασμό συστημάτων, τα οποία μπορούν να εκμεταλλευτούν με τον καλύτερο δυνατό τρόπο των απελευθερωμένων από τη φωτιά θρεπτικών στοιχείων, απαιτείται περαιτέρω ενδελεχής έρευνα.

11.5.2.3. Διαχείριση των καλλιεργητικών υπολειμμάτων

Η φωτιά συχνά χρησιμοποιείται ως ένα εργαλείο για τη διαχείριση των υπολειμμάτων της καλλιέργειας. Ένα από τα κύρια οφέλη της είναι να δημιουργεί άζωτο από τα υπολείμματα, το οποίο είναι ευκολότερα διαθέσιμο για την καλλιέργεια που θα ακολουθήσει. Όταν τα υπολείμματα περιέχουν περισσότερο άνθρακα σε σύγκριση με το άζωτο (ο λόγος C/N είναι 25/100), το άζωτο στα υπολείμματα μπορεί να ακινητοποιηθεί με την ενσωμάτωσή του στη μικροβιακή βιομάζα (και στη συνέχεια περισσότερο μόνιμα στο χούμο του εδάφους). Η καύση όμως, καθιστά το άζωτο άμεσα διαθέσιμο για πρόσληψη του από τα φυτά. Μολονότι, το περισσότερο άζωτο χάνεται στη διάρκεια της καύσης, μέσω της πτητικότητας, ο λόγος C/N της στάχτης είναι χαμηλότερος σε σχέση με τα άκαυτα υπολείμματα, έτσι ώστε, το άζωτο που παραμένει να είναι περισσότερο άμεσα διαθέσιμο και η ανάγκη για εξωτερικές βελτιωτικές εισροές σε άζωτο να μειώνονται.

Ένα άλλο όφελος της καύσης των υπολειμμάτων είναι η μείωση της απαιτούμενης καλλιεργητικής προσπάθειας. Επίσης, σε πολλά σημεία του αναπτυσσόμενου κόσμου, τα υπολείμματα καίγονται, όχι για να μειωθούν αυτά καθεαυτά, αλλά ως καύσιμα για τη θέρμανση των οικιών ή το μαγείρεμα. Μερικές φορές η στάχτη συλλέγεται και επιστρέφει στους αγρούς ως βελτιωτικό του εδάφους.

Η παραγωγή του ρυζιού είναι συχνά συνδεδεμένη με τη φωτιά. Σε οποιοδήποτε μέρος του κόσμου όπου καλλιεργείται το ρύζι, τα άχυρα που μένουν μετά τη συγκομιδή μπορούν να φτάσουν την ποσότητα των 0,9 έως 1,0 χιλιόγραμμα/μ². Παραδοσιακά, το άχυρο αυτό χρησιμοποιήθηκε ως ζωοτροφή, καύσιμο ή υλικό κατασκευής ή ως πρώτη ύλη για κομπόστα. Σε πολλά σύγχρονα συστήματα παραγωγής ρυζιού όμως, η

αυξανόμενη ανάγκη να έχουν μια άλλη σοδειά στον αγρό, όσο το δυνατό συντομότερα μετά τη συγκομιδή του ρυζιού, οδήγησε στη χρήση της φωτιάς, η οποία ταχέως μετατρέπει το άχυρο σε στάχτη. Η καύση μειώνει τις προκαλούμενες από το άχυρο ασθένειες και τα δημιουργούμενα έντομα, ενώ ωσαύτως μειώνει την πιθανότητα να παραχθεί μεθάνιο κατά την αποσύνθεση σε συνθήκες πλημμύρας, σε ποσά τα οποία μπορούν να καταστούν τοξικά για κάποιες καλλιέργειες που θα ακολουθήσουν. Όμως, λόγω της δεδομένης επίπτωσης του καπνού στην ποιότητα του ατμοσφαιρικού αέρα, οι αυξημένες ρυθμίσεις περιορίζουν την καύση και εξαναγκάζουν τους παραγωγούς να ενδιαφέρονται για την μετενσωμάτωση του άχυρου στο έδαφος, ή να βρουν εναλλακτικές χρήσεις για το συγκομιζόμενο άχυρο (Blank *et al.* 1993).

Από την άποψη της αειφορικότητας, τα πολλά πλεονεκτήματα της καύσης των υπολειμμάτων πρέπει να σταθμιστούν από τα τυχόν μειονεκτήματα, στα οποία περιλαμβάνονται η απώλεια των θρεπτικών στοιχείων μέσα από την πτητικότητα ή την απόπλυση, την μόλυνση του αέρα, την έκθεση της εδαφικής επιφάνειας και τις απώλειες των εισροών της οργανικής ύλης στο έδαφος.

11.5.2.4. Διαχείριση ζιζανίων

Η φωτιά χρησιμοποιείται για τη διαχείριση των ζιζανίων πολύ αποτελεσματικά και πολύ πρακτικά, όταν τα ζιζάνια βρίσκονται, είτε στην ξηροφυλλάδα, είτε στο έδαφος, είτε ως σπόροι, είτε τέλος, ευθύς μόλις οι σπόροι φυτρώσουν. Οι σπόροι ή τα αρτίφυτρα στην ξηροφυλλάδα είναι πολύ πιθανό να νεκρωθούν από τη φωτιά, αφού σε υψηλές θερμοκρασίες καίγονται τόσο η ξηροφυλλάδα στην επιφάνεια του εδάφους, όσο και το έδαφος κάτω από την επιφάνεια. Για το λόγο αυτό, είναι απαραίτητο για να μεταφέρουμε τη φωτιά, να διατηρούμε ένα είδος φυτικής στρώσης ή τα υπολείμματα της καλλιέργειας. Τα συστήματα κοπής και καύσης είναι πολύ αποτελεσματικά στο να καταστρέφονται οι σπόροι στην ξηροφυλλάδα και στην άμεσα με αυτή εδαφική επιφάνεια.

Μια πολύ πρόσφατα αναπτυχθείσα πρακτική για τον έλεγχο των ζιζανίων έχει χρησιμοποιηθεί στην Ευρώπη για πολλά έτη. Ένα δοχείο προπανίου συνδέεται με ένα λαστιχένιο σωλήνα στην άκρη του οποίου βρίσκεται ένα στόμιο (φλόγιστρο), έτσι ώστε, η φλόγα να κινείται γρήγορα πάνω από την επιφάνεια του εδάφους και να θανατώνει τα φυτά των ζιζανίων. Στην αγορά υπάρχουν επινώτια και μεταφερόμενα με όχημα φλόγιστρα. Υπάρχουν επίσης στόμια τα οποία έχουν ειδικό σχήμα και ένα συνδυασμό ανακλαστών και ασπίδων, ώστε να προστατεύονται τα φυτά της κύριας καλλιέργειας, ενόσω τα ζιζάνια καίγονται. Για να ελεγχθούν αποτελεσματικά με την τεχνολογία αυτή, τα φυτά των ζιζανίων πρέπει να είναι πολύ μικρά, ή τα φυτά της κύριας καλλιέργειας πρέπει να είναι στο στάδιο της ανάπτυξης, κατάσταση που τους δίνει μεγαλύτερη αντίσταση από εκείνη των ζιζανίων απέναντι στη φωτιά. Κάτω από κάποιες συνθήκες του αγρού, ένα φυτό καλλιέργειας, όπως π.χ. ο αραβόσιτος στο πρώτο και το δεύτερο στάδιο των φύλλων, έχει μια δομή και μια περιεχόμενη υγρασία που θα το προφυλάξει από το να υποστεί ζημιά, ενώ τα περισσότερα περιβάλλοντα φυτά ζιζανίων νεκρώνονται. Ο αναγκαιός εξοπλισμός μπορεί να είναι ακριβός στην αγορά και τη χρήση του και να εξαρτάται σε μεγάλο βαθμό από τα ορυκτά καύσιμα, αλλά για κάποιες επιρροπείς στα ζιζάνια καλλιέργειες, όπως για παράδειγμα τα καρότα και τα κρεμμύδια, τα φλογοβόλα είναι ένα πολύ αποτελεσματικού κόστους μέσο για τον έλεγχο των ζιζανίων.

Ασφαλώς, η χρήση της φωτιάς για τον έλεγχο των ζιζανίων πρέπει να γίνεται με προσοχή. Τα πολυετή ζιζάνια αλλά και τα ζιζάνια που διαθέτουν ρίζες ανθεκτικές στη φωτιά, τα ριζώματα και οι άλλες δομές που ανθίστανται στην καύση, είναι δυνατό να

διεγερθούν με τη φωτιά. Η φτέρη (*Pteridium aquilinum*) για παράδειγμα, είναι ένα πολύ επιθετικό φυτό που μπορεί να δρα ως ζιζάνιο σε αποδασωμένες ή βοσκήσιμες εκτάσεις και ευνοείται από τη φωτιά διττώς (Gliessman 1978d). Τα βαθιά υπόγεια ριζώματά της επιτρέπουν να επιβιώσει μετά τη φωτιά, και υπάρχει κάποια ένδειξη ότι η απομάκρυνση της υπέργειας ξηροφυλλάδας της φτέρης προωθεί μια περισσότερο ισχυρή επαύξηση της φτέρης. Ταυτόχρονα, τα σπόρια της φτέρης ευνοούνται από τις συνθήκες που δημιουργούνται από τη φωτιά και τη στάχτη, οι οποίες και επιτρέπουν την αρχική εγκατάσταση της φτέρης, εκεί όπου αυτή δεν προϋπήρχε και στη συνέχεια τη δυνατότητα μιας επιθετικής βλαστητικής αύξησης.

Στα συστήματα της αμειψισποράς, στα οποία η φωτιά χρησιμοποιείται ώστε να βοηθηθεί το καθαρίσμα του αγρού, η φωτιά μπορεί να αρχίσει να έχει αρνητικές επιπτώσεις, εάν η περίοδος της αγρανάπαυσης είναι πολύ μικρή. Οι επιπτώσεις αυτές μπορεί να περιλαμβάνουν την απόπλυση των θρεπτικών στοιχείων και την εισβολή των ανθεκτικών στη φωτιά ζιζανίων. Σε γενικές γραμμές, η χρήση της φωτιάς για τον έλεγχο των ζιζανίων απαιτεί προσεκτική εξέταση των πιθανών επιπτώσεων, οι οποίες θα είναι βασισμένες στα μοναδικά χαρακτηριστικά του συστήματος.

11.5.2.5. Διαχείριση των αρθροπόδων

Η φωτιά είναι ένα πολύ αποτελεσματικό μέσο για την εξαφάνιση από ένα αγροοικοσύστημα των καταστροφικών αρθροπόδων, όπως π.χ. είναι τα έντομα και τα ακάρεα. Η θερμότητα, ο καπνός και η απώλεια του βιοτόπου, σε συνδυασμό όλα μαζί, είτε φονεύουν τους οργανισμούς αυτούς (καθώς επίσης τα αυγά τους ή τις λάρβες τους), είτε τους οδηγούν έξω από το σύστημα. Στα φυσικά οικοσυστήματα η φωτιά προφανώς είναι ένας παράγοντας της φυσικής διακύμανσης των πληθυσμών των αρθροπόδων, ισότιμος με τους κλιματικούς παράγοντες ή τις τροφικές αλληλεπιδράσεις. Η καταπίεση που δημιουργεί η φωτιά στα δάση μπορεί πράγματι να αναστατώσει το φυσικό ισοζύγιο, επιτρέποντας να δημιουργηθούν επιδημίες από κοινότυπους ανωφελείς οργανισμούς, όπως είναι π.χ. τα ξυλοφάγα έντομα, τα φυλλοφάγα έντομα και τα λεπιδόπτερα φυλλοφάγα έντομα. Όμως, στον τομέα αυτό απαιτείται να διεξαχθεί περισσότερη έρευνα.

Και στα αγροοικοσυστήματα άλλωστε, πολύ λίγα γνωρίζουμε για την διαχείριση των ανωφελών εντόμων, σε σχέση με τη φωτιά. Εκείνο που είναι γνωστό είναι ότι, πολλά ανωφελή έντομα μπορούν να περνούν τον καιρό τους ανάμεσα στις καλλιεργητικές περιόδους σε κάποιο μέρος του φυτού, είτε ζώντα, είτε νεκρά, έντομα που ξέμειναν από την προηγούμενη περίοδο. Τα προβλήματα από το σκουλήκι του βαμβακιού θα ελαττωθούν σημαντικά, εάν τα φυτικά υπολείμματα καταστραφούν και η φωτιά αποτελεί ένα εργαλείο της διαδικασίας αυτής. Τα έντομα στις σποροκαλλιέργειες ξεχειμωνιάζουν στα άχυρα που παραμένουν στον αγρό μετά τη συγκομιδή και η κατάλληλη χρήση της φωτιάς θα μπορούσε να βοηθήσει στη διαχείρισή τους.

Για τα διαβιούντα στο έδαφος ανωφελή αρθρόποδα, η φωτιά που διεισδύει στην επιφάνεια του εδάφους μπορεί να είναι μία χρήσιμη μέθοδος για τη διαχείριση των ανωφελών εντόμων. Η καύση του άχυρου ή των υπολειμμάτων της καλλιέργειας, αλλά και η τεχνητή πυρπόληση της εδαφικής επιφάνειας, είναι κάποιοι για να εισαχθεί η φωτιά για το σκοπό αυτό.

Μια παραδοσιακή πρακτική η οποία χρησιμοποιεί τη φωτιά για να προστατευτεί η σοδειά και να μην καταστραφεί από τα έντομα, είναι γνωστή από το Tabasco, του Mexico. Ένα τεράστιος Κολεόπτερο κάρθαρος (σκαθάρι) έχει τη φήμη ότι είναι ικανό να εισβάλλει στην καλλιέργεια της φασολιάς και να αποφυλλώσει τα φυτά, σε μια πολύ μικρή χρονική περίοδο. Τα σκαθάρια εισβάλλουν σε μεγάλους αριθμούς και μπορούμε

να τους δούμε τις πρωινές ώρες να καταναλώνουν τα φύλλα των φυτών. Οι παραγωγοί αναφέρουν ότι μια παλιά πρακτική ήταν να πηγαίνουν το πρωινό στον προσβεβλημένο αγρό, να συλλέγουν αρκετά ζωντανά σκαθάρια και να βάζουν 20-25 απ' αυτά σε αρκετά, ανθεκτικά στη φωτιά δοχεία. Στο τέλος της ημέρας, κάθε δοχείο τοποθετιόταν στη φωτιά για αρκετό χρόνο, έτσι ώστε να φονευθούν τα έντομα, όχι όμως και να πυρποληθούν αυτά. Μετά από λίγο, τα ανοικτά δοχεία καίγονταν μερικώς πάνω στο έδαφος, μέσα στην καλλιέργεια της φασολιάς, ένα σχεδόν κάθε 400μ². Το επόμενο πρωινό, οι παραγωγοί αναφέρουν, ότι δεν υπήρχαν σημάδια ζωής ή δραστηριότητας των σκαθαριών στον αγρό. Υποπτεύεται ότι μια προειδοποιητική φερομόνη κάποιου είδους, προειδοποιεί τα ζωντανά σκαθάρια για τον κίνδυνο και έτσι, από μόνα τους εγκαταλείπουν τον αγρό. Όμως, αυτή είναι μια υπόθεση που χρειάζεται παραπέρα έρευνα, μολονότι οι παραγωγοί σταμάτησαν να χρησιμοποιούν την μέθοδο αυτή, αφού είναι πιο εύκολο γι αυτούς να χρησιμοποιούν συνθετικά εντομοκτόνα.

11.5.2.6. Διαχείριση των παθογενών οργανισμών

Λόγω της ικανότητας της φωτιάς να ανεβάζει τις θερμοκρασίες του εδάφους, ειδικά κοντά στην επιφάνεια, η φωτιά θα έπρεπε να περιμένουμε να έχει μια σημαντική επίδραση στους παθογενείς οργανισμούς των φυτών που ζουν στο έδαφος, όπως είναι οι μύκητες, τα βακτήρια και οι νηματώδεις. Σχετικά πολύ λίγη έρευνα έχει διεξαχθεί για την επίδραση της φωτιάς, η οποία να σχετίζεται με την διαχείριση των ασθενειών των φυτών, αλλά κάποιες μελέτες (Raison 1979) έδειξαν ότι η φωτιά προκαλεί βιολογικές αλλαγές στο έδαφος, το οποίο μπορεί να μειώσει αποτελεσματικά τις πιθανότητες εμβολιασμού με ασθένειες ποικίλων καλλιεργειών, φρούτων, διακοσμητικών, βαμβακιού, πατάτας, μικρών σπόρων, ποών και άλλων ειδών. Είναι σημαντικό να σημειωθεί ότι η καύση των ποολίβαδων, μια πρακτική που έχει καταστεί πολύ σημαντική για τις εκτάσεις που χρησιμοποιούνται για την παραγωγή εμπορεύσιμου σπόρων λιβαδικών φυτών στην περιοχή Pacific Northeast των ΗΠΑ, άρχισε κατ' εξοχήν για το σκοπό του ελέγχου των ασθενειών, στα τέλη του 1940.

Η θερμότητα και η αποξήρανση προφανώς έχουν την μέγιστη άμεση επίπτωση στους παθογενείς οργανισμούς. Οι υψηλότερες θερμοκρασίες που καταγράφονται στην επιφάνεια του εδάφους κατά τη διάρκεια της πυρκαγιάς και η διείσδυση της θερμότητας μέσα στο έδαφος αρκετά εκατοστά κάτω από την επιφάνεια, μπορεί να φονεύσει μεγάλους αριθμούς ζώντων παθογενών οργανισμών και τα εμβόλια τους. Επιπροσθέτως, η ξαφνική αύξηση του pH που προκαλείται από την ξήρανση της στάχτης, η οποία εναποτίθεται στο έδαφος μετά την πυρκαγιά, μπορεί να έχει μια ανασχετική επίπτωση στους μύκητες, εφόσον οι μύκητες προτιμούν ουδέτερες προς όξινες συνθήκες για την άριστη ανάπτυξή τους. Από την άλλη πλευρά, πολλά βακτήρια που διεγείρονται πραγματικά με την αύξηση του pH. Αυτό είναι δυνατό να προκαλέσει πρόβλημα, εάν αυτά τα βακτήρια είναι παθογενή.

Η επίδραση της καύσης του υπέργειου φυτικού υλικού για πιθανούς παθογενείς οργανισμούς, ειδικά των υπολειμμάτων των καλλιεργειών, είναι καλά τεκμηριωμένη. Αφού μια καλά διαχειρισμένη καύση μπορεί να καταναλώσει το 95% της υπέργειας βιομάζας και να δημιουργήσει υπερβολική θερμότητα, μπορεί επίσης να φονεύσει και τους περισσότερους παθογενείς οργανισμούς που είναι παρόντες στη βιομάζα. Η επίδραση αυτή της φωτιάς είναι η πιο κοινή αιτία για την καύση των υπολειμμάτων της καλλιέργειας, όπως παραπάνω περιγράψαμε.

11.5.2.7. Προετοιμασία για την συγκομιδή

Η φωτιά μπορεί να χρησιμοποιηθεί για την προετοιμασία μιας καλλιέργειας για συγκομιδή. Ένα κοινό παράδειγμα είναι η καύση των αγρών καλλιέργειας του ζαχαροκάλαμου λίγες μέρες πριν από τη συγκομιδή των καλάμων. Οι κόφτες των καλάμων ισχυρίζονται ότι η φωτιά είναι σημαντική για την απομάκρυνση των φύλλων από τους καλάμους, διευκολύνοντας την διαδικασία κοπής, όταν αυτή γίνεται χειρονακτικά, κάνοντας την προσέγγιση προς τους καλάμους ευκολότερη και την απομάκρυνση των ενοχλητικών ζώων, όπως είναι οι αρουραίοι και τα φίδια.

