

ΜΕΡΟΣ ΤΡΙΤΟ

Συνοικολογική αγροοικολογία ή Αλληλεπιδράσεις στο επίπεδο των συστημάτων

Γενικά

Στο προηγούμενο μέρος αφού ασχοληθήκαμε με τα θέματα που αφορούσαν την **αυτοοικολογική** συνιστώσα της αγροοικολογίας, στο παρόν μέρος το ενδιαφέρον της γνώσης μας θα εστιαστεί στο **συνοικολογικό** επίπεδο τη μελέτη δηλαδή του πως οι ομάδες των οργανισμών αλληλεπιδρούν στο περιβάλλον της καλλιέργειας. Η προοπτική του συνολικού αυτού συστήματος τονίζει την ανάγκη αντίληψης των αναφυομένων ποιοτήτων των πληθυσμών, των κοινοτήτων και των οικοσυστημάτων αλλά και του τρόπου με τον οποίο οι ποιότητες αυτές τίθενται σε χρήση κατά τη σχεδίαση και τη διαχείριση των αειφορικών οικοσυστημάτων.

Η αρχή του Τρίτου Μέρους θα γίνει με το Δέκατο Τέταρτο Κεφάλαιο στο οποίο θα εξετάσουμε τις διαδικασίες που αφορούν τους πληθυσμούς στη Γεωργία και θα ακολουθήσει το Δέκατο Πέμπτο Κεφάλαιο στο οποίο θα αναφερθούμε στους γενετικούς πόρους των αγροοικοσυστημάτων. Στη συνέχεια και στο Δέκατο Έκτο Κεφάλαιο, θα εξετάσουμε τις αλληλεπιδράσεις των ειδών στο επίπεδο της κοινότητας, θα εξηγήσουμε τις ωφέλειες της πολυπλοκότητας και το ρόλο που διαδραματίζει η συμβίωση δηλαδή ο συνεργατισμός και η αμοιβαιότητα στην αειφορική αγροοικολογία. Τέλος, στα Κεφάλαια που ακολουθούν, από το Δέκατο Έβδομο μέχρι το Εικοστό, θα διερευνήσουμε μια πλειάδα σημαντικών οικολογικών εννοιών, οι οποίες λειτουργούν στο επίπεδο του οικοσυστήματος και θα περιγράψουμε τον τρόπο με τον οποίο οι αναδύομενες ποιότητες των συνολικών συστημάτων είναι απόψεις – κλειδιά για το σχεδιασμό και τη διαχείριση του αγροοικοσυστήματος.

Κεφάλαιο Δέκατο

Τέταρτο

Διαδικασίες που αφορούν τους πληθυσμούς στη Γεωργία

14.1. Γενικά

Σύμφωνα με τη Γεωπονική Επιστήμη και τις αρχές της συμβατικής γεωργίας, το επίκεντρο της προσοχής για τη διαχείριση των συστημάτων παραγωγής αποτελούν οι πληθυσμοί των φυτών καλλιέργειας και των αγροτικών ζώων. Ένας παραγωγός προσπαθεί να μεγιστοποιήσει την απόδοση των πληθυσμών με τη διαχείριση των ποικίλων παραγόντων του περιβαλλοντικού συμπλόκου. Όταν η αειφορικότητα του συνολικού αγροοικοσυστήματος καθίσταται πρωταρχικού ενδιαφέροντος, τότε η περιορισμένη αυτή εστίαση στις ανάγκες ενός γενετικά ομοιογενούς πληθυσμού καθίσταται στο σύνολό της ανεπαρκής. Το αγροοικοσύστημα πρέπει να αντιμετωπίζεται ως μια συλλογή οργανισμών αλληλεπιδρώντων πληθυσμών πολλών ειδών, στους οποίους περιλαμβάνονται τα φυτά καλλιέργειας και τα άλλα είδη, είτε αυτά είναι φυτά και ζώα και φυσικά, είτε είναι οι μικροοργανισμοί.

Η θεώρηση και η αντιμετώπιση του αγροοικοσυστήματος ως ένα σύνολο αλληλεπιδρώντων πληθυσμών, εμπεριέχει αρκετά επίπεδα τα οποία χρήζουν μελέτης. Έτσι, κατά πρώτον, αναζητούμε τα εννοιολογικά εργαλεία που θα μας είναι απαραίτητα για την κατανόηση και την σύγκριση της επιβίωσης και της αναπαραγωγής του κάθε πληθυσμού στο περιβάλλον του κάθε οικοσυστήματος. Τα εργαλεία αυτά και η εφαρμογή τους είναι το αντικείμενο του παρόντος κεφαλαίου. Κατά δεύτερον, πρέπει να ενσκήψουμε πάνω στη γενετική βάση των πληθυσμών των φυτών καλλιέργειας και στον τρόπο με τον οποίο το γενετικό αυτό δυναμικό, με τον κατάλληλο χειρισμό από τους ανθρώπους, έχει επηρεάσει την προσαρμοστικότητα και το εύρος της ανοχής των καλλιεργούμενων φυτικών ειδών.

14.2. Αρχές της οικολογίας πληθυσμών και δημογραφία των φυτών

Οι πληθυσμοί των ειδών έχουν αποτελέσει αντικείμενο της γεωργικής έρευνας από πολύ παλαιά. Το γενετικό δυναμικό των πληθυσμών των φυτών καλλιέργειας έχει ρυθμιστεί από πολλούς ερευνητές – γενετιστές και οι τεχνολογίες διαχείρισης άντλησαν το μέγιστο των δυνατοτήτων που πρόσφεραν τα είδη για να αναπτυχθούν από τους ειδικούς της παραγωγής. Αυτό έχει οδηγήσει στο να δημιουργηθεί μια ειδικότητα οικολόγων φυτικής παραγωγής οι οποίοι κατέστησαν επιδέξιοι στη ρύθμιση ενός παράγοντα του συστήματος ανά πάσα στιγμή, ή ανέπτυξαν τεχνολογίες οι οποίες επιλύουν απλά προβλήματα, όπως είναι ο έλεγχος ενός συγκεκριμένου επιβλαβούς είδους με ένα συγκεκριμένο εντομοκτόνο. Όμως, επειδή το αγροοικοσύστημα είναι δομημένο από πολύπλοκες αλληλεπιδράσεις ανάμεσα σε πολλούς πληθυσμούς οργανισμών, η αγροοικολογική προσέγγιση απαιτεί μια ευρύτερη ανάλυση. Οι μελέτες των αλληλεπιδράσεων μεταξύ των οργανισμών του ίδιου τροφικού επιπέδου πρέπει να διεξάγονται ταυτόχρονα με τις μελέτες που εστιάζουν την προσοχή τους στις αλληλεπιδράσεις των πληθυσμών σε διαφορετικά τροφικά επίπεδα. Η ολοκληρωμένη διαχείριση των επιβλαβών ειδών για παράδειγμα, πρέπει να προσβλέπει στην ταυτόχρονη ανάλυση της οικολογίας των πληθυσμών κάθε μέλους του συγκεκριμένου συμπλόκου φυτό καλλιέργειας / επιβλαβές είδος / φυσικός εχθρός, αλλά και άλλων πληθυσμών οργανισμών με τους οποίους το σύμπλοκο στο σύνολό του αλληλεπιδρά. Τέλος, πρέπει να θεωρούμε αυτό το σύμπλοκο των πληθυσμών ως μια συνολική κοινότητα των φυτών καλλιέργειας, ένα επίπεδο οικολογικής ανάλυσης που θα μας απασχολήσει στο μεθεπόμενο κεφάλαιο. Πρώτα απ' όλα όμως, θα εξετάσουμε μερικές βασικές αρχές της οικολογίας των πληθυσμών, οι οποίες θα μας βοηθήσουν να κατανοήσουμε την δυναμική του κάθε πληθυσμού.

14.2.1. Η αύξηση των πληθυσμών

Οι οικολόγοι αντιμετωπίζουν την αύξηση του πληθυσμού ως ένα καθαρό αποτέλεσμα του ρυθμού των γεννήσεων και της κίνησης των ατόμων προς τα μέσα και προς τα έξω ενός συγκεκριμένου πληθυσμού. Έτσι, η αύξηση του πληθυσμού περιγράφεται από την εξίσωση (14.1) που ακολουθεί,

$$r = (N + I) - (M + E) \quad (14.1)$$

όπου: r είναι ο συνεχής ρυθμός της αύξησης του πληθυσμού σε ένα πληθυσμό «συν τω χρόνω»,

N είναι η γεννητικότητα,

I είναι η μετανάστευση,

M είναι η θνησιμότητα, και

E είναι ο εποικισμός.

Οι αλλαγές «συν τω χρόνω» κάθε πληθυσμού περιγράφονται από την απλή εξίσωση (14.2) που ακολουθεί,

$$dN / dt = rN \quad (14.2)$$

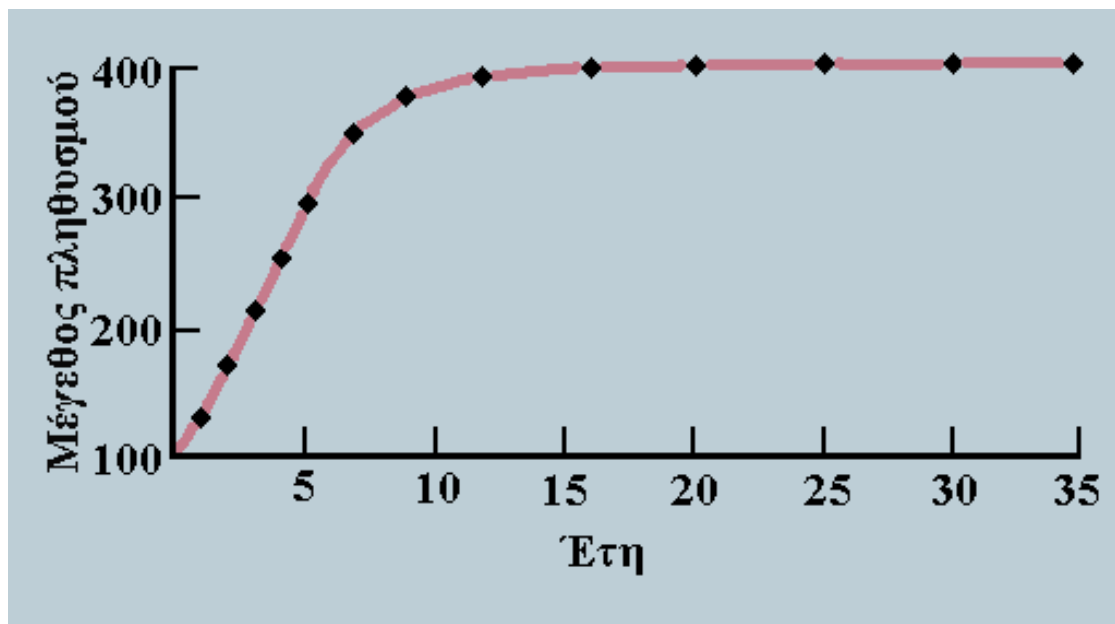
όπου: N είναι ο μελετώμενος πληθυσμός,

t είναι το συγκεκριμένο χρονικό διάστημα της μελέτης του πληθυσμού.

Εάν οι διαθέσιμοι πόροι δεν καταστούν περιορισμένοι και οι αρνητικές αλληλεπιδράσεις μεταξύ των μελών του πληθυσμού δεν φτάσουν σε κάποιο κρίσιμο επίπεδο καθώς ο πληθυσμός αυξάνει, τότε ο πληθυσμός θα αυξηθεί *εκθετικά*. Στην εξίσωση (14.2) όμως, δεν λαμβάνονται υπόψη η επίδραση των βιοτικών και αβιοτικών παραγόντων του περιβάλλοντος στον πληθυσμό, ούτε και τα όρια της αύξησης που ένα περιβάλλον μπορεί να επιβάλλει σε ένα πληθυσμό, συνεπώς η εξίσωση (14.2) αναπτύσσεται στην εξίσωση (14.3) που ακολουθεί,

$$dN / dt = rN (K - N) / K = rN (1 - N / K) \quad (14.3)$$

Όταν το N προσεγγίζει το 0, ο ρυθμός της αύξησης ενός πληθυσμού δεν επηρεάζεται από την αλληλεπίδραση, ενώ όταν το N προσεγγίζει το K (το μέγεθος του πληθυσμού στη χωροϊκανότητα του περιβάλλοντος) επιβραδύνεται. Η εξίσωση (14.3) περιγράφει μια λογιστική, σιγμοειδή ή σχήματος S καμπύλη αύξησης, όπως φαίνεται και στην **Εικόνα 14.1**.



Εικόνα 14.1. Λογιστική, σιγμοειδής ή σχήματος S καμπύλη αύξησης για ένα υποθετικό πληθυσμό.

Η ευθύγραμμη πορεία της καμπύλης στο ανώτερο επίπεδο καταδεικνύει την ύπαρξη προβλημάτων που απαντώνται στη συνέχεια από την κατανομή των πόρων σε ένα πληθυσμό που επεκτείνεται. Η θεωρητική αυτή καμπύλη μπορεί να εφαρμοστεί σε ένα ζιζάνιο, σε ένα αγρό φυτών καλλιέργειας ή σε ένα συγκεκριμένο επιβλαβή οργανισμό. Η αύξηση του πληθυσμού είναι αργή στην αρχή, αρχίζει να επιταχύνεται μέχρις ότου φτάσει σ' ένα μέγιστο ρυθμό αύξησης και στη συνέχεια επιβραδύνεται, καθώς η πυκνότητα αυξάνει. Όταν η αύξηση φτάσει την χωροϊκανότητα του περιβάλλοντος, η καμπύλη γίνεται ευθύγραμμη και, σε πολλές περιπτώσεις, αρχίζει να πέφτει, εάν η επίδραση στο περιβάλλον έχει δημιουργήσει συνθήκες που επηρεάζουν τον συνολικό πληθυσμό.

Στα φυσικά οικοσυστήματα πολύπλοκοι μηχανισμοί ανάδρασης είναι δυνατό να επιβραδύνουν την αύξηση του πληθυσμού πριν αυτός φτάσει στο επίπεδο της χωροϊκανότητας, προστατεύοντας τα είδη έναντι των πληθυσμιακών συγκρούσεων. Μερικές φορές, οι μηχανισμοί αυτοί καθορίζονται απευθείας από τον αριθμό των

ατόμων που είναι παρόντα. Αυτή είναι η περίπτωση των πυκνοεξαρτημένων πληθυσμών. Ένα παράδειγμα της περίπτωσης αυτής είναι ο ανταγωνισμός για ένα περιορισμένο πόρο. Σε άλλες περιπτώσεις, οι μηχανισμοί οφείλονται περισσότερο σε κάποιον εξωτερικό παράγοντα του περιβάλλοντος, π.χ. το ψύχος ή την πλημμύρα, και είναι πυκνοανεξάρτητοι. Στα καλλιεργητικά συστήματα, οι άνθρωποι έχουν επινοήσει διαφορετικές παρεμβάσεις και τεχνολογίες, οι οποίες επιτρέπουν σ' ένα πληθυσμό φυτών καλλιέργειας να αυξηθεί σε αριθμό ή αυτός να αναπτυχθεί πέρα από την κανονική χωροϊκανότητα του περιβάλλοντος. Συνήθως, οι παρεμβάσεις αυτές συνοδεύονται από έντονες τροποποιήσεις του βιοτόπου ή από εισροές, και μπορούν να συμπεριλάβουν τον έλεγχο ή την εξαφάνιση άλλων ειδών (φυτών και ζώων) και τη χρήση των λιπασμάτων ή της άρδευσης.

14.2.2. Ο εποικισμός των νέων περιοχών

Η μελέτη της αύξησης ενός πληθυσμού ασχολείται κυρίως με την δυνατότητα που έχει ο πληθυσμός να αυξάνει το μέγεθός του μέσα στο χρόνο. Η θέση αυτή όμως, είναι μάλλον ατελής, αν ταυτόχρονα δεν εντυφώσουμε και στη δυνατότητα του πληθυσμού να αυξάνεται κατά χώρο, δηλαδή να μπορεί να εποικεί νέους βιοτόπους. Η διαδικασία του εποικισμού νέων περιοχών είναι ιδιαίτερα σημαντική για τον αγροοικολόγο, ο οποίος εστιάζει το ενδιαφέρον του πάνω στον τρόπο που οι οργανισμοί, πέρα από τα καλλιεργούμενα είδη, ωφέλιμα ή μη, εισβάλλουν στον αγρό και εγκαθιστούν τους πληθυσμούς τους.

14.2.2.1. Στάδια εποικισμού

Ο τρόπος με τον οποίο ένα ζιζάνιο εποικεί τον αγρό έχει σχέση με τον βιολογικό του κύκλο. Η αρχική εισβολή ολοκληρώνεται ως τμήμα της αναπαραγωγής του είδους και της διαδικασίας διασποράς, η εγκατάσταση του πληθυσμού εξαρτάται από τις απαιτήσεις των σπόρων και των αρτιφύτρων του, ενώ η παραμονή του στην περιοχή είναι μια λειτουργία του τρόπου αύξησης, ωρίμανσης και αναπαραγωγής. Κάθε στάδιο του βιολογικού κύκλου του είδους προσφέρει συγκεκριμένες ευκαιρίες για παρέμβαση από την πλευρά του αγρότη – παραγωγού, είτε για να ενθαρρύνει τον εποικισμό ενός επιθυμητού είδους, είτε για να εμποδίσει τον εποικισμό ενός ανεπιθύμητου είδους. Η διαδικασία εποικισμού διαιρείται σε τέσσερα στάδια, βασισμένα στα τέσσερα στάδια εποικισμού των οργανισμών, ήτοι: τα στάδια της διασποράς, της εγκατάστασης, της αύξησης και της αναπαραγωγής.

14.2.2.1.1. Η διασπορά

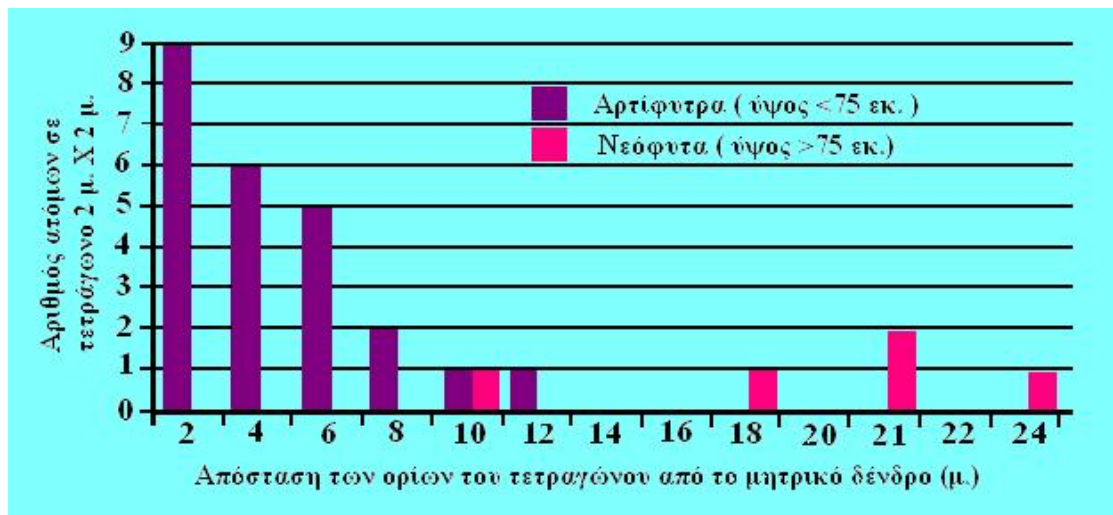
Η διασπορά των οργανισμών αποτελεί ένα σημαντικό φαινόμενο για τα φυσικά οικοσυστήματα και παρουσιάζει κάποιες ενδιαφέρουσες εφαρμογές στην αγροοικολογία. Η διασπορά επιτρέπει στους απογόνους να «δραπετεύουν από τον εναγκαλισμό» του μητρικού οργανισμού, χαλαρώνοντας την πιθανότητα παρεμβολών ανάμεσα στο ίδιο είδος, λόγω του υπερπληθυσμού των οικολογικά πολύ ομοίων ατόμων. Επίσης, επιτρέπει σ' ένα είδος να φτάσει σε νέους βιοτόπους.

Στη γεωργία, η διασπορά είναι σημαντική λόγω της συνεχούς διαταραχής των αγρών. Η διαταραχή δημιουργεί συνεχώς νέους βιοτόπους οι οποίοι είναι διαθέσιμοι για εποικισμό. Μολονότι πολλοί οργανισμοί διατηρούν μόνιμους πληθυσμούς σ' έναν αγρό, παρά την διαταραχή και τον χειρισμό τους, πολλοί οργανισμοί που δεν ανήκουν

στα καλλιεργούμενα είδη, στους οποίους περιλαμβάνονται ωφέλιμα και ανωφελή ζιζάνια, έντομα, άλλα ζώα, ασθένειες και μικροοργανισμοί, φτάνουν όλοι στον αγρό μέσω της διασποράς. Στο πλαίσιο αυτό τα οικολογικά εμπόδια έναντι της διασποράς κατέχουν εξέχουσα σημασία. Τα εμπόδια μπορεί να είναι απλά, όσο μια λωρίδα άγριων φυτών γύρω από τον αγρό, ή μια λωρίδα από διαφορετικά φυτά καλλιέργειας. Σε γενικές γραμμές μια καλύτερη σε βάθος γνώση των μηχανισμών της διασποράς των μη καλλιεργούμενων οργανισμών και ο τρόπος με τον οποίο αυτοί επηρεάζονται από τα εμπόδια, μπορεί να είναι σημαντικά στοιχεία για τον σχεδιασμό και τη διαχείριση του αγροοικοσυστήματος.

Ο τρόπος με τον οποίο τα φυτά και τα ζώα μεταφέρονται από ένα τόπο στον άλλο, κατά τη διάρκεια των σταδίων της διασποράς και στο πλαίσιο του βιολογικού τους κύκλου, εξαρτάται από τους μηχανισμούς που καθένα έχει για να μπορεί να διασπείρεται. Οι μηχανισμοί αυτοί είναι ποικιλότροποι, αλλά πολύ συχνά αναφέρονται στον άνεμο, τα ζώα, το νερό ή τη βαρύτητα. Η έρευνα που έχει διεξαχθεί για την διασπορά των φυτών και των ζώων σε μεγάλες αποστάσεις μας έχει δώσει αρκετές γνώσεις για το ποιοι είναι οι μηχανισμοί αυτοί και πως αυτοί λειτουργούν.

Μια από τις καλύτερες εργασίες πάνω στη διασπορά είναι το βιβλίο η *Ζωή στα Νησιά* (Island life) του Sherwin Catlquist (1965). Στο βιβλίο αυτό γίνεται μια ανασκόπηση της φυσικής ιστορίας των νησιών σ' όλη τη γη, αναλύεται ο τρόπος με τον οποίο τα ζώα και τα φυτά φτάνουν στα νησιά τα οποία, είτε είχαν μια φυσική σύνδεση με την γειτνιάζουσα με αυτά ενδοχώρα, πηγή εποικισμού, είτε δεν είχαν ποτέ ένα τέτοιο δεσμό. Η εργασία του Van der Pijl (1972) πάνω στις *Αρχές της Διασποράς των Ανώτερων Φυτών* (Principles of Dispersal in Higher Plants) εμβαθύνει στην απίστευτη ποικιλότητα των μηχανισμών που βοηθούν τους σπόρους να κινηθούν από ένα μέρος σ' ένα άλλο. Οι μηχανισμοί αυτοί μπορούν να μεταφέρουν ένα οργανισμό τόσο σε μια κοντινή απόσταση, όσο και σε μεγαλύτερες αποστάσεις, μέσα από τα τεράστια εμπόδια των ωκεανών ή των ερήμων. Επίσης, μπορούν να μεταφέρουν ένα ζιζάνιο σ' ένα νέο αγρό.



Εικόνα 14.2. Κατανομή αρτιφύτρων και νεοφύτων σε δάσος της Costa Rica.

Πηγή: Ewert και Gliessman (1972).

Μια σημαντική πλευρά των μηχανισμών διασποράς είναι ο τρόπος με τον οποίο πολλοί από αυτούς φαίνεται να προσφέρουν ένα επιλεκτικό πλεονέκτημα «απομάκρυνσης» από την πηγή αναπαραγωγής. Αυτό αποδεικνύεται από μελέτες πεδίου που έγιναν για την κατανομή των αρτιφύτρων πέριξ των «μητρικών δένδρων»

σε δάση της Costa Rica. Όπως φαίνεται στην **Εικόνα 14.2**, τα περισσότερα αρτίφυτρα και νεόφυτα συγκεντρώθηκαν γύρω από το δένδρο, αλλά τα υπόλοιπα νεόφυτα βρέθηκαν σε μακρύτερη απόσταση. Κάποιοι μηχανισμοί μεταξύ των ειδών (π.χ. ο ανταγωνισμός, η αλληλοπάθεια κλπ.) φαίνεται ότι μειώνουν την παρουσία των αρτιφύτρων κοντά στο μητρικό δένδρο, αλλά ο μηχανισμός αυτός δεν λειτουργεί σε μια μακρύτερη απόσταση.

Οι σπόροι των φυτών ευθύς μόλις πέσουν στην επιφάνεια ενσωματώνονται στο έδαφος, με τον μεγαλύτερο αριθμό από αυτούς να βρίσκεται στα ανώτερα στρώματα του εδάφους. Ο πληθυσμός του κάθε είδους συνδυάζεται με τους άλλους πληθυσμούς των άλλων ειδών για να σχηματίσουν την **τράπεζα σπόρων** (seed bank). Στα συστήματα των καλλιεργούμενων φυτών, η ανάλυση των ζιζανίων της τράπεζας σπόρων μπορεί να μας πει πολλά για την προηγούμενη ιστορία της διαχείρισης της θέσης και για τα πιθανά προβλήματα που μπορεί να δημιουργήσουν τα ζιζάνια. Η πληροφόρηση αυτή είναι πολύ σημαντική κατά τον σχεδιασμό της κατάλληλης διαχείρισης.

Δεδομένου ότι, οι περισσότεροι οργανισμοί των φυτών καλλιέργειας, σε ότι αφορά τη διασπορά τους, εξαρτώνται από τους ανθρώπου, οι προσαρμογές τους σε σχέση με τη διασπορά κατά μεγάλο μέρος δεν συσχετίζονται. Πράγματι, τα περισσότερα είδη φυτών καλλιέργειας έχουν απολέσει τους μηχανισμούς διασποράς που διέθεταν ως μη εξημερωμένα (άγρια) είδη. Οι σπόροι τους κατέστησαν ευμεγέθεις, έχουν απολέσει τα «εξαρτήματα» που κάποτε είχαν και τα οποία διευκόλυναν τη διασπορά τους. Ή πιο απλά, οι ταξιανθίες τους έπαψαν πλέον να διασκορπίζουν τους σπόρους. Η απώλεια των προσαρμογών διασποράς είναι περισσότερο εμφανής στα μονοετή φυτά καλλιέργεια, οι σπόροι ή οι καρποί των οποίων, αποτελούν το τμήμα του φυτού το οποίο συγκομίζεται.

14.2.2.1.2. Εγκατάσταση

Πρακτικά δεν υπάρχει γυμνή έκταση πάνω στη γη που να μην μπορούν να εγκατασταθούν τα πρόδρομα φυτά ή τα ζώα. Αυτό μας το επιβεβαιώνει η απίστευτη ποικιλία των μηχανισμών διασποράς. Είναι όμως επίσης σίγουρο ότι, μόλις ένα πρόδρομο είδος φτάσει σε μια νέα τοποθεσία, θα αντιμετωπίσει προβλήματα εγκατάστασης. Αφού ο διασπειρόμενος σπόρος δεν μπορεί να επιλέξει την τοποθεσία που αυτός θα φτάσει, ο παράγοντας που θα καθορίσει εάν ο σπόρος μπορεί να εγκατασταθεί, θα είναι η κατάσταση της θέσης. Οι σπόροι πέφτουν σ' ένα πολύ ετερογενές περιβάλλον και μόνο σ' ένα μέρος των θέσεων που αυτοί θα συναντήσουν, θα καλύψουν τις ανάγκες τους. Μόνο οι μικροθέσεις εκείνες που ικανοποιούν τις ανάγκες του σπόρου, δηλαδή οι «ασφαλείς θέσεις», μπορούν να υποστηρίξουν το φυτό και την εγκατάσταση του. Όσο μεγαλύτερος είναι ο αριθμός των σπόρων ενός είδους που θα φτάσουν σε μια τοποθεσία, τόσο μεγαλύτερη είναι η πιθανότητα του είδους αυτού να εγκαταστήσει ένα βιώσιμο πληθυσμό στο νέο βιότοπο.

Είναι γνωστό ότι η πλέον ευαίσθητη περίοδος για το βιολογικό κύκλο του φυτού είναι το στάδιο του φυτρώματος και κατά συνέπεια, αυτό αποτελεί το κρίσιμο στάδιο της εγκατάστασης ενός νέου πληθυσμού. Αυτό ισχύει τόσο για τα είδη των φυτών καλλιέργειας, όσο και για τα ζιζάνια, αλλά και για τα φυτά των φυσικών οικοσυστημάτων. Ένας σπόρος που βρίσκεται σε λήθαργο μπορεί να αντέξει σε πολύ δύσκολες περιβαλλοντικές συνθήκες, αλλά, εάν φυτρώσει, τα νεοδημιουργούμενα αρτίφυτρα πρέπει ή να επιβιώσουν ή να νεκρωθούν. Κάθε μια από τις ακραίες περιβαλλοντικές συνθήκες που θα συναντήσουν τα αρτίφυτρα πρέπει να τις εκμηδενίσει, περιλαμβανομένων των συνθηκών της ξηρασίας, του ψύχους, της

χορτοφαγίας και της καλλιέργειας. Οι ανθρώπινες παρεμβάσεις μπορούν να βοηθήσουν έτσι, ώστε να διασφαλιστεί η επιτυχία και η ομοιόμορφη εγκατάσταση των νέων καλλιεργούμενων φυτών, η μεταβλητότητα όμως του περιβαλλοντικού συμπλόκου την καθιστά ως την πλέον ευαίσθητη φάση για τους περισσότερους πληθυσμούς των καλλιεργούμενων φυτών. Την ίδια ευαισθησία στην περιβαλλοντική κακουχία επιδεικνύουν και τα περισσότερα ζώα, όταν αυτά ευρίσκονται στα πρώιμα στάδια της νεότητάς τους.

14.2.2.1.3. Αύξηση και ωριμότητα

Ευθύς ως ένα αρτίφυτρο εγκατασταθεί με επιτυχία, ο βασικός του σκοπός είναι η συνεχής αύξηση. Το περιβάλλον στο οποίο τοποθετούνται τα αρτίφυτρα, καθώς επίσης και το γενετικό δυναμικό που αυτά περιέχουν, συνδυάζονται για να καθορίσουν την ταχύτητα της αύξησής τους. Στα φυσικά οικοσυστήματα και σε κάποια φάση της ανάπτυξης του φυτού, περιβαλλοντικοί παράγοντες, όπως η ξηρασία ή ο ανταγωνισμός για το φως περιορίζουν, σε γενικές γραμμές, τη διαδικασία της αύξησης. Εάν οι παράγοντες αυτοί καταστούν πολύ ακραίοι, τα άτομα του πληθυσμού θα νεκρωθούν.

Γενικώς, στα πρώτα στάδια της ανάπτυξης τα φυτά μεγαλώνουν πολύ γρήγορα, μετρούμενα με βάση την καθαρή βιομάζα που συσσωρεύεται μέσα στον χρόνο. Όμως, καθώς αρχίζει η ωριμότητα, ο ρυθμός της αύξησής τους επιβραδύνεται, δεδομένου ότι τα φυτά χρησιμοποιούν περισσότερη ενέργεια για τη συντήρηση και την παραγωγή των αναπαραγωγικών τους οργάνων, απ' ό,τι για την παραγωγή των νέων ιστών. Επίσης, η αύξηση μπορεί να επιβραδυνθεί ένεκα της ανεπάρκειας των διαθέσιμων πόρων για κάθε ανεξάρτητο οργανισμό.

Η χρονική περίοδος που διανύεται από το φύτευμα μέχρι την ωριμότητα μπορεί να κυμανθεί από λίγες ημέρες, για κάποια ετήσια είδη, μέχρι κάποιες δεκάδες ημέρες, για κάποια πολυετή. Ένα είδος που ωριμάζει γρήγορα θα εποικίσει μια νέα περιοχή με διαφορετικό τρόπο από ένα είδος που ωριμάζει αργά, και κατά συνέπεια, καθένα τους θα εμφανίσει διαφορετικές προκλήσεις κατά τη διαχείρισή του.

14.2.2.1.4. Αναπαραγωγή

Μόλις τα φυτά τα οποία πέτυχαν να εποικίσουν μια περιοχή φτάσουν στην ωριμότητά τους, μπορούν να ξεκινήσουν τον κύκλο της αναπαραγωγής. Ο βαθμός της επιτυχίας τους καθορίζει κατά πόσο ο νέος πληθυσμός θα διατηρηθεί στην περιοχή, πως αυτός θα αυξηθεί και πως αυτός θα επηρεάσει τους πληθυσμούς των άλλων ειδών μελλοντικά. Η αναπαραγωγή μπορεί να λάβει χώρα αγενώς, μέσω της βλαστητικής αναπαραγωγής ή εγγενώς, μέσω της παραγωγής των σπόρων. Κάποια είδη εξαρτώνται από τη γρήγορη πρώιμη αύξηση του εγκατασταθέντος σπόρου, η οποία θα συνοδευτεί με μια πλούσια αναπαραγωγή και από τον ισχυρό πρώιμο έλεγχο του περιβάλλοντος για να εμποδίσει επόμενους «εισβολείς». Άλλα είδη μπορεί να διαθέσουν τους περισσότερους πόρους, ώστε να αναπτύξουν λιγότερα μεν, αλλά μεγαλύτερα και περισσότερο κυρίαρχα άτομα στον πληθυσμό, θυσιάζοντας έτσι για τη διαδικασία αυτή την παραγωγή των νέων σπόρων, αλλά διασφαλίζουν τοιουτοτρόπως, την επιτυχία των ατόμων που θα φτάσουν στην ωριμότητα.

14.2.2.2. Παράγοντες που επηρεάζουν την επιτυχία του εποίκισμού

Σε κάθε στάδιο του εποίκισμού, μπορεί να παρουσιαστεί κάποιο γεγονός ή κάποια κατάσταση, η οποία ενδεχομένως, να μειώσει κατά ένα ποσοστό τον πληθυσμό. Για ένα είδος – εισβολέα, μέρος αυτής της μείωσης επέρχεται όταν, μόνο ένα τμήμα των σπόρων βρίσκει την κατάλληλη και ασφαλή θέση για να φυτρώσει. Ένα μεγάλο ποσοστό του πληθυσμού χάνεται αμέσως μετά το φύτευμα, ιδιαίτερα εάν οι καιρικές συνθήκες δεν είναι οι ιδανικές. Κατά τη διάρκεια της ανάπτυξης των νεαρών φυτών, μπορεί να παρατηρηθεί, ανά πάσα στιγμή, μεγαλύτερη απώλεια. Συχνά, το τελικό αποτέλεσμα είναι ένας πολύ ελαττωμένος αριθμός ώριμων φυτών, οι οποίοι τελικά θα συμμετάσχουν στην αναπαραγωγική διαδικασία.

Για κάποια είδη, ειδικότερα για τα μακρόβια πολυετή, η φθορά των ανεξάρτητων ατόμων στα πρώιμα στάδια του εποίκισμού μπορεί να είναι τόσο τέλεια, ώστε οι περιβαλλοντικές συνθήκες να περιέλθουν όλες, σε μια ακολουθία που θα επιτρέψει την επιβίωση των αναπαραγωγικών ώριμων μόνο για ένα έτος μέσα στα πολλά. Αρκετά είδη δρυός (*Quercus* spp.) στην California για παράδειγμα, παρουσιάζουν κλάσεις ατόμων της αυτής ηλικίας σε πληθυσμούς που απέχουν από 40 έως 200 έτη, γεγονός που αποτελεί δείγμα, ότι οι ευκαιρίες για την εγκατάσταση ομάδων νέων πληθυσμών δεν συμβαίνουν πολύ συχνά.

14.2.2.2.1. Οι στρατηγικές του βιολογικού κύκλου

Κάθε είδος το οποίο θεωρείται επιτυχημένο σε ένα συγκεκριμένο περιβάλλον παρουσιάζει ένα μοναδικό σύνολο προσαρμογών οι οποίες του επιτρέπουν να διατηρήσει ένα πληθυσμό στο περιβάλλον μέσα στο χρόνο. Οι προσαρμογές αυτές μπορούν να θεωρηθούν ότι περιλαμβάνουν μια «στρατηγική» για την οργάνωση του βιολογικού κύκλου, η οποία θα αποσκοπεί στη διασφάλιση της αναπαραγωγής και τη συνέχιση ύπαρξης ενός βιώσιμου πληθυσμού. Ανάλογα με τα είδη, οι στρατηγικές του βιολογικού κύκλου είναι δυνατό να ταξινομηθούν σε γενικούς τύπους.

Εμείς όμως θα εξετάσουμε δυο τύπους ταξινόμησης του βιολογικού κύκλου. Αυτοί θα βοηθήσουν ώστε να κατανοήσουμε με ποιο τρόπο οι πληθυσμοί ενός συγκεκριμένου οργανισμού είναι ικανοί να αυξηθούν σε αριθμό ή να εποίκισουν νέες περιοχές. Θα μας βοηθήσουν επίσης, να ερμηνεύσουμε τον οικολογικό ρόλο κάθε είδους στο αγροοικοσύστημα, ο οποίος θα συμβάλλει σημαντικά στη διαχείριση τόσο των καλλιεργούμενων όσο και των μη καλλιεργούμενων φυτών.

14.2.2.2.1.1. Η θεωρία της r- και K- επιλογής

Τα φυτά έχουν μια περιορισμένη ποσότητα ενέργειας που θα «καταναλώσουν» για τη συντήρηση, την αύξηση και την αναπαραγωγή τους. Η διάθεση περισσότερης ενέργειας για την αναπαραγωγή μειώνει τη διαθέσιμη ποσότητα ενέργειας για την αύξηση και τούμπαλιν. Οι οικολόγοι, μετά από παρατηρήσεις, χρησιμοποίησαν διαφορές στην διανομή της ενέργειας για την αύξηση ή την αναπαραγωγή, ώστε να αναπτύξουν ένα σύστημα ταξινόμησης το οποίο θα καθορίζει τους δύο βασικούς τύπους στρατηγικών του βιολογικού κύκλου στα αντίθετα πέρατα ενός συνεχούς. Το σύστημα είναι γνωστό ως η θεωρία της r- και K- επιλογής (MacArthur 1962, Pianka 1970, 1978).

Στο ένα άκρο, βρίσκουμε τα είδη τα οποία διαβιούν σε δύσκολα ή μεταβαλλόμενα περιβάλλοντα, στα οποία η θνησιμότητα ως επί το πλείστον

καθορίζεται από τους περιορισμένους περιβαλλοντικούς παράγοντες, παρά από την πυκνότητα του πληθυσμού και όπου, η φυσική επιλογή ευνοεί τους γονότυπους με μια υψηλή ενδογενή αξία αύξησης. Τα μέλη των πληθυσμών των ειδών αυτών διανέμουν, μετά την εγκατάστασή τους, περισσότερη ενέργεια στην αναπαραγωγή και λιγότερη στην αύξηση και την συντήρηση. Τα μέλη των ειδών αυτών θεωρείται ότι ακολουθούν την **r - στρατηγική**, διότι οι περιβαλλοντικοί παράγοντες διατηρούν την αύξηση τέτοιων πληθυσμών στο ταχύτερο σημείο αύξησης της σιγμοειδούς (λογιστικής) καμπύλης. Τα μεγέθη των πληθυσμών τους περιορίζονται περισσότερο από τους φυσικούς παράγοντες παρά από τους βιοτικούς.

Στο άλλο άκρο, βρίσκουμε είδη τα οποία διαβιούν σε σταθερά ή προβλεπόμενα περιβάλλοντα, στα οποία η θνησιμότητα είναι περισσότερο μια λειτουργία των πυκνοεξαρτημένων παραγόντων, όπως η παρέμβαση με άτομα άλλων πληθυσμών και όπου η φυσική επιλογή ευνοεί τους γονότυπους με την ικανότητα να αποφεύγουν ή να ανέχονται την παρέμβαση. Τα μέλη τέτοιων ειδών διανέμουν περισσότερους πόρους σε βλαστητικές ή μη παραγωγικές δραστηριότητες. Τα μέλη των ειδών αυτών θεωρείται ότι ακολουθούν την **K - στρατηγική**, διότι διατηρούν τους πυκνότερους πληθυσμούς, όταν το μέγεθος του πληθυσμού είναι κοντά στην χωροϊκανότητα (K) του περιβάλλοντος. Τα μεγέθη των πληθυσμών τους περιορίζονται περισσότερο από τους βιοτικούς παράγοντες παρά από τους φυσικούς παράγοντες.

Σε γενικές γραμμές, τα είδη που ακολουθούν την r – στρατηγική είναι ευκαιριακά είδη. Έχουν την ικανότητα να εποίκουν πρόσκαιρους ή διαταραγμένους βιοτόπους, όπου η παρέμβαση είναι ελάχιστη, αναλαμβάνουν γρήγορα το πλεονέκτημα των πόρων, όταν αυτοί είναι διαθέσιμοι, έχουν συνήθως μικρή ζωή, διανέμουν ένα μεγάλο ποσοστό της βιομάζας τους στην αναπαραγωγή και καταλαμβάνουν ανοικτούς βιοτόπους ή πρώιμα διαδοχικά συστήματα. Στο βασίλειο των ζώων, τα είδη που ακολουθούν την r – στρατηγική αναζητούν ελάχιστη γονική φροντίδα, όσο αυτά είναι νεαρά άτομα. Στο φυτικό βασίλειο τα είδη που ακολουθούν την r – στρατηγική παράγουν συνήθως, μεγάλους αριθμούς εύκολα διασκορπιζόμενων σπόρων. Αντιθέτως, τα είδη που ακολουθούν την K – στρατηγική είναι ανθεκτικά. Αυτά συνήθως, είναι μακρόβια, έχουν ένα παρατεταμένο βλαστητικό στάδιο, διανέμουν σχετικά μικρές ποσότητες από τη συνολική βιομάζα προς την αναπαραγωγή και υπάρχουν σε φυσικά οικοσυστήματα στα τελευταία στάδια της διαδοχής. Τα ζώα που ακολουθούν την K – στρατηγική φροντίζουν τους νεοσσούς, ενώ τα φυτά που ακολουθούν την K – στρατηγική παράγουν σχετικά λίγους μεγάλους σπόρους που περιέχουν σημαντικά αποθέματα ή αποθηκευμένη τροφή.

Όμως, οι κατηγορίες της r – και K – επιλογής δεν διαχωρίζονται με σαφήνεια. Οι περισσότεροι οργανισμοί δεν ακολουθούν ξεκάθαρα κάποια από τις δυο επιλογές, αλλά επιδεικνύουν μια στρατηγική βιολογικού κύκλου, η οποία συνδυάζει τους χαρακτήρες αμφοτέρων των στρατηγικών. Συνεπώς, η θεωρία της r- και K- επιλογής πρέπει να εφαρμόζεται με προσοχή για την κατανόηση της δυναμικής του πληθυσμού και την ανάπτυξη.

Ακόμη και έτσι, οι έννοιες της r – και K – επιλογής μπορεί να είναι πολύ χρήσιμες για την κατανόηση της δυναμικής του πληθυσμού στα αγροοικοσυστήματα. Οι περισσότεροι εισβολείς και πολλοί άγριοι οργανισμοί, ειδικά τα ζιζάνια, οι παθογόνοι οργανισμοί, τα επιβλαβή έντομα είναι είδη τα οποία ακολουθούν την r – επιλογή. Είναι είδη που θεωρούνται ευκαιριακοί, εύκολα διασκορπιζόμενοι, αναπαραγωγικά δραστήριοι οργανισμοί, τα οποία μπορούν εύκολα να βρουν, να καταλάβουν και να κυριαρχήσουν σε βιοτόπους σε γεωργικά διαταραγμένα τοπία. Είναι άκρως ενδιαφέρον το γεγονός ότι, τα περισσότερα από τα φυτά καλλιέργειας, από τα οποία σήμερα εξαρτώμεθα παγκοσμίως για την παραγωγή των πλέον βασικών

υλικών διατροφής, μπορούν επίσης να ταξινομηθούν ως είδη r – επιλογής. Η μεγαλύτερη αναλογία της βιομάζας τους βρίσκεται στο αναπαραγωγικό κομμάτι του φυτού. Αυτό ισχύει ιδιαίτερα για όλα τα ετήσια σποροπαραγωγά είδη που καταναλώνουμε. Συνεπώς, αυτά τα φυτά καλλιέργειας έχουν προέλθει κυρίως από είδη τα οποία έχουν εξελιχθεί σε ανοικτούς, διαταραγμένους βιοτόπους. Η ικανότητά τους να αυξάνουν γρήγορα είναι εκείνο που τα έκανε κατάλληλα και υποψήφια προς εξημέρωση είδη.

Μια αιτία για την οποία τα r – επιλογής ζιζάνια αποτελούν ένα πρόβλημα στα συστήματα καλλιέργειας είναι ότι τα ίδια τα φυτά καλλιέργειας είναι επίσης είδη r – επιλογής και οι ανοικτές, διαταραγμένες συνθήκες, κάτω από τις οποίες ευδοκιμούν τα φυτά καλλιέργειας είναι οι ίδιες με αυτές κάτω από τις οποίες τα ζιζάνια αναπτύσσονται καλύτερα. Τα συστήματα των ετήσιων ή των πολυετών φυτών καλλιέργειας με συχνή διαταραχή, αποτελούν κατά μια έννοια, την κύρια αιτία για τα πολλά προβλήματα που αντιμετωπίζουν οι αγροκτήμονες και είναι αναγκασμένοι χρησιμοποιούν μια σειρά τεχνολογιών για να τα σταματήσουν ή να τα ελαχιστοποιήσουν. Κάτω από αυτό το πρίσμα, μπορούμε να πούμε ότι τα είδη που ακολουθούν την K – στρατηγική είναι δυνατό να διαδραματίσουν σημαντικούς ρόλους στα αγροοικοσυστήματα, ως φυτά καλλιέργειας. Τα συστήματα των πολυετών φυτών καλλιέργειας διασφαλίζουν την υγεία και την ανάπτυξη του βλαστητικού τμήματος του φυτού, ακόμη και στις περιπτώσεις που μόνο ο καρπός συγκομίζεται. Κατά την διαδικασία της εκμετάλλευσης δημιουργείται για τα ζιζάνια που ακολουθούν την r – στρατηγική λιγότερη διαταραχή και λιγότερες ευκαιρίες.

Σ' ένα απλό πληθυσμό φυτών καλλιέργειας, μια ενδιαφέρουσα πρόταση είναι και αυτή που συνδυάζει την ισχύ και τα πλεονεκτήματα αμφοτέρων των στρατηγικών. Η ταχυσυζή, ευκαιριακή, υψηλής παραγωγικότητας προσπάθεια των ειδών που ακολουθούν την r - στρατηγική έπρεπε να συνδυάζεται με την αντίσταση, τη συσσώρευση βιομάζας και την ανοχή στην κακουχία των ειδών που ακολουθούν την K – στρατηγική. Με το θέμα της K – στρατηγικής θα ασχοληθούμε και σε επόμενο κεφάλαιο και θα αφορά τη χρήση του στα αγροοικοσυστήματα.

14.2.2.2.1.1. Η θεωρία της κακουχίας/διαταραχής - έντασης

Οι οικολόγοι έχουν αναπτύξει μια εναλλακτική θεωρία προς την r - και K -επιλογή. Αυτή είναι η θεωρία του συστήματος ταξινόμησης του βιολογικού κύκλου με τρεις κατηγορίες αντί των δυο. Αυτή βασίζεται στην υπόθεση ότι υπάρχουν δύο βασικοί παράγοντες, – η κακουχία και η διαταραχή – οι οποίοι περιορίζουν την ποσότητα της βιομάζας που ένα φυτό σ' ένα δεδομένο περιβάλλον μπορεί να παράγει. Η κακουχία συμβαίνει μέσα από μια σειρά από εξωτερικούς παράγοντες οι οποίοι περιορίζουν την παραγωγή, όπως είναι η *σκίαση*, η *ξηρασία*, η *ανεπάρκεια θρεπτικών στοιχείων*, η *χαμηλή θερμοκρασία*. Η διαταραχή συμβαίνει όταν υπάρχει μια μερική ή μια ολική αναταραχή της βιομάζας του φυτού, λόγω κάποιων φυσικών γεγονότων, όπως π.χ. η βόσκηση, η πυρκαγιά ή η ανθρώπινη δραστηριότητα (θερισμός, άροση). Όταν οι βιότοποι χρησιμοποιούν και τις δυο διαστάσεις, δηλαδή, χαμηλή ή υψηλή κακουχία και χαμηλή ή υψηλή διαταραχή, καθορίζονται τέσσερις τύποι βιοτύπων. Κάθε ένας από τους βιοτύπους αυτούς στη συνέχεια συνδέεται με μια συγκεκριμένη στρατηγική του βιολογικού κύκλου, όπως φαίνεται και στον **Πίνακα 14.1**. Το σχήμα αυτό μπορεί να έχει περισσότερο άμεση εφαρμογή στα γεωργικά περιβάλλοντα απ' ό,τι έχει η θεωρία της r – και K – επιλογής, και μπορεί να έχει καλύτερη χρήση στη διαχείριση των ζιζανίων.

Πίνακας 14.1. Στρατηγικές του βιολογικού κύκλου με βάση τα επίπεδα κακουχίας και διαταραχής στο περιβάλλον

	Υψηλή κακουχία	Χαμηλή κακουχία
Υψηλή διαταραχή	{Θνησιμότητα φυτού}	Σκληραγωγημένα
Χαμηλή διαταραχή	Ανεκτικά στην κακουχία	Ανταγωνιστές

Πηγή: Προσαρμογή από τον Grime (1977).

Αφού, όπως φαίνεται και στον **Πίνακα 14.1**, ένα περιβάλλον το οποίο χαρακτηρίζεται από υψηλή κακουχία και υψηλή διαταραχή δεν μπορεί να υποστηρίξει σε μεγάλο βαθμό την ανάπτυξη των φυτών, στο σύστημα αυτό παραμένουν τρεις χρήσιμες κατηγορίες ειδών, ήτοι:

- ✚ **Σκληραγωγημένα (Σ)** είδη, τα οποία είναι προσαρμοσμένα σε συνθήκες υψηλής διαταραχής και χαμηλής κακουχίας.
- ✚ **Ανεκτικά στην κακουχία (ΑΚ)** είδη, τα οποία ζουν σε περιβάλλοντα με υψηλή κακουχία χαμηλή διαταραχή, και
- ✚ **Ανταγωνιστές (Α)** είδη, τα οποία διαβιώνουν κάτω από συνθήκες χαμηλής κακουχίας και χαμηλής διαταραχής και παρουσιάζουν καλές ανταγωνιστικές ικανότητες.

Τα περισσότερα συστήματα ετήσιων φυτών καλλιέργειας παρουσιάζουν συνθήκες υψηλής διαταραχής λόγω της συχνής συγκομιδής, αλλά υφίστανται σχετικά χαμηλή κακουχία, αφού οι συνθήκες έχουν βελτιωθεί μέσω των γεωργικών εισροών και του σχεδιασμού του συστήματος καλλιέργειας. Εκείνα τα οποία ευνοούνται κάτω από τις συνθήκες αυτές είναι τα σκληραγωγημένα είδη, των οποίων τα χαρακτηριστικά της μικρής διάρκειας ζωής, της υψηλής παραγωγής σπόρων και της ικανότητας να εποικούν ανοικτά περιβάλλοντα έχουν ένα τέτοιο πλεονέκτημα. Τα περισσότερα φυτά που εντάσσονται στην κατηγορία αυτή, π.χ. τα ετήσια ζιζάνια, μπορούν επίσης να καταταγούν και ως είδη r – επιλογής.

Τα υποβαθμισμένα αγροοικοσυστήματα, όπως οι διαβρωμένες λοφοπλαγιές των υγρών περιβαλλόντων ή τα έντονα καλλιεργούμενα συστήματα των ξηρών γεωργικά εκμεταλλευόμενων περιοχών που υποφέρουν από την περιοδική κακουχία της ξηρασίας και την αιολική διάβρωση, ευνοούν την αύξηση των ανεκτικών στην κακουχία ειδών. Μη καλλιεργούμενα φυτά που είναι ανεκτικά στις συνθήκες αυτές μπορεί να καταστούν οι μελλοντικοί κυρίαρχοι του τοπίου. Παραδείγματα για τα παραπάνω αποτελούν τα αγρωστώδη του γένους *Imperata* στους υγρούς τροπικούς της νοτιοανατολικής Ασίας και ο βρώμος (*bromus tectorum*) στα λιβάδια της Μεγάλης Λεκάνης των δυτικών Η.Π.Α. Αφού τα ανεκτικά στην κακουχία είδη έχουν επιλεγεί για να ενισχύσουν την περιβαλλοντική κακουχία, η οποία είναι πολύ χαρακτηριστική των υποβαθμισμένων σε μεγάλο βαθμό και τροποποιημένων περιβαλλόντων, αυτά μπορούν να εγκαταστήσουν και να διατηρήσουν την κυριαρχία ακόμη και αν το περιβάλλον στο οποίο συναντώνται είναι σχετικά μη παραγωγικό.

Πολλά φυσικά οικοσυστήματα, όπως επίσης και κάποια πολυετή φυτά καλλιέργειας, υποστηρίζουν την κατηγορία των ανταγωνιστικών φυτών. Τα φυτά αυτά έχουν αναπτύξει χαρακτηριστικά που μεγιστοποιούν την δυνατότητα σύλληψης των πόρων κάτω από σχετικά αδιατάραχτες συνθήκες, δεν είναι όμως ανεκτικά στη βαριά απομάκρυνση της βιομάζας. Μια υπερβολική διαταραχή μέσω της κάρπωσης θα ανοίξει το σύστημα στην εισβολή των σκληραγωγημένων ζιζανίων, ενώ μια αυξημένη ένταση κακουχίας, όπως αυτή η οποία συνοδεύει την υπεράντληση των θρεπτικών στοιχείων του εδάφους ή του νερού, θα ανοίξει το σύστημα στην εισβολή από ανεκτικούς στην κακουχία οργανισμούς. Όταν ένα δασικό οικοσύστημα υλοτομείται αποψιλωτικά και το έδαφος του μένει άθικτο, ο επανεποικισμός από ανθεκτικά στην κακουχία είδη

πρόσκοπης διαδοχής αποτελεί ένα αρχικό πρόβλημα. Όμως, τα είδη των δένδρων μπορούν συνήθως να επανεγκαθίστανται και τελικώς να επανεποικούν το σταθμό και τελικά να εκδιώκουν τα πρόσκοπα είδη. Αντίθετα, εάν μετά την κάρπωση, μια πυρκαγιά απομακρύνει περιοδικά την βλαστητική κάλυψη, η ένταση της διαταραχής ανοίγει το σύστημα στην εισβολή και την κυριαρχία του από περισσότερο βραχύβια και επιθετικά σκληραγωγημένα είδη, τα οποία καθυστερούν σε μεγάλο βαθμό την ανάκαμψη των δασικών ειδών.

Αμφότερες οι θεωρίες, η θεωρία της r – και K – επιλογής και η θεωρία της κακουχίας / διαταραχής – έντασης παρέχουν ευκαιρίες ώστε να συνδυάσουμε τις γνώσεις μας για το περιβάλλον με τις γνώσεις μας για τη δυναμική του πληθυσμού των οργανισμών με τους οποίους ασχολούμεθα. Εστιάζοντας τις γνώσεις αυτές σε καλλιεργούμενα και μη φυτικά είδη, μπορούμε ακολούθως να σχεδιάσουμε τις γεωργικές μας δραστηριότητες.

14.3. Η Οικοθέση

Η έννοια της στρατηγικής του βιολογικού κύκλου μας βοηθάει να κατανοήσουμε με ποιο τρόπο ένας πληθυσμός διατηρεί το ρόλο και τη θέση του μέσα στο οικοσύστημα. Για να κατανοήσουμε όμως, ποιος είναι ο ρόλος και η θέση του απαιτείται ένα επιπρόσθετο εννοιολογικό πλαίσιο. Αυτό μας το προσφέρει η έννοια της **οικοθέσης**, ή της **οικολογικής φωλιάς**, ή του **οικολογικού θώκου** (ecological niche).

Η οικοθέση ενός οργανισμού ορίζεται ως ο τόπος και η λειτουργία του στο περιβάλλον. Η οικοθέση περιλαμβάνει την φυσική τοποθεσία ενός οργανισμού στο περιβάλλον, τον τροφικό του ρόλο, τα όριά του και τις ανοχές του απέναντι στις περιβαλλοντικές συνθήκες και τις σχέσεις του με τους άλλους οργανισμούς. Η έννοια της οικοθέσης εγκαθιστά ένα σημαντικό βάθρο για τον καθορισμό της πιθανής επίδρασης που ο πληθυσμός μπορεί να έχει σ' ένα περιβάλλον, αλλά και στους άλλους οργανισμούς που συνυπάρχουν με αυτόν. Η έννοια της οικοθέσης τέλος, μπορεί να είναι μεγάλης αξίας κατά την διαχείριση των συνολικών αλληλεπιδράσεων μεταξύ των πληθυσμών και του αγροοικοσυστήματος.

14.3.1. Εννοιολογισμοί της οικοθέσης

Η έννοια της οικοθέσης για πρώτη φορά εισήχθη στην διεθνή βιβλιογραφία με της πρωτοποριακές εργασίες των Grinnell (1924, 1928) και Elton (1927), ως η θέση ενός ζώου στο περιβάλλον. Με τη λέξη «θέση» εννοούσαν την μέγιστη δυνατή κατανομή ενός είδους, ελεγχόμενη μόνο από τα ένστικτά του και τα δομικά του όρια. Σήμερα, η άποψη αυτή της οικοθέσης είναι τμήμα αυτού που ονομάζουμε **δυναμική οικοθέση**. Αυτή βρίσκεται σε αντίθεση με την **πραγματοποιηθείσα οικοθέση**, την πραγματική οικοθέση την οποία ένα είδος είναι ικανό να κατέχει, όπως καθορίζεται μέσα στο περιβάλλον από τις αλληλεπιδράσεις με τους άλλους οργανισμούς. Δηλαδή, υπό την επίδραση της αρνητικής και της θετικής παρέμβασης.

Αμφότερες οι οικοθέσεις, δυναμική και πραγματοποιηθείσα, δομούνται πάνω στην εννοιοποίηση της οικοθέσης έχοντας δυο διακεκριμένες όψεις. Η μια όψη είναι ο βίτοπος στον οποίο οι οργανισμοί διαβιούν και η άλλη όψη είναι αυτό που πράττει ο οργανισμός μέσα σ' αυτόν τον βίτοπο. Αυτή την δεύτερη όψη θα μπορούσαμε να την εκλάβουμε ως το «επάγγελμα» του οργανισμού, δηλαδή τον τρόπο με τον οποίο «προσπορίζεται τα προς το ζην». Το «επάγγελμα» ενός ζώου για παράδειγμα, μπορεί να είναι τρόφιμος ανθέων, τρόφιμος φύλλων ή τρόφιμος εντόμων. Ένας μικροοργανισμός

μπορεί να είναι ένας αποικοδομητής ή ένα παράσιτο. Στον καθορισμό της άποψης αυτής της οικοθέσης ενός είδους εμπεριέχονται πολλά επίπεδα αλληλεπίδρασης.

Μια σημαντική συμβολή στην εννοιολογία της οικοθέσης έγινε από τον Gause (1934), ο οποίος ανέπτυξε τη θεωρία η οποία είναι τώρα γνωστή σε μας ως «ο νόμος του Gause». Η θεωρία λέει ότι, δυο οργανισμοί δεν μπορούν να καταλάβουν την ίδια οικολογική φωλιά. Εάν οι οικοθέσεις των δυο οργανισμών στον ίδιο βιότοπο είναι πολύ παρόμοιες και οι πόροι είναι περιορισμένοι, τελικά ο ένας οργανισμός θα αποκλείσει τον άλλο μέσω του «ανταγωνιστικού αποκλεισμού». Ο ανταγωνιστικός αποκλεισμός όμως, δεν είναι πάντοτε η αιτία, ώστε να μην συνυπάρχουν δυο πληθυσμοί με παρόμοιες οικοθέσεις. Στην περίπτωση αυτή μπορεί να βρίσκονται σε λειτουργία κάποιοι άλλοι μηχανισμοί.