Ένας άλλος απλός ρόλος της φωτιάς την ώρα της συγκομιδής, αφορά τη συλλογή των σπόρων της πεύκης. Οι κώνοι αρκετών ειδών της κουκουναριάς συλλέγονται από τα δένδρα πριν ανοίξουν και διασπαρθούν οι σπόροι τους. Συνήθως οι κώνοι περιβάλλονται από ένα πυκνό περίβλημα. Η φωτιά χρησιμοποιείται για να θερμανθούν οι πέτρες, οι οποίες στη συνέχεια τοποθετούνται μαζί με τους κώνους, λιώνει και απομακρύνεται το περίβλημα, οι κώνοι ανοίγουν και απελευθερώνονται οι σπόροι. Η φωτιά μπορεί επίσης να χρησιμοποιηθεί για να θερμανθεί ένας κλίβανος μέσα στον οποίο μπορούν να τοποθετηθούν οι κώνοι.

11.5.2.8. Διαχείριση λιβαδιών και λειμώνων

Παρά το γεγονός ότι στις περισσότερες ποολιβαδικές περιοχές του πλανήτη η φυσική πυρκαγιά είναι συχνή και μια σημαντική όψη του περιβάλλοντος, η αποτελεσματική χρήση της φωτιάς, ως εργαλείο για τη διαχείριση των συστημάτων βόσκησης, δεν είναι τόσο κοινή. Όταν η φωτιά χρησιμοποιείται στα συστήματα βόσκησης, εφαρμόζεται με τη μορφή μιας ελεγχόμενης φωτιάς, η οποία καλείται **προδιαγεγραμμένο πυρ**. Μια προδιαγεγραμμένη καύση σε ένα αγροοικοσύστημα βόσκησης μπορεί να διαδραματίσει πολλούς ρόλους. Δηλαδή αυτή μπορεί:

- ✚ Να κάψει την από προηγούμενες αυξητικές περιόδους μη επιθυμητή αύξηση, η οποία δεν καταναλώνεται από τα περισσότερα ζώα και η οποία μπορεί διαφορετικά να ανταγωνιστεί τα πιο επιθυμητά είδη.
- ✚ Να διεγείρει την αύξηση (με τη μορφή της αναβλάστησης των πολυετών φυτών που ανταποκρίνονται στη φωτιά).
- ✚ Να καταστρέψει τα παράσιτα που μεταφέρουν στα κοπάδια ασθένειες.
- ✚ Να ελέγξει τη διασπορά των ανεπιθύμητων φυτών.
- ✚ Να απομακρύνει τους κινδύνους πυρκαγιάς που προέρχονται από τη σωρευμένη βιομάζα.
- ✚ Να εγκαταστήσει φράγματα πυρός, ως ένα σύστημα προστασίας από τις πυρκαγιές.
- ✚ Να προετοιμάσει μια σποροκλίνη για μια φυσική ή τεχνητή σπορά επιθυμητών φυτικών ειδών.
- ✚ Να διεγείρει κάποια φυτά, ώστε αυτά να παράγουν σπόρους.
- ✚ Να ενθαρρύνει την αύξηση των εγχώριων ψυχανθών για βοσκήσιμη ύλη και βελτίωση του εδάφους.
- ✚ Να προωθήσει πιο γρήγορα την ανακύκλωση και την πρόσληψη των θρεπτικών στοιχείων.

Όλες αυτές οι πιθανές επιπτώσεις της φωτιάς μπορούν να διαδραματίσουν σημαντικούς ρόλους στον καθορισμό του πλέον κατάλληλου καθεστώτος της διαχείρισης, με τη χρήση της φωτιάς.

Η σχετική σημασία κάθε επίδρασης της καύσης ποικίλει ανάλογα από τον τύπο και την ένταση του συστήματος βόσκησης, το χρονικό σημείο από την τελευταία πυρκαγιά, την εποχή του έτους και το στάδιο της ανάπτυξης των εδώδιμων φυτών. Στα ανοικτά ποολίβαδα για παράδειγμα, υπάρχει μια μικρή τάση για την εισβολή ξυλωδών ειδών. Κατά συνέπεια, η φωτιά εφαρμόζεται για την απομάκρυνση της συσσωρευμένη μη φαγώσιμης αύξησης. Στις περιοχές της σαβάνας, ή τις περιοχές στις οποίες η φυσική διαδοχή ευνοεί τη θαμνώδη ή τη δενδρώδη βλάστηση, η καύση έχει πολύ μεγάλη σημασία για την καταπίεση κάποιων φυτών, καθώς επίσης και για την εγκατάσταση ή τη διατήρηση των συστατικών της βοσκήσιμης έκτασης.

Όταν η φωτιά απομακρύνεται από μια περιοχή, η οποία καίγεται κανονικά και μάλιστα με συγκεκριμένη κανονικότητα, οι πόες χάνουν την κυριαρχία τους και μπορεί να αντικατασταθούν από μη καταναλωνόμενα ή πενιχρώς καταναλωνόμενα είδη θάμνων ή δένδρων. Για παράδειγμα, οι λιβαδικές εκτάσεις της Μεγάλης Λεκάνης των δυτικών ΗΠΑ, με την έλλειψη της πυρκαγιάς μετατρέπονται σε θαμνώνες της Αρτεμισίας (*Artemisia tridentata*), ειδικότερα μάλιστα όταν συνδυάζονται με την υπερβόσκηση. Οι περιοχές της ανοικτής σαβάνας των νοτιοδυτικών τμημάτων των ΗΠΑ ή του βόρειου Mexico, όπου οι πόες αναπτύσσονται ανάμεσα από θάμνους και αρκεύθους, καθίστανται αληθινά δάση από είδη δένδρων όταν η πυρκαγιά δεν ενσωματώνεται στη διαχείριση των λιβαδικών εκτάσεων. Σε άλλες περιοχές, όπου τα ποολίβαδα συνορεύουν με θαμνώδη ή δενδρώδη βλάστηση, η έλλειψη πυρκαγιών ή οι περιοδικές πυρκαγιές μπορεί να επιτρέψουν τη βαθμιαία εισβολή στο ποολίβαδο των πλέον επιθετικών ξυλωδών ειδών. Οι εκτάσεις των ετήσιων ποολίβαδων που βρίσκονται στους πρόποδες των παράκτιων βουνών της κεντρικής και της νότιας California υποχωρούν από την εισβολή των αλληλοπαθητικών θαμνώνων, όταν η πιθανότητα της πυρκαγιάς απομακρύνεται για περισσότερα από μερικά έτη (Muller 1974).

11.6. Χρήσιμη συμπληρωματική βιβλιογραφία

Bond, W. J. and B. van Wilgen. 1995. *Fire and Plants*. Chapman & Hall: New York.

Hecht, S., and A. Cockburn. 1990. *The Fate of the Forest: Developers, Destroyers, and Defenders of the Amazon*. Harper Perennial: New York.

Spencer, J. E. 1996. *Shifting Cultivation in South-east Asia*. University California Press: Berkeley

Watters, R. F. 1971. *Shifting Cultivation in Latin America*. FAO: Rome.

West, O. 1965. *Fire in Vegetation and Its Use in Pasture Management*. Publication 1/1965. Commonwealth Agricultural Bureau. Hurley: Berkshire.

Whelan, R. J. 1995. *The Ecology of Fire*. Cambridge Studies in Ecology. Cambridge University Press: New York.

Κεφάλαιο Δωδέκατο

Οι βιοτικοί παράγοντες

12.1. Γενικά

Στα προηγούμενα κεφάλαια του παρόντος μέρους εστιάσαμε το ενδιαφέρον μας, στην ανάλυση των τρόπων με τους οποίους οι αβιοτικοί παράγοντες του περιβάλλοντος επηρεάζουν τα καθέκαστα φυτά. Στο παρόν κεφάλαιο θα συμπληρώσουμε την συνολική εικόνα της επίδρασης του περιβάλλοντος πάνω στα φυτά, ανακαλύπτοντας τους τρόπους με τους οποίους οι βιοτικοί παράγοντες, ή καλύτερα, τις συνθήκες που δημιουργούνται και τροποποιούνται από τους ζώντες οργανισμούς επηρεάζουν τα καθέκαστα φυτά.

Στα αγροοικοσυστήματα, ο καλλιεργητής - αγρότης είναι, κατά μια έννοια, ο οργανισμός με την μεγαλύτερη επίδραση στο περιβάλλον, στο οποίο τα φυτά καλλιέργειας αναπτύσσονται. Αυτός τροποποιεί και ρυθμίζει τις συνθήκες του φυσικού αλλά και του βιολογικού περιβάλλοντος για να ικανοποιήσει τις ανάγκες ενός ή πολλών φυτών καλλιέργειας. Για να το κάνει αυτό με τρόπο αειφορικό, πρέπει να κατανοήσει τις βιοτικές αλληλεπιδράσεις του αγροοικοσυστήματος, πως δηλαδή, ένα μέλος της κοινότητας επιδρά στο γεωργικό περιβάλλον και τροποποιεί τις συνθήκες για τους γείτονές του.

Για να εννοιοποιήσουμε τους βιοτικούς παράγοντες πρέπει να μπούμε σε μια περιοχή υπέρβασης ανάμεσα στην αυτοοικολογία και την συνοικολογία. Όταν αρχίζουμε από την σκοπιά του αυτόνομου οργανισμού, ο οποίος αντιμετωπίζει ένα περιβάλλον που συγκροτείται από ποικίλους παράγοντες, πρέπει να χειριστούμε τις αλληλεπιδράσεις μεταξύ των οργανισμών, ακόμη και όταν οι παράγοντες στους οποίους αναφερόμαστε είναι βιοτικοί. Παρά την συνοικολογική τους προέλευση, οι έννοιες που αναπτύσσονται στο κεφάλαιο αυτό για να περιγραφούν οι αλληλεπιδράσεις αυτές, μπορούν να εφαρμοστούν με ένα αυτοοικολογικό τρόπο, εξετάζοντας τις αλληλεπιδράσεις με τους όρους της επίδρασής τους σε κάθε ανεξάρτητο οργανισμό του αγροοικοσυστήματος.

Για την εννοιοποίηση των αλληλεπιδράσεων μεταξύ των οργανισμών σε μια κοινότητα ή ένα οικοσύστημα υπάρχουν δυο βασικά πλαίσια, που το καθένα τους έχει

τα αντίστοιχα πλεονεκτήματα. Παραδοσιακά στην οικολογία οι αλληλεπιδράσεις έχουν γίνει κατανοητές με όρους επιπτώσεων που προκαλούν οι αλληλεπιδρώντες οργανισμοί ο ένας στον άλλον. Το πλαίσιο αυτό είναι η βάση για τις θεμελιώδεις έννοιες της μορφής του ανταγωνισμού και της συμβίωσης. Στην αγροοικολογία όμως, είναι συχνά πιο επωφελές να αντιμετωπίζουμε τις αλληλεπιδράσεις, όπως αυτές προέρχονται από την επίδραση την οποία οι οργανισμοί έχουν στο περιβάλλον που αυτοί μοιράζονται. Οι οργανισμοί απομακρύνουν, τροποποιούν και ακόμη προσθέτουν ουσίες στην περιοχή που καταλαμβάνουν, στο πλαίσιο της διαδικασίας αλλαγής των περιβαλλοντικών συνθηκών για τους εαυτούς τους και τους άλλους οργανισμούς. Έτσι, κάθε βιοτικός παράγοντας, τον οποίο αντιμετωπίζει κάθε ανεξάρτητος οργανισμός, μπορεί να γίνει αντιληπτός ως μια μεταβολή του περιβάλλοντος που δημιουργήθηκε από κάποιον άλλο οργανισμό. Τα δύο αυτά πλαίσια, ή οι δύο αυτές απόψεις, θα επεξηγηθούν σε μεγαλύτερη λεπτομέρεια στη συνέχεια.

12.2. Η σχέση ανάμεσα στους οργανισμούς

Ένα ευρέως αποδεκτό σύστημα ταξινόμησης των αλληλεπιδράσεων μεταξύ των οργανισμών αναπτύχθηκε από τον E. P. Odum (1971). Το σύστημα αυτό έχει πολλές χρήσιμες εφαρμογές και έχει βοηθήσει τους οικολόγους για να κατανοήσουν σε βάθος το βιοτικό περιβάλλον. Οι αλληλεπιδράσεις μεταξύ δύο οργανισμών διαφορετικού είδους θεωρούνται ότι έχουν για κάθε μέλος της αλληλεπίδρασης είτε μια αρνητική επίδραση (-), είτε μια θετική επίδραση (+), είτε τέλος, μια ουδέτερη αντίδραση (0). Για παράδειγμα, στη αλληλεπίδραση η οποία ταξινομείται ως συμβίωση, αμφότεροι οι οργανισμοί επηρεάζονται θετικά (+ +). Ο βαθμός στον οποίο η αλληλεπίδραση είναι θετική ή αρνητική για κάθε οργανισμό εξαρτάται από το επίπεδο της διεξάρτησης και το επίπεδο της έντασης της αλληλεπίδρασης.

Πίνακας 12.1. Τύποι αλληλεπιδράσεων δυο ειδών, όπως καθορίζονται από τον Odum

Αλληλεπίδραση	Αλληλεπιδρώντες		Μη αλληλεπιδρώντες		Σημειώσεις
	A	B	A	B	
Ουδετερότητα	0	0	0	0	Κανένας οργανισμός δεν επηρεάζει έναν άλλο
Ανταγωνισμός	-	-	0	0	Και οι δυο επηρεάζονται αρνητικά
Συμβίωση	+	+	-	-	Υποχρεωτική αλληλεπίδραση
Πρωτοσυνεταιρισμός	+	0	0	0	Μη υποχρεωτική
Κομενσαλισμός	+	0	-	0	Το A υποχρεωτικά κομενσαλικό, το B ξενιστής
Αμενσαλισμός	-	0	0	0	Το A ζημιώνεται από την παρουσία του B
Παρασιτισμός	+	-	-	0	Το A παράσιτο, το B ξενιστής
Θήρευση	+	-	-	0	Το A θηρευτής, το B θήραμα

Υπόμνημα: + ανάπτυξη οργανισμού αυξημένη
 - ανάπτυξη οργανισμού μειωμένη
 0 ανάπτυξη οργανισμού μη επηρεαζόμενη

Στο σχήμα αυτό, υπάρχει μια σημαντική διάκριση μεταξύ των καταστάσεων στις οποίες αμφότερα τα μέρη της μίξης βρίσκονται μαζί και λαμβάνει πράγματι χώρα αλληλεπίδραση, και των καταστάσεων στις οποίες οι δύο οργανισμοί είναι χωριστά ή/και μαζί και δεν αλληλεπιδρούν. Στον **Πίνακα 12.1**, η «μη αλληλεπιδρώσα» στήλη δείχνει τα αποτελέσματα σ' αυτή την τελευταία κατάσταση και δίνει μια ένδειξη του βαθμού εξάρτησης ή της ανάγκης για αλληλεπίδραση, την οποία κάθε μέλος μπορεί να έχει αναπτύξει μέσα στον εξελικτικό χρόνο.

Η αλληλεπίδραση που προφανώς έτυχε της μεγαλύτερης προσοχής, ειδικότερα κατά τον σχεδιασμό των συμβατικών αγροοικοσυστημάτων, είναι ο **ανταγωνισμός** (competition) (- -). Ανταγωνισμός συμβαίνει σ' ένα περιβάλλον, στο οποίο οι πόροι βρίσκονται σε περιορισμένη παροχή, για αμφοτέρωτα τα μέλη της σχέσης και ακόμη περισσότερο, ένα μέλος της ανάμιξης μπορεί να καταλήξει να επικρατήσει του άλλου, Αμφοτέρωτα όμως, θα βρεθούν σε μεγάλη δυσχέρεια, εάν θα αλληλεπιδράσουν μεταξύ τους, παρά εάν δεν είχαν αλληλεπιδράσει καθόλου. Οι οργανισμοί αλληλεπιδρούν με το να απομακρύνουν κάτι από το περιβάλλον το οποίο έχουν ανάγκη και οι δύο. Δύο ποικιλίες φυτών καλλιέργειας του αυτού είδους έχουν μεγάλη πιθανότητα να ανταγωνιστούν σ' ένα περιβάλλον με περιορισμένους πόρους. Αυτό, για παράδειγμα, πιθανόν να συμβεί σ' έναν αγρό με χαμηλά επίπεδα αζώτου στο έδαφος.

Όταν δύο οργανισμοί έχουν καταστεί τόσο εξαρτημένοι ο ένας από τον άλλο, ώστε αμφοτέροι να υποφέρουν όταν δεν αλληλεπιδρούν, τότε αναφερόμεθα στην αλληλεπίδραση η οποία ονομάζεται **συμβίωση** (mutualism) (+ +). Κατά την συμβίωση, αμφοτέροι οι οργανισμοί εξαρτώνται από τον τρόπο με τον οποίο ο άλλος τροποποιεί το περιβάλλον επ' ωφελεία και των δύο. Οι αλληλεπιδράσεις μεταξύ των ψυχανθών και των αζωτοβακτηρίων του γένους *Rhizobium*, για παράδειγμα, θεωρούνται συμβιωτικοί: κανένα από τους δυο οργανισμούς δεν λειτουργεί τόσο καλά από μόνος του, όσο λειτουργούν μαζί.

Όταν μια αλληλεπίδραση ωφελεί και τα δυο μέλη, αλλά κανένα τους δεν επηρεάζεται αρνητικά από την απουσία της αλληλεπίδρασης, η αλληλεπίδραση καλείται **πρωτοσυνεργατισμός** (protocooperation) (+ +). Η επικονίαση αποτελεί ένα παράδειγμα μιας τέτοιας αλληλεπίδρασης. Όταν υπάρχουν διαθέσιμα αρκετά είδη εντόμων επικονίασης και πολλά είδη φυτών που παράγουν νέκταρ, ένα είδος επικονιαστής και ένα είδος φυτού επωφελούνται αμφοτέρωτα εάν αλληλεπιδράσουν, αλλά κανένα τους δεν θα πάθει κακό εάν δεν αλληλεπιδράσουν. Αμφοτέρες οι περιπτώσεις της συμβίωσης και του πρωτοσυνεργατισμού θεωρούνται παραδείγματα της ευρύτερης έννοιας της συμβίωσης (**symbiosis**), όπως αυτή χρησιμοποιείται στη διεθνή βιβλιογραφία, ερανισμένη από την Ελληνική γλώσσα.

Όταν ένας οργανισμός συντηρεί ή δημιουργεί μια κατάσταση η οποία είναι απαραίτητη για την καλή λειτουργία ενός άλλου, αλλά η δική του λειτουργία δεν επηρεάζεται από τη δράση του, η αλληλεπίδραση καλείται **κομενσαλισμός** (commensalism) (+ 0). Ο βοηθούμενος οργανισμός υποφέρει, παρόλο που ο οργανισμός ο οποίος δημιούργησε τις απαραίτητες συνθήκες δεν είναι παρών. Ένα είδος δένδρου σκίασης σ' ένα αγροδοασικό σύστημα κακάο, για παράδειγμα, δημιουργεί μείωση της έντασης του φωτός, η οποία είναι απαραίτητη για τα υποκείμενα υποχρεωτικά σκιοφιλά φυτά του κακάο, αλλά το δένδρο που δημιουργεί τη σκίαση λειτουργεί εξίσου καλά με την παρουσία ή όχι του κακάο.

Όταν ένα είδος επηρεάζει αρνητικά ένα άλλο, αλλά δεν επηρεάζεται άμεσα το ίδιο, τότε η αλληλεπίδραση αυτή καλείται **αμενσαλισμός** (amensalism) (- 0). Ένα παράδειγμα αμενσαλικής αλληλεπίδρασης έχουμε στην περίπτωση που ένα φυτό εκκλύει μια χημική ουσία από τα φύλλα του με μορφή βροχοσταγόνων, οι οποίες είναι δυνατό να έχουν αρνητική επίπτωση στα υπόλοιπα φυτά που βρίσκονται γύρω του, αλλά δεν επηρεάζει τον παραγωγό της χημικής ουσίας. Μια τέτοια διαδικασία είναι μια μορφή αλληλοπάθειας, αλλά την κατάσταση αυτή θα την εξετάσουμε πιο κάτω. Ένα παράδειγμα αυτού του είδους του αμενσαλισμού αποτελεί η σχέση μεταξύ της μαύρης καστανιάς (*Juglans nigra*) και σχεδόν κάθε φυτού που αποπειράται να αναπτυχθεί κάτω από την κομοστέγη της.