Η ιδέα ότι η οικοθέση είναι το επάγγελμα ενός οργανισμού, δεν είναι συχνά επαρκής. Για να αναπτύξουν ένα περισσότερο πολύπλοκο τρόπο κατανόησης της οικοθέσης, οι οικολόγοι εστίασαν το ενδιαφέρον τους στον καθορισμό των ξεχωριστών διαστάσεων, από τις οποίες αυτή αποτελείται. Έτσι, για κάθε συγκεκριμένο οργανισμό καθορίστηκε ένα σύνολο από καμπύλες ανταπόκρισης στους παράγοντες. Στη συνέχεια, αυτές τοποθετήθηκαν η μια πάνω στην άλλη για να σχηματισθεί μια μήτρα από τις ανταποκρίσεις των παραγόντων. Σε μια απλή μήτρα δύο παραγόντων, η περιοχή που περιγράφεται από επικαλυπτόμενες περιοχές ανοχής μπορεί να ενοραθεί ως η περιοχή δύο διαστάσεων του χώρου του πόρου που καταλαμβάνεται από τον οργανισμό. Με την προσθήκη περισσότερων καμπυλών ανταπόκρισης στους παράγοντες, ο χώρος αυτός λαμβάνει μια πολυδιάστατη μορφή. Η διαδικασία αυτή αποτελεί τη βάση για μια εννοιολογία της οικοθέσης, ως ένας πολυδιάστατος υπερ-όγκος που ένας οργανισμός υποθετικά μπορεί να καταλάβει (Hutchinson 1957). Εάν στην παραγοντική μήτρα συμπεριληφθούν και οι βιοτικές αλληλεπιδράσεις, ο υπερ-όγκος, ο οποίος σχηματίζεται από τις επικαλυπτόμενες καμπύλες ανταπόκρισης στους παράγοντες, βρίσκεται πολύ κοντά στον καθορισμό της πραγματικής οικοθέσης, την οποία ένας οργανισμός καταλαμβάνει.

14.3.2. Η ευρύτητα της οικοθέσης

Όταν η οικοθέση θεωρείται ως ένας πολυδιάστατος χώρος, καθίσταται εμφανές ότι το μέγεθος και το σχήμα του χώρου αυτού διαφέρει για κάθε είδος. Η μέτρηση μιας ή περισσότερων διαστάσεων ονομάζεται ευρύτητα οικοθέσης (Levins 1968, Colwell & Futuyma 1971, Bazzaz 1975). Οι οργανισμοί με μια στενή οικοθέση και οι πολύ εξειδικευμένες προσαρμογές και δραστηριότητες στον βιότοπο καλούνται ειδικευτές. Αυτοί οι οποίοι έχουν μια ευρύτερη οικοθέση αναφέρονται ως γενικευτές. Οι γενικευτές είναι περισσότερο προσαρμόσιμοι από τους ειδικευτές. Μπορούν και προσαρμόζονται ευκολότερα στην αλλαγή του περιβάλλοντος και χρησιμοποιούν μια πλειάδα πόρων. Οι ειδικευτές είναι πολύ περισσότερο εξειδικευμένοι στην κατανομή και τις δραστηριότητές τους, αλλά έχουν το πλεονέκτημα να είναι ικανοί κάνουν καλύτερη χρήση ενός πλούσιου πόρου, όταν αυτός είναι διαθέσιμος. Σε κάποιες περιπτώσεις, όταν ένας γενικευτής δεν είναι τόσο αποτελεσματικός στη χρήση των πόρων σε ένα βιότοπο, αφήνει χώρο μέσα στην οικοθέση του για τους ειδικευτές. Με άλλα λόγια, μέσα σε μια οικοθέση γενικευτή είναι δυνατό να υπάρχουν αρκετές οικοθέσεις ειδικευτών.

14.3.3. Ποικιλότητα και επικάλυψη της οικοθέσης

Τα φυσικά οικοσυστήματα συχνά χαρακτηρίζονται από έναν υψηλό βαθμό ποικιλότητας των ειδών. Στα συστήματα αυτά, πολλά διαφορετικά είδη καταλαμβάνουν αυτό που με την πρώτη ματιά φαίνεται να είναι παρόμοιες οικολογικές φωλιές. Εάν δεχθούμε ότι ισχύει ο νόμος του Gause, ότι δηλαδή, δύο είδη δεν μπορεί να καταλαμβάνουν ταυτόχρονα την ίδια οικοθέση, χωρίς το ένα να αποκλείει το άλλο, τότε πρέπει να καταλήξουμε στο συμπέρασμα, ότι οι οικοθέσεις των παρόμοιων οργανισμών είναι πράγματι διακεκριμένες, ή ότι κάποιοι μηχανισμοί πρέπει να επιτρέπουν την συνύπαρξη. Ο ανταγωνιστικός αποκλεισμός φαίνεται να είναι ένα σχετικά ασύνηθες φαινόμενο.

Στα καλλιεργητικά συστήματα επίσης, οι οικολογικά όμοιοι οργανισμοί καταλαμβάνουν ταυτόχρονα αυτό που φαίνεται να είναι η ίδια οικοθέση. Πράγματι, οι αγρότες – παραγωγοί έχουν μάθει από τη σωρευμένη εμπειρία τους και από τη συνεχή παρατήρηση στους αγρούς τους ότι η διαχείριση μιας μικτής καλλιέργειας από φυτά καλλιέργειας και μη καλλιεργούμενους οργανισμούς σε ένα σύστημα καλλιέργειας, συχνά αποτελεί πλεονέκτημα ακόμη και όταν πολλά από τα συστατικά της μίξης έχουν παρόμοιες απαιτήσεις. Ο ανταγωνιστικός αποκλεισμός σπάνια συμβαίνει. Συνεπώς, πρέπει να υφίσταται κάποιο επίπεδο συνύπαρξης ή αποφυγής του ανταγωνισμού.

Η συνύπαρξη αυτή των φαινομενικά παρόμοιων οργανισμών σε αμφοτέρα τα οικοσυστήματα, φυσικά και αγροοικοσυστήματα, καθίσταται δυνατή από κάποιο είδος οικολογικής διαφορετικότητας ανάμεσα στα εμπλεκόμενα είδη. Η διαφορετικότητα αυτή αναφέρεται ως ποικιλότητα της οικοθέσης ή διαφοροποίηση της οικοθέσης. Τα παραδείγματα που ακολουθούν το επιβεβαιώνουν.

✚ Φυτά με διαφορετικό βάθος ριζών. Η μεταβλητή υπόγεια καλλιεργητική αρχιτεκτονική επιτρέπει σε διαφορετικά είδη να αποφεύγουν την άμεση παρέμβαση για θρεπτικά στοιχεία και νερό, ενώ καταλαμβάνουν πολύ παρόμοια συστατικά της οικοθέσης πάνω από το έδαφος.

✚ Φυτά με διαφορετικές φωτοσυνθετικές διαδρομές. Όταν ένα φυτό καλλιέργειας για να φωτοσυνθέσει ακολουθεί την C₄ διαδρομή, και κάποιο άλλο χρησιμοποιεί την C₃ διαδρομή, τα δύο φυτά καλλιέργειας μπορεί να συνυπάρχουν. Το ένα είδος αγωνίζεται στο άπλετο φως και το άλλο ανέχεται το ελαττωμένο περιβάλλον του φωτός, το οποίο δημιουργείται από την σκιά των αναδυομένων ειδών. Η παραδοσιακή συγκαλλιέργεια αραβόσιτου / φασολιού είναι ένα πολύ καλό παράδειγμα.

✚ Έντομα με διαφορετική θηραματική προτίμηση. Σ' ένα καλλιεργητικό σύστημα μπορεί να συνυπάρχουν δύο παρόμοια παρασιτικά έντομα, αυτά όμως να παρασιτούν σε διαφορετικούς ξενιστές. Η εξειδίκευση ξενιστή – παράσιτου μπορεί να είναι ένας τρόπος διαφοροποίησης της οικοθέσης έτσι ώστε, η συνύπαρξη των ώριμων εντόμων να επιτρέπεται σε κάποιο άλλο σημείο του συστήματος καλλιέργειας.

✚ Πτηνά με διαφορετικές συμπεριφορές στη θήρευση και τη δημιουργία της φωλιάς. Σε ένα αγροοικοσύστημα αρκετά πτηνά – θηρευτές είναι δυνατό όλα τους να διατρέφονται με παρόμοια θηράματα. Όμως, εάν έχουν διαφορετικής συνήθειες φωλιάσματος και κατέχουν διαφορετικές θέσεις, ή εάν διατρέφονται σε διαφορετικές ώρες της ημέρας, μπορεί να συνυπάρχουν στο καλλιεργητικό σύστημα και να βοηθούν στον έλεγχο των επιβλαβών οργανισμών. Οι κουκουβάγιες και τα γεράκια είναι κάποια καλά παραδείγματα.

✚ Φυτά με διαφορετικές διατροφικές ανάγκες. Μικτοί πληθυσμοί άγριων φυτών μπορεί να συνυπάρξουν στην ίδια οικοθέση, λόγω των διαφορετικών

διατροφικών αναγκών, οι οποίες μπορεί να έχουν εξελιχθεί «συν τω χρόνω» για κάθε είδος, ως αποτέλεσμα του επιλεκτικού πλεονεκτήματος της αποφυγής του ανταγωνιστικού αποκλεισμού. Ένας πληθυσμός φυτών καλλιέργειας μπορεί να υποστεί λιγότερη αρνητική παρέμβαση από ένα μικτό πληθυσμό άγριων φυτών, απ' ό,τι ένας αντίστοιχος πληθυσμός από ένα κυρίαρχο άγριο είδος, με τα χαρακτηριστικά της οικοθέσης όντας παρόμοια με αυτά του φυτού καλλιέργειας.

Καθίσταται φανερό ότι, για να δημιουργηθεί η διαφοροποίηση της οικοθέσης, δρα η φυσική επιλογή, ξεχωρίζοντας κάποιο τμήμα της οικοθέσης του ενός πληθυσμού από αυτή ενός άλλου. Η διαφοροποίηση της οικοθέσης επιτρέπει να συμβεί μερική επικάλυψη των οικοθέσεων χωρίς αποκλεισμό.

Η έννοια της οικοθέσης, σε συνδυασμό με τη γνώση των οικοθέσεων των φυτών καλλιέργειας και των άγριων φυτών, μπορεί να αποτελέσει ένα σπουδαίο εργαλείο για τη διαχείριση του αγροοικοσυστήματος. Ένας αγρότης – παραγωγός μπορεί να αποκτήσει πλεονέκτημα με την επικάλυψη της οικοθέσης, ώστε να αποκλείσει ένα είδος που είναι επικίνδυνο για το αγροοικοσύστημα και επίσης, μπορεί να χρησιμοποιήσει την διαφοροποίηση της οικοθέσης, για να επιτύχει ένα συνδυασμό ειδών προς όφελος του συστήματος.

14.4. Εφαρμογές της θεωρίας της οικοθέσης στη γεωργία

Οι παραγωγοί σταθερά διαχειρίζονται όψεις των οικολογικών φωλεών των οργανισμών που καταλαμβάνουν στο καλλιεργητικό σύστημα, ακόμη και όταν οι περισσότεροι ποτέ δεν αναφέρονται άμεσα στην έννοια. Άπαξ όμως, και η έννοια γίνει κατανοητή, ως ένα χρήσιμο εργαλείο για τη διαχείριση του συστήματος, μπορεί να εφαρμοστεί με μια πλειάδα τρόπων, οι οποίοι κυμαίνονται από τη διασφάλιση των μέγιστων αποδόσεων μέχρι την κατανόηση της οικοθέσης του κύριου φυτού καλλιέργειας, ώστε να καθορίζεται τότε ένα μη καλλιεργούμενο είδος είναι πιθανό να προκαλέσει αρνητική παρέμβαση στο φυτό καλλιέργειας. Στη συνέχεια έπονται κάποια συγκεκριμένα παραδείγματα.

14.4.1. Εύνοια ή περιορισμός στην εγκατάσταση άγριων ειδών;

Οποιοδήποτε μέρος της επιφάνειας του εδάφους, το οποίο δεν καταλαμβάνεται από φυτά καλλιέργειας, υπόκειται στην εισβολή από άγρια, μη καλλιεργήσιμα είδη. Ειδικευμένα στο να είναι επιτυχημένα σ' αυτό που ονομάζουμε παραγωγικό περιβάλλον (δηλ. τους αγρούς), τα άγρια φυτά καταλαμβάνουν μια οικοθέση που ευνοεί τα είδη που παρουσιάζουν την r – στρατηγική ή τους σκληραγωγημένους πληθυσμούς των ετήσιων ποών. Στα καλλιεργητικά συστήματα με λιγότερη διαταραχή, όπου η συνολική φυτική βιομάζα υφίσταται λιγότερη αποκοπή ή απομάκρυνση, τα ανταγωνιστικά διετή ή πολυετή άγρια φυτά καθίστανται συνήθη. Κατά μια έννοια, η «σκληραγωγή» είναι ένα σχετικά εξειδικευμένο χαρακτηριστικό της οικοθέσης.

Η όψη του βιοτόπου της έννοιας της οικοθέσης μπορεί να χρησιμοποιηθεί για να μας καθοδηγήσει στην αντίληψη του τρόπου με τον οποίο οι περιβαλλοντικές συνθήκες ενός αγρού χειρίστηκαν, με αντικειμενικό σκοπό να προωθηθεί ή να εμποδιστεί η εγκατάσταση των ζιζανίων. Ο τύπος της τροποποίησης θα εξαρτηθεί από την εξειδίκευση της οικοθέσης του κάθε οργανισμού, σε σχέση με τα φυτά καλλιέργειας. Γνωρίζοντας τα χαρακτηριστικά της οικοθέσης των ζιζανίων, μπορούμε να αρχίσουμε με τον έλεγχο των συνθηκών των «ασφαλών σταθμών» που αντίκεινται στα

μειονεκτήματα των ζιζανίων. Επιπροσθέτως, μπορούμε να αναζητήσουμε να βρούμε κάποια κρίσιμη ή ευάλωτη φάση του βιολογικού κύκλου του πληθυσμού των ζιζανίων, στον οποίο μια συγκεκριμένη διαχειριστική πρακτική θα μπορούσε να εξαφανίσει ή να μειώσει τον πληθυσμό. Είναι δυνατόν επίσης, να προωθηθεί η αύξηση του πληθυσμού ενός ζιζανίου που θα μπορέσει να εμποδίσει άλλα ζιζάνια. Για παράδειγμα, η άγρια κράμβη (*Brassica* spp.) έχει μικρή αρνητική επίδραση στα φυτά καλλιέργειας, αλλά έχει την ικανότητα να μετατοπίσει, μέσω της παρέμβασης, άλλα ζιζάνια τα οποία είναι δυνατό να έχουν μια αρνητική επίδραση στα φυτά καλλιέργειας.

Είναι σημαντικό να έχουμε κατά νου ότι τα περισσότερα ζιζάνια είναι εποικιστές και εισβολείς και ότι οι αγροί των φυτών καλλιέργειας που κάθε έτος διαταράσσονται είναι οι βιότοποι που έχουν επιλεγεί ακριβώς γι αυτό. Η πρόκληση είναι να βρεθεί ένας τρόπος για να ενσωματωθούν αυτές οι οικολογικές έννοιες στο σχέδιο διαχείρισης, στο οποίο οι σχεδιασμένες δραστηριότητες, όπως π.χ. η καλλιέργεια, συγχρονίζονται ή ελέγχονται με τέτοιο τρόπο, ώστε η οικοθέση των ζιζανίων να μπορεί να καταλαμβάνεται από περισσότερο επιθυμητά είδη.

14.4.2. Βιολογικός έλεγχος των επιβλαβών εντόμων

Ο κλασικός βιολογικός έλεγχος αποτελεί ένα έξοχο παράδειγμα χρήσης της έννοιας της οικοθέσης. Ένας ωφέλιμος οργανισμός εισάγεται στο αγροοικοσύστημα με σκοπό να καταλάβει μια κενή οικοθέση. Πιο απλά, ένα θηρευτικό ή παρασιτικό είδος εισάγεται στο σύστημα της καλλιέργειας από το οποίο απουσίαζε, με σκοπό να ασκήσει αρνητική πίεση στον πληθυσμό ενός συγκεκριμένου θηράματος ή ενός ξενιστού, ο οποίος, λόγω της απουσίας του ωφέλιμου οργανισμού, ήταν ικανό να φτάσει σε επίπεδα προσβολής ή ασθένειας.

Ευχής έργο είναι ότι, άπαξ και ο επωφελής οργανισμός εισαχθεί στο σύστημα της φυτικής καλλιέργειας, αυτός να είναι ικανός να ολοκληρώσει τον πλήρη βιολογικό του κύκλο και να αναπαραχθεί σε αρκετά μεγάλους αριθμούς, ώστε να καταστεί μόνιμο μέλος του αγροοικοσυστήματος. Όμως, πολύ συχνά, οι συνθήκες της οικοθέσης στην οποία εισάγεται το ωφέλιμο είδος, δεν ανταποκρίνονται στις απαιτήσεις του για μια μακρόχρονη επιβίωση και για μια επαρκή αναπαραγωγή, με τελική κατάληξη η επανεισαγωγή του στο σύστημα να είναι απαραίτητη. Αυτό επαληθεύεται ιδιαίτερα, στο συνεχώς μεταβαλλόμενο γεωργικό περιβάλλον με υψηλή διαταραχή και κανονική διαφοροποίηση των χαρακτηριστικών της οικοθέσης, στο οποίο χρειάζεται να διατηρηθούν μόνιμοι πληθυσμοί, τόσο των επιβλαβών, όσο και των επωφελών εντόμων.

Μια άλλη πιθανή χρήση της οικοθέσης στον βιολογικό έλεγχο είναι η εισαγωγή ενός άλλου οργανισμού, ο οποίος έχει μεν μια οικοθέση παρόμοια με αυτή του ανωφελούς είδους αλλά, εμφανίζει μια λιγότερο αρνητική επίδραση στην καλλιέργεια. Για παράδειγμα, ο εισαχθείς φυτοφάγος οργανισμός μπορεί να τρέφεται από ένα τμήμα του φυτού που δεν έχει οικονομική σημασία. Εάν αυτός κατέχει μια οικοθέση αρκετά παρόμοια με το επιβλαβές είδος – στόχο, είναι ικανός να το απομακρύνει. Παρόμοια εφαρμογή θα μπορούσε να υπάρξει και για τα ζιζάνια.

14.4.3. Σχεδιασμός των συγκαλλιερητικών συστημάτων

Όταν δύο ή περισσότεροι διαφορετικοί πληθυσμοί φυτών καλλιέργειας φυτεύονται μαζί για να δημιουργήσουν ένα οικοσύστημα συγκαλλιέργειας και οι προκύπτουσες αποδόσεις των συνδυασμένων πληθυσμών είναι μεγαλύτερες από

εκείνες που θα προέκυπταν εάν οι πληθυσμοί φυτεύονταν ξέχωρα, είναι πολύ πιθανό ότι οι αυξήσεις των αποδόσεων θα είναι αποτέλεσμα της συμπληρωματικότητας των χαρακτηριστικών της οικοθέσης των πληθυσμών που συμμετέχουν. Για να είναι επιτυχημένα τα συστήματα συγκαλλιέργειας πρέπει κάθε είδος να καταλαμβάνει μια τρόπον τινά διαφορετική οικοθέση. Συνεπώς, η πλήρης γνώση των χαρακτηριστικών της οικοθέσης του κάθε είδους είναι ουσιώδης. Σε κάποιες συγκαλλιεργητικές περιπτώσεις, κάθε είδος καταλαμβάνει στο σύστημα μια πλήρως μη συσχετιζόμενη ή άλλως πως μη καταλαμβανόμενη οικοθέση, κατάσταση που οδηγεί στην συμπληρωματικότητα της οικοθέσης. Όμως, στις περισσότερες περιπτώσεις, οι οικοθέσεις των ειδών μελών της συγκαλλιέργειας υπερκαλύπτονται και η παρεμβολή στο επίπεδο μεταξύ των ειδών είναι ολιγότερο έντονο από την παρεμβολή στο επίπεδο μέσα στο αυτό είδος.

Πίνακας 14.2. Χαρακτηριστικά πληθυσμών καλλιεργούμενων φυτών, μη καλλιεργούμενων φυτών και των φυσικών ειδών

	Πληθυσμός καλλιεργούμενων φυτών	Πληθυσμός μη καλλιεργούμενων φυτών	Πληθυσμός φυσικών ειδών
Διασπορά	Μικρή ή καμία	Πολύ σημαντική	Σημαντική
Εποικισμός	Εισροή φύτρου που αποχωρίζεται από την εκροή	Πολύ σημαντική μετανάστευση	Τα περισσότερα φύτρα από ντόπιους πληθυσμούς
Ζωτικότητα σπόρου	Υψηλή	Υψηλή	Ποικίλη
Σποροβροχή	Ελεγχόμενη	Σχετικά ομοιογενής	Κατά τμήματα
Εδαφικό περιβάλλον	Ομοιογενής	Ομοιογενής	Ανομοιογενής
Λήθαργος σπόρων	Καμία, ο σπόρος δεν είναι μέρος της τράπεζας σπόρων	Ποικίλος, παρούσα η τράπεζα σπόρων	Κοινός, παρούσα η τράπεζα σπόρων
Σχέσεις ηλικίας	Συχνά ομήλικη, σύγχρονη	Ως επί το πλείστον ομήλικη, σύγχρονη	Ηλικία ποικίλλουσα, ως επί το πλείστον ασύγχρονη
Παρεμβολή μέσα στα είδη	Ελαττωμένη	Μπορεί να είναι έντονη	Μπορεί να είναι έντονη
Πυκνότητα σπόρου	Χαμηλή και ελεγχόμενη	Συνήθως αρκετά υψηλή	Ποικίλη
Πυκνοεξαρτημένη θνησιμότητα	Μικρή ή καμία	Σημαντική	Σημαντική
Παρεμβολή μεταξύ των ειδών	Ελαττωμένη	Πολύ σημαντική	Σπουδαία
Αναπαραγωγική κατανομή	Πολύ υψηλή	Πολύ υψηλή	Χαμηλή
Γενετική ποικιλότητα	Συνήθως πολύ ομοιόμορφη	Σχετικά ομοιόμορφη	Συνήθως διαφορετική
Στρατηγικές βιολογικού κύκλου	Μέτρια r - επιλογής	r, C, και K - επιλογής	R, και K - επιλογής

Πηγή: Προσαρμογή από τον Weiner (1990).

Συνεπώς, η επιτυχημένη διαχείριση των μιγμάτων των φυτών καλλιέργειας εξαρτάται από τη γνώση της δυναμικής του κάθε μέλους του συνολικού πληθυσμού, όπως επίσης και από τα ειδικά χαρακτηριστικά της οικοθέσης του. Μια τέτοια γνώση λοιπόν, δημιουργεί τη βάση της διαχείρισης της συγκαλλιέργειας ως μια κοινότητα πληθυσμών, ένα επίπεδο αγροοικολογικής διαχείρισης το οποίο θα μας απασχολήσει στο δέκατο έκτο κεφάλαιο του βιβλίου.

14.5. Η Οικολογία των πληθυσμών κάτω από το πρίσμα των καλλιεργούμενων φυτών

Στο κεφάλαιο αυτό εστιάσαμε το ενδιαφέρον μας στους πληθυσμούς μέσα στο πλαίσιο του περιβάλλοντός τους. Εξετάσαμε σημαντικές ομοιότητες και διαφορές ανάμεσα στους πληθυσμούς των καλλιεργούμενων φυτών, των μη καλλιεργούμενων φυτών και των φυσικών ειδών. Μερικά από αυτά τα χαρακτηριστικά, μαζί με κάποια συμπληρωματικά που έχουν στενή σχέση με αυτά, συνοψίζονται στον **Πίνακα 14.2**.

Το να γνωρίζουμε τα χαρακτηριστικά αυτά είναι ιδιαίτερα σημαντικό γεγονός, στην προσπάθειά μας να ανακαλύψουμε σε οικολογική βάση, τις στρατηγικές διαχείρισης για τα μη καλλιεργούμενα είδη, τα οποία αποτελούν ταυτόχρονα φυτά ανεπιθύμητα για τις καλλιέργειες (ζιζάνια). Τα φυτά αυτά έχουν διατηρήσει μερικά από τα χαρακτηριστικά των πληθυσμών των άγριων και φυσικών οικοσυστημάτων, όπως π.χ. την ικανότητα διασποράς, την ισχυρή ικανότητα παρεμβολή μέσα και ανάμεσα στα είδη, το λήθαργο, αλλά μέσα από μια σειρά άλλων προσαρμογών, όπως π.χ. την υψηλή ζωτικότητα σπόρων, την δομή των ομήλικων πληθυσμών, την υψηλή κατανομή αναπαραγωγής, τη στενότερη γενετική ποικιλότητα, και έχουν προσαρμοστεί σε συνθήκες διαταραχής και μεταβολής του περιβάλλοντος, πολύ κοινές στα αγροοικοσυστήματα, ειδικότερα μάλιστα σ' εκείνα τα συστήματα που αναφέρονται στα ετήσια καλλιεργούμενα φυτά. Η ικανότητα των ζιζανίων να παρεισφρήσουν στα αγροοικοσυστήματα, θέτει ισχυρές προκλήσεις για τη διαχείριση του αγροοικοσυστήματος.

Κάθε είδος εμφανίζει συγκεκριμένες στρατηγικές, οι οποίες διασφαλίζουν ότι τα άτομα του πληθυσμού του είδους αυτού θα ολοκληρώσουν με επιτυχία τον βιολογικό τους κύκλο, με συνέπεια οι πληθυσμοί του είδους αυτού να καθίστανται ικανοί να διατηρούν μέσα στη ροή του χρόνου, μια μόνιμη παρουσία σε ένα συγκεκριμένο βίοτοπο. Όταν εφαρμόζονται οι αρχές της οικολογίας των πληθυσμών, τότε αυτές βοηθούν τον αγρότη – παραγωγό να αποφασίζει πότε και πως θα εκμεταλλευθεί τη συγκεκριμένη στρατηγική του βιολογικού κύκλου κάθε είδους ώστε, ανάλογα με το ρόλο που παίζει το είδος αυτό στο αγροοικοσύστημα, να προωθήσει ή να περιορίσει την αύξηση του πληθυσμού των ειδών. Οι διαχειριστές των αγροοικοσυστημάτων και οι ερευνητές χρειάζεται να οικοδομήσουν πάνω στις έννοιες της οικολογίας των πληθυσμών, έννοιες όπως είναι η ασφαλής θέση, οι στρατηγικές της r- και K- επιλογής και της οικοθέσης, ώστε να αναπτύξουν επιπρόσθετες τεχνικές και αρχές για μια αποτελεσματική αλλά και αειφορική διαχείριση των οργανισμών των καλλιεργούμενων και μη φυτών.

14.6. Προτεινόμενη συμπληρωματική βιβλιογραφία

Grime, J. R. 1979. *Plant strategies and Vegetative processes*. John Wiley and Sons: New York.

Harper, J. L. 1977. *Population Biology of Plants*. Academic Press: London.

Κανδρέλης, Σ. Σ. 2000. *Οικολογία Πληθυσμών*. Αρτα.

Radisevich, S. R. and J. S. Holt. 1984. *Weed Ecology: Implications for Vegetation Management*. John Wiley and Sons: New York.

Silvertown, J. W. 1987. *Introduction to Plant Population Ecology*. Second Edition. Longman: London.

Van der Pijl, L. 1972. *Principles of Dispersal in Higher Plants*. Second Edition. Springer – Verlag: Berlin.

Κεφάλαιο Δέκατο

Πέμπτο

Οι γενετικοί πόροι στα αγροοικοσυστήματα

15.1. Γενικά

Η Γεωργία προέκυψε αμέσως μόλις οι ανθρώπινοι πολιτισμοί εντατικοποίησαν τη χρήση και τη φροντίδα τους για συγκεκριμένα φυτά και ζώα, για τα οποία παρατήρησαν ότι παρουσιάζουν κάποια αξία για τους ανθρώπους. Κατά τη διάρκεια της διαδικασίας αυτής, οι άνθρωποι επέλεξαν τους χρήσιμους αυτούς οργανισμούς για κάποια συγκεκριμένα χαρακτηριστικά και ποιότητες, τροποποιώντας τη γενετική τους κατασκευή μέσα στο χρόνο. Έτσι, η ικανότητά των ειδών να παράγουν εδώδιμη βιομάζα αυξήθηκε, μειώθηκε όμως, η ικανότητά τους να επιβιώνουν χωρίς την ανθρώπινη παρέμβαση. Οι άνθρωποι έφτασαν στο σημείο να εξαρτώνται από τα εξημερωμένα αυτά είδη για τροφή, τρόφιμα και ίνες και τα περισσότερα από αυτά κατέστησαν πλήρως εξαρτώμενα από τους ανθρώπους.

Στο μεγαλύτερο τμήμα της ανθρώπινης ιστορίας, οι άνθρωποι χειρίστηκαν το γενετικό υλικό των καλλιεργούμενων φυτών χωρίς να έχουν απόλυτη γνώση της γενετικής των φυτών. Οι γεωργοί απλά επέλεγαν τους σπόρους των φυτών ή διασταύρωναν τα ζώα από τα άτομα ή τους πληθυσμούς που εμφάνιζαν τα πλέον επιθυμητά χαρακτηριστικά. Και αυτό ήταν αρκετό για να κατευθύνουν την εξέλιξη των εξημερωμένων ειδών. Βαθμιαίως, η διασταύρωση των φυτών και των ζώων αναπτύχθηκε ως επιστήμη, καθώς μάθαμε περισσότερα για τη γενετική βάση της επιλογής και αυτή άρχισε να κατευθύνεται προς όφελός μας πιο εξειδικευμένα. Σήμερα, τα πεδία της βιοτεχνολογίας και της γενετικής μηχανικής εξελίσσονται με γρήγορους ρυθμούς, με τους ανθρώπους να χειρίζονται πλέον τα γένη των εξημερωμένων ειδών και να καθιστούν δυνατή την ενσωμάτωση χαρακτηριστικών στα φυτά και τα ζώα, με τέτοιο τρόπο και τέτοιους ρυθμούς που κάποτε ήταν απίστευτοι.

Από τη σκοπιά της αιφορικότητας όμως, η κατεύθυνση των προσπαθειών διασταύρωσης των καλλιεργούμενων ειδών των περασμένων δεκαετιών, αλλά και οι κατευθύνσεις που προτείνονται για το μέλλον, προκαλούν ένα βαθύ ενδιαφέρον. Η γενετική βάση της γεωργίας έχει στενέψει σε επικίνδυνο σημείο, καθώς οι ανθρώπινες κοινωνίες έχουν καταστεί σε αυξημένο βαθμό εξαρτημένες από λίγα είδη καλλιεργούμενων φυτών και σε ακόμη μικρότερο αριθμό γενών και γενετικών συνδυασμών που ανευρίσκονται στα είδη αυτά. Τα φυτά καλλιέργειας έχουν χάσει μεγάλο μέρος της γενετικής τους βάσης, σε ότι αφορά την αντίστασή τους στις προσβολές και τις ασθένειες και την ικανότητά τους να υπομένουν σε δύσκολες περιβαλλοντικές συνθήκες, γεγονός που συχνά οδηγεί σε αποτυχία των εκμεταλλεύσεων και αυξημένη εξάρτηση στις ανθρωπογενείς εισροές και τις τεχνολογίες για τη διατήρηση των συνθηκών άριστης αύξησης. Επιπλέον, οι γενετικοί πόροι, πέρα από αυτά καθαυτά τα φυτά καλλιέργειας, (άγριοι συγγενείς φυτών καλλιέργειας, παραδοσιακά καλλιεργούμενες ποικιλίες, γενετικές γραμμές και αποθέματα διασταύρωσης), έχουν ελαττωθεί σε μεγάλο βαθμό.

Η σχέση μεταξύ της γενετικής και της γεωργίας αποτελεί ένα τεράστιο θέμα. Γι αυτό άλλωστε, στο κεφάλαιο αυτό θα εξετάσουμε μόνο ένα μικρό μέρος της σχέσης αυτής, εστιάζοντας το ενδιαφέρον μας κυρίως, πάνω στα βασικά στοιχεία που απαιτούνται για την κατανόηση του ρόλου της γενετικής ποικιλότητας με κατεύθυνση την αιφορικότητα στη γεωργία. Θα εξετάσουμε την γενετική αλλαγή στη φύση και πως αυτή καταλήγει στη γενετική ποικιλότητα, αναδεικνύοντας τις διαδικασίες που οι άνθρωποι χρησιμοποιούν για να κατευθύνουν και να χειριστούν τη γενετική αλλαγή στα φυτά καλλιέργειας, και θα συζητήσουμε με ποιο τρόπο οι γενετικοί πόροι των φυτών καλλιέργειας πρέπει να διαχειρίζονται στο σύνολο, στο επίπεδο του αγροοικοσυστήματος. Περισσότερα στοιχεία που αφορούν τα κοινωνικά και οικονομικά θέματα που αναφέρονται στην διασταύρωση και τον έλεγχο των φυτών καλλιέργειας, σε σχέση με το γενετικό υλικό, ο αναγνώστης θα βρει στο τέλος του κεφαλαίου, στην προτεινόμενη σχετική βιβλιογραφία.

15.2. Οι γενετικές αλλαγές στη φύση και η παραγωγή της γενετικής ποικιλότητας

Από τη σκοπιά του γεωλογικού χρόνου, η πανίδα και η χλωρίδα της γης αλλάζουν σταθερά. Τα φυσικά χαρακτηριστικά αλλά και η συμπεριφορά των ειδών αλλάζουν, νέα είδη εμφανίζονται και άλλα οδηγούνται στην εξαφάνιση. Η αλλαγή αυτή, την οποία ονομάζουμε εξέλιξη, κατέστη δυνατή με τον τρόπο κατά τον οποίο τα χαρακτηριστικά πέρασαν από τους γονείς στους απογόνους και καθοδηγήθηκαν από τις αλλαγές που εμφανίστηκαν στις περιβαλλοντικές συνθήκες. Καθώς οι εποχές του πάγου έρχονταν και παρήρχονταν, οι ήπειροι μετακινούνταν, και τα όρη ανυψώνονταν και διαβρώνονταν, οι ζωντανοί οργανισμοί ανταποκρίνονταν σε όλες αυτές τις αλλαγές. Μέσα από τη φυσική επιλογή, το μεταβαλλόμενο και συνεχώς αλλάζον περιβάλλον επιδρούσε στα γονίδια των ειδών, προκαλώντας σ' αυτά αλλαγές από γενεά σε γενεά.

Η φυσική επιλογή δημιούργησε τη γενετική ποικιλότητα που συναντάμε στη φύση, την πρώτη ύλη δηλαδή με την οποία οι άνθρωποι εργάστηκαν για να εξημερώσουν τα φυτά και τα ζώα και να δημιουργήσουν τα αγροοικοσυστήματα. Συμπερασματικά, μπορούμε να πούμε ότι είναι πολύ σημαντικό να κατανοήσουμε πως λειτουργεί η φυσική επιλογή και πως αυτή εφαρμόζεται στην καθοδηγούμενη από τον άνθρωπο γενετική αλλαγή και συντήρηση των γεωργικών γενετικών πόρων.

15.2.1. Η έννοια της προσαρμογής

Η έννοια της προσαρμογής αποτελεί τη βάση για την κατανόηση της φυσικής επιλογής, διότι αυτή συσχετίζει το περιβάλλον με τα χαρακτηριστικά ενός είδους. Ο όρος αναφέρεται τόσο στη διαδικασία, όσο και στα χαρακτηριστικά που προκύπτουν από τη διαδικασία αυτή. Σε στατικούς όρους, η προσαρμογή αποτελεί κάθε αντίδραση του οργανισμού ή των μερών του, η αξία της οποίας έγκειται στο γεγονός ότι επιτρέπει στον οργανισμό να αντιπαρέχεται τις δυσμενείς και μη συνθήκες του περιβάλλοντος. Μια προσαρμογή πρέπει:

- ✚ να καθιστά ένα οργανισμό ικανό, ώστε να χρησιμοποιεί καλύτερα τους πόρους,
- ✚ να του παρέχει προστασία από τις περιβαλλοντικές κακουχίες και τις πιέσεις,
- ✚ να τροποποιεί τα τοπικά περιβάλλοντα προς όφελος του οργανισμού, και
- ✚ να διευκολύνει την αναπαραγωγή.

Κάθε οργανισμός που υπάρχει στη φύση πρέπει να εμφανίζει ένα μεγάλο εύρος προσαρμογών, έτσι ώστε να μπορεί να επιβιώνει. Θεωρητικά, όλες σχεδόν οι συμπεριφορές και τα φυσικά χαρακτηριστικά ενός οργανισμού είναι προϊόντα προσαρμογής. Με άλλα λόγια, ένας οργανισμός που υπάρχει στη φύση ως σύνολο, είναι πάντοτε προσαρμοσμένος στο περιβάλλον του, σε οποιαδήποτε χρονική στιγμή.

Οι προσαρμογές όμως που αποκτήθηκαν από ένα συγκεκριμένο είδος, δεν παραμένουν οι ίδιες για μακρές χρονικές περιόδους, διότι το περιβάλλον αλλάζει πάντοτε και οι οργανισμοί συνεχώς προσαρμόζονται. Επίσης, και η διαδικασία με την οποία οι προσαρμογές αλλάζουν μέσα στο χρόνο ονομάζεται προσαρμογή, και αυτή γίνεται καλύτερα κατανοητή μέσα από τους όρους της φυσικής επιλογής.

15.2.2. Ποικιλομορφία και φυσική επιλογή

Τα ανεξάρτητα άτομα – μέλη των εγγενώς πολλαπλασιαζόμενων ειδών δεν είναι ταυτόσημα το ένα με το άλλο. Η ποικιλομορφία που υπάρχει μεταξύ των ανθρώπων καθρεπτίζεται και σε άλλα είδη, παρότι εμείς μπορεί να μην είμαστε ικανοί να το διακρίνουμε αυτό. Η φυσική αυτή ποικιλομορφία υφίσταται τόσο στο επίπεδο του γονότυπου – η γενετική πληροφόρηση που μεταφέρεται από κάθε άτομο – όσο και στο επίπεδο του φαινοτύπου – η φυσική έκφραση και συμπεριφορά του γενοτύπου.

Όταν εξετάσουμε έναν αριθμό ανεξάρτητων ατόμων, οποιοδήποτε πληθυσμού, γρήγορα επιβεβαιώνεται η ύπαρξη μιας φαινοτυπικής ποικιλομορφίας. Οποιοδήποτε χαρακτηριστικό, από τον αριθμό των φύλλων ενός φυτού μέχρι το μήκος της ουράς ενός ζώου, παρουσιάζει ένα εύρος ποικιλομορφίας. Και εάν την ποικιλομορφία σε κάθε χαρακτηριστικό την περιγράψαμε ως μια συχνότητα κατανομής, για κάθε χαρακτηριστικό παρουσιάζεται μια μέση αξία ή ένας τρόπος. Αυτή η συχνότητα κατανομής θα έτεινε να ακολουθήσει μια κανονική καμπύλη πιθανότητας (κωνοειδής καμπύλη). Κάποιοι πληθυσμοί επιδεικνύουν ένα πολύ στενό εύρος μεταβολών, ενώ κάποια άλλα ένα μεγαλύτερο. Μολονότι η φαινοτυπική πολυμορφία δεν συσχετίζεται άμεσα με την γονοτυπική πολυμορφία, αυτή συνήθως έχει μια σημαντική γονοτυπική βάση.

Η γενετική ποικιλομορφία στα είδη οφείλεται κυρίως στη φύση της αντιγραφής του DNA. Το DNA δεν αντιγράφεται πάντοτε, εντελώς αυτούσιο. Σφάλματα διαφορετικών τύπων, τα καλούμενα και **μεταλλάξεις**, συμβαίνουν πάντοτε, και μάλιστα με κάποια συχνότητα. Αφού λοιπόν, το προαπαιτούμενο της αναπαραγωγής είναι η αντιγραφή του DNA, σταθερά θα προκύπτουν νέα άτομα με μεταλλάξεις. Μολονότι, κάποιες από τις μεταλλάξεις είναι θανάσιμες, κάποιες είναι καταστρεπτικές, κάποιες

είναι ουδέτερες και μόνο λίγες είναι ευνοϊκές, όλες τους αντιπροσωπεύουν κάποια γενετική διαφορά και κατά συνέπεια, εμφανίζουν γενετική ποικιλότητα. Οι περισσότερες μεταλλάξεις αποτελούν απλές αλλαγές της νουκλεϊνικής ακολουθίας των μορίων του DNA. Από μόνες τους είναι δυνατόν να μην παρουσιάζουν καμία επίδραση, αλλά εάν συσσωρευτούν μέσα στο χρόνο, είναι δυνατό να οδηγήσουν σε καταστροφικές αλλαγές, όπως για παράδειγμα, μεγαλύτεροι καρποί, αντοχή στο ψύχος.

Η ποικιλομορφία παράγεται επίσης, και από τον εγγενή πολλαπλασιασμό. Όταν δύο άτομα αναπαράγονται εγγενώς, τα γονίδια του καθενός κατανέμονται σε διαφορετικούς γαμέτες (κύτταρα φύλου) και το γενετικό υλικό που μεταφέρεται στους γαμέτες αναμιγνύεται με καινοφανείς τρόπους, καθώς κατά τη διάρκεια της γονιμοποίησης συνδυάζονται οι γαμέτες. Η ποικιλότητα εισάγεται επίσης και κατά τη διάρκεια της μείωσης (σχηματισμός των γαμετών), τη στιγμή δηλαδή που τα χρωμοσώματα διαλύονται ή μετατοπίζονται, ή όταν τα ομόλογα χρωμοσώματα αποτυγχάνουν να διαχωριστούν στην πρώτη μειωτική διαίρεση.

Αυτό το τελευταίο είδος «σφάλματος», δημιουργεί γαμέτες με δύο αντίγραφα του κάθε χρωμοσώματος (διπλοειδία), αντί του κανονικού ενός (απλοειδία). Εάν ένας από τους δύο αυτούς διπλοειδείς γαμέτες ενωθεί με ένα κανονικό απλοειδή γαμέτη, θα προκύψει ένα ζυγωτό με τριπλάσιο αριθμό απλοειδών χρωμοσωμάτων και όταν ένα άλλο ενωθεί με έναν άλλο μη μειωμένο διπλοειδή γαμέτη, θα σχηματιστεί ένα ζυγωτό με τετραπλάσιο αριθμό απλοειδών χρωμοσωμάτων. Αυτού του είδους οι αυξήσεις στον αριθμό των χρωμοσωμάτων αντιπροσωπεύει μια άλλη πηγή γενετικής ποικιλότητας. Φυτά με περισσότερα χρωμοσώματα από τον διπλοειδή αριθμό ονομάζονται **πολυπλοειδή**. Τυπικά, έχουν διαφορετικά χαρακτηριστικά από τα αντίστοιχα διπλοειδούς προέλευσης και στη φύση εμφανίζονται πολύ συχνά.

Εξαιτίας της φυσικής γενετικής ποικιλότητας, κάποια από τα άτομα ενός πληθυσμού θα έχουν χαρακτηριστικά που δεν ανευρίσκονται σε κάποια άλλα, ή θα εκφράσουν ένα συγκεκριμένο χαρακτηριστικό σε μεγαλύτερο ή μικρότερο βαθμό από κάποια άλλα. Τα χαρακτηριστικά αυτά μπορεί να δώσουν στα άτομα που τα φέρουν συγκεκριμένα πλεονεκτήματα, πλεονεκτήματα που θα τα βοηθήσουν στην διαβίωσή τους. Τα άτομα αυτά μπορεί να μεγαλώνουν ταχύτερα, να επιβιώνουν σε μεγαλύτερους αριθμούς ή να εμφανίζουν περισσότερα αναπαραγωγικά πλεονεκτήματα. Εξαιτίας των παραγόντων αυτών, μπορεί να αφήσουν περισσότερους απογόνους από κάποια άλλα, με συνέπεια να αυξήσουν την αντιπροσώπευση του γενετικού τους υλικού στον συνολικό πληθυσμό. Συνεπώς, μέσα από μια τέτοια διαδικασία διαφορετικής αναπαραγωγικής επιτυχίας, ένα είδος μέσα στο πέρασμα του χρόνου διέρχεται την γενετική του αλλαγή.

Η κατεύθυνση και ο τρόπος της αλλαγής αυτής καθορίζεται από την **φυσική επιλογή**, δηλαδή από τη διαδικασία μέσω της οποίας οι περιβαλλοντικές συνθήκες καθορίζουν ποια χαρακτηριστικά θα συνεισφέρουν ένα πλεονέκτημα και ως εκ τούτου στον πληθυσμό αυξάνονται σε συχνότητα. Εάν το περιβάλλον στο οποίο ένας πληθυσμός έζησε, ήταν στο σύνολό του άριστο και δεν άλλαξε ποτέ, η γενετική αλλαγή θα συμβεί, αλλά δεν θα είναι η φυσική επιλογή που θα κατευθύνει την γενετική αλλαγή. Οι περιβαλλοντικές συνθήκες όμως, αλλάζουν πάντοτε και ποτέ αυτές δεν είναι άριστες για ένα μεγάλο χρονικό διάστημα, οπότε, η φυσική επιλογή θα επενεργήσει σε κάποιο επίπεδο. Εκτός από τις μακροχρόνιες αλλαγές των περιβαλλοντικών παραγόντων, όπως π.χ. το κλίμα, η φυσική επιλογή καθοδηγείται από τις αλλαγές που εμφανίζονται στο περιβάλλον, όπως είναι, η αύξηση του πληθυσμού των άλλων ειδών, η εμφάνιση νέων ειδών με τη μετανάστευση, η εξέλιξη των θηρευτών και των φυτοφάγων, οι αλλαγές στους μικρο-βιοτόπους λόγω της διάβρωσης, η εγκατάσταση, η διαδοχή και φυσικά και κάποιες άλλες διαδικασίες.

Η φυσική επιλογή επιδρά πάνω στους πληθυσμούς και όχι πάνω στο είδος. Εάν ένας πληθυσμός ειδών καταστεί αναπαραγωγικά απομονωμένος από τα υπόλοιπα είδη, εάν δηλαδή κάποια φυσικά εμπόδια εμποδίζουν τα μέλη του να διασταυρωθούν με τα μέλη άλλων πληθυσμών, ο πληθυσμός αυτός θα διέλθει μέσα από μια γενετική αλλαγή με μοναδικό τρόπο. Επειδή μέσα στον χωροχρόνο το περιβάλλον δεν είναι ποτέ ομοιογενές, ένας απομονωμένος πληθυσμός θα υποβληθεί, κατά κάποιο τρόπο, σε διαφορετικές επιλογικές πιέσεις από τους άλλους πληθυσμούς του ίδιου είδους. Η τάση συνεπώς είναι, διαφορετικοί πληθυσμοί να εξελίσσονται διαφορετικά. Από βιογεωγραφική άποψη, τα είδη καθίστανται ένα μωσαϊκό πληθυσμών, καθένα από τα οποία έχει μοναδικά, φυσιολογικά και μορφολογικά χαρακτηριστικά, γενετικής προέλευσης. Κάθε διακριτός πληθυσμός θεωρείται ως ένας **οικότυπος**. Μέσα στον εξελικτικό χρόνο, ένας οικότυπος μπορεί να καταστεί αρκούντως διακριτός από τους άλλους οικότυπους του αυτού είδους, ώστε πολλές φορές να θεωρείται ένα διακριτό είδος με το δικό του δικαίωμα.

Οι εξελικτικές διαδικασίες που προκαλούν την ανάπτυξη των οικότυπων και καθοδηγούν την εξειδίκευση, διαφοροποιούν σε σταθερή συχνότητα τη γενετική βάση της πανίδας και της χλωρίδας του πλανήτη. Μολονότι κάποια είδη εξαφανίζονται, νέα είδη εμφανίζονται εξελικτικά και τα γονιδιώματα πολλών υφιστάμενων ειδών καθίστανται χρόνο με το χρόνο περισσότερο ποικίλα. Σήμερα, ένας από τους μεγαλύτερους φόβους μας είναι, ότι η ανθρώπινη δραστηριότητα, συμπεριλαμβανομένης της γεωργίας, μεταβάλλει εκ βάθρων τη διαδικασία αυτή. Η εκ μέρους μας αποδόμηση, αλλοτρίωση και απλοποίηση των φυσικών βιοτόπων αυξάνει σε μεγάλους ρυθμούς την εξαφάνιση και την εκμηδένιση των οικότυπων, έτσι ώστε, η φυσική γενετική ποικιλότητα και η πιθανότητα ανανέωσής της να διαβρώνεται (Wilson 1992).

15.3. Κατευθυνόμενη επιλογή και εξημέρωση

Η γενετική αλλαγή σ' ένα γεωργικό χώρο είναι πολύ διαφορετική από τη γενετική αλλαγή που εμφανίζεται στους φυσικούς πληθυσμούς. Οι άνθρωποι κατασκευάζουν και χειρίζονται τα περιβάλλοντα στα οποία τα γεωργικά είδη ζουν, αυξάνονται και αναπαράγουν, δημιουργώντας τοιούτοτρόπως ένα εντελώς διαφορετικό σύνολο επιλεκτικών πιέσεων γι αυτά. Οι άνθρωποι καθορίζουν ποια χαρακτηριστικά είναι περισσότερο επιθυμητά και επιλέγουν τα χαρακτηριστικά αυτά για τον τρόπο που καλλιεργούν και πολλαπλασιάζουν τα είδη. Επειδή οι άνθρωποι «κατευθύνουν» τις γενετικές αλλαγές στους γεωργικούς πληθυσμούς, η διαδικασία με την οποία συμβαίνουν αυτές οι γενετικές αλλαγές ονομάζεται **κατευθυνόμενη επιλογή**.

Σήμερα τα γεωργικά είδη έχουν εξημερωθεί μεταβάλλοντας βαθμιαία το περιεχόμενό τους, τόσο στα φυσικά συστήματα στα οποία κυριαρχούνται από τη φυσική επιλογή, όσο και στα ελεγχόμενα από τον άνθρωπο συστήματα στα οποία λειτουργεί η κατευθυνόμενη επιλογή. Πριν από 10.000 έως 12.000 έτη οι άνθρωποι δεν δημιουργούσαν αυστηρά ελεγχόμενα αγροκτήματα, όπως συμβαίνει σήμερα. Φρόντιζαν ασφαλώς, κάποια συγκεκριμένα είδη που υπήρχαν με απόλυτη φυσική παρουσία, είτε τροποποιώντας τους βιοτόπους τους, είτε διευκολύνοντας την αναπαραγωγή τους, είτε ελέγχοντας τους ανταγωνιστές τους και σποραδικά μετακινώντας τα σε περισσότερο κατάλληλες θέσεις. Στα συστήματα αυτά, η φυσική επιλογή είχε ακόμη ένα σημαντικό ρόλο να παίζει, διότι η ανθρώπινη παρέμβαση δεν ήταν άκρως επαρκής, ώστε να υπερκεράσει το γεγονός ότι τα χρήσιμα είδη έπρεπε ακόμη να επιβιώσουν από τις δυσκολίες του φυσικού περιβάλλοντος.

Όταν οι άνθρωποι κατέστησαν ικανότεροι στο να τροποποιούν, να διαχειρίζονται και να ελέγχουν το περιβάλλον στο οποίο εμφανίζονταν τα χρήσιμα για αυτούς είδη, έτσι, χωρίς πρόθεση, άρχισαν να επιλέγουν είδη για τα ιδιαίτερα χρήσιμα χαρακτηριστικά. Η ενέργεια αυτή αποτέλεσε τη διαδικασία της **εξημέρωσης**. Καθώς όμως η εξημέρωση προχωρούσε, η επιλογή γινόταν σε μεγαλύτερο βαθμό από πρόθεση, με τους πρώτους γεωργούς να επιλέγουν σπόρους από τα φυτά που έδιναν μεγαλύτερες και περισσότερο προβλέψιμες αποδόσεις. Μέσα από τη διαδικασία της εξημέρωσης το αποτέλεσμα της διαλογής του φυσικού περιβάλλοντος έγινε λιγότερο σημαντικό και η κατευθυνόμενη επιλογή ανέλαβε να παίζει ένα μεγαλύτερο ρόλο. Προφανώς, τα γεωργικά είδη έφτασαν σ' ένα τέτοιο σημείο, στο οποίο η γενετική τους ανασύσταση έχει τροποποιηθεί σε τόσο υψηλό βαθμό, ώστε αυτά να μην μπορούν πλέον να επιβιώσουν εκτός του αγροοικοσυστήματος.

Άλλωστε, ένα εξημερωμένο είδος εξαρτάται από την ανθρώπινη παρέμβαση. Αλλά και οι άνθρωποι στις μέρες μας είναι εξαρτημένοι από τα εξημερωμένα φυτά και ζώα. Με οικολογικούς όρους, η αλληλεξάρτηση αυτή μπορεί να εκληφθεί ως μια υποχρεωτική συμβίωση. Δηλαδή, έχει καταστεί μια διαδικασία αμοιβαία αλλαγής, αφού οι ανθρώπινες καλλιέργειες έχουν προκαλέσει σε συγκεκριμένα χρήσιμα είδη αλλαγές στη γενετική τους ανασύσταση και ως αποτέλεσμα των αλλαγών αυτών έχουν μετασχηματιστεί και αυτές.

15.3.1. Τα επιλεγμένα χαρακτηριστικά στη φυτική παραγωγή

Στις μέρες μας τα φυτά καλλιέργειας και τα αγροτικά ζώα έχουν υπαχθεί σε πολλές επιλεκτικές πιέσεις. Ο άνθρωπος τα επέλεξε για τις βελτιωμένες αποδόσεις, την ελκυστική γεύση και την εμφάνιση, για τη γενετική ομοιομορφία, για την ταχεία ανταπόκριση στη χρήση των λιπασμάτων και του νερού, για την ευκολία στη συγκομιδή και τις διαδικασίες, για την αντοχή στις συνθήκες μεταφοράς και για τη διατήρηση τους στο ράφι σε μεγαλύτερη διάρκεια.

Μεταξύ των άλλων, αυτή η διαδικασία της επιλογής διαφοροποίησε σε μεγάλο βαθμό την κατανομή του άνθρακα. Τα εξημερωμένα φυτά αποθηκεύουν μια πολύ μεγαλύτερη αναλογία της βιομάζας τους και μάλιστα την αποθηκεύουν στα εδώδιμα ή τα συγκομίσιμα τμήματά τους, απ' ό,τι τα φυσικά είδη από τα οποία προήλθαν. Συνέπεια αυτού αποτελεί και το γεγονός ότι, ολιγότερη ενέργεια μεταβιβάζεται προς χρήση των χαρακτηριστικών ή των συμπεριφορών που συνιστούν την **περιβαλλοντική αντίσταση**, δηλαδή, την ικανότητά τους να ανθίστανται στις κακουχίες, τις απειλές ή τους περιοριστικούς παράγοντες που συναντούν μέσα στο περιβάλλον. Επιπροσθέτως, πολλά χαρακτηριστικά που κάποτε συνιστούσαν την περιβαλλοντική αντίσταση, τώρα όλα τους έχουν χαθεί από το γονότυποι. Εξ αιτίας των ουσιωδών αυτών αλλαγών στη γενετική βάση της φυσιολογίας και της μορφολογίας τους, πολλά εξημερωμένα είδη και πολλές ποικιλίες απαιτούν, για να έχουν καλή επίδοση και να επιδείξουν τα χαρακτηριστικά των υψηλών αποδόσεων για τις οποίες έχουν επιλεγεί άλλωστε, άριστες συνθήκες εδαφικής υγρασίας, διαθεσιμότητας θρεπτικών στοιχείων, απουσίας επιβλαβών εντόμων, θερμοκρασίας και ηλιακού φωτός.

Συνεπώς τη γεωργία μας, η κατευθυνόμενη επιλογή την έχει οδηγήσει σε μια δύσκολη κατάσταση. Οι μείζονες ποικιλίες μας φυτών καλλιέργειας απαιτούν εξωτερικές εισροές από τα ανόργανα λιπάσματα, τα εντομοκτόνα, τα ζιζανιοκτόνα και το νερό άρδευσης για να αποδώσουν, έτσι όπως έχουν σχεδιαστεί να αποδώσουν, αλλά αυτής της μορφής οι εξωτερικές εισροές αποτελούν τη μείζονα αιτία του αρνητικού αποτελέσματος της γεωργίας πάνω στο περιβάλλον και της υποβάθμισης των εδαφικών πόρων. Εάν ληφθούν μέτρα που θα αποσκοπούν στην απαγόρευση της χρήσης πολλών

από τις πρακτικές και τα υλικά που οι άνθρωποι έχουν αναπτύξει για να προστατεύσουν και να προωθήσουν την ανάπτυξη των φυτών καλλιέργειας, τότε οι αποδόσεις είναι δυνατόν να υποφέρουν.

Το θέμα αυτό προκαλεί μεγαλύτερο προβληματισμό στο σημείο που αναφέρεται στα ζιζανιοκτόνα. Οι φυσικές ικανότητες των φυτών να ανθίστανται στη φυτοφαγία, μέσω μορφολογικών προσαρμογών, συμβιωτικών αλληλεπιδράσεων, παραγωγής απωθητικών ουσιών και άλλων μεθόδων, έχουν σε μεγάλο βαθμό χαθεί σε βάρος της ανάπτυξης άλλων χαρακτηριστικών. Για να εμποδίσουμε την απώλεια της καλλιέργειας εξ αιτίας της φυτοφαγίας, έχουμε καταστήσει τα αγροοικοσυστήματα εξαρτημένα από τη χρήση ζιζανιοκτόνων. Αλλά και η χρήση των ζιζανιοκτόνων κατέστη μια επιλεκτική πίεση για τους φυτοφάγους πληθυσμούς, γεγονός που οδηγεί στην εξέλιξή τους σε είδη ανθεκτικά στα ζιζανιοκτόνα και για τον έλεγχό τους απαιτείται η εφαρμογή όλο και περισσότερων ζιζανιοκτόνων ή η ανάπτυξη ζιζανιοκτόνων νέων τύπων.

Ένα θεμελιώδες πρόβλημα που προκύπτει είναι ότι τα χαρακτηριστικά της περιβαλλοντικής αντίστασης έχουν χαθεί, όχι απλώς και μόνο από την γενετική σύσταση των καθέκαστα ειδών και ποικιλιών, αλλά χάθηκαν και από την δομή και την οργάνωση του συνόλου του αγροοικοσυστήματος. Συνεπώς, οι προσπάθειες που θα αποβλέπουν στην μετενσωμάτωση της περιβαλλοντικής αντίστασης στα γονιδιώματα των φυτών καλλιέργειας πρέπει να κατευθυνθούν στο επίπεδο του αγροοικοσυστήματος και όχι στο επίπεδο των καθέκαστα ειδών και ποικιλιών.

15.3.2. Οι μέθοδοι της κατευθυνόμενης επιλογής

Οι καλλιεργητές και οι βελτιωτές των φυτών καλλιέργειας άλλαξαν την γενετική σύσταση των ειδών και των ποικιλιών φυτικής καλλιέργειας με πολυάριθμους τρόπους, οι οποίοι κυμαίνονται από τα έμμεσα μέσα που προσομοιάζουν με την φυσική επιλογή μέχρι τα μέσα υψηλής τεχνολογίας που στοχεύουν απευθείας στο γονιδίωμα του φυτού. Οι τελευταίες αυτές μέθοδοι δεν αποτελούν μια επιλογή από μόνες τους, αλλά εδώ τις συζητούμε, επειδή έχουν τα ίδια αποτελέσματα με τις μεθόδους της κατευθυνόμενης επιλογής.

Οι μέθοδοι που μπορεί να χρησιμοποιηθούν σ' ένα συγκεκριμένο είδος εξαρτώνται από τον τρόπο της αναπαραγωγής του. Κάποια είδη φυτών (περισσότερα είναι τα ετήσια από τα πολυετή) αναπαράγονται κατά βάση με την αυτο-γονιμοποίηση, ήτοι: τα θήλεα τμήματα των ανθέων των φυτών γονιμοποιούνται από τη γύρη του ίδιου φυτού και συχνά από το ίδιο άνθος. Άλλα είδη φυτών (περισσότερα είναι τα πολυετή από τα ετήσια) αναπαράγονται κυρίως με την σταυρο-γονιμοποίηση. Τέτοια φυτά, τυπικά διαθέτουν κάποιο είδος μορφολογικής, χημικής ή συμπεριφορικής προσαρμογής, η οποία διασφαλίζει ότι τα θήλεα τμήματα του άνθους ενός απόμου γονιμοποιούνται μόνο από τη γύρη άλλων φυτών.

15.3.2.1. Η μαζική επιλογή

Μέχρι πρόσφατα, η μοναδική μέθοδος της κατευθυνόμενης επιλογής ήταν η συλλογή σπόρων από εκείνα τα άτομα ενός πληθυσμού που επιδείκνυαν ένα ή περισσότερα επιθυμητά χαρακτηριστικά, όπως για παράδειγμα, την ικανότητα υψηλών αποδόσεων ή την αντίσταση στις ασθένειες και η χρήση αυτών των σπόρων για σπορά στην επόμενη καλλιεργητική περίοδο. Η μέθοδος αυτή, η οποία καλείται μαζική επιλογή, μπορεί να δημιουργήσει μια βαθμιαία αλλαγή στη σχετική συχνότητα ενός χαρακτηριστικού ή των χαρακτηριστικών σ' ένα πληθυσμό. Μέσω των μεθόδων της

μαζικής επιλογής, οι παραγωγοί σε ολόκληρο τον πλανήτη έχουν αναπτύξει ποικιλίες που ονομάζονται εγχώριες φυλές (ντόπιες ράτσες). Οι εγχώριες φυλές είναι προσαρμοσμένες στις επιχώριες συνθήκες και μολονότι αυτές ως σύνολο είναι γενετικά διακριτές, τα μέλη τους είναι γενετικά διαφορετικά.

Η μαζική επιλογή λειτουργεί ομοίως, τόσο στα αυτο-γονιμοποιούμενα όσο και στα σταυρο-γονιμοποιούμενα φυτά. Όταν τα σταυρο-γονιμοποιούμενα φυτά εξελίσσονται, η μαζική επιλογή επιτρέπει να συμβεί η ανοικτή γονιμοποίηση, η οποία είναι γνωστή και ως εξωτερική διασταύρωση. Η φυσική αυτή μίξη της γύρης μεταξύ των μελών ενός πληθυσμού καταλήγει σε μια υψηλή γονοτυπική ποικιλότητα. Στα αυτο-γονιμοποιούμενα φυτά η μαζική επιλογή επιτρέπει επίσης τη διατήρηση της σχετικά υψηλής ποικιλότητας.

Αυτή η παλαιά, και περισσότερο παραδοσιακή μέθοδος της κατευθυνόμενης επιλογής περιλαμβάνει το σύνολο του οργανισμού και τη βασισμένη στον αγρό επιλογή. Παρά το γεγονός ότι αυτή είναι μια σχετικά αργή διαδικασία και τα αποτελέσματά της είναι λίαν μεταβλητά, εντούτοις παρουσιάζει το πλεονέκτημα να μοιάζει, όπως ακριβώς η φυσική επιλογή στα φυσικά οικοσυστήματα. Τα χαρακτηριστικά που εμπεριέχουν την προσαρμογή στις τοπικές συνθήκες διατηρούνται ταυτόχρονα με τις πλέον επιθυμητές όψεις της απόδοσης ή της εμφάνισης, ενώ διατηρείται και η γονοτυπική ποικιλότητα. Τέτοια χαρακτηριστικά είναι πολύ σημαντικά, ειδικότερα για τα συστήματα των μικρών αγροκτημάτων, αγροκτήματα με περιορισμένους πόρους και περισσότερη ποικιλότητα στις συνθήκες παραγωγής. Όλες οι άλλες μέθοδοι της κατευθυνόμενης επιλογής τείνουν να αυξήσουν την γενετική ομοιομορφία και να μειώσουν σημαντικά ή μηδενίσουν το ρόλο των τοπικών περιβαλλοντικών συνθηκών στη διαδικασία επιλογής.

15.3.2.2. Η επιλογή της καθαρής γραμμής

Στα αυτο-γονιμοποιούμενα φυτά μια κοινότυπη μέθοδος επιλογής είναι και η επιλογή από ένα μεταβαλλόμενο πληθυσμό αρκετών με ανώτερη εμφάνιση φυτών και στη συνέχεια, η υποβολή των επιγόνων του σε εκτατική δοκιμασία για αρκετές γενεές. Στο τέλος της περιόδου της δοκιμασίας, κάθε γραμμή επαρκώς διακριτή και ανώτερη των υπαρχόντων ποικιλιών, ελευθερώνεται ως μια νέα ποικιλία. Επειδή τα φυτά είναι αυτο-γονιμοποιούμενα, ο επιλεγείς γονότυπος παραμένει μέσα στο χρόνο σχετικά σταθερός.

Η διαδικασία της επιλογής της καθαρής γραμμής μπορεί να τροποποιηθεί με μια πλειάδα τρόπων. Ένας εξ αυτών είναι η μεταφορά γονιδίων μεταξύ υφιστάμενων καθαρών γραμμών μέσω της τεχνητής σταυρο-γονιμοποιήσεων, σε μια προσπάθεια για να παραχθεί μια νέα γραμμή με ένα νέο συνδυασμό των χαρακτηριστικών. Μερικές φορές αυτό συμπληρώνεται με μια επανειλημμένη επαναδιασταύρωση των επιγόνων, από μια τεχνητή διασταύρωση με τον ένα γονέα να έχει ένα συγκεκριμένο επιθυμητό χαρακτηριστικό.

15.3.2.3. Η παραγωγή των συνθετικών ποικιλιών

Στα αυτο-γονιμοποιούμενα φυτά, μια ανάλογη με την αυτο-γονιμοποιούμενη καθαρή γραμμή και η οποία ονομάζεται συνθετική ποικιλία ή συνθετική υποποικιλία, μπορεί να δημιουργηθεί μέσα από μια ποικιλία τεχνικών. Η υπογεγραμμένη αρχή είναι ο περιορισμός των γονεϊκών γονοτύπων σε μερικούς που αποδεδειγμένα έχουν ανώτερα χαρακτηριστικά και διασταυρώνονται καλώς. Στη μηδική για παράδειγμα, αυτό μπορεί

να επιτευχθεί με τη φύτευση σπόρων μόνο από λίγους ειδικούς πόρους (όπως δυο ή τρεις κλωνικές γραμμές) σ' ένα απομονωμένο αγρό και να επιτρέψουμε να συμβεί η φυσική διασταύρωση. Στη συνέχεια, οι σπόροι που παράγονται από τον αγρό αυτό διανέμονται ως μια συνθετική ποικιλία. Οι συνθετικές ποικιλίες παρουσιάζουν μεγαλύτερη γενετική ποικιλότητα από τις αυτο-γονιμοποιούμενες καθαρές γραμμές, αλλά εμφανίζουν αρκετά μικρότερη ποικιλότητα από τις μαζικής επιλογής, ανοικτά γονιμοποιούμενες ποικιλίες.

15.3.2.4. Ο υβριδισμός

Σήμερα, για πολλά σημαντικά φυτά καλλιέργειας (ιδιαίτερα στον αραβόσιτο), η κορυφαία μέθοδος της κατευθυνόμενης επιλογής είναι η παραγωγή των υβριδικών ποικιλιών. Ένα υβρίδιο αποτελεί τη διασταύρωση μεταξύ δυο πολύ διαφορετικών γονέων, κάθε ένας προερχόμενος από μια διαφορετική γραμμή καθαρής διασταύρωσης. Η διαδικασία της δημιουργίας μιας υβριδικής ποικιλίας περιλαμβάνει δυο βασικά βήματα.

Το πρώτο, αφορά την παραγωγή δύο διακριτών γραμμών καθαρής διασταύρωσης. (Καθαρή διασταύρωση σημαίνει ότι τα γονιδιώματα είναι αρκετά ομοιογενή στις περισσότερες θέσεις των γονιδίων). Στα σταυρο-γονιμοποιούμενα φυτά (και στα αυτο-γονιμοποιούμενα που σταυρο-γονιμοποιούνται συχνά) το βήμα αυτό περιλαμβάνει την τεχνητή διασταύρωση, η οποία ολοκληρώνεται με μια πλειάδα τρόπων.

Το δεύτερο, αφορά την διασταύρωση δύο γραμμών καθαρής διασταύρωσης για την παραγωγή του υβριδικού σπόρου που φυτεύεται από τους καλλιεργητές κατά την παραγωγή του φυτού καλλιέργειας. Ούτε η αυτο-γονιμοποίηση, μήτε η σταυρο-γονιμοποίηση μεταξύ των φυτών της ίδιας γραμμής μπορεί να συμβεί στο στάδιο αυτό, καθιστώντας αναγκαία τη χρήση κάποιων συγκεκριμένων τεχνικών. Μια τεχνική, η οποία χρησιμοποιείται για τον αραβόσιτο, είναι η φύτευση της δωρήτριας γύρης γονεϊκής γραμμής και της σποροπαραγωγικής γονεϊκής γραμμής σε εναλλασσόμενες γραμμές ή σειρές και να αφαιρούν τους στήμονες από τα σποροπαραγωγικά φυτά πριν οι στήμονες παράξουν τη γύρη (οι στήμονες περιέχουν μόνο άρρενα άνθη). Μια εναλλακτική τεχνική, η οποία χρησιμοποιείται ευρέως στα αυτο-γονιμοποιούμενα φυτά, όπως για παράδειγμα το σόργο, είναι και η τεχνική της εισαγωγής της γενετικά ελεγχόμενης αρσενικής στειρότητας, η οποία καλείται **κυτοστεριρότητα**, σε μια από τις διασταυρούμενες γονεϊκές γραμμές. Στη συνέχεια, η γραμμή αυτή χρησιμοποιείται ως η σποροπαραγωγός γονεϊκή γραμμή, επειδή αυτή μπορεί να επικονιαστεί μόνο από τη γύρη μιας άλλης, μη στειράς γονεϊκής γραμμής.

Το υβρίδιο δύο επιλεκτικά διασταυρωνόμενων γονέων είναι συνήθως τελείως διαφορετικό και από τους δύο γονείς. Είναι συχνά μεγαλύτερα και παράγουν μεγαλύτερους σπόρους ή καρπούς και έχουν κάποιο άλλο επιθυμητό χαρακτηριστικό που κανένας από τους γονείς δεν διαθέτει. Η ανταπόκριση αυτή, η οποία είναι γνωστή και ως **υβριδική ευρωστία** ή **ετέρωση**, αποτελεί ένα από τα μεγαλύτερα πλεονεκτήματα μιας υβριδικής ποικιλίας. Ένα άλλο επιθυμητό χαρακτηριστικό, από την πλευρά της συμβατικής γεωργίας, είναι η γενετική ομοιομορφία, δηλαδή, όλοι οι υβριδικοί σπόροι της γονεϊκής διασταύρωσης να έχουν τον ίδιο γονότυπο.

Οι υβριδικές ποικιλίες όμως, παρουσιάζουν ένα σύμφυτο μειονέκτημα. Οι σπόροι που παράγονται από υβριδικά φυτά (είτε μέσω της αυτο-γονιμοποίησης, είτε μέσω της σταυρο-γονιμοποίησης), είναι συνήθως ανεπιθύμητοι για φύτεμα, αφού ο φυλικός (του φύλου) συνδυασμός θα παράξει μια ποικιλία νέων γονιδιακών συνδυασμών, οι περισσότεροι από τους οποίους δεν θα παρουσιάζουν την υβριδική

ευρωστία των γονέων. Συνεπώς, οι καλλιεργητές θα πρέπει κάθε χρόνο να προμηθεύονται υβριδικούς σπόρους από το εμπόριο.

Στους τύπους φυτών καλλιέργειας που διαθέτουν βολβούς ή άλλα μέσα για τον αγενή πολλαπλασιασμό τους, όπως οι πατάτες ή τα σπαράγγια, άπαξ και ένα υβρίδιο παραχθεί με μια σειρά επιθυμητών χαρακτηριστικών, αυτά στη συνέχεια πολλαπλασιάζονται αγενώς ως **κλώνοι**. Με τα πλεονεκτήματα των τεχνικών της ιστοκαλλιέργειας, η μέθοδος αυτή του πολλαπλασιασμού υβριδίων χωρίς σπόρους έχει εφαρμοστεί ευρύτατα. Μικρές ποσότητες ιστού από διαφορετικά σημεία των σημαντικών υβριδικών ποικιλιών μπορούν να χρησιμοποιηθούν για την ταχεία αναπαραγωγή κλώνων, κάτω από αυστηρά ελεγχόμενες συνθήκες.

15.3.2.5. Η επιβεβλημένη πολυπλοειδία

Πολλοί από τους θεωρούμενους σήμερα αξιόλογους τύπους καλλιεργούμενων φυτών, όπως ο καφές, ο αραβόσιτος, το σιτάρι και το βαμβάκι, καλλιεργούνταν από πολύ παλιά ως φυσικά πολυπλοειδή. Με το δεδομένο ότι συχνά τα πολυπλοειδή φυτά είναι περισσότερο εύρωστα και προσφέρουν μεγαλύτερους καρπούς ή σπόρους, σε σύγκριση με τους κανονικούς διπλοειδείς γονείς τους, ο κόσμος, όταν τα καλλιεργούσε στα πρώτα τους καλλιεργητικά συστήματα, τα βρήκε περισσότερο επιθυμητά και τα επέλεγε ακόμη και όταν οι παραγωγοί δεν ήταν ενημερωμένοι για το τι τα έκανε αυτά διαφορετικά.

Όταν οι σύγχρονοι κυτταρολόγοι ανακάλυψαν ότι πολλά ευνοϊκά χαρακτηριστικά στα καλλιεργούμενα φυτά οφειλόταν στην πολυπλοειδία, αναπτύχθηκαν διάφοροι μέθοδοι που αποσκοπούσαν στο να τα καθοδηγήσουν με τεχνητό τρόπο προς αυτή την κατεύθυνση. Με τη χρήση, κατά τη διάρκεια των πρώτων βημάτων της μείωσης, της *κολχικίνης* ή κάποιων άλλων χημικών διεγερτικών, ο τεχνητός πολλαπλασιασμός του αριθμού των χρωμοσωμάτων κατέστη εφικτός. Η επιβεβλημένη πολυπλοειδία έχει να επιδείξει μερικές από τις πλέον χρήσιμες γραμμές του σιταριού, όπως είναι για παράδειγμα το εξαπλοειδές *Triticum aestivum*. Τα πολυπλοειδή αυτά άπαξ και παραχθούν, μπορούν στη συνέχεια από μόνα τους να χρησιμοποιούνται σε διαρκείς καθαρές γραμμές ή να αναπτυχθούν νέα υβρίδια.

15.3.2.6. Η βιοτεχνολογία

Η αναπαραγωγή φυτών με τη χρήση των μεθόδων που αναφέραμε πιο πάνω, είναι επίπονη, χρονοβόρα και εξαρτάται εν μέρει και από την τύχη. Τα γονίδια υπάρχουν στην ομάδα πολλών άλλων χιλιάδων ή εκατομμυρίων γονιδίων στα χρωμοσώματα και ο βελτιωτής των φυτών αδυνατεί να καθορίσει πως, ολίγα γονίδια που παρουσιάζουν ενδιαφέρον, είναι κατανοημένα και συνδυασμένα σε κάθε γενεά. Επιπλέον, οι τεχνικές αυτές περιορίζονται στους αναπαραγωγικούς γονείς που σχετίζονται στενά, συνήθως μέσα στο ίδιο είδος.

Οι περιορισμοί αυτοί ξεπεράστηκαν με τις πρόσφατες εξελίξεις της μοριακής γενετικής. Τώρα είναι πλέον δυνατή, μέσα από τις τεχνικές της γενετικής μηχανικής, η μεταφορά απλών γονιδίων από έναν οργανισμό σ' έναν άλλο, εντελώς άσχετο οργανισμό. Για παράδειγμα, γονίδια από βακτήρια έχουν μεταφερθεί με επιτυχία σε φυτά. Η γενετική μηχανική έχει τη δυνατότητα να εισαγάγει συγκεκριμένα χαρακτηριστικά, όπως είναι η αντίσταση στον παγετό ή τη φυτοφαγία, σε οποιοδήποτε είδος καλλιεργούμενου φυτού και να δημιουργεί συνηθισμένους οργανισμούς, καθέναν με τα δικά του, ταιριαστά χαρακτηριστικά.

Η γενετική μηχανική έχει διαφημιστεί ως η τεχνολογική απάντηση στο πρόβλημα της παραγωγής περισσότερης τροφής για το μέλλον, εντούτοις όμως, έχει πολλούς περιορισμούς και πολλά προβλήματα δυναμικής. Πρώτα απ' όλα, επειδή τα γονίδια ενός οργανισμού συνεργάζονται αρμονικά, με ιδιαίτερη έμφαση στην αλληλεπίδραση και την διαφοροποίηση που συμβαίνει εντός των γονιδίων, είναι αδύνατο να προβλεφθεί το αποτέλεσμα της προσθήκης ενός γονιδίου, ειδικότερα από ένα εντελώς διαφορετικό οργανισμό. Δεύτερον, επειδή τα περισσότερα αναπτυξιακά και αυξητικά χαρακτηριστικά ενός οργανισμού, όπως η ευρωστία και η απόδοση, είναι σε υψηλό βαθμό πολύπλοκα, έχουν σε μικρό βαθμό κατανοηθεί και ελέγχονται από πολλαπλά γονίδια, θα είναι δύσκολο να τροποποιηθούν τα χαρακτηριστικά αυτά με οποιοδήποτε προβλέψιμο τρόπο μέσω της γενετικής μηχανικής. Τρίτον, οι διαγονιδιακοί οργανισμοί έχουν την πιθανότητα να καταστούν άκρως επικίνδυνοι. Έτσι, όπως ένα βακτήριο μπορεί να καταστεί παθογές, ωσαύτως ένα καλλιεργούμενο φυτό προϊόν της γενετικής μηχανικής μπορεί να γίνει επιθετικό ζιζάνιο για τα τοπικά φυσικά οικοσυστήματα. Τέταρτον, η γενετική μηχανική έχει όλες τις δυσκολίες των υπολοίπων σύγχρονων τεχνικών αναπαραγωγής, που θα εξετάσουμε στη συνέχεια.

15.3.3. Οι συνέπειες των σύγχρονων μεθόδων αναπαραγωγής

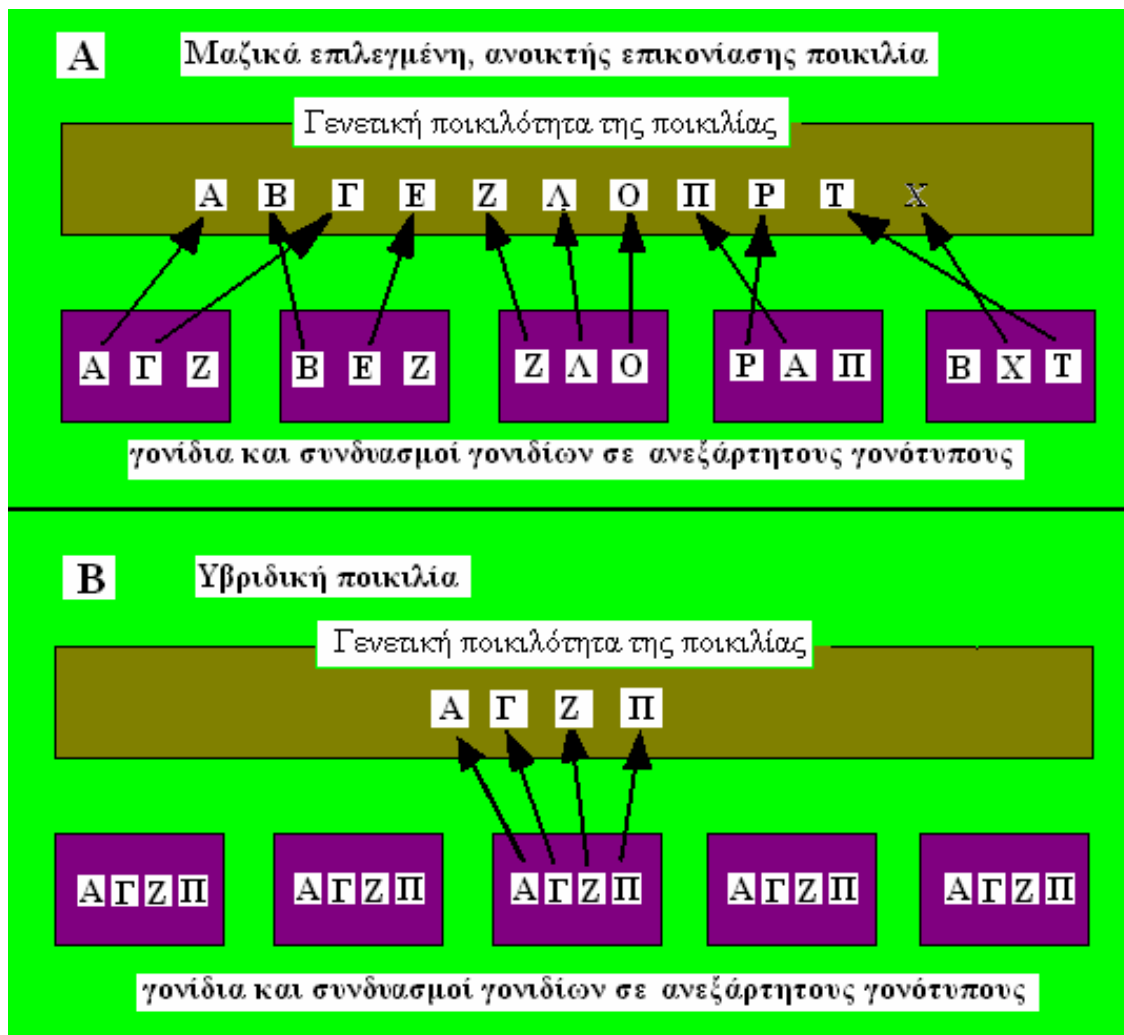
Η αναπαραγωγή των φυτών που βασίστηκε στην προχωρημένη γνώση της γενετικής των φυτών, προσέφερε αναντίρρητα ωφέληματα και συνέβαλλε στις δραματικά μεγάλες αυξήσεις των αποδόσεων του περασμένου αιώνα. Με την τάση της όμως να δημιουργεί τους γεωργικούς γενετικούς πόρους σε αυξανόμενο βαθμό ομοιομορφους, απείλησε τα θεμέλια της γεωργίας. Ναι μεν η γενετική ομοιομορφία υπηρετεί κάποιες σημαντικές λειτουργίες, μπορεί όμως να υποβιβάσει την μακροχρόνια γεωργική αειφορικότητα, ελαττώνοντας την γενετική ποικιλότητα σε πολλά επίπεδα, δημιουργώντας καλλιεργούμενα φυτά, τα οποία είναι περισσότερο ευάλωτα στις προσβολές και τις περιβαλλοντικές αλλαγές και αυξάνοντας την εξάρτηση των καλλιεργητικών συστημάτων από την ανθρώπινη παρέμβαση και τις εξωτερικές εισροές.

15.3.3.1. Η απώλεια της γενετικής ποικιλότητας

Όλοι οι ανώτεροι οργανισμοί έχουν πολύ πολύπλοκες γενετικές δομές. Ένας πολύ μεγάλος αριθμός γονιδίων, - ένα απλό φυτό περιέχει πάνω από 10 εκατομμύρια γονίδια - εργάζονται όλα μαζί με πολύπλοκους τρόπους για να ελέγχουν τον τρόπο με τον οποίο ο οργανισμός λειτουργεί και αλληλεπιδρά με το περιβάλλον του. Κάποια γονίδια δρουν μόνα τους, αλλά τα περισσότερα φαίνεται να δρουν σε πολύπλοκους συνδυασμούς με τα άλλα. Στη φύση, η γενετική ολότητα κάθε είδους ή κάθε γονιδιώματος, είναι το προϊόν μιας πολύ μακράς εξελεκτικής διαδικασίας, κάτι που είδαμε σε προηγούμενα εδάφια. Το γονιδίωμα ως σύνολο, είναι τυπικά πολύ διαφορετικό, διότι δημιουργείται από πολλούς ανεξάρτητους γονότυπους, πολλοί από τους οποίους ή όλοι τους, είναι μοναδικοί.

Οι παραδοσιακές μέθοδοι της μαζικής επιλογής, μέσω της αλλαγής του περιεχομένου του γονιδιώματος ενός είδους, τείνει να συντηρήσει μεγάλο μέρος της γενετικά πλούσιας δομής του. Οι σύγχρονες μέθοδοι όμως, έχουν την τάση να διαφοροποιούν και να στενεύουν το γονιδίωμα ενός φυτού καλλιέργειας και να εστιάζουν στην βελτιστοποίηση ενός ή περισσοτέρων γονοτύπων του είδους. Μολονότι η διαδικασία αυτή δημιουργεί φυτά τα οποία ανταποκρίνονται εξαιρετικά καλά στα

συγκεκριμένα, σε υψηλό βαθμό τροποποιημένα περιβάλλοντα της σύγχρονης γεωργίας, περιορίζει ωσαύτως σε μεγάλο βαθμό τη γενετική βάση ενός είδους ή μιας ποικιλίας. Στο πλέον ομοιόμορφο πέρας της κλίμακας, η γενετική ποικιλομορφία μιας ποικιλίας φυτών καλλιέργειας περιορίζεται σ' ένα και μόνο γονιδίωμα, αυτό του υβριδικού σπόρου της ποικιλίας. Στο πλέον ποικίλο πέρας της κλίμακας, η γενετική ποικιλομορφία μιας ποικιλίας που προέρχεται από μαζικά επιλεγμένη, ανοικτή επικονίαση είναι το προϊόν μιας ανυπολόγιστης μοναδικότητας των καθέκαστα γονιδιωμάτων. Η αντίθεση αυτή στη δομή της γενετικής ποικιλομορφίας παρουσιάζεται στην **Εικόνα 15.1**.



Εικόνα 15.1. Γενετική ποικιλότητα σε μια μαζικά επιλεγμένη ποικιλία φυτού καλλιέργειας (A) και σε ένα υβρίδιο ποικιλίας φυτού καλλιέργειας (B).

Τα παραγόμενα για εμπορικούς σκοπούς υβρίδια, ποικιλίες υψηλών αποδόσεων (HYVs) άλλωστε, έχουν καταλάβει την αγορά σπόρων και τώρα φυτεύονται σε μεγάλες περιοχές και σε γενετικά ομοιόμορφους αγρούς. Λιγότερα ζώα αναπαραγωγής χρησιμοποιούνται για την παραγωγή κρέατος και άλλων ζωοκομικών προϊόντων. Από τα τρόφιμα που καταναλώνονται στον πλανήτη μας, ολοένα και περισσότερα προέρχονται από ένα περιορισμένο γενετικά απόθεμα. Τελικό αποτέλεσμα λοιπόν, είναι αυτό που κάλλιστα μπορούμε να ονομάσουμε με τον όρο γενετική διάβρωση, δηλαδή, την απώλεια της γενετικής ποικιλότητας.

Ως αποτέλεσμα της αναπαραγωγής των φυτών και των λοιπών πρακτικών της εμπορικής γεωργίας, η γενετική διάβρωση επέρχεται σε αρκετά επίπεδα, όπως είναι:

- ✚ Το επίπεδο της γεωργίας στο σύνολό της, όπου λιγότεροι τύποι καλλιεργούμενων φυτών συνεισφέρουν στο μεγαλύτερο μέρος της παγκόσμιας παραγωγής τροφίμων. Για παράδειγμα, περισσότερο από το 60% της παγκόσμιας παραγωγής τροφίμων και ζωοτροφών προέρχεται από σπόρους, και από τους σπόρους αυτούς, οι περισσότεροι από τους μισούς της συνολικής παραγωγής προέρχονται από τέσσερα είδη, ήτοι: από το σιτάρι, το ρύζι, τον αραβόσιτο και την σίκαλη.
- ✚ Το επίπεδο των συγκεκριμένων τύπων ή ειδών, όπου παγκοσμίως, λιγότερες ποικιλίες, υποποικιλίες και τοπικές φυλές από κάθε καλλιεργούμενο φυτό φυτεύονται και ένας αυξανόμενα μικρότερος αριθμός είναι υπεύθυνος για την παραγωγή του κάθε τύπου φυτού καλλιέργειας. Το 1993 για παράδειγμα, το 71% του προς εμπορία αραβόσιτου προερχόταν από έξη ποικιλίες, το 65% του ρυζιού μόνο από τέσσερις ποικιλίες και το 50% του σιταριού από εννέα ποικιλίες. Υπάρχουν και άλλα παραδείγματα. Το 96% των φασολιών που καλλιεργούνται για εμπορικούς σκοπούς προέρχεται από δυο ποικιλίες και τέσσερις ποικιλίες πατάτες παράγουν πάνω από το 70% της παγκόσμιας παραγωγής. Εξ αιτίας αυτής της εξάρτησης απ' όλο και λιγότερες ποικιλίες, πολλές παλιές ποικιλίες εξαφανίζονται. Για παράδειγμα, περισσότερες από 6.000 γνωστές ποικιλίες μήλων (έχει καταγραφεί το 86% από αυτές) έχουν εξαφανιστεί από το 1900 και μετά. Η ίδια απώλεια της ποικιλότητας έχει παρατηρηθεί και για τα εξημερωμένα αγροτικά ζώα. Το 70% των κοπαδιών βοοειδών τις ΗΠΑ είναι της ποικιλίας Holstein και σχεδόν όλα τα διατιθέμενα στο εμπόριο αυγά ορνίθων (πάνω από 90%) προέρχονται από μια ποικιλία ορνίθων, τη λευκή Leghorn.
- ✚ Το επίπεδο της ανεξάρτητης ποικιλίας ή της υποποικιλίας, όπου η γενετική ομοιομορφία έγινε πλέον ο κανόνας παρά η εξαίρεση. Οι χρησιμοποιούμενες τεχνικές για την παραγωγή καθαρών γραμμών και συνθετικών ποικιλιών εξασφαλίζουν ότι, η παροχή σπόρων για κάθε συγκεκριμένη ποικιλία θα είναι σε μεγάλο βαθμό ομοιόμορφη. Στην περίπτωση των υβριδικών ποικιλιών, αυτές περιέχουν μόνο ένα γονιδίωμα. Με άλλα λόγια, όλα τα φυτά που θα προέλθουν από ένα τέτοιο σπόρο θα είναι ουσιαστικά γονοτυπικά όμοια. Αυτή έρχεται σε μεγάλη αντίθεση με τις μαζικά συλλεγόμενες, ανοικτά γονιμοποιούμενες ποικιλίες, στις οποίες η παροχή σπόρων αναγκαστικά περιέχει μεγαλύτερη ποικιλότητα και στις οποίες δεν είναι όμοια ούτε δύο γονιδιώματα.
- ✚ Το επίπεδο της περιοχής με αγροκτήματα, όπου καλλιεργούνται λιγότεροι τύποι καλλιεργούμενων φυτών και για κάθε τύπο καλλιεργούμενων φυτών υπάρχουν λιγότερες ποικιλίες. Για παράδειγμα, τρεις ποικιλίες πορτοκαλιών συνιστούν το 90% της συγκομισμένης παραγωγής στην Πολιτεία της Florida. Αυτή η απώλεια της περιφερειακής ποικιλότητας συμβαίνει για να ανταποκριθεί στη δυναμική της παγκόσμιας παραγωγής, η οποία ενθαρρύνει τις περιοχές να γίνονται περισσότερο εξειδικευμένες στην γεωργική τους παραγωγή.
- ✚ Το επίπεδο του αγροκτήματος, όπου μια ανεξάρτητη γεωργική επιχείρηση όλο και περισσότερο πλέον αποτελεί τη φυτεία μιας γενετικής γραμμής, ή ακόμη και ενός γονιδιώματος, όπως είναι η περίπτωση ενός αγροκτήματος στο οποίο καλλιεργείται μια μονοκαλλιέργεια με ένα υβρίδιο του αραβοσίτου.

Η απώλεια της γενετικής ποικιλότητας στη γεωργία είναι μια αιτία που έλκει το ενδιαφέρον μας, διότι αντιπροσωπεύει την απώλεια μιας πιθανώς αξιολογής πληροφόρησης. Η γενετική πληροφόρηση που χάνουμε παρουσιάζει μια ποικιλία αποδεδειγμένων αλλά και πιθανών αξιών, όπως είναι:

- ✚ Η γενετική ποικιλότητα σε γενικές γραμμές είναι η πρώτη ύλη για την αναπαραγωγή των φυτών. Απώλεια της ποικιλότητας αυτής μπορεί να περιορίσει τις ευκαιρίες για μελλοντικές προσπάθειες αναπαραγωγής.
- ✚ Η γενετική ποικιλότητα σε ένα καλλιεργούμενο είδος ή τύπο, όπως αυτή καταδεικνύεται από τη ύπαρξη πολλών τοπικών ειδών, επιτρέπει την καλλιέργεια ποικιλιών που είναι καλά προσαρμοσμένες στις συγκεκριμένες συνθήκες των συγκεκριμένων θέσεων. Αυτά τα τοπικά είδη θα παράγουν με μεγάλη συνέπεια μέσα στο χρόνο, χωρίς μεγάλες εξωτερικές εισροές και συνεπώς, αποτελούν τη βάση της αειφορικότητας.
- ✚ Η γενετική ποικιλότητα σε μια καλλιεργούμενη ποικιλία αποτελεί ένα σημαντικό συστατικό της περιβαλλοντικής αντίστασης, δρώντας έτσι ώστε να διαφυλάσσεται η συνολική απώλεια της σοδειάς από τον κίνδυνο μιας ασθένειας, μιας επιδρομής φυτοφάγων ή κάποιων ασυνήθιστων μεταβολών στις περιβαλλοντικές συνθήκες.
- ✚ Η γενετική ποικιλότητα είναι επίσης ένας ταμειυτήρας ισχυρής περιβαλλοντικής αντίστασης. Μερικά άτομα σε μια γενετικά διαφοροποιημένη ποικιλία καλλιεργούμενων φυτών μπορεί να έχουν γονίδια ή συνδυασμοί γονιδίου που είναι δυνατό να συνεισφέρουν αντίσταση στα μελλοντικά γεγονότα ή τις συνθήκες, όπως π.χ. στη διασπορά μιας νέας ασθένειας. Τα γονίδια αυτά μπορεί να επιλέχθηκαν μέσα από ένα πληθυσμό για να παρέχουν σ' αυτόν αντίσταση.
- ✚ Η γενετική ποικιλότητα δίνει στο σύστημα ευελιξία, και την ικανότητα να αυτορυθμίζεται και να προσαρμόζεται στις αλλαγές των συνθηκών, από εποχή σε εποχή και από δεκαετία σε δεκαετία.

Αρκετές δεκαετίες πριν, μερικοί παραγωγοί, γενετιστές, βελτιωτές φυτών διέβλεψαν τους κινδύνους απώλειας της γενετικής ποικιλότητας στα καλλιεργούμενα με σκοπό τα τρόφιμα φυτά. Μια πρώτη απάντηση ήταν η δημιουργία «τραπεζών γονιδίων», στις οποίες οι σπόροι των ποικιλιών που δεν είναι γενικής χρήσης θα αποθηκεύονταν για πιθανή μελλοντική χρήση. Αυτές οι τράπεζες γονιδίων, υπηρετούν ένα σπουδαίο σκοπό, αλλά περιορίζονται σ' αυτό που μπορούν να κάνουν, δηλαδή να αποτρέψουν τη γενετική διάβρωση. Πρώτον, η μεγάλη πλειονότητα των υφιστάμενων τραπεζών γονιδίων διατηρούν αποθέματα μόνο από είδη που τα υποστηρίζουν εθνικά και διεθνή ερευνητικά προγράμματα και επιπλέον μόνο ένα τμήμα της γενετικής ποικιλότητας των προστατευόμενων ειδών έχει συλλεχθεί. Δεύτερον, η διαχείριση και η αξιολόγηση των γενετικών πόρων συχνά απουσιάζει από τις τράπεζες γονιδίων, έτσι ώστε, να παρατηρείται υποβάθμιση του υλικού. Τρίτον, οι συλλογές κυτταροπλάσματος είναι στην πράξη στατικές, χωρίς καμιά ενσωμάτωση των διαδικασιών που διατηρούν και δημιουργούν γενετική ποικιλότητα στην πρώτη θέση, περιλαμβανομένων των περιβαλλοντικών και των καλλιεργητικών πιέσεων επιλογής. Δυστυχώς, μπορεί ποτέ να μη μάθουμε πόσες ποικιλίες έχουν ήδη χαθεί, ειδικότερα από τον μεγάλο αριθμό των ήσσονος σημασίας καλλιεργούμενων φυτών που καλύπτουν τοπικές ανάγκες σε όλο τον πλανήτη, αλλά δεν αποτελούν τμήμα των τρεχουσών προσπαθειών διαφύλαξης κυτταροπλάσματος.

15.3.3.2. Η γενετική ευπάθεια

Μια συνέπεια που προκύπτει από την απώλεια της γενετικής ποικιλομορφίας στα φυτά καλλιέργειας απαιτεί παραπέρα συζήτηση. Η συνέπεια αυτή είναι η γενετική ευπάθεια, ή η ευπάθεια του περιορισμένου γενετικού αποθέματος των φυτών και των ζώων να προσβάλλονται από εχθρούς και ασθένειες ή να δημιουργούνται απώλειες από ακραίες καιρικές συνθήκες. Το βασικό πρόβλημα έγκειται στο ότι, όταν μια

καλλιέργεια είναι γενετικά ομοιόμορφη σε μια μεγάλη περιοχή, τότε διατηρούνται οι ιδανικές συνθήκες για μια ταχεία προσβολή της καλλιέργειας.

Οι πληθυσμοί των εχθρών και οι ασθένειες εξελίσσονται με ένα σχετικά ταχύ ρυθμό, εν μέρει λόγω του μικρού χρόνου της γενεσιουργού αιτίας. Με την ικανότητα μιας ταχείας γενετικής αλλαγής, οι εισβολείς μπορούν να προσαρμοστούν πολύ γρήγορα απέναντι στις αλλαγές της άμυνας των ξενιστών τους ή τους παράγοντες που εισάγονται στο περιβάλλον από τους ανθρώπους (π.χ. εντομοκτόνα). Για το λόγο αυτό, οι εχθροί και οι ασθένειες στην γεωργία κατέστη δυνατό να ανακάμψουν (και αυτό είναι δυνατό να είναι πάντοτε εφικτό).

Στα παραδοσιακά αγροοικοσυστήματα, όπου τα φυτά καλλιέργειας υπόκεινται τόσο στις φυσικές όσο και στις επιβαλλόμενες από τον άνθρωπο πιέσεις επιλογής και το σύστημα διατηρεί πολλά από τα χαρακτηριστικά ενός φυσικού οικοσυστήματος, τα φυτά καλλιέργειας έχουν μια επιθετική ευκαιρία να βρεθούν ένα βήμα μπροστά από τους παθογενείς και τους φυτοφάγους οργανισμούς. Όμως, με τα βελτιωμένα φυτά, τις μεγάλης κλίμακας μονοκαλλιέργειες και την ομοιομορφία των γεωργικών πρακτικών έχουμε δώσει στους επιβλαβείς οργανισμούς και τις ασθένειες το πλεονέκτημα. Με τη βελτίωση των φυτών καλλιέργειας για την απόκτηση συγκεκριμένων χαρακτηριστικών αγωνιζόμαστε να μεταβάλλουμε τους γενετικούς και τους περιβαλλοντικούς μηχανισμούς αντίστασης και δημιουργούμε μεγάλες μονοκαλλιέργειες στον ίδιο χώρο ταυτόχρονα, αντί να προσπαθούμε να βελτιώσουμε την γενικότερη ετοιμότητα. Αυτό δημιουργεί ένα περιβάλλον που είναι περισσότερο ομοιόμορφο και προβλέψιμο απ' ό,τι θα μπορούσε να είναι, επιτρέποντας την επικράτηση ενδημιών.

Ένα από τα πιο γνωστά παραδείγματα των κινδύνων της γενετικής ομοιομορφίας είναι η περίπτωση της Ιρλανδέζικης πατάτας. Στα 1846 ο μύκητας *Phytophthora infestans* κατέστρεψε τη μισή παραγωγή πατάτας στην Ιρλανδία. Αποτέλεσμα της προσβολής αυτής ήταν να δημιουργηθεί ένας λιμός μεγάλης έκτασης και ανάγκασε το ένα τέταρτο του πληθυσμού του νησιού να αναζητήσει την τύχη του αλλού, μεταναστεύοντας. Η επιδημική προσβολή συνέβη, διότι οι Ιρλανδοί παραγωγοί πατάτας ανέπτυξαν μια εξάρτηση από δύο και μόνο γονότυπους πατάτας που εισήχθησαν στην χώρα πριν από 300 έτη και στη συνέχεια βασίστηκαν πάνω στους γονότυπους αυτούς. Η επίπτωση της επιδημικής προσβολής ήταν πολύ βαριά, επειδή η χώρα ήταν αποκλειστικά βασισμένη στους διατροφικούς πόρους που προέρχονταν από την πλούσια σε υδατάνθρακες πατάτα. Ο μύκητας προσαρμόστηκε πολύ καλά στο ψυχρό κλίμα της Ιρλανδίας και τις συνθήκες υγρασίας της περιοχής και όταν η ασθένεια κατέφτασε και εγκαταστάθηκε, τότε τίποτε δεν μπορούσε να τη σταματήσει. Είναι ενδιαφέρον να υπογραμμίσουμε εδώ ότι, ο ίδιος μύκητας βρίσκεται επίσης στη Νότια Αμερική, αλλά η μεγάλη γενετική ποικιλομορφία στις πατάτες, σε συνδυασμό με την προϊούσα φυσική επιλογή, εξασφαλίζει την αντίσταση σ' ένα μεγάλο τμήμα της καλλιέργειας.

Ένα άλλο, επίσης πολύ γνωστό παράδειγμα, είναι και η επιδημική προσβολή στο νότιο αραβόσιτο το 1970-1971 από το μύκητα *Helminthosporium maydis*, ο οποίος σχεδόν κατέστρεψε τη συνολική παραγωγή του αραβόσιτου στις περιοχές του Illinois και της Indiana και είχε ως τελικό αποτέλεσμα την απώλεια ποσότητας πάνω από 15% της συνολικής παραγωγής των ΗΠΑ (Ullstrup 1972). Η επιδημική προσβολή συνδέθηκε με του γενετικούς παράγοντες της κυτοστειρότητας που αναπτύχθηκαν στις γραμμές του αραβόσιτου, οι οποίες χρησιμοποιήθηκαν για την παραγωγή υβριδικών σπόρων. Οι παράγοντες αυτοί δημιούργησαν αρσενική στειρότητα και εκμηδένισαν την ανάγκη εκτατικής επικονίασης, αλλά αύξησαν επίσης και την υβριδική ευπάθεια απέναντι στον μύκητα. Όταν εμφανίστηκε ένας νέος κλάδος του μύκητα, αυτός απλώθηκε γρήγορα. Οι παραγωγοί των σπόρων και οι βελτιωτές των φυτών καλλιέργειας ανταποκρίθηκαν

τάχιστα και διαφοροποίησαν τον συνδυασμό των ευπαθών παραγόντων με την έναρξη της περιόδου του 1972.

Παρόμοια προβλήματα παρατηρήθηκαν στη Νοτιοανατολική Ασία με το ρύζι. Το Διεθνές Ινστιτούτο Έρευνας Ρυζιού (IRRI) απελευθέρωσε ποικιλίες ρυζιού που επιδείκνυαν αντίσταση σε συγκεκριμένα επιβλαβή έντομα και οι ποικιλίες αυτές προωθήθηκαν για φύτευση σε μεγάλες γεωγραφικές περιοχές. Σε μικρό χρόνο, μετά την αποδοχή της ποικιλίας και την ευρεία εφαρμογή της, καινοφανείς βιότυποι επιβλαβών εντόμων υπερκέρασαν την αντίσταση και προσέβαλαν τα φυτά καλλιέργειας. Το πρόβλημα αυτό επαναλήφθηκε επανειλημμένως με την καφετί ακρίδα, ένα πολύ κοινό έντομο σε όλο εύρος εξάπλωσης της καλλιέργειας ρυζιού. Κάθε νέα ποικιλία ρυζιού διαρκεί μόλις δυο με τρία έτη πριν τα επίπεδα αντίστασής της υπερκεραστούν από την ταχεία εξέλιξη του εντόμου (Chang 1984). Συνεπώς, το μάθημα είναι ξεκάθαρο: **όσο κυριαρχούν μόνο λίγες ποικιλίες, οι προσβολές των επιβλαβών εντόμων θα πλεονεκτούν της χαμηλής γενετικής ποικιλότητας των φυτών καλλιέργειας και θα υπερκερνούν την αντίστασή τους.** Όταν συμβαίνουν απώλειες, οι παραγωγοί είναι απόλυτα εξαρτημένοι από την υποδομή την οποία προσφέρουν οι παραγωγοί των νέων ανθεκτικών ποικιλιών ή οι προμηθευτές των ζιζανιοκτόνων, αφού δεν έχουν πλέον την προσπέλαση στην γενετική ποικιλότητα που συνήθως ήταν παρούσα στους αγρούς τους (Altieri και Merrick 1988).

Η ποικιλότροπη συνολική επιτυχία της γεωργίας στις αναπτυσσόμενες χώρες, στα σαράντα έτη που προηγήθηκαν, απέκρυψε επιμελώς το πρόβλημα της γενετικής ευπάθειας. Οι υπεραποδόσεις που παρατηρήθηκαν σε μερικές περιοχές μπορούν να συμψηφίσουν τις αποτυχίες που συνέβησαν σε κάποιες άλλες. Όμως, οι περιφερειακές απώλειες είναι ακόμη υπαρκτές και υπάρχει ισχυρή πιθανότητα απωλειών ευρείας κλίμακας.

15.3.3.3. Αυξημένη εξάρτηση από την ανθρώπινη παρέμβαση

Μια σύγχρονη υβριδική ποικιλία είναι στην ουσία αβοήθητη έξω από τα όρια της φροντίδας του αγροκτήματος, αφού δεν μπορεί να αναπαραχθεί μόνη της από τους σπόρους της. Με δόση υπερβολής θα λέγαμε ότι, τα φυτά καλλιέργειας δεν έχουν πιθανότητα επιτυχίας στο σύστημα καλλιέργειας, χωρίς τις πολύ συγκεκριμένες μορφές τις εντατικής, βασισμένες στην τεχνολογία ανθρώπινες παρεμβάσεις και τον έλεγχο του περιβάλλοντος του αγροκτήματος. Η κατάσταση αυτή διασαφηνίζει τον σημαίνοντα δεσμό ανάμεσα στις σύγχρονες μεθόδους βελτίωσης των φυτών καλλιέργειας και την εξάρτηση της γεωργίας από τις εξωτερικές εισροές, την εκμηχάνιση και τις εκτός αγροκτήματος τεχνολογικές γνώσεις. Η δραστική μείωση της γενετικής ποικιλομορφίας των φυτών καλλιέργειας που χρησιμοποιούμε, έχει καταστεί σχεδόν συνώνυμη με την δραστική αύξηση των εντομοκτόνων και των ζιζανιοκτόνων, την εκμηχάνιση, την άρδευση και την χρήση ορυκτών καυσίμων για τις αγροτικές ανάγκες.

Όταν ένας παραγωγός εγκαταλείπει τις εγχώριες ποικιλίες για να τις αντικαταστήσει με υβρίδια, τότε θα πρέπει να προμηθευτεί εκτός από τα υβρίδια και κάποια άλλα πράγματα. Κάθε υβρίδιο αποτελεί ένα «πακέτο» εισροών και πρακτικών που συνοδεύει το σπόρο. Ο εξοπλισμός κατεργασίας του εδάφους, τα συστήματα άρδευσης, τα εδαφοβελτιωτικά και τα λιπάσματα, τα υλικά ελέγχου επιβλαβών εντόμων και κάποιες άλλες απαραίτητες για το αγρόκτημα δαπάνες είναι μερικά από τα απαραίτητα πράγματα. Το «πακέτο» επίσης περιλαμβάνει, αλλαγές σε πολλές άλλες όψεις οργάνωσης και διαχείρισης του αγροκτήματος. Έτσι οι παραγωγοί, για να μπορέσουν να αποσβέσουν την απαραίτητη επένδυση για την αγορά των νέων αυτών εισροών και εξοπλισμών, συχνά πρέπει να προβαίνουν στην εντονότερη παραγωγή

περισσότερο κερδοφόρων καλλιεργειών. Αυτό συνήθως απαιτεί τη συγκέντρωση της παραγωγής σε όλο και ολιγότερα είδη φυτών καλλιέργειας, την εξάρτηση από περισσότερο κεντρικές δομές αγοράς, τη μεγαλύτερη και συνήθως αμειβόμενη εργατική δύναμη και την περαιτέρω εντατικοποίηση των εισροών, ώστε ο κίνδυνος μιας καλλιεργητικής αποτυχίας να μειωθεί. Οι τεχνικές συμβουλές βασίζονται (συνήθως αμειβόμενες) σε πηγές εκτός του περιβάλλοντος του αγροκτήματος και το αγρόκτημα συνολικά εξαναγκάζεται να προσαρμοστεί στις νέες αλλαγές.

Πολύ συχνά, οι αλλαγές αυτές καταλήγουν στο να χάσουν οι παραγωγοί τη σπουδαία ντόπια, παραδοσιακή γνώση που κατέχουν για τα φυτά καλλιέργειας, το αγρόκτημα και τις καλλιεργητικές διαδικασίες και να εξαρτώνται από τη γενετική πληροφόρηση που αναπτύχθηκε κάτω από σε υψηλό βαθμό ομοιόμορφες και σε υψηλό επίπεδο τροποποιημένες συνθήκες. Συμπερασματικά, το τελικό αποτέλεσμα θα είναι η απώλεια της εγχώριας γενετικής ποικιλομορφίας και της καλλιεργητικής εμπειρίας που χαρακτήριζαν τα αγροκτήματα πριν από τον εκσυγχρονισμό.

15.3.3.4. Απώλεια άλλων γενετικών πόρων

Η γεωργία εκτός από τη γενετική ποικιλομορφία των φυτών καλλιέργειας και των αγροτικών ζώων εξαρτάται και από άλλους παράγοντες, όπως είναι:

1. οι οργανισμοί, μέλη των φυσικών οικοσυστημάτων τα οποία περιβάλλουν τα αγροοικοσυστήματα, και ειδικότερα οι άγριοι συγγενείς των φυτών καλλιέργειας,
2. τα φυτά καλλιέργειας μικρότερης οικονομικής αξίας, και,
3. οι ευεργετικοί οργανισμοί που δεν ανήκουν στα φυτά καλλιέργειας, όπως π.χ. τα παρασιτοειδή, τα αλληλοπαθητικά ζιζάνια, τα δένδρα και οι εδαφικοί οργανισμοί.

Οι άγριοι συγγενείς των φυτών καλλιέργειας αποτελούν μια σημαντική πηγή νέας ή καινοφανούς ποικιλίας στην κατευθυνόμενη διαδικασία επιλογής. Έχουν αποτελέσει σημαντικές πηγές νέου ή ισχυρότερου γενετικού υλικού, ειδικότερα στις περιπτώσεις καταστάσεων επιδημίας. Δυστυχώς όμως, οι άγριοι συγγενείς των φυτών καλλιέργειας, όπως π.χ. το είδος του πολυετούς βαμβακιού (*Gossypium* sp.), εξαφανίζονται γρήγορα από πολλά μέρη του πλανήτη, εξ αιτίας κυρίως της αποδάσωσης, αλλά και των άλλων μορφών αλλοίωσης των βιοτόπων.

Ένα παρόμοιο είδος οργανισμού με πιθανή αξία είναι αυτό που θα προκύψει από τη φυσική διασταύρωση ανάμεσα στις διαφεύγουσες γεωργικές ποικιλίες και τους άγριους συγγενείς τους. Οι διασταυρώσεις αυτές όμως, βρίσκονται σε κίνδυνο, τόσο διότι οι βιότοποι, όπου τα φυτά καλλιέργειας και οι άγριοι συγγενείς τους μπορούν να ανταλλάξουν γενετικό υλικό και να καταστούν σπανιότερα, κυρίως όμως, λόγω της διασποράς του υβριδικού σπόρου στα πλέον απομακρυσμένα σημεία του πλανήτη, της απλοποίησης του περιβάλλοντος του αγροκτήματος που συνοδεύεται από τη χρήση των βελτιωμένων ποικιλιών και του αυξανόμενου διαχωρισμού μεταξύ του γεωργικού και του φυσικού οικοσυστήματος.

Οι διαφορετικοί γεωργικοί βιότοποι περιέχουν πολλά μικρότερης αξίας είδη φυτών καλλιέργειας, που είναι όμως σπουδαίας σημασίας για ολόκληρο το σύστημα. Αυτά, εκτός από το ότι παρέχουν μια πλειάδα συγκομίσιμων χρήσιμων προϊόντων, συμβάλλουν και στην οικολογική ποικιλότητα του συστήματος, αφού αποτελούν τμήμα της ενεργειακής ροής και της ανακύκλωσης των θρεπτικών στοιχείων του όλου συστήματος. Μικρότερης σπουδαιότητας και εμπορικής αξίας φυτά καλλιέργειας διατηρούνται σε πολλά παραδοσιακά συστήματα καλλιέργειας, ειδικότερα στον αναπτυσσόμενο κόσμο. Παρουσιάζουν πολλά υποσχόμενη αξία για μελλοντική χρήση,

αλλά, ως παραδοσιακά συστήματα, εξαφανίζονται, δίνοντας τη θέση τους στον εκσυγχρονισμό.

Πέρα από τα φυτά καλλιέργειας και τους «άγριους» συγγενείς τους, τα αγροοικοσυστήματα έχουν ωσαύτως δημιουργηθεί από την ποικιλότητα των μη καλλιεργούμενων φυτών και των ζώων, συμπεριλαμβανομένων των θηρευτών και παρασίτων των ανωφελών εντόμων, των αλληλοπαθητικών ζιζανίων και των ευεργετικών για το έδαφος οργανισμών. Πολλοί απ' αυτούς μπορούν να παίξουν πολύ σημαντικούς ρόλους στη διατήρηση της ποικιλότητας και της σταθερότητας του συνολικού συστήματος. Όμως, απειλούνται από την τάση προς την ομοιομορφία του αγροοικοσυστήματος, αφού η παρουσία τους και η γενετική τους ποικιλομορφία εξαρτάται σε μεγάλο βαθμό στη συνολική ποικιλότητα του συστήματος.

Σε γενικές γραμμές, αυξημένη προσοχή απαιτείται για τη συνολική ποικιλότητα του αγροοικοσυστήματος. Ένα σύστημα εκμετάλλευσης της καλλιέργειας διατηρεί όλες εκείνες τις γενετικές, οικολογικές και καλλιεργητικές διαδικασίες που τοποθετούν την ποικιλότητα σε πρώτη θέση. Η πληροφόρηση του βιολογικού ελέγχου, οι άμυνες του φυτού, οι συμβιωτές και οι ανταγωνιστές αλληλεπιδρούν και διατηρούν την γενετικής βάσης πληροφόρηση, η οποία είναι σπουδαίας αγροοικολογικής αξίας. Και εφόσον μόνο ένα τμήμα απ' όλη αυτή την πληροφόρηση βρίσκεται στο κυτόπλασμα του φυτού καλλιέργειας – κλειδιού, η απώλεια των βιοτόπων του αγροκτήματος μπορεί ακόμη περισσότερο να μειωθούν, από τη συρρίκνωση αυτής καθεαυτής της γενετικής δεξαμενής του φυτού καλλιέργειας.

15.4. Βελτίωση με σκοπό την αειφορία

Η αειφορία απαιτεί μια ριζική αλλαγή στην διαχείριση και το χειρισμό των γενετικών πόρων στα αγροοικοσυστήματα. Το θέμα – κλειδί στην αλλαγή αυτή είναι η γενετική ποικιλότητα. Τα αειφορικά αγροοικοσυστήματα είναι γενετικά διαφοροποιημένα σε κάθε επίπεδο, από το γονιδίωμα του ανεξάρτητου οργανισμού έως το σύστημα στο σύνολό του. Και η ποικιλότητα αυτή πρέπει να είναι το προϊόν της συνεξέλιξης (οι γενετικές αλλαγές έπρεπε να έχουν επισυμβεί σε ένα περιβάλλον αλληλεπίδρασης μεταξύ μιας πλειάδας πληθυσμών). Με τον τρόπο αυτό, όλοι οι συμμετέχοντες οργανισμοί (φυτά καλλιέργειας, αγροτικά και μη ζώα, μη παραγωγικά φυτά, ωφέλιμοι οργανισμοί, κ.ο.κ.) προσαρμόζονται στις τοπικές συνθήκες και την τοπική ποικιλότητα του περιβάλλοντος, μαζί με την απόκτηση των χαρακτηριστικών που τους κάνουν χρήσιμους για τους ανθρώπους.

Παραδοσιακά, ενδημικά και τοπικά αγροοικοσυστήματα περιλαμβάνουν πολλά από τα γενετικά στοιχεία της αειφορικότητας, και πολλά μπορούμε να διδαχθούμε από το παράδειγμά τους. Συγκεκριμένα, παρουσιάζουν υψηλότερη γενετική ποικιλότητα μέσα στους πληθυσμούς, καθώς επίσης και στην κοινότητα των φυτών καλλιέργειας συνολικά. Η συγκαλλιέργεια είναι πολύ συχνή, και τα μη καλλιεργούμενα φυτά αλλά και οι άγριοι συγγενείς τους εμφανίζονται, μέσα και γύρω από τους καλλιεργούμενους αγρούς, να έχουν άφθονες τις ευκαιρίες γενετικής διαφοροποίησης στο επίπεδο του καλλιεργούμενου αγρού. Στα συστήματα αυτά, η αντίσταση στην περιβαλλοντική κακουχία και τις βιοτικές πιέσεις έχει μια πολύ μεγαλύτερη γενετική βάση, η γενετική ευαισθησία είναι χαμηλότερη και όταν εμφανίζονται προσβολές και ασθένειες, η καταστροφική επιδημία είναι σπάνια. Επί της ουσίας, στα συστήματα αυτά η γενετική αλλαγή λαμβάνει χώρα, κατά το μάλλον ή ήττον, με τον ίδιο τρόπο, όπως λαμβάνει χώρα και στα φυσικά οικοσυστήματα.

15.4 1. Σταθερή ανθεκτικότητα

Η βελτίωση των φυτών καλλιέργειας έχει εστιαστεί κυρίως στη δημιουργία ισχυρής αντίστασης απέναντι στους περιοριστικούς παράγοντες του περιβάλλοντος, με τους φυσικούς παράγοντες να είναι η ξηρασία, το φτωχό έδαφος, και οι ακραίες θερμοκρασίες ή με τους βιολογικούς παράγοντες να είναι η φυτοφαγία, η ασθένεια και ο ανταγωνισμός από τα ζιζάνια. Έχουν επιτευχθεί σημαντικά κέρδη στις αποδόσεις, οι οποίες ήταν αποτέλεσμα αυτών των προγραμμάτων βελτίωσης, αλλά, όπως έχουμε ήδη σημειώσει, ένα άλλο αποτέλεσμα είναι η αυξημένη ευαισθησία στην αποτυχία της καλλιέργειας και η αυξανόμενη ευπάθεια στις μη ανανεώσιμες εισροές.

Καθώς κάθε πρόβλημα αυτοπαρουσιάζεται, οι βελτιωτές των φυτών καλλιέργειας ελέγχουν την γενετική ποικιλότητα μιας καλλιέργειας μέχρις ότου ανακαλύψουν ένα ανθεκτικό γονότυπο. Η ανθεκτικότητα αυτή παρέχεται συχνά από ένα γονίδιο. Η μεταφορά του γονιδίου και οι τεχνικές διασταύρωσης εφαρμόζονται για να ενσωματωθεί το γονίδιο σ' ένα συγκεκριμένο πρόγονο του φυτού καλλιέργειας. Το αποτέλεσμα κάποιες φορές καλείται **κάθετη ανθεκτικότητα**. Η αδυναμία της έγκειται στο γεγονός ότι η ανθεκτικότητα θα συνεχίσει να λειτουργεί, μόνο εφόσον οι περιοριστικοί παράγοντες δεν μεταβάλλονται. Δυστυχώς, στην περίπτωση των προσβολών, των ασθενειών και των ζιζανίων ο περιοριστικός παράγοντας δεν είναι ποτέ στατικός επί μακρόν, εξ αιτίας της συνεχούς φυσικής επιλογής. Έτσι, ο προβληματικός οργανισμός προφανώς αναπτύσσει μια «ανθεκτικότητα στην ανθεκτικότητα» και η επιδημία θα είναι ένα αναμενόμενο γεγονός. Η δυναμική αυτή αποτελεί και τη βάση της δουλειάς ρουτίνας των βελτιωτών των φυτών καλλιέργειας.