Στους δύο επόμενους τύπους αλληλεπιδράσεων, ο ένας οργανισμός επηρεάζεται αρνητικά από τις δράσεις του άλλου (+ -). Ο δράστης των πράξεων γενικά, έχει μια

υποχρεωτική σχέση με τον άλλο, ενώ ο οργανισμός που δέχεται τη σφοδρότητα της αρνητικής επίπτωσης λειτουργεί καλύτερα εάν παραμείνει μόνος, δηλαδή η σχέση γίνεται (- 0). Στον **παρασιτισμό** (parasitism), ο ένας οργανισμός (το παράσιτο) τρέφεται από τον άλλο (τον ξενιστή), αλλά ο ξενιστής σπάνια θανατώνεται μια και έξω. Το παράσιτο μπορεί να ζήσει μαζί με τον ξενιστή για μια μακρά περίοδο, με τον ξενιστή προφανώς να επιβιώνει μεν, αλλά η φυσική του κατάσταση να μειώνεται συνεχώς. Κάποια παράσιτα, γνωστά ως παρασιτοειδή, προκαλούν το θάνατο του ξενιστή (π.χ. παρασιτικές σφήκες στο γένος *Trichogramma*). Για τον βιολογικό έλεγχο των αγροοικοσυστημάτων πρέπει να επωφελούμεθα από τέτοιες αλληλεπιδράσεις. Η **θήρευση** (predation), είναι μια πάρα πολύ άμεση αλληλεπίδραση, όπου ο ένας οργανισμός στην ουσία φονεύει και καταναλώνει το θήραμά του. Για τη διαχείριση των ανωφελών οργανισμών που επιβουλεύονται την παραγωγή των καλλιεργητικών συστημάτων, βασιζόμαστε σε μεγάλο βαθμό στη θήρευση που επιτελείται από συγκεκριμένους ωφέλιμους οργανισμούς.

Συμπερασματικά, η ταξινόμηση αυτή είναι πολύ χρήσιμη για τη διάκριση των τύπων των αλληλεπιδράσεων που παρατηρούνται στα περισσότερα φυσικά περιβάλλοντα. Όμως, καθώς η αλληλεπίδραση λαμβάνει χώρα, η ταξινόμηση αυτή εστιάζεται στο τελικό αποτέλεσμα του κάθε τύπου αλληλεπίδρασης, παρά στους εμπλεκόμενους μηχανισμούς.

12.3. Η σχέση ανάμεσα στον οργανισμό και το περιβάλλον

Κάθε μια από τις παραπάνω αλληλεπιδράσεις μπορεί να γίνει κατανοητή, ως το αποτέλεσμα ενός οργανισμού που τροποποιεί το περιβάλλον με ένα τρόπο ο οποίος επηρεάζει στην αλληλεπίδραση το άλλον οργανισμό. Εάν εστιάσουμε πάνω στον τρόπο με τον οποίο το περιβάλλον μετριάξει τις επιπτώσεις που έχουν οι οργανισμοί για τον καθένα, είναι δυνατό να κατανοήσουμε τους μηχανισμούς μέσω των οποίων συμβαίνουν οι επιδράσεις. Με την γνώση των μηχανισμών, ο διαχειριστής του αγροοικοσυστήματος βρίσκεται σε μια πολύ καλύτερη θέση, ούτως ώστε, να μπορεί να χειριστεί ή να εκμεταλλευτεί το πλεονέκτημα των αλληλεπιδράσεων.

Όταν ένας οργανισμός τροποποιεί το περιβάλλον με τρόπο ο οποίος επηρεάζει έναν άλλο οργανισμό, η τροποποίηση αυτή καλείται **παρέμβαση** (interference). Οι παρεμβάσεις μπορεί να διακριθούν σε δύο τύπους:

- ✚ Στην **παρέμβαση απομάκρυνσης** (removal interference), κατά την οποία ένας οργανισμός απομακρύνει ένα πόρο από το περιβάλλον, μειώνοντας τη διαθεσιμότητα του συγκεκριμένου πόρου για τους άλλους οργανισμούς.
- ✚ Στην **παρέμβαση προσθήκης** (addition interference), κατά την οποία ένας οργανισμός προσθέτει κάτι στο περιβάλλον, το οποίο μπορεί να έχει μια θετική, αρνητική ή ουδέτερη επίπτωση σε έναν άλλο οργανισμό.

Συνήθως, μόνο ο ένας ή ο άλλος τύπος παρέμβασης λαμβάνει χώρα σε μια συγκεκριμένη αλληλεπίδραση, ενώ είναι δυνατό να συμβούν αμφότερες οι παρεμβάσεις μόνο σε κάποιες αλληλεπιδράσεις. Με την εννοιολογία αυτού του πλαισίου, στην αλληλεπίδραση μεταξύ των δυο ή περισσότερων οργανισμών συμπεριλαμβάνεται και η επίδραση στο περιβάλλον (προσθήκη ή αφαίρεση), η οποία διενεργείται εγκληματικά από ένα οργανισμό (και σε κάποιες περιπτώσεις μια επιπρόσθετη επίπτωση που δημιουργείται από έναν άλλο οργανισμό) και ακολουθείται από την ανταπόκριση στις αλλαγές που προκύπτουν στο περιβάλλον, εκ μέρους αμφοτέρων των οργανισμών. Οι τύποι των παρεμβάσεων της απομάκρυνσης και της προσθήκης, περιγράφονται με μεγαλύτερη λεπτομέρεια σε επόμενα σημεία του παρόντος κεφαλαίου και ανακεφαλαιώνονται στον **Πίνακα 12.2**.

Πίνακα 12.2. Σύνοψη των αλληλεπιδράσεων παρέμβασης

	Δημιουργός της παρέμβασης (A)	Δέκτης της παρέμβασης (B)	Τύπος και ταυτότητα της παρέμβασης	Τοποθεσία της παρέμβασης	Επίπτωση στο A*	Επίπτωση στο B*
Ανταγωνισμός	Ανταλλασσόμενοι ρόλοι	Ανταλλασσόμενοι ρόλοι	Απομάκρυνση πόρων	Μοιραζόμενοι βιότοποι	-	-
Παρασιτισμός	Παράσιτο	Ξενιστής	Απομάκρυνση θρεπτικών στοιχείων	Σώμα ξενιστή	+	-
Φυτοφαγία	Φυτοφάγο	Καταναλωόμενος	Απομάκρυνση βιομάζας	Σώμα καταναλωόμενου, μοίρασμα βιότοπου	+	- ή +
Επιφυτισμός	Ξενιστής	Επίφυτο	Προσθήκη επιφάνειας βιοτόπου	Σώμα ξενιστή	0	+
Πρωτοσυνογατισμός	Ανταλλασσόμενοι ρόλοι	Ανταλλασσόμενοι ρόλοι	Προσθήκη υλικού ή δομής	Μοίρασμα βιότοπου, ή σώμα A/B	+(0)	+(0)
Συμβίωση	Ανταλλασσόμενοι ρόλοι	Ανταλλασσόμενοι ρόλοι	Προσθήκη υλικού ή δομής	Μοίρασμα βιότοπου, ή σώμα A/B	+(-)	+(-)
Αλληλοπάθεια	Αλληλοπαθητικό φυτό	Δυναμικοί συνεργάτες βιοτόπου	Προσθήκη δραστηκής χημικής ένωσης	Βιότοπος του οργανισμού A	+ ή 0	+,-,ή0

* Τα σύμβολα σε παρένθεση αναφέρονται στην επίδραση όταν οι οργανισμοί δεν αλληλεπιδρούν.

12.3.1. Παρεμβάσεις απομάκρυνσης

Όταν ένας οργανισμός απομακρύνει κάτι από το περιβάλλον, ως τμήμα των δραστηριοτήτων της ζωής του, ή της αλληλεπίδρασης του με τους άλλους οργανισμούς, αυτός μπορεί να επηρεάσει και άλλους οργανισμούς. Ο τύπος αυτός της παρέμβασης είναι γενικά αρνητικός για ένα ή περισσότερα μέλη της αλληλεπίδρασης, μπορεί όμως να έχει και θετικές επιπτώσεις. Στα αγροοικοσυστήματα υφίστανται αρκετοί τύποι των παρεμβάσεων απομάκρυνσης.

12.3.1.1. Ανταγωνισμός

Για να γίνει αντιληπτό ότι ο ανταγωνισμός είναι μια παρέμβαση απομάκρυνσης, χρειάζεται μόνο μια αλλαγή της έμφασης. Ο ανταγωνισμός συμβαίνει όταν δύο οργανισμοί απομακρύνουν ένα πόρο από το περιβάλλον, π.χ. φως, άζωτο ή νερό, ο οποίος δεν είναι σε αρκετή επάρκεια, ώστε να καλύψει τις ανάγκες αμφοτέρων. Σε αρκετά από τα προηγούμενα κεφάλαια περιγράψαμε τις συνθήκες κάτω από τις οποίες οι πόροι μπορεί να καταστούν περιορισμένοι, και να τεθεί έτσι το αντικείμενο του ανταγωνισμού.

Αντιμετωπίζοντας τον ανταγωνισμό ως μια παρέμβαση απομάκρυνσης, μας δίδεται ένας εναλλακτικός τρόπος για να κατανοήσουμε, ποιος κατά την κοινή σκέψη είναι ο ανταγωνισμός στο χώρο. Σύμφωνα με το πλαίσιο αυτό, «χώρος» θεωρείται ως ένα πολύπλοκο μίγμα πόρων που επηρεάζονται από τις επιπτώσεις απομάκρυνσης των οργανισμών που καταλαμβάνουν τον χώρο. Κατά συνέπεια, οι οργανισμοί βρίσκονται σε ανταγωνισμό για τους πόρους του χώρου και όχι για τον χώρο αυτόν καθ' εαυτόν.

Ο ανταγωνισμός ανάμεσα σε άτομα του ίδιου είδους, ο καλούμενος και **ενδοειδικός ανταγωνισμός** (intraspecific competition) μπορεί να είναι αρκετά έντονος, όταν οι ανάγκες των αλληλεπιδρώντων ατόμων είναι αρκετά παρόμοιες. Στη μονοκαλλιεργητική εκδοχή της γεωργίας, έχει επενδυθεί μεγάλη ενέργεια, ούτως ώστε, να καθοριστεί η πυκνότητα φύτευσης των φυτών καλλιέργειας, χωρίς να εμφανιστεί ανταγωνισμός μεταξύ των καθέκαστα ατόμων, ο οποίος και θα επηρεάσει αρνητικά την παραγωγή.

Ο ανταγωνισμός ανάμεσα σε άτομα διαφορετικού είδους, ο καλούμενος και **διαειδικός ανταγωνισμός** (interspecific competition), μπορεί επίσης να είναι σημαντικός, όταν τα επίπεδα των πόρων δεν επαρκούν για να καλύψουν τις ανάγκες και των δυο ειδών. Οι μηχανισμοί της αλληλεπίδρασης περιλαμβάνουν, είτε την απομάκρυνση του πόρου, είτε την άμεση προστασία του, είτε τέλος, την προάσπιση του από έναν οργανισμό, π.χ. όταν ένα ζώο αμύνεται για μια περιοχή και για τους πόρους της. Σε κάθε περίπτωση, ο πόρος αποτελεί την πρωταρχική εστίαση της αλληλεπίδρασης.

Ο ανταγωνισμός είναι μια πολύ σπουδαία έννοια για την οικολογία, έχει όμως, και μια ιστορία αντιθέσεων και διαλόγου. Από τη μια πλευρά ο διαειδικός ανταγωνισμός αποτελεί τον ακρογωνιαίο λίθο της εξελικτικής οικολογίας. Ο ανταγωνισμός θεωρείται η ατμομηχανή της φυσικής επιλογής και η δύναμη με την οποία όλοι οι οργανισμοί πρέπει να ικανοποιούνται στον αγώνα τους για την επιβίωση και την δημιουργία απογόνων. Κατά τρόπο ενδιαφέροντα όμως, οι οικολόγοι θεωρούν ότι η αποφυγή του ανταγωνισμού μπορεί πραγματικά να είναι πλεονέκτημα για τα είδη, και ότι η αποφυγή του ανταγωνισμού έχει διαδραματίσει ένα ρόλο – κλειδί στην ανάπτυξη της ποικιλότητας των ειδών.

Χωρίς πραγματικά να μελετήσουμε τους μηχανισμούς της παρέμβασης που εμπλέκονται με τον ανταγωνισμό, και να αναγνωρίσουμε την διαδικασία απομάκρυνσης από το περιβάλλον η οποία οδηγεί σ' αυτόν, το μόνο που μπορούμε να υποθέσουμε είναι ότι ο ανταγωνισμός συμβαίνει. Η διαχείριση των αγροοικοσυστημάτων απαιτεί ένα περισσότερο λεπτομερή καθορισμό των ανταγωνιστικών αλληλεπιδράσεων, διαφορετικά, στον αγρότη - καλλιεργητή δεν μένει καμιά άλλη επιλογή, παρά μόνο, να υπερφορτώσει το σύστημα με υπερβολικούς πόρους.

12.3.1.2. Παρασιτισμός

Ο παρασιτισμός, όπως τον περιγράψαμε παραπάνω, είναι μια αλληλεπίδραση στην οποία δυο οργανισμοί ζουν μαζί, με τον ένα, το παράσιτο, να παίρνει την τροφή του από τους ιστούς του άλλου, τον ξενιστή, χωρίς όμως να τον φονεύει. Σε όρους παρέμβασης, το περιβάλλον από το οποίο λαμβάνει απομάκρυνση είναι το σώμα του ξενιστή. Τα παράσιτα, φυσιολογικά, εξαρτώνται από τους ξενιστές τους, η διάρκεια της ζωής τους είναι μικρότερη από τη διάρκεια της ζωής του ξενιστή και παρουσιάζουν ένα υψηλό αναπαραγωγικό δυναμικό.

Η σχέση μεταξύ του κισσού και των διαφόρων ειδών δένδρων είναι ένα παράδειγμα αυτού του είδους της αφαιρετικής παρέμβασης. Ο κισσός, στην πράξη, προσκολλάται και διεισδύει στο αγγειακό σύστημα του δένδρου – ξενιστή, απ' όπου αντλεί νερό και θρεπτικά στοιχεία. Εάν το παράσιτο καταστεί πολύ πυκνό στο δένδρο – ξενιστή, το δένδρο περιορίζεται (εμποδίζεται) και συχνά αποσηματίζεται και μπορεί να γίνει αντικείμενο απόλυτων επιθέσεων από κάποια άλλα επιβλαβή είδη. Τα αγροτικά ζώα είναι ιδιαίτερα επιρρεπή στα παράσιτα. Σ' αυτά περιλαμβάνονται τα εκτοπαράσιτα, τα οποία προσκολλώνται στον ξενιστή εξωτερικά, οι μύγες που εγκαταλείπουν τα αυγά

τους στη σάρκα του ζώου, και τα παράσιτα του στομάχου, από τα βακτήρια μέχρι τους σκώληκες.

Κάτω από φυσικές συνθήκες, ο παρασιτισμός προφανώς αντιπροσωπεύει κάτι που έχει σχέση συμψηφισμού ανάμεσα στον ξενιστή και το παράσιτο. Έχουν εξελιχθεί μαζί μέσα στο χρόνο, με τον ξενιστή να είναι ανεκτικός σε μια σταθερή χαμηλόβαθμη προσβολή και το παράσιτο να εξαρτάται, για τη δική του αναπαραγωγική επιτυχία, από τη συνέχιση της ζωής του ξενιστή. Στις καταστάσεις της γεωργίας όμως, και ειδικότερα στις διατηρούμενες από τον άνθρωπο συνθήκες των συγκεντρωμένων μονοκαλλιεργειών, τα υψηλά παρασιτικά φορτία καθίστανται μια σοβαρή μορφή ασθένειας, η οποία θέτει σε κίνδυνο ανάπτυξης δευτερευουσών ασθενειών και θανάτων ολόκληρη την καλλιέργεια ή το κοπάδι.

12.3.1.3. Φυτοφαγία

Η παρεμβατική σχέση ανάμεσα σ' ένα φυτοφάγο και το φυτό που καταναλώνεται απ' αυτό, είναι μια πολύ άμεση σχέση, όπως είναι αυτή του παρασίτου και του ξενιστή, με τους ιστούς των φυτών να αποτελούν τμήμα του περιβάλλοντος το οποίο απομακρύνεται. Πέρα από τη θεώρηση του κάθε φυτού όμως, η φυτοφαγία, κατά μια ευρύτερη έννοια, αποτελεί μια παρέμβαση απομάκρυνσης κάτω από το πρίσμα ότι η βιομάζα και τα συνδεδεμένα με αυτή θρεπτικά στοιχεία απομακρύνονται από το περιβάλλον. Η κατανάλωση του φυτικού υλικού μειώνει την επιστροφή της βιομάζας στο έδαφος, η απομάκρυνση είναι πάρα πολύ έντονη και λαμβάνει χώρα σ' ένα χρονικό πλαίσιο πολύ εκτεταμένο, γεγονός που μπορεί να οδηγήσει σε απόπλυση των θρεπτικών στοιχείων από το σύστημα.

Από την γεωργική σκοπιά, η φυτοφαγία μπορεί να εμφανίσει τρεις τύπους αρνητικών επιπτώσεων. Ο πρώτος αφορά την περίπτωση στην οποία η φυτοφαγία απομακρύνει την φωτοσυνθετική περιοχή της φυλλικής επιφάνειας, η οποία είναι δυνατό να είναι σημαντική για την ανάπτυξη του φυτού καλλιέργειας. Ο δεύτερος αναφέρεται στη μειωμένη εισροή στο σύστημα, λόγω της φυτοφαγίας, εφόσον το μέρος του φυτού που καταναλώνεται επρόκειτο να επιστρέψει στο έδαφος ως υπόλειμμα καλλιέργειας. Τέλος, ο τρίτος σχετίζεται με την πιθανώς μειωμένη αξία πώλησης του προϊόντος, όταν και εφόσον, η φυτοφαγία προκαλέσει ζημιές σε τμήμα του φυτού καλλιέργειας, το οποίο πρόκειται να συγκομιστεί και να αποσταλεί στην αγορά.

Οι επιδράσεις της φυτοφαγίας όμως, δεν είναι πάντοτε αρνητικές. Σε κάποιες λειμώνιες ή λιβαδικές συνθήκες, για παράδειγμα, η βόσκηση μπορεί να είναι ευεργετική για την παραγωγικότητα των κτηνοτροφικών φυτών. Η απομάκρυνση υπερβολικής ποσότητας φυτικής ύλης μπορεί να διεγείρει την παραγωγή νέας βιομάζας, ή τουλάχιστον να επιτρέψει σε μερικά φυτικά είδη, τα οποία καταπιεζόταν από παλαιά ή αναπτύσσονταν κάτω από μια υπερβολική φυτική κάλυψη, να φυτρώσουν ή να καταστούν περισσότερο επικυρίαρχα στα μίγματα των βοσκών. Ο εξελεγκτικός ρόλος μιας τέτοιας παρέμβασης απομάκρυνσης έχει πλήρως καταδειχθεί στις πεδιάδες του Serengeti, στην Αφρική (McNaughton 1985), όπου αποδείχθηκε ότι η υψηλότερη παραγωγικότητα και η ποικιλότητα των ειδών για τα ζώα και τα φυτά αναπτύχθηκε κάτω από κυκλικές μορφές βόσκησης πολλαπλών φυτικών ειδών. Οι καλοί λιβαδοπόνοι γνωρίζουν ότι η περιοδική εκ περιφοράς βόσκηση προωθεί μεγαλύτερη παραγωγή βοσκήσιμης ύλης στα λιβαδοπονικά συστήματα.