Ένας περισσότερο σταθερός τύπος ανθεκτικότητας είναι απαραίτητος, ο οποίος δεν θα καταρρέει εύκολα, όταν αντιμετωπίζει ένα νέο είδος ανωφελών εντόμων, ασθενειών ή ζιζανίων. Από το να κατευθύνονται τα προγράμματα βελτίωσης προς την ανάπτυξη συγκεκριμένων αντοχών, η ιδέα της διαχείρισης του όλου συστήματος φυτών καλλιέργειας είναι καλύτερη. Η επιλογή της σταθερής ανθεκτικότητας απαιτεί τη συσσώρευση μιας πλειάδας χαρακτήρων ανθεκτικότητας που χρησιμοποιούν στο επίπεδο του πληθυσμού μεθόδους διασταύρωσης, και βασίζεται στην κατανόηση της ταυτόχρονης φύσης των αλληλεπιδράσεων μεταξύ του φυτού καλλιέργειας, των επιβλαβών οργανισμών, του περιβάλλοντος και των διαχειριστών. Η επιλογή λαμβάνει χώρα ταυτόχρονα σε όλα τα επίπεδα και όχι σε μοναδικούς και συγκεκριμένους χαρακτήρες. Ο πλέον σταθερός τύπος αντίστασης που προκύπτει ονομάζεται **οριζόντια ανθεκτικότητα** (Robinson 1996).

Οι μέθοδοι βελτίωσης που παρέχουν την πλέον σταθερή ανθεκτικότητα βασίζεται στη χρήση ανοικτά επικονιασμένων, τοπικά προσαρμοσμένων φυλών. Γενικά, τα ανοικτά επικονιασμένα φυτά καλλιέργειας είναι χαμηλότερων αποδόσεων, εάν συγκριθούν με τις υβριδικές ποικιλίες, αλλά ανταποκρίνονται πολύ καλά στις τοπικές πιέσεις επιλογής, λόγω της γενετικής τους ποικιλομορφίας. Έχουν επίσης, την καλύτερη μέση απόδοση απέναντι στο συνδυασμό όλων των τοπικών περιβαλλοντικών παραγόντων, συμπεριλαμβανομένων των επιβλαβών οργανισμών, των ασθενειών και των ζιζανίων.

Η σπουδαιότητα της ανθεκτικότητας στο επίπεδο του συστήματος γίνεται ευκολότερα αποδεκτή από τους οικολόγους παρά από τους γεωπόνους. Η μελέτη της επιλογής στα φυσικά οικοσυστήματα έχει επανειλημμένα καταδείξει τους τρόπους με τους οποίους ένας «άγριος» οικότυπος ανταποκρίνεται, είτε στις θετικές, είτε τις αρνητικές πιέσεις επιλογής, όταν εισάγεται σ' ένα οικοσύστημα διαφορετικό από αυτό στο οποίο αναπτύχθηκε. Η επιλογή λειτουργεί ταυτόχρονα στο επίπεδο όλων των παραγόντων, βιοτικών και αβιοτικών, που συναντά ο οργανισμός. Αν τα δούμε από

αυτή τη σκοπιά, τα προβλήματα που συνδέονται με την γενετική ομοιομορφία στα φυτά καλλιέργειας καθίστανται περισσότερο εμφανή.

15.4.2. Επιτόπια (*in situ*) επιλογή και διατήρηση των γενετικών πόρων

Το ενδιαφέρον για τη διάβρωση και την απώλεια των γενετικών πόρων οδήγησε το 1974, στη δημιουργία του Διεθνούς Γραφείου των Φυτικών Γενετικών Πόρων (IBPGR). Δημιουργήθηκε ένα διεθνές αποταμιευτικό δίκτυο κυτταροπλάσματος φυτών καλλιέργειας *ex situ* (εκτός τόπου) και συλλέχθηκε γενετικό υλικό από τα μείζονα κέντρα γονιδίων φυτών καλλιέργειας, με σκοπό την εγκατάσταση ενός συστήματος τράπεζας γονιδίων του IBPGR. Έκτοτε, οι βελτιωτές φυτών έχουν βασιστεί σε μεγάλο βαθμό στους γενετικούς αυτούς πόρους, για την συμβατική ανάπτυξη υψηλής απόδοσης και ανθεκτικότητας ποικιλίες. Όμως, η περιορισμένη χρηματοδότηση περιόρισε το εύρος των ειδών των φυτών καλλιέργειας και των περιοχών από τις οποίες συλλέχθηκε το υλικό, αφήνοντας μεγάλο μέρος από την παγκόσμια ποικιλότητα φυτών καλλιέργειας έξω από αυτή την εκτός τόπου (*ex situ*) αποταμίευση. Της μεγαλύτερης προσοχής έτυχαν ο αραβόσιτος, το σιτάρι, το ρύζι, τα φασόλια και οι πατάτες, ενώ αποκλείστηκε ένας μεγάλος αριθμός από φυτά που παράγουν τρόφιμα. Ένα πρόβλημα που προστέθηκε ήταν ότι, οι προσπάθειες αυτές της εκτός τόπου (*ex situ*) γενετικής αποταμίευσης και της απομάκρυνσης των φυτών καλλιέργειας από τον αρχικό τους πολιτιστικο-οικολογικό χώρο ανάπτυξης, επιβάρυναν τους δεσμούς προσαρμογής μεταξύ του γονιδιώματος και του περιβάλλοντος (Altieri *et al* 1987, Oldfield and Alcorn 1987).

Για να επιτευχθεί η αειφορικότητα, η διατήρηση των γενετικών πόρων πρέπει να συμβαίνει *in situ* ή στο πλαίσιο της κοινότητας των φυτών καλλιέργειας (Wilkes 1991). Άλλωστε, η *in situ* διατήρηση περιλαμβάνει μια συνεχή επιλογή και μια γενετική αλλαγή, παρά μια στατική διατήρηση. Επιτρέπει να συμβαίνει ένα γενετικό ξεκαθάρισμα, διατηρώντας και ισχυροποιώντας τις ντόπιες φυλές. Αποπειράται να μιμηθεί όλες τις συνθήκες (τοποθεσία, συγχρονισμός, καλλιεργητικές τεχνικές), κάτω από τις οποίες θα συμβεί η μελλοντική καλλιέργειας του φυτού. Αποτέλεσμα αυτού είναι οι ποικιλίες να παραμένουν καλά προσαρμοσμένες:

- ✚ στις συνθήκες του τοπικού περιβάλλοντος,
- ✚ στις καλλιεργητικές συνθήκες του τοπικού περιβάλλοντος (π.χ. άρδευση, καλλιέργεια και λίπανση), και
- ✚ σε όλα τα τοπικά σημαντικά βιοτικά προβλήματα του φυτού καλλιέργειας (π.χ. ανωφελή έντομα, ασθένειες και ζιζάνια).

Η *in situ* διατήρηση απαιτεί όπως τα αγροκτήματα και οι παραγωγοί είναι οι αποταμιευτήρες τόσο της γενετικής πληροφόρησης, όσο και της καλλιεργητικής γνώσης του τρόπου με τον οποίο τα φυτά καλλιέργειας φροντίζονται και διαχειρίζονται. Συνεπώς, μολονότι κάπως ακραίο, θα λέγαμε ότι η αρχή της *in situ* διατήρησης ενδιαφέρεται ώστε, κάθε ένα αγρόκτημα ξεχωριστά να έχει το δικό του πρόγραμμα βελτίωσης και διατήρησης. Πράγματι, οι παραγωγοί οφείλουν να είναι ικανοί να επιλέγουν και να διατηρούν τις δικές τους τοπικά προσαρμοσμένες φυλές, όπου αυτό είναι εφικτό. Μια πιο πρακτική προσέγγιση όμως, εστιάζεται σε περιφερειακό επίπεδο. Επειδή τα περιφερειακά χαρακτηριστικά μιας γεωργικής περιοχής δημιουργούν σημαντικά κριτήρια επιλογής, τα προγράμματα επιλογής μπορούν να επικεντρωθούν μέχρι ενός βαθμού, σε μια ιδιαίτερη γεωγραφικά και οικολογικά καθορισμένη περιοχή, καθόν χρόνο μεταξύ των παραγωγών της περιοχής αυτής λαμβάνει χώρα μια σταθερή ανταλλαγή γενετικού υλικού των φυτών καλλιέργειας (Altieri and Montecinos 1993).

Πίνακας 15.1. Σημαντικοί γενετικοί πόροι και διαδικασίες για την αειφόρο γεωργία.

Πόροι ή διαδικασίες	Πλεονέκτημα για την αειφορία
<p>Ευρεία γενετική βάση με τη μορφή πολλών φυλών και αναπτυγμένων ποικιλιών. Ποικίλη συχνότητα γονιδίων μέσα και ανάμεσα στις φυλές. Γονιδιακή ροή μέσα και ανάμεσα στις φυλές, περιπτώσιακά από «άγριους» συγγενείς. Επιλογή για ποικιλότητα στις τοπικές προσαρμογές. Σχετικά μικροί πληθυσμοί. Συστήματα βελτίωσης ανοικτής επικονίασης. Μακρύτεροι βιολογικοί κύκλοι. Περιφερειακή, κατά θέσεις κατανομή. Παρουσία «άγριων» συγγενών. Εγχώρια βελτίωση. Ευέλικτες και ποικίλες περιβαλλοντικές συνθήκες στο αγρόκτημα (π.χ. συγκαλλιέργεια) Υψηλή συνολική ποικιλότητα στο αγροοικοσύστημα.</p>	<p>Μείωση της γενετικής ευπάθειας, συνεχής παραγωγή γενετικής ποικιλότητας. Μείωση της γενετικής ευπάθειας. Διατήρηση ποικιλομορφίας, ποικιλότητας και περιβαλλοντική ανθεκτικότητα. Διατήρηση της τοπικής ευελιξίας απέναντι στην περιβαλλοντική ανθεκτικότητα. Προώθηση της ποικιλότητας λόγω γενετικής αλλαγής. Προώθηση διασταυρώσεων, διατήρηση ποικιλομορφίας. Προώθηση διασταυρώσεων. Προώθηση ποικιλομορφίας. Αυτόχθονα υβρίδια και ποικιλίες. Προώθηση της ποικιλότητας και της προσαρμοστικότητας, διατήρηση περιβαλλοντικής ανθεκτικότητας. Παροχή μικροθέσεων για τη διατήρηση ποικίλων γενετικών γραμμών. Αλληλεπίδραση και ανάπτυξη περισσότερο πολύπλοκων διεξαρτήσεων και συνεξέλιξης.</p>

Πηγή: Προσαρμογή από τους Salick και Merrick (1990).

Τέλος, οι προσπάθειες της *in situ* και *ex situ* διατήρησης των γενετικών πόρων πρέπει να είναι ολοκληρωμένες. Ήδη, συνεργασίες μεταξύ μη κερδοσκοπικών ομάδων και παραγωγών έδειξαν ότι τα δύο αυτά είδη προγραμμάτων μπορούν να αλληλοσυμπληρωθούν και να προωθήσουν μια περισσότερο αποτελεσματική και ισότιμη διατήρηση. Ο Οργανισμός Αυτόχθονων Σπόρων / SEARCH στην Tuscon της Arizona για παράδειγμα, συμπληρώνει τις δραστηριότητες του για την *ex situ* συλλογή σπόρων και την αποθήκευσή τους, ενθαρρύνοντας τους παραγωγούς να καλλιεργούν αυτόχθονες και παραδοσιακές ποικιλίες φυτών καλλιέργειας. Ο οργανισμός προμηθεύει στους παραγωγούς σπόρους, οι ποικιλίες των οποίων έχουν χαθεί και στη συνέχεια, αγοράζει από τους παραγωγούς το περίσσειμα της παραγωγής. Έτσι, τα αγροκτήματα των παραγωγών καθίστανται οι θέσεις τόσο της συγκράτησης των παραδοσιακών γενετικών πόρων, όσο και ο χώρος ξεκαθαρίσματος για τις ποικιλίες του μέλλοντος. Όταν στους αγρούς αυτούς εφαρμόζεται η ντόπια γνώση, οι αυτόχθονοι πόροι και οι περιορισμένες βιομηχανικές εισροές, τότε μπορεί να λάβει χώρα η βελτίωση με κατεύθυνση την αειφορικότητα (Nabham 1989).

15.4.3. Διατήρηση πόρων φυτών μικρότερης καλλιεργητικής αξίας και φυτών χωρίς καλλιεργητική αξία

Οι γενετικοί πόροι στα αγροοικοσυστήματα επεκτείνονται πέρα από τα σχετικά λίγα είδη των φυτών καλλιέργειας, τα οποία σήμερα παρέχουν τη μεγάλη μάζα των τροφίμων που καταναλώνονται από το μεγαλύτερο μέρος του ανθρώπινου πληθυσμού. Τοπικής σπουδαιότητας, μικρότερης σπουδαιότητας ή λιγότερο χρησιμοποιούμενα φυτά καλλιέργειας, καθώς επίσης και μια σειρά ειδών που δεν χρησιμοποιούνται ως φυτά καλλιέργειας με ισχυρή πιθανότητα να καταστούν μελλοντικά φυτά καλλιέργειας,

σχηματίζουν όλα τους, μέρος των γενετικών πόρων που είναι διαθέσιμα για τη δημιουργία προγραμμαμάτων βελτίωσης φυτών για την αειφορική γεωργία. Σχηματίζουν επίσης, το τμήμα του όλου συστήματος, η διαδικασία της οριζόντιας ανθεκτικότητας του οποίου είναι ουσιώδης για την γενετική βάση των συστημάτων αειφορικής γεωργίας. Συνεπώς, είναι πολύ σημαντικό να επεκταθούν οι προσπάθειες της γενετικής διατήρησης, ώστε να συμπεριληφθούν όλοι αυτοί οι τύποι από τα φυτά καλλιέργειας, τα φυτά που δεν καλλιεργούνται και οι «άγριοι» συγγενείς των ειδών. Ο σκοπός αυτός επιτυγχάνεται άριστα με την διατήρηση του παραδοσιακού αγροοικοσυστήματος, στο οποίο απαντώνται όλοι αυτοί οι τύποι (Altieri *et al.* 1987).

15.5. Χρήσιμη συμπληρωματική βιβλιογραφία

Bains, W. 1993. *Biotechnology from A to Z*. Oxford University Press: New York.

Endler, J. A. 1986. *Natural Selection in the Wild*. Princeton University Press: Princeton, NJ.

Myers, N. 1983. *A Wealth of Wild Species: Storehouse foe Human Welfare*. Westview Press: Boulder, Colorado. Pp. 13-88.

National Academy of Sciences. 1972. *Genetic Vulnerability of Major Crops*. National Academy Press: Washington, D.C.

National Academy of Sciences. 1975. *Underexploited Tropical Plants with Promising Economic value*. National Academy Press: Washington, D.C.

Pluckett, D. L., N. Smith, J. Williams, and N. Anisletty. 1987. *Gene banks and the World's Food*. Princeton University Press: Princeton, NJ.

Rissler, J. and M. Mellon. 1993. *Perils Amidst the Promise: Ecological Risks of Transgenic Crops in a Global Market*. Union of Concerned Scientists: Cambridge, MA.

Simmonds, N. W. 1979. *Principles of Crop Improvement*. Longman: London.

Simpson, B. B. and M. C. Ogorzaly. 1995. *Economic Botany: Plants in Our World*. McGraw-Hill, Inc.: New York.

Smith, B. D. 1995. *The emergence of Agriculture*. Scientific American Library; A division of HPHLP: New York.

Κεφάλαιο Δέκατο Έκτο

Η αλληλεπίδραση των ειδών στις κοινότητες των φυτών καλλιέργειας

16.1. Γενικά

Σε οικολογικούς όρους, ένα σύστημα φυτών καλλιέργειας αποτελεί μια **κοινότητα** που σχηματίζεται από ένα σύμπλοκο αλληλεπιδρώντων πληθυσμών φυτών καλλιέργειας, ζιζανίων, εντόμων και μικροοργανισμών. Οι αλληλεπιδράσεις ανάμεσα στους πληθυσμούς της κοινότητας των φυτών καλλιέργειας, οι οποίες θα προέλθουν από τα διαφορετικά είδη παρέμβασης, προσδίδουν τα χαρακτηριστικά της κοινότητας, τα οποία υφίστανται μόνο στο επίπεδο της κοινότητας και τις καλούνται **αναδυόμενες ποιότητες**. Οι αναδυόμενες αυτές ποιότητες δεν είναι δυνατόν να εξηγηθούν πλήρως με όρους ιδιοτήτων πληθυσμών και ανεξαρτήτων ατόμων. Τόσο στα φυσικά οικοσυστήματα, όσο και στα αγροοικοσυστήματα, τα φαινόμενα στο επίπεδο της κοινότητας είναι κρίσιμης σημασίας για τη σταθερότητα του συστήματος και τη δυναμική της λειτουργικότητάς του.

Οι ερευνητές στη γεωργία όμως, κανονικά εστιάζουν περισσότερο την προσοχή τους στους πληθυσμούς των φυτών καλλιέργειας, οι οποίοι και αποτελούν κεντρικής σπουδαιότητας συστατικά στο σύστημα του αγροκτήματος, παρά στην κοινότητα της οποίας αποτελούν ένα τμήμα. Επειδή όμως, εξαιτίας της αφαιρετικής αυτής προσέγγισης, αυτοί αποτυγχάνουν να κατανοήσουν τα καλλιεργητικά συστήματα ως κοινότητες, χάνουν την ικανότητα να αποκτήσουν πλεονεκτήματα από τις αναδυόμενες στο επίπεδο της κοινότητας ποιότητες ή να χειριστούν τις αλληλεπιδράσεις της κοινότητας προς όφελος του καλλιεργητικού συστήματος.

Η συμβατική γεωργία έχει σε μεγάλο βαθμό ενδιαφερθεί για τις αλληλεπιδράσεις των ειδών, με την έννοια ότι αυτή εστίασε την προσοχή της στις καταστροφικές επιπτώσεις των αποδόσεων των φυτών καλλιέργειας από την επίδραση

των μη καλλιεργούμενων οργανισμών, όπως είναι τα ζιζάνια, οι επιβλαβείς οργανισμοί και οι ασθένειες στο περιβάλλον των φυτών καλλιέργειας. Για πολλά έτη, η έρευνα οδηγήθηκε προς την κατεύθυνση της εξαφάνισης των καταστροφικών αυτών επιδράσεων. Οι οργανισμοί που δεν συμμετέχουν στο παραγωγικό τμήμα του συστήματος της καλλιέργειας θεωρείται ότι «ανταγωνίζονται» τα φυτά καλλιέργειας ή ότι επιδρούν στη μείωση της απόδοσης. Ταυτόχρονα, έχει διεξαχθεί πολύ σημαντική έρευνα για να καθοριστούν οι άριστες πυκνότητες για κάθε φυτό καλλιέργειας, τα οποία συνήθως φυτεύεται ως μια μονοκαλλιέργεια, με σκοπό την ελαχιστοποίηση του ανταγωνισμού μεταξύ των ειδών για τους πόρους και κατά συνέπεια, την επίτευξη μέγιστων αποδόσεων.

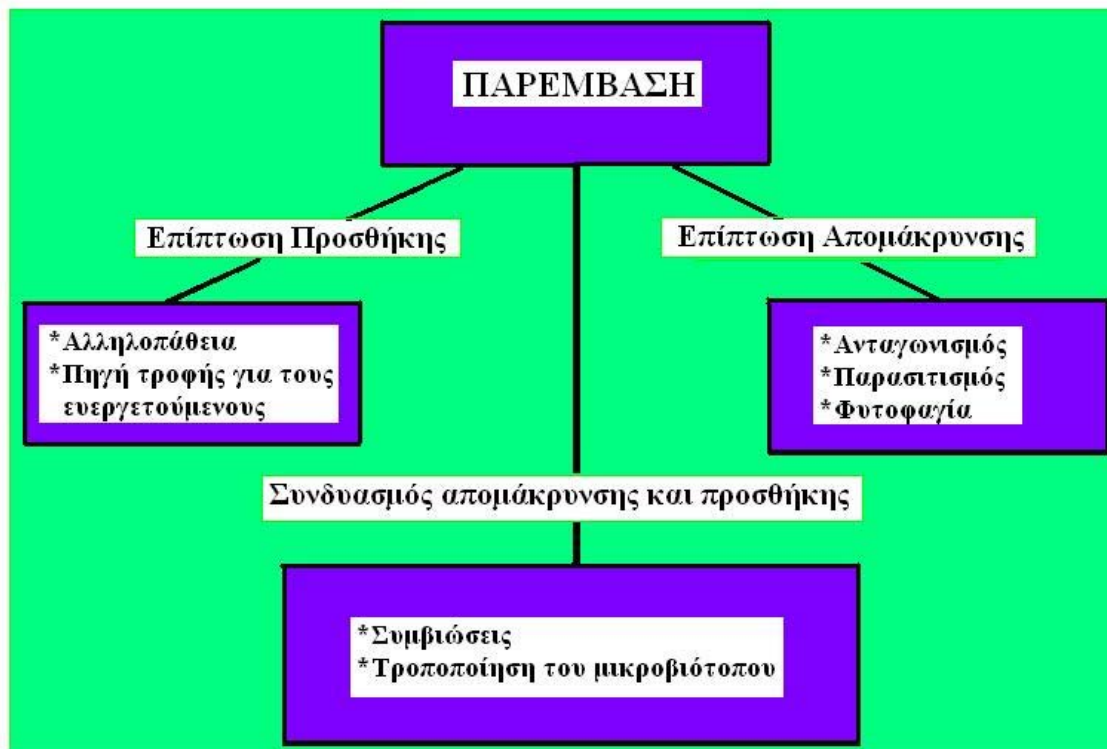
Προσπαθώντας να μειώσει και να ελαχιστοποιήσει τις αλληλεπιδράσεις, η συμβατική προσέγγιση τείνει να απλοποιήσει την κοινότητα των φυτών καλλιέργειας. Κατά μια έννοια, ο απώτερος στόχος είναι η μείωση της σ' ένα μοναδικό πληθυσμό φυτών καλλιέργειας, ο οποίος θα αναπτύσσεται σ' ένα τρόπον τινά αποστειρωμένο αβιοτικό περιβάλλον.

Αντιθέτως, στη διαχείριση του συστήματος καλλιέργειας η αγροοικολογική προσέγγιση είναι να γίνουν κατανοητές οι αλληλεπιδράσεις των ειδών, στο πλαίσιο μιας ευρύτερης κοινότητας. Ο αγροοικολόγος αναγνωρίζει την ύπαρξη της ευεργετικής αλληλεπίδρασης των ειδών, κατανοεί πως αυτές δημιουργούνται από την επίπτωση των παρεμβάσεων και γνωρίζει ότι είναι επιθυμητό ένα συγκεκριμένο επίπεδο πολυπλοκότητας. Αποδίδοντας προσοχή στην οικολογία της κοινότητας των φυτών καλλιέργειας, είναι δυνατό να δημιουργηθούν ευεργετικές αλληλεπιδράσεις και αναδυόμενες ποιότητες, οι οποίες όχι μόνο δεν θα μειώσουν την ανάγκη για τους εξωτερικούς πόρους, αλλά θα αυξήσουν τις συνολικές αποδόσεις.

16.2. Παρέμβαση στο επίπεδο της κοινότητας

Τη βάση για την κατανόηση των αλληλεπιδράσεων των ειδών στο πλαίσιο της δομής και της λειτουργίας της κοινότητας τη μελετήσαμε στο Δωδέκατο Κεφάλαιο του Δευτέρου Μέρους. Εκεί, συζητήσαμε πως οι αλληλεπιδράσεις από οργανισμό σε οργανισμό μπορούν να εννοιοποιηθούν ως παρεμβάσεις, στις οποίες ένας οργανισμός έχει ένα είδος επίδρασης στο περιβάλλον του και μέσα από αυτήν την επίδραση επηρεάζει κάποιον άλλο οργανισμό. Αναγνωρίσαμε δύο τύπους παρεμβάσεων: τις παρεμβάσεις απομάκρυνσης, στις οποίες η περιβαλλοντική επίπτωση συνίσταται στην απομάκρυνση κάποιου πόρου από τον ένα ή και τους δύο αλληλεπιδρώντες οργανισμούς και οι παρεμβάσεις προσθήκης, στις οποίες ο ένας ή και αμφότεροι οι οργανισμοί προσθέτουν στο περιβάλλον κάποια ουσία ή κάποια δομή. Και οι δύο τύποι παρέμβασης μπορεί να έχουν ευεργετικές, καταστροφικές ή ουδέτερες επιπτώσεις για τους γειτονικούς οργανισμούς. Όπως στο ίδιο κεφάλαιο συζητήσαμε επίσης, το πλεονέκτημα της προσέγγισης της παρέμβασης είναι ότι αυτή επιτρέπει μια περισσότερο ολοκληρωμένη αντίληψη των μηχανισμών της αλληλεπίδρασης.

Στο επίπεδο της κοινότητας η ύπαρξη πολλών πληθυσμών υποδηλώνει ότι μπορούν να συμβούν ταυτόχρονα πολλά είδη παρεμβάσεων. Αυτές οι πολλές παρεμβάσεις μπορεί να αντιδράσουν μεταξύ τους και να τροποποιήσουν η μια την άλλη, δημιουργώντας με τον τρόπο αυτό ένα πλέγμα σχέσεων ανάμεσα στα μέλη της κοινότητας. Παρόλη την πολυπλοκότητα αυτή, εμείς μπορούμε να κατανοήσουμε τόσο τους ανεξάρτητους τύπους παρεμβάσεων που υπάρχουν ανάμεσα στους πληθυσμούς, όσο και το συνολικό αποτέλεσμα του πλέγματος των παρεμβάσεων στην κοινότητα ως σύνολο, διότι η έννοια της παρέμβασης επιτρέπει την ανάλυση των μηχανισμών της αλληλεπίδρασης.



Εικόνα 16.1. Τρόποι παρεμβάσεων που υποδηλώνουν την αλληλεπίδραση στις (φυτο)κοινότητες.

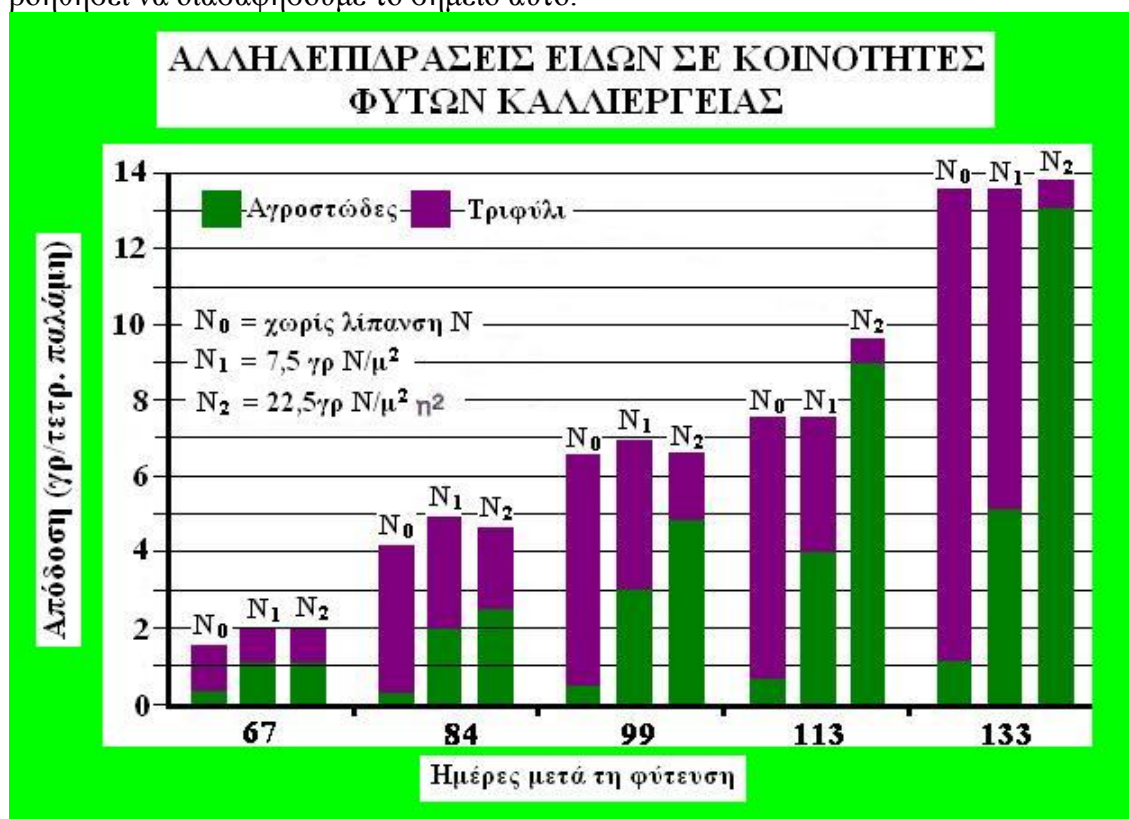
Πηγή: Προσαρμογή από τον Gliessman (2000).

Στην **Εικόνα 16.1** περιγράφονται σχηματικά, κάποιοι από τους τρόπους με τους οποίους οι παρεμβάσεις μπορούν να συνδυαστούν, ώστε αυτές να επιδράσουν στην κοινότητα των φυτών καλλιέργειας. Η άμεση απομάκρυνση κάποιου παράγοντα από το περιβάλλον οδηγεί σε αλληλεπιδράσεις, όπως είναι ο ανταγωνισμός ή η χορτοφαγία, ενώ οι προσθήκες μπορούν να οδηγήσουν στην αλληλοπάθεια ή την παραγωγή τροφής για τους ευεργετούμενους οργανισμούς. Αμφότερες οι παρεμβάσεις μπορεί να συμβούν ταυτόχρονα και να οδηγήσουν σε διαφορετικές αλληλεπιδράσεις. Πολλές συμβιώσεις προέρχονται από συνδυασμένες παρεμβάσεις προσθήκης / απομάκρυνσης, όπως για παράδειγμα, η επικονίαση (απομάκρυνση νέκταρος και προσθήκη γύρης), και η βιολογική δέσμευση του αζώτου (προσθήκη δεσμευμένου αζώτου από τα βακτήρια και απομάκρυνση αζώτου από τα ψυχανθή). Επιπροσθέτως, μια συνδυασμένη παρέμβαση προσθήκης / απομάκρυνσης μεταξύ των πληθυσμών μπορεί να τροποποιήσει το μικροκλίμα του συστήματος καλλιέργειας, με τρόπους οι οποίοι θα επηρεάσουν τους πληθυσμούς και των άλλων ειδών. Η τροποποίηση της σκίασης, της μόνωσης του εδάφους, της θερμοκρασίας και του ανέμου, και οι διαφοροποιημένες σχέσεις υγρασίας, συνδυάζονται για να δημιουργήσουν μέσα στο σύστημα καλλιέργειας ένα μικροκλίμα που είναι επαγωγικό στην παρουσία των οργανισμών, οι οποίοι εν τέλει θα είναι ευεργετικοί για ολόκληρη την κοινότητα των φυτών καλλιέργειας.

16.2.1. Η πολυπλοκότητα των αλληλεπιδράσεων

Οι τρόποι με τους οποίους οι διάφοροι πληθυσμοί μιας κοινότητας φυτών καλλιέργειας επηρεάζουν μέσω των παρεμβάσεών τους την κοινότητα στο σύνολό της,

μπορεί να είναι πολύπλοκοι και δύσκολοι να διακριθούν. Ένα παράδειγμα θα μας βοηθήσει να διασαφήσουμε το σημείο αυτό.



Εικόνα 16.2. Σχετική κυριαρχία του αγρωστώδους (*Lolium rigidum*) και του ψυχανθούς (*Trifolium subterraneum*) σε συσχέτιση με τα επίπεδα του αζωτούχου λιπάσματος.

Πηγή: Προσαρμογή δεδομένων από τους Stern & Donald (1961).

Για μεγάλο χρονικό διάστημα μελετήθηκε η ανάπτυξη της κομοστέγης σε ένα μίγμα αγρωστώδους και ψυχανθούς. Τα δεδομένα της μελέτης αυτής παρουσιάζονται στην **Εικόνα 16.2**. Έτσι λοιπόν, όταν εξετάστηκε η αλληλεπίδραση μεταξύ των δύο αυτών ειδών του μίγματος, χωρίς την προσθήκη αζώτου, έδειξε ότι έλαβε χώρα ανταγωνισμός μεταξύ των δύο για το κάτω από την κομοστέγη περιορισμένο φως. Η σκίαση από το τριφύλλι έδειξε να εμποδίζει το λόλιο. Από τα δεδομένα μπορούμε να συμπεράνουμε ότι, λόγω της συμβίωσης του με τα αζωτοδεσμευτικά βακτήρια, το τριφύλλι είναι ικανό να αποφεύγει τον ανταγωνισμό για το άζωτο και να καθίσταται κυρίαρχο. Όμως, τα δεδομένα που ελήφθησαν, μετά την προσθήκη διαφορετικών ποσοτήτων αζωτούχου λιπάσματος στο μίγμα, διαφοροποίησε την εικόνα της δυναμικής της κοινότητας. Η επίπτωση της προσθήκης του αζώτου είναι η μεταβολή της ισορροπίας στην κυριαρχία των ειδών. Με το τελευταίο δεδομένο στο μίγμα, στα χαμηλά επίπεδα αζώτου κυριαρχεί το τριφύλλι, στα υψηλά επίπεδα αζώτου όμως, κυριαρχεί το λόλιο. Το πλεονέκτημα μιας καλλιέργειας πάνω στην άλλη μεταβάλλεται από την διαθεσιμότητα του αζώτου, με το αγρωστώδες να καθίσταται περισσότερο κυρίαρχο καθώς αυξάνεται η παροχή αζώτου. Τα δεδομένα αυτά μας οδηγούν σε τρόπον τινά διαφορετικά συμπεράσματα. Ίσως, ο ανταγωνισμός για το φως να είναι ο παράγοντας – κλειδί ή ίσως, κάποια πολύπλοκη αλληλεπίδραση για το φως, την διαθεσιμότητα του αζώτου και κάποιου άλλου παράγοντα (π.χ. αλληλοπαθητικά χημικά που προστίθενται στο έδαφος από το αγρωστώδες) επιδρούν στο καλλιεργητικό μίγμα.

Τα δεδομένα αυτά δημιουργούν και άλλα ερωτήματα. Για παράδειγμα, τι θα συνέβαινε σε μια μικτή καλλιέργεια, στην οποία τα εμπλεκόμενα είδη έχουν πολύ

παρόμοιες ανάγκες σε άζωτο και τις ικανότητες απόκτησης του; Κάτω από συνθήκες περιορισμένης παροχής αζώτου, προφανώς θα προκύψει ανταγωνισμός και αμφότερα τα είδη θα υποφέρουν, τελικά όμως, ένα από τα δύο θα κυριαρχήσει επί του άλλου. Υπάρχει όμως και μια άλλη εκδοχή. Τα δυο διαφορετικά είδη είναι δυνατό να έχουν συμπληρωματικούς τρόπους χρήσης του αζώτου, όταν αυτός βρίσκεται σε περιορισμένη παροχή. Η χρονική στιγμή της αύξησης να είναι διαφορετική ή τα ριζικά τους συστήματα να καταλαμβάνουν διαφορετικές περιοχές του εδάφους. Έτσι, θα μπορέσουν να αποφύγουν τον ανταγωνισμό και να συνυπάρξουν στο ίδιο σύστημα.

16.2.2. Η συνύπαρξη

Στις πολύπλοκες φυσικές κοινότητες, οι πληθυσμοί των οικολογικά όμοιων οργανισμών συχνά μοιράζονται τον ίδιο βίοτοπο, χωρίς σημαντικά εμφανή ανταγωνιστική παρέμβαση, ακόμη και όταν σε σημαντικό βαθμό οι οικοθέσεις τους επικαλύπτονται. Παρομοίως, στις φυσικές (φυτο)κοινότητες συμβαίνει συχνά περισσότερα από ένα είδος να μοιράζονται το ρόλο του κυρίαρχου είδους. Προκύπτει κατά συνέπεια ότι, η αρχή του ανταγωνιστικού αποκλεισμού, ο οποίος συνεπάγεται ότι δύο είδη με παρόμοιες ανάγκες δεν μπορούν να καταλαμβάνουν την ίδια οικοθέση στο περιβάλλον, να μην εφαρμόζεται σε πολλές κοινότητες πλήρως.

Η ικανότητα της «αποφυγής» του ανταγωνισμού και αντ' αυτού της επικράτησης της συνύπαρξης σε μικτές κοινότητες, οδηγεί σε πλεονεκτήματα για όλα τα εμπλεκόμενα μέλη της κοινότητας. Συνεπώς, κατά μια εξελικτική έννοια, η ικανότητα αυτή μπορεί να παράσχει σημαντικό πλεονέκτημα επιλογής. Μολονότι η επιλογή για την ανταγωνιστική ικανότητα είναι αναμφίβολα πολύ σημαντική για την εξέλιξη, οι οικολόγοι τώρα, αποδέχονται με μεγαλύτερη ευρύτητα την ιδέα, ότι η επιλογή για την συνύπαρξη μπορεί να αποτελεί περισσότερο τον κανόνα παρά την εξαίρεση (den Boer 1986).

Είναι επίσης πιθανό, πολλά εξημερωμένα είδη να έχουν περάσει μια κατευθυνόμενη επιλογή για την συνύπαρξη, έχοντας αναπτυχθεί για πολλές χιλιάδες έτη σε πολυκαλλιέργειες. Στο πλαίσιο αυτό, τα φυτά μπορεί να έχουν συνεξελιχθεί, αναπτύσσοντας το καθένα προσαρμογές για συνύπαρξη.

Οι μικτοί πληθυσμοί είναι ικανοί να συνυπάρχουν εξαιτίας των πολλών διαφορετικών μηχανισμών, όπως π.χ. η κατανομή των πόρων, η διαφοροποίηση της οικοθέσης, ή κάποιοι συγκεκριμένοι φυσιολογικοί μηχανισμοί, μηχανισμοί συμπεριφοράς ή μηχανισμοί γενετικών αλλαγών, οι οποίοι ελαττώνουν τον άμεσο ανταγωνισμό και επιτρέπουν την αποτροπή του. Η κατανόηση των μηχανισμών της παρέμβασης που καθιστούν την συνύπαρξη δυνατή, μπορεί να αποτελέσει τον ακρογωνιαίο λίθο για τον σχεδιασμό των πολλαπλών κοινοτήτων με φυτά καλλιέργειας.

Στα αγροοικοσυστήματα, ο συνδυασμός των ειδών με ελαφρώς διαφορετικά φυσιολογικά χαρακτηριστικά ή με διαφορετικές ανάγκες σε πόρους, είναι ένας σημαντικός τρόπος για να συνυπάρξουν τα είδη σε μια πολλαπλή καλλιεργητική κοινότητα. Στο σχεδιασμό της κοινότητας των φυτών καλλιέργειας, μια τέτοια προσέγγιση έχει πολύ μεγαλύτερη πιθανότητα επικράτησης, αντί της προσπάθειας να διατηρηθεί σ' έναν αγρό η κυριαρχία του ενός είδους, με την εφαρμογή της μονοκαλλιέργειας, στον οποίο άλλωστε, απαιτείται σημαντική ανθρώπινη παρέμβαση, ώστε να αποκλειστούν τα πιθανώς ανταγωνιστικά ζιζάνια ή τα φυτοφάγα έντομα. Επιτυχημένες μικτές κοινότητες φυτών καλλιέργειας σ' όλο τον κόσμο προσφέρουν καρποφόρο έδαφος για την έρευνα, σχετικά με τον τρόπο με τον οποίο θα αποτρέπεται ο ανταγωνισμός ή θα ευνοείται η συνύπαρξη και με πως θα παίζουν αμφότεροι ένα σημαντικό οικολογικό ρόλο στα καλλιεργητικά συστήματα.

16.2.3. Οι συμβιώσεις

Τα είδη που παρουσιάζουν μια συμβιωτική σχέση δεν είναι μόνο ικανά να συνυπάρξουν αλλά, για την άριστη ανάπτυξή τους, εξαρτώνται το ένα από το άλλο. Οι συμβιώσεις πιθανώς, αποτελούν το αποτέλεσμα της συνύπαρξης των ειδών, τα οποία συνεχίζοντας στην ίδια εξελικτική κατεύθυνση, συνεξελίσσουν τις προσαρμογές τους, έτσι ώστε, να επιτύχουν αμοιβαία οφέλη, μέσω μιας τρόπων τινά στενής συνεργασίας. Οι οικολόγοι τώρα γνωρίζουν ότι, στα φυσικά οικοσυστήματα οι συμβιωτικές σχέσεις μεταξύ των οργανισμών των διαφορετικών ειδών είναι σχετικά συνηθισμένες, δημιουργώντας διαπλεκόμενες αλληλεξαρτήσεις μεταξύ των μελών της (φυτο)κοινότητας. Η επικράτησή τους είναι ένας ακόμη παράγοντας που εξηγεί την παρατηρούμενη πολυπλοκότητα και την ποικιλότητα πολλών κοινοτήτων αλλά και των τροφικών τους δικτύων. Επίσης, η ίδια συνεξελικτική διαδικασία συνέβη αναμφίβολα κατά τη διάρκεια της εξημέρωσης των ειδών στη γεωργία, είτε με την παρέμβαση της ανθρώπινης επιλογής, είτε συμπτωματικά, μέσα στο πλαίσιο των πολλαπλών καλλιεργητικών συστημάτων.

Οι πλέον κοινά αναγνωρίσιμοι τύποι των συμβιώσεων περιλαμβάνουν και τις παρακάτω περιπτώσεις:

- ✚ **Εσωτερικές συμβιώσεις.** Περιπτώσεις κατά τις οποίες ο ένας συμβιωτής ζει ολοκληρωτικά ή εν μέρει εντός του άλλου. Ένα κλασικό παράδειγμα είναι η σχέση ανάμεσα στα βακτήρια του γένους *Rhizobium* και τα ψυχανθή. Τα αζωτοδεσμευτικά βακτήρια στη σχέση αυτή δεν μπορούν να λειτουργήσουν εκτός των φυματίων που δημιουργούνται στις ρίζες των φυτών. Η συμβίωση αυτή αποτελεί τον ακρογωνιαίο λίθο πολλών από τα πλέον αειφορικά καλλιεργητικά συστήματα σ' όλο τον πλανήτη.
- ✚ **Εξωτερικές συμβιώσεις.** Περιπτώσεις κατά τις οποίες οι εμπλεκόμενοι οργανισμοί είναι σχετικά φυσικά ανεξάρτητοι, αλληλεπιδρούν όμως άμεσα. Ένα παράδειγμα αποτελεί η σχέση μεταξύ ενός ανθισμένου φυτού και του εντόμου που το επικονιάζει. Πολλά φυτά καλλιέργειας είναι ανίκανα να παράγουν γόνιμους σπόρους χωρίς να επικονιαστούν από τις μέλισσες, και οι μέλισσες εξαρτώνται από τα φυτά καλλιέργειας για τη δική τους κύρια πηγή τροφής, με τη μορφή του νέκταρος και της γύρης.
- ✚ **Έμμεσες συμβιώσεις.** Περιπτώσεις κατά τις οποίες η αλληλεπίδραση ανάμεσα σ' ένα σύνολο ειδών τροποποιεί το περιβάλλον, στο οποίο όλα τους ζουν προς όφελος της μίξης. Ένα παράδειγμα αποτελεί ένα αγροοικοσύστημα πολλαπλών καλλιεργειών. Ένα υψηλό φυτό καλλιέργειας μπορεί να τροποποιήσει τις συνθήκες του μικροκλίματος επ' ωφελεία των άλλων φυτών που το συνοδεύουν και η παρουσία αρκετών φυτών καλλιέργειας προσελκύει μια πλειάδα ευεργετικών αρθροπόδων, τα οποία διευκολύνουν την βιολογική διαχείριση των πιθανών επιβλαβών ειδών. Σε αντίθεση με τους δυο πρώτους τύπους συμβίωσης, οι έμμεσες συμβιώσεις περιλαμβάνουν περισσότερα από δυο είδη. Οι έμμεσες συμβιώσεις επίσης, μπορεί να συμπεριλάβουν τόσο τις εσωτερικές όσο και τις εξωτερικές συμβιώσεις.

Κάποιες συμβιώσεις είναι υποχρεωτικές για όλα τα εμπλεκόμενα μέλη, ενώ σε κάποιες άλλες, μόνο ένα μέλος μπορεί να αναζητά τη σχέση. Σε άλλες περιπτώσεις, οι οποίες ονομάζονται διευκολυντικές συμβιώσεις, όλα τα μέλη της συμβίωσης μπορεί να είναι ικανά να επιβιώσουν χωρίς την αλληλεπίδραση, αλλά αποδίδουν αναμφίβολα πολύ καλύτερα, όταν αυτά βρίσκονται σε συσχέτιση. Συχνά, οι συμβιώσεις δεν λειτουργούν τόσο καλά, όχι λόγω κάποιων ερεθισμάτων ή κάποιων άμεσων ωφελειών

των εμπλεκόμενων οργανισμών, αλλά επειδή αυτό βοηθά τα είδη να αποφεύγουν κάποια αρνητική επίδραση ή επιδράσεις.

Στην οικολογία, η επέκταση της θεωρίας της συμβίωσης άρχισε να βρίσκει άμεση εφαρμογή στην ανάπτυξη περισσότερο διαφοροποιημένων κοινοτήτων φυτών καλλιέργειας, στις οποίες μπορούν να παρουσιαστούν οι συμβιωτικές σχέσεις. Με την ενσωμάτωση των σχέσεων αυτών στις κοινότητες των φυτών καλλιέργειας επιτυγχάνουμε την εγκατάσταση αειφορικών συστημάτων, τα οποία απαιτούν λιγότερες εξωτερικές εισροές και μικρότερη ανθρώπινη παρέμβαση.

Με τη συμβολή των ευεργετικών αλληλεπιδράσεων, οι συμβιώσεις στα αγροοικοσυστήματα αυξάνουν την αντίσταση του συνολικού συστήματος στις αρνητικές επιδράσεις των επιβλαβών ειδών, των ασθενειών και των ζιζανίων. Ταυτόχρονα, στο σύστημα βελτιώνεται η αποτελεσματικότητα της ενέργειας που συλλαμβάνεται, αλλά και η πρόληψη και η ανακύκλωση των θρεπτικών στοιχείων. Οσάκις καθίσταται εφικτό οι συμβιωτικές σχέσεις να ενσωματωθούν στην οργάνωση της κοινότητας των φυτών καλλιέργειας, η αειφορικότητα είναι πολύ εύκολο να επιτευχθεί και να διατηρηθεί.

16.2.4. Η ιστορία της μελέτης των συμβιώσεων

Η ιδέα ότι οι οργανισμοί είναι δυνατό να συσχετίζονται μεταξύ τους με αμοιβαίως επωφελείς τρόπους έχει μια πολύ μακρά ιστορία (Boucher 1985). Οι αρχαίοι Έλληνες και οι Ρωμαίοι αναγνώριζαν ότι η φύση ήταν γεμάτη από παραδείγματα φυτών και ζώων τα οποία «βοηθούσαν» το ένα το άλλο. Ένα χαρακτηριστικό παράδειγμα αντλούμε από στην *Ιστορία* του Ηροδότου. Αυτός περιγράφει μια τέτοια σχέση ανάμεσα σ' ένα πτηνό και ένα κροκόδειλο. Το πτηνό βοηθάει τον κροκόδειλο «τσιμπώντας» και τρώγοντας τις λειχήνες από το στόμα του κροκόδειλου, και ο κροκόδειλος ουδέποτε επιβουλεύεται το πτηνό.

Στα 1600, η θεωρία της φυσικής θεολογίας προώθησε την άποψη ότι τα φυτά και τα ζώα, μερικές φορές αυθόρμητα, βοηθούσαν το ένα το άλλο, σε συμφωνία με την φυσική τάξη των πραγμάτων. Πίστευαν ότι η Θεία Πρόνοια έδινε σε κάθε οργανισμό ένα συγκεκριμένο ρόλο να παίζει στην ευρύτερη «κοινωνία» του φυσικού κόσμου και κάποιοι οργανισμοί είχαν το ρόλο του φύλακα ή του βοηθού.

Στη διάρκεια των 18^{ου} και 19^{ου} αιώνων, με την πρόοδο της βιομηχανικής επανάστασης, στην επιστήμη απόκτησε προβάδισμα η ιδέα ότι, ο ανταγωνισμός μεταξύ των οργανισμών ήταν η κινητήρια δύναμη στη φύση. Το δημοσίευμα του Καρόλου Δαρβίνου (Charles Darwin) «Η Προέλευση των Ειδών» (*The Origin of Species*) ήταν ο άξονας φοράς έμφασης στον ανταγωνισμό, διότι η τοποθέτησή του ήταν ότι, «ο αγώνας για την ύπαρξη» ήταν η πρωταρχική επιλεκτική πίεση στην εξελικτική διαδικασία.

Αμέσως μετά τη δημοσίευση «της Προέλευσης των Ειδών», αναζωογονήθηκε το ενδιαφέρον για την έννοια της συμβίωσης. Ο όρος **συμβίωση** εισήχθη επίσημα το 1873 από τον Pierre van Beneden, σε μια διάλεξή του στη Βασιλική Ακαδημία του Βελγίου και το 1877 ο Alfred Espinas, στη διδακτορική του διατριβή, στοιχειοθέτησε πολλαπλά παραδείγματα συμβιώσεων. Στην συνέχεια, το 1893, ο Roscoe Pound, σε μια σημαντική εργασία, αναφέρθηκε στην ρομαντική έννοια της συμβίωσης, ως μια βοήθεια η οποία δίδεται ελεύθερα και αυθόρμητα μεταξύ των οργανισμών, εξηγώντας ότι σε μια συμβίωση, ο κάθε οργανισμός δρα απλώς για το δικό του συμφέρον. Το πτηνό του παραδείγματος βρίσκει την τροφή του και ο κροκόδειλος ανακουφίζεται από τα παράσιτα. Το γεγονός ότι μια τέτοια αλληλεπίδραση είναι αμοιβαίως επωφελής, αυτό την κάνει να είναι μια συμβίωση. Η πρόθεση του ανεξάρτητου οργανισμού δεν έχει καμία σχέση.

Καθώς στον 20^ο αιώνα η οικολογία αναπτύσσονταν ως επιστήμη, το ενδιαφέρον για τις συμβιώσεις παρέμεινε στα περιθώρια της επιστήμης, με το μεγαλύτερο μέρος της έρευνας να ασχολείται με την αλληλεπίδραση στο επίπεδο της κοινότητας και να έχει επίκεντρο τον ανταγωνισμό. Η συμβίωση δεν «σήκωσε κεφάλι» παρά μόνο μετά τη δεκαετία του 70.

Οι συμβιώσεις έχουν σπουδαία ιστορική σημασία για τη γεωργία, η οποία από μόνη της μπορεί να θεωρηθεί ότι είναι μια υποχρεωτική συμβίωση ανάμεσα στους ανθρώπους και τα φυτά καλλιέργειας, τα οποία αυτοί εξημέρωσαν. Τα παραδοσιακά αγροοικοσυστήματα ανέπτυξαν διευκολυντικές συμβιώσεις, όπως για παράδειγμα τη συμβίωση των αζωτοβακτηρίων με τα ψυχανθή και συντόνισαν τις επιδράσεις των ωφέλιμων εντόμων και των μη καλλιεργούμενων φυτών. Άλλωστε, η συμβατική γεωργία έχει την τάση να εκμηδενίζει αυτές τις ευεργετικές αλληλεπιδράσεις και τις αντικαθιστά με εισροές που προέρχονται από τον άνθρωπο.

16.3. Η δράση των αμοιβαίως επωφελών παρεμβάσεων στα αγροοικοσυστήματα

Μετά από ανάλυση, πολλά παραδοσιακά αειφορικά οικοσυστήματα αποκαλύπτουν αλληλεπιδράσεις ειδών και τρόπους παρέμβασης που ωφελούν την κοινότητα στο σύνολό της. Παρόμοια αγροοικοσυστήματα έχουν αναπτυχθεί εκ μέρους των παραγωγών, εκτός της αγροοικολογικής έρευνας και του πρακτικού πειραματισμού. Τα συστήματα αυτά βασίζονται στον σκοπούμενο συνδυασμό των διαφόρων φυτών καλλιέργειας και των μη καλλιεργούμενων (φυτικών) ειδών, όπως για παράδειγμα, φυτά καλλιέργειας με φυτά καλλιέργειας για σκοπό την κάλυψη του εδάφους, φυτά καλλιέργειας με «άγρια» φυτά, φυτά καλλιέργειας με άλλα φυτά καλλιέργειας, με απώτερο σκοπό να επιτραπεί η συνύπαρξη και να αποκομιστούν ωφελήματα από τις συμβιωτικές σχέσεις.

16.3.1. Επωφελείς παρεμβάσεις των καλλιεργούμενων φυτών κάλυψης

Σε μια κοινότητα φυτών καλλιέργειας, τα καλλιεργούμενα φυτά κάλυψης του εδάφους είναι είδη φυτών (συνήθως αγρωστώδη και ψυχανθή) που αναπτύσσονται σε απόλυτα μικτές θέσεις, ώστε για μια περίοδο του έτους ή για ολόκληρο το έτος, να καλυφθεί το έδαφος της κοινότητας των φυτών καλλιέργειας. Αυτά, συχνά φυτεύονται μετά την συγκομιδή της κύριας καλλιέργειας, ώστε να καλύψουν το έδαφος κατά τη διάρκεια της εποχής της αγρανάπαυσης, καθώς επίσης, αυτά φυτεύονται και στα εναλλασσόμενα με την κύρια καλλιέργεια έτη ή ακόμη, αυτά αναπτύσσονται μαζί με την κύρια καλλιέργεια. Στα εποχιακά συστήματα καλλιέργειας φυτών κάλυψης, τα καλλιεργούμενα φυτά κάλυψης είναι δυνατό να ενσωματώνονται στο έδαφος μετά από το όργωμα, ή να διατηρούνται ως ζωντανά ή νεκρά φυτά στην επιφάνεια του εδάφους για αρκετές περιόδους. Όταν τα φυτά κάλυψης οργώνονται στο έδαφος, η οργανική ύλη που προστίθεται στο έδαφος καλείται γλωρή λίπανση. Όταν τα φυτά κάλυψης αναπτύσσονται απευθείας και σε συνδυασμό με άλλα φυτά καλλιέργειας καλούνται ζωντανό άγυρο.

Τα φυτά κάλυψης, ανεξάρτητα του τρόπου με τον οποίο ενσωματώνονται στην κοινότητα των φυτών καλλιέργειας, έχουν σημαντικές επιπτώσεις στο περιβάλλον, πολλές από τις οποίες μπορεί να είναι σε μεγάλο βαθμό ευεργετικές. Οι επιπτώσεις αυτές ξεκινούν από την ικανότητα των φυτών κάλυψης να τροποποιούν το σύμπλοκο έδαφος – ατμόσφαιρα, ώστε να προσφέρουν προστασία στο έδαφος από την ηλιακή

ακτινοβολία, τον άνεμο και τη βροχή και να συνδεθούν σε μια ποικιλία παρεμβάσεων προσθήκης και απομάκρυνσης. Τα ευεργετήματα που παρουσιάζονται στην κοινότητα των φυτών καλλιέργειας, τα οποία στη γεωργική πρακτική είναι γνωστά εδώ και πολλά χρόνια, περιλαμβάνουν τη μειωμένη εδαφική διάβρωση, τη βελτιωμένη εδαφική δομή, και την καταπίεση των ζιζανίων, των ανωφελών εντόμων και των παθογενών οργανισμών. Όταν στην κοινότητα των φυτών καλλιέργειας, τα φυτά κάλυψης κατορθώνουν να εκπληρώσουν τους ρόλους αυτούς, τότε η ανάγκη για την ανθρώπινη παρέμβαση και τις εξωτερικές εισροές είναι λιγότερο απαιτούμενη. Στον **Πίνακα 15.1** παρουσιάζονται πολλά από τα ευεργετήματα των φυτών κάλυψης σε συνδυασμό με τις παρεμβάσεις που τα καθιστούν εφικτά.

Πίνακας 15.1. Πιθανά ευεργετήματα των φυτών κάλυψης.

	Παρεμβάσεις	Ευεργετήματα στην κοινότητα των φυτών καλλιέργειας
Επιπτώσεις στη δομή του εδάφους	Αυξημένη διείσδυση των ριζών στα ανώτερα εδαφικά στρώματα. Σκίαση της επιφανείας του εδάφους από το ηλιακό φως, τον άνεμο και τη φυσιολογική επίδραση των σταγόνων της βροχής. Προσθήκη οργανικής ύλης στο έδαφος. Αυξημένη βιολογική δραστηριότητα στις ρίζες.	<ul style="list-style-type: none"> • Βελτίωση της • Ελαττωμένος σχηματισμός εδαφικής κρούστας • Μειωμένη απορροή • Λιγότερη εδαφική διάβρωση • Περισσότερο σταθερά εδαφικά συσσωματώματα • Αυξημένο ποσοστό μικροπόρων • Μειωμένη εδαφική συμπίεση • Μειωμένη εδαφική πυκνότητα
Επιπτώσεις στη γονιμότητα του εδάφους	Δημιουργία ψυχρότερου, και υγρότερου βιοτόπου τόσο στην επιφάνεια όσο και κάτω από αυτή. Δέσμευση του αζώτου από τα αζωτοβακτήρια. Δέσμευση άνθρακα (περισσότερη βιομάζα). Σύλληψη θρεπτικών στοιχείων από τις ρίζες	<ul style="list-style-type: none"> • Αυξημένο περιεχόμενο οργανικής ύλης • Κατακράτηση θρεπτικών στοιχείων στο σύστημα • Πρόληψη απωλειών απόπλυσης • Αυξημένο περιεχόμενο αζώτου • Μεγαλύτερη ποικιλότητα ωφέλιμων οργανισμών στο έδαφος
Επιπτώσεις στους ανωφελείς οργανισμούς	Προσθήκη αλληλοπαθητικών συστατικών. Απομάκρυνση πόρων (φως και θρεπτικά στοιχεία) απαραίτητων για τα ζιζάνια. Δημιουργία βιοτόπου για ωφέλιμους άρπαγες, παράσιτα, και παρασιτοειδή. Τροποποίηση του μικροκλίματος	<ul style="list-style-type: none"> • Εμπόδιση των ζιζανίων μέσω της αλληλοπάθειας • Ανταγωνιστική καταπίεση ζιζανίων • Έλεγχος των παθογενών του εδάφους από τα αλληλοχημικά • Αυξημένη παρουσία ωφέλιμων οργανισμών • Καταπίεση ανωφελών οργανισμών

Πηγή: Προσαρμογή από τους Lal *et al.* (1991) και Altieri (1995a).

Σε γενικές γραμμές, και παρά τα φανερά ευεργετήματα που προέρχονται από τα φυτά κάλυψης, η χρήση τους πρέπει να καθορίζεται από τα καθεκαστα αγροοικοσυστήματα. Ο παραγωγός πρέπει να γνωρίζει τον τρόπο με τον οποίο ένα είδος φυτού κάλυψης θα αλληλεπιδράσει με τους άλλους οργανισμούς στο καλλιεργητικό σύστημα, όπως επίσης, και ποιες θα είναι οι επιπτώσεις στις συνθήκες του περιβάλλοντος στο οποίο όλα τους συνυπάρχουν. Επιπλέον, πρέπει να έχει πάντοτε κατά νουν ότι, κάποια στιγμή, οι μορφές παρεμβάσεων μεταξύ των μελών της κοινότητας των φυτών καλλιέργειας μπορεί να είναι επωφελείς και κάποια άλλη, να ελέγχεται η αξιοπιστία τους. Εάν στο καλλιεργητικό σύστημα οι πόροι είναι

περιορισμένοι, τα φυτά κάλυψης μπορούν να δημιουργήσουν ανταγωνιστική παρέμβαση. Εάν τους επιτραπεί να καταστούν πολύ πυκνά, είναι δυνατό να καταστούν αλληλοπαθητικά για τα φυτά καλλιέργειας. Υπολείμματα ή τεμάχια προϊόντων ενσωματωμένων φυτών κάλυψης είναι δυνατό να παράξουν ουσίες που θα καταπιέσουν την ανάπτυξη. Τα φυτοφάγα που προξενούν τις ζημιές ή οι οργανισμοί που φέρουν τις ασθένειες είναι δυνατό να βρουν στα φυτά κάλυψης τις ιδανικές συνθήκες φιλοξενίας, ώστε να μετακομίσουν αργότερα στα φυτά καλλιέργειας.

16.3.2. Επωφελείς παρεμβάσεις των «άγριων» φυτών (ζιζανίων)

Στα καλλιεργητικά συστήματα τα «άγρια» φυτά καλούνται ζιζάνια, και πάρα πολύ συχνά θεωρούνται καταστρεπτικά, ανταγωνιστικά με τα καλλιεργούμενα είδη και ακόμη, ότι μειώνουν τις αποδόσεις. Μολονότι πολύ συχνά τα ζιζάνια έχουν πράγματι αρνητικές επιπτώσεις στα φυτά καλλιέργειας, έχει καθαρά αποδειχθεί ότι, σε πολλές περιπτώσεις, η παρουσία των ζιζανίων και των υπολοίπων μη καλλιεργούμενων φυτών είναι δυνατόν να ωφελήσουν την κοινότητα των φυτών καλλιέργειας, μέσα από τις αλληλεπιδράσεις τους με το περιβάλλον (Radosevich & Holt 1984, Chacon & Gliessman 1982). Τα ζιζάνια επιδεικνύουν την ευεργετική τους επίδραση σε μεγάλο βαθμό, με τον ίδιο τρόπο που την επιδεικνύουν και τα φυτά κάλυψης και συχνά παίζουν τον ίδιο οικολογικό ρόλο. Με μια κατάλληλη διαχείριση, η οποία θα βασίζεται στην κατανόηση των μηχανισμών των αλληλεπιδράσεων των ζιζανίων, οι αγρότες μπορούν να εκμεταλλευτούν τις θετικές τους επιδράσεις.

16.3.2.1. Τροποποίηση του περιβάλλοντος του συστήματος φυτών καλλιέργειας

Τα ζιζάνια μπορούν και προστατεύσουν το έδαφος από τη διάβρωση μέσα από την κάλυψη που παρέχει το ριζικό τους σύστημα και η φυλλική τους επιφάνεια, προσλαμβάνουν θρεπτικά στοιχεία τα οποία αλλιώς θα χανόταν από το σύστημα, προσθέτουν οργανική ουσία στο έδαφος και επιλεκτικά, μέσω της αλληλοπάθειας, παρεμποδίζουν την ανάπτυξη περισσότερων ανεπιθύμητων ειδών. Τα πιο πολλά από αυτά τα ωφέληματα των ζιζανίων προέρχονται από το γεγονός ότι οικολογικά, τα ζιζάνια είναι πρόσκοπα είδη, εισβάλλουν σε γυμνούς ή διαταραγμένους βιοτόπους και μέσα από τις αλληλεπιδράσεις τους με το περιβάλλον, ξεκινούν την διαδικασία της διαδοχής προς την κατεύθυνση των περισσότερο πολύπλοκων κοινοτήτων. Οι περισσότερες κοινότητες φυτών καλλιέργειας, ειδικότερα μάλιστα αυτές που αποτελούνται από τα κυρίαρχα ετήσια είδη, είναι απλοποιημένοι, διαταραγμένοι βιότοποι. Τα ζιζάνια εγκαθίστανται πολύ καλά σε τέτοιες συνθήκες. Όταν όμως κατανοήσουμε την οικολογική βάση των αλληλεπιδράσεων των ζιζανίων με το περιβάλλον της καλλιέργειας, τότε μπορούμε να χρησιμοποιήσουμε την παρέμβασή τους με τρόπο που να μειώνει την ανάγκη για εισροές απ' έξω από την κοινότητα των φυτών καλλιέργειας.

16.3.2.2. Έλεγχος επιβλαβών εντόμων με την προώθηση ωφελίμων εντόμων

Η γεωργία συνήθως, ενδιαφέρεται να κρατήσει εκτός του συστήματος παραγωγής, τόσο τα ζιζάνια, όσο και τα ανωφέλη έντομα. Για να υλοποιηθεί αυτό,

χρειάζονται μεγάλες ποσότητες εξωτερικών εισροών, παρότι αυτό δεν αποφέρει πάντοτε τα επιθυμητά αποτελέσματα. Όταν όμως, οι αλληλεπιδράσεις ανάμεσα στα ζιζάνια και τα έντονα εξετάζονται από την οικολογική σκοπιά, τότε η πιθανότητα διατήρησης των ζιζανίων στο σύστημα, με σκοπό τον έλεγχο των ανεπιθύμητων εντόμων, αναδεικνύεται ως μια επιλογή. Ένα μεγάλο τμήμα της βιβλιογραφίας υποστηρίζει την υπόθεση ότι, μερικά ζιζάνια πρέπει να αντιμετωπίζονται ως σημαντικά συστατικά της κοινότητας των φυτών καλλιέργειας, λόγω των θετικών επιπτώσεων που μπορεί να έχουν στους πληθυσμούς των ωφέλιμων εντόμων (Altieri 1987). Ανάλογα με τον τύπο του επωφελούς εντόμου, το ζιζάνιο μπορεί να τροποποιήσει το μικροπεριβάλλον κατά τέτοιο τρόπο ώστε, αυτό να παρέχει κατάλυμα για τα έντομα, και να μπορεί να δημιουργεί εναλλακτικές πηγές τροφής, όπως για παράδειγμα γύρη, νέκταρ, φύλλωμα ή θήρευση (Altieri & Whitcomb 1979).

16.3.3. Συγκαλλιέργεια

Οσάκις δύο ή περισσότερα φυτά καλλιέργειας φυτεύονται μαζί στο ίδιο καλλιεργητικό σύστημα, οι προκύπτουσες αλληλεπιδράσεις μπορεί να έχουν αμοιβαίως ευεργετικές επιπτώσεις και να μειώνουν αποτελεσματικά, την ανάγκη για εξωτερικές εισροές. Το σώμα της πληροφόρησης που στοιχειοθετεί τις αλληλεπιδράσεις αυτές έχει αναπτυχθεί τα τελευταία έτη (Francis 1986), και αρκετοί συγγραφείς έχουν περιγράψει τον τρόπο με τον οποίο μια οικολογική προσέγγιση στην έρευνα της πολλαπλής φυτικής καλλιέργειας μπορεί να εφοδιάσει την κατανόηση των ωφελημάτων που προκύπτουν από την συγκαλλιέργεια (Hart 1984, 1986, Trenbath 1976, Beets 1982, Vandermeer 1989).

Τα πλέον επιτυχημένα συστήματα συγκαλλιέργειας είναι γνωστά από τους τροπικούς, όπου το υψηλό ποσοστό της γεωργικής παραγωγής αναπτύσσεται ακόμη σε μικτές καταστάσεις. Επειδή οι καλλιεργητές των τροπικών, κάτοχοι μικρής κλίμακας αγροκτημάτων, έχουν περιορισμένη δυνατότητα προμήθειας αναγκαίων εισροών από το εμπόριο, έχουν αναπτύξει συνδυασμούς συγκαλλιέργειας που είναι προσαρμοσμένοι στη διαχείριση χαμηλών εξωτερικών εισροών (Gliessman *et al* 1981, Altieri & Anderson 1986).

Στην κεντρική Αμερική και το Μεξικό, το παραδοσιακό σύστημα πολυκαλλιέργειας, αποτελούμενο από αραβόσιτο, φασόλια και κολοκύθια, με ρίζες από τον Προϊσπανική περίοδο, έχει μελετηθεί με κάθε λεπτομέρεια. Στο σύστημα αυτό συμβαίνουν παρεμβάσεις προσθήκης και απομάκρυνσης, οι οποίες οδηγούν σε τροποποιήσεις των βιοτόπων και σε συμβιωτικές σχέσεις προς όφελος και των τριών καλλιεργειών.

Σε μια σειρά μελετών πολυκαλλιέργειας αραβοσίτου – φασολιάς - κολοκυθιάς που διεξήχθησαν στο Μεξικό τα αποτελέσματα έδειξαν, ότι οι αποδόσεις του αραβοσίτου μπορούν να διεγερθούν σε ποσοστό περισσότερο από 50%, πάνω από τις αποδόσεις της μονοκαλλιέργειας, όταν αυτός φυτεύεται μαζί με τα φασόλια και τα κολοκύθια, χρησιμοποιώντας τεχνικές των ντόπιων καλλιεργητών και εκμεταλλεζόμενες εδάφη τα οποία έχουν διαχειριστεί μέσα από τις παραδοσιακές πρακτικές (Amador and Gliessman 1990).

Μέσα από συμπληρωματικές έρευνες έχουν αναγνωριστεί κάποιοι από τους οικολογικούς μηχανισμούς, οι οποίοι συμβάλλουν στην αύξηση των αποδόσεων:

- ✚ Σε μια πολυκαλλιέργεια με αραβόσιτο, τα φασόλια αναβλαστάνουν περισσότερο και έχουν μεγαλύτερη πιθανότητα να δράσουν στην περίπτωση της βιολογικής αζωτοδέσμευσης (Boucher and Espinosa 1982).

- ✚ Το δεσμευμένο άζωτο γίνεται άμεσα διαθέσιμο για τον αραβόσιτο, μέσω των συνδέσεων των μυκορριζικών μυκήτων μεταξύ των ριζικών συστημάτων (Bethlenfalvay *et al.* 1991).
- ✚ Τα καθαρά κέρδη του αζώτου στο έδαφος παρατηρήθηκαν όταν τα φυτά ήταν συνδεδεμένα, παρά όταν αυτά απομακρύνθηκαν με τη συγκομιδή (Gliessman 1982).
- ✚ Τα κολοκύθια βοηθούν στον έλεγχο των ζιζανίων. Τα παχιά, πλατιά και οριζόντια φύλλα δεσμεύουν το ηλιακό φως, εμποδίζοντας το φύτεμα και την αύξηση των ζιζανίων, ενώ οι βροχές αποπλένουν τα φύλλα καθαρίζοντας τα από τις αλληλοπαθητικές ουσίες που μπορούν να εμποδίσουν τα ζιζάνια (Gliessman 1983).
- ✚ Τα φυτοφάγα έντομα βρίσκονται σε μια μειονεκτική κατάσταση στο σύστημα συγκαλλιέργειας, διότι οι διατροφικές πηγές είναι λιγότερο συγκεντρωμένες και είναι δυσκολότερο να βρεθούν στο μίγμα (Risch 1980).
- ✚ Η παρουσία των ωφέλιμων εντόμων ενθαρρύνεται. Οι παράγοντες στους οποίους οφείλεται αυτή, είναι η διαθεσιμότητα των περισσότερο ελκυστικών μικροκλιματικών συνθηκών και η παρουσία των περισσότερο ποικίλων πηγών γύρης και νέκταρος (Letourneau 1986).

Είναι πολύ ενδιαφέρουσα επίσης, η περίπτωση κατά την οποία φυτεύονται ταυτόχρονα, σε παρακείμενο αγρό και με τον ίδιο τρόπο, οι ίδιες ποικιλίες αραβοσίτου, φασολιών και κολοκυθιών. Ο αγρός αυτός παρουσιάζει μια δεκαετή καλλιεργητική ιστορία στην οποία περιλαμβάνονται η μηχανική καλλιέργεια, η εφαρμογή συνθετικών χημικών λιπασμάτων και η χρήση σύγχρονων εντομοκτόνων και οι πλεονεκτικές αποδόσεις έχουν εξαφανιστεί. Προφανώς, οι θετικές αλληλεπιδράσεις που παρατηρήθηκαν στον παραδοσιακό αγρό, εμποδίστηκαν στον παρακείμενο από την αλλοτριώση που υπέστη το έδαφος του οικοσυστήματος, λόγω των συμβατικών εισροών και των πρακτικών.

Η συγκαλλιέργεια αραβοσίτου, φασολιάς και κολοκυθιάς είναι ένας μόνο από τους πολλούς καλλιεργητικούς συνδυασμούς οι οποίοι είτε υπάρχουν, είτε θα μπορούσαν να αναπτυχθούν. Οι γνώσεις μας αναφορικά με τους οικολογικούς μηχανισμούς της παρέμβασης, όπως αυτοί λειτουργούν στο επίπεδο της κοινότητας των φυτών καλλιέργειας, μας παρέχει μια επιθυμητή ένδειξη για το τι μπορούμε να αναζητήσουμε στα μίγματα, οπουδήποτε λειτουργεί η γεωργική εκμετάλλευση.

Υπάρχει ένας μεγάλος αριθμός πολυκαλλιεργειών, ο οποίος αντανακλά μια ευρεία ποικιλία φυτών καλλιέργειας και διαχειριστικών πρακτικών, τις οποίες οι καλλιεργητές σ' ολόκληρο τον κόσμο χρησιμοποιούν για να ικανοποιήσουν τις απαιτήσεις τους σε τρόφιμα, ίνες, τροφές, καύσιμα, χορτονομές, χρήμα και λοιπές ανάγκες. Οι κοινότητες της συγκαλλιέργειας μπορούν να περιλαμβάνουν μίγματα από διάφορα ετήσια φυτά, από ετήσια φυτά μαζί με πολυετή φυτά, ή από πολυετή φυτά μαζί με πολυετή φυτά. Τα ψυχανθή είναι δυνατόν να συνυπάρχουν με μια πλειάδα δημητριακών και τα καλλιεργούμενα λαχανικά μπορούν να συνυπάρξουν μεταξύ των γραμμών των καρποφόρων δένδρων. Οι μορφές φύτευσης των μιγμάτων αυτών κυμαίνονται από εναλλασσόμενες σειρές δύο διαφορετικών ειδών φυτών καλλιέργειας μέχρι πολύπλοκους συνδυασμούς ετήσιων πλατύφυλλων ποών, θάμνων και δένδρων, συνδυασμοί που εμφανίζονται στα αγροοικοσυστήματα των σπιτικών κήπων. Η φύτευση και η συγκομιδή των πολυκαλλιεργειών μπορεί να καταναμηθεί στο χώρο και το χρόνο, ώστε σε όλη τη διάρκεια του έτους να παρέχει πλεονεκτήματα στον καλλιεργητή. Η συμμετοχή των ζώων βοηθάει στο να σχηματιστούν ακόμη πληρέστερα ολοκληρωμένες ανάμικτες κοινότητες. Εάν κατανοήσουμε την οικολογική βάση των αλληλεπιδράσεων που λαμβάνουν χώρα σ' αυτές τις κοινότητες των φυτών

καλλιέργειας, τότε αυτό θα αποτελέσει το κλειδί, ώστε να επαναφέρουμε την πολυκαλλιέργεια στην πρωτεύουσα θέση της γεωργικής πρακτικής.

16.3.4. Χρησιμοποίηση της αλληλεπίδρασης των ειδών για την αειφορικότητα

Στα φυσικά οικοσυστήματα, οι οργανισμοί υπάρχουν σε κοινότητες που αποτελούνται από συμπλέγματα μικτών ειδών. Η ικανότητά μας να κατανοήσουμε την πολυπλοκότητα των αλληλεπιδράσεων να δρουν στα μίγματα αυτά, σε μεγάλο βαθμό έχει ευεργετηθεί από το αυξανόμενο σώμα της οικολογικής γνώσης, η οποία εστιάζεται σε κάθε ένα από τα τέσσερα επίπεδα οργάνωσης των οικοσυστημάτων. Το επίπεδο της οικολογίας της κοινότητας, το οποίο αναλύσαμε στο παρόν κεφάλαιο βασίζεται στην κατανόηση του επιπέδου του κάθε οργανισμού, αλλά και στο επίπεδο του πληθυσμού. Στο επίπεδο οργάνωσης της κοινότητας, αρχίζουν να αναδεικνύονται μοναδικές ποιότητες, ως αποτέλεσμα των αλληλεπιδράσεων πολλαπλών ειδών. Οι ποιότητες αυτές έχουν μεγάλη σπουδαιότητα για επίπεδο του οικοσυστήματος, όπως άλλωστε θα δούμε και στο επόμενο κεφάλαιο.

Συνεπώς, η πρόκληση για τους αγροοικολόγους είναι στο να τοποθετήσουν την οικολογική αυτή κατανόηση στο περιεχόμενο της αειφορικότητας. Αυτό είναι πολύ σημαντικό διότι συνδυάζεται η γνώση του γεωπόνου, σε ότι αφορά την οικολογία και τη διαχείριση των πληθυσμών του ενός είδους φυτών καλλιέργειας, με τη γνώση του οικολόγου, σε ότι αφορά τις αλληλεπιδράσεις των ειδών και τις διαδικασίες της κοινότητας. Είναι λοιπόν ευκαιρία να ανακατευθύνουμε ένα μεγάλο τμήμα των πόρων. Εκείνους οι οποίοι έχουν όλοι τους δημιουργηθεί από τη γνώση για τα καλλιεργητικά συστήματα του μοναδικού είδους προς την ολοκλήρωση, τόσο της οικολογικής, όσο και της αγρονομικής γνώσης, και να το κάνουμε έτσι, ώστε, με την ευρύτερη σκόπευση της ανάπτυξης της ικανότητας διαχείρισης της συνολικής κοινότητας των αλληλεπιδρώντων οργανισμών, από φυτά καλλιέργειας και μη, να κατανοήσουμε τον τρόπο με τον οποίο κάθε είδος συμβάλλει στην αειφορικότητα του όλου συστήματος. Η όλη υπόθεση είναι μια εξαιρετικά πολύπλοκη διαδικασία, η οποία απαιτεί όχι μόνο μια προσέγγιση στο επίπεδο του συστήματος, αλλά και την συνεργασία πολλών επιστημών. Όμως, το τελικό αποτέλεσμα θα είναι μια καλύτερη αντίληψη για το πως η αποτελεσματική αλλαγή στη γεωργία μπορεί να προκύψει.

16.4. Χρήσιμη συμπληρωματική βιβλιογραφία

Altieri, M. A. and M. Liebman (eds.). 1988. *Weed Management in Agroecosystems: Ecological Approaches*. CRC Press: Boca Raton, FL.

Burn, A. J., T. H. Coaker, and P. C. Jepson. 1987. *Integrated Pest Management*. Academic Press: London.

Francis, C. A. (ed.). 1986. *Multiple Cropping Systems*. Macmillan: New York.

Huffaker, C. B., and P. S. Messenger. 1976. *Theory and Practice of Biological Control*. Academic Press: New York.

Putman, R. J. 1994. *Community Ecology*. Chapman and Hall: London.

Rice, E. L. 1995. *Biological Control of Weeds and Plant Diseases; Advances in Applied Allelopathy*. University of Oklahoma Press: Norman, OK.

Whittaker, R. H. 1975. *Communities and Ecosystems*. 2nd Edition. Macmillan: New York.

Κεφάλαιο Δέκατο Έβδομο

Ποικιλότητα και σταθερότητα του αγροοικοσυστήματος

17.1. Γενικά

Τόσο τα αγροοικοσυστήματα, όσο και τα φυσικά οικοσυστήματα, αποτελούνται από τους οργανισμούς, αλλά και το αβιοτικό φυσικό περιβάλλον στο οποίο οι οργανισμοί διαβιώνουν. Στα τρία προηγούμενα κεφάλαια ασχοληθήκαμε κυρίως με βιοτικά συστατικά των συστημάτων αυτών, στο επίπεδο των πληθυσμών και των κοινοτήτων. Στο κεφάλαιο αυτό θα αρχίσουμε να προσθέτουμε στην συνολική εικόνα τα αβιοτικά συστατικά του οικοσυστήματος και στο εξής, θα φτάσουμε τη μελέτη στο επίπεδο του οικοσυστήματος. Στο επίπεδο αυτό, θα μελετήσουμε τα συστήματα ως ενιαία σύνολα, με μια περισσότερο ολοκληρωμένη εικόνα της δομής και της λειτουργίας τους.

Η πολυπλοκότητα που χαρακτηρίζει όλα τα συστήματα, αποτελεί τη βάση των οικολογικών αλληλεπιδράσεων, αλληλεπιδράσεις που αποτελούν τον ακρογωνιαίο λίθο του σχεδιασμού ενός αειφορικού αγροοικοσυστήματος. Οι αλληλεπιδράσεις αυτές είναι σε μεγάλο βαθμό μια λειτουργία της ποικιλότητας ενός συστήματος.

Η ποικιλότητα είναι καταρχήν ένα προϊόν, ένα μέτρο και μια βάση της πολυπλοκότητας ενός συστήματος, και κατά συνέπεια, της ικανότητάς του να υποστηρίζει την αειφορική λειτουργία. Από μια άποψη, η ποικιλότητα του οικοσυστήματος προκύπτει ως αποτέλεσμα των τρόπων με τους οποίους τα διάφορα βιοτικά και αβιοτικά συστατικά του συστήματος οργανώνονται και αντιδρούν. Από μια άλλη άποψη, η ποικιλότητα, όπως εκφράζεται από την πολυπλοκότητα των βιογεωχημικών κύκλων και την ποικιλία των έμβιων οργανισμών, είναι αυτό που η οργάνωση και οι αλληλεπιδράσεις του συστήματος καθιστούν εφικτό.

Στην αρχή του κεφαλαίου αυτού θα διερευνήσουμε αυτό που συνεπάγεται η διαχείριση των αγροοικοσυστημάτων, θεωρώντας τα, ως ένα συνολικό σύστημα και παίρνοντας ερεθίσματα από τις αναδυόμενες από αυτά ποιότητες. Θα εξετάσουμε τη

βιοποικιλότητα στα φυσικά οικοσυστήματα, την αξία της ποικιλότητας στο πλαίσιο του αγροοικοσυστήματος, πως αξιολογείται η ποικιλότητα και ο πιθανός ρόλος της θεωρίας της βιογεωγραφικής νήσου στη διαχείριση της ποικιλότητας. Τέλος, θα διερευνήσουμε τους δεσμούς ανάμεσα στην οικολογική ποικιλότητα, τη σταθερότητα και την αειφορικότητα, με όρους ανάπτυξης ενός κατάλληλου πλαισίου για τον σχεδιασμό και τη διαχείριση του αγροοικοσυστήματος.

17.2. Προσεγγίσεις του όλου συστήματος και ευκαιρίες

Στο Δέκατο Έκτο Κεφάλαιο είδαμε πως οι αλληλεπιδράσεις μεταξύ των πληθυσμών μιας κοινότητας φυτών καλλιέργειας οδηγούν στις αναδυόμενες ποιότητες που υφίστανται μόνο στο επίπεδο της κοινότητας. Στο επίπεδο του οικοσυστήματος, υπάρχει ένα άλλο σύνολο αναδυόμενων ποιοτήτων που καθιστά το αγροοικοσύστημα πολύ μεγαλύτερο από το άθροισμα των μερών των φυτών καλλιέργειας. Η διαχείριση, η οποία λειτουργεί στο επίπεδο αυτό, μπορεί να αποκτήσει το πλεονέκτημα ενός τεράστιου εύρους ευεργετικών αλληλεπιδράσεων και διαδικασιών.

17.2.1. Διαχείριση του όλου συστήματος

Η αγροοικολογία δίνει έμφαση στην ανάγκη της μελέτης τόσο των μερών όσο και του συνόλου. Καίτοι, η έννοια του συνόλου ευρέως αναγνωρίζεται ότι είναι μεγαλύτερη από το άθροισμα των μερών, αυτή για πολύ καιρό έχει αγνοηθεί από την γεωργία και την τεχνολογία, αφού αυτές δίνουν μεγαλύτερη έμφαση στη λεπτομερή μελέτη των ανεξάρτητων φυτών καλλιέργειας ή των ζώων, ως ένα τρόπο ενασχόλησης με τα πολύπλοκα θέματα της γεωργικής παραγωγής και βιωσιμότητας. Έχουμε μάθει πάρα πολλά από την εξειδίκευση και την κοντόφθαλμη εστίαση στην απόδοση των συστατικών της καλλιέργειας των γεωργικών συστημάτων, αλλά πρέπει επίσης να αναπτυχθεί και η κατανόηση ολόκληρης της γεωργικής εκμετάλλευσης και του συνολικού συστήματος τροφίμων, για να συνειδητοποιήσουμε πλήρως την αειφορικότητα της γεωργίας και να εφαρμόσουμε της αειφορικές πρακτικές της διαχείρισης.

Όταν η διαχείριση του αγροοικοσυστήματος εξετάζει τις ευκαιρίες που παρουσιάζονται από τις αναδυόμενες ποιότητες του όλου συστήματος, τότε το υπόδειγμα του *ελέγχου* των συνθηκών και των πληθυσμών αντικαθίσταται από το υπόδειγμα της *διαχείρισής* τους. Με βάση το υπόδειγμα διαχείρισης, «αγωνιζόμαστε» να αντιμετωπίσουμε πάντοτε τα αποτελέσματα κάθε πράξης ή κάθε πρακτικής του όλου συστήματος, και να σχεδιάσουμε αποτελεσματικά τις πρακτικές που οικοδομούν τη συνολική λειτουργία και τις αναδυόμενες ποιότητες του συστήματος.

Κάτω από τις συνθήκες της συμβατικής γεωργίας, η προσπάθεια του αποτελεσματικού ελέγχου και της ομογενοποίησης όλων των καθέκαστα συνθηκών, πολύ συχνά καταλήγει στην *ελαχιστοποίηση* των ευεργετικών σχέσεων και των παρεμβάσεων, επιτρέποντας στην κυριαρχία μόνο των αρνητικών παρεμβάσεων και των αλληλεπιδράσεων. Οι συμβατικές πρακτικές διαχείρισης λειτουργούν πρωτίστως στο επίπεδο των ατόμων ή των πληθυσμών του συστήματος, παρά στα επίπεδα της κοινότητας και του οικοσυστήματος, διότι εκεί λαμβάνουν χώρα περισσότερο πολύπλοκες αλληλεπιδράσεις.

Από την προσανατολισμένη στον έλεγχο συμβατική προσέγγιση, τα αυθύπαρκτα προβλήματα στο επίπεδο των πληθυσμών εξετάζονται με τον τρόπο που στις περασμένες δεκαετίες έχουν εφαρμοστεί οι έλεγχοι των ζιζανίων, των επιβλαβών

ειδών και των παθογενειών. Με βάση την αρχή ότι το μόνο καλό επιβλαβές είδος ή ζιζάνιο είναι το νεκρό επιβλαβές είδος ή ζιζάνιο, αναπτύχθηκε ένα απίστευτο πλέγμα τεχνολογιών για την απομάκρυνση ή την εξαφάνιση κάθε επιβλαβούς στόχου από το σύστημα καλλιέργειας. Οι τεχνολογίες αυτές έχουν απλοποιήσει τα αγροοικοσυστήματα με ποικίλους τρόπους, όπως ένα παράδειγμα αποτελεί και η εξαφάνιση των θηρευτών των επιβλαβών στόχων. Στα απλοποιημένα αγροοικοσυστήματα όμως, οι προσβολές των επιβλαβών ειδών γίνονται πολύ πιο συχνές και περισσότερο ολέθριες και η χρήση των εξωτερικών εισροών πρέπει ολοένα να αυξάνεται, ώστε τα προβλήματα που προκύπτουν να αντιμετωπίζονται.

17.2.2. Οικοδομώντας πάνω στην ποικιλότητα

Κεντρική προτεραιότητα στη διαχείριση του όλου οικοσυστήματος είναι η δημιουργία ενός περισσότερο πολύπλοκου, διαφοροποιημένου οικοσυστήματος, διότι μόνο σε μια υψηλή ποικιλότητα υπάρχει η δυνατότητα των ευεργετικών αλληλεπιδράσεων. Ο αγρότης αρχίζει με την αύξηση του αριθμού των φυτικών ειδών στο σύστημα, μέσα από μια ποικιλία φυτευτικών πρακτικών που θα εξετάσουμε λεπτομερώς στη συνέχεια. Η διαφοροποίηση αυτή οδηγεί σε θετικές αλλαγές στις αβιοτικές συνθήκες και προσελκύει πληθυσμούς από ωφέλιμα αρθρόποδα και άλλα ζώα. Αναπτύσσονται αναδυόμενες ποιότητες που επιτρέπουν στο σύστημα, με την κατάλληλη διαχείριση των συγκεκριμένων συστατικών του, να λειτουργήσει με τέτοιο τρόπο, ώστε να διατηρεί την γονιμότητα και την παραγωγικότητα και να ρυθμίζει τους πληθυσμούς των επιβλαβών ειδών. Η γενικευμένη αυτή εννοιολογία της δυναμικής της διαχείρισης παρουσιάζεται σε γραφική μορφή (γραφικό μοντέλο) στην **Εικόνα 17.1**.



Εικόνα 17.1. Η δυναμική του συστήματος σε διάφορα οικοσυστήματα.

Σ' ένα ποικίλο και πολύπλοκο σύστημα, όλες οι προκλήσεις που αντιμετωπίζουν οι αγρότες μπορούν να επιλυθούν με την κατάλληλη διαχείριση των συστατικών του συστήματος και των αλληλεπιδράσεων, καθιστώντας τις προσθήκες των εξωτερικών εισροών, σε μεγάλο βαθμό, μη απαραίτητες. Στο επίπεδο της διαχείρισης των επιβλαβών ειδών για παράδειγμα, οι πληθυσμοί τους μπορεί να ελεγχθούν από τις αλληλεπιδράσεις του συστήματος, τις οποίες με πρόθεση, θέτει ο διαχειριστής του αγροοικοσυστήματος.

Πίνακας 17.1. Αντιπροσωπευτικά παραδείγματα «εναλλακτικής» διαχείρισης των επιβλαβών ειδών που βασίζονται στις αλληλεπιδράσεις του συστήματος

Πρόβλημα προσβολής	Πρακτική εναλλακτικής διαχείρισης	Μηχανισμός (οί) δράσης
Το σκαθάρι <i>Phyllotreta cruciferae</i> που προσβάλλει τα μπρόκολα Η ακρίδα <i>Erythroneura elegantula</i> που προσβάλλει τα αμπέλια	Συγκαλλιέργεια με είδη άγριας κεφαλοκράμβης (<i>Brassica</i> spp.) Φύτευση στα όρια αγριοφράουλας (<i>Rubus</i> spp.)	Παγίδες προσελκύουν το σκαθάρι μακριά από τα φυτά καλλιέργειας Αύξηση του πλήθους των εναλλακτικών ξενιστών για την παρασιτική σφήκα (<i>Anagrus eros</i>)
Καταστροφή στο ζαχαροκάλαμο από την αφίδα <i>Spodoptera frugiperda</i> Καταστροφή από τον σκώληκα του αραβοσίτου (<i>Heliothis zea</i>)	Φύτευση στα όρια επιθετικών ποωδών ζιζανίων Επιτρέπουμε την ανάπτυξη ενός πολύπλοκου φυσικού ζιζανίου στον αραβόσιτο	Ποώδη ζιζάνια αντικαθιστούν άλλα φυτά που φιλοξενούν την αφίδα. Επαύξηση της παρουσίας και της αποτελεσματικότητας των θηρευτών των αυγών και των λαρβών των επιβλαβών
Καταστροφή του αραβοσίτου από τον σκώληκα <i>Spodoptera frugiperda</i> Καταστροφή της κασσάβα από τη λευκόμυγα (<i>Aleurotrachelus socialis</i>)	Συγκαλλιέργεια με φασόλια Συγκαλλιέργεια με φασόλια	Αυξάνει τα ωφέλιμα έντομα και τη δραστηριότητά τους Αυξάνει την ευρωστία και το πλήθος των φυσικών εχθρών της λευκόμυγας
Καταστροφή του σουσαμιού από το σκώληκα <i>Antigostra</i> sp.	Συγκαλλιέργεια με αραβόσιτο ή σόργο	Η σκίαση από τα υψηλότερα συνοδά φυτά αποκρούει τα έντομα
Καταστροφή του λάχανου από την <i>Plutella xylostella</i>	Συγκαλλιέργεια με τομάτες	Αποκρούει χημικά τη ή καλύπτει την παρουσία του λάχανου
Καταστροφή σε μηλεώνες από την <i>Cydia pomonella</i>	Φυτά κάλυψης με συγκεκριμένα φυτά	Παρέχει συμπληρωματική τροφή και κατοικία για τους φυσικούς εχθρούς της
Καταστροφή των αμπελώνων από την <i>Eotetranychus willamete</i>	Καλλιέργεια αγρωστωδών φυτών κάλυψης	Προωθεί την παρουσία θηρευτών παρέχοντας χειμερινό καταφύγιο για τα εναλλακτικά θηράματα

Πηγή: Προσαρμογή από τους Altieri (1994a) και Andow (1991).

Οι πολλές μέθοδοι της «εναλλακτικής» διαχείρισης των επιβλαβών ειδών που αναπτύχθηκαν από τους βιολογικούς καλλιεργητές και τους αγροοικολόγους, αποτελούν ένα καλό παράδειγμα της ποικιλότητας, η οποία βασίζεται στην ολική διαχείριση του συστήματος. Οι μέθοδοι αυτές βασίζονται στην αύξηση της ποικιλότητας του αγροοικοσυστήματος και την πολυπλοκότητα αυτού, και θεωρούνται ως οι ακρογωνιαίοι λίθοι για την εγκατάσταση ευεργετικών αλληλεπιδράσεων που θα διατηρούν τους πληθυσμούς των επιβλαβών ειδών κάτω από έλεγχο. Η περιληπτική

περιγραφή αρκετών τέτοιων μεθόδων, όπως αυτές εφαρμόζονται σε συγκεκριμένα αγροοικοσυστήματα, παρουσιάζονται στον **Πίνακα 17.1**.

17.2.3. Αζωτοβακτήρια, ψυχανθή και κύκλος του αζώτου

Ένας σημαντικός τρόπος με τον οποίο οι καλλιεργητές επωφελούνται της μείζονος ποικιλότητας του οικοσυστήματος είναι η εισαγωγή αζωτοδεσμευτικών ψυχανθών στο αγροοικοσύστημα. Ως αποτέλεσμα της συμβιωτικής σχέσης μεταξύ των φυτών της οικογένειας των ψυχανθών και των βακτηρίων του γένους *Rhizobium*, το άζωτο, δεσμευόμενο από την ατμόσφαιρα, καθίσταται διαθέσιμο σε όλα τα βιοτικά μέλη του συστήματος. Η ικανότητα ενός συστήματος με τον τρόπο αυτό να ικανοποιεί τις ανάγκες του σε άζωτο, είναι μια αναδυόμενη ποιότητα η οποία καθίσταται εφικτή, λόγω της βιοτικής ποικιλότητας.

Τα βακτήρια του γένους *Rhizobium* έχουν την ικανότητα να συλλαμβάνουν το ατμοσφαιρικό άζωτο από τον αέρα και να το μετατρέπουν σε μια μορφή που είναι άμεσα χρησιμοποιήσιμη από τα βακτήρια, όπως επίσης και από τα φυτά. Τα βακτήρια αυτά μπορούν να ζουν ελεύθερα στο έδαφος. Όμως, όταν είναι παρόντα τα ψυχανθή, τα βακτήρια προσβάλλουν τη δομή της ρίζας των φυτών. Ένα βακτήριο κινείται προς ένα εσωτερικό κύτταρο της ρίζας, προκαλώντας την διαφοροποίησή του και σχηματίζει ένα φυμάτιο στο οποίο το βακτήριο μπορεί να αναπαραχθεί. Τα βακτήρια σ' ένα ριζικό φυμάτιο αρχίζουν να προσλαμβάνουν όλα τα σάκχαρα που χρειάζονται από το φυτό ξενιστή, εγκαταλείποντας την ικανότητα τους να ζήσουν χωρίς εξάρτηση. Σε ανταπόδοση αυτού, καθιστούν το άζωτο που προσλαμβάνουν, διαθέσιμο για τον ξενιστή. Η αλληλεπίδραση δημιουργεί ένα πλεονέκτημα για αμφοτέρους τους οργανισμούς. Το φυτό καθίσταται ικανό να προσλαμβάνει άζωτο, το οποίο σε διαφορετική περίπτωση δεν θα ήταν διαθέσιμο γι αυτό, και τα βακτήρια καθίστανται ικανά να διατηρούν ένα πολύ μεγαλύτερο επίπεδο πληθυσμού στο έδαφος, απ' ό,τι κανονικά θα ήταν σε θέση να διατηρήσουν στο έδαφος. Όταν τα φυτά ξενιστές αποθνήσκουν, τα βακτήρια επανακτούν τον αυτοτροφικό τρόπο ζωής τους και επανεισέρχονται στην εδαφική κοινότητα.

Επειδή πολύ συχνά το άζωτο είναι ένας περιοριστικός παράγοντας, η σχέση ενός ψυχανθούς με το *Rhizobium* του επιτρέπει να επιβιώσει στο έδαφος που πιθανόν να έχει πολύ λίγο άζωτο, ώστε να υποστηρίξει κάποια άλλα φυτά. Επειδή επίσης, το ψυχανθές ενσωματώνει στη βιομάζα του το άζωτο που δέχεται από τα βακτήρια, το άζωτο καθίσταται τμήμα του εδάφους, διαθέσιμο να χρησιμοποιηθεί και από άλλα φυτά, εάν το ψυχανθές επιστρέψει στο έδαφος μετά το θάνατό του.

Η συμβιωτική αυτή σχέση ιστορικά, ήταν πολύ σημαντική για τη γεωργία. Η συμβίωση ψυχανθούς - *Rhizobium* αποτελεί την πρωταρχική πηγή αζώτου για πολλά παραδοσιακά αγροοικοσυστήματα και πριν αναπτυχθούν τα αζωτούχα λιπάσματα, ήταν μια από τις μοναδικές μεθόδους που εφαρμόστηκαν για να ενσωματωθεί το περιβαλλοντικό άζωτο σε πολλά συστήματα φυτών καλλιέργειας.

Τα ψυχανθή φυτά καλλιέργειας έχουν συγκαλλιεργηθεί με μη ψυχανθή, όπως η πολύ κοινή για τη Λατινική Αμερική πολυκαλλιέργεια αραβοσίτου – φασολιών – κολοκυθιών και τα ψυχανθή έχουν χρησιμοποιηθεί για την καλλιέργεια φυτών κάλυψης και την παραγωγή χλωρής λίπανσης στις ΗΠΑ, αλλά και σ' άλλες περιοχές, ώστε να βελτιωθεί η ποιότητα του εδάφους και το περιεχόμενο σ' αυτό άζωτο. Τα ψυχανθή αποτέλεσαν επίσης, ένα σημαντικό τμήμα των διαχειριζόμενων συστημάτων αγρανάπαυσης. Όλα τα συστήματα αυτά εκμεταλλεύονται το πλεονέκτημα της συμβίωσης ψυχανθούς - *Rhizobium*, χρησιμοποιώντας το βιολογικά δεσμευόμενο

άζωτο έτσι, ώστε να το καταστήσουν άμεσα χρησιμοποιούμενο άζωτο, διαθέσιμο για όλη την φυτική κοινότητα και σε τελική ανάλυση, για τους ανθρώπους.

17.3. Οικολογική ποικιλότητα

Στην οικολογία υπάρχει η τάση, ώστε η έννοια της ποικιλότητας να εφαρμόζεται στο επίπεδο της κοινότητας και αυτή ορίζεται «ως αριθμός των διαφορετικών ειδών που δημιουργούν μια κοινότητα σε μια συγκεκριμένη τοποθεσία». Τα οικοσυστήματα όμως, έχουν άλλες μορφές ποικιλίας και ετερογένειας, πέρα από αυτές που συνοδεύονται από ένα αριθμό ειδών. Έχουν για παράδειγμα, ποικιλότητα στην κατά χώρο διευθέτηση των συστατικών τους, όπως φαίνεται και από τα διάφορα επίπεδα της κομοστέγης ενός δάσους. Έχουν ποικιλότητα στις λειτουργικές τους διαδικασίες και ποικιλότητα στα γονιδιώματα των βιοτικών τους μορφών. Και, καθώς μεταβάλλονται με ποικίλους τρόπους μέσα στο χρόνο, τόσο κυκλικά όσο και ευθύγραμμα, εμφανίζουν και χρονική ποικιλότητα.

Συνεπώς, η ποικιλότητα παρουσιάζει μια ποικιλομορφία διαφορετικών διαστάσεων. Όταν οι διαστάσεις αυτές αναγνωρίζονται και καθορίζονται, η έννοια της ποικιλότητας αυτή καθαυτή διευρύνεται και γίνεται πολύπλοκη, καθίσταται αυτό που θα λέγαμε, οικολογική ποικιλότητα.

Πίνακας 17.2. Οι διαστάσεις της οικολογικής ποικιλότητας σε ένα οικοσύστημα

Διάσταση	Περιγραφή
Είδη	Ο αριθμός των διαφορετικών ειδών στο σύστημα
Γενετική	Ο βαθμός μεταβλητότητας της γενετικής πληροφόρησης στο σύστημα (μέσα σε κάθε είδος και μεταξύ διαφορετικών ειδών)
Κάθετη	Ο αριθμός των διακεκριμένων οριζόντιων στρωμάτων ή επιπέδων στο σύστημα
Οριζόντια	Μορφές χωρικής κατανομής των οργανισμών στο σύστημα
Δομική	Ο αριθμός των θέσεων (οικοθέσεις, τροφικοί ρόλοι) στην οργάνωση του συστήματος
Λειτουργική	Πολυπλοκότητα των αλληλεπιδράσεων, της ροής της ενέργειας, της ανακύκλωσης του υλικού μεταξύ των συστατικών του συστήματος
Χρονική	Ο βαθμός της ετερογένειας των κυκλικών αλλαγών (ημερήσια, εποχιακή κλπ.) στο σύστημα

Στον **Πίνακα 17.2** καταγράφονται μερικές από τις πιθανές διαστάσεις της οικολογικής ποικιλότητας. Είναι δυνατόν να αναγνωριστούν και να καθοριστούν και κάποιες άλλες διαστάσεις, αλλά στα κείμενά μας θα συναντήσουμε με μεγαλύτερη συχνότητα αυτές τις επτά. Οι διαφορετικές αυτές διαστάσεις της οικολογικής ποικιλότητας είναι πολύ χρήσιμα εργαλεία για την πλήρη κατανόηση της ποικιλότητας τόσο στα φυσικά οικοσυστήματα, όσο και στα αγροοικοσυστήματα.

Τέλος, ο όρος βιοποικιλότητα χρησιμοποιείται πολύ κοινά, όταν αναφερόμαστε σε ένα συνδυασμό της ποικιλότητας και της γενετικής ποικιλότητας των ειδών.

17.3.1. Η ποικιλότητα στα φυσικά οικοσυστήματα

Η ποικιλότητα φαίνεται να αποτελεί ένα ενσωματωμένο χαρακτηριστικό των περισσότερων φυσικών οικοσυστημάτων. Παρόλο που ο βαθμός ποικιλότητας μεταξύ των διαφορετικών οικοσυστημάτων ποικίλει μεγάλως, τα οικοσυστήματα σε γενικές γραμμές, τείνουν να εκφράσουν τα εμπόδια των αβιοτικών τους περιβαλλόντων και μάλιστα, όσο μεγάλη είναι η ποικιλότητα, τόσο πιθανά είναι τα δεδομένα.

Η ποικιλότητα είναι εν μέρει μια λειτουργία της εξελικτικής δυναμικής. Όπως άλλωστε είδαμε στο Δέκατο Πέμπτο Κεφάλαιο, η συμβίωση, ο γενετικός ανασυνδυασμός και η φυσική επιλογή συνδυάζονται για να δημιουργήσουν την ποικιλομορφία, τους νεωτερισμούς και τις διαφοροποιήσεις μεταξύ των βιοτικών μορφών της γης. Άπαξ και δημιουργηθεί η ποικιλότητα, αυτή έχει την τάση να αυτοενισχύεται. Η μεγαλύτερη ποικιλότητα των ειδών οδηγεί σε μεγαλύτερη παραγωγικότητα, η οποία με τη σειρά της επιτρέπει την ύπαρξη ακόμη μεγαλύτερης ποικιλότητας των ειδών.

Η ποικιλότητα παίζει ένα σημαντικό ρόλο στην διατήρηση της δομής και της λειτουργίας του οικοσυστήματος. Από τη στιγμή που ο Tansley (1935) επινόησε τον όρο «**οικοσύστημα**», για να αναφερθεί στη διασύνδεση των φυτικών και ζωικών κοινοτήτων και του φυσικού τους περιβάλλοντος, οι οικολόγοι προσπάθησαν να καταδείξουν τη σχέση ανάμεσα στην ποικιλότητα και τη σταθερότητα του συστήματος. Γενικώς, τα φυσικά οικοσυστήματα συναινούν με την αρχή ότι, όσο μεγαλύτερη είναι η ποικιλότητα, τόσο αυτή επιτρέπει μεγαλύτερη αντίσταση στην αναστροφή και τη διαταραχή. Τα οικοσυστήματα με υψηλή ποικιλότητα έχουν την τάση να είναι ικανά να ανακάμψουν μετά από μια διαταραχή και να αποκαταστήσουν την ισορροπία στις διαδικασίες της ανακύκλωσης των υλικών και της ροής της ενέργειας. Στα οικοσυστήματα με χαμηλή ποικιλότητα, η διαταραχή μπορεί πιο εύκολα να προκαλέσει μόνιμες αλλαγές στη λειτουργία, αλλαγές που θα έχουν ως κατάληξη τις απώλειες των πόρων από το οικοσύστημα και τις αλλαγές στα είδη που τα συνθέτουν.

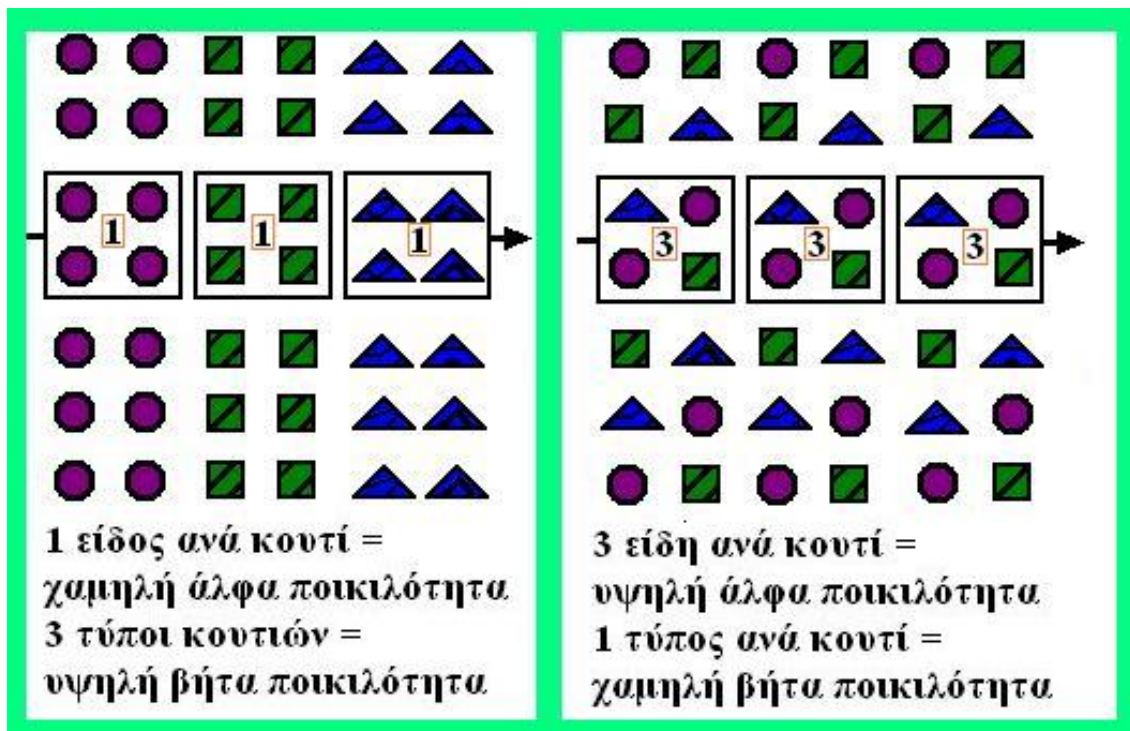
17.3.1.1. Η κλίμακα της ποικιλότητας

Το μέγεθος της περιοχής που εξετάζουμε έχει μια επίδραση στο πως μετράται η ποικιλότητα και συγκεκριμένα πως μετράται η ποικιλότητα των ειδών. Η ποικιλότητα των ειδών μιας τοποθεσίας στην κοιλάδα του ποταμού ενός δάσους είναι διαφορετική από την ποικιλότητα των ειδών διαφορετικών κοινοτήτων κατά μήκος της κοιλάδας του ποταμού.

Η ποικιλότητα των ειδών σε μια τοποθεσία είναι γνωστή και ως **άλφα ποικιλότητα** (alpha diversity ή α -diversity). Απλά αυτή είναι η ποικιλότητα των ειδών σε μια σχετικά μικρή περιοχή μιας κοινότητας. Υπάρχει όμως, και η ποικιλότητα μεταξύ των βιοκοινοτήτων, η οποία ονομάζεται **βήτα ποικιλότητα** (beta diversity ή β -diversity), ο υπολογισμός της οποίας γίνεται με βάση διάφορες τεχνικές, όπως για παράδειγμα είναι οι συντελεστές της κοινότητας, η ποσοστιαία ομοιότητα, τα μέτρα απόστασης, αλλά και διάφορα άλλα μέτρα. Τέλος, πρέπει να αναφέρουμε ότι υπάρχει και ένας τρίτος τύπος ποικιλότητας. Αυτός είναι η **γάμμα ποικιλότητα** (gamma diversity ή γ -diversity), η οποία περιγράφει την ποικιλότητα σ' ένα μεγαλύτερο, περιφερειακό επίπεδο, στην οποία συμπεριλαμβάνονται και οι αντικαταστάσεις των ειδών, όπως αυτές παρουσιάζονται στις μεγάλες γεωγραφικές περιοχές.

Τη διαφορά μεταξύ των τριών τύπων ποικιλότητας μπορούμε να την αντιληφθούμε λαμβάνοντας μια υποθετική διατομή 5 χιλιομέτρων. Η άλφα ποικιλότητα

μετράται σε κάθε στάση κατά μήκος της διατομής, με την καταγραφή του αριθμού των ειδών μιας περιφέρειας με διάμετρο 10 μέτρων, ας πούμε, από το σημείο στάσης. Η μέτρηση όμως της βήτα ποικιλότητας περιλαμβάνει τουλάχιστο δύο σημεία – στάσεις της διατομής σε διαφορετικούς, αλλά γειτονικούς βιοτόπους. Εάν τα είδη που καλύπτουν τις δύο αυτές τοποθεσίες είναι πολύ διαφορετικά, η βήτα ποικιλότητα είναι πολύ υψηλή. Εάν τα είδη που καλύπτουν τις δύο αυτές τοποθεσίες εμφανίζουν μικρές αλλαγές, καθώς κάποιος μετακινείται ανάμεσα στις δύο αυτούς βιοτόπους, η βήτα ποικιλότητα είναι χαμηλή. Το μέτρο της γάμα ποικιλότητας αναδεικνύεται κατά μήκος της διατομής, αφού ληφθεί υπόψη τόσο ο συνολικός αριθμός των ειδών, όσο και η μεταβολή της κατανομής τους. Η διάκριση ανάμεσα στις άλφα, βήτα και γάμα ποικιλότητες μπορεί να επεκταθεί και σε άλλες διαστάσεις της οικολογικής ποικιλότητας, όπως είναι η δομική και η λειτουργική ποικιλότητα.



Εικόνα 17.2. Άλφα ποικιλότητα και βήτα ποικιλότητα σε ένα αγροοικοσύστημα. Για λόγους απλοποίησης κάθε σχήμα αντιπροσωπεύει ένα φυτό καλλιέργειας και κάθε κουτί μια τοποθεσία. Η κλίμακα είναι τρόπον τινά αυθαίρετη στο ότι μια τοποθεσία θα μπορούσε να συμπεριλάβει πολύ περισσότερα φυτά καλλιέργειας. Ο σκοπός της εικόνας είναι να δείξει την αντίθεση ανάμεσα στις δύο καταστάσεις, που θα μπορούσαν να αντιπροσωπεύσουν (Α) τρία φυτά καλλιέργειας φυτεμένα σε λωρίδες και (Β) μια συγκαλλιέργεια των ίδιων φυτών καλλιέργειας.

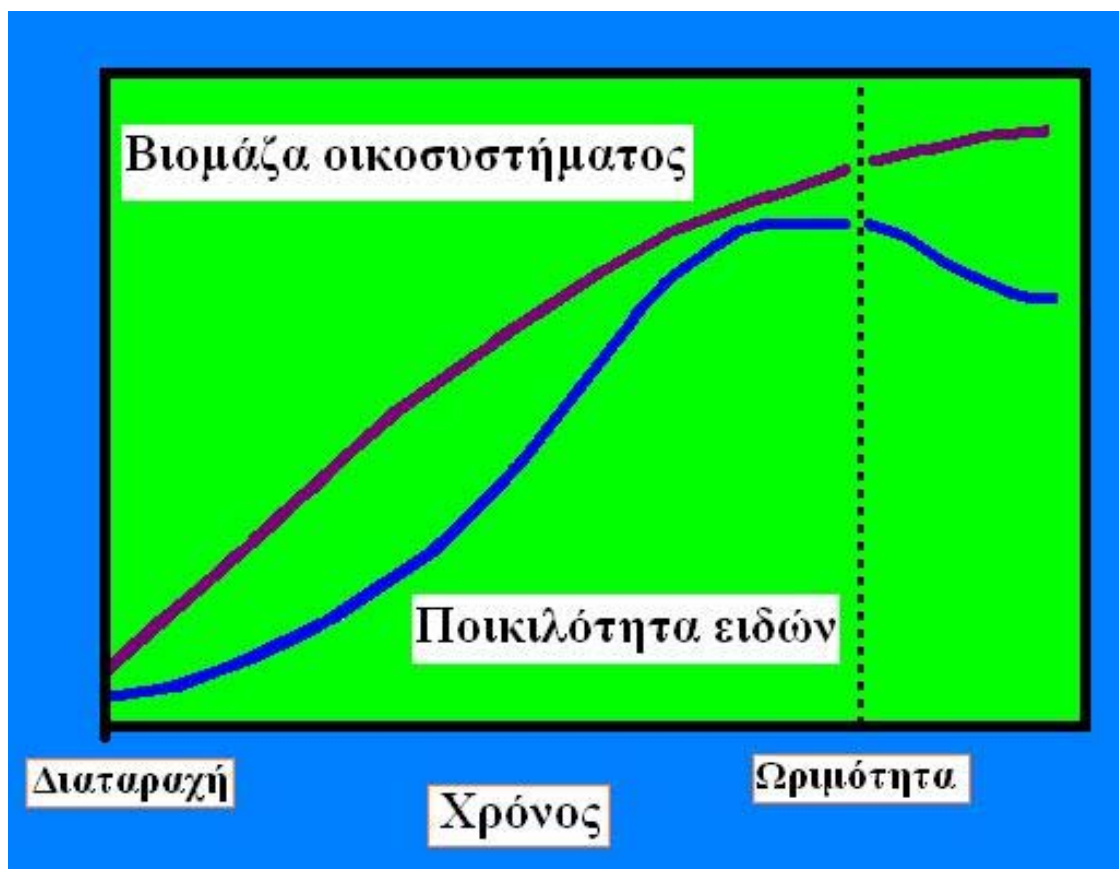
Οι άλφα, βήτα και γάμα ποικιλότητες είναι χρήσιμες εννοιολογικές διακρίσεις, διότι μας επιτρέπουν να περιγράψουμε πόσο τα διαφορετικά οικοσυστήματα και τοπία ποικίλουν στην δομή και την ποικιλομορφία τους. Για παράδειγμα, ένα σε μεγάλο βαθμό διαφοροποίησης φυσικό ποολίβαδο που επεκτείνεται σε απόσταση δεκάδων χιλιομέτρων σε κάθε του διάσταση, είναι πολύ πιθανό να παρουσιάζει άλφα ποικιλότητα, αλλά, εφόσον τα ίδια είδη στις ίδιες σχετικές αναλογίες βρίσκονται σε όλες τις τοποθεσίες της ευρείας αυτής περιοχής, η βήτα και γάμα ποικιλότητες είναι σχετικά χαμηλές. Στο παραπάνω παράδειγμα υπάρχει και η αντίθετη όψη. Είναι το τοπίο το οποίο δημιουργήθηκε από ένα ποικιλόμορφο μωσαϊκό απλών κοινοτήτων,

όπως για παράδειγμα από ένα τεχνητός λειμών, από μια δασική κοινότητα που αποτελείται από ένα και μόνο είδος και από μια κοινότητα θαμνώνου που αναπτύσσεται στις απότομες πλαγιές. Σε κάθε μια από τις παραπάνω κοινότητες η άλφα ποικιλότητα είναι σχετικά χαμηλή, αλλά οποιαδήποτε διατομή κατά μήκος της περιοχής την διασχίζει μια ποικιλότητα ειδών, τα οποία ομαδοποιούμενα, σχηματίζουν μια βήτα και μια γάμα ποικιλότητα σχετικά υψηλή.

Οι κλίμακες της άλφα και βήτα ποικιλότητας έχουν χρήσιμη εφαρμογή στα αγροοικοσυστήματα. Ένα σύστημα φυτών καλλιέργειας με υψηλή βήτα ποικιλότητα για παράδειγμα, μπορεί συχνά να δώσει τα ίδια πλεονεκτήματα, εάν το συγκρίνουμε με κάποιο άλλο που παρουσιάζει υψηλή άλφα ποικιλότητα, πλην όμως, αυτό προσφέρει μεγαλύτερη ευκολία στη διαχείρισή του (Εικόνα 17.2)

17.3.1.2. Διαδικασίες διαδοχής και αλλαγές στην ποικιλότητα

Οι μελέτες στα φυσικά οικοσυστήματα που βρίσκονται στα πρώιμα στάδια της ανάπτυξής τους ή αναπτύσσονται μετά από μια διαταραχή, έδειξαν ότι όλες οι διαστάσεις της ποικιλότητας παρουσιάζουν την τάση να αυξάνονται με το πέρασμα του χρόνου. Η διαδικασία αυτή λαμβάνει χώρα μέσα από τη διαφοροποίηση της οικοθέσης, την τροποποίηση του βιοτόπου και την ανάπτυξη της συνύπαρξης, των συμβιώσεων, και των άλλων μορφών της παρέμβασης. Η διαφοροποίηση και η διακύμανση στις διαδικασίες του οικοσυστήματος διαποτίζονται από αυτή τη διαφοροποίηση, δίνοντας στο σύστημα την εμφάνιση μεγαλύτερης σταθερότητας, καθώς η ποικιλότητα αυξάνεται.



Εικόνα 17.3. Αλλαγές στην ποικιλότητα των ειδών και τη βιομάζα στη διάρκεια της δευτερογενούς διαδοχής.

Όταν ένα οικοσύστημα διαταράσσεται, κάθε μια από τις διαστάσεις της οικολογικής του ποικιλότητας είναι απλοποιημένη ή επιστρέφει σε ένα πρωιμότερο στάδιο της ανάπτυξης. Ο αριθμός των ειδών μειώνεται, υποχωρεί η κάθετη στρωμάτωση, συμβαίνουν λιγότερες αλληλεπιδράσεις. Αμέσως μετά τη διαταραχή, στο οικοσύστημα αρχίζει την διαδικασία ανάκαμψης, η οποία και καλείται **δευτερογενής διαδογή** (Εικόνα 17.3). Στη διάρκεια της διαδικασίας αυτής, το σύστημα αρχίζει να αποκαθιστά την ποικιλότητα των ειδών, τις αλληλεπιδράσεις, και τις διαδικασίες που επικρατούσαν πριν από την διαταραχή.

Προφανώς, το σύστημα φτάνει σε αυτό το σημείο που καλείται **ωριμότητα**, η οποία θα μπορούσε να οριστεί ως, η διαδοχική κατάσταση στην οποία ολοκληρώνεται η πλήρης δυναμικότητα της ροής της ενέργειας, η ανακύκλωση των θρεπτικών στοιχείων και η δυναμική του πληθυσμού στο φυσικό αυτό περιβάλλον. Στην κατάσταση της ωριμότητας, η δομική και η λειτουργική ποικιλότητα του οικοσυστήματος παρέχει αντίσταση στην αλλαγή, προκειμένου αυτό να αντιμετωπίσει μελλοντικά μικρότερες διαταραχές.

Ακόμη και όταν η ποικιλότητα τείνει να αυξηθεί μέσα από τα στάδια της διαδοχής, οι τελευταίες έρευνες στην οικολογία δείχνουν ότι η ωριμότητα μπορεί να μην αντιπροσωπεύει το στάδιο με τη μέγιστη ποικιλότητα, τουλάχιστο σε ότι αφορά τα είδη. Κατά το μάλλον ή ήττον, η μέγιστη ποικιλότητα επιτυγχάνεται καθώς το σύστημα πλησιάζει την ωριμότητα, με την ποικιλότητα να υποχωρεί αμέσως μετά, καθώς έχει ήδη επιτευχθεί η ωριμότητα. Κατά το στάδιο της ωριμότητας, η βιομάζα συνεχίζει να αυξάνεται, αλλά σε αργότερους ρυθμούς.

17.3.1.3. Ποικιλότητα και σταθερότητα

Στην οικολογία έχει διεξαχθεί μεγάλη συζήτηση για τη σχέση ανάμεσα στην ποικιλότητα και τη σταθερότητα και ανάμεσά τους φαίνεται να υπάρχει κάποια μορφής συσχέτιση. Δηλαδή, όσο μεγαλύτερη είναι η ποικιλότητα ενός οικοσυστήματος, τόσο μεγαλύτερη είναι η αντίσταση απέναντι στις αλλαγές, και άλλο τόσο μεγαλύτερη, είναι η ικανότητα του να ανακάμπτει μετά από μια διαταραχή. Όμως, υπάρχει μια ασυμφωνία πάνω στον βαθμό και την ισχύ της συσχέτισης.