Στα φυσικά οικοσυστήματα επίσης, η φυτοφαγία παίζει ένα σημαντικό ρόλο στην απομάκρυνση της υπερβολικής βιομάζας, κατευθύνοντας την ροή της ενέργειας και ανακυκλώνοντας τα θρεπτικά στοιχεία. Οι διαδικασίες αυτές έχουν την δυνατότητα να διαδραματίσουν σημαντικούς και μάλιστα θετικούς ρόλους στα

αγροοικοσυστήματα, αλλά οι άνθρωποι έχουν την τάση να αντιμετωπίζουν την φυτοφαγία στο σύνολό της αρνητικά, ως μια μόνιμη πρόκληση που πρέπει να ξεπεραστεί. Η μέλλουσα έρευνα χρειάζεται να εστιάσει την προσοχή της στο πως η πίεση αυτών των αφαιρετικών παρεμβάσεων μπορεί να κατευθυνθεί μακριά από τα οικονομικής αξίας τμήματα του αγροοικοσυστήματος και να επικεντρωθεί στα τμήματα που διεγείρουν άλλα συστατικά του συστήματος, με τρόπους που συμβάλλουν στην αειφορικότητα.

12.3.2. Παρεμβάσεις προσθήκης

Στην πορεία των διαδικασιών της καθημερινής τους ζωής πολλοί οργανισμοί προσθέτουν κάτι στο περιβάλλον, το οποίο επηρεάζει τους συνδεδεμένους με αυτούς οργανισμούς. Οι επιδράσεις αυτές μπορεί να είναι αρνητικές, όπως στην περίπτωση κατά την οποία η προσθήκη προκαλεί μια καθυστέρηση στην αύξηση ή την ανάπτυξη για τον συνδεδεμένο οργανισμό, ή όταν τους αποκλείει εντελώς από την περιοχή. Σε άλλες περιπτώσεις, η επίδραση της προσθετικής παρέμβασης μπορεί να είναι θετική για τους συνδεδεμένους οργανισμούς, όπως στην περίπτωση κατά την οποία η προστιθέμενη ουσία ή το υλικό βελτιώνει την δική τους υπόσταση στην κοινότητα, ή όταν ο αποκλεισμός των μη ανθεκτικών οργανισμών από τον βίοτοπο, τους επιτρέπει να καταλάβουν τον βίοτοπο. Τέλος, οι συνδεδεμένοι οργανισμοί, ευεργετούμενοι από την προσθήκη, είναι δυνατό να αναπτύξουν μια εξάρτηση από τον οργανισμό ο οποίος προβαίνει στην προσθήκη, δημιουργώντας μια σχέση συνύπαρξης ή ακόμη και συμβίωσης.

12.3.2.1. Επιφυτισμός

Όταν ένας οργανισμός ζει στο σώμα ενός άλλου οργανισμού, χωρίς όμως να αντλεί καμιά θρεπτική ουσία από αυτόν, παρατηρείται μια παρέμβαση προσθήκης, διότι ο ξενιστής προσθέτει μια φυσική δομή στο περιβάλλον, δηλαδή δημιουργεί έναν άλλο οργανισμό με ένα καινούργιο βίοτοπο. Όταν οι δυο οργανισμοί είναι φυτά και ο βίοτοπος είναι ο κορμός ή το στέλεχος, το προσκολλημένο φυτό καλείται **επίφυτο** (epiphyte), και όταν ο βίοτοπος είναι το φύλλο **επίφυλλο** (epiphyll). Σύμφωνα με την ορολογία του Odum, ο επιφυτισμός είναι μια μορφή κομενσαλισμού.

Τα επίφυτα και τα επίφυλλα δεν προσλαμβάνουν νερό ή τροφή από το φυτό που τα υποστηρίζει, και ούτε έχουν σύνδεση με το έδαφος. Το νερό προέρχεται από τη βροχόπτωση και τα θρεπτικά στοιχεία από αερομεταφερόμενα μόρια, την αποδόμηση του κορμού του φυτού που τα υποστηρίζει, και στοιχεία και οργανικές ενώσεις που είναι διαλυμένα σε σταγόνες νερού. Τα περισσότερα επιφυτικά φυτά αντιμετωπίζουν στο εναέριο περιβάλλον τους συχνές συνθήκες ξηρασίας, ακόμη και στους υγρούς βίοτοπους, όπου άλλωστε είναι πάρα πολύ συνήθη. Τα φύκη, οι λειχήνες, τα βρύα και μερικές φτέρες είναι τα πιο γνωστά επίφυτα στα ψυχρά και υγρά περιβάλλοντα. Μια μεγάλη ποικιλία από αγγειώδη φυτά έχουν εξελίξει τον επιφυτικό τρόπο ζωής στα θερμά και υγρά κλίματα, ειδικότερα κάποια είδη φτέρης και τα είδη που ανήκουν στις οικογένειες *Bromeliaceae* και *Orchidaceae*. Ένας μεγάλος αριθμός ειδών των δύο αυτών οικογενειών έχει θεωρηθεί ότι έχουν σημαντική οικονομική σημασία για την ανθοκομία και καλλιεργούνται στα θερμοκήπια, για τις ανάγκες του εμπορίου, πάνω σε τεχνητούς κλώνους.

Ένα επιφυτικό φυτό, σημαντικής οικονομικής σημασίας για τη γεωργία σε αρκετές τροπικές χώρες, είναι η βανίλια (*Vanilla fragrans*). Η βανίλια δημιουργεί

μακριές λευκωπές εναέριες τυχαίες ρίζες σε κάθε φύλλο που προσκολλάται στέρεα στον κορμό ή τα κλαδιά του φυτού - ξενιστή. Μερικές ρίζες κρέμονται από το κορμό προς τα κάτω στο έδαφος, αλλά μόνο στο χούμο και στον ξηροτάπητα ριζοβολεί. Οι καρποί της μοιάζουν σαν κάψουλες, είναι πάνω από 25 εκατοστόμετρα μακριοί (στο εμπόριο ονομάζονται φασόλια), σχηματίζονται στους εναέριους κορμούς της και, σε πολλά μέρη της γης, στα οποία το φυτό και καλλιεργείται μετά την εισαγωγή του από την Κεντρική Αμερική, ο επιτυχής σχηματισμός της εξαρτάται από την επικονίαση που γίνεται με το χέρι.

12.3.2.2. Συμβιώσεις

Όταν δύο οργανισμοί κάνουν προσθήκες στο περιβάλλον, τις οποίες μοιράζονται, έτσι ώστε, να επωφελούνται αμφοτέρω, τότε αυτοί σχηματίζουν μια συμβιωτική σχέση. Εάν η σχέση αυτή δεν είναι υποχρεωτική και είναι μη ουσιώδης για την επιβίωση αμφοτέρων, η προκύπτουσα σχέση ονομάζεται **πρωτοσυνεταιρισμός** (protocooperation). Ένα παράδειγμα του πρωτοσυνεταιρισμού είναι η σχέση μεταξύ της Ευρωπαϊκής μέλισσας (*Apis mellifera*) και των φυτών που αυτή επικονιάζει. Το φυτό που επισκέπτεται η μέλισσα προσφέρει την γύρη και το νέκταρ στο περιβάλλον, τα οποία λειτουργούν για να προσελκύσουν τον επικονιαστή. Η πραγματική συγκέντρωση του νέκταρος ή του μελιού από τη μέλισσα είναι μια αφαιρετική παρέμβαση, αλλά στη συνέχεια, η γύρη επαναπροστίθεται στο περιβάλλον, όταν η μέλισσα το εναποθέτει στο στίγμα ενός άλλου άνθους. Αυτό είναι το σημείο στο οποίο πραγματοποιούνται οι θετικές επιπτώσεις της αλληλεπίδρασης. Οι μέλισσες επισκέπτονται ένα μεγάλο εύρος φυτικών ειδών, τα περισσότερα από τα οποία τα επισκέπτονται και άλλοι επικονιαστές επίσης, δημιουργώντας έτσι μια σχέση ανάμεσα στη μέλισσα και το κάθε συγκεκριμένο φυτό, η οποία όμως δεν είναι υποχρεωτική. Σε πολλά γεωργικά τοπία, η δραματική μείωση της βιολογικής ποικιλότητας, η οποία συνοδεύτηκε από την επέκταση των μονοκαλλιεργειών, τη βαριά χρήση των εντομοκτόνων και την ολοκληρωτική εκμηχάνιση, δημιούργησε μια τεχνητή εξάρτηση από τις μέλισσες, οι οποίες εκτρέφονται πλέον από τους μελισσοκόμους και μεταφέρονται στους καλλιεργούμενους αγρούς κατά την περίοδο της επικονίασης.

Όταν οι οργανισμοί ευεργετούνται μεταξύ τους μέσω της προσθήκης, οι παρεμβάσεις καθίστανται εξαρτημένες για τον καθένα, ακόμη και για μια άριστη απόδοση, γι αυτή καθαυτή την επιβίωση. Η σχέση αυτή τότε λέγεται **συμβίωση** (mutualism). Ένα πολύ καλό παράδειγμα συμβίωσης είναι η σχέση μεταξύ συγκεκριμένων μυκήτων που παραμένουν στο έδαφος και των αγγειακών – φυτών συνεργατών τους. Οι μύκητες δημιουργούν με τις **μυκόρριζες** (mycorrhizae), ειδικές ενωτικές δομές που μπορούν να δημιουργήσουν συνδέσεις με τις ρίζες των φυτών. Οι μυκόρριζες επιτρέπουν στην ρίζα να παρέχει σάκχαρα στον μύκητα και ο μύκητας σε ανταπόδοση προσφέρει νερό και θρεπτικά στοιχεία στο φυτό. Υπάρχουν δύο τύποι μυκόρριζων:

(α) οι **εκτότροφες μυκόρριζες** (ectotrophic mycorrhizae), στις οποίες το μυκήλιο του μύκητα σχηματίζει ένα πυκνό μανδύα που καλύπτει την επιφάνεια της ρίζας, με πολλές υφές να επεκτείνονται μέχρι και έξω στο έδαφος, και άλλες να επεκτείνονται προς τα μέσα και να αυτοπεριορίζονται ανάμεσα στα κύτταρα της επιδερμίδας και του φλοιού της ρίζας. Οι μυκόρριζες αυτές είναι πολύ κοινές στα είδη της οικογένειας *Pinaceae*, και,

(β) οι **ενδότροφες μυκόρριζες** (endotrophic mycorrhizae), ο πλέον κοινός τύπος, στις οποίες δεν υπάρχει επιφανειακός μανδύας και αντ' αυτού κάποιες από τις υφές πραγματικά κατοικούν τους πρωτοπλάστες των παρεγχυματικών ιστών και

επεκτείνονται προς τα έξω στο έδαφος. Οι μυκόρριζες αυτές είναι πολύ κοινές στις περισσότερες οικογένειες των φυτών που φέρουν άνθη, ειδικά των σημαντικότερων ειδών από τα φυτά καλλιέργειας, όπως είναι ο αραβόσιτος, τα φασόλια, τα μήλα και οι φράουλες.

Ακόμη ένα σημαντικό παράδειγμα συμβίωσης αποτελεί η σχέση μεταξύ των ψυχανθών (τα φυτά της οικογένειας *Fabaceae*) και των βακτηρίων του γένους *Rhizobium*. Τα βακτήρια εισέρχονται στους ιστούς των ριζών του ψυχανθούς, προκαλώντας τους ιστούς να σχηματίσουν φυμάτια στα οποία τα βακτήρια διαβιούν και αναπαράγονται. Τα φυμάτια, τα οποία σχηματίζονται από ιστούς της ρίζας, αντιπροσωπεύουν μια παρέμβαση προσθήκης προς την πλευρά του ψυχανθούς. Τα ψυχανθή παρέχουν επίσης στα βακτήρια σάκχαρα. Η παρέμβαση προσθήκης των βακτηρίων υλοποιείται με τη μορφή του δεσμευμένου (χρησιμοποιήσιμου) αζώτου, το οποίο τα βακτήρια προσλαμβάνουν από τον ατμοσφαιρικό αέρα. Το ψυχανθές θα βρεθεί σε δύσκολη θέση κατά την διάρκεια της ανάπτυξής του χωρίς την παροχή εκ μέρους των βακτηρίων του δεσμευμένου αζώτου, και τα βακτήρια χρειάζονται τα φυμάτια της ρίζας για την άριστη ανάπτυξη και την αναπαραγωγή τους. Αντιλαμβανόμεθα λοιπόν, ότι η δέσμευση του αζώτου από τα *Rhizobia* αποτελεί ένα από τα πλέον σημαντικά μέσα, με τα οποία το άζωτο μετακινείται από τον τεράστιο ατμοσφαιρικό ταμιευτήρα προς το έδαφος και τη βιομάζα.

Όπως θα δούμε και στα επόμενα κεφάλαια, τέτοιοι ευεργετικοί μηχανισμοί, όπου δύο ή περισσότερα μέλη της σχέσης αλληλεπιδρούν μέσω της προσθετικής παρέμβασης, έχουν πολύ σπουδαία σημασία για το σχεδιασμό και τη διαχείριση πολλών συγκαλλιεργητικών συστημάτων.

12.3.2.3. Αλληλοπάθεια

Μια μορφή παρέμβασης που πρόσφατα έτυχε σημαντικής προσοχής και ενδιαφέροντος, ειδικότερα στη γεωργία, είναι η αλληλοπάθεια (allelopathy). Η αλληλοπάθεια είναι η παραγωγή μιας χημικής ένωσης από ένα φυτό, η οποία, όταν απελευθερώνεται στο περιβάλλον, έχει μια παρεμποδιστική ή μια διεγερτική επίδραση σε άλλους οργανισμούς. Οι αλληλοπαθητικές αλληλεπιδράσεις έχει αποδειχθεί ότι συμβαίνουν σε μια ευρεία ποικιλία φυσικών οικοσυστημάτων, όσο και αγροοικοσυστημάτων.

Οι αλληλοπαθητικές οργανικές ενώσεις είναι φυσικά προϊόντα τα οποία μπορεί να κατευθύνουν μεταβολίτες, υποπροϊόντα άλλων μεταβολικών διαδρόμων, ή προϊόντα διάσπασης των οργανικών ενώσεων ή της βιομάζας. Οι χημικές ενώσεις είναι συχνά τοξικές για το φυτό που τις παράγει, εάν δεν αποθηκευθούν σε κάποια μη τοξική μορφή ή εάν απελευθερωθούν πριν να δομηθούν εσωτερικά σε τοξικά επίπεδα. Σε κάποιες περιπτώσεις, ακόμη και όταν οι τοξίνες ελευθερώνονται από το φυτό, είναι δυνατό να δομηθούν στο ενδιάμεσο περιβάλλον και να καταστούν τοξικές για το φυτό που τις παράγει. Οι αλληλοπαθητικές χημικές ενώσεις λαμβάνουν πολλές μορφές, από υδατοδιαλυτές μέχρι πτητικές, από απλές μέχρι πολύπλοκες, και από μακρόβιες μέχρι βραχύβιες. Οι πλέον κοινές αλληλοπαθητικές οργανικές ενώσεις ανήκουν στις χημικές ομάδες των τανινών, των φαινολικών οξέων, των τερπενών και των αλκαλοειδών.

Τα αλληλοπαθητικά προϊόντα ελευθερώνονται από το φυτό με μια ποικιλία τρόπων. Μπορεί να ξεπλυθούν από τα πράσινα φύλλα, να αποπλυθούν από τα ξηρά φύλλα, να διαφύγουν από τα φύλλα, να εξαχθούν από τις ρίζες ή να ελευθερωθούν από το αποδομούμενο υλικό του φυτού, κατά τη διάρκεια της αποσύνθεσης. Ακόμη και τα άνθη, οι καρποί και οι σπόροι είναι δυνατό να αποτελούν πηγές αλληλοπαθητικών τοξινών. Υπάρχουν επίσης περιπτώσεις στις οποίες τα προϊόντα δεν καθίστανται

τοξικά, μέχρις ότου αυτά βρεθούν στο περιβάλλον και αλλοιωθούν, είτε από κανονική χημική υποβάθμιση, είτε με τη μετατροπή τους σε τοξικές ενώσεις από τους μικροοργανισμούς.

Στα φυσικά οικοσυστήματα, η αλληλοπάθεια μπορεί να βοηθήσει στο να επεξηγηθούν κάποια σημαντικά φαινόμενα, όπως είναι:

- ✚ η κυριαρχία ενός είδους ή μιας ομάδας ειδών επί άλλων ειδών ή ομάδων ειδών,
- ✚ η διαδοχική αλλαγή και η αντικατάσταση των ειδών, ή η διατήρηση ενός σταδίου απόκλισης κατά την διαδικασία της διαδοχής,
- ✚ η μειωμένη παραγωγικότητα του οικοσυστήματος,
- ✚ η μοναδική μορφή ή η κατανομή των φυτικών ειδών στο περιβάλλον.

Στα αγροοικοσυστήματα η αλληλοπάθεια είναι δυνατό να διαδραματίσει σπουδαίους ρόλους στο βιολογικό έλεγχο, το σχεδιασμό των συστημάτων συγκαλλιέργειας και τη διαχείριση των αμειψισπορών. Στη συνέχεια θα παραθέσουμε κάποια παραδείγματα, ενώ στα επόμενα κεφάλαια θα αναφερθούμε σ' αυτή με περισσότερες λεπτομέρειες.

12.3.3. Σύγκριση των τύπων της παρέμβασης

Στον **Πίνακα 12.2.** παρατηρούμε μια σύντομη περίληψη των πλέον σημαντικών χαρακτηριστικών κάθε τύπου παρέμβασης. Από τη μελέτη του πίνακα αυτού προκύπτει ότι η ομαδοποίηση των παρεμβάσεων σε παρεμβάσεις προσθήκης και παρεμβάσεις απομάκρυνσης, δεν εξαντλεί τους τρόπους, στους οποίους οι παρεμβάσεις μπορούν να ταξινομηθούν. Η συμβίωση για παράδειγμα, μοιράζεται με τον ανταγωνισμό την ιδιότητα των εμπλεκόμενων συμμετρικών ρόλων. Δηλαδή, ο οργανισμός που δημιουργεί την παρέμβαση είναι ταυτόχρονα και ο οργανισμός που δέχεται την παρέμβαση, η οποία δημιουργείται από άλλον αλληλεπιδρώντα οργανισμό. Ένα άλλο παράδειγμα. Ο επιφυτισμός και ο παρασιτισμός εμπλέκονται αμφότεροι σε παρεμβάσεις οι οποίες κυρίως δρουν άμεσα στο σώμα κάποιου οργανισμού, παρά στο εξωτερικό φυσικό περιβάλλον. Οι παραπάνω παρατηρήσεις καθιστούν φανερό ότι οι παρεμβάσεις είναι δυνατό να ομαδοποιηθούν σε άμεσες ή έμμεσες και σε συμμετρικές ή ασύμμετρες.

Στον **Πίνακα 12.3.** παρουσιάζεται η τυπολογία, η οποία απορρέει από μια τέτοια ταξινόμηση. Οι περισσότερες μορφές της παρέμβασης καταλαμβάνουν μόνο ένα κύτταρο της μήτρας, αλλά ο πρωτοσυνεργατισμός και η συμβίωση μπορεί να είναι, είτε άμεσες, είτε έμμεσες παρεμβάσεις.

Πίνακας 12.4. Τύποι παρέμβασης

	Άμεση (συμβαίνει μέσα ή πάνω στο σώμα ενός ή αμφοτέρων των οργανισμών)	Έμμεση (συμβαίνει στον οικότοπο που μοιράζονται οι οργανισμοί)
Συμμετρική (αμφότεροι οι οργανισμοί δημιουργούν παρέμβαση)	Πρωτοσυνεργατισμός Συμβίωση	Ανταγωνισμός Πρωτοσυνεργατισμός Συμβίωση
Ασύμμετρη (η παρέμβαση δημιουργείται από ένα οργανισμό)	Φυτοφαγία Παρασιτισμός Επιφυτισμός	Αλληλοπάθεια

12.3.4. Οι παρεμβάσεις όπως λειτουργούν στο αγροοικοσύστημα

Στις περισσότερες αλληλεπιδράσεις των πολλαπλών ειδών, τα φυτά ταυτόχρονα προσθέτουν κάτι στο περιβάλλον ή απομακρύνουν κάτι από το περιβάλλον. Είναι πολύ δύσκολο να ξεχωρίσουμε τις παρεμβάσεις προσθήκης από τις παρεμβάσεις απομάκρυνσης, και ακόμη πιο δύσκολο να δείξουμε πως μπορούν να αλληλεπιδρούν τοιουτοτρόπως, ώστε να καθορίζουν ποια είδη και πόσα άτομα από αυτά είναι ικανά να συνυπάρχουν σ' ένα συγκεκριμένο βιότοπο. Σε τελική ανάλυση όμως, ο συνδυασμός των τύπων παρέμβασης πρόκειται να διαδραματίσει ένα σπουδαίο ρόλο στον καθορισμό της δομής και της λειτουργίας του οικοσυστήματος.

Είναι εύκολο να φανταστούμε πως η αλληλοπάθεια και ο ανταγωνισμός, για παράδειγμα, μπορούν αμφότεροι να συμβάλλουν εν μέρει σ' ένα σύστημα πολυκαλλιεργητικής εκμετάλλευσης. Τα μέλη της μίξης προσθέτουν υλικά και αφαιρούν πόρους από το περιβάλλον ταυτόχρονα, τροποποιούν τις μικροκλιματικές συνθήκες του περιβάλλοντος αυτού και αλληλεπιδρούν με τρόπους που επιτρέπουν την συνύπαρξη ή ευνοούν τις συμβιωτικές αλληλεξαρτήσεις. Είναι σημαντικό όμως, να κατανοήσουμε τους μηχανισμούς της κάθε αλληλεπίδρασης, αρχής γενομένης από τις επιπτώσεις του κάθε είδους στο περιβάλλον στο οποίο διαβιώνουν. Η ικανότητα των αγροτών – παραγωγών να διαχειρίζονται με επιτυχία τα πολύπλοκα μίγματα φυτών καλλιέργειας και τις αμειψισπορές εξαρτάται από το πώς θα κατανοήσουν το θέμα.

12.4. Η τροποποίηση του περιβάλλοντος με την αλληλοπάθεια

Σχεδόν μέχρι πρόσφατα, η οικολογική έρευνα έδινε την πιο μεγάλη της έμφαση στις ανταγωνιστικές αλληλεπιδράσεις. Αυτό ισχύει περισσότερο για τη γεωργία, όπου έγιναν μεγάλες προσπάθειες για να γίνει αντιληπτό ποιες είναι εκείνες οι συνθήκες του περιβάλλοντος που περιορίζουν την βέλτιστη ανάπτυξη των φυτών καλλιέργειας και ποια είδη εισροών ή τεχνολογιών απαιτούνται, ώστε να διορθωθεί η κατάσταση για τα ζητήματα που χρειάζεται η καλλιέργεια ή τα πράγματα που βρίσκονται σε ανεπάρκεια. Έτσι, οι διευθετήσεις και οι πυκνότητες των φυτών καλλιέργειας ερευνήθηκαν και αναπτύχθηκαν με σκοπό να αποφεύγεται ο ανταγωνισμός.

Μόλις τα τελευταία λίγα έτη, η προσθετική παρέμβαση της αλληλοπάθειας άρχισε να αποκτά ερευνητικό ενδιαφέρον. Η αυξανόμενη επιθυμία στα αγροοικοσυστήματα να αντικατασταθούν οι συνθετικές χημικές εισροές με φυσικά παραγόμενα υλικά, έδωσε ένα δυνατό έναυσμα στην εφαρμοσμένη έρευνα στο αντικείμενο της αλληλοπάθειας, ειδικότερα στην Ευρώπη και την Ινδία. Η αλληλοπάθεια συνεπώς, αποτελεί ένα έξοχο παράδειγμα για το πώς μια έρευνα, η οποία εστιάζεται στους μηχανισμούς της παρέμβασης, μπορεί να έχει σημαντικές εφαρμογές στην αγροοικολογία. Επειδή η αλληλοπάθεια έχει μια τέτοια δυναμική σημασία στην αγροοικολογική έρευνα και την αειφορικότητα, το υπόλοιπο του κεφαλαίου θα αφιερωθεί στην αναλυτικότερη μελέτη της.

12.4.1. Η ιστορία της μελέτης της αλληλοπάθειας

Οι επιπτώσεις της αλληλοπάθειας παρατηρήθηκαν από πολύ παλαιά, όταν ο Θεόφραστος συνιστούσε ότι οι «οσμές» του λάχανου προκαλούν στα αμπέλια «μαρασμό και υποχώρηση». Ιαπωνικές πηγές που χρονολογούνται, τουλάχιστο στον 16^ο αιώνα, κατέγραψαν, ανεξάρτητα μεταξύ τους, αυτό που εμείς σήμερα γνωρίζουμε ό,τι είναι οι αλληλοπαθητικές αλληλεπιδράσεις.

Στην Ευρώπη μέχρι το 17^ο αιώνα δεν είχαν γίνει επιστημονικές παρατηρήσεις των αλληλεπιδράσεων των αλληλοπαθητικών φυτών, όταν ο A. P. De Candolle δημοσίευσε μια έντονου επηρεασμού εργασία, στην οποία περιέγραφε τις παρατηρήσεις του για την έκκριση σταγονιδίων κάποιας μορφής από τις ρίζες του *Lolium temulentum*. Ο De Candolle πίστευε, ότι τα φυτά χρησιμοποιούν τις ρίζες τους ως όργανα έκκρισης και ότι, οι εκκρίσεις αυτές περιείχαν χημικές ενώσεις που παρέμεναν στο έδαφος και επηρέαζαν την αύξηση του φυτείας που ακολουθούσε. Η θεωρία του βρέθηκε σε δυσμένεια, όταν ο Justus von Liebig ανέπτυξε τη θεωρία της ανόργανης διατροφής και η εστίαση στις αλληλεπιδράσεις των φυτών μετατέθηκε στην απόπλυση των θρεπτικών στοιχείων και τον ανταγωνισμό.

Και φτάσαμε στα τέλη του 19^{ου} αιώνα, όταν επιμελημένα πειράματα στις ΗΠΑ και την Αγγλία απέδειξαν επιστημονικά ότι, η αλληλοπάθεια ήταν μια σημαντική αλληλεπίδραση των φυτών. Στην Αγγλία, βρέθηκαν μερικά αγρωστώδη τα οποία επηρέαζαν αρνητικά την αύξηση των δένδρων που βρίσκονταν κοντά τους, και η έρευνα κατέδειξε ότι, οι επιδράσεις μπορούσαν και να μην υπήρχαν λόγω της απόπλυσης των θρεπτικών στοιχείων από το έδαφος. Πράγματι, εδαφικές εκπλύσεις από δοχεία που φυτεύτηκαν με τα αγρωστώδη, επηρέασαν τόσο τα δένδρα, όσο και τα ίδια τα αγρωστώδη. Στις ΗΠΑ ανάμεσα στο 1901 και το 1904, ο Schreiner και οι συνεργάτες του δημοσίευσαν μια σειρά από εργασίες, με τις οποίες τεκμηριώναν τη «εκτόνωση» των εδαφών που φυτεύτηκαν συνεχώς με ένα φυτό καλλιέργειας και την εξαγωγή των χημικών ενώσεων που ήταν υπεύθυνες για την εκτόνωση. Αυτή ήταν η πρώτη φορά που οι ερευνητές απέδειξαν την ικανότητα των χημικών ενώσεων των φυτών να εμποδίσουν το φύτεμα και την ανάπτυξη των αρτιφύτρων ενός φυτικού είδους.

Στη δεκαετία του 1920 κάποιες σημαντικές εργασίες εστίασαν το ενδιαφέρον τους στην μαύρη καστανιά. Ο Cook στοιχειοθέτησε την ικανότητα του δένδρου να παρεμποδίζει τα φυτά που βρίσκονται κοντά της, και ο Massey βρήκε ότι μια έκκριση από τον φλοιό της καστανιάς στο νερό προκαλεί μαρασμό στα φυτά της τομάτας.

Στα 1937, ο Molisch, για να περιγράψει κάθε βιοχημική αλληλεπίδραση μεταξύ των φυτών και των μικροοργανισμών, θετική ή αρνητική, επινόησε τον όρο της *Αλληλοπάθειας*. Αμέσως μετά, οι μελέτες των Benedict, Bonner και Galston, Evenari και McCalla και Duley στοιχειοθέτησαν ξανά τις χυμοτροφικές επιδράσεις του φυτού και ο όρος *Αλληλοπάθεια* κατέστη για πρώτη φορά κοινόχρηστος (Willis 1985).

Το 1969 ο Muller εισήγαγε την έννοια της *Παρέμβασης*, ως ένα τρόπο για να εξηγήσει σε μια ενιαία θεωρία αμφότερα τα φαινόμενα της αλληλοπάθειας και του ανταγωνισμού. Οι οικολόγοι τώρα αναγνωρίζουν ότι οι ανταγωνιστικές ή οι αλληλοπαθητικές αντιδράσεις μπορεί να λειτουργούν *in tandem* (ταυτοχρόνως) σε κάθε δεδομένο σύστημα και ότι, οι αλληλοπαθητικές αντιδράσεις μπορεί να είναι ιδιαίτερα σημαντικές στα συστήματα πολλαπλών καλλιεργειών (Rice 1984).

12.4.2. Επίδειξη της αλληλοπάθειας

Για να μπορέσουμε σε μια παρεμβατική αλληλεπίδραση, να διαλευκάνουμε την αλληλοπάθεια ακολουθούμε τα παρακάτω βήματα:

1. Καθορίζεται η παρουσία μια πιθανής αλληλοπαθητικής χημικής ένωσης στο ύποπτο φυτό ή το τμήμα του φυτού. Ένα σύστημα διαχωρισμού που χρησιμοποιεί κάποιον τύπο βιοδοκίμιου, είναι μια κοινή διαδικασία για να γίνει ο έλεγχος (Leather & Einhellung 1986). Μπορεί να χρησιμοποιηθεί ένα θετικό βιοδοκίμιο.
2. Αποδεικνύεται ότι οι χημικές ενώσεις απελευθερώνονται από το φυτό δότη.

3. Καθορίζεται ότι οι χημικές ενώσεις συσσωρεύονται ή συγκεντρώνονται σε τοξικά επίπεδα στο περιβάλλον.
4. Αποδεικνύεται ότι λαμβάνει χώρα η πρόσληψη ή η απορρόφηση των χημικών ενώσεων από τον οργανισμό – στόχο.
5. Επιδεικνύεται ότι η παρεμπόδιση (ή η διέγερση) των φυτών – στόχων λαμβάνει χώρα στον αγρό.
6. Αναγνωρίζονται οι χημικές ενώσεις και καθορίζεται η πραγματική φυσιολογική βάση της ανταπόκρισης.
7. Τέλος, καθορίζεται με ποιο τρόπο οι αλληλοπαθητικές χημικές ενώσεις αλληλεπιδρούν με άλλους παράγοντες στο περιβάλλον, έτσι ώστε, είτε η επίπτωση να ελαττωθεί, είτε να ενισχυθεί. (Σπάνια μια αλληλοπαθητική χημική ένωση θανατώνει έναν άλλο οργανισμό αμέσως).

Κάτω από ιδανικές συνθήκες, όλα αυτά τα βήματα πρέπει να γίνονται πριν να ξεκινήσουμε την προσπάθεια να διαχειριστούμε την αλληλοπάθεια στο πλαίσιο του αγροοικοσυστήματος. Τις περισσότερες φορές όμως, μια έρευνα τέτοιας έντασης δεν καθίσταται δυνατή και οι αγροκτήμονες βρίσκονται αντιμέτωποι με την ανάγκη να λάβουν αποφάσεις για τα αγροκτήματά τους σε καθημερινή βάση. Και μια παρατήρηση οξύνει. Μαζί με τα αποτελέσματα της έρευνας, αυτοί μπορεί να καταστήσουν την αλληλοπάθεια ένα ακόμη εργαλείο στο πλαίσιο της διαχείρισης του περιβάλλοντος του αγροκτήματος και προς όφελος της καλλιέργειας.

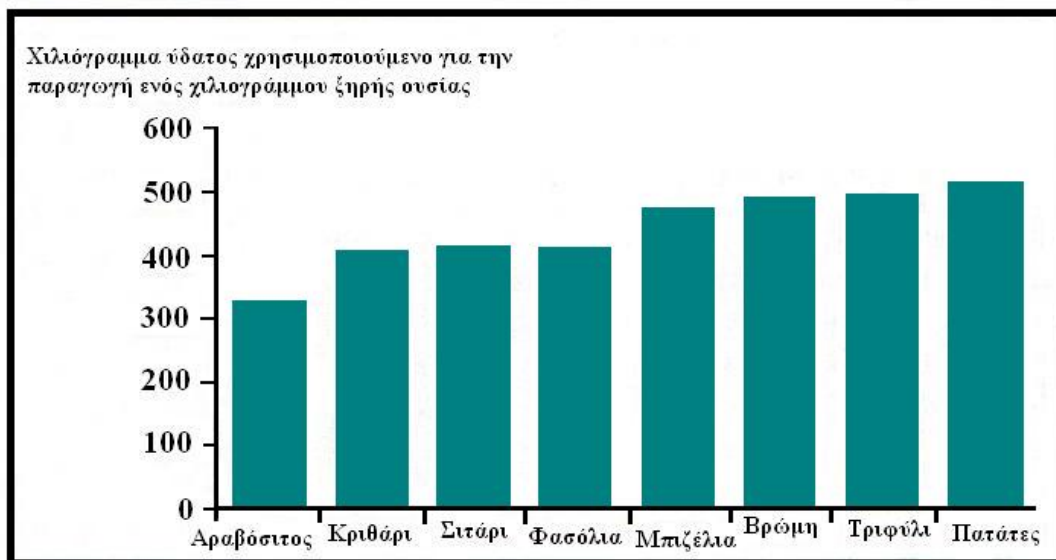
12.4.3. Αλληλοπαθητικές επιπτώσεις των ζιζανίων

Τα ζιζάνια είναι υπεύθυνα για την απώλεια της παραγωγής των φυτών καλλιέργειας σε ολόκληρη την υφήλιο. Η διεθνής βιβλιογραφία βρήκε αναφορών για τις «ανταγωνιστικές επιπτώσεις» των ζιζανίων, αλλά σπάνια η αλληλοπάθεια θεωρείται ή ακόμη αναφέρεται, ως ένας από τους μηχανισμούς από τους οποίους επηρεάζονται τα φυτά καλλιέργειας. Οσάκις τα ζιζάνια και τα φυτά καλλιέργειας βρίσκονται μαζί στην ίδια φυτεία, λειτουργούν ταυτόχρονα ή σε ακολουθία πολλές πιθανές μορφές παρέμβασης. Το αλληλοπαθητικό δυναμικό υποδείχθηκε για ένα μεγάλο αριθμό ειδών ζιζανίων (Putman και Weston 1986). Η έρευνα πρέπει να εστιαστεί πάνω στους μηχανισμούς απελευθέρωσης των πιθανών φυτοτοξικών χημικών ενώσεων στο περιβάλλον, τον τρόπο πρόληψής τους από τα φυτά καλλιέργειας, τον τρόπο παρεμπόδισης των φυτών καλλιέργειας, καθώς και τους τρόπους που βελτιώνουν την αρνητική επίδραση των χημικών ενώσεων.

Οι αλληλοπαθητικές χημικές ενώσεις που απελευθερώνονται από τα ζιζάνια μπορούν να επηρεάσουν το φύτεμα των σπόρων των φυτών καλλιέργειας και την ανάπτυξή τους, την αύξηση και την ανάπτυξη των φυτών καλλιέργειας, και την υγεία των συνοδών συμβιωτών των φυτών καλλιέργειας που βρίσκονται στο έδαφος. Ένα παράδειγμα ενός αλληλοπαθητικού ζιζανίου είναι το αγρωστώδες *Paspalum conjugatum*, ένα επιθετικό ζιζάνιο των ετήσιων καλλιεργητικών συστημάτων στο Tabasco του Mexico. Στην **Εικόνα 12.4.** παρουσιάζεται η επίπτωση παρεμπόδισης του φυτού, όταν αυτό παρεπιδημεί σε μια καλλιέργεια αραβοσίτου. Όταν η κυριαρχία του αγρωστώδους αυξάνει, η υστέρηση του αραβοσίτου καθίσταται περισσότερο φανερή, φτάνοντας σ' ένα σημείο, στο οποίο, όταν το ζιζάνιο είναι πυκνότατο, ο αραβόσιτος δεν είναι ικανός ούτε να εγκατασταθεί.

Υδάτινο εκχύλισμα από το ξηραμένο αγρωστώδες που δεν είχε αποπλυθεί από τις βροχές, έδειξε την ικανότητα του να επηρεάζει, τόσο το φύτεμα, όσο και την πρόωμη αύξηση των σπόρων του αραβοσίτου. Οι ντόπιοι αγροκτήμονες αναγνωρίζουν τις αρνητικές επιπτώσεις του αγρωστώδους στο έδαφος, αναφερόμενοι σε μια θερμική

επίπτωση που μπορεί να προκαλέσει την υστέρηση ή το κιτρίνισμα της καλλιέργειας του αραβοσίτου. Όταν οι ερευνητές δεν μπορούν να βρουν διαφορές στη θερμοκρασία στον αγρό με τα θερμόμετρα, η αλληλοπάθεια καθίσταται ύποπτη. Μολονότι μια απλή ένδειξη δεν είναι επαρκής για να ρυθμίσει την ανταγωνιστική παρέμβαση από το αγρωστώδες, η επίπτωση της παρεμπόδισης υφίσταται ακόμη και όταν οι αγροκτήμονες προσθέτουν τα ενδεδειγμένα επίπεδα χημικών λιπασμάτων στην καλλιέργεια και όταν η βροχόπτωση είναι κάτι παραπάνω από επαρκής.



Πίνακας 12.4. Αλληλοπαθητική παρεμπόδιση του αραβοσίτου από το αγρωστώδες *Paspalum conjugatum*. Η βροχή ξεπλένει τις φυτοτοξίνες από τα νεκρά και ζωντανά μέρη του αγρωστώδους και επιπλέον χημικές ενώσεις εξέρχονται από τις ρίζες.

Πηγή: Προσαρμογή από τον Gliessman (1979).

Σε μια μελέτη που διενεργήθηκε στην California, δύο πολύ κοινά ζιζάνια, το *Chenopodium album* και ο *Amaranthus retroflexus*, δοκιμάστηκαν για το αλληλοπαθητικό δυναμικό τους απέναντι στην καλλιέργεια του φασολιού (*Phaseolus vulgaris*). Αμφότερα τα ζιζάνια επέδειξαν αλληλοπαθητικό δυναμικό σε εργαστηριακά βιοδοκίμια. Στον αγρό βρέθηκε ότι τα φασόλια που αναπτύχθηκαν μαζί με το *Amaranthus retroflexus* υστέρησαν, παρουσίασαν όμως κανονικούς αριθμούς φυματίων των συμβιωτικών με αυτά βακτηρίων του γένους *Rhizobium*, και ότι τα φασόλια που αναπτύχθηκαν με το *Chenopodium album* αφενός μεν υστέρησαν και αφετέρου είχαν σε μεγάλο βαθμό μειωμένο αριθμό φυματίων (Espinoza 1984). Τα αποτελέσματα αυτά δείχνουν ότι οι χημικές ουσίες που απελευθερώνονται από τα δύο αυτά διαφορετικά ζιζάνια επηρέασαν τα φυτά καλλιέργειας με διαφορετικούς τρόπους. Το ένα επέδρασε στην αύξηση των φασολιών άμεσα και το άλλο παρεμπόδισε τη δραστηριότητα των αζωτοδεσμευτικών βακτηριδίων. Όταν ο αγρός αρδεύτηκε, είχε εν τω μεταξύ πρόσφατα λιπανθεί, και ο φυτευτικός σύνδεσμος διασφάλισε ότι μια επαρκής ποσότητα φωτός έφτανε στα φασόλια, η παρέμβαση απομάκρυνσης ήταν προφανώς ελάχιστη. Ξανά, χρειάζεται περισσότερη έρευνα για να κατανοήσουμε τους συγκεκριμένους μηχανισμούς, αλλά υπάρχει επαρκής πληροφόρηση για να επιδείξουμε την παρεμπόδιση των φυτών καλλιέργειας μέσω της αλληλοπαθητικής παρέμβασης προσθήκης.