Το μεγαλύτερο μέρος του προβλήματος δημιουργείται από την απαγορευτική φύση του αποδεκτού ορισμού της σταθερότητας. Η **σταθερότητα** συνήθως, αναφέρεται στη σχετική απουσία των διακυμάνσεων στους πληθυσμούς των οργανισμών μέσα στο σύστημα, εφαρμόζοντας μια κατάσταση σταθερής θέσης, ή μια έλλειψη αλλαγής. Η έννοια αυτή της σταθερότητας είναι ανεπαρκής, ειδικά σε ότι αφορά την περιγραφή των οικολογικών αποτελεσμάτων της ποικιλότητας. Εκείνο που χρειαζόμαστε είναι ένα πιο διευρυμένο ορισμό της σταθερότητας (ή ένα νέο ορισμό) που θα βασίζεται στα χαρακτηριστικά του συστήματος, έναν ορισμό που θα εστιάζεται στην ευρωστία του οικοσυστήματος, την ικανότητάς του να υποστηρίζει πολύπλοκα επίπεδα αλληλεπίδρασης και αυτο-ρυθμιζόμενες διαδικασίες στη ροή της ενέργειας και την ανακύκλωση των υλικών. Μια τέτοια διευρυμένη έννοια της σταθερότητας είναι επιθυμητή, ειδικότερα για να αντιληφθούμε την αξία και τη χρήση της ποικιλότητας στα αγροοικοσυστήματα, τα οποία είναι κάθε άλλο από «σταθερά» με την συμβατική έννοια του όρου.

Για να αποκτήσουμε μια καλύτερη αίσθηση για το τι είναι πραγματικά η «σταθερότητα», απαιτείται να διεξαχθεί μεγαλύτερη έρευνα για τις πιθανές αιτιατές σχέσεις μεταξύ των διαφόρων μορφών της οικολογικής ποικιλότητας και των συγκεκριμένων διαδικασιών και χαρακτηριστικών του οικοσυστήματος. Προς την κατεύθυνση αυτή έχει γίνει κάποια σημαντική δουλειά. Βρέθηκε για παράδειγμα, ότι η

υψηλότερη ποικιλότητα στα είδη των πτηνών είναι συσχετισμένη με περισσότερο πολύπλοκη δομή της κοινότητας, διότι αυτή υποστηρίζει μια μεγαλύτερη ποικιλότητα συμπεριφορών στη διατροφή και τη φωλιά. Ομοίως, η ποικιλότητα ανάμεσα στο θηρευτή και το θύμα και ένα πιο πολύπλοκο τροφικό δίκτυο, στο οποίο αμφότερα συσχετίζονται με τους πραγματικούς αριθμούς των ειδών, αλλά και της ποικιλότητας του βιοτόπου.

Εάν αρχίσουμε να πιστεύουμε ότι η ποικιλότητα οδηγεί πάντοτε στη σταθερότητα, θα πρέπει να είμαστε αρκετά προσεκτικοί, ώστε να μην πέσουμε στην παγίδα ενός φαύλου κύκλου, και έτσι, με το να έχουμε περισσότερη σταθερότητα, αυτό να οδηγήσει σε περισσότερη ποικιλότητα. Τέλος, για να καταστεί δυνατόν οι έννοιες της ποικιλότητας και της σταθερότητας να εφαρμοστούν στη γεωργία, απαιτείται να διεξαχθούν μελέτες που να συσχετίζουν τους διαφορετικούς τύπους της ποικιλότητας με τη διαδικασία της παραγωγικότητας και από εδώ στην αειφορικότητα.

17.3.2. Η οικολογική ποικιλότητα στα αγροοικοσυστήματα

Στα περισσότερα αγροοικοσυστήματα, η διαταραχή συμβαίνει πολύ πιο συχνά, πιο κανονικά και με μεγαλύτερη ένταση, απ' ό,τι συμβαίνει στα φυσικά οικοσυστήματα. Σπάνια τα αγροοικοσυστήματα προχωρούν πολύ μακριά στην διαδοχική τους ανάπτυξη, με αποτέλεσμα, η ποικιλότητα σ' ένα αγροοικοσύστημα να είναι δύσκολο να διατηρηθεί.

Η απώλεια της ποικιλότητας αδυνατίζει σε μεγάλο βαθμό τους σφικτούς λειτουργικούς δεσμούς ανάμεσα στα είδη, γεγονός που χαρακτηρίζει τα φυσικά οικοσυστήματα. Οι ρυθμοί ανακύκλωσης των θρεπτικών στοιχείων και η αποτελεσματικότητα αλλάζουν, η ροή της ενέργειας τροποποιείται και η εξάρτηση από τις ανθρώπινες παρεμβάσεις και τις εισροές αυξάνεται. Για τους λόγους αυτούς ένα αγροοικοσύστημα θεωρείται οικολογικά ασταθές.

Τα αγροοικοσυστήματα δεν χρειάζεται να είναι τόσο απλοποιημένα και πτωχά σε ποικιλότητα, όπως τυπικά είναι τα συμβατικά αγροοικοσυστήματα. Μέσα στα εμπόδια που τίθενται από την ανάγκη συγκομιδής της βιομάζας, τα αγροοικοσυστήματα μπορούν να προσεγγίσουν το επίπεδο της ποικιλότητας που έχουν τα φυσικά οικοσυστήματα και να απολαμβάνουν τις ωφέλειες από την αυξημένη σταθερότητα που προκύπτει από τη μεγαλύτερη ποικιλότητα. Με τη διαχείριση της πολυπλοκότητας των αλληλεπιδράσεων, κάτι που είναι δυνατό γίνει, όταν τα περισσότερα από τα στοιχεία της ποικιλότητας είναι παρόντα στο σύστημα του αγροκτήματος, αυτό αποτελεί το κλειδί για τη μείωση των αναγκών για εξωτερικές εισροές και την προώθηση της αειφορικότητας.

17.3.2.1. Η αξία της ποικιλότητας στα αγροοικοσυστήματα

Μια στρατηγική κλειδί για την αειφορική γεωργία είναι η μετενσωμάτωση της ποικιλότητας στο γεωργικό τοπίο και η διαχείρισή της αποτελεσματικά. Η αύξηση της ποικιλότητας δεν αποτελεί στόχο για μεγάλο μέρος της σύγχρονης συμβατικής γεωργίας, η οποία πλησιάζει τις ακραίες μορφές της στις ευρείας κλίμακας μονοκαλλιέργειες. Φαίνεται ότι η ποικιλότητα θεωρείται περισσότερο ως μια πιστότητα σε τέτοια συστήματα, ειδικά όταν θεωρούμε ότι όλες οι εισροές και οι πρακτικές έχουν αναπτυχθεί για να περιοριστεί η ποικιλότητα και να διατηρηθεί η ομοιομορφία.

Η πρόσφατη έρευνα σε σχέση με τα συστήματα πολλαπλής καλλιέργειας υποβαθμίζει την σπουδαία σημασία της ποικιλότητας σε ένα γεωργικό σύστημα

(Francis 1986, Amador and Gliessman 1990, Vandermeer 1989, Altieri 1995b). Η ποικιλότητα, για μια πλειάδα λόγων, έχει μεγάλη αξία για τα αγροοικοσυστήματα:

- ✚ Με μεγαλύτερη ποικιλότητα, υπάρχει μια μεγαλύτερη μικρο-βιοτοπικής διαφοροποίησης, επιτρέποντας στα συστατικά του συστήματος να καταστούν «ειδικευτές του βιοτόπου». Κάθε καλλιέργεια μπορεί να αναπτυχθεί σ' ένα περιβάλλον ιδανικά, κατάλληλο για τις μοναδικές του απαιτήσεις.
- ✚ Καθώς αυξάνεται η ποικιλότητα, οι ευκαιρίες για την συνύπαρξη και την ευεργετική παρέμβαση μεταξύ των ειδών μπορούν να επαυξηθούν την αειφορικότητα του αγροοικοσυστήματος. Οι σχέσεις μεταξύ των αζωτοδεσμευτικών ψυχανθών και των συνοδευόντων αυτά φυτών καλλιέργειας είναι ένα παράδειγμα πρώτης γραμμής.
- ✚ Σ' ένα ποικίλο αγροοικοσύστημα, τα διαταραγμένα περιβάλλοντα σε συνδυασμό με τις γεωργικές καταστάσεις μπορούν να επωφεληθούν καλύτερα. Οι ανοικτοί βιότοποι μπορούν να εποικιστούν από κάποια χρήσιμα είδη, τα οποία υπάρχουν ήδη στο σύστημα, παρά από ζιζάνια ή ενοχλητικούς πρόσκοπους εισβολείς απ' έξω.
- ✚ Η υψηλή ποικιλότητα πιθανόν να δημιουργεί ποικίλα είδη δυναμικής ευεργετικών πληθυσμών ανάμεσα στους φυτοφάγους και τους θηρευτές τους. Για παράδειγμα, ένα ποικίλο σύστημα μπορεί να ενθαρρύνει την παρουσία αρκετών πληθυσμών φυτοφάγων, και μόνο λίγοι από αυτούς να είναι ανωφελείς, καθώς και η παρουσία ενός είδους θηρευτού που θηρεύει πάνω σε όλους τους φυτοφάγους. Ο θηρευτής αυξάνει την ποικιλότητα μεταξύ των φυτοφάγων ειδών, ελέγχοντας τους πληθυσμούς των ανεξάρτητων φυτοφάγων ειδών. Με μεγαλύτερη ποικιλότητα θηρευτών, τα ανωφελή φυτοφάγα καθίστανται κυρίαρχα και απειλούν κάθε είδος φυτού καλλιέργειας.
- ✚ Η μεγαλύτερη ποικιλότητα σ' ένα αγροοικοσύστημα, συχνά επιτρέπει καλύτερη αποτελεσματικότητα στη χρήση του πόρου. Υπάρχει μια καλύτερη προσαρμογή στο επίπεδο του συστήματος για την ετερογένεια του βιοτόπου, η οποία οδηγεί στην συμπληρωματικότητα των αναγκών των καλλιεργούμενων ειδών, την διαφοροποίηση της οικοθέσης, την επικάλυψη των οικοθέσεων των ειδών, και την κατανομή των πόρων. Η παραδοσιακή συγκαλλιέργεια αραβοσίτου – φασολιάς – κολοκυθιάς για παράδειγμα, συνενώνει τρεις διαφορετικούς, αλλά συμπληρωματικούς τύπους φυτών καλλιέργειας. Όταν όλα τους φυτεύονται σε έναν ετερογενή αγρό, οι συνθήκες του εδάφους, σε οποιαδήποτε θέση, είναι πιθανόν να ικανοποιήσουν τις ανάγκες τουλάχιστον ενός από τα παραπάνω τρία είδη. Όταν φυτεύονται σ' έναν ομοιόμορφο αγρό, κάθε φυτό καλλιέργειας καταλαμβάνει μια ελαφρώς διαφορετική οικοθέση και δημιουργεί διαφορετικές απαιτήσεις για τα θρεπτικά στοιχεία του εδάφους.
- ✚ Η ποικιλότητα μειώνει τους κινδύνους για τον παραγωγό, ειδικά σε περιοχές με περισσότερο απρόβλεπτες περιβαλλοντικές συνθήκες. Εάν μια καλλιέργεια δεν πάει καλά, αυτό μπορεί να αντισταθμιστεί από τις άλλες.
- ✚ Η συνύπαρξη διαφορετικών καλλιεργειών μπορεί να δημιουργήσει μια ποικιλότητα μικροκλιμάτων μέσα στο σύστημα καλλιέργειας, το οποίο μπορεί να καταληφθεί από μια πλειάδα μη καλλιεργητικών οργανισμών (συμπεριλαμβανομένων ωφέλιμων θηρευτών, παρασίτων και ανταγωνιστών), οι οποίοι είναι σημαντικοί για ολόκληρο το σύστημα, κάτι το οποίο δεν θα είναι ελκυστικό σ' ένα ομοιόμορφο και απλοποιημένο σύστημα.
- ✚ Η ποικιλότητα σε ένα γεωργικό τοπίο μπορεί να συμβάλλει στη διατήρηση της βιοποικιλότητας των πέριξ αυτού φυσικών περιβαλλόντων (ένα θέμα που θα εξετάσουμε στο Εικοστό Κεφάλαιο).

✚ Η ποικιλότητα, ειδικά του υπόγειου μέρους του συστήματος, εμφανίζει μια ποικιλία οικολογικών υπηρεσιών που έχει επιπτώσεις τόσο μέσα, όσο και έξω από το αγρόκτημα, όπως είναι π.χ. η ανακύκλωση των θρεπτικών στοιχείων, η ρύθμιση των τοπικών υδρολογικών διαδικασιών και η αποτοξίνωση των επιβλαβών χημικών.

Όταν η αντίληψή μας για την ποικιλότητα εκτείνεται πέρα από τα είδη των φυτών καλλιέργειας, ώστε να συμπεριληφθούν τα φυτά που δεν είναι καλλιεργήσιμα (αυτά τα οποία ονομάζουμε ζιζάνια, αλλά έχουν οικολογική δυναμική ή ανθρώπινη αξία), τα ζώα (ειδικά οι ευεργετικοί εχθροί των ανωφελών εντόμων ή τα χρήσιμα για τους ανθρώπους ζώα) και οι μικροοργανισμοί (η υπόγεια ποικιλότητα των βακτηρίων και των μυκήτων είναι ουσιώδης για τη διατήρηση πολλών διεργασιών του αγροοικοσυστήματος), τότε θα αρχίσουμε να βλέπουμε το εύρος των οικολογικών διαδικασιών που ενθαρρύνονται από τη μεγαλύτερη ποικιλότητα.

17.3.2.2. Μέθοδοι αύξησης της ποικιλότητας στα γεωργικά συστήματα

Μια πλειάδα επιλογών και εναλλακτικών λύσεων είναι διαθέσιμες για να προστεθούν τα ωφέληματα της ποικιλότητας που συζητήσαμε παραπάνω. Οι εναλλακτικές λύσεις μπορεί να περιέχουν:

- (1) προσθήκη νέων ειδών στο υπάρχον σύστημα καλλιέργειας,
- (2) αναδιάρθρωση ή αναδόμηση των ειδών που ήδη υπάρχουν,
- (3) προσθήκη πρακτικών ή εισροών επαύξησης της ποικιλότητας,
- (4) εξαφάνιση εισροών ή πρακτικών που ελαττώνουν την ποικιλότητα ή περιορίζουν την ποικιλότητα.

17.3.2.2.1. Συγκαλλιέργεια

Ένας πρωταρχικός και άμεσος τρόπος αύξησης της άλφα ποικιλότητας ενός αγροοικοσυστήματος είναι η καλλιέργεια δύο ή περισσότερων καλλιεργειών σε μείξη, η οποία επιτρέπει την αλληλεπίδραση ανάμεσα σε άτομα διαφορετικών καλλιεργητικών ειδών. Αποτελεί μια κοινή μορφή πολλαπλής καλλιέργειας, η οποία ορίζεται ως η «εντατικοποίηση και διαφοροποίηση της φυτικής παραγωγής στις διαστάσεις του χρόνου και του χώρου» (Francis 1986). Η καλλιεργητική εναλλαγή προσθέτει χρονική ποικιλότητα μέσω της συνεχόμενης φύτευσης διαφορετικών καλλιεργητικών ειδών, κατά την διάρκεια της ίδιας εποχής και η παρουσία των περισσότερων του ενός είδους προσθέτει οριζόντια, κάθετη, δομική και λειτουργική ποικιλότητα. Τα συστήματα καλλιεργητικής εναλλαγής ή πολυκαλλιέργειας αναπτύσσονται άριστα σε παραδοσιακά καλλιεργητικά συστήματα, σε αγροτικές ή αναπτυσσόμενες περιοχές, ειδικότερα στους τροπικούς, και ποικίλουν από σχετικά απλά μίγματα δύο ή τριών καλλιεργητικών ειδών μέχρι πολύ πολύπλοκα μίγματα καλλιεργειών που απαντώνται στα αγροδοσιακά συστήματα ή στους σπιτικούς κήπους των αγροοικοσυστημάτων.

17.3.2.2.2. Καλλιέργεια σε λωρίδες

Μια άλλη μορφή πολλαπλής φυτικής παραγωγής είναι το φύτεμα διαφορετικών παραγωγικών φυτών σε εναλλασσόμενες γραμμές, δημιουργώντας αυτό που θα μπορούσαμε να το ονομάσουμε «πολυκαλλιέργεια της μονοκαλλιέργειας». Η πρακτική αυτή, η οποία αυξάνει την βήτα ποικιλότητα, αντί της άλφα ποικιλότητας, μπορεί να μας προσφέρει πολλά από τα ευεργετήματα της πολλαπλής φυτικής παραγωγής. Για

κάποιες καλλιέργειες, απλές και μικτές, αυτή είναι μια περισσότερο πρακτική μέθοδος αύξησης της ποικιλότητας, διότι παρουσιάζει λιγότερες διαχειριστικές προκλήσεις από την συγκαλλιέργεια.

17.3.2.2.3. Δενδροστοιχίες και βλάστηση μόνωσης

Δένδρα ή θάμνοι που φυτεύονται γύρω από την περίμετρο των αγρών, κατά μήκος των δρόμων ή των μονοπατιών του αγροκτήματος ή για να τοποθετηθούν τα ορόσημα της ιδιοκτησίας, μπορούν να έχουν πολλές χρήσιμες λειτουργίες. Με πολύ πρακτικούς όρους, αυτά μπορούν να προσφέρουν προστασία από τον άνεμο, να αποκλείσουν ή να περικλείσουν τα ζώα, και να παράσχουν μια σειρά από προϊόντα (καυσόξυλα, δομικά υλικά, καρπούς κλπ). Οικολογικά, οι δενδροστοιχίες και οι λωρίδες μόνωσης αυξάνουν την βήτα ποικιλότητα του αγροκτήματος και μπορεί να εξυπηρετήσουν στην προσέλκυση των ωφέλιμων οργανισμών και την παροχή βιοτόπου σ' αυτούς. Όταν φυτεύονται ως ευρύτερες λωρίδες, ειδικά μεταξύ της αγροτικής γης και των παρακείμενων φυσικών οικοσυστημάτων, σχηματίζουν ζώνες μόνωσης που μπορούν να αποτρέψουν μια πλειάδα πιθανών επιδράσεων του ενός συστήματος από το άλλο, αλλά και να αυξήσουν την συνολική βιοποικιλότητα της περιοχής.

17.3.2.2.4. Καλλιέργεια φυτών κάλυψης

Μια καλλιέργεια κάλυψης είναι ένα είδος φυτού που βρίσκεται υπό γεωργική εκμετάλλευση, το οποίο φυτεύεται σ' έναν αγρό για να παράσχει κάλυψη στο έδαφος, συνήθως μεταξύ των καλλιεργητικών κύκλων. Τα φυτά κάλυψης είναι δυνατό να είναι ετήσια ή πολυετή, και σ' αυτά περιλαμβάνονται πολλές ταξονομικές ομάδες, μολονότι τα αγρωστώδη και τα ψυχανθή είναι τα κατεξοχήν χρησιμοποιούμενα είδη για το σκοπό αυτό. Με τη φύτευση ενός ή περισσότερων ειδών φυτών κάλυψης αυξάνεται η ποικιλότητα του συστήματος και αποκτά αυτό μια ποικιλία σημαντικών ευεργετημάτων. Τα φυτά κάλυψης επαυξάνουν την οργανική ύλη του εδάφους, ερεθίζουν τη βιολογική δραστηριότητα στο έδαφος και την ποικιλομορφία των βιοτικών πληθυσμών του εδάφους, παγιδεύουν τα θρεπτικά στοιχεία που έχουν παραμείνει στο έδαφος από προηγούμενες καλλιέργειες, μειώνουν τους κινδύνους διάβρωσης του εδάφους, συνεισφέρουν με το βιολογικά δεσμευόμενο άζωτο (εάν φυσικά ένα από τα φυτά κάλυψης ανήκει στην οικογένεια των ψυχανθών) και παρέχουν εναλλακτική φιλοξενία στους επωφελείς για τα φυτά εχθρούς των εντόμων. Σε κάποια συστήματα, όπως για παράδειγμα αυτό του οπωρώνα, τα φυτά κάλυψης υπηρετούν ένα πρόσθετο σκοπό, αυτόν της παρεμπόδισης της ανάπτυξης ζιζανίων (Paulus 1994).

17.3.2.2.5. Αμειψισπορές

Η καλλιέργεια των φυτών σε αμειψισπορά είναι μια σημαντική μέθοδος για την αύξηση της ποικιλότητας ενός συστήματος στη διάσταση του χρόνου. Οι αμειψισπορές συνήθως, περιλαμβάνουν το φύτεμα διαφορετικών φυτών καλλιέργειας σε διαδοχή ή σε επιμελημένη συχνότητα. Όσο μεγαλύτερες είναι οι διαφορές μεταξύ των αμειψισπορών, σε σχέση με την οικολογική τους επίπτωση στο έδαφος, τόσο μεγαλύτερα είναι τα οφέλη από τη μέθοδο αυτή. Η εναλλαγή των καλλιεργειών μπορεί να δημιουργήσει μια κατάσταση που είναι γνωστή ως επίπτωση της αμειψισποράς, κατά την οποία μια καλλιέργεια αναπτύσσεται μετά από κάποια άλλη καλύτερα απ' ό,τι θα αναπτυσσόταν σε μια συνεχή μονοκαλλιέργεια. Με την προσθήκη στο έδαφος των υπολειμμάτων της

καλλιέργειας από διαφορετικά είδη φυτών, οι αμειψισπορές βοηθούν στη διατήρηση της βιοποικιλότητας. Κάθε τύπος υπολειμμάτων ποικίλει τόσο χημικά, όσο και βιολογικά, διεγείροντας ή/και εμποδίζοντας τους διαφορετικούς οργανισμούς του εδάφους. Σε κάποιες περιπτώσεις, τα υπολείμματα μιας καλλιέργειας είναι ικανά να προωθήσουν την δραστηριότητα των οργανισμών που δρουν ανταγωνιστικά, έναντι των επιβλαβών οργανισμών ή των ασθενειών σε μια συνεχιζόμενη, ίδια καλλιέργεια. Επίσης, οι αμειψισπορές έχουν την τάση να βελτιώνουν την γονιμότητα του εδάφους, αλλά και τις φυσικές του ιδιότητες, να μειώνουν την διάβρωση του εδάφους και να προσθέτουν περισσότερη οργανική ύλη. Τα πολύ γνωστά πλεονεκτήματα των αμειψισπορών σόγιας – αραβοσίτου - σανού ψυχανθών στις μεσοδυτικές ΗΠΑ, βασίζονται εν μέρει στον τρόπο με τον οποίο η μεγαλύτερη χρονική ποικιλότητα βοηθάει στη διαχείριση των θρεπτικών στοιχείων και των ασθενειών. Η έρευνα για τις επιπτώσεις των αμειψισπορών στις διαστάσεις της ποικιλότητας μπορεί να βελτιώσει την αποτελεσματικότητα της σημαντικής αυτής πρακτικής.

17.3.2.2.6. Αγραναπαύσεις

Μια παραλλαγή της πρακτικής της αμειψισποράς είναι και αυτή που επιτρέπει στην καλλιεργητική συνέχεια για μια περίοδο, κατά την οποία το έδαφος παραμένει απλώς ακαλλιέργητο. Η εισαγωγή μιας περιόδου αγρανάπαυσης επιτρέπει στο έδαφος να «αναπαυθεί». Είναι η διαδικασία η οποία περιλαμβάνει μια δευτερεύουσα διαδοχή και μια ανάκαμψη της ποικιλότητας σε πολλά τμήματα του συστήματος, ειδικότερα μάλιστα στο έδαφος. Η κατ' εναλλαγή καλλιέργεια, την οποία συναντήσαμε το Ενδέκατο Κεφάλαιο, είναι προφανώς το πλέον γνωστό σύστημα αγρανάπαυσης. Η μακρά περίοδος «ανάπαυσης» επιτρέπει την επανεισαγωγή των ενδημικών (ντόπιων) φυτών και την ποικιλότητα των ζώων, αλλά και την ανάκαμψη της γονιμότητας του εδάφους. Σε μερικά συστήματα, η αρχή της αγρανάπαυσης χρησιμοποιείται για να δημιουργηθεί ένα μωσαϊκό τεμαχίων με διαφορετικά στάδια διαδοχής, αποτελούμενο από καλλιεργούμενους αγρούς μέχρι χώρους εγχώριας βλάστησης δεύτερης ανάπτυξης. Σε περιοχές με ξηρικές καλλιέργειες, η αγρανάπαυση μπορεί να συμβαίνει σε έτη κατ' εναλλαγή, ώστε να δοθεί η ευκαιρία στις βροχοπτώσεις να ξαναγεμίσουν τις υδαταποθήκες του εδάφους με υγρασία, ενώ ταυτόχρονα προωθήσουν την ανάκαμψη της ποικιλότητας στο οικοσύστημα του εδάφους, στη διάρκεια του κύκλου που δεν εφαρμόζεται καμία καλλιεργητική διαδικασία.

17.3.2.2.7. Μειωμένη ή ελάχιστη κατεργασία του εδάφους

Αφού η διαταραχή σ' ένα αγροοικοσύστημα έχει ένα μείζονα ρόλο στην περιορισμένη διαδοχική ανάπτυξη, την ποικιλότητα και τη σταθερότητα, μια πρακτική η οποία ελαχιστοποιεί τη διαταραχή, είναι δυνατόν να βοηθήσει στην επαύξηση της ποικιλότητας. Η ελάττωση της έντασης της κατεργασίας του εδάφους και η εγκατάλειψη των υπολειμμάτων στην επιφάνεια του εδάφους αποτελούν τις πρωταρχικές μεθόδους αποτελεσματικής μείωσης της διαταραχής του συστήματος. Τα πλεονεκτήματα που αποκτούνται από την ελάττωση τόσο της συχνότητας, όσο και της έντασης της καλλιεργητικής επέμβασης τα συζητήσαμε στο Όγδοο Κεφάλαιο. Οι συγκρίσεις των πρακτικών της συμβατικής κατεργασίας του εδάφους από τη μη κατεργασία, δείχνουν αυξημένη αφθονία και δραστηριότητα των γαιοσκωλήκων, διαφοροποίηση στους καταναλωτές της οργανικής ύλης εδάφους και τους αποδομητές οργανισμούς και μια συνοδεύουσα αυτή βελτίωση της δομής του εδάφους, της

ικανότητας συγκράτησης θρεπτικών στοιχείων, της εσωτερικής ανακύκλωσης των θρεπτικών στοιχείων και της περιεχόμενης οργανικής ύλης (House and Stinner 1983, Stinner *et al.* 1984, Hentrix *et al.* 1986). Ακόμη και όταν η ποικιλότητα του καλλιεργητικού συστήματος στην επιφάνεια του εδάφους παραμένει χαμηλή, η ποικιλότητα των ειδών του αποδομητικού υποσυστήματος του εδάφους αυξάνεται με τη μειωμένη διαταραχή του εδάφους. Η αυξανόμενη ποικιλότητα των φυτών στην επιφάνεια του εδάφους επίσης, μπορεί μόνο να αυξήσει το υποσύστημα αυτό.

17.3.2.2.8. Υψηλές εισροές οργανικής ύλης

Οι υψηλές τιμές της οργανικής ύλης είναι κρίσιμες για τον ερεθισμό της διαφοροποίησης των ειδών του υπεδάφιου υποσυστήματος, εμπλέκοντας τον ίδιο τύπο του ερεθισμού της δομικής και λειτουργικής ποικιλότητας που παραπάνω αναφέρθηκε για τα μειωμένα συστήματα κατεργασίας του εδάφους. Θεωρούμενη από μακρού ως το κλειδί – συστατικό της οργανικής γεωργίας, οι αυξημένες εισροές οργανικής ύλης έχουν μια πλειάδα ωφελειών τις οποίες ανασκοπήσαμε στο Ένατο Κεφάλαιο. Η περιεχόμενη οργανική ουσία του εδάφους μπορεί να αυξηθεί με την εφαρμογή κομπόστας, την διαφοροποίηση των φυτών καλλιέργειας και την χρήση άλλων καλλιεργητικών πρακτικών επαύξησης της ποικιλότητας.

17.3.2.2.9. Μείωση της χρήσης των χημικών εισροών

Είναι από παλιά γνωστό ότι, στα καλλιεργητικά συστήματα, πολλά γεωργικά εντομοκτόνα είτε ζημιώνουν, είτε σκοτώνουν πολλούς οργανισμούς, οι οποίοι όμως δεν αποτελούν το στόχο τους, ή αφήνουν τα υπολείμματα που μπορούν να περιορίσουν την αφθονία και την ποικιλότητα πολλών άλλων οργανισμών. Έτσι, η εξαφάνιση ή η μείωση της χρήσης των εντομοκτόνων απομακρύνει ένα μείζον εμπόδιο για την επαναδιαφοροποίηση του αγροοικοσυστήματος. Η διαδικασία του επανεποικισμού που περιλαμβάνεται σ' αυτή την επαναδιαφοροποίηση, θα συζητηθεί στις επόμενες σελίδες του κεφαλαίου αυτού. Πρέπει όμως να αναγνωρίσουμε, ότι η απομάκρυνση των εντομοκτόνων από το σύστημα που έχει καταστεί εξαρτημένο από αυτά είναι ένα καθήκον πρόκλησης. Η πρώτη απάντηση ασφαλώς θα είναι μια δραματική αύξηση των πληθυσμών των ανωφελών ειδών, και για να διατηρηθούν οι ανωφελείς οργανισμοί σε έλεγχο, αυτό θα επιτευχθεί μόνο με το χρόνο και την επανεγκατάσταση της ποικιλότητας, η οποία θα μπορέσει να αναπτύξει τους κατάλληλους εσωτερικούς μηχανισμούς.

17.3.3. Η διαχείριση της διαφοροποίησης

Φεύγοντας από ένα ομοιόμορφο, μονοκαλλιεργητικό αγροοικοσύστημα, προς ένα περισσότερο ποικίλο σύστημα, το οποίο θα υποστηρίζει ευεργετικές διαδικασίες και αλληλεπιδράσεις, αυτό θα γίνει με μια διαδικασία πολλών βημάτων. Αρχικά, όλοι οι παραπάνω τρόποι εισαγωγής της ποικιλότητας στο γεωργικό τοπίο βοηθούν στην απάλυνση των αρνητικών επιπτώσεων από τις γεωργικές δραστηριότητες. Στη συνέχεια, η εισαγωγή περισσότερων ειδών, είτε ως άμεση, είτε ως έμμεση επίπτωση, διευρύνει τις ευκαιρίες για την ολοκληρωμένη δομή και λειτουργία των αγροοικοσυστημάτων, επιτρέποντας τα ενσωματωμένα διαφράγματα και η δυναμική του συστήματος να ελαφρύνουν την απόκριση της ποικιλότητας του συστήματος. Τέλος, τα είδη και οι μορφές της παρέμβασης στο διαφοροποιημένο τοπίο καθιστούν

εφικτούς περισσότερους τύπους αλληλεπιδράσεων, οι οποίοι κυμαίνονται από τον ανταγωνιστικό αποκλεισμό μέχρι τη συμβίωση.

Η διαχείριση της ποικιλότητας στο επίπεδο του αγροκτήματος, είναι μια μεγάλη πρόκληση. Αυτή, σε σύγκριση με την συμβατική διαχείριση, μπορεί να περιέχει περισσότερη εργασία, περισσότερο κίνδυνο, και περισσότερη αβεβαιότητα. Επίσης, απαιτεί περισσότερη γνώση. Τελικά όμως, η κατανόηση της οικολογικής βάσης για το πώς λειτουργεί η ποικιλότητα στα αγροοικοσυστήματα και για το πώς αποκτά το πλεονέκτημα της πολυπλοκότητας, από το να αγωνίζεται να το εκμηδενίσει, είναι η μόνη στρατηγική που οδηγεί στην αειφορικότητα.

17.4. Αξιολόγηση της ποικιλότητας των φυτών καλλιέργειας και τα ωφελήματά της

Για να διαχειριστούμε την ποικιλότητα περισσότερο αποτελεσματικά, απαιτείται η ύπαρξη μέσων μέτρησης της ποικιλότητας και αξιολόγησης του τρόπου με τον οποίο οι αυξήσεις στην ποικιλότητα επηρεάζουν την απόδοση και τη λειτουργία ενός αγροοικοσυστήματος. Πρέπει να είμαστε ικανοί να αναγνωρίζουμε την παρουσία της ποικιλότητας και τις μορφές της κατανομής της στο τοπίο και χρειάζεται να γνωρίζουμε, εάν και σε ποια έκταση, η παρουσία αυτής της ποικιλότητας είναι ωφέλιμη για την απόδοση του αγροοικοσυστήματος, σύμφωνα πάντοτε με την άποψη του παραγωγού. Για την ανάλυση και την έρευνα της παρουσίας και των επιπτώσεων της ποικιλότητας μπορούν να γίνουν αρκετές προσεγγίσεις.

17.4.1. Δείκτες της ποικιλότητας των ειδών

Είναι φανερό ότι κάθε είδος συγκαλλιέργειας είναι περισσότερο ποικίλο από μια μονοκαλλιέργεια. Η σύγκριση της ποικιλότητας δύο διαφορετικών συστημάτων συγκαλλιέργειας (που ποικίλει τόσο στους αριθμούς των ειδών, όσο και τους φυτευτικούς συνδέσμους) όμως, απαιτεί να μετρήσουμε την ποικιλότητα του καθενός. Για να γίνει αυτό, μπορούμε να δανειστούμε τα εργαλεία και τις έννοιες που αναπτύχθηκαν από τους οικολόγους και αφορούν τα φυσικά οικοσυστήματα.

Οι οικολόγοι αναγνωρίζουν ότι η ποικιλότητα ενός οικοσυστήματος ή μιας κοινότητας καθορίζεται από κάτι περισσότερο από τους αριθμούς των ειδών. Μια κοινότητα που αποτελείται από 50 άτομα πεύκης, 50 άτομα οξιάς και 50 άτομα ελάτης είναι περισσότερο ποικίλλουσα από μια κοινότητα που αποτελείται από 130 άτομα πεύκης, 10 άτομα οξιάς και 10 άτομα ελάτης. Αμφότερες έχουν μεν τον ίδιο αριθμό ειδών και το αυτό σύνολο ατόμων, αλλά τα άτομα στην πρώτη κοινότητα κατανέμονται περισσότερο ομοιόμορφα από αυτά της δεύτερης κοινότητας, στην οποία κυριαρχούν τα άτομα της πεύκης.

Το παραπάνω παράδειγμα δείχνει ότι υπάρχουν δύο συστατικά της ποικιλότητας των ειδών. Αυτά είναι η αφθονία των ειδών και της κανονικότητας της κατανομής των ατόμων στο σύστημα μεταξύ των διαφορετικών ειδών, η οποία ονομάζεται κανονικότητα ή ομοιομορφία των ειδών. Αμφότερα τα συστατικά πρέπει να λαμβάνονται υπόψη σε κάθε μέτρηση της ποικιλότητας, τόσο στα φυσικά οικοσυστήματα όσο και αγροοικοσυστήματα.

Πως όμως οι έννοιες αυτές μπορούν να εφαρμοστούν στην ανάλυση της ποικιλότητας των αγροοικοσυστημάτων; Αυτό φαίνεται στον **Πίνακα 17.3**, στον οποίο συγκρίνονται τέσσερα διαφορετικά υποθετικά συστήματα, το καθένα με τον ίδιο αριθμό των ανεξάρτητων φυτών καλλιέργειας. Μεταξύ των συστημάτων αυτών, η όμοια

πολυκαλλιέργεια των 3 φυτών καλλιέργειας είναι το πλέον ποικίλο, αφού είναι το μόνο στο οποίο τόσο η αφθονία των ειδών, όσο και η ομοιομορφία είναι υψηλές, σε σχέση με τα υπόλοιπα συστήματα.

Πίνακας 17. 3. Μέτρα ποικιλότητας τεσσάρων υποθετικών αγροοικοσυστημάτων.

	Μονο- καλλιέ- ργεια	Όμοια πολυκαλ- λιέργεια 2 ειδών	Όμοια πολυκαλ- λιέργεια 3 ειδών	Ανόμοια πολυκαλ- λιέργεια 3 ειδών
Φυτά αραβοσίτου	300	150	100	250
Φυτά κολοκυθιάς	0	150	100	25
Φυτά φασολιάς	0	0	100	25
Αριθμός ειδών (s)	1	2	3	1
Αριθμός ατόμων (N)	300	300	300	300
Σχετικός πλούτος ειδών	χαμηλός	μέτριος	υψηλός	υψηλός
Σχετική ομοιομορφία ειδών	υψηλή	υψηλή	υψηλή	χαμηλή

Αντί να χρησιμοποιήσουμε ως βάση μέτρησης της ποικιλότητας των ειδών ενός συστήματος τους αριθμούς των ατόμων του κάθε είδους, είναι δυνατό να χρησιμοποιήσουμε κάποιο άλλο χαρακτηριστικό των ειδών, όπως π.χ. τη βιομάζα ή την παραγωγικότητα. Αυτό μπορεί να είναι πιο κατάλληλο, όταν για παράδειγμα, η βιομάζα ενός τυπικού ατόμου ενός είδους είναι πολύ διαφορετική από τις βιομάζες των ατόμων των άλλων ειδών. Ο αριθμός των ατόμων, η βιομάζα και η παραγωγικότητα είναι όλα παραδείγματα, των **τιμών σημαντικότητας** για ένα συγκεκριμένο είδος.

Η οικολογία προσφέρει ποικίλους τρόπους αξιολόγησης της ποικιλότητας των ειδών ενός συστήματος. Η πιο απλή μέθοδος είναι να αγνοηθεί η ομοιομορφία των ειδών και να μετρηθεί ο αριθμός των ειδών, σε όρους του αριθμού των ατόμων. Μια τέτοια μέτρηση προκύπτει από τον **δείκτη ποικιλότητας του Margalef**:

$$\text{Ποικιλότητα} = (s - 1) / \log N \quad (17.1)$$

όπου: s = ο αριθμός των ειδών, και

N = ο αριθμός των ατόμων.

Η χρησιμότητα του δείκτη ποικιλότητας του Margalef είναι περιορισμένη, διότι δεν μπορεί να διακρίνει την μεταβαλλόμενη ποικιλότητα των συστημάτων με τον αυτό αριθμό s και N , όπως είναι η όμοια και η ανόμοια πολυκαλλιέργεια των 3 φυτών καλλιέργειας του **Πίνακα 17.3**.

Υπάρχουν επίσης δυο άλλοι δείκτες ποικιλότητας, οι οποίοι λαμβάνουν υπόψη τους την ομοιομορφία των ειδών και συνεπώς είναι πολύ πιο χρήσιμοι. Ο **δείκτης ποικιλότητας του Shannon** είναι μια εφαρμογή της θεωρίας της πληροφόρησης, βασισμένη στην ιδέα, ότι η μεγαλύτερη ποικιλότητα ανταποκρίνεται σε μεγαλύτερη αβεβαιότητα στην τυχαία συλλογή ενός ατόμου από ένα συγκεκριμένο είδος και δίδεται από τον τύπο που ακολουθεί:

$$H = -\sum(p_i)(\log_2 p_i) \quad (17.2)$$

όπου: H = η ποικιλότητα των ειδών

s = ο αριθμός των ειδών,

p_i = η αναλογία των ατόμων του συνόλου των ειδών που ανήκουν το i οστό είδος.

Ο **δείκτης ποικιλότητας του Simpson** είναι αντίστροφος του δείκτη κυριαρχίας της κοινότητας με το αυτό όνομα. Βασίζεται στην αρχή ότι, ένα σύστημα είναι περισσότερο ποικίλο, όταν κανένα από τα συστατικά είδη δεν μπορεί να θεωρηθεί κυρίαρχο από κανένα από τα άλλα και δίδεται από τον τύπο:

$$\text{Ποικιλότητα} = \frac{N(N-1)}{\sum n_i(n_i-1)} \quad (17.3)$$

Για τον δείκτη του Simpson η ελάχιστη τιμή είναι 1, και για τον δείκτη του Shannon είναι 0. Αμφότερα τα ελάχιστα δείχνουν την απουσία της ποικιλότητας και η κατάσταση που επικρατεί είναι μια μονοκαλλιέργεια. Στη θεωρία, η ελάχιστη τιμή για κάθε δείκτη περιορίζεται μόνο από τον αριθμό των ειδών και από το πόσο ανομοιόμορφα κατανέμονται στο οικοσύστημα. Σχετικά διάφορα φυσικά οικοσυστήματα εμφανίζουν δείκτες του Simpson με 5 ή περισσότερο και δείκτες του Shannon από 3 έως 4.

Οι υπολογισμοί των τιμών των δεικτών Margalef, Simpson και Shannon για τα υποθετικά συστήματα του **Πίνακα 17.3** δίδονται στον **Πίνακα 17.4**. Οι τιμές των δεικτών Simpson και Shannon δείχνουν ότι, η όμοια πολυκαλλιέργεια των δύο φυτών καλλιέργειας είναι περισσότερο ποικίλες από τις τιμές της ανόμοιας πολυκαλλιέργειας των τριών φυτών καλλιέργειας, υποβαθμίζοντας την σπουδαιότητα της ανομοιομορφίας των ειδών στην ποικιλότητα του αγροοικοσυστήματος.

Πίνακας 17.4. Τιμές δείκτη ποικιλότητας τεσσάρων υποθετικών αγροοικοσυστημάτων.

	Μono- καλλιέργεια	Όμοια πολυ- καλλιέργεια 2 ειδών	Όμοια πολυ- καλλιέργεια 3 ειδών	Ανόμοια πολυ- καλλιέργεια 3 ειδών
Δείκτης Margalef	0	0,4	0,81	0,81
Δείκτης Shannon	0	0,3	0,48	0,25
Δείκτης Simpson	1	2,01	3,02	1,41

Περισσότερες λεπτομερείς περιγραφές για τους δείκτες Simpson και Shannon, που αφορούν και σχετίζονται με τη θεωρία στην οποία βασίζονται, αλλά και τους τρόπους με τους οποίους εφαρμόζονται, παρατίθενται στα βιβλία της οικολογίας που αναφέρονται στην συμπληρωματική βιβλιογραφία, την οποία παραθέτουμε στο τέλος του Κεφαλαίου.

17.4.2. Εκτίμηση των ωφελειών της ποικιλότητας της συγκαλλιέργειας

Σ' ένα αγρόκτημα, ο τρόπος μέτρησης της αξίας που αποκτήθηκε από την μεγαλύτερη ποικιλότητα στο σύστημα καλλιέργειας θα είναι πολύ χρήσιμος, ώστε να βοηθήσει τον παραγωγό να εκτιμήσει τα πλεονεκτήματα ή τα μειονεκτήματα των διαφορετικών διευθετήσεων της καλλιέργειας. Οι δείκτες ποικιλότητας μπορούν να ποσοτικοποιήσουν την ποικιλότητα, αλλά δεν μας λένε πως μεταφράζεται η

ποικιλότητα στην απόδοση, ή δεν μας λένε ποια είναι η οικολογική βάση κάθε βελτιωμένης απόδοσης. Στα συστήματα φυτών καλλιέργειας, όπου δύο ή περισσότερα είδη φυτών καλλιέργειας βρίσκονται σε πολύ στενή εγγύτητα το ένα με το άλλο, είναι δυνατά ποικίλα είδη παρέμβασης μεταξύ των ειδών, τα οποία μπορούν να παρέχουν καθαρά οφέλη με βελτιωμένες αποδόσεις, ανακύκλωση θρεπτικών στοιχείων, κ.ο.κ.

Παρά το γεγονός ότι οι ερευνητές έχουν σωρεύσει πολλές ενδείξεις ότι η συγκαλλιέργεια μπορεί να δώσει ουσιώδη πλεονεκτήματα απόδοσης, σε σύγκριση με την μονοκαλλιέργεια, είναι σημαντικό να ενθυμούμεθα ότι υπάρχουν επίσης μειονεκτήματα στην συγκαλλιέργεια. Μπορεί να υπάρχουν πρακτικές δυσκολίες στη διαχείριση της συγκαλλιέργειας, όπως μπορούν να συμβούν και μειώσεις στην απόδοση, λόγω των επιδράσεων της αντίστροφης παρέμβασης. Τέτοιες περιπτώσεις δεν πρέπει να χρησιμοποιούνται ως επιχειρήματα έναντι της πολυκαλλιέργειας, αλλά καλύτερα ως μέσα για να καθοριστεί προς τα που χρειάζεται να κατευθυνθεί η έρευνα, ώστε να αποφευχθούν τέτοια προβλήματα.

17.4.2.1. Ο λόγος του εδαφικού ισοδύναμου

Ένα σημαντικό εργαλείο για τη μελέτη και την αξιολόγηση των συστημάτων συγκαλλιέργειας είναι ο **λόγος του εδαφικού ισοδύναμου (ΛΕΙ)**. Ο λόγος του εδαφικού ισοδύναμου παρέχει μια ίση μέτρηση όλων των άλλων πραγμάτων του πλεονεκτήματος της απόδοσης που επιτυγχάνεται, με την ανάπτυξη δύο ή περισσότερων φυτών καλλιέργειας, καθώς μια συγκαλλιέργεια συγκρίνεται με την ανάπτυξη των ιδίων φυτών καλλιέργειας, ως μια συλλογή διαφορετικών μονοκαλλιεργειών. Έτσι, σε μια ανάλυση των πλεονεκτημάτων της συγκαλλιέργειας, ο λόγος του εδαφικού ισοδύναμου μας επιτρέπει να πάμε πέρα από μια περιγραφή της μορφής της ποικιλότητας.

Ο λόγος του εδαφικού ισοδύναμου υπολογίζεται εφαρμόζοντας τον τύπο:

$$\text{ΛΕΙ} = \sum Y_{p_i} / Y_{m_i} \quad (17.4)$$

όπου: Y_p = η απόδοση κάθε φυτού καλλιέργειας στην συγκαλλιέργεια ή τη μονοκαλλιέργεια,

Y_m = η απόδοση κάθε φυτού σε μια καλλιέργεια ή μονοκαλλιέργεια.

Πίνακας 17.5. Αντιπροσωπευτικά δεδομένα για τον υπολογισμό του λόγου του εδαφικού ισοδύναμου.

	Κάρπωση στην πολυκαλλιέργεια (Y_p) Χγρ/στρ.	Κάρπωση στην μονοκαλλιέργεια (Y_m) Χγρ/στρ.	Επιμέρους ΛΕΙ (Y_{p_i}/Y_{m_i})
Καλλιέργεια Α	100	120	0,83
Καλλιέργεια Β	80	100	0,80
			$\sum Y_{p_i}/Y_{m_i} = 1,63$

Για κάθε καλλιέργεια (i) υπολογίζεται ο λόγος που καθορίζει τον επιμέρους λόγο για την καλλιέργεια αυτή, στη συνέχεια οι επιμέρους λόγοι αθροίζονται για να μας

δώσουν το συνολικό λόγο για την συγκαλλιέργεια. Ένα παράδειγμα για το πώς υπολογίζεται ο λόγος του εδαφικού ισοδύναμου δίδεται στον **Πίνακα 17.5**.

Η τιμή 1,0 του λόγου του εδαφικού ισοδύναμου βρίσκεται στο σημείο θραύσης της ομοιομορφίας, το οποίο δεν δείχνει διαφορά στην κάρπωση ανάμεσα στην συγκαλλιέργεια και τη συλλογή των μονοκαλλιεργειών. Κάθε τιμή μεγαλύτερη της μονάδας δείχνει μια πλεονεκτική κάρπωση για την συγκαλλιέργεια, ένα αποτέλεσμα που καλείται **υπερκάρπωση**. Η έκταση της υπερκάρπωσης δίδεται άμεσα από την τιμή του ΛΕΙ: μια τιμή ΛΕΙ 1,2 για παράδειγμα, δείχνει ότι μια περιοχή φυτεμένη με μονοκαλλιέργεια θα πρέπει να είναι κατά 20% μεγαλύτερη από την περιοχή που φυτεύεται με μια συγκαλλιέργεια για τα δύο, ώστε να παράξουμε τις ίδιες συνδυασμένες καρπώσεις. Μια τιμή ΛΕΙ 2,0 σημαίνει επίσης, ότι θα χρειαστεί διπλάσια έκταση για τις μονοκαλλιέργειες.

17.4.2.2. Εφαρμογή και ερμηνεία του λόγου του εδαφικού ισοδύναμου

Αφού τόσο οι επιμέρους, όσο και οι συνολικές τιμές είναι σχέσεις και όχι πραγματικές καλλιεργητικές καρπώσεις, αυτές είναι χρήσιμες για να συγκριθούν μίγματα διαφορετικών καλλιεργειών. Κατά μια έννοια, ο ΛΕΙ μετράει το επίπεδο της παρέμβασης στην συγκαλλιέργεια που υφίσταται σ' ένα σύστημα καλλιέργειας.

Θεωρητικά, εάν τα αγροοικολογικά χαρακτηριστικά της κάθε καλλιέργειας του μίγματος (καλλιεργειών) είναι ακριβώς τα ίδια με το να φυτευτούν αυτά ξεχωριστά, το κάθε καλλιεργητικό μέλος θα συμβάλλει με την ίση αναλογία σ' αυτή τη συνολική κάρπωση. Για παράδειγμα, εάν δύο παρόμοιες καλλιέργειες φυτεύονται μαζί, ο συνολικός ΛΕΙ πρέπει να είναι 1,0 και οι επιμέρους ΛΕΙ πρέπει να είναι για κάθε μία 0,5. Σε οποιοδήποτε μίγμα όμως, επιτυγχάνουμε ένα συνολικό ΛΕΙ μεγαλύτερο του 1,0 και επιμέρους ΛΕΙ μεγαλύτερους αναλογικά, απ' ό,τι θεωρητικά θα επιτυγχανάμε, εάν κάθε καλλιέργεια ήταν αγροοικολογικά η ίδια με τις άλλες. Ένας συνολικός ΛΕΙ μεγαλύτερος του 1,0 δείχνει την παρουσία θετικών παρεμβάσεων μεταξύ των συστατικών του μίγματος και μπορεί να σημαίνει επίσης, ότι κάθε αρνητική παρέμβαση μεταξύ των ειδών που γίνεται στο μίγμα δεν είναι τόσο έντονη, όσο η παρέμβαση μεταξύ των ειδών που γίνεται στις μονοκαλλιέργειες. Η αποφυγή του ανταγωνισμού ή ο καταμερισμός των πόρων συμβαίνει προφανώς στο μίγμα.

Όταν ο συνολικός ΛΕΙ είναι μεγαλύτερος του 1,5, ή όταν τουλάχιστον ο ένας επιμέρους ΛΕΙ ενός μέλους του μίγματος είναι μεγαλύτερος του 1,0, τότε υπάρχει ισχυρή ένδειξη ότι η αρνητική παρέμβαση στις εσωτερικές αλληλεπιδράσεις του συστήματος είναι ελάχιστη και ότι οι θετικές παρεμβάσεις επιτρέπουν, σε ένα τουλάχιστον από τα μέλη του καλλιεργητικού μίγματος να δράσει καλύτερα στην συγκαλλιέργεια απ' ό,τι δρα, όταν αυτό φυτεύεται σε μονοκαλλιέργεια.

Η παραδοσιακή συγκαλλιέργεια, αραβοσίτου – φασολιάς - κολοκυθιάς, στην οποία αναφερθήκαμε στο Δέκατο Έκτο Κεφάλαιο (με ένα συνολικό ΛΕΙ 1,97) μας δίνει ένα καλό παράδειγμα. Στο σύστημα αυτό, ο αραβόσιτος εκφράζει έναν επιμέρους ΛΕΙ 1,50, πράγμα που σημαίνει, ότι στην πράξη, αυτός εμφανίζει μεγαλύτερη παραγωγή απ' ό,τι εμφανίζει, όταν αυτός φυτεύεται μόνος. Η θετική παρέμβαση που είναι υπεύθυνη για το αποτέλεσμα αυτό, μπορεί να είναι οι συμβιωτικές μυκορριζικές συνδέσεις ανάμεσα στον αραβόσιτο και τη φασολιά ή μια τροποποίηση του βιοτόπου από την κολοκυθιά που επαυξάνεται από την παρουσία ενός ωφέλιμου οργανισμού και από την ελάττωση κάποιου ανωφελούς. Μολονότι οι επιμέρους ΛΕΙ για τις φασολιές και τις κολοκυθιές ήταν πολύ χαμηλοί (0,15 και 0,32, αντίστοιχα), η παρουσία τους για την επαύξηση της κάρπωσης του αραβοσίτου ήταν προφανώς σημαντική.

Όταν ο συνολικός ΛΕΙ είναι μικρότερος από το 1,0, προφανώς συνέβη μια αρνητική παρέμβαση, ειδικά εάν οι ΛΕΙ των συμμετεχόντων μερών του μίγματος είναι με ένα παρόμοιο τρόπο όλοι τους χαμηλότεροι. Στην περίπτωση αυτή η συγκαλλιέργεια, συγκρινόμενη με τη μονοκαλλιέργεια, μας δίνει μια μειονεκτική κάρπωση.

Όταν αναλύουμε τους ΛΕΙ και τους επιμέρους ΛΕΙ, είναι δυνατό να δημιουργηθεί συχνά κάποια σύγχυση για το τι συνιστά ένα πλεονέκτημα και ποιο είναι το μέγεθος του πλεονεκτήματος. Για να αποφύγουμε τη σύγχυση απαιτείται να αναγνωρίσουμε ότι, για την αξιολόγηση ενός πλεονεκτήματος σε μια συγκαλλιέργεια, όλες οι διαφορετικές καταστάσεις προκαλούν διαφορετικά κριτήρια. Έτσι, μπορούμε να διακρίνουμε τουλάχιστον τρεις καταστάσεις (Willey 1981):

1. Όταν η συνδυασμένη κάρπωση της συγκαλλιέργειας πρέπει να ξεπερνά τις υψηλότερες καρπώσεις των απλών καλλιεργειών. Η κατάσταση αυτή μπορεί να υπάρξει, όταν εκτιμούμε τα μίγματα παρόμοιων φυτών καλλιέργειας, όπως είναι τα μίγματα των λειμώνων, ή τα μίγματα γονοτύπων σε μια καλλιέργεια, όπως είναι οι πολλαπλές γραμμές σε μια καλλιέργεια σιταριού. Στις περιπτώσεις αυτές, οι επιμέρους ΛΕΙ δεν έχουν μεγάλη σημασία στον καθορισμό του πλεονεκτήματος, όσο ο συνολικός ΛΕΙ είναι μεγαλύτερος από το 1,0, διότι η απαίτηση του παραγωγού εστιάζεται προς την μέγιστη κάρπωση, ανεξάρτητα από το ποιο μέρος του καλλιεργητικού συστήματος αυτή προέρχεται. Το ποσοτικό πλεονέκτημα επεκτείνεται μέχρι το σημείο, στο οποίο η συνδυασμένη κάρπωση της συγκαλλιέργειας αυξάνεται και ο συνολικός ΛΕΙ ξεπερνά την υψηλότερη κάρπωση μιας μόνης καλλιέργειας.

2. Όταν η συγκαλλιέργεια πρέπει να αποδώσει την πλήρη κάρπωση μιας «κύριας» καλλιέργειας συν κάποια πρόσθετη κάρπωση μιας δεύτερης καλλιέργειας. Η κατάσταση αυτή συμβαίνει, όταν η πρωτογενής απαίτηση μιας κάποιας καλλιέργειας φυτών έχει σκοπό τα τρόφιμα ή κάποια συγκεκριμένη καλλιέργειας με χρηματική αξία. Για να υπάρξει ένα πλεονέκτημα στην συγκαλλιέργεια, ο συνολικός ΛΕΙ πρέπει να ξεπερνά το 1,0 και ο επιμέρους ΛΕΙ της «κύριας» καλλιέργειας πρέπει να είναι κοντά στο ένα ή ακόμη υψηλότερα. Δίνοντας έμφαση στην καλλιέργεια – κλειδί, τα συνοδά φυτά πρέπει να παρέχουν κάποια θετική συγκαλλιεργητική παρέμβαση. Η συγκαλλιέργεια αραβοσίτου – φασολιάς – κολοκυθιάς που παραπάνω αναφέραμε, είναι ένα καλό παράδειγμα αυτής της κατάστασης διότι, ο παραγωγός ενδιαφέρεται κυρίως για την κάρπωση από τον αραβόσιτο. Εάν επιτυγχάνονται από τη φασολιά και την κολοκυθιά κάποιες συμπληρωματικές καρπώσεις, ακόμη και όταν οι επί μέρους ΛΕΙ είναι πολύ χαμηλές, αυτές θεωρούνται ως ένα επιπλέον δώρο, πέρα από το πλεονέκτημα της κάρπωσης που επιτυγχάνεται από τον αραβόσιτο. Το ποσοτικό πλεονέκτημα επεκτείνεται μέχρι το σημείο στο οποίο η κύρια καλλιέργεια διεγείρεται πέρα από την απόδοσή της στη μονοκαλλιέργεια.

3. Όταν η συνδυασμένη κάρπωση της συγκαλλιέργειας πρέπει να ξεπερνά μια συνδυασμένη κάρπωση μόνης καλλιέργειας. Η κατάσταση αυτή συμβαίνει, όταν ο παραγωγός χρειάζεται να καλλιεργήσει αμφότερες (ή όλες) τις συμμετέχουσες καλλιέργειες, ειδικά όταν υπάρχει περιορισμένη γη για καλλιέργεια. Για να είναι πλεονεκτική η συγκαλλιέργεια, ο συνολικός ΛΕΙ πρέπει να είναι μεγαλύτερος από το 1,0, αλλά και κανένα μέλος του μίγματος δεν μπορεί να επιφέρει κατά τη διαδικασία, μεγάλη μείωση στην επιμέρους του ΛΕΙ. Η αρνητική παρέμβαση καθοριστικά δεν μπορεί να λειτουργήσει ευεργετικά για ένα τέτοιο μίγμα. Η κατάσταση αυτή όμως, μπορεί να παρουσιάσει προβλήματα

στη χρήση της τιμής του ΛΕΙ, αφού δεν είναι πάντοτε προφανές σε ποιες αναλογίες της απλής καλλιέργειας πρέπει να βασιστεί ο παραγωγός. Η σύγκριση δεν μπορεί να γίνει μόνο στις σπαρμένες αναλογίες, διότι η παρέμβαση στην κατάσταση της συγκαλλιέργειας δημιουργεί συχνά αξίες καρπώσεων που είναι πολύ διαφορετικές από τις αναλογίες της μονοκαλλιέργειας, και τελικά οδηγούν σε εσφαλμένους επιμέρους ΛΕΙ.

Η αναγνώριση αυτών των διαφορετικών καταστάσεων είναι σημαντική για δύο λόγους. Ο πρώτος, διότι βοηθά στο να διασφαλίζεται, ότι η έρευνα σε ένα δεδομένο συνδυασμό είναι πιθανόν να βασίζεται στην καλλιεργητική πρακτική. Ο δεύτερος, διότι πρέπει να διασφαλίζεται, ότι τα πλεονεκτήματα των καρπώσεων υπολογίζονται σε σταθερούς, ποσοτικοποιημένους όρους, οι οποίοι είναι κατάλληλοι για την αναφερόμενη κατάσταση. Τέλος, η μέθοδος της συγκαλλιέργειας που λειτουργεί άριστα είναι εκείνη η οποία εκπληρώνει τα κριτήρια τόσο του καλλιεργητή, όσο και του ερευνητή.

Για να βάλουμε κάποιες συγκεκριμένες διαφορετικές καλλιέργειες σε μια περισσότερο συγκρίσιμη βάση, ώστε να χρησιμοποιηθούν στον υπολογισμό του ΛΕΙ, χρειάζονται και κάποιες άλλες εικόνες, πέρα από τις καρπώσεις της συγκομιδής (Trenbath 1974). Οι μετρήσεις αυτές περιλαμβάνουν την περιεχόμενη πρωτεΐνη, τη συνολική βιομάζα, την περιεχόμενη ενέργεια, την περιεχόμενη πεπτή θρεπτική αξία, ή την νομισματική αξία. Τέτοιοι υπολογισμοί επιτρέπουν τη χρήση ενός παρόμοιου δείκτη για την αξιολόγηση διαφορετικών συμβολών, τα οποία μπορεί να έχει η καλλιέργεια σ' ένα αγροοικοσύστημα.