Ένα είδος ζιζανίου που έχει μελετηθεί σε μεγάλο βάθος με σκοπό να καταδειχθούν οι αλληλοπαθητικοί του μηχανισμοί είναι το έρπον αγρόπυρο (*Agropyron repens*). Τα ευρήματα που ακολουθούν περιγράφονται σε μια ανασκόπηση των Putman και Weston (1986).

- ✚ Το αγρόπυρο παρεμπόδισε αρκετούς τύπους φυτών καλλιέργειας (π.χ. τριφύλλι, μηδική, κριθάρι), και η παρεμπόδιση αυτή δεν θα μπορούσε να επεξηγηθεί από την παρέμβαση απομάκρυνσης.
- ✚ Τα θερμοκηπιακά και τα εργαστηριακά βιοδοκίμια έδειξαν το δυναμικό παρεμπόδισης του φυλλώματος και των ριζών του φυτού, μολονότι τα υπολείμματα του φυλλώματος ήταν διπλάσια τοξικά από τα υλικά της ρίζας. Τα υδατικά εκχυλίσματα και τα ενσωματωμένα υπολείμματα ήταν αμφότερα φυτοτοξικά.
- ✚ Υπήρχε μια ένδειξη ότι η μεγαλύτερη παρεμπόδιση παρατηρήθηκε με την παρουσία εδαφικών μυκήτων.
- ✚ Τα αποσυντιθέμενα υπολείμματα του αγρόπυρου έδειξαν ότι παράγουν υδατοδιαλυτούς παρεμποδιστές, γεγονός το οποίο εξηγεί την παρεμπόδιση που παρατηρήθηκε, όταν τα υπολείμματα του φυτού αποτελούσαν ένα σημαντικό τμήμα των καλλιεργητικών συστημάτων χωρίς άροση.
- ✚ Η παρεμπόδιση της δημιουργίας φυματίων στα ψυχανθή και της μείωσης του σχηματισμού ριζικών τριχιδίων σε άλλα φυτά, δημιούργησε την υποψία ότι υπήρχαν πιθανοί μηχανισμοί παρεμπόδισης.
- ✚ Αρκετές χημικές ενώσεις έχουν απομονωθεί και αναγνωριστεί από τα υδατικά εκχυλίσματα και τα προϊόντα αποσύνθεσης, στις οποίες περιλαμβάνονται φαινολικά οξέα, μια γλυκοζίδη, μια χημική ένωση γνωστή ως αγροπυρίνη, μια φλαβονική τρισίνη και άλλες σχετικές χημικές ενώσεις.
- ✚ Ακόμη και όταν το αγρόπυρο θανατώνεται με ζιζανιοκτόνα, τα υπολείμματα του φυτού και οι τοξίνες στο έδαφος πρέπει να αφεθούν να υποβαθμιστούν πριν από την επιτυχημένη εγκατάσταση της επόμενης καλλιέργειας.

Η περίπτωση του αγρόπυρου καταδεικνύει ότι η αλληλοπαθητική παρέμβαση μπορεί να είναι πολύ σπουδαία, αλλά αποδεικνύει επίσης, ότι τα διαφορετικά τμήματα του φυτού είναι δυνατό να διαδραματίζουν διαφορετικούς ρόλους, και ότι οι φυτοτοξικές ενώσεις μπορούν να εισέλθουν στο περιβάλλον διαμέσου διαφορετικών μηχανισμών και ασφαλώς, έχουν ποικίλες επιπτώσεις στα φυτά καλλιέργειας.

12.4.4. Οι επιπτώσεις της αλληλοπάθειας των καλλιεργούμενων φυτών

Μολονότι αρκετές ερευνητικές προσπάθειες στα αγροοικοσυστήματα έχουν εστιάσει το ενδιαφέρον τους στο αλληλοπαθητικό δυναμικό των ζιζανίων, έχει αποδειχθεί επίσης, ότι πολλά φυτά καλλιέργειας απελευθερώνουν φυτοτοξίνες. Τέτοιοι μηχανισμοί αλληλεπίδρασης έχουν σημαντικές πιθανότητες για τους αγροκτήμονες που αναζητούν εναλλακτικές πρακτικές διαχείρισης.

12.4.4.1 Φυτεία κάλυψης

Οι καλλιέργειες με φυτά κάλυψης συνήθως αναπτύσσονται σ' έναν αγρό κατά τη διάρκεια της περιόδου της αγρανάπαυσης, με σκοπό να προστατευθεί το έδαφος από τη διάβρωση, να ενσωματωθεί η οργανική ύλη στο έδαφος, να βελτιωθούν οι συνθήκες για τη διείσδυση του νερού και την κατακράτησή του και για την παρουσία «απαλότερων» ζιζανίων. Καλλιέργειες με φυτά κάλυψης όπως, σιτάρι, σίκαλη, βρώμη,

κριθάρι, σόργο, έχουν χρησιμοποιηθεί αποτελεσματικά για την καταπίεση των ζιζανίων, κυρίως των ετήσιων πλατύφυλλων ειδών. Η ικανότητα πολλών από αυτά, αλλά και κάποιων άλλων φυτών κάλυψης να καταπιέζουν τα ζιζάνια, οφείλεται κατά ένα μέρος τουλάχιστον, στην αλληλοπάθεια (Overland 1966).

Έχει ιδιαίτερα μελετηθεί το αλληλοπαθητικό δυναμικό της χειμερινής σίκαλης (*Secale cereale*) (Barnes *et al.* 1986). Η σίκαλη παράγει σημαντικές ποσότητες βιομάζας ενωρίς την αυξητική περίοδο και έχει βρεθεί ότι αυτή αποτελεί επιτυχημένη επιλογή, όταν χρησιμοποιείται ως καλλιέργεια χλωρής λίπανσης στα φτωχά εδάφη. Αλλά, πάρα πολύ χαρακτηριστική είναι και η ικανότητά της, ενόσω αυτή αυξάνεται, να καταπιέζει την αύξηση των ζιζανίων, όπως επίσης, και μετά την ενσωμάτωση των υπολειμμάτων της καλλιέργειας της στο έδαφος με την άροση ή εάν αυτά αφεθούν στο έδαφος μετά το θερισμό. Αλληλοπαθητικές επιδράσεις έχουν ακόμη παρατηρηθεί από υπολείμματα τα οποία εγκαταλείφθηκαν στο έδαφος μετά από ψεκασμό με ζιζανιοκτόνο, ο οποίος νέκρωσε την κάλυψη. Μετά από εξαντλητική χημική ανάλυση αναγνωρίστηκαν δυο βενζοξασζολίνες και τα συνοδά προϊόντα διάσπασής της, ως προφανείς φυτοτοξικοί παράγοντες.

Η φυτεία κάλυψης η οποία ονομάζεται βελούδινο φασόλι (*Mucuna puriens*) και χρησιμοποιείται σε μεγάλη έκταση στο αγροτικό Tabasco του Mexico, έχει αποδειχθεί ότι αυτή παρεμποδίζει τα ζιζάνια μέσω της αλληλοπάθειας. Το ετήσιο αυτό ψυχανθές φυτεύεται σε μια καλλιέργεια αραβοσίτου κοντά στο τέλος του καλλιεργητικού κύκλου. Καλύπτει τον ανοικτό χώρο ανάμεσα στα φυτά του αραβοσίτου και καταπιέζει αποτελεσματικά την αύξηση των ζιζανίων, τόσο πριν όσο και μετά την συγκομιδή. Η καταπίεση των ζιζανίων οφείλεται εν μέρει στη σκίαση, λειτουργεί όμως και η απελευθέρωση των αλληλοπαθητικών χημικών ενώσεων. Μόλις η φυτεία του βελούδινου φασολιού συμπληρώσει το βιολογικό της κύκλο, τα φυτά παραμένουν νεκρά στο έδαφος, καλύπτοντάς το με μια πλούσια σε άζωτο φυτική ύλη και αναμένουμε η επόμενη καλλιέργεια του αραβοσίτου να φυτευτεί. Με αυτό τον τρόπο διαχειρίζονται μεγάλες περιοχές, χωρίς τη χρήση λιπασμάτων και ζιζανιοκτόνων (Gliessman & Garcia 1982).

Καθώς δημιουργείται περισσότερη πληροφόρηση σε ότι έχει σχέση με τους μηχανισμούς απελευθέρωσης φυτοτοξινών στις φυτείες κάλυψης, οι αγροκτήμονες θα καταστούν περισσότερο ικανοί να βελτιώσουν τη χρήση της φυτείας κάλυψης για τον έλεγχο των ζιζανίων, με την μεγιστοποίηση της προσθήκης των χημικών ενώσεων στο έδαφος και την βελτίωση του συγχρονισμού της ενσωμάτωσης. Επειδή τα φυτά στην καλλιέργεια κάλυψης διαφέρουν από περιοχή σε περιοχή, απαιτείται να κατανοήσουμε με ποιο τρόπο τα τοπικά κλίματα επηρεάζουν το μηχανισμό απελευθέρωσης των τοξινών στο περιβάλλον, όπου μπορούν να επιδράσουν στα ζιζάνια. Επακόλουθο αυτού και λογικό είναι, ότι και η επιλογή των κατάλληλων ειδών να είναι ποικίλλουσα.

12.4.4.2. Οργανική επικάλυψη από τα καλλιεργούμενα φυτά

Τα φυτικά υλικά και τα υπολείμματα των καλλιεργειών μπορούν να απλωθούν στο έδαφος του αγρού, λειτουργούντα ως οργανική επικάλυψη. Μη χρήσιμη φυτική ύλη από τους αγρούς του αγροκτήματος ή από την επεξεργασία των προϊόντων του αγροκτήματος είναι ιδιαίτερα χρήσιμα για το σκοπό αυτό. Για την εδαφοβελτιωτική αξία των υλικών αυτών έχουμε ήδη συζητήσει στο Ένατο Κεφάλαιο, αλλά ένα σημαντικό όφελος πολλών ειδών ξηροφυλλάδας, το οποίο συχνά παραβλέπεται, προέρχεται από τη δυναμική τους στον αλληλοπαθητικό έλεγχο των ζιζανίων.

Ένα εξόχως σημαντικό παράδειγμα, αποτελεί η χρήση ξηρών και συντριμμένων ποδίσκων του κακάο, μετά την αφαίρεση, ως μέρος της διαδικασίας παραγωγής κακάο,

των σπόρων και του πολτού. Απλωμένοι πάνω στην επιφάνεια του εδάφους ή ανάμεσα στα εγκαταστημένα φυτά της καλλιέργειας, οι συντριμμένοι ποδίσκοι αφήνουν χημικές ενώσεις τανίνης, οι οποίες εμποδίζουν το φύτρωμα και την εγκατάσταση των ζιζανίων. Οι εργαστηριακοί έλεγχοι των υδατικών εκχυλισμάτων του υλικού των ποδίσκων επέδειξε σημαντικό αλληλοπαθητικό δυναμικό. Άλλοι τύποι φυτών καλλιέργειας και υπολειμμάτων κατεργασίας με αλληλοπαθητικό δυναμικό περιλαμβάνουν κομμάτια από τα ξηρά όσπρια του καφέ, κελύφη αμυγδάλων, κελύφη ρυζιού, μέρη μήλων και στέμφυλα και σπόρους σταφυλιών.

Τα κελύφη του κάστανου ήταν ένα από τα μέρη του φυτού που αρχικά μελετήθηκαν λεπτομερώς για το αλληλοπαθητικό δυναμικό τους, αφού από πολύ παλιά είχε παρατηρηθεί ότι πολύ λίγα φυτά (ειδικότερα τα ζιζάνια) μπορούσαν να αναπτυχθούν κάτω από τα δένδρα της καστανιάς, εκεί όπου το εξώτατο κάλυμμα του κάστανου (η φλούδα) μπορούσε να πέσει κατά τη διάρκεια της ωρίμανση του καρπού.

12.4.4.3. Παρεμπόδιση των ζιζανίων από τα καλλιεργούμενα φυτά

Όταν ένα φυτό καλλιέργειας από μόνο του είναι ικανό να παρεμποδίζει τα ζιζάνια μέσω της αλληλοπάθειας, οι αγροκτήμονες έχουν ένα πολύ σπουδαίο εργαλείο να προσθέσουν στην εργαλειοθήκη τους. Άλλωστε, αρκετά φυτά καλλιέργειας είναι γνωστά ότι είναι αποτελεσματικά στην καταπίεση των ζιζανίων που αναπτύσσονται κοντά τους (Worsham 1989).

Έχει αποδειχθεί ότι τα κολοκύθια είναι ιδιαίτερα αποτελεσματικά αλληλοπαθητικά φυτά καλλιέργειας (Gliessman 1983). Η βροχή ξεπλένει τους παρεμποδιστές από τα μεγάλα, σε οριζόντια διευθέτηση φύλλα και όταν εισέρχονται στο έδαφος οι χημικές αυτές ενώσεις μπορούν να καταπιέσουν τα ζιζάνια. Η σκιά την οποία τα φύλλα απλώνουν, προφανώς επαυξάνει την επίδραση, συνδυάζοντας μια παρέμβαση προσθήκης με μια παρέμβαση απομάκρυνσης. Τα βιοδοκίμια δείχνουν το αλληλοπαθητικό δυναμικό των υδατικών εκχυλισμάτων από τα άθικτα φύλλα σε μια πλειάδα φυτών, με τα ζιζάνια συχνά να παρεμποδίζονται σε μεγαλύτερη έκταση απ' ό,τι τα φυτά καλλιέργειας (**Πίνακας 12.4**). Όταν τα κολοκύθια προστίθενται σ' ένα αγροοικοσύστημα πολυκαλλιέργειας, όπως π.χ., αραβόσιτου και φασολιού, αναλαμβάνουν τον σημαντικό ρόλο του καταπιεστή των ζιζανίων για ολόκληρο το μίγμα.

Πίνακας 12.4. Αρχική επιμήκυνση των ριζών των φυτρωμένων σπόρων δυο ζιζανίων και δυο φυτών καλλιέργειας, σε εργαστηριακά βιοδοκίμια εκχυλισμάτων από φύλλα κολοκυθιάς.

Είδη στόχοι	Έλεγχος αποσταγμένου νερού ¹	2,5% εκχύλισμα από φύλλα κολοκυθιάς ²	5,0% εκχύλισμα από φύλλα κολοκυθιάς ²
<i>Avena fatua</i>	100%	61,0%	40,1%
<i>Brassica kaber</i>	100%	48,2%	30,7%
<i>Raphanus sativa</i>	100%	112,1%	57,1%
<i>Hordeum secale</i>	100%	122,0%	57,8%

¹ Επιμήκυνση ριζών μετά από 72 ώρες σε 25 °C σε αποσταγμένο νερό καθορισμένο ως 100% αύξηση.

² Ξηραμένο στον αέρα άθικτα φύλλα κολοκυθιάς εμποτισμένα με αποσταγμένο νερό για 2 ώρες και το διάλυμα που προέκυψε φιλτραρίστηκε και χρησιμοποιήθηκε σε αρδευόμενους σπόρους. Η συγκέντρωση βασίστηκε στο λόγο γραμ. φύλλου κολοκυθιάς προς γραμ. νερού.

Πηγή: δεδομένα από τον Gliessman (1988a).

Άλλες μελέτες έδειξαν ότι παλαιότερες ποικιλίες κάποιων φυτών καλλιέργειας, ειδικότερα μάλιστα οι ποικιλίες που βρίσκονται σε στενή συσχέτιση με το «άγριο» απόθεμα, έδειξαν το μεγαλύτερο αλληλοπαθητικό δυναμικό (Putman & Duke 1974). Με τη βελτίωση των φυτών μπορεί να έχουν επιλεγεί ιδιότητες που να είναι εναντίον του αλληλοπαθητικού δυναμικού, ώστε να επιτευχθούν υψηλότερες καρπώσεις των φυτών. Η αναζήτηση των αλληλοπαθητικών τύπων στις συλλογές κυτταροπλάσματος των φυτών μπορεί να οδηγήσει στην ενσωμάτωση μεγαλύτερου αλληλοπαθητικού δυναμικού στους τρέχοντες τύπους καλλιεργούμενων φυτών μέσω της συμβατικής βελτίωσης των φυτών ή της χρήσης περισσότερο σύγχρονων αναπτυγμένων στρατηγικών γενετικού ανασυνδυασμού.

Λαμβάνοντας υπόψη τα προβλήματα που συνοδεύουν τις προσφάτως χρησιμοποιηθείσες στρατηγικές ελέγχου των ζιζανίων (πιθανή περιβαλλοντική ρύπανση, μόλυνση υπόγειων νερών, αυξημένη δαπάνη ανάπτυξης και ελέγχου νέων ζιζανιοκτόνων, και τις δυσκολίες καταγραφής των νέων ζιζανιοκτόνων) το αλληλοπαθητικό δυναμικό στα φυτά καλλιέργειας θα καταστεί μια περισσότερο ελκυστική εναλλακτική επιλογή. Συνδέοντας το αλληλοπαθητικό δυναμικό των φυτών με την κατανόηση της μοίρας και της δραστηριότητας των φυτοτοξικών χημικών ενώσεων μόλις εγκαταλείψουν το φυτό, αυτό θα κάνει τις εναλλακτικές αυτές επιλογές πάρα πολύ χρήσιμες.

12.4.5. Διέγερση της αύξησης

Στη μέχρι τώρα συζήτηση η έμφαση δόθηκε κυρίως στις παρεμποδιστικές ή τις αρνητικές επιδράσεις των χημικών ενώσεων που προστίθενται στο περιβάλλον από τα φυτά. Υπάρχουν όμως και κάποιες περιορισμένες αναφορές για φυτά τα οποία απελευθερώνουν χημικές ενώσεις στο περιβάλλον, οι οποίες έχουν διεγερτική επίδραση στα άλλα φυτά που βρίσκονται γύρω τους. Τέτοιες διεγερτικές παρεμβάσεις προσθήκης είναι δυνατό να ταξινομηθούν ως αλληλοπάθεια, αφού ο όρος αρχικά επινοήθηκε για να τις συμπεριλάβει μαζί με τις επιδράσεις παρεμπόδισης.

Σε κάποιες περιπτώσεις, οι συγκεντρώσεις των τρόπων τινά παρεμποδιστικών χημικών ενώσεων έχουν διεγερτική επίδραση. Τα βιοδοκίμια για το αλληλοπαθητικό δυναμικό συχνά δείχνουν αυξημένη επιμήκυνση ριζών σε προσφάτως φυτρωμένους σπόρους, όταν τα εκχυλίσματα των φυτών είναι χαμηλών συγκεντρώσεων. Σε άλλες περιπτώσεις, τα φυτά παράγουν χημικές ενώσεις με ολοκληρωμένες διεγερτικές επιδράσεις. Για παράδειγμα, μια μελέτη που παρουσιάζεται στην ανασκόπηση του Rice (1984), βρήκε ότι το ζιζάνιο με την ονομασία *Agrostemma githago* είχε μια ανεκτίμητη επίδραση στις αποδόσεις του σιταριού, όταν αυτό αναπτυσσόταν σε μικτές συστάδες, συγκρινόμενο με το σιτάρι που αναπτυσσόταν μόνο του. Μια ερεθιστική χημική ουσία που απομονώθηκε από το σπάδικα του αραβοσίτου ονομάστηκε *αγροσυστεμίνη* και, όταν εφαρμόστηκε ξεχωριστά στους σιταγρούς, έδειξε ότι αυξάνει τις αποδόσεις του σιταριού, τόσο στις λιπασμένες, όσο και τις μη λιπασμένες περιοχές. Ο Rice επίσης, αναφέρεται σε μια εργασία στην οποία η τεμαχισμένη μηδική που προστέθηκε στο έδαφος διήγειρε την αύξηση του καπνού, του αγγουριού και του μαρουλιού και ως διεγέρτης αναγνωρίστηκε μια χημική ένωση που ονομάστηκε *τριακοντανόλη*. Κάποιες χημικές ενώσεις ακόμη, οι οποίες απομονώθηκαν από ζιζάνια, έχουν διεγερτικές επιδράσεις σε συγκεκριμένες συγκεντρώσεις. Οι ερευνητές βρίσκονται αντιμέτωποι με την πρόκληση να καταδείξουν τρόπους με τους οποίους, κάποιες από αυτές τις επιδράσεις μπορούν πρακτικά να ενσωματωθούν στη διαχείριση των καλλιεργητικών συστημάτων, και η δυνατότητα ασφαλώς υφίσταται, μιας και οι πλήρεις μηχανισμοί της παρέμβασης λειτουργούν.

12.5. Συμπεράσματα

Οι οργανισμοί μπορεί να έχουν θετική και αρνητική επίδραση ο ένας στον άλλον, ανάλογα με τη φύση των αλληλεπιδράσεων αυτών. Οι αλληλεπιδράσεις αυτές έχουν δυναμικές και πιθανώς σημαντικές επιπτώσεις στο περιβάλλον των αγροοικοσυστημάτων. Στο κεφάλαιο αυτό προτείνεται ένα πρότυπο για τη μελέτη και την κατανόηση τέτοιων αλληλεπιδράσεων, το οποίο εστιάζει στους μηχανισμούς μέσω των οποίων ένας οργανισμός προσθέτει στο άμεσο περιβάλλον ή αφαιρεί απ' αυτό κάποιο πόρο ή κάποιο υλικό που μπορεί να έχει συνέπειες για τους άλλους οργανισμούς που ζουν εκεί. Η διαχείριση αυτών των αλληλεπιδρώντων παραγόντων με τρόπους που συμβάλλουν στην αειφορικότητα ολόκληρου του οικοσυστήματος καθίσταται μια πρόκληση για την έρευνα.

12.6. Χρήσιμη συμπληρωματική βιβλιογραφία

Allen, M. F. 1991. *The Ecology of Mycorrhizae*. Cambridge University Press: Cambridge.

Darwin, Charles. 1979. *The Illustrated Origin of Species*. Abridged and Introduced by R. E. Leakey. Hill and Wang: New York.

Daubenmire, R. F. 1974. *Plants and Environment*. Second Edition. John Wiley and Sons: New York.

Putman, A. R. and C. S. Tang. (eds.). 1986. *The Science of Allelopathy*. John Wiley and Sons: New York.

Rice, E. L. 1984. *Allelopathy*. Second Edition. Academic press: Orlando, Fl.

Waller, G. R. (ed.). 1987. *Allelochemicals: Role in Agriculture and Forestry*. ACS Symposium Series 330. American Chemical Society: Washington, DC.

Κεφάλαιο Δέκατο

Τρίτο

Το περιβαλλοντικό σύμπλεγμα

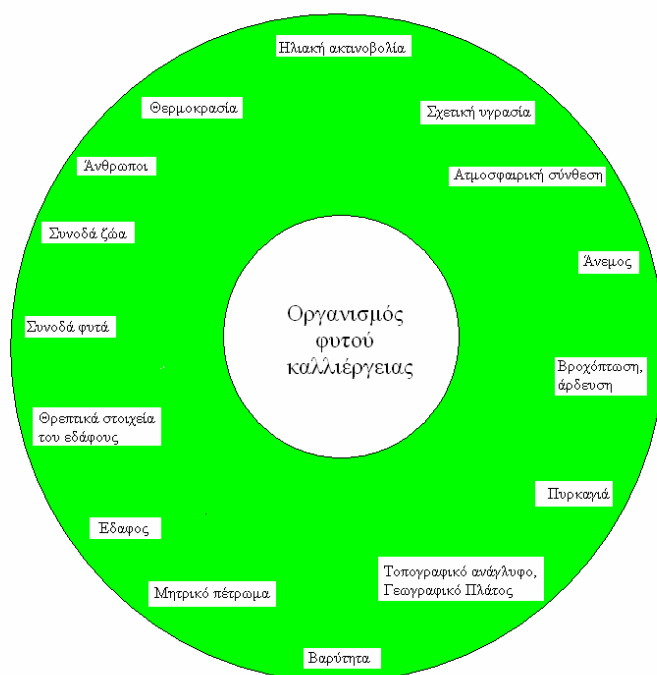
13.1. Γενικά

Στα προηγούμενα κεφάλαια εξετάσαμε τις επιμέρους επιδράσεις των διαφόρων περιβαλλοντικών παραγόντων στα φυτά καλλιέργειας, ήτοι: των παραγόντων του φωτός, της θερμοκρασίας, των κατακρημισμάτων, του ανέμου, του εδάφους, της εδαφικής υγρασίας, του πυρός και άλλων οργανισμών. Μολονότι είναι σημαντικό να κατανοηθεί η επίδραση που κάθε ένας από τους παράγοντες αυτούς έχει από μόνος του, είναι γνωστό ότι σπάνια ο καθένας τους επενεργεί στον οργανισμό μόνος του ή με ένα μόνιμο τρόπο. Επιπλέον, όλοι οι παράγοντες, τους οποίους εξετάσαμε ως τα επιμέρους συστατικά του περιβάλλοντος, αλληλεπιδρούν και επηρεάζουν ο ένας τον άλλον. Συνεπώς, το περιβάλλον στο οποίο επιβιώνει κάθε ανεξάρτητος οργανισμός πρέπει να εκλαμβάνεται ως ένα δυναμικό, διαρκώς μεταβαλλόμενο συστατικό όλων των αλληλεπιδρώντων περιβαλλοντικών παραγόντων, δηλαδή, πρέπει να θεωρείται ως ένα **περιβαλλοντικό σύμπλεγμα**.

Όταν τους παράγοντες που αντιμετωπίζει ένα φυτό καλλιέργειας τους πάρουμε όλους μαζί, είναι δυνατό να εξετάσουμε τα χαρακτηριστικά του περιβάλλοντος που προκύπτουν μόνο από την αλληλεπίδραση των παραγόντων αυτών. Τα χαρακτηριστικά αυτά, στα οποία περιλαμβάνονται η ***πολυπλοκότητα***, η ***ετερογένεια***, και η ***δυναμική αλλαγή***, αποτελούν τα κύρια θέματα που παρόντος κεφαλαίου. Η εξέτασή τους με τους όρους της επίδρασης τους στο φυτό καλλιέργειας, αντιπροσωπεύει το τελικό βήμα στην **αυτοοικολογική ανάλυση** των αγροοικοσυστημάτων, και μας προετοιμάζει για το **συνοικολογικό επίπεδο** της ανάλυσης, η οποία θα ξεκινήσει στα επόμενα κεφάλαια.

13.2. Το περιβάλλον ως σύμπλεγμα παραγόντων

Το περιβάλλον ενός οργανισμού ορίζεται ως το άθροισμα όλων των εξωτερικών δυνάμεων και των παραγόντων, βιοτικών και αβιοτικών, που επηρεάζουν την αύξηση, τη δομή και την αναπαραγωγή του οργανισμού αυτού. Στα αγροοικοσυστήματα, είναι πολύ σημαντικό να κατανοήσουμε τους παράγοντες, οι οποίοι, λόγω της κατάστασής τους ή του επιπέδου τους στο χρόνο, μπορούν να περιορίσουν ένα οργανισμό στο περιβάλλον αυτό, και να γνωρίσουμε τα επίπεδα των συγκεκριμένων παραγόντων οι οποίοι είναι απαραίτητοι για την άριστη απόδοση. Άλλωστε, σ' αυτή την πληροφόρηση βασίζεται σε μεγάλο βαθμό ο σχεδιασμός και η διαχείριση των αγροοικοσυστημάτων. Τα βασικά στοιχεία αυτής της αντίληψης έχουν παρουσιαστεί στα προηγούμενα κεφάλαια. Έχουμε διερευνήσει τους ανεξάρτητους παράγοντες και έχουμε ανασκοπήσει πολλές γεωργικές επιλογές για τη διαχείρισή τους. Αφού το περιβάλλον είναι ένα σύμπλεγμα όλων αυτών των παραγόντων, είναι πολύ σημαντικό να κατανοήσουμε με ποιο τόπο κάθε παράγοντας επηρεάζει ή επηρεάζεται από τους άλλους, σε «κατά μόνας» ή πολύπλοκους συνδυασμούς, οι οποίοι ποικίλουν κατά χρόνο και τόπο. Είναι συνεπώς, το σύμπλεγμα των αλληλεπιδράσεων των παραγόντων εκείνο το οποίο δημιουργεί το συνολικό περιβάλλον του οργανισμού.



Εικόνα 13.1. Σχηματική αναπαράσταση του περιβαλλοντικού συμπλέγματος.
 Πηγή: Προσαρμογή από τον Billings (1952).

13.2.1. Οι παράγοντες στο περιβάλλον

Η έννοια ενός περιβαλλοντικού συμπλέγματος παρουσιάζεται σχηματικά στην **Εικόνα 13.1**. Μολονότι δεν έχουν αχθεί γραμμές που θα αναπαριστούσαν τις συνδέσεις, η εικόνα σκοπό έχει να παρουσιάσει ότι οι αντιδράσεις συμβαίνουν ανάμεσα στους ίδιους τους παράγοντες, αλλά και μεταξύ κάθε παράγοντα και του οργανισμού του φυτού καλλιέργειας. Περιλαμβάνονται όλοι οι παράγοντες που συνιστούν το περιβάλλον και τους οποίους εξετάσαμε στα προηγούμενα κεφάλαια, αλλά και αρκετοί

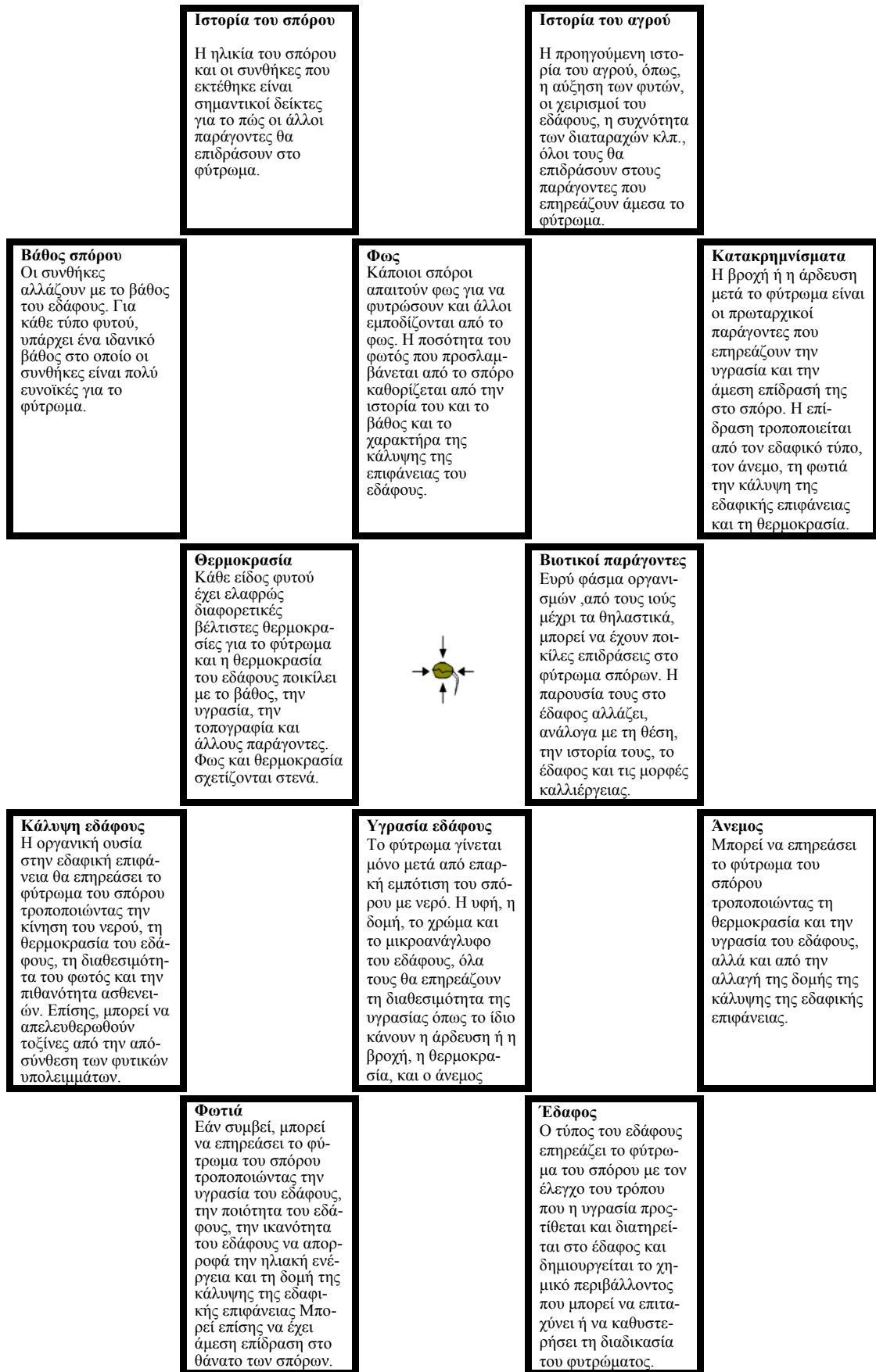
άλλοι. Επειδή είναι αδύνατο να διαιρέσουμε ολόκληρο το περιβάλλον σε επιμέρους συστατικά, ή να συμπεριλάβουμε κάθε πιθανό παράγοντα, οι παράγοντες που περιλαμβάνονται στην **Εικόνα 13.1**, είναι λογικό σ' αυτή να εμπεριέχονται κάποιες απλοποιήσεις και κάποιες υπερκαλύψεις. Επιπλέον, καθένας από τους παράγοντες δεν είναι ισοδύναμης σπουδαιότητας σε κάθε συγκεκριμένη χρονική στιγμή. Για το λόγο αυτό, ο χρόνος δεν καταγράφηκε ως ένας ανεξάρτητος παράγοντας, αλλά θα μπορούσε να θεωρηθεί το υπόβαθρο, στο πλαίσιο του οποίου το συνολικό σύμπλεγμα παραγόντων μεταβάλλεται.

Λόγω της πολυπλοκότητας του περιβάλλοντος, είναι ξεκάθαρο ότι οι παράγοντες του περιβάλλοντος μπορούν να συνδυαστούν για να επηρεάσουν τους οργανισμούς στο περιβάλλον, εκτός του ότι αυτό μπορεί να γίνει και ανεξάρτητα από τον καθένα απ' αυτούς. Οι παράγοντες μπορεί να λειτουργήσουν μαζί, ταυτόχρονα και συνεργατικά, ώστε ένας οργανισμός να αισθανθεί την επίδρασή τους, ή μπορεί να κάνουν τις επιδράσεις τους εμφανείς, μέσω μιας ροής αλλαγών σε άλλους παράγοντες. Ένα παράδειγμα: μια αλληλοπαθητική χημική ένωση η οποία απελευθερώνεται από τις ρίζες ενός φυτού καλλιέργειας αλληλεπιδρά με τη σκίαση, την κακουχία της υγρασίας, την φυτοφαγία, την επιρρέπεια στις ασθένειες και τους άλλους παράγοντες που επαυξάνουν ή μειώνουν την αποτελεσματικότητα των φυτοτοξικών χημικών ενώσεων και περιορίζει την αύξηση του ζιζανίου σ' ένα σύστημα καλλιέργειας. Εξ αιτίας τέτοιων αλληλεπιδράσεων, αποτελεί συχνά πρόκληση η πρόβλεψη των συνεπειών κάθε μοναδικής τροποποίησης του αγροοικοσυστήματος.

Στη διαχείριση των αγροοικοσυστημάτων, μια από τις αδυναμίες της προσέγγισης της συμβατικής γεωργίας είναι ότι αυτή αγνοεί τους παράγοντες της αλληλεπίδρασης και της περιβαλλοντικής πολυπλοκότητας. Οι ανάγκες του φυτού καλλιέργειας αντιμετωπίζονται με όρους απομονωμένων, ανεξάρτητων παραγόντων και ακολούθως κάθε παράγοντας διαχειρίζεται ξεχωριστά για να επιτευχθεί η μέγιστη κάρπωση. Αντιθέτως, η αγροοικολογική διαχείριση αρχίζει θεωρώντας το σύστημα του αγροκτήματος ως ένα σύνολο και σχεδιάζει τις παρεμβάσεις, σύμφωνα με τον τρόπο που αυτές θα επηρεάσουν το όλο σύστημα και όχι απλά μόνο με βάση την κάρπωση από τα φυτά καλλιέργειας. Οι παρεμβάσεις μπορεί να αποσκοπούν στην τροποποίηση των απλών παραγόντων, αλλά η πιθανή επίδραση σε άλλους παράγοντες δεν πρέπει να παραβλέπεται.

13.2.2. Η πολυπλοκότητα των αλληλεπιδράσεων

Ο τρόπος με τον οποίο ένα σύμπλεγμα παραγόντων αλληλεπιδρά για να επηρεάσει ένα φυτό, μπορεί να διασαφηνιστεί από το φύτρωμα του σπόρου και την έννοια του «ασφαλούς σταθμού» του Harper (1977). Από οικοφυσιολογικές μελέτες γνωρίζουμε ότι ένας σπόρος φυτρώνει αντιδρώντας σ' ένα συγκεκριμένο σύνολο συνθηκών που συναντά στο άμεσο περιβάλλον του (Naylor 1984). Ο τόπος στην κλίμακα του σπόρου που παρέχει τις συνθήκες αυτές ονομάζεται **ασφαλής σταθμός** (safe site). Ένας ασφαλής σταθμός είναι εκείνος που επιτρέπει να λάβουν χώρα οι ακριβείς απαιτήσεις που έχει ένας σπόρος για να διακοπεί ο λήθαργος και να αρχίσουν οι διαδικασίες του φυτρώματος. Επιπλέον, πρέπει να υπάρχουν βαθμοί ελευθερίας για τυχαία περιστατικά όπως αυτά, των ασθενειών, των θηρευτών ή των τοξικών ουσιών. Οι συνθήκες του ασφαλούς σταθμού πρέπει να ισχυροποιηθούν μέχρις ότου το αρτίφυτρο να καταστεί αυτοδύναμο, δηλαδή να μην εξαρτάται από τα αποθέματα του σπόρου. Οι απαιτήσεις του σπόρου κατά τη διάρκεια της αλλαγής στη χρονική αυτή στιγμή, και κατά συνέπεια των ορίων αυτών που συνιστούν έναν ασφαλή σταθμό, πρέπει ωσαύτως να αλλάζουν.



Εικόνα 13.2. Περιβαλλοντικοί παράγοντες που επηρεάζουν το φύτερωμα του σπόρου.

Στην **Εικόνα 13.2** περιγράφονται μερικοί από τους περιβαλλοντικούς παράγοντες που επηρεάζουν το φύτρωμα ενός σπόρου και δημιουργούν τον «ασφαλή σταθμό». Οι παράγοντες που άμεσα περιβάλλουν τον σπόρο αποτελούν κάθε τι που επηρεάζει το σπόρο περισσότερο άμεσα. Οι παράγοντες που βρίσκονται στην εξωτερική περίμετρο του διαγράμματος είναι παράγοντες και μεταβλητές που επηρεάζουν την επίπτωση, τον βαθμό ή την παρουσία των άμεσων παραγόντων.