17.5. Εποικισμός και ποικιλότητα

Μέχρι το σημείο αυτό έχουμε εξετάσει τους τρόπους με τους οποίους ο παραγωγός μπορεί άμεσα να αυξήσει την ποικιλότητα με το φύτεμα περισσότερων ειδών, και τους τρόπους με τους οποίους αυτός μπορεί να δημιουργήσει τις συνθήκες που θα επιτρέπουν σ' ένα αγροοικοσύστημα να συμβεί η «φυσική» διαφοροποίηση. Έχουμε αγνοήσει το ερώτημα όμως, πώς οι οργανισμοί, που στην πράξη δεν φυτεύονται από το καλλιεργητή, εισέρχονται στο σύστημα και εγκαθίστανται σ' αυτό. Η ερώτηση αυτή αφορά τόσο τους επιθυμητούς οργανισμούς, η παρουσία των οποίων ενθαρρύνεται, (π.χ. θηρευτές και παράσιτα των φυτοφάγων, ωφέλιμοι οργανισμοί του εδάφους και βοηθητικά αλληλοπαθητικά ζιζάνια), όσο και τους ανεπιθύμητους, τους οποίους ο παραγωγός θα ήθελε να αποκλείσει από το σύστημα.

Με την ερώτηση του πώς ένα αγροοικοσύστημα εποικίζεται από τους οργανισμούς, είναι χρήσιμο να θεωρήσουμε ένα αγρό ως ένα «νησί» το οποίο περιβάλλεται από ένα «ωκεανό», τον οποίο πρέπει να διασχίσουν οι οργανισμοί, με σκοπό να καταστούν μέρος της ποικιλότητας των ειδών του αγροοικοσυστήματος. Κατά μια οικολογική έννοια, κάθε απομονωμένο οικοσύστημα περιβαλλόμενο από διακεκριμένα διαφορετικά οικοσυστήματα είναι ένα νησί, επειδή τα περιβάλλοντα οικοσυστήματα θέτουν όρια στην ικανότητα των οργανισμών να φτάσουν και να εποικίσουν το νησί.

Με βάση τα όσα αναφέραμε στο **Δέκατο Τέταρτο Κεφάλαιο**, σε ότι αφορά την διασπορά και τη διαδικασία της εγκατάστασης, εδώ θα εξετάσουμε το πώς μπορεί να εφαρμοστεί η μελέτη του εποικισμού από τους οργανισμούς των πραγματικών νησιών, έτσι ώστε, αφενός μεν να κατανοήσουμε τον εποικισμό των αγροοικοσυστημάτων, αλλά και το πώς η διαδικασία αυτή σχετίζεται με την ποικιλότητα του αγροοικοσυστήματος.

17.5.1. Η θεωρία της νησιωτικής βιογεωγραφίας

Το σώμα της οικολογικής θεωρίας που αφορά τα νησιά είναι γνωστό με τον ονομασία νησιωτική βιογεωγραφία (MacArthur and Wilson 1967). Ξεκινάει με την ιδέα ότι τα νησιωτικά οικοσυστήματα είναι συνήθως πολύ απομονωμένα από άλλα παρόμοια οικοσυστήματα. Η σειρά των γεγονότων που επιτρέπουν σ' έναν οργανισμό να φτάσει σ' ένα νησί, θέτει σε κίνηση ένα σύνολο διαδικασιών, οι οποίες οδηγούν στην ανάπτυξη ενός νησιωτικού οικοσυστήματος.

Ένα χαρακτηριστικό – κλειδί, ενός νησιού είναι ότι πολλές από τις αλληλεπιδράσεις που προφανώς καθορίζουν την πραγματική οικοθέση ενός οργανισμού, αμέσως μόλις αυτός καταφθάσει στο νησί, είναι πολύ διαφορετικές από τις συνθήκες της οικοθέσης, την οποία αυτός άφησε πίσω. Η κατάσταση αυτή δίνει στον οργανισμό την ευκαιρία να καταλάβει το μεγαλύτερο τμήμα της πιθανής οικοθέσης, ή ακόμη, να αναπτύξει χαρακτηριστικά που θα του επιτρέψουν να επεκταθεί στη νέα οικοθέση. Αυτό είναι ιδιαίτερα βέβαιο για την περίπτωση ενός νεοσχηματισθέντος νησιού στον ωκεανό, ένα περιβάλλον πολύ όμοιο με αυτό ενός πρόσφατα διαταραχθέντος (π.χ. οργωμένου) αγρού. Τα πρώτα επιβλαβή έντομα που φτάνουν σ' έναν «μη επικοισθέντα» αγρό έχουν την ευκαιρία να καταλάβουν πολύ γρήγορα την πιθανή τους οικοθέση, ειδικότερα εάν αυτά είναι εξειδικευμένοι επιβλαβείς οργανισμοί, προσαρμοσμένοι στις συνθήκες του φυτού καλλιέργειας στον αγρό αυτό.

Η θεωρία της νησιωτικής βιογεωγραφίας προσφέρει μεθόδους, οι οποίες προβλέπουν την εκροή της διαδικασίας διαφοροποίησης των ειδών ενός νησιού. Οι μέθοδοι αυτές λαμβάνουν υπόψη το μέγεθος του νησιού, την αποτελεσματικότητα των εμποδίων τα οποία περιορίζουν τη διασπορά στο νησί, την απόσταση από το νησί, την ποικιλομορφία των βιοτόπων του νησιού, την απόσταση του νησιού από τους πόρους της μετανάστευσης και το μήκος του χρόνου που το νησί έχει παραμείνει απομονωμένο.

Ο πειραματικός χειρισμός των συστημάτων του νησιού (Simberloff and Wilson 1969) και οι μελέτες της ποικιλότητας του νησιού μας έδωσαν τη βάση για τις παρακάτω αρχές:

- ✚ Όσο μικρότερο είναι το νησί, τόσο μεγαλύτερος είναι ο χρόνος για να το βρουν οι οργανισμοί.
- ✚ Όσο παραπέρα από τις πηγές των εποικιστών είναι ένα νησί, τόσο μεγαλύτερος είναι ο χρόνος για να το βρουν οι εποικιστές.
- ✚ Τα μικρότερα και τα μακρινότερα νησιά έχουν μικρότερη και πεινχρότερη πανίδα και χλωρίδα.
- ✚ Πολλές οικοθέσεις στα νησιά μπορεί να παραμείνουν χωρίς κατάληψη.
- ✚ Πολλοί από τους οργανισμούς που φτάνουν στα νησιά καταλαμβάνουν μια ευρύτερη οικοθέση απ' ό,τι οι ίδιοι ή παρόμοιοι οργανισμοί στην ενδοχώρα.
- ✚ Οι πρώτοι εποικιστές συχνά φτάνουν μπροστά από τους περιορισμένους θηρευτές και τα παράσιτα, και μπορούν να εκφράσουν μια ταχύτατη αύξηση πληθυσμού, κατ' αρχήν.
- ✚ Καθώς ο εποικισμός προχωρεί, στη δομή της οικοθέσης του νησιού συμβαίνουν αλλαγές και μπορεί να λάβει χώρα η εξαφάνιση των πρωιμότερων εποικιστών.
- ✚ Οι πρωιμότερες αφίξεις είναι περισσότερο της r - επιλογής.

Τέλος, η θεωρία πρέπει να είναι ικανή να προβλέπει τους ρυθμούς εποικισμού και εξόντωσης, οι οποίες είναι δυνατό να συμβούν σ' ένα συγκεκριμένο νησί. Μια τέτοια πρόβλεψη πρέπει στη συνέχεια να κάνει εφικτή την κατανόηση της σχέσης ανάμεσα στις οικολογικές συνθήκες και την πιθανή ποικιλότητα των ειδών, και ποιοι

παράγοντες ελέγχουν την εγκατάσταση ενός ισοζυγίου μεταξύ της εξαφάνισης και του περεταίρω εποίκισμού.

17.5.2. Εφαρμογές στη Γεωργία

Ο παραλληλισμός ανάμεσα στα νησιά και τους αγρούς επιτρέπουν στους ερευνητές να εφαρμόσουν στην θεωρία της νησιωτικής βιογεωγραφίας στη γεωργία. Μπορούν να σχεδιαστούν πειράματα στα οποία, είτε ένας αγρός περιβάλλεται πλήρως από μια διαφορετική καλλιέργεια, είτε μικρά τεμάχια εντοπίζονται σ' ένα μεγαλύτερο αγρό της ίδιας καλλιέργειας. Ένα παράδειγμα αποτελεί και η μελέτη του Price (1976), για τους ρυθμούς με τους οποίους οι ανωφελείς οργανισμοί και οι φυσικοί εχθροί εποίκουν τους αγρούς της σόγιας. Η μελέτη διεξήχθη με τη χρήση μικρών πειραματικών τεμαχίων, ως πειραματικά νησιά, σ' έναν αγρό σόγιας. Τα πειραματικά τεμάχια περιβάλλονταν από έναν «ωκεανό» σόγιας, με ένα φυσικό δάσος να βρίσκεται στο ένα άκρο και περισσότεροι αγροί σόγιας στις άλλες πλευρές. Μικρά τεμάχια στον αγρό της σόγιας, κατανεμημένα σε διαφορετικές αποστάσεις από τις διάφορες πηγές εποίκισμού, παρατηρήθηκαν σε ολόκληρη την καλλιεργητική περίοδο, και καταμετρήθηκαν οι ρυθμοί άφιξης, η αφθονία και η ποικιλότητα τόσο των ανωφελών οργανισμών, όσο και των ευεργετικών παραγόντων του ελέγχου τους. Οι περισσότεροι εύκολα διασκορπιζόμενοι ανωφελείς οργανισμοί ήταν οι πρώτοι που έφτασαν στα εσωτερικά τεμάχια του αγρού και αργότερα, ακολούθησαν κάποιοι από τους θηρευτές και τα παράσιτα. Το ισοζύγιο ανάμεσα στα είδη και τα άτομα τόσο των ανωφελών οργανισμών, όσο και των φυσικών εχθρών που προβλέφτηκε από τη θεωρία της νησιωτικής βιογεωγραφίας δεν επιτεύχθηκε, προφανώς λόγω του μικρού βιολογικού κύκλου του αγρού της σόγιας. Η μελέτη αυτή ενθάρρυνε και άλλους ερευνητές για να υλοποιήσουν παρόμοιες μελέτες (Altieri 1995b).

Κάνοντας χρήση των εννοιών που αναπτύχθηκαν στη θεωρία της νησιωτικής βιογεωγραφίας, θα μπορούσε να ήταν δυνατό να χειριστεί κανείς τη «νησιωτικότητα» στα καλλιεργητικά συστήματα με τέτοιο τρόπο έτσι ώστε, είτε η άφιξη των ανωφελών οργανισμών να καθυστερήσει, είτε η άφιξη των ωφέλιμων να επιταχυνθεί. Μια τέτοια προσέγγιση έχει μεγάλη πιθανότητα να εφαρμοστεί με τα έντομα, τα ζιζάνια και τους παθογενείς οργανισμούς. Ιδανικά, θέλουμε να φτάσουμε στο σημείο στο οποίο μπορούμε να προβλέψουμε τη δομή του πληθυσμού και ως αποτέλεσμα, μια τέτοια πληροφόρηση να χρησιμοποιηθεί, η οποία θα καθορίζει το άριστο μέγεθος των αγρών, τη θέση τους στο τοπίο, την απόσταση ανάμεσα σε αγρούς άλλης μορφής, το χρόνο που είναι αποτελεσματικός ο διαχωρισμός και πως όλα αυτά επηρεάζονται από τα είδη των καλλιεργητικών να φυτών ή της υπόλοιπης βλάστησης στις περιοχές ανάμεσα από τις καλλιέργειες στόχους. Ασφαλώς, έχουμε να κάνουμε μ' ένα πολύ πολύπλοκο σύνολο παραγόντων, όμως η πιθανότητα να χρησιμοποιήσουμε τη νησιωτική θεωρία στην αγροοικολογία είναι μεγάλη.

17.6. Ποικιλότητα, σταθερότητα και αειφορικότητα

Η ποικιλότητα στα αγροοικοσυστήματα μπορεί να πάρει πολλές μορφές, στις οποίες περιλαμβάνονται η ειδική διευθέτηση των φυτών καλλιέργειας στον αγρό, ο τρόπος με τον οποίο διάφοροι αγροί διευθετούνται, και οι τρόποι με τους οποίους οι διάφοροι αγροί σχηματίζουν ένα τμήμα του συνολικού γεωργικού τοπίου μιας αγροτικής περιοχής. Με αυξημένη την ποικιλότητα, μπορούμε να αποκτήσουμε πλεονέκτημα των θετικών μορφών της παρέμβασης, η οποία οδηγεί σε αλληλεπιδράσεις ανάμεσα στα συνθετικά μέρη του αγροοικοσυστήματος,

συμπεριλαμβανομένων τόσο των καλλιεργητικών, όσο και των μη καλλιεργητικών στοιχείων. Η πρόκληση για τον αγροοικολόγο είναι να καταδείξει τα πλεονεκτήματα που μπορούν να αποκτηθούν με την εισαγωγή της ποικιλότητας στα συστήματα καλλιέργειας, ενσωματώνοντας πολλά συστατικά της λειτουργίας του οικοσυστήματος, τα οποία στη φύση είναι σημαντικά, και διαχειριζόμενος μια τέτοια ποικιλότητα μακροπρόθεσμα.

Εν μέρει, η αντιμετώπιση της πρόκλησης αυτής σημαίνει καθορισμό των σχέσεων ανάμεσα στα διαφορετικά είδη ποικιλότητας που παρουσιάστηκαν στο κεφάλαιο αυτό και της σταθερότητας του αγροοικοσυστήματος μέσα στο χρόνο. Η σταθερότητα αυτή πρέπει να γίνει κατανοητή τόσο ως αντίσταση του συστήματος στην αλλαγή, όσο και ως ευστάθεια του συστήματος στην αλλαγή. Αφού κάθε είδος στο αγροοικοςύστημα φέρνει κάποια διαφορά στις διαδικασίες που συντηρούν αμφοτέρους τους τύπους της σταθερότητας, ένα σημαντικό τμήμα της αγροοικολογικής έρευνας εστιάζεται στην κατανόηση της συνεισφοράς των ειδών και στη χρήση της γνώσης αυτής για την ενσωμάτωση των ειδών στο σύστημα, στην άριστη θέση και τον άριστο χρόνο. Καθώς λαμβάνει χώρα η ενσωμάτωση αυτή, οι αναδυόμενες ποιότητες της σταθερότητας του συστήματος εμφανίζονται, επιτρέποντας στην τελευταία αναδυόμενη ποιότητα, δηλαδή την αιφορικότητα, να αναπτυχθεί.

Τα πλέον αιφορικά αγροοικοςυστήματα πρέπει να είναι αυτά που έχουν ένα είδος μορφής μωσαϊκού στη δομή και την ανάπτυξη και στα οποία το σύστημα είναι ένα διακεκομμένο από επίπεδα ποικιλότητας, αναμιγνύοντας έτσι ετησία, πολυετή, θάμνους, δένδρα και ζώα. Η τα πλέον αιφορικά συστήματα πρέπει να είναι εκείνα, με αρκετά στάδια ανάπτυξης να συμβαίνουν ταυτόχρονα, ως αποτέλεσμα του τύπου της εφαρμοσμένης διαχείρισης. Τέτοια συστήματα πρέπει να ενσωματώνουν μια ελάχιστη καλλιέργεια, η οποία θα επιτρέπει να αναπτυχθεί περισσότερο ώριμο εδαφικό υποσύστημα, ακόμη και με το απλούστερο υπέργειο σύστημα φυτών, ή να χρησιμοποιούν καλλιέργειες σε λωρίδες ή δενδροστοιχίες ώστε, να δημιουργηθεί ένα μωσαϊκό επιπέδων ανάπτυξης και ποικιλότητας κατά μήκος του τοπίου του αγροκτήματος. Άπαξ και οι παράμετροι της ποικιλότητας εγκατασταθούν, το θέμα που τίθεται είναι αυτό της συχνότητας και της έντασης της διαταραχής.

17.7. Χρήσιμη συμπληρωματική βιβλιογραφία

Altieri, M. A. 1994. *Biodiversity and Pest Management in Agroecosystems*. Food Products Press: New York.

Carlquist, S. 1974. *Island Biology*. Columbia University Press: New York.

Golley, F. B. 1994. *A History of the Ecosystem Concept in Ecology*. Yale University Press: New Haven, CT.

Ricklefs, R. E. 1997. *The Economy of Nature*. 4th Edition. W. E. Freeman and company: New York.

Schulze, E. D., and H. A. Mooney (eds.). 1994. *Biodiversity and Ecosystem Function*. Springer Study Edition. Springer – Verlag: Berlin.

Smith, R. L. 1995. *Ecology and Field Biology*. 5th Edition. Harper Collins College Publishers: New York.

Wilson, E. O. (ed.). 1988. *Biodiversity*. National Academy Press: Washington, D.C.

Κεφάλαιο Δέκατο Όγδοο

Διαταραχή, διαδοχή και διαχείριση του αγροοικοσυστήματος

18.1. Γενικά

Οι οικολογικές έννοιες της διαταραχής και της ανάκαμψης μέσω της διαδοχής έχουν σημαντική εφαρμογή στην αγροοικολογία. Τα αγροοικοσυστήματα υπόκεινται σε μια μόνιμη διαταραχή με τη μορφή της καλλιέργειας, της προετοιμασίας του εδάφους, της σποράς, της φύτευσης, της άρδευσης, της λίπανσης, της διαχείρισης των επιβλαβών ειδών, του κλαδέματος, της συγκομιδής και της καύσης. Όταν η διαταραχή είναι συχνή, ευρεία και έντονη, όπως άλλωστε συμβαίνει κατά την εφαρμογή της συμβατικής γεωργίας, τα αγροοικοσυστήματα περιορίζονται στα αρχικά στάδια της διαδοχής. Η κατάσταση αυτή δίνει τη δυνατότητα να επιτευχθεί μια υψηλή παραγωγικότητα, απαιτεί όμως, μεγάλες εισροές λιπασμάτων και εντομοκτόνων και τείνει συν τω χρόνω, να υποβαθμίσει τους εδαφικούς πόρους.

Για να επιτευχθεί μια περισσότερο αειφορική παραγωγή τροφίμων, αυτή πρέπει να μετακινηθεί από την εξάρτηση των συνεχών και υπερβολικών διαταραχών και να επιτραπούν στις διαδοχικές διαδικασίες να δημιουργήσουν μεγαλύτερη σταθερότητα στο αγροοικοσύστημα. Με βάση τις γνώσεις μας πάνω στη διαταραχή και την διαδοχή, όπως αυτές συμβαίνουν στα φυσικά οικοσυστήματα, μπορούμε να επαυξήσουμε την ικανότητα των αγροοικοσυστημάτων ώστε να διατηρούν τόσο τη γονιμότητα, όσο και την παραγωγικότητα, μέσα από την κατάλληλη διαχείριση της διαταραχής και της ανάκαμψης.

18.2. Διαταραχή και ανάκαμψη στα φυσικά οικοσυστήματα

Μία από μακρού χρόνου κρατούσα άποψη της οικολογίας είναι και αυτή που αναφέρει ότι, αμέσως μετά από μια διαταραχή που θα εμφανιστεί σ' ένα οικοσύστημα, αρχίζει η διαδικασία της ανάκαμψης από αυτή τη διαταραχή. Η ανάκαμψη λαμβάνει χώρα μέσα από μια σχετικά εύρυθμη διαδικασία της διαδοχής. Στην πλέον ευρεία έννοια της, η οικολογική διαδοχή αποτελεί «τη διαδικασία της ανάπτυξης του οικοσυστήματος, στην οποία συμβαίνουν με το πέρασμα του χρόνου διακριτές αλλαγές στην δομή και τη λειτουργία της κοινότητας».

Οι οικολόγοι διακρίνουν δυο βασικούς τύπους διαδοχής. Οι τύποι αυτοί είναι: η **πρωτογενής διαδοχή**, η οποία αναφέρεται στην ανάπτυξη του οικοσυστήματος σε τέτοιες θέσεις, όπως είναι τα γυμνά βράχια, οι παγωμένες επιφάνειες, ή τα πρόσφατα σχηματισθέντα ηφαιστειακά νησιά, θέσεις τις οποίες προηγουμένως δεν κατελάμβαναν ζώντες οργανισμοί ή δεν υπόκειντο σε αλλαγές τις οποίες οι βιοτικοί παράγοντες μπορούσαν να επιφέρουν στους αβιοτικούς παράγοντες, και η **δευτερογενής διαδοχή**, η οποία αναφέρεται στην ανάπτυξη του οικοσυστήματος σε θέσεις, τις οποίες προηγουμένως κατελάμβαναν ζώντες οργανισμοί, αλλά οι θέσεις αυτές έχουν διαταραχθεί από κάποιο γεγονός, όπως π.χ. είναι, η πυρκαγιά, η πλημμύρα, ο ισχυρός άνεμος, η υπερβόσκηση. Ανάλογα με την ένταση, τη συχνότητα και τη διάρκεια της διαταραχής, η επίπτωση στη δομή και τη λειτουργία του οικοσυστήματος θα ποικίλει, όπως θα ποικίλει ασφαλώς και ο χρόνος που θα απαιτηθεί για την ανάκαμψη μετά τη διαταραχή. Επειδή η διαδικασία της διαταραχής και της ανάκαμψης που παρατηρούνται στη γεωργία λαμβάνουν χώρα συνήθως, σε θέσεις στις οποίες υπήρχαν προηγουμένως βιοτικοί παράγοντες, στο σημείο αυτό θα εστιάσουμε την προσοχή μας στη διαδικασία της δευτερογενούς διαδοχής.

18.2.1. Η φύση της διαταραχής

Παρόλο που τα φυσικά οικοσυστήματα δίνουν την εντύπωση ότι παραμένουν σταθερά και αμετάβλητα, αυτά συνεχώς και σε κάποια κλίμακα, τροποποιούνται από γεγονότα, όπως είναι αυτά της πυρκαγιάς, των ανεμοθυελλών, των πλημμυρών, των ακραίων θερμοκρασιών, των επιδημιών, των ολισθήσεων και των διαβρώσεων. Τα γεγονότα αυτά διαταράσσουν τα οικοσυστήματα, φονεύοντας οργανισμούς, καταστρέφοντας και τροποποιώντας βιοτόπους, και μεταβάλλοντας τις βιοτικές συνθήκες. Οποιαδήποτε από τις παραπάνω επιδράσεις μπορεί να μεταβάλλει τη δομή του φυσικού οικοσυστήματος και να προκαλέσει αλλαγές στα επίπεδα του πληθυσμού των παρόντων οργανισμών αλλά και της βιομάζας που αυτοί εμπεριέχουν.

Η διαταραχή παρουσιάζει τα παρακάτω τρία χαρακτηριστικά:



Ένταση της διαταραχής. Η ένταση έχει ως μέτρο την ποσότητα της βιομάζας που απομακρύνεται ή τον αριθμό των ατόμων που θανατώθηκαν. Οι τρεις τύποι πυρκαγιάς που αναφέραμε στο Ενδέκατο Κεφάλαιο μας παρέχουν χρήσιμα παραδείγματα της μεταβολής της έντασης της διαταραχής: οι πυρκαγιές εδάφους δημιουργούν μικρής έντασης διαταραχές, ενώ οι επικόρυφες πυρκαγιές προξενούν υψηλής έντασης διαταραχή.



Συχνότητα της διαταραχής. Η συχνότητα αποτελεί το μέσο αριθμό των περιστατικών ανά μονάδα χρόνου, τα οποία παρατηρήθηκαν και καταγράφηκαν μεταξύ διαδοχικών διαταραχών. Όσο μεγαλύτερο είναι το χρονικό διάστημα

ανάμεσα στις διαταραχές, τόσο μεγαλύτερη είναι η ικανότητα του οικοσυστήματος να ανακάμψει πλήρως μετά από κάθε διαταραχή.

- ✚ **Κλίμακα της διαταραχής.** Η κλίμακα αποτελεί το μέτρο του μεγέθους της διαταραχής, η οποία είναι δυνατό να είναι μικρής κλίμακας και να εντοπίζεται από ένα μικρό τμήμα ή να γενικεύεται σ' ολόκληρο το τοπίο. Το μικρό άνοιγμα στο δάσος που δημιουργείται από την πτώση ενός δένδρου, αποτελεί μια διαταραχή μικρής κλίμακας, ενώ η μαζική καταστροφή που προκαλείται από ένα πανίσχυρο τυφώνα είναι μιας πολύ μεγάλης κλίμακας διαταραχή.

Και τα τρία χαρακτηριστικά της διαταραχής συχνά εμπλέκονται κατά τρόπο πολύπλοκο. Η πυρκαγιά, για παράδειγμα, μπορεί να συμβεί σε συχνότητα που να ποικίλει και μπορεί να κατανεμηθεί σ' ένα τοπίο με αποσπασματικό τρόπο και όπου συμβεί αυτό, μπορεί να κάψει κάποιες περιοχές έντονα και κάποιες άλλες να τις κατακάψει ολοκληρωτικά.

18.2.2. Η διαδικασία της ανάκαμψης

Κάθε αλλαγή ή τροποποίηση του οικοσυστήματος που προκύπτει από μια διαταραχή, ακολουθείται από μια διαδικασία ανάκαμψης. Η ανάκαμψη συμβαίνει μέσα από μια συνδυασμένη δράση αρκετών δυναμικών του οικοσυστήματος. Οι δυναμικές αυτές μπορεί να προέλθουν από:

- ✚ **τη βιοτική κοινότητα**, η οποία, ως ένα σύνολο, τροποποιεί το φυσικό περιβάλλον, μέσω των πολλαπλών μορφών των παρεμβάσεων,
- ✚ **τον ανταγωνισμό και τη συνύπαρξη**, οι οποίοι συμβαίνουν, τόσο ανάμεσα στους ανεξάρτητους οργανισμούς, όσο και τους πληθυσμούς και προκαλούν αλλαγές στην ποικιλότητα και την αφθονία των ειδών, και
- ✚ **τη ροή της ενέργειας**, η οποία είναι διαφορετική για την παραγωγή και διαφορετική για την αναπνοή, δεδομένου ότι το σύστημα χρειάζεται πολύ περισσότερη ενέργεια για να υποστηρίξει την αύξηση της ιστάμενης βιομάζας.

Η επίδραση των παραπάνω διαδικασιών καθοδηγεί ένα ανακάμπτον οικοσύστημα μέσα από ένα αριθμό σταδίων ανάπτυξης, θα μπορούσαμε να τα αποκαλέσουμε «σειριακά στάδια», τα οποία τελικώς οδηγούν σε μια δομή και ένα επίπεδο πολυπλοκότητας του οικοσυστήματος, παρόμοια με αυτά που υπήρχαν πριν εμφανιστεί το φαινόμενο της διαταραχής.

Στη διάρκεια της διαδικασίας ανάκαμψης, συμβαίνουν πολύ σημαντικές αλλαγές στη δομή και τη λειτουργία του οικοσυστήματος. Αυτές είναι πάρα πολύ διακριτές, ως επακόλουθο μιας σοβαρής και εκτεταμένης διαταραχής. Μια περίληψη μερικών από τα πλέον σημαντικά χαρακτηριστικά, τα οποία παρουσιάζονται στον **Πίνακα 18.1** και αφορούν μια διαδοχική διαδικασία η οποία ακολουθεί μετά από μια μείζονα διαταραχή. Στα πρώιμα ή τα πρόσκοπα στάδια της διαδοχής κυριαρχούν τα ακολουθούντα την r – στρατηγική είδη, είδη τα οποία διασκορπίζονται εύκολα. Όμως, καθώς οι πρώιμοι αυτοί εισβολείς, είτε τροποποιούν τις συνθήκες του περιβάλλοντος, είτε αντικαθίστανται από την παρέμβαση και τις αφίξεις των εκ των ύστερων ερχόμενων ειδών, αρχίζουν να κυριαρχούν τα είδη που ακολουθούν την K – στρατηγική. Πολύ συχνά έχει παρατηρηθεί και η συν τω χρόνω αντικατάσταση των πρόσκοπων φυτών και ζώων από άλλα είδη, κατά τη διάρκεια της διαδικασίας ανάκαμψης (Keever 1950, Gomez-Pompa & Vasquez-Yanez 1981).

Τα περισσότερα συστατικά της οικολογικής ποικιλότητας αυξάνονται κατά τη διάρκεια της διαδοχής, ειδικότερα στα πρώτα στάδια της διαδοχής, και επιτυγχάνουν συχνά τα υψηλότερα επίπεδά τους πριν να εκπληρώσουν την ανάκαμψη. Σημαντικής οικολογικής σημασίας είναι και το γεγονός ότι, η ακάθαρτη φωτοσύνθεση κατά τα

πρώιμα στάδια της διαδοχής ξεπερνά κανονικά κατά πολύ τη συνολική αναπνοή, με κατάληξη την υψηλή καθαρή πρωτογενή παραγωγή και το υψηλό δυναμικό απόδοσης. Καθώς η ιστάμενη βιομάζα των φυτών καλλιέργειας αυξάνει με τη διαδοχική ανάπτυξη, μια μεγαλύτερη αναλογία της παραγωγικότητας χρησιμοποιείται για τη συντήρηση, δημιουργώντας την εντύπωση μεγαλύτερης σταθερότητας.

Πίνακας 18.1. Αλλαγές που συμβαίνουν στη δομή και τη λειτουργία του περιβάλλοντος κατά τη διάρκεια της πορείας της δευτερογενούς διαδοχής, μετά από μια μείζονα διαταραχή.

Χαρακτηριστικά Οικοσυστήματος	Αλλαγές κατά τη διάρκεια διαδοχικής διαδικασίας*		
	Πρώιμα στάδια	Μεσαία στάδια	Ωριμότητα
Σύνθεση ειδών	Ταχεία αντικατάσταση των ειδών	Βραδύτερη αντικατάσταση των ειδών	Μικρή αλλαγή
Ποικιλότητα ειδών	Χαμηλή, με ταχεία αύξηση	Μέτρια, με ταχεία αύξηση	Υψηλή, με πιθανή ελαφρά μείωση
Συνολική βιομάζα	Χαμηλή, με ταχεία αύξηση	Μέτρια, με μέτρια αύξηση	Υψηλή, με αργού ρυθμού αύξηση
Μάζα νεκρής οργανικής ουσίας	Χαμηλή, με ταχεία αύξηση	Μέτρια, με μέτρια αύξηση	Υψηλή, με αργού ρυθμού αύξηση
Ακάθαρτη πρωτογενής παραγωγή	Αυξάνει ταχέως	Μειώνεται ελαφρά	Μειώνεται ελαφρά
Καθαρή πρωτογενής παραγωγή	Αυξάνει ταχέως	Μειώνεται ελαφρά	Μειώνεται ελαφρά
Αναπνοή του συστήματος	Αυξάνει	Αυξάνει	Αυξάνει αργά
Τροφικές αλυσίδες / τροφικά δίκτυα	Καθίσταται αυξητικά πολύπλοκη	Καθίσταται αυξητικά πολύπλοκη	Παραμένει πολύπλοκη
Αλληλεπίδραση ειδών	Καθίσταται αυξητικά πολύπλοκη	Καθίσταται αυξητικά πολύπλοκη	Παραμένει πολύπλοκη
Συνολική αποτελεσματικότητα της χρήσης θρεπτικών στοιχείων και ενέργειας	Αυξάνει	Αυξάνει	Παραμένει επαρκής
Ανακύκλωση θρεπτικών στοιχείων	Ροή μέσω ανοικτών κύκλων		Εσωτερικοί κύκλοι. Κλειστοί κύκλοι
Συγκράτηση θρεπτικών στοιχείων	Χαμηλή κατακράτηση, βραχύς χρόνος ανατροπής		Υψηλή κατακράτηση, μακρύς χρόνος ανατροπής
Μορφή ανάπτυξης	r- στρατηγική, είδη αυξανόμενα ταχέως		K- στρατηγική, μακρόβια είδη
Εύρος οικοθέσης	Γενικευτές		Ειδικευτές
Βιολογικοί κύκλοι	Ετήσια		Πολυετή
Παρέμβαση	Επί το πλείστον ανταγωνιστικός		Περισσότερο συμβιωτικός

*Όλες οι αλλαγές συμβαίνουν ως βαθμιαίες μεταβάσεις, μολονότι κάποιες αλλαγές παρουσιάζονται με τη μορφή μετάβασης βήμα προς βήμα. Πηγή: Προσαρμογή από τον Odum (1993).

Μια άλλη άποψη της διαδοχικής ανάπτυξης, η οποία έχει σημαντικές αγροοικολογικές εφαρμογές, είναι και η αύξηση μέσα στο χρόνο της οργανικής ύλης σε βιομάζα και ιστάμενη καλλιέργεια, ειδικά στα πρώιμα στάδια της διαδοχής. Αφού η βιομάζα μετατρέπεται σε αποσυντιθέμενη ύλη και χούμο, καθώς αυτή διέρχεται μέσα από τους αποικοδομητές, η αύξηση αυτή σε βιομάζα καταλήγει απευθείας σε μια αύξηση της οργανικής ουσίας στο έδαφος.

Κατά τη διάρκεια των πρώιμων σταδίων της ανάκαμψης, η διαθεσιμότητα των θρεπτικών στοιχείων είναι συνήθως υψηλή και η διατήρηση των θρεπτικών στοιχείων σχετικά ανεπαρκής. Τα ταχέως αυξανόμενα, εύρωστα είδη φυτών καθίστανται κυρίαρχα ταχέως και η αλληλεπίδραση των πληθυσμών περιορίζεται στα ολίγα παρόντα είδη. Καθώς η διαδοχή προχωρεί, η συγκράτηση των θρεπτικών στοιχείων βελτιώνεται, τα εποικίζοντα είδη αρχίζουν να καταλαμβάνουν στο σύστημα μια μεγαλύτερη ποικιλότητα οικοθέσεων, η αλληλεπίδραση των πληθυσμών εντατικοποιείται, ειδικά οι αλληλεπιδράσεις που αναφέρονται στην κατανομή των πόρων και την συμβιωτική παρέμβαση, και η δομή του οικοσυστήματος καθίσταται περισσότερο πολύπλοκη και διασυνδεδεμένη.

Εάν αφηθεί να παρέλθει αρκετός χρόνος μετά την διαταραχή, ένα οικοσύστημα προσεγγίζει ένα σημείο, γνωστό και ως **στάδιο - climax**, στο οποίο τα περισσότερα χαρακτηριστικά του παρουσιάζονται στον **Πίνακα 18.1**, παύουν να αλλάζουν σημαντικά σε ρυθμό ή χαρακτήρα. Σε όρους ποικιλότητας ειδών, για παράδειγμα, τα νέα εποικιστικά είδη ισούνται με τον αριθμό των ειδών που μεταναστεύουν ή των ειδών που εξαφανίζονται. Οι απώλειες των θρεπτικών στοιχείων από το σύστημα ισοσκελίζονται από τις εξωτερικές εισροές. Τα επίπεδα του πληθυσμού των ειδών κυμαίνονται εποχιακά, αλλά βρίσκονται γύρω από ένα σταθερό μέσο αριθμό. Στο στάδιο αυτό, το σύστημα βρίσκεται ξανά σε μια ισχυρή ισορροπία με το περιφερειακό κλίμα και τις τοπικές συνθήκες του εδάφους, του τοπογραφικού ανάγλυφου και της διαθέσιμης υγρασίας. Εντούτοις οι αλλαγές συμβαίνουν, η αλλαγή όμως δεν είναι πλέον κατευθυντική ή αναπτυξιακή, αλλά αλλαγή προσανατολισμένη γύρω από ένα σημείο ισορροπίας. Στο Τρίτο Κεφάλαιο περιγράψαμε μια τέτοια κατάσταση, ως μια κατάσταση *δυναμικής ισορροπίας*, μια έννοια που λαμβάνει υπόψη της το γεγονός ότι όλα τα περιβάλλοντα αλλάζουν σταθερά και εξελίσσονται, με τις νέες διαταραχές να συμβαίνουν συχνά σε μια μικρή τουλάχιστον κλίμακα.

Στο τυπικά ώριμο οικοσύστημα λοιπόν, οι συγκεκριμένες θέσεις επανέρχονται σε πρωιμότερα στάδια διαδοχής και σε μια κανονική βάση. Τα χαρακτηριστικά όμως του **Πίνακα 18.1**, αναπτύσσονται επαρκώς έτσι ώστε, η ενέργεια και η χρήση των θρεπτικών στοιχείων να είναι σε υψηλή αποτελεσματικότητα. Τα τροφικά δίκτυα είναι πολύπλοκα και επικρατούν οι συμβιωτικές σχέσεις. Το σύστημα είναι σχετικά σταθερό, με την διπλή έννοια, δηλαδή, ότι είναι ικανό να ανθίσταται στην αλλαγή και είναι ευσταθές μετά τις διαταραχές. Συνεπώς, τα γεγονότα της διαταραχής που δεν συμβαίνουν, δεν καταλήγουν σε δραματική αλλαγή, αλλά ούτε και επιτρέπουν μια κατάσταση σταθερής θέσης.

18.2.3. Η ενδιάμεση διαταραχή

Σε κάποια οικοσυστήματα, η συχνότητα, η ένταση και η κλίμακα είναι τέτοιες που το σύστημα ουδέποτε φτάνει στην πλήρη ωριμότητα, όμως, κατά το μάλλον ή ήττον, είναι ικανό να διατηρεί την ποικιλότητα των ειδών, τη σταθερότητα και την αποτελεσματικότητα χρήσης της ενέργειας του ώριμου οικοσυστήματος. Οι οικολόγοι μελετώντες τα οικοσυστήματα αυτά έχουν διατυπώσει την **υπόθεση της ενδιάμεσης διαταραχής**, η οποία ισχυρίζεται ότι στα φυσικά οικοσυστήματα, όπου οι διαταραχές του περιβάλλοντος δεν είναι πολύ συχνές, ούτε πού σπάνιες (σε μια ενδιάμεση συχνότητα), η ποικιλότητα και η παραγωγικότητα μπορεί να είναι υψηλές (Connell 1978, Connell & Slayter 1977). Η διαταραχή στα συστήματα αυτά διατηρεί το χαρακτηριστικό της πρώιμης διαδοχής της υψηλής παραγωγικότητας, ενώ η συνολική σταθερότητα του συστήματος επιτρέπει την υψηλή ποικιλότητα των ειδών που είναι περισσότερο χαρακτηριστική των ώριμων οικοσυστημάτων.

Κάποια φυσικά οικοσυστήματα για τα οποία η υπόθεση της ενδιάμεσης διαταραχής μπορεί να εφαρμοστεί, παρουσιάζονται στον **Πίνακα 18.2**. Μια εξέταση των συστημάτων αυτών αποδεικνύει ότι η ενδιάμεση διαταραχή μπορεί να προκύψει μέσα από μια μεγάλη ποικιλία διαφορετικών συνδυασμών της συχνότητας διαταραχής, της έντασης διαταραχής και της κλίμακας διαταραχής. Η σχετικά έντονη και συχνή διαταραχή σε μια μικρή κλίμακα, για παράδειγμα, μπορεί να έχει ένα αποτέλεσμα όμοιο με αυτό με τη διαταραχή με χαμηλή ένταση και χαμηλή συχνότητα σε μια μεγαλύτερη όμως κλίμακα.

Πίνακας 18.2. Μερικά παραδείγματα της ενδιάμεσης διαταραχής σε φυσικά οικοσυστήματα

Συχνότητα	Κλίμακα	Ένταση	Φύση της διαταραχής
Υψηλή Χαμηλή	Μικρή Ευρεία	Χαμηλή Υψηλή	Φυσική πτώση δένδρων στο δάσος από ανεμορριπίες Καταστροφή από τυφώνα σε κοραλλιογενείς νήσους ή παράκτια τροπικά δάση
Υψηλή	Μέτρια	Χαμηλή	Απομάκρυνση υπόγειας βιομάζας από τη βόσκηση φυτοφάγων σε ποολίβαδα
Μέτρια	Μέτρια	Μέτρια	Καταστροφή από τον πάγο στα δένδρα των δασών της εύκρατης ζώνης
Μέτρια	Μέτρια	Χαμηλή	Πυρκαγιές επιφάνειας στα τροπικά δάση με ξηρό θέρος

Σε πολλές καταστάσεις ενδιάμεσης διαταραχής και όταν αυτή κατανέμεται κατά χώρο και χρόνο μέσα στο τοπίο ακανόνιστα, δημιουργεί το γνωστό **κατακερματισμένο τοπίο**, στο οποίο συμβαίνουν πολυάριθμα στάδια διαδοχής σε μια σχετικά μικρή περιοχή. Η μεταβολή στην αναπτυξιακή κατάσταση από τεμάχιο σε τεμάχιο συμβάλλει στη διατήρηση μιας σημαντικής ποικιλότητας στο επίπεδο του οικοσυστήματος. Ο διαδοχικός **κατακερματισμός** μπορεί συνεπώς να αντιμετωπιστεί ως ένα σημαντικό μέτρο της οικολογικής δυναμικής των οικοσυστημάτων. Τα μέγεθος του τεμαχίου, η μεταβολή στην ανάπτυξη του τεμαχίου και η φύση των φάσεων ανάμεσα στα τεμάχια, καθίστανται όλα τους σημαντικές μεταβλητές και πρόσφατα οι οικολόγοι έχουν επενδύσει σημαντική μελέτη, στην προσπάθειά τους να κατανοήσουν το ρόλο τους μέσα στα φυσικά οικοσυστήματα (Pickett and White 1985). Ο αυθύπαρκτος κατακερματισμός πολλών γεωργικών τοπίων καταδεικνύει την δυναμική εφαρμογή της ενδιάμεσης διαταραχής και του κατακερματισμού στη διαχείριση του αγροοικοσυστήματος.

18.3. Εφαρμογές στη διαχείριση των αγροοικοσυστημάτων

Η σύγχρονη γεωργία ανέπτυξε ένα σύνολο πρακτικών, τεχνολογιών και εισροών που επιτρέπει στους παραγωγούς να αγνοούν τις περισσότερες διαδοχικές διαδικασίες. Στη θέση της φυσικής ανάκαμψης, οι παραγωγοί χρησιμοποιούν εισροές και υλικά που αντικαθιστούν αυτά που απομακρύνθηκαν κατά την συγκομιδή ή τροποποιήθηκαν με την καλλιεργητική πρακτική. Η μόνιμη διαταραχή διατηρεί το αγροοικοσύστημα στα πρώιμα στάδια της διαδοχής, στα οποία η μεγαλύτερη αναλογία της ακαθάριστης παραγωγικότητας είναι διαθέσιμη ως καθαρή παραγωγικότητα ή συγκομίσιμη βιομάζα. Όμως, όταν αποσκοπούμε να δημιουργήσουμε περισσότερο σταθερά συστήματα, τα οποία θα είναι πολύ λιγότερο εξαρτημένα από τις ανθρώπινες παρεμβάσεις και τις ρυπάνσεις, αλλά και τις μη ανανεώσιμες εισροές, τότε πρέπει να κάνουμε κάτι

περισσότερο από το να εκμεταλλευόμαστε το πλεονέκτημα των διαδικασιών ανάκαμψης του φυσικού οικοσυστήματος. Οι γνώσεις μας για την διαδοχική διαδικασία στα φυσικά οικοσυστήματα μπορεί να χρησιμοποιηθεί, τόσο για να βοηθηθούν τα αγροοικοσυστήματα στην ανάκαμψή τους από τις επιπτώσεις της διαταραχής που προκαλείται από τους ανθρώπους και να εισαγάγουν διαταραχές με ένα προσχεδιασμένο τρόπο.

Πίνακας 18.3 Επιθυμητά οικολογικά χαρακτηριστικά των αγροοικοσυστημάτων σε σχέση με τη διαδοχική ανάπτυξη.

Χαρακτηριστικό	Διαδοχικό στάδιο της μέγιστης ανάπτυξης			Ωφέλεια για το αγροοικοσύστημα
	Πρώιμο	Μεσαίο	Ύστερο	
Υψηλή ποικιλότητα ειδών				Ελαττωμένος κίνδυνος κατάστροφικής απώλειας σοδειάς
Υψηλή συνολική βιομάζα				Μεγαλύτερη πηγή οργανικής ύλης του εδάφους
Υψηλή καθαρή πρωτογενής παραγωγικότητα				Μεγαλύτερη δυναμική για την παραγωγή συγκομιψίμης βιομάζας;
Πολυπλοκότητα των αλληλεπιδράσεων των ειδών				Μεγαλύτερη δυναμική για τον βιολογικό έλεγχο
Αποτελεσματική ανακύκλωση των θρεπτικών στοιχείων				Μειωμένη ανάγκη για εξωτερικές εισροές θρεπτικών στοιχείων
Συμβιωτική παρέμβαση				Μεγαλύτερη σταθερότητα. Μειωμένη ανάγκη για εξωτερικές εισροές θρεπτικών στοιχείων

Με απλά λόγια μπορούμε να πούμε ότι, έχουμε καθήκον να σχεδιάσουμε αγροοικοσυστήματα τα οποία από τη μια μεριά να εκμεταλλεύονται το πλεονέκτημα κάποιων ωφέλιμων συμβολών των πρώιμων σταδίων της διαδοχής, από την άλλη μεριά όμως, να ενσωματώνουν κάποια από τα πλεονεκτήματα που αποκτήθηκαν, αφού θα επιτρέψουμε στο σύστημα να φτάσει στα ύστερα στάδια της διαδοχής. Όπως φαίνεται και στον **Πίνακα 18.3**, μόνο ένα επιθυμητό οικολογικό χαρακτηριστικό (η υψηλή καθαρή πρωτογενής παραγωγικότητα) συμβαίνει στα πρώιμα στάδια της διαδοχικής ανάπτυξης. Όλα τα υπόλοιπα, δεν εμφανίζονται μέχρι τα ύστερα στάδια της ανάπτυξης.

Συνεπώς, η πρόκληση για την έρευνα εντοπίζεται στο γεγονός ότι αυτή καλείται να αναπτύξει τρόπους ολοκληρωμένης διαταραχής και ανάπτυξης έτσι ώστε, να εκμεταλλευόμαστε σε υψηλό βαθμό το πλεονέκτημα αμφοτέρων των άκρων. Αυτό ασφαλώς αφορά τη γνώση της χρήσης των διαδοχικών διαδικασιών για την εγκατάσταση και την ανάπτυξη ενός αγροοικοσυστήματος, αλλά και της επανεισαγόμενη διαταραχής και ανάκαμψης, σε χρόνους κατάλληλους κατά τη διάρκεια της ζωής του συστήματος.

18.3.1. Επιτρέποντας τη διαδοχική ανάπτυξη

Η γεωργία έχει από παλαιά εκμεταλλευτεί το πλεονέκτημα της διαταραχής για να διατηρήσει τα συστήματα της γεωργικής εκμετάλλευσης στα πρώιμα στάδια της διαδοχής. Αυτό επαληθεύεται ειδικά για τα συστήματα καλλιέργειας των ετήσιων φυτών, στα οποία κανένα τμήμα του οικοσυστήματος δεν επιτρέπεται να προωθηθεί

πέρα από το πρώιμο πρόσκοπο στάδιο της ανάπτυξης. Στο στάδιο αυτό. Το σύστημα μπορεί να παράγει μεγάλες ποσότητες συγκομίσιμου υλικού, αλλά η διατήρηση ενός αγροοικοσυστήματος σ' αυτό το επίπεδο της υψηλής εκροής, θα επιβαρύνει τις υπόλοιπες αναπτυξιακές διαδικασίες και θα καταστήσει την σταθερότητα αδύνατη.

Μια άλλη προσέγγιση κατά τη διαχείριση του αγροοικοσυστήματος είναι η «μίμηση της φύσης», με την εγκατάσταση ενός συστήματος καλλιέργειας που χρησιμοποιεί ως πρότυπο τις διαδοχικές διαδικασίες που χωρούν κατά φυσικό τρόπο στην τοποθεσία αυτή (Soule and Piper 1992, Hart 1980, Ewel 1986). Μέσω μιας τέτοιας προσέγγισης, η οποία πολλές φορές ονομάζεται «ανάλογο πρότυπο», μπορούμε να εγκαταστήσουμε αγροοικοσυστήματα που είναι σταθερά και παραγωγικά.

Κάτω από ένα σχήμα διαχειριζόμενης διαδοχής, τα φυσικά διαδοχικά στάδια αποτελούν μίμηση των με πρόθεση εισαγόμενων φυτών, ζώων, πρακτικών και εισροών που προωθούν την ανάπτυξη των αλληλεπιδράσεων και των συνδέσεων μεταξύ των συστατικών μερών του αγροοικοσυστήματος. Φυτεύονται είδη των φυτών (καλλιεργούμενα και μη) τα οποία συλλαμβάνουν και διατηρούν τα θρεπτικά στοιχεία στο σύστημα και προωθούν την καλή εδαφική ανάπτυξη. Στα φυτά αυτά ανήκουν τα ψυχανθή, μαζί με τα αζωτοδεσμευτικά τους βακτήρια, και τα φυτά με μυκόρριζες που παγιδεύουν το φωσφόρο. Καθώς το σύστημα αναπτύσσεται, η αυξανόμενη ποικιλότητα, η πολυπλοκότητα του τροφικού δικτύου και το επίπεδο των συμβιωτικών αλληλεπιδράσεων οδηγούνται όλα τους, σε περισσότερο αποτελεσματικούς μηχανισμούς ανάδρασης κατά τη διαχείριση των ασθενειών και των ανωφελών οργανισμών. Κατά τη διάρκεια της διαδικασίας της ανάπτυξης δίδεται έμφαση στη δόμηση ενός πολύπλοκου και ολοκληρωμένου αγροοικοσυστήματος.

Μια τέτοια στρατηγική μπορεί να απαιτεί περισσότερο έντονη ανθρώπινη διαχείριση, αλλά, επειδή οι διαδικασίες και οι αλληλεπιδράσεις ενσωματώνονται μέσα στο αγροοικοσύστημα, αυτή πρέπει να οδηγήσει σε λιγότερη εξάρτηση από τις εξωτερικές εισροές που θα προέρχονται από τον άνθρωπο και ασφαλώς μεγαλύτερη σταθερότητα.

Υπάρχουν πολλοί τρόποι με τους οποίους ένας παραγωγός, κάνοντας αρχή από ένα πρόσφατα καλλιεργημένο αγρό ή ένα γυμνό έδαφος, μπορεί να επιτρέψει να προχωρήσει η διαδοχική ανάπτυξη πέρα από τα πρώιμα στάδια. Ένα γενικό πρότυπο, το οποίο αρχίζει με μια ετήσια μονοκαλλιέργεια και προχωρεί σε ένα πολυετές δενδρώδες σύστημα, παρουσιάζεται στην **Εικόνα 18.1** και περιγράφεται παρακάτω:

1 και 2. : Ο παραγωγός αρχίζει φυτεύοντας μια μονή ετήσια καλλιέργεια, η οποία αυξάνει γρήγορα, συλλαμβάνει τα θρεπτικά στοιχεία του εδάφους, δίδει μια πρώιμη κάρπωση και στην αναπτυξιακή διαδικασία ενεργεί ως ένα πρόσκοπο είδος. Ο παραγωγός μπορεί επίσης, να επιλέξει να εισάγει στην αρχική φυτεία κάποια άλλα, λιγότερο επιθετικά ετήσια φυτά, μιμούμενος τις πρώιμες διαδοχικές διαδικασίες.

3. : Στο επόμενο βήμα ο παραγωγός μπορεί να φυτέψει μια πολυκαλλιέργεια ετήσιων φυτών, τα οποία θα αντιπροσωπεύουν διαφορετικά συστατικά του πρόσκοπου σταδίου. Τα είδη θα διαφέρουν στις ανάγκες τους για τα θρεπτικά στοιχεία, θα ελκύουν διαφορετικά έντομα, θα έχουν διαφορετικά ριζικά βάθη και η καλλιέργεια θα επιστέφει στο έδαφος μια διαφορετική αναλογία βιομάζας. Ένα από τα είδη θα μπορούσε να είναι αζωτοδεσμευτικό ψυχανθές. Όλα αυτά τα πρώιμα είδη θα συμβάλλουν στην έναρξη της διαδικασίας ανάκαμψης και θα τροποποιήσουν το περιβάλλον έτσι ώστε, τα μη καλλιεργήσιμα φυτά και ζώα (ειδικά οι μακρο- και μικροοργανισμοί που είναι απαραίτητοι για την ανάπτυξη του εδαφικού οικοσυστήματος) να αρχίζουν να εποίκουν το αγροοικοσύστημα.

4. : Ακολουθώντας το αρχικό στάδιο της ανάπτυξης (κοντά στο τέλος της πρώτης αυξητικής περιόδου ή στην αρχή της δεύτερης ή της τρίτης), μπορεί να

αρχίσουν να εισάγονται τα μικρότερου βίου πολυετή φυτά καλλιέργειας. Σε σημαντικές απόψεις, τα είδη αυτά μπορούν να διαφοροποιήσουν το αγροοικοσύστημα, εκμεταλλευόμενα την εδαφική κάλυψη που δημιούργησαν τα πρόσκοπα φυτά καλλιέργειας. Τα συστήματα των βαθιών ριζών, η περισσότερη οργανική ύλη που αποθηκεύτηκε στην ιστάμενη βιομάζα και ο μεγαλύτερος βιότοπος, μαζί με την ποικιλότητα του μικροκλίματος, συνδυάζονται για να προωθήσουν την διαδοχική ανάπτυξη του αγροοικοσυστήματος.

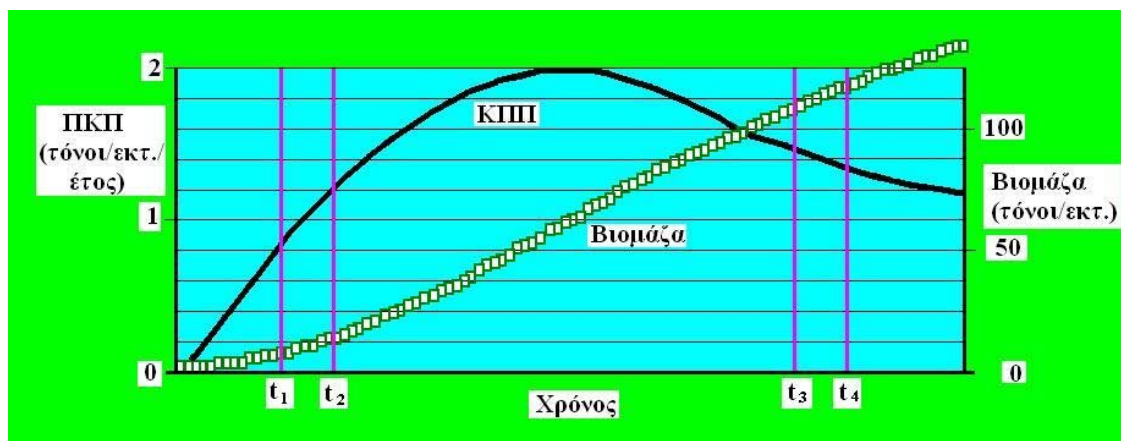


Εικόνα 18.1. Τα βήματα σε μια διαδοχική ανάπτυξη ενός αγροοικοσυστήματος. Σε οποιοδήποτε στάδιο της διαδικασίας, η διαταραχή μπορεί να εισαχθεί ώστε να φέρει το σύστημα ή μέρος αυτού πίσω σε ένα προωμότερο στάδιο ανάπτυξης.

5. : Όταν οι εδαφικές συνθήκες βελτιωθούν επαρκώς, το έδαφος είναι προετοιμασμένο να δεχθεί μακρόβια πολυετή είδη, ειδικά οπωρώνες ή δενδρώδεις καλλιέργειες, με τα ετήσια ή τα μικρού βίου πολυετή φυτά καλλιέργειας να διατηρούνται σε σημεία ανάμεσά τους. Όσο τα δένδρα βρίσκονται στην πρώτη τους αύξηση, έχουν περιορισμένη επίδραση στον χώρο που τα περιβάλλει. Ταυτόχρονα, με το να έχουν γύρω τους ετήσια φυτά καλλιέργειας ωφελούνται, διότι στα πρώιμα στάδια της αύξησής τους είναι συχνά, πολύ επιρρεπή στην παρέμβαση από περισσότερο επιθετικά ζιζάνια r – επιλογής, τα οποία διαφορετικά θα καταλάμβαναν την περιοχή.

6. : Καθώς η δενδρώδης καλλιέργεια αναπτύσσεται, ο χώρος ανάμεσα στα δένδρα μπορεί να συνεχίσει να διαχειρίζεται με ετήσια και μικρού βίου πολυετή, κάνοντας χρήση της αγροδασικής προσέγγισης που περιγράψαμε πιο πάνω.

7.: Προφανώς, όταν τα δένδρα φτάσουν στην πλήρη ανάπτυξη, τότε έχει επιτευχθεί και το τελικό σημείο της αναπτυξιακής διαδικασίας. Το τελικό αυτό σημείο μπορεί να προτυποποιηθεί (μοντελοποιηθεί), σύμφωνα με το δομή του φυσικού οικοσυστήματος της περιοχής. Άπαξ και αυτό έχει επιτευχθεί, ο παραγωγός έχει την επιλογή της διατήρησής του ή της εισαγωγής ελεγχόμενης διαταραχής έτσι ώστε, το αγροοικοσύστημα, ή τα επιλεγμένα τμήματα να επιστρέψουν στα πρώιμα στάδια της διαδοχής.



Εικόνα 17.2. Μεταβολή στο χρόνο στη σχέση ανάμεσα στην ετήσια καθαρή πρωτογενή παραγωγικότητα (ΚΠΠ) και τη σωρευμένη ζώσα και νεκρή βιομάζα σε ένα αντιπροσωπευτικό διαδοχικά αναπτυσσόμενο οικοσύστημα. Το διάλειμμα το χρόνου (δηλ. μι αυξητική περίοδος) στα πρώιμα στάδια της διαδοχής (όπως $t - t_1$) θα καταμαρτυρήσει μια ταχεία αύξηση της ΚΠΠ, ενώ η ΚΠΠ θα μειωθεί ελαφρώς στη διάρκεια ενός χρονικού διαλείμματος ομοίου μήκους(όπως $t - t_2$) κατά τη διάρκεια των ύστερων σταδίων της διαδοχής.

Πηγή: Προσαρμογή από τους Whittaker (1975) και Odum (1993).

Όταν ένα αγροοικοσύστημα αφήνεται να προχωρήσει μέσα από τα στάδια της **Εικόνας 17.1**, είναι πολύ χρήσιμο να εξετάσουμε με ποιο τρόπο η καθαρή πρωτογενής παραγωγικότητα και η ιστάμενη βιομάζα αλλάζουν μέσα στο χρόνο. Οι αλλαγές αυτές θα είναι όμοιες με τις αλλαγές που συμβαίνουν σ' ένα φυσικό οικοσύστημα, καθώς αυτό, μετά από μια διαταραχή, διέρχεται τα στάδια της διαδοχής. Ένα γενικό πρότυπο για τις αλλαγές αυτές παρουσιάζεται στην **Εικόνα 17.2**. Η καθαρή πρωτογενής παραγωγικότητα (ΚΠΠ) αυξάνει ταχέως στα πρωιμότερα στάδια της ανάπτυξης του αγροοικοσυστήματος, με το μεγαλύτερο μέρος της αύξησης αυτής να είναι διαθέσιμο ως συγκομιστέα προϊόντα. Ένα χρονικό διάστημα, στα πρώιμα στάδια της διαδοχικής ανάπτυξης (δηλ. στάδια 2 και 3 της **Εικόνας 17.1**), θα εμφανίσει την ταχύτερη αύξηση της καθαρής πρωτογενούς παραγωγικότητας, η οποία θα είναι διαθέσιμη κατά τη διάρκεια της διαδοχής ανάπτυξης και θα δώσει στο βραχύτερο χρόνο την μεγαλύτερη ποσότητα συγκομίσιμου υλικού. Στα ύστερα στάδια της ανάπτυξης (δηλ. στάδιο 7 της **Εικόνας 17.1**), όταν ο ρυθμός της ΚΠΠ θα αρχίσει να μειώνεται, η ιστάμενη βιομάζα (με τη μορφή της συσσωρευμένης πολυετούς βιομάζας) θα είναι σχετικά υψηλή, όμως, η πραγματική ποσότητα του νέου συγκομίσιμου υλικού, το οποίο παράγεται σε κάθε χρονικό διάστημα αρχίζει να πέφτει.