13.3. Η ετερογένεια του περιβάλλοντος

Το περιβάλλον κάθε ανεξάρτητου οργανισμού ποικίλει όχι μόνο κατά χώρο αλλά και μέσα στο χρόνο. Στην **Εικόνα 13.1** η ένταση του κάθε παράγοντα δείχνει τη μεταβολή από θέση σε θέση μέσα στο χρόνο, με ένα μέσο όρο για τον κάθε παράγοντα ο οποίος θέτει και τις παραμέτρους του βιοτόπου, στα όρια του οποίου είναι προσαρμοσμένος κάθε οργανισμός. Όταν η μεταβολή σε ένα παράγοντα ξεπερνάει τα όρια ανοχής ενός οργανισμού, οι επιπτώσεις μπορεί να είναι πολύ καταστροφικές. Τα συστήματα γεωργικής καλλιέργειας που λαμβάνουν υπόψη τους τη μεταβολή αυτή είναι πάρα πολύ πιθανόν να έχουν μια θετική εκροή για τον παραγωγό.

13.3.1. Η ετερογένεια στο χώρο

Ο βιότοπος στον οποίο ένας οργανισμός διαβιώνει είναι ο χώρος που χαρακτηρίζεται από τους συγκεκριμένους συνδυασμούς των εντάσεων του παράγοντα που ποικίλουν οριζοντίως και καθέτως. Ακόμη και σ' έναν αγρό που είναι φυτεμένος με μια μοναδική ποικιλία φυτού καλλιέργειας για την παραγωγή σπόρων, για παράδειγμα, το κάθε φυτό θα συναντήσει ελαφρώς διαφορετικές συνθήκες, εξαιτίας της μεταβολής στο χώρο παραγόντων όπως π.χ. είναι, το έδαφος, η υγρασία, η θερμοκρασία και το επίπεδο των θρεπτικών στοιχείων. Τα ποσά μεταβολής στους παράγοντες αυτούς θα εξαρτηθούν από την έκταση στην οποία ο αγρότης – παραγωγός προσπαθεί να δημιουργήσει ομοιομορφία στον αγρό με εξοπλισμό, άρδευση, λιπάσματα και άλλες εισροές. Παρά τις προσπάθειες αυτές όμως, θα υπάρχει μια ελαφρά μεταβολή στην τοπογραφία, την έκθεση, την κάλυψη του εδάφους κοκ, οι οποίες θα δημιουργήσουν μικροπεριβαλλοντικές διαφορές στο χώρο του αγρού. Πολύ μικρές μεταβολές στον μικροβιότοπο, θα επιφέρουν με τη σειρά τους, αλλαγές στην ανταπόκριση των φυτών καλλιέργειας.

Σ' ένα τροπικό περιβάλλον της χαμηλής ζώνης, για παράδειγμα, όπου τα εδάφη αποστραγγίζονται πενιχρά και το ύψος της βροχόπτωσης είναι μεγάλο, μια ελαφρά τοπογραφική μεταβολή μπορεί να δημιουργήσει μια μεγάλη διαφορά στην εδαφική υγρασία και την αποστράγγιση. Σε μια τέτοια περιοχή, τα σημεία του αγρού που βρίσκονται στη χαμηλή ζώνη μπορεί να πλημμυρίσουν περισσότερο από τον υπόλοιπο αγρό και τα φυτά καλλιέργειας που αναπτύσσονται στις θέσεις αυτές μπορεί εμφανίσουν διακοπή ανάπτυξης του ριζικού συστήματος και πενιχρότερη εμφάνιση.

Στα συστήματα πολλαπλών φυτών καλλιέργειας πρέπει επίσης να λαμβάνεται υπόψη η μεταβολή της κάθετης διάστασης, διότι ένα φυτό καλλιέργειας ή ένα στρώμα κομοστέγης μπορεί γενικά να δημιουργήσει στρώσεις μεταβαλλόμενων συνθηκών για τα άλλα φυτά καλλιέργειας ή τις άλλες κομοστέγες. Αυτό συνήθως συμβαίνει, όταν ένα νέο φυτό καλλιέργειας φυτεύεται σε μια υπάρχουσα ήδη κομοστέγη, όπως είναι η περίπτωση ενός αγροοικου συστήματος ή ενός σπιτικού κήπου υπό τα κυρίαρχα δένδρα του αγροοικου συστήματος. Αν θέλουμε να περιπλέξουμε τα πράγματα περισσότερο, υποθέτουμε ότι ένα τεράστιο ώριμο φυτό, μέλος ενός τέτοιου

συστήματος, καταλαμβάνει ταυτόχρονα το εύρος των μικροβιοτόπων. Το ερώτημα που προκύπτει είναι: **Ποιο τμήμα του βιοτόπου και ποιος συνδυασμός των μικροπεριβαλλοντικών συνθηκών επηρεάζουν περισσότερο τον οργανισμό;**

Λόγω της δυσκολίας που αναφέρεται στην δημιουργία απόλυτα ομοιόμορφων συνθηκών στους αγρούς, ιδιαίτερα στα περιορισμένων πόρων ή μικρής κλίμακας παραδοσιακά αγροοικοσυστήματα, οι αγρότες – καλλιεργητές συχνά φυτεύουν πολλά είδη ή μια ποικιλία μιγμάτων φυτών καλλιέργειας, με την ιδέα ότι ένα διαφορετικός συνδυασμός φυτών καλλιέργειας θα αποδώσει καλύτερα σε ένα μεταβαλλόμενο περιβάλλον (Smith & Francis 1986). Στις πειραματικές γεωργικές μελέτες λαμβάνεται σοβαρά υπόψη μια τέτοια μεταβλητότητα και αυτό είναι μια πραγματική πρόκληση. Υψηλές σταθερές αποκλίσεις δεν σημαίνουν αναγκαστικά ότι κάτι πηγαίνει λάθος με τη μεθοδολογία της έρευνας. Απλά, είναι δυνατό να σημαίνει ότι η πειραματική περιοχή είναι εξαιρετικά μεταβλητή.

13.3.2. Η ετερογένεια στο χρόνο (δυναμική αλλαγή)

Αφού ο συνδυασμός των συνθηκών σε κάθε περιβάλλον σταθερά αλλάζει μέσα στο χρόνο, ο αγρότης – καλλιεργητής πρέπει επίσης να λαμβάνει υπόψη του την χρονική ετερογένεια. Αλλαγές στον αγρό συμβαίνουν κάθε ώρα, κάθε ημέρα, κάθε εποχή, κάθε έτος και ακόμη, αλλαγές συμβαίνουν ως τμήμα της μακροπρόθεσμης κλιματικής αλλαγής. Κάποιες από τις αλλαγές αυτές είναι σωρευτικές και κάποιες είναι κυκλικές. Για κάθε ένα συγκεκριμένο παράγοντα, υπάρχει η ανάγκη της ενημέρωσης για το πόσο γρήγορα η έντασή του μπορεί να μεταβληθεί μέσα στο χρόνο, και πως οι αλλαγές μπορούν να επηρεάσουν ένα συγκεκριμένο οργανισμό, με βάση το μήκος της έκθεσής του και τα όρια ανοχής του. Ταυτόχρονα, κάθε οργανισμός, καθώς διέρχεται το βιολογικό του κύκλο, θα περάσει από αλλαγές που αφορούν, τόσο στην ανταπόκρισή του σε εντάσεις διαφορετικών παραγόντων, όσο και την ανοχή του σε αυτές τις εντάσεις.

Ένα φυτό καλλιέργειας για παράδειγμα, καθώς διέρχεται τον βιολογικό του κύκλο, υφίσταται την εμπειρία ενός συνεχώς μεταβαλλόμενου περιβάλλοντος. Εάν ένας παράγοντας ή ένας συνδυασμός παραγόντων πλησιάσουν κάποιο κρίσιμο επίπεδο, τη στιγμή που το φυτό θα φτάσουν σε κάποιο συγκεκριμένο ευαίσθητο στάδιο του βιολογικού κύκλου, θα συμβεί καταπίεση της περαιτέρω ανάπτυξης, η οποία ενδεχομένως, να καταλήξει σε αποτυχία της καλλιέργειας. Φύτρωμα, αρχική αύξηση των νεοφύτων, άνθηση και καρποφορία είναι τα στάδια κατά τη διάρκεια των οποίων μία ακραία ή ασυνήθης μεταβολή των περιβαλλοντικών παραγόντων είναι παράγοντες οι οποίοι πολύ πιθανόν να επηρεάσουν την απόδοση της καλλιέργειας.

Λόγω της δυναμικής αλλαγής, οι επεμβάσεις στον αγρό χρειάζεται να γίνονται με προσεκτικό συγχρονισμό. Για παράδειγμα, ένας αγρότης – καλλιεργητής που επιθυμεί να χρησιμοποιήσει ένα φλόγιστρο προπανίου για να θανατώσει τα νεόφυτα ζιζάνια, θα πρέπει να περιορίσει την επέμβασή του σε μια μικρή χρονική περίοδο των αρχικών σταδίων της ανάπτυξης των φυτών καλλιέργειας. Εάν τα φυτά καλλιέργειας είναι πολύ μικρά και λεπτεπίλεπτα, η φλόγα είναι δυνατό να θανατώσει τα νεόφυτα της καλλιέργειας μαζί με τα νεόφυτα των ζιζανίων. Εάν τα φυτά καλλιέργειας είναι πολύ υψηλά, μπορεί να είναι δύσκολο να αποφύγει την καταστροφή των φυτών από την ίδια τη συσκευή. Το αποτελεσματικό χρονικό παράθυρο για τη χρήση φλόγιστρων θα μπορούσε να είναι βραχύ, από 4 έως 5 ημέρες για τα ευαίσθητα φυτά καλλιέργειας, όπως τα καρότα και τα κρεμμύδια, τα οποία αμφότερα, επιδεικνύουν μικρή ικανότητα να αντεπεξέρχονται με τα ζιζάνια από μόνα τους.

13.4. Αλληλεπίδραση των περιβαλλοντικών παραγόντων

Κάθε ένας από τους πολλούς παράγοντας που συγκροτούν το περιβαλλοντικό σύμπλεγμα έχει τη δυνατότητα να αντιδρά με τους άλλους παράγοντες, και κατά συνέπεια, να τροποποιεί, να τονίζει ή να απαλύνει τις επιπτώσεις του στους οργανισμούς. Η αλληλεπίδραση των παραγόντων μπορεί να έχει θετικές αλλά και αρνητικές συνέπειες στα αγροοικοσυστήματα.

13.4.1. Συμψηφιστικοί παράγοντες

Όταν ένας παράγοντας ξεπερνάει ή εκμηδενίζει την επίδραση κάποιου άλλου παράγοντα, τότε αυτός αναφέρεται ως συμψηφιστικός παράγοντας. Όταν ένα φυτό καλλιέργειας αυξάνεται κάτω από συνθήκες, οι οποίες σε διαφορετική περίπτωση θα ήταν περιοριστικές για την επιτυχημένη του αύξηση ή ανάπτυξη, ένας ή περισσότεροι παράγοντες θα μπορούσαν να είναι συμψηφιστικοί για τον περιοριστικό παράγοντα.

Η επίπτωση ενός συμψηφιστικού παράγοντα παρατηρείται συχνά στις δοκιμές λίπανσης, όταν ένα συγκεκριμένο θρεπτικό στοιχείο του εδάφους (π.χ. το άζωτο), είναι περιοριστικό, όπως φαίνεται από την αντίδραση του φυτού. Η μειωμένη αύξηση και οι χαμηλότερες αποδόσεις είναι σημάδια της ανεπάρκειας. Αλλά, αντί απλώς να προσθέσουμε περισσότερο από το ανεπαρκές θρεπτικό στοιχείο, είναι μερικές φορές δυνατόν να διαφοροποιήσουμε κάποιον άλλο παράγοντα του περιβάλλοντος, ο οποίος θα καταστήσει το περιοριστικό θρεπτικό στοιχείο περισσότερο διαθέσιμο για τα φυτά. Στην περίπτωση της έλλειψης του αζώτου, είναι δυνατό η πενιχρή αποστράγγιση του εδάφους να παρεμποδίζει την πρόσληψη του αζώτου από τις ρίζες, έτσι ώστε, μόλις βελτιωθεί η αποστράγγιση του εδάφους, η έλλειψη της πρόσληψης του αζώτου να συμψηφίζεται.

Μια άλλη περίπτωση συμψηφισμού ενός περιοριστικού παράγοντα συμβαίνει, όταν ο αγρότης αντιμετωπίζει την αρνητική επίπτωση ενός φυλλοφάγου εντόμου, διεγείροντας μια πιο πλούσια ή ταχεία αύξηση του προσβεβλημένου φυτού καλλιέργειας μέσω μιας επέμβασης, όπως π.χ. με την προσθήκη κομπόστας στο έδαφος ή με την εφαρμογή διαφυλλικού λιπάσματος. Η προστεθείσα βιομάζα μπορεί να επιτρέψει στο φυτό καλλιέργειας να υπομείνει το άγχος του φυτοφάγου και να παράγει μια επιτυχημένη σοδιά. Η προστεθείσα αύξηση του φυτού συμψηφίζεται από τις ανάγκες του φυτοφάγου.

Στις παράκτιες περιοχές, στις οποίες η ομίχλη είναι συνήθης κατά τη διάρκεια της ξηρής θερινής περιόδου, η ομίχλη μπορεί να συμψηφίσει την έλλειψη της βροχόπτωσης. Αυτό συμβαίνει λόγω της μείωσης της αναπνευστικής απώλειας του νερού και της χαμηλότερης κακουχίας από την εξάτμιση και λόγω του λιγότερου άμεσου ηλιακού φωτός και των χαμηλότερων θερμοκρασιών που επικρατούν.

13.4.2. Η πολυπλοκότητα των παραγόντων

Όταν αρκετοί παράγοντες είναι στενά συνδεδεμένοι, είναι δύσκολο να ξεχωρίσουμε την επίπτωση του ενός παράγοντα από τον άλλο. Οι παράγοντες μπορούν να δρουν ως μια λειτουργική μονάδα, είτε ταυτόχρονα, είτε κατά τρόπο αλυσιδωτό. Ένας παράγοντας επηρεάζει ή τονίζει κάποιον άλλο, ο οποίος με τη σειρά του επηρεάζει έναν τρίτο, αλλά, σε ό,τι αφορά την ανταπόκριση του φυτού, είναι αδύνατο να προσδιοριστεί που ο ένας παράγοντας σταματά και που αρχίζει ο άλλος. Οι παράγοντες της θερμοκρασίας, του φωτός και της εδαφικής υγρασίας συχνά

λειτουργούν με ένα τέτοιο στενά αλληλοσχετιζόμενο τρόπο. Για παράδειγμα σ' έναν ανοικτό αγρό με μια καλλιέργεια αραβόσιτου, η αύξηση του επιπέδου του φωτός τις πρωινές ώρες αυξάνει την θερμοκρασία και η υψηλότερη θερμοκρασία αυξάνει την εξάτμιση του νερού από το έδαφος, ενώ ωσαύτως αυξάνεται και η διαπνοή. Συνεπώς, η ένταση κάθε παράγοντα ποικίλει ταυτόχρονα με την μεταβολή της έντασης της ηλιακής ακτινοβολίας, και η σχετική επίπτωση κάθε παράγοντα στα φυτά καλλιέργειας πρακτικά, δεν διαχωρίζεται από την πολυπλοκότητα των επιπτώσεων που έχουν μαζί.

13.4.3. Προδιάθεση των παραγόντων

Ένας συγκεκριμένος περιβαλλοντικός παράγοντας μπορεί να προκαλέσει στο φυτό καλλιέργειας μια αντίδραση που καθιστά το φυτό περισσότερο ευάλωτο στην καταστροφή από κάποιον άλλο παράγοντα. Στις περιπτώσεις αυτές, ο πρώτος παράγοντας θεωρείται ότι προδιαθέτει το φυτό για τις επιπτώσεις του δεύτερου παράγοντα. Τα επίπεδα χαμηλού φωτισμού που προκαλούνται από τη σκίαση, για παράδειγμα, μπορεί να προδιαθέσει ένα φυτό ώστε αυτό να υποστεί μια μυκητική προσβολή. Τα επίπεδα χαμηλού φωτισμού συνήθως σημαίνουν υψηλότερη σχετική υγρασία για το φυτό, κατάσταση η οποία το ωθεί σε λεπτότερη αύξηση, και μεγαλύτερα φύλλα, τα οποία στη συνέχεια είναι δυνατό να είναι περισσότερο ευάλωτα στους παθογενείς μύκητες που εμφανίζονται πιο συχνά, όταν στο περιβάλλον επικρατεί υπερβολική υγρασία. Ομοίως, η έρευνα έχει δείξει ότι, κάποια φυτά καλλιέργειας είναι περισσότερο ευάλωτα στις καταστροφές από τα φυτοφάγα, όταν τους έχουν χορηγηθεί μεγάλες ποσότητες λιπασμάτων νιτρικής σύστασης. Άλλωστε, ο ιστός του φυτού αποτελεί προδιάθεση για τα φυτοφάγα, λόγω της μεγαλύτερης περιεκτικότητας σε άζωτο. Προφανώς το άζωτο λειτουργεί ως ένας παράγοντας προσέλκυσης για τον επιβλαβή οργανισμό (Scriber 1984).

13.5. Η διαχείριση της πολυπλοκότητας

Η διαχείριση των αειφορικών αγροοικοσυστημάτων θα απαιτήσει μια ξεκάθαρη γνώση, όχι μόνο για το πώς οι ανεξάρτητοι παράγοντες επηρεάζουν τους οργανισμούς των φυτών καλλιέργειας, αλλά επίσης, και για το πώς όλοι οι παράγοντες αλληλεπιδρούν για να σχηματίσουν το περιβαλλοντικό σύμπλεγμα. Μέρος αυτής της γνώσης προέρχεται από την κατανόηση του τρόπου με τον οποίο οι παράγοντες αντιδρούν, συμψηφίζουν, επαυξάνουν και ακόμη ανταγωνίζονται ο ένας από τον άλλο. Ένα άλλο μέρος προέρχεται από την κατανόηση της έκτασης της μεταβλητότητας που υπάρχει στο αγρόκτημα, από αγρό σε αγρό και μέσα σε κάθε αγρό. Οι συνθήκες αλλάζουν από εποχή σε εποχή, όπως και από το ένα έτος στο επόμενο. Από το κλίμα στα εδάφη, από τους βιοτικούς στους αβιοτικούς παράγοντες, και από τα φυτά στα ζώα οι παράγοντες αλληλεπιδρούν και ποικίλουν σε δυναμικότητα και συνεχώς μεταβαλλόμενες μορφές. Ίσως, ένα σημαντικό συστατικό της αειφορικότητας αποτελεί όχι μόνο η γνώση της έκτασης και της μορφής των αλληλεπιδρώντων παραγόντων, αλλά και το εύρος της μεταβλητότητας των αλληλεπιδράσεων των παραγόντων που μπορούν να συμβούν μέσα στο χρόνο. Η προσαρμογή των αγροοικοσυστημάτων όσο το δυνατό περισσότερο στα πλεονεκτήματα της πολυπλοκότητας και της μεταβλητότητας, και οσάκις απαιτείται στον συμψηφισμού αμφοτέρων, αποτελούν ποικιλοτρόπως την πρόκληση στην οποία θα προσπαθήσουμε να απαντήσουμε στα επόμενα κεφάλαια.

13.6. Χρήσιμη συμπληρωματική βιβλιογραφία

Daubenmire, R. F. 1974. *Plants and Environment*. Third Edition. John Wiley & Sons: New York.

Forman, R. T. T., and M. Gordon. 1986. *Landscape Ecology*. John Wiley & Sons: New York.

Harper, J. L. 1977. *Population Biology of Plants*. Academic Press: London.