Η μεταβαλλόμενη σχέση μεταξύ της ΚΠΠ και της βιομάζας μέσα στο χρόνο, καθορίζει τις στρατηγικές της διαχείρισης και της παραγωγής, οι οποίες πρέπει να χρησιμοποιηθούν σε κάθε στάδιο της ανάπτυξης του αγροοικοσυστήματος. Οι δυσκολίες και τα εμπόδια αλλάζουν. Για παράδειγμα, στα πρώιμα στάδια της ανάπτυξης, η σταθερή απομάκρυνση της ΚΠΠ περιορίζει τη συσσώρευση της

βιομάζας, ενώ η περιορισμένη συγκομιδή του ΚΠΠ εξαναγκάζει τον παραγωγό να περιμένει αρκετά έτη για τη συγκομιδή. Στα ενδιάμεσα στάδια της ανάπτυξης, η ΚΠΠ είναι αρκετά υψηλή, έτσι ώστε, ένα μέρος της να συγκομιστεί ως φρούτα ή καρποί και ένα μέρος θα αφηθεί να σωρευτεί ως βιομάζα. Κατά τα ύστερα στάδια (δηλ. στάδιο 7 της **Εικόνας 17.1**), η ΚΠΠ μειώνεται σ' ένα αρκετά χαμηλό επίπεδο, στο οποίο μια δραστήρια στρατηγική είναι εκείνη, η οποία θα αφήσει ολόκληρη τη νέα ΚΠΠ να συσσωρευτεί ως βιομάζα και η βιομάζα να συγκομίζεται επιλεκτικά, για καύσιμη ύλη, ξυλεία, χαρτοπολλτό ή ακόμη και τρόφιμα.

18.3.2. Διαχείριση των διαδοχικά αναπτυγμένων αγροοικοσυστημάτων

Όταν έχει δημιουργηθεί ένα διαδοχικά ανεπτυγμένο αγροοικοσύστημα, το πρόβλημα που θα προκύψει είναι η διαχείρισή του. Ο παραγωγός έχει μπροστά του τρεις επιλογές:

- ✚ Επιλογή 1^η. Επιστροφή ολόκληρου του συστήματος στα αρχικά στάδια της διαδοχής, εισάγοντας μια μείζονα διαταραχή, όπως π.χ. είναι η αποψιλωτική υλοτομία των δένδρων σ' ένα πολυετές σύστημα. Πολλά από τα οικολογικά πλεονεκτήματα που έχουν επιτευχθεί θα χαθούν και η διαδικασία θα πρέπει να ξεκινήσει εκ νέου.
- ✚ Επιλογή 2^η. Διατήρηση του συστήματος ως πολυετές ή ως αγροοικοσύστημα δενδρώδους καλλιέργειας.
- ✚ Επιλογή 3^η. Επανεισαγωγή της διαταραχής στο αγροοικοσύστημα με τρόπο ελεγχόμενο και επιτόπιο, παίρνοντας ως πλεονέκτημα τη ενδιάμεση υπόθεση διαταραχής και τη δυναμική που μια τέτοια τημαριοποίηση εισάγει στο αγροοικοσύστημα. Στο σύστημα, κάποιες μικρές περιοχές μπορούν να καθαριστούν, να επιστρέψουν στα πρωιμότερα στάδια της διαδοχής και να επιτραπεί η επιστροφή στο φύτεμα ετήσιων ή μικρού βιολογικού κύκλου φυτών καλλιέργειας. Εάν κατά τη διάρκεια της διαταραχής ληφθεί η κατάλληλη μέριμνα, το υπόγειο οικοσύστημα μπορεί να διατηρηθεί σ' ένα μεθύτερο στάδιο ανάπτυξης, ενώ το υπέργειο σύστημα μπορεί να δομηθεί από είδη υψηλής παραγωγής που θα είναι διαθέσιμα για την απομάκρυνση τους με την συγκομιδή. Μια τέτοια μίξη με πρώιμα και μεθύτερα στάδια ανάπτυξης οδηγεί στο σχηματισμό ενός διαδοχικού μωσαϊκού. Το μωσαϊκό αυτό μπορεί να ρυθμιστεί και να διαχειριστεί σύμφωνα με τις οικολογικές συνθήκες της περιοχής, αλλά και τις ανάγκες του παραγωγού.

Η τελευταία επιλογή παρέχει τα περισσότερα πλεονεκτήματα και προσφέρει την μέγιστη ευελιξία στον παραγωγό. Μέσα από τα εμπόδια που τίθενται από τους οικολογικούς περιορισμούς της καλλιεργητικής περιοχής, η τελική μίξη των ετήσιων και των πολυετών φυτών μπορεί να προσαρμοστεί στις ανάγκες του παραγωγού και της κοινότητας του αγροκτήματος και να ρυθμιστεί για να συνταιριάσει με τις ανάγκες της αγοράς, την ικανότητα εισόδου στην αγορά, και τη ικανότητα του παραγωγού να αγοράζει και να μεταφέρει τις εισροές. Όσο εγγύτερα είναι το αγρόκτημα στις εισροές, την εργασία και τις αγορές, τόσο υψηλότερη είναι η έμφαση που ταιριάζει στον ετήσιο συντελεστή.

Η μέγιστη πρόκληση, κατά τη διαχείριση ενός διαδοχικά ανεπτυγμένου συστήματος, είναι να διδαχθούμε πώς να εισάγουμε την διαταραχή με τρόπους οι οποίοι από τη μια πλευρά, διεγείρουν την παραγωγικότητα του συστήματος και από την άλλη, παρέχουν αντίσταση στην αλλαγή και τη μεταβολή μέσα στο οικοσύστημα. Αυτό μπορεί να γίνει με πολλούς διαφορετικούς τρόπους, οι οποίοι εξαρτώνται από τις τοπικές συνθήκες, τη δομή των ώριμων φυσικών οικοσυστημάτων που είναι φυσικά

παρόντα, και την υλοποίηση της διατήρησης των τροποποιήσεων των συνθηκών αυτών για μακρύ χρονικό διάστημα.

Για παράδειγμα, στην περιοχή των λιβαδιών των ΗΠΑ, στην οποία λαμβάνει χώρα το μεγαλύτερο ποσοστό της τρέχουσας παραγωγής σπόρων για τη χώρα αυτή, μπορεί να αποτελέσει στόχο, η χρήση ενός διαδοχικού προτύπου για το σχεδιασμό ενός άδενδρου πολυετούς συστήματος παραγωγής σπόρων. Ένα άλλο παράδειγμα, εφαρμόζεται στις περιοχές παραγωγής ρυζιού της κοιλάδας του ποταμού Yangtze της Κίνας, όπου η μακροχρόνια διατήρηση των συστημάτων βασίζεται στη γνώση των οικοσυστημάτων των υδροτόπων. Η ανάπτυξη ενός διαδοχικού αγροοικοσυστήματος παραγωγής ρυζιού μπορεί να ενσωματώσει ένα πολυετές συστατικό κάνοντας χρήση δένδρων, τα οποία αντέχουν τις υγρές, πλημμυρισμένες συνθήκες, όπως π.χ. είναι οι ιτιές, το κυπαρίσσι και άλλα παρόχθια ή υδροχαρή είδη.

18.4. Τα αγροδασικά συστήματα

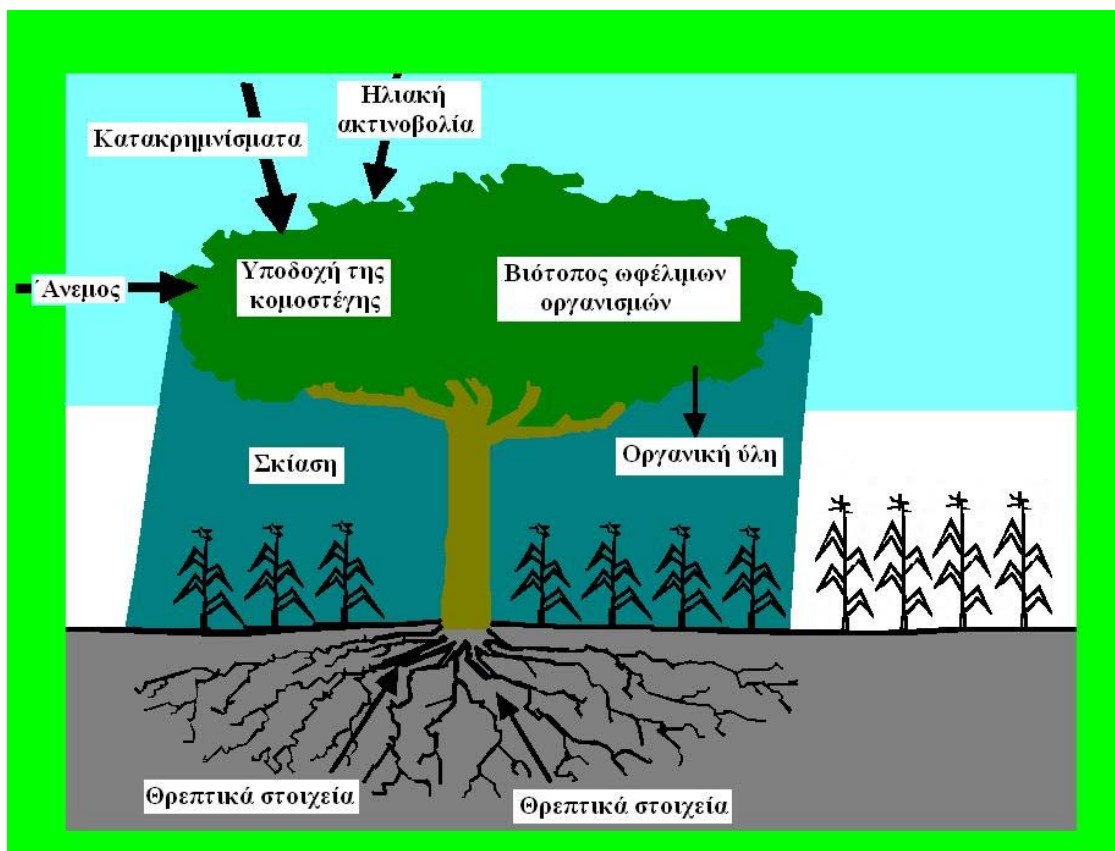
Μολονότι τα πολυετή συστατικά ενός διαδοχικά ανεπτυγμένου αγροοικοσυστήματος δεν είναι ανάγκη να είναι τα δένδρα, τα συστήματα στα οποία συμμετέχουν τα δένδρα παρέχουν κάποια από τα καλύτερα παραδείγματα για τη διαχείριση της διαδοχικής ανάπτυξης. Ο όρος **αγροδασικά συστήματα** έχει δοθεί για τις πρακτικές, οι οποίες από πρόθεση, διατηρούν ή φυτεύουν δένδρα σε έκταση που χρησιμοποιείται για την παραγωγή φυτών καλλιέργειας ή τη βόσκηση (Wiersum 1981, Nair 1983). Τα συστήματα αυτά συνδυάζουν τα γεωργικά στοιχεία της καλλιέργειας φυτών ή της εκτροφής ζώων με τα δασικά στοιχεία, είτε ταυτόχρονα, είτε σε μια σειρά, οικοδομώντας πάνω στην παραγωγική και την προστατευτική αξία των δένδρων. Υπάρχουν πολλές παραλλαγές των πρακτικών που εμπίπτουν στην κατηγορία των αγροδασικών συστημάτων. Έτσι, (α) στην **αγροδασική καλλιέργεια** (agrosilviculture), τα δένδρα συνδυάζονται με τα φυτά καλλιέργειας, (β) στα **δασοκτηνοτροφικά συστήματα** (silvopastoral systems), τα δένδρα συνδυάζονται με τη ζωική παραγωγή, και (γ) στα **αγροδασοκτηνοτροφικά συστήματα** (agrosilvopastoral systems), ο παραγωγός διαχειρίζεται ένα πολύπλοκο μίγμα δένδρων, φυτών καλλιέργειας και ζώων. Όλα τα αγροδασικά συστήματα είναι πολύ καλά παραδείγματα για τον τρόπο με τον οποίο εκμεταλλευόμαστε τα πλεονεκτήματα της ποικιλότητας και της διαδοχικής ανάπτυξης για την παραγωγή τροφίμων και άλλων προϊόντων του αγροκτήματος.

Η ενσωμάτωση των δένδρων στα αγροοικοσυστήματα είναι μια μακράιωνη πρακτική. Η αλήθεια αυτής βρίσκεται στις υποτροπικές και τις τροπικές περιοχές του πλανήτη μας, στις οποίες οι παραγωγοί έχουν προ πολλού φυτέψει δένδρα μαζί με τις άλλες γεωργικές καλλιέργειες και τα ζώα, για να βοηθηθούν να αποκτήσουν τις βασικές διατροφικές τους ανάγκες, τα προϊόντα ξύλου, τις ζωοτροφές και αυτοί με τις επεμβάσεις τους να βοηθήσουν στη διατήρηση και την προστασία των συχνά περιορισμένων πόρων τους (Nair 1983).

Ο αντικειμενικός στόχος των περισσότερων αγροδασικών συστημάτων είναι η αριστοποίηση των ευεργετικών επιπτώσεων των αλληλεπιδράσεων που συμβαίνουν μεταξύ των δενδρωδών συστατικών και των συστατικών των φυτών καλλιέργειας ή των ζώων, με σκοπό να επιτευχθεί περισσότερη ποικιλότητα στα προϊόντα, να αμβλυνθεί η ανάγκη για εξωτερικές εισροές, και να μειωθούν οι αρνητικές περιβαλλοντικές επιπτώσεις των πρακτικών της καλλιέργειας. Κατά πολλές απόψεις, τα αγροδασικά συστήματα δημιουργούν τα ίδια οικολογικά οφέλη και οι μέθοδοι έρευνας που χρησιμοποιούνται για την ανάλυση των πολλαπλών συστημάτων καλλιέργειας, εφαρμόζονται εξίσου καλά στα αγροδασικά συστήματα.

18.4.1. Ο οικολογικός ρόλος των δένδρων στα αγροδοασικά συστήματα

Τα δένδρα είναι ικανά να τροποποιούν σε μεγάλο βαθμό τις συνθήκες του οικοσυστήματος, τμήμα του οποίου και αποτελούν άλλωστε (Reifsnnyder and Darnhofer 1989, Farrell 1990). Η αειφόρος παραγωγικότητα του αγροδοασικού συστήματος οφείλεται κατά μεγάλο μέρος σ' αυτή την ικανότητα των δένδρων.



Εικόνα 18. 3. Επιδράσεις ενός δένδρου στο περιβάλλον αυτό αγροοικοσύστημα. Λόγω του μεγέθους του, του βάθους των ριζών και της πολυετούς φύσης, ένα δένδρο έχει σημαντικές επιδράσεις στις αβιοτικές συνθήκες ενός αγροοικοσυστήματος και συμμετέχει σε πολλές βιοτικές αλληλεπιδράσεις. Επιπρόσθετα, ένα δένδρο μπορεί να περιορίσει τον άνεμο και την διάβρωση του νερού, να προσφέρει σκιά και τροφή στα ζώα, να σχηματίσει μυκορριζικές συνεργασίες, να μετριάσει τη θερμοκρασία του εδάφους, και να ελαττώσει την εξατμισιοδιαπνοή. Τα ψυχανθή δένδρα μπορούν να προμηθεύσει το σύστημα με άζωτο μέσα από τη συμβιωτική του σχέση με τα αζωτοδεσμευτικά βακτήρια.

Πηγή: Προσαρμογή από τους Nair (1984) και Farrell (1990).

Κάτω από το έδαφος, οι ρίζες ενός δένδρου διεισδύουν βαθύτερα από αυτές των ετήσιων φυτών, επηρεάζουν τη δομή του εδάφους, την ανακύκλωση των θρεπτικών στοιχείων και τις σχέσεις της εδαφικής υγρασίας. Στην επιφάνεια του εδάφους, ένα δένδρο διαφοροποιεί το περιβάλλον του φωτός με τη σκίαση που αυτό παρέχει, η οποία με τη σειρά της επηρεάζει την σχετική υγρασία και την εξατμισιοδιαπνοή. Τα κλαδιά του και τα φύλλα του παρέχουν βιοτόπους για μια σειρά ειδών της πανίδας και τροποποιούν τις τοπικές επιπτώσεις του ανέμου. Τα πεσμένα φύλλα καλύπτουν και τροποποιούν το περιβάλλον του εδάφους και, καθώς αυτά αποσυντίθενται, καθίστανται ένας

σημαντικός πόρος σε οργανική ύλη. Οι παραπάνω επιδράσεις, όπως και κάποιες άλλες οικολογικές επιπτώσεις παρουσιάζονται περιληπτικά στην **Εικόνα 18.3**.

Εξ αιτίας των επιδράσεων αυτών, τα δένδρα στα αγροοικοσυστήματα αποτελούν μια καλή βάση για την ανάπτυξη των αναδυόμενων ιδιοτήτων για τα περισσότερα σύνθετα οικοσυστήματα. Τα δένδρα επιτρέπουν μια αποτελεσματικότερη σύλληψη της ηλιακής ενέργειας, επαυξάνουν την πρόσληψη των θρεπτικών στοιχείων, την κατακράτηση και την ανακύκλωσή τους, ενώ διατηρούν το σύστημα σ' ένα δυναμικό ισοζύγιο. Με το να παρέχουν μόνιμες μικροθέσεις και πόρους, καθιστούν δυνατό να διαβιώσουν σ' αυτά περισσότερο σταθεροί πληθυσμοί ανωφελών οργανισμών αλλά και των θηρευτών τους. Σ' ένα αγροδοασικό σύστημα, όλες αυτές οι αλληλεπιδράσεις των παραγόντων μπορούν να διαχειριστούν κατά τρόπο επωφελή για τα συμμετέχοντα στο σύστημα καλλιεργούμενα φυτά και τα εκτρεφόμενα ζώα, ενώ ταυτόχρονα χαλαρώνουν την εξάρτηση του συστήματος από τις εξωτερικές εισροές.

18.4.2. Σχεδιασμός και διαχείριση των αγροδοασικών συστημάτων

Σ' ένα αγροδοασικό σύστημα, στους παραγωγούς ανήκει η επιλογή για το πόσα δένδρα θα συμπεριλάβουν στο σύστημα, πόσο συχνά και με ποιους τρόπους θα τα απομακρύνουν, και ποιες είδους μορφές του διαδοχικού μωσαϊκού θα συντηρήσουν. Αυτές οι αποφάσεις διαχείρισης εξαρτώνται από το τοπικό περιβάλλον και τον πολιτισμό, καθώς επίσης και από τη φύση και την εγγύτητα των αγορών.

18.4.2.1. Βελτιστοποίηση των θετικών επιδράσεων των δένδρων

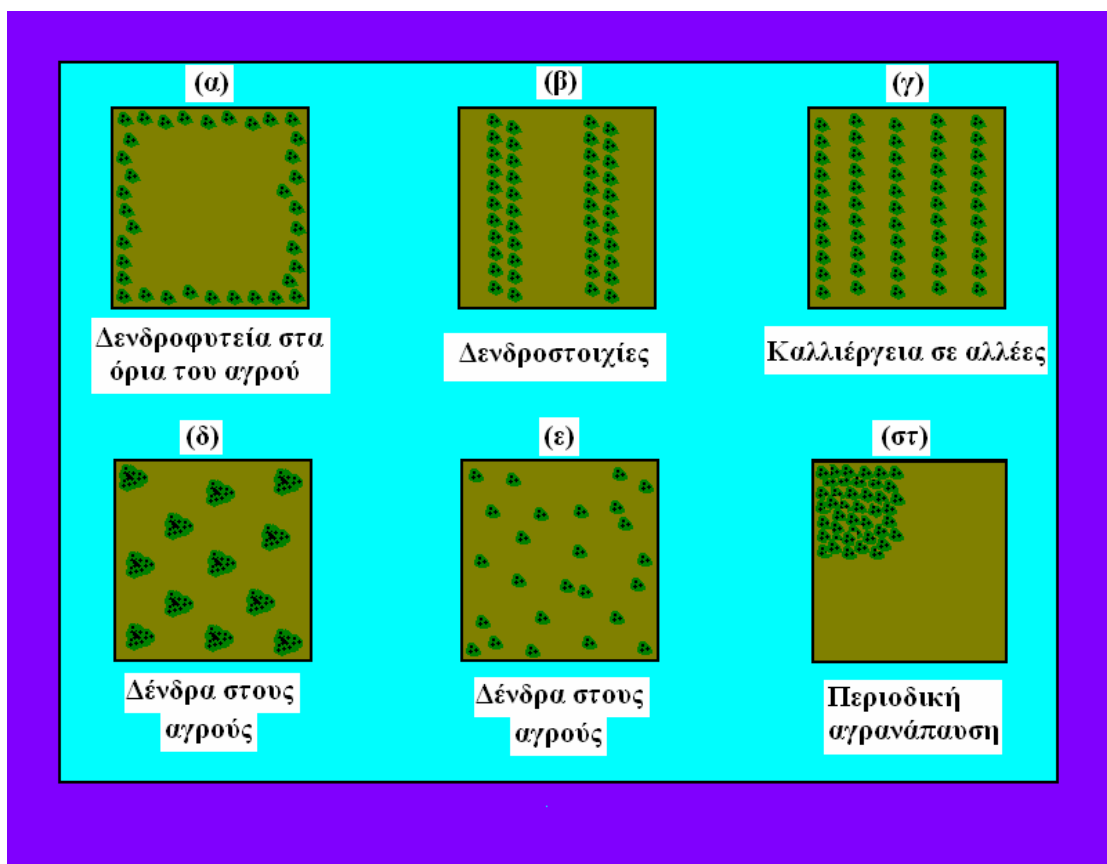
Η γνώση τόσο των αρνητικών όσο και των θετικών επιδράσεων των δένδρων για το υπόλοιπο του αγροοικοσυστήματος είναι ουσιώδες, ούτως ώστε τα δένδρα να ενσωματωθούν στο σύστημα πλήρως και κατά τρόπο αποτελεσματικό. Οι θετικές επιδράσεις που παραπάνω συζητήσαμε, είναι ανάγκη να είναι ισοσταθμισμένες με τις πιθανές αρνητικές επιδράσεις των δένδρων. Οι τελευταίες περιλαμβάνουν ανταγωνιστικές και αλληλοπαθητικές παρεμβάσεις ανάμεσα στα δένδρα και τις υπόλοιπες καλλιέργειες, μικροκλιματική διαφοροποίηση, η οποία δημιουργεί συνθήκες που ευνοούν τις ασθένειες ή τις προσβολές των εντόμων και καταστρέφουν την ποιότητα των φυτών καλλιέργειας, καταστροφή η οποία προκαλείται από τα κλαδιά ή την πτώση των φρούτων από τα υπερήλικα ή τα ώριμα δένδρα. Οι αρνητικές αυτές επιδράσεις μπορούν συνήθως να αποφεύγονται ή να υποβαθμίζονται με την κατάλληλη διεύθετηση στο χώρο των δένδρων, την επιλογή των ειδών των δένδρων, την επιλογή των ετήσιων ειδών, το συγχρονισμό του φυτέματος και του κλαδέματος. Η ενσωμάτωση των δένδρων απαιτεί επίσης, τη σε μεγάλη έκταση γνώση για το πλήρες εύρος των οικολογικών αλληλεπιδράσεων που μπορούν να συμβούν.

18.4.2.2. Διαχείριση της διεξάρτησης

Καθώς η γνώση μας για τις οικολογικές διαδικασίες που συμβαίνουν στα πολύπλοκα αγροδοασικά συστήματα καθίσταται περισσότερο πλήρης, πρέπει να αρχίσουμε να βλέπουμε με ποιο τρόπο τα διαφορετικά συστατικά τέτοιων συστημάτων καθίστανται αλληλεξάρτητα. Το συστατικό της ετήσιας φυτικής καλλιέργειας μπορεί να καταστεί εξαρτημένο από τα δένδρα για την μετατροπή του βιοτόπου, τη σύλληψη των θρεπτικών στοιχείων από τα μεγαλύτερα βάθη του εδάφους και την υποδοχή των ωφέλιμων εντόμων. Η παρουσία του συστατικού της ετήσιας φυτικής καλλιέργειας στο

σύστημα είναι ικανή να απομακρύνει τους εισβολείς των μη καλλιεργούμενων ειδών φυτών, οι οποίοι, καθώς τα δένδρα αυξάνονται, θα μπορούσαν να παρέμβουν. Τα ζώα επωφελούνται από την υψηλή πρωτογενή παραγωγικότητα των ετήσιων ή των βραχύχρονων φυτικών μερών του συστήματος και επιστρέφουν τα θρεπτικά στοιχεία στο έδαφος, με τη μορφή της ουρίας και της κοπριάς. Η διαχείριση των αγροδασικών συστημάτων θα πρέπει να εστιάζεται στη μεγιστοποίηση των ωφελιών των πολύπλοκων αυτών συνόλων της οικολογικής διεξάρτησης.

Πρέπει επίσης να θυμόμαστε, ότι οι οικολογικές διεξαρτήσεις είναι μόνο ένα μέρος της εικόνας. Στα αγροδασικά συστήματα οι άνθρωποι είναι εξαρτημένοι από τα δένδρα και για κάποια άλλα ζητήματα, όπως π.χ. είναι η καυσοξύλευση, τα υλικά κατασκευής, η τροφή των ζώων, τα φρούτα και τα καρύδια, τα καρυκεύματα και τα θεραπευτικά είδη. Τα αγροδασικά συστήματα μπορούν να σχεδιαστούν και να διαχειριστούν με τέτοιες σκέψεις στο μυαλό του παραγωγού, ούτως ώστε, αυτές να εξυπηρετούν σημαντικούς ρόλους, τόσο οικολογικούς, όσο και οικονομικούς. Όταν αυτό συμβαίνει, μπορεί να αναπτυχθεί μια διεξάρτηση ανάμεσα στην καλλιεργητική κοινότητα και τα αγροκτήματά της.



Εικόνα 18.4. Πρότυπα διευθέτησης δένδρων σε αγροδασικά συστήματα.

Πηγή: Προσαρμογή από τον Young (1989).

18.4.2.3. Κατανομή των δένδρων στο χώρο

Τα δένδρα μπορούν να διευθετηθούν στο αγροδασικό σύστημα με μια ποικιλία διαφορετικών τρόπων. Η μορφή που χρησιμοποιείται θα εξαρτηθεί από τις ανάγκες του καλλιεργητή, τη φύση του αγροοικοσυστήματος και τις τοπικές περιβαλλοντικές και οικονομικές συνθήκες. Ως ένα παράδειγμα, παρουσιάζονται στην **Εικόνα 18. 4** έξι

διαφορετικοί τρόποι, οι οποίοι μπορούν να καλύψουν με δένδρα μια έκταση ενός αγροοικοσυστήματος, στην ίδια ποσοστιαία αναλογία του εδάφους.

Εάν το πρωταρχικό ενδιαφέρον του παραγωγού είναι οι δασοκτηνοτροφικές δραστηριότητες, με τα δένδρα να προορίζονται για να χρησιμοποιηθούν ως ζωντανοί φράκτες, ανεμοθραύστες, πρόσκαιρη κλαδονομή για τα ζώα, και προϊόντα συγκομιδής, όπως είναι τα καυσόξυλα και τα φρούτα, τότε μια φυτεία στα όρια γύρω από μια περιοχή που προορίζεται για τη βόσκηση των ζώων μπορεί να είναι ένας άριστος σχεδιασμός (α). Εάν, σε μια άλλη περίπτωση, το πρόβλημα είναι ο άνεμος, αλλά η παραγωγή εστιάζεται στα φυτά καλλιέργειας, ένα σύστημα ανεμοθραύστη ή ένα σύστημα δενδροστοιχίας μπορεί να είναι το άριστο (β). Όταν το συστατικό των δένδρων προορίζεται να παρέχει δενδροφυλλάδα από τα φύλλα που πέφτουν ή το κλάδεμα των δένδρων, ώστε να επαυξηθεί η παραγωγή των φυτών καλλιέργειας, οι δενδροστοιχίες μπορεί να είναι στενές σειρές δένδρων ανάμεσα σε αλέες που χρησιμοποιούνται για τη γεωργική καλλιέργεια. Όταν τα δένδρα παρουσιάζουν γεωργική αξία, αυτά μπορεί να διασπαρθούν σ' όλο το πλάτος της φυτικής καλλιέργειας ή της βοσκήσιμης έκτασης, είτε ομοιόμορφα (δ), είτε σε τυχαία διασπορά (ε). Τέλος, εάν οι συνθήκες του εδάφους είναι πολύ φτωχές, ώστε η μόνιμη καλλιέργεια ή βόσκηση να μην είναι εφικτές, τότε μπορεί να εφαρμοστεί ένας περιοδικός σχεδιασμός στον οποίο η διαδοχική περίοδος κατά τη διάρκεια της ανάπτυξης των δένδρων θα καθορίζεται από μια πλειάδα παραγόντων, όμοιων με αυτούς που χρησιμοποιούνται για τον καθορισμό του μήκους της αγρανάπαυσης που απαιτείται για μια καλλιέργεια κατ' εναλλαγή (στ). Σε τελική ανάλυση, για τον καθορισμό της κατά χώρα διευθέτησης των δένδρων και του τρόπου με τον οποίο αυτή πρέπει να μεταβάλλεται, θα βοηθήσει μια ενδελεχής κατανόηση της αλληλεπίδρασης, της ενσωμάτωσης και της αλληλεξάρτησης όλων των συστατικών του συστήματος.

18.4.3. Σπιτικοί κήποι στους τροπικούς

Ένα αγροδασικό σύστημα με μεγάλη πολυπλοκότητα και ποικιλότητα, καθώς επίσης και μια ευκαιρία για τη διατήρηση ενός μωσαϊκού σταδίων διαδοχής, είναι το σύστημα του σπιτικού κήπου στους τροπικούς. Αυτός είναι προφανώς, ένας από τους πλέον πολύπλοκους τύπους αγροοικοσυστημάτων και έχουμε να μάθουμε πολλά από αυτόν, σε ότι αφορά την διαχείριση των πόρων για μια αειφορική γεωργία (Allison 1983, Ninez 1985, Budowski 1985).

Ο σπιτικός κήπος είναι ένα ολοκληρωμένο οικοσύστημα αποτελούμενο από τους ανθρώπους, τα φυτά, τα ζώα, τα εδάφη και το νερό, με τα δένδρα να παίζουν οικολογικούς ρόλους – κλειδιά. Συνήθως, καταλαμβάνει μια πλήρως καθορισμένη έκταση, μεγέθους ανάμεσα στα 5 έως 20 στρέμματα, σε πολύ κοντινή απόσταση από την κατοικία. Πλούσιοι σε φυτικά είδη, οι σπιτικοί κήποι κυριαρχούνται συνήθως από ξυλώδη πολυετή φυτά. Ένα μίγμα ετήσιων και πολυετών ειδών σε διαφορετικά ύψη, σχηματίζει στρώσεις βλάστησης που παρομοιάζουν με τη δομή του φυσικού δάσους. Η υψηλή ποικιλότητα των ειδών επιτρέπει μια συγκομιδή προϊόντων διατροφής όλο το χρόνο και ένα ευρύ πλέγμα άλλων χρήσιμων προϊόντων, όπως π.χ. καυσόξυλα, φαρμακευτικά φυτά, καρυκεύματα και διακοσμητικά (Gonzalez 1985, Christanty 1985).

18.4.3.1. Μεγάλη ποικιλότητα

Η οικολογική ποικιλότητα των σπιτικών κήπων, στην οποία συμπεριλαμβάνεται η ποικιλότητα των ειδών, η δομή, η λειτουργία και η κάθετη και η οριζόντια

διευθέτηση, είναι χαρακτηριστικά υψηλή. Θα παραθέσουμε δύο παραδείγματα τα οποία υπηρετούν τους ισχυρισμούς μας.

Σε μια μελέτη σπιτικών κήπων σε δύο τοποθεσίες, μια ορεινή και μια πεδινή, στο Mexico, βρέθηκε ότι σε πολύ μικρές εκτάσεις (κάτι ανάμεσα από 3 έως 7 στρέμματα) η υψηλή ποικιλότητα επέτρεπε τη διατήρηση των κήπων, οι οποίοι από πολλές απόψεις ήταν όμοιοι με τα τοπικά φυσικά οικοσυστήματα (Allison 1983). Οι κήποι που μελετήθηκαν είχαν σχετικά υψηλές ενδείξεις ποικιλότητας για τα συστήματα καλλιέργειας (Πίνακας 18.4) και είχαν δείκτες φυλλικής επιφάνειας και επίπεδα κάλυψης που κατά προσέγγιση πλησίαζαν τα περισσότερο πολύπλοκα φυσικά οικοσυστήματα της γύρω περιοχής.

Πίνακας 18.4 Χαρακτηριστικά των συστημάτων σπιτικών κήπων σε δύο τοποθεσίες στο Mexico

Χαρακτηριστικά	Ορεινή θέση (N = 3)	Πεδινή θέση (N = 4)
Μέγεθος του κήπου (στρέμματα)	7	3,4
Χρήσιμα είδη ανά κήπο	55	33
Ποικιλότητα (δείκτης Shannon)	3,84	2,43
Δείκτης φυλλικής επιφάνειας	4,5	3,2
Κάλυψη (%)	96,7	85,3
Μετάδοση φωτός (%)	21,5	30,5
Πολυετή είδη (%)	52,3	24,5
Είδη δένδρων (%)	30,7	12,3
Διακοσμητικά φυτά (%)	7,0	9,0
Φαρμακευτικά φυτά (%)	2,0	2,8

Πηγή: Δεδομένα από τον (Allison 1983).

Σε μια άλλη μελέτη (Ewel *et al.* 1982), στην οποία εννέα διαφορετικά τροπικά οικοσυστήματα αναλύθηκαν για μια σειρά χαρακτηριστικών του οικοσυστήματος, ένας σαραντάχρονος σπιτικός κήπος βρέθηκε να έχει την πιο ομοιόμορφα κατανομημένη κομοστέγη, μια κομοστέγη η οποία ήταν απολύτως ομοιόμορφα διαστρωματοωμένη, από το επίπεδο του εδάφους μέχρι το ύψος των 14 μέτρων. Ο δείκτης φυλλικής επιφάνειας ήταν 3,9 και η ποσοστιαία κάλυψη ήταν 100%, ενώ η βιομάζα των φύλλων ανά τετραγωνικό μέτρο (307 γραμ./τετραγωνικό μέτρο) ήταν η δεύτερη υψηλότερη μεταξύ όλων των οικοσυστημάτων που μελετήθηκαν. Η συνολική βιομάζα της ρίζας ανά τετραγωνικό μέτρο, μέχρι το βάθος των 25 εκατοστών, ήταν ακριβώς ίδια με τη βιομάζα των φύλλων. Για τα εννέα συστήματα που μελετήθηκαν, ίσως το πλέον σημαντικό χαρακτηριστικό ήταν, ότι τα πρώτα 25 εκατοστά του εδάφους του σπιτικού κήπου είχαν την υψηλότερη μικρή διάμετρο (< 5 εκ.) ριζικής επιφάνειας, από περιοχή σε περιοχή της εδαφικής επιφάνειας. Τα χαρακτηριστικά αυτά είναι ενδεικτικά ενός οικολογικά αποτελεσματικού συστήματος, ειδικότερα μάλιστα, η ικανότητά του να συλλαμβάνει το φως, να συγκεντρώνει τα θρεπτικά στοιχεία στα ανώτερα στρώματα του εδάφους, να αποθηκεύει τα θρεπτικά στοιχεία στην υπέργεια βιομάζα και να μειώνει την επίδραση της βροχής και του ήλιου στο έδαφος.

Σ' ένα σπιτικό κήπο, τα δένδρα και ο τρόπος με τον οποίο αυτά διαχειρίζονται από τους ανθρώπους, καθιστούν εφικτό μεγάλο μέρος της ποικιλότητας, της πολυπλοκότητας και της αποτελεσματικής λειτουργίας των σπιτικών κήπων. Το διοξειδίο του άνθρακα παγιδεύεται ανάμεσα στα στρώματα της κομοστέγης και

καθίσταται ικανό να διεγείρει την φωτοσυνθετική δραστηριότητα των φυτικών ειδών και τα στρώματα από μόνα τους μπορούν να αυξήσουν την ποικιλότητα των βιοτόπων για πτηνά και έντομα που είναι χρήσιμα για τη διατήρηση του βιολογικού ελέγχου στο σύστημα. Οι ρίζες των δένδρων εμποδίζουν τα θρεπτικά στοιχεία να αποπλυθούν και να διαφύγουν από το σύστημα και ο ξηροτάπητας των δένδρων ανακυκλώνει τα θρεπτικά στοιχεία πίσω στο υπόλοιπο σύστημα.

18.4.3.2. Πολλαπλές χρήσεις και λειτουργίες

Ένα σημαντικό χαρακτηριστικό των σπιτικών κήπων είναι η πολυπράγμων χρησιμότητά τους. Τα δένδρα μπορούν και παράγουν τρόφιμα, όπως ινδικές καρύδες, οι οποίες μπορούν, είτε να αντικαταστήσουν την τροφή, είτε να πωληθούν για την είσπραξη χρημάτων. Τα ξυλώδη μέρη των δένδρων μπορούν να χρησιμοποιηθούν τόσο ως καύσιμη ύλη, όσο και ως υλικά κατασκευών. Η ποικιλότητα των τύπων τροφίμων από τα φυτά και τα ζώα παρέχει μια ποικίλλουσα διαίτα, ισορροπημένη σε υδατάνθρακες, πρωτεΐνες, βιταμίνες και ανόργανα στοιχεία (Dewey 1979). Εξ αιτίας της μίξης των ειδών και της μεταβλητότητας τους, ως προς τον χρόνο ανθοφορίας και τον χρόνο ωριμότητας, υπάρχει πάντοτε κάτι έτοιμο να συγκομιστεί και έτσι, διασφαλίζονται οι πηγές τροφής ή εισοδήματος, σε όλη τη διάρκεια του έτους (Gliessman 1990a).

Οι σπιτικοί κήποι μπορεί να έχουν τέτοιες κοινωνικές ή αισθητικές λειτουργίες καθώς αυτοί λειτουργούν ως ένα δείγμα της κοινωνικής κατάστασης του ιδιοκτήτη ή ως ένα δείγμα ομορφιάς ή βελτίωσης του περιβάλλοντος που άμεσα συνδέεται με το σπίτι. Ταυτόχρονα, οι σπιτικοί κήποι έχουν μια σημαντική οικονομική λειτουργία για τις αγροτικές οικογένειες. Σε μελέτες που έγιναν στη Java, βρέθηκε ότι, το 20 έως 30% του ετήσιου εισοδήματος πολλών νοικοκυριών προερχόταν από τους σπιτικούς κήπους (Hisyam *et al.* 1979). Η παραγωγή των τοπικών σπιτικών κήπων έπεσε σημαντικά κατά τη διάρκεια της συγκομιδής του ρυζιού, όταν η εργασία επικεντρώθηκε στο ουσιώδες τρόφιμο, αλλά και πηγή χρημάτων, σε όλη όμως την άλλη περίοδο του έτους, η δραστηριότητα στους κήπους ήταν άκρως υψηλή. Γενικά, όσο πιο απομονωμένη είναι η κατοικία, τόσο μεγαλύτερη είναι η έμφαση που δίδεται στις καλλιέργειες αντικατάστασης των σπιτικών κήπων.

18.4.3.3. Δυναμική αλλαγή

Οι λίγες μακροχρόνιες μελέτες των σπιτικών κήπων που έχουν διεξαχθεί, έδειξαν ότι οι κήποι είναι δυναμικοί και αλλάζουν. Σε μια μελέτη στην Costa Rica, ένας σπιτικός κήπος κοντά στο Puetro Viejo, έδειξε να βρίσκεται στη διαδικασία της αλλαγής, λόγω της ανάγκης ρευστό εισόδημα, καθώς επίσης και από την περιορισμένη διαθεσιμότητα της εργασίας και της γης (Flietner 1985). Η στρώση των δένδρων ήταν περίπου η μισή από τα 3.264 τετραγωνικά μέτρα του κήπου και ήταν στη διαδικασία να αντικατασταθεί με δένδρα ινδικής καρύδας φυτεμένα σε ομοιόμορφες σειρές, ενώ ο υπόροφος είχε φυτευτεί από αμιγείς συστάδες γιούκα (*Manihot esculenta*) και ανανά (*Ananas comosus*). Με την κατασκευή στην περιοχή ενός δρόμου για όλους τους καιρούς, τα φορτηγά ήταν πλέον διαθέσιμα για να μεταφέρουν τα προϊόντα σε μακρινές αστικές αγορές, δημιουργώντας μια απαίτηση για φυτά καλλιέργειας, όπως οι ινδικές καρύδες και οι ανανάδες, τα οποία πριν από λίγα έτη δεν υπήρχαν. Οι παραγωγοί ρύθμισαν τα αγροοικοσυστήματά τους, ώστε να καλύψουν την απαίτηση αυτή. Επίσης, ο παραγωγός του μελετηθέντος κήπου βρήκε πρόσφατα μια εργασία έξω από το

αγρόκτημα και ως εκ τούτου ήταν πολύ λιγότερο ικανός ώστε να εκπληρώσει τις διαχειριστικές ανάγκες, τις οποίες ένας περισσότερο διαφοροποιημένος σπιτικός κήπος θα απαιτούσε.

Καθώς τα δένδρα της ιδικής καρύδας ωρίμαζαν και δημιουργούσαν ένα περιβάλλον εντονότερης σκίασης για το έδαφος κάτω από αυτά, ο παραγωγός έπρεπε να αποφασίσει ποιες αλλαγές θα είναι αναγκαίες στα φυτά του υπορόφου. Μπορεί να τα αλλάξει με τη μαλάγκα (*Colocasia esculenta*), η οποία ήδη υπάρχει στα περισσότερα σκιαζόμενα σημεία του κήπου. Μπορεί επίσης να αποφασίσει να υλοτομήσει μέρος της δενδρώδους καλλιέργειας με σκοπό να μετενσωματώσει περισσότερα ετήσια φυτά καλλιέργειας και βραχύβια πολυετή, τα οποία ήταν παρόντα νωρίτερα, κατά την ανάπτυξη του συστήματος.

Πίνακας 18.5. Σύγκριση φυτικών ειδών σε ένα σπιτικό κήπο 1.240 τ.μ σε δύο έτη

	1985	1986
Είδη	71	83
Άτομα	940	1870
Είδη δένδρων	17	16
Είδη τροφίμων	21	18
Διακοσμητικά είδη	23	31
Φαρμακευτικά είδη	7	9
Είδη καυσοξύλων	3	5
Είδη καρυκευμάτων	0	4

Πηγή: Δεδομένα από τον Gliessman (1990a).

Σ' ένα σύστημα σπιτικού κήπου που μελετήθηκε στην Canas, Guanacaste, της Costa Rica, παρατηρήθηκαν ενδιαφέρουσες αλλαγές στην ποικιλότητα και την οργάνωση του κήπου, οι οποίες έλαβαν χώρα από το ένα έτος στο επόμενο (Gliessman 1990a), όπως άλλωστε φαίνεται και στον **Πίνακα 18.5**. Έτσι, στο επόμενο έτος ο συνολικός αριθμός των ειδών αυξήθηκε κατά 12, αλλά το πιο εντυπωσιακό ήταν η μείζων αύξηση του συνολικού αριθμού των ατόμων των φυτών. Ένα μεγάλο μέρος αυτής της αύξησης προήλθε κυρίως από την μεγαλύτερη κυριαρχία των διακοσμητικών ειδών, μαζί με τα περισσότερα φαρμακευτικά είδη και τα είδη για καρυκεύματα. Μερικά από τα είδη τροφίμων, τα οποία ήταν πολύ κοινά το προηγούμενο έτος, όπως π.χ. τα κολοκύθια, δεν ήταν παρόντα κατά το 1986, λόγω της ξηρασίας η οποία εξαφάνισε τα φυτάρια που είχαν φυτευτεί νωρίτερα.

Κάποιες από τις αλλαγές στον κήπο μπορεί να αποτυπωθούν στις αλλαγές της οικονομικής κατάστασης του σπιτιού. Το 1986, η γυναίκα του σπιτιού είχε λιγότερο χρόνο να φροντίζει τον κήπο, αφού αυτή και οι κόρες της ξεκίνησαν μια μικρής κλίμακας επιχείρησης αρτοποιείου, κατασκευάζοντας ψωμί που προοριζόταν για πώληση στην τοπική κοινωνία. Εάν η επιχείρηση του αρτοποιείου αποτύγχανε, οι καλλιέργειες τροφίμων προφανώς, θα τύχαιναν ξανά της απαραίτητης φροντίδας.

Ακόμη και όταν οι κοινωνικοοικονομικές παράγοντες είναι αυτοί οι οποίοι βαρύνουν στην απόφαση για αλλαγές στον κήπο, αυτός εντούτοις παραμένει για λόγους οικολογικούς. Η αλλαγή στους σπιτικούς κήπους συνεχίζεται και πολλές φορές αρκετά γρήγορα, λόγω της μεταβαλλόμενης δυναμικής στη διαδικασία της διαταραχής – ανάκαμψης.

18.4.3.4. Δεσμοί με το κοινωνικό σύστημα

Όπως καταδείχθηκε από τις μελέτες που παραπάνω αναφέραμε και περιγράψαμε, οι κοινωνικοί και οι οικονομικοί παράγοντες μπορεί να έχουν σημαντικές επιπτώσεις στα συστήματα των σπιτικών κήπων και στον τρόπο με τον οποίο αυτοί διαχειρίζονται. Μια πολύχρονη μελέτη της παραδοσιακής γεωργίας στην Tlaxcala του Mexico (Gonzalez 1985), βρήκε ότι έλαβαν χώρα αλλαγές στην ποικιλότητα, τη δομή και τη διαχείριση του σπιτικού κήπου, σε ανταπόκριση με την αύξηση της βιομηχανοποίησης και του πληθυσμού. Σε γενικές γραμμές, οι παραγωγοί ελάττωσαν τον αριθμό των ειδών στους σπιτικούς τους κήπους, χρησιμοποίησαν πιο κανονικές και εύκολα διαχειριζόμενες μορφές καλλιέργειας και φύτεψαν είδη που μπορούσαν πιο εύκολα να μπουν στην οικονομία του χρήματος. Όμως, επειδή η Tlaxcala πέρασε μέσα από αρκετούς κύκλους «έξαρσης και ύφεσης» για μια μεγάλη περίοδο, στις οποίες η εκτός αγροκτήματος απασχόληση ήταν εναλλακτικά, άλλοτε διαθέσιμη και άλλοτε περιορισμένη, οι παραγωγοί αντιμετωπίζουν με μια κάποια δυσπιστία την ασφάλεια της εργασίας έξω από το αγρόκτημα. Αποτέλεσμα αυτού ήταν, διάφορα αγροκτήματα να έχουν διατηρηθεί ακόμη και σε καιρούς που η έξω από αυτά απασχόληση ήταν διαθέσιμη, ως ασφάλεια απέναντι στην πιθανή απώλεια του εισοδήματος που προέρχεται από πηγές έξω από το αγρόκτημα.

Η αύξηση του πληθυσμού στην περιφέρεια έχει μια μικτή επίπτωση στη δομή των σπιτικών κήπων. Επειδή η Tlaxcala βρίσκεται κοντά στα μεγάλα και επεκτεινόμενα αστικά – βιομηχανικά κέντρα της Puebla και του Mexico City, υπάρχει σημαντική ζήτηση και αγορά για μια μεγάλη ποικιλία γεωργικών προϊόντων, από τα βασικά είδη του αραβόσιτου και των φασολιών, μέχρι τα δρεπτά άνθη. Η ζήτηση αυτή αποτελεί ένα ερέθισμα για να διαφοροποιηθούν τα τοπικά καλλιεργητικά συστήματα, βάζει όμως και τους παραγωγούς κάτω από την πίεση να δώσουν έμφαση στις χρηματικά αποδίδουσες καλλιέργειες και να εγκαταλείψουν πολλά απαραίτητα και ουσιώδη είδη. Εκείνες οι οικογένειες που βλέπουν ένα πλεονέκτημα στο να συνδυάζουν τόσο τις καλλιέργειες που αποδίδουν χρήματα, όσο και τις ουσιώδεις καλλιέργειες, συντηρούν τους πλέον ποικίλους σπιτικούς κήπους, ενώ κάποιοι άλλοι μεταβαίνουν σε καλλιέργειες που αποδίδουν ρευστό.

Μολονότι η περιφερειακή οικονομική αλλαγή έχει μια καθαρή επίπτωση στους σπιτικούς κήπους, ο δεσμός ανάμεσά τους μπορεί ωσαύτως να οδηγηθεί στην άλλη κατεύθυνση. Εκεί όπου υπάρχουν, οι σπιτικοί κήποι εμφανίζουν την τάση να σταθεροποιούν την τοπική οικονομία και την κοινωνική δομή, δίνοντας στην οικογένεια τα μέσα της οικονομικής επιβίωσης. Λειτουργούν σαν μια γέφυρα ανάμεσα στην τοπική παραδοσιακή οικονομία και την σύγχρονη βιομηχανική οικονομία, λειτουργώντας ως διάφραγμα για τις δυνάμεις που ενθαρρύνουν την μετανάστευση στα βιομηχανικά κέντρα και την εγκατάλειψη των παραδοσιακών κοινωνικών δεσμών. Προσφέροντας την δυνατότητα της τοπικής αυτονομίας, παρέχουν σημαντικά παραδείγματα τα οποία είναι δυνατό να προσαρμοστούν και να υιοθετηθούν σε πολλά σημεία της υφελίου.

18.5. Διαταραχή, ανάκαμψη και αειφορία

Τα αγροδοσικά συστήματα και τα αγροοικοσυστήματα των σπιτικών κήπων έχουν εξεταστεί στο κεφάλαιο αυτό λόγω της χρησιμότητάς τους, ως πρότυπα αειφορικής γεωργίας. Αυτά ενσωματώνουν μια πλειάδα επιθυμητών χαρακτηριστικών που είναι εφαρμόσιμα και προσαρμοσμένα σε κάθε αγροοικοσύστημα. Όντα

διαχειρίσιμα και παραγωγικά, αυτά έχουν την ικανότητα να ανταποκρίνονται σε διάφορους παράγοντες ή καταστάσεις στο περιβάλλον, ώστε να ικανοποιούν τις ανάγκες των κατοίκων για μια μεγαλύτερη ποικιλία προϊόντων και υλικών, και να ανταποκρίνονται στις εξωτερικές κοινωνικοοικονομικές απαιτήσεις. Ταυτόχρονα, αυτά δεν είναι εξαρτημένα από ακριβές εισαγόμενες γεωργικές εισροές και έχουν πολύ περιορισμένες αρνητικές επιπτώσεις.

Ασφαλώς, απαιτείται μεγαλύτερη πληροφόρηση για τους υφιστάμενους τύπους των διαδοχικά αναπτυσσόμενων συστημάτων, ειδικά αυτών με πολυετείς θάμνους και δένδρα. Η αστικοποίηση και η ταχεία μετακίνηση προς τα απλοποιημένα αγροοικοσυστήματα και τις αποδίδουσες χρήματα καλλιέργειες, απειλούν την ύπαρξη τέτοιων συστημάτων, ειδικά στις αναπτυσσόμενες χώρες. Υπάρχει ανάγκη όπως εντοπίσουμε, περιγράψουμε και παρατηρήσουμε τα υφιστάμενα συστήματα, τα οποία ενσωματώνουν την παραδοσιακή γνώση της διαχείρισης της διαδοχής και της διαταραχής, με επιλεγμένη σε αγροοικολογική βάση βελτιώσεις. Επιπλέον, οι μελέτες τέτοιων συστημάτων (Chavelas 1979, Gliessman *et al.* 1981) απαιτούν μεγαλύτερη ιδρυματική υποστήριξη.

Ίσως, η μεγαλύτερη αξία των αγροδοσικών συστημάτων είναι ότι αυτά προσφέρουν αρχές που μπορούν να εφαρμοστούν στα αγροοικοσυστήματα με λίγα δένδρα ή χωρίς δένδρα. Θεωρώντας όλα τα αγροοικοσυστήματα ως διαδοχικά συστήματα στα οποία ενσωματώνονται τα πολυετή είδη, εισάγοντας κατάλληλα τη διαταραχή και προωθώντας την ανάκαμψη από τη διαταραχή, μπορούμε να κάνουμε σημαντικά βήματα προς την αειφορική παραγωγή τροφίμων. Τα όρια έχουν τεθεί μόνο από το είδος του ώριμου οικοσυστήματος που είναι δυνατό, κατά φυσικό τρόπο, να υπάρχει στην περιοχή και το ανθρώπινο συστατικό για το σχεδιασμό και τη διαχείριση των αειφόρων εναλλακτικών λύσεων που θα οικοδομήσουν πάνω σε τέτοια πρότυπα οικοσυστημάτων. Ανεξάρτητα από το αν είναι συστήματα για την παραγωγή σπόρων ή σπιτικοί κήποι, αυτά πρέπει να είναι δυναμικά, ποικίλα και ευέλικτα, να ενσωματώνουν τα σημαντικά χαρακτηριστικά της ευστάθειας και της αντίστασης στη διαταραχή του οικοσυστήματος και της ικανότητας να ανανεώνονται συνεχώς, αλλά και να αναγεννιούνται μέσα από τη διαδικασία ανάκαμψης της διαδοχής.

Οι πλέον ευρέως διαδεδομένες εφαρμογές των πρακτικών που βασίζονται στη διαταραχή και την ανάκαμψη, θα χρειαστούν περισσότερη και σημαντικότερη έρευνα. Η έρευνα όμως αυτή, θα μπορέσει να οδηγήσει σ' ένα γεωργικό τοπίο που θα είναι ένα μωσαϊκό αγροοικοσυστημάτων. Η ανάγκη για υψηλές συγκομίσιμες καρπώσεις θα είναι δυνατό να καλυφθεί από τα ετήσια και τα μικρού βίου πολυετή φυτά καλλιέργειας, τα οποία αυξάνονται σε πολυκαλλιέργειες αρκετών ειδών και τα οποία θα είναι οικολογικά συμπληρωματικά και αλληλοεξαρτώμενα. Η δομή και η οργάνωση του αγρού θα μπορούσε να μεταβληθεί χρονικά, καθώς η διαδοχή θα κατευθύνεται, μετά από μια βαθμιαία μετατροπή, σε πολυετή μακρού βίου φυτά. Θα υπάρξει λοιπόν στον κύκλο της διαταραχής, ένας ενσωματωμένος κατακερματισμός περιφορών σε κάποιες από τις περιοχές και θα επιτραπεί η πολυετής ή η δενδρώδης βλάστηση να αναπτυχθεί μέχρι την ωριμότητα, οπότε αυτή θα συγκομίζεται ή θα ανακυκλώνεται ξανά για μια ετήσια καλλιέργεια, σε ανοικτά μέρη του αγροοικοσυστήματος. Στο τέλος, μπορούμε να επιτύχουμε ένα αειφορικό μωσαϊκό.

18.6. Χρήσιμη συμπληρωματική βιβλιογραφία

Mooney, H. A. and M Gordon (eds.). 1983. *Disturbance and Ecosystems*. Springer - Verlag: Berlin.

Nair, P. K. R. S. 1984. *Soil Productivity Aspects of Agroforestry: Science and Practice in Agroforestry*. International Council for Research in Agroforestry: Nairobi, Kenya.

Odum, E. P. 1969. *The Strategy of Ecosystem Development*. *Science* 164: 262-270.

Pickett, S. T. A. and P. White (eds.). 1985. *The Ecology of Natural Disturbances and Patch Dynamics*. Academic Press: Orlando, FL.

Watt, A. S. 1947. Pattern and process in the plant community. *Journal of Ecology* 35: 1-22.

West, D. C., H. H. Shugart, and D. B. Botkin. 1981. *Forest Succession: Concepts and Applications*. Springer-Verlag: New York.

Κεφάλαιο Δέκατο

Ένατο

Η ενέργεια στα αγροοικοσυστήματα

19.1. Γενικά

Η ενέργεια αποτελεί το ζωοδότη της βιόσφαιρας και κατ' επέκταση του οικοσυστήματος. Σε τελική ανάλυση, εκείνο που κάνουν τα οικοσυστήματα είναι η σύλληψη και η μεταφορά της ενέργειας.

Η ενέργεια ρέει σταθερά μέσα στα οικοσυστήματα προς μια κατεύθυνση. Εισέρχεται με τη μορφή της ηλιακής ενέργειας και μετατρέπεται από τους φωτοσυνθετικούς οργανισμούς (φυτά και φύκη) σε δυναμική ενέργεια, η οποία αποθηκεύεται στους χημικούς δεσμούς των οργανικών μορίων, ή τη βιομάζα. Οσάκις, η δυναμική αυτή ενέργεια συλλέγεται από τους οργανισμούς για να παράγουν αυτοί έργο, δηλαδή, αύξηση, κίνηση, αναπαραγωγή, μεγάλο μέρος αυτής μετασχηματίζεται σε θερμική ενέργεια, η οποία δεν είναι πλέον διαθέσιμη για παραπέρα έργο η μετασχηματισμό, ήτοι, χάνεται από το οικοσύστημα.

Η Γεωργία στην ουσία της είναι ο ανθρώπινος χειρισμός της σύλληψης και της ροής της ενέργειας στα οικοσυστήματα. Οι άνθρωποι χρησιμοποιούν τα οικοσυστήματα για να μετατρέψουν την ηλιακή ενέργεια σε συγκεκριμένες μορφές βιομάζας, μορφές που μπορούν να χρησιμοποιηθούν ως τρόφιμα, ζωοτροφές, ίνες και καύσιμη ύλη.

Όλα τα αγροοικοσυστήματα, από τα πιο απλά, τα περιορισμένα τοπικά για καλλιέργεια και συγκομιδή της πρωτόγονης γεωργίας μέχρι τα εντατικά τροποποιημένα σύγχρονα αγροοικοσυστήματα, απαιτούν εισροή ενέργειας από τους ανθρώπους πρόσθετα με αυτή που παρέχεται από τον ήλιο. Η εισροή αυτή είναι απαραίτητη εν μέρει, εξ αιτίας της μεγάλης απομάκρυνσης της ενέργειας από τα αγροοικοσυστήματα με τη μορφή του συγκομισμένου υλικού. Αλλά, είναι επίσης απαραίτητη διότι, ένα αγροοικοσύστημα πρέπει μέχρι ενός σημείου να παρεκκλίνει και να αντιβαίνει των φυσικών διαδικασιών. Οι άνθρωποι πρέπει να παρεμβαίνουν με μια ποικιλία τρόπων, ήτοι, με τη διαχείριση των μη καλλιεργούμενων φυτών, την άρδευση, την καλλιέργεια του εδάφους κλπ, και για να γίνει αυτό απαιτείται έργο.

Ο γεωργικός «εκσυγχρονισμός» των αρκετών τελευταίων δεκαετιών έχει καταστεί σε μεγάλο βαθμό μια διαδικασία προσθήκης όλο και μεγαλύτερων ποσοτήτων ενέργειας στη γεωργία με αντικειμενικό σκοπό την αύξηση των προσόδων. Όμως, το μεγαλύτερο μέρος της πρόσθετης αυτής εισρέουσας ενέργειας προέρχεται άμεσα ή έμμεσα, από τα μη ανανεώσιμα ορυκτά καύσιμα. Ακόμη περισσότερο, οι επιστροφές της ενεργειακής επένδυσης στη συμβατική γεωργία δεν είναι πολύ ευνοϊκές. Για πολλές καλλιέργειες επενδύουμε περισσότερη ενέργεια από όση παίρνουμε πίσω με την παραγωγή τροφίμων. Κατά συνέπεια, η ενεργειακά εντατική μορφή της γεωργίας, δεν θα μπορέσει να σταθεί στο μέλλον χωρίς ριζικές αλλαγές.

19.2. Η ενέργεια και οι νόμοι της θερμοδυναμικής

Η εξέταση των ενεργειακών ροών και εισροών στη γεωργία απαιτεί καλή γνώση της ενέργειας και των φυσικών νόμων που την διέπουν. Ξεκινάμε λοιπόν από τον ορισμό της ενέργειας, δηλαδή, τι είναι ενέργεια; ***Ενέργεια ορίζεται πολύ κοινά ως η ικανότητα παραγωγής έργου.*** Το έργο συντελείται, όταν μια δύναμη δρα σε κάποια απόσταση. Όταν η ενέργεια παράγει πράγματι έργο, αυτή ονομάζεται **κινητική ενέργεια**. Για παράδειγμα, κινητική ενέργεια υπάρχει σε ένα αιωρούμενο και ένα κινούμενο, αλλά και στα φωτεινά κύματα που έρχονται από τον ήλιο. Μια άλλη μορφή ενέργειας είναι η **δυναμική ενέργεια**, η οποία είναι ενέργεια σε ακινησία, ικανή όμως να παράγει έργο. Η ενέργεια στους χημικούς δεσμούς της βιομάζας αποτελεί ένα παράδειγμα δυναμικής ενέργειας.

Στον φυσικό κόσμο και τα οικοσυστήματα, η ενέργεια κινείται σταθερά, από μια θέση σε κάποια άλλη και συνεχώς αλλάζει μορφές. Ο τρόπος με τον οποίο αυτή αλλάζει περιγράφεται από τους δύο νόμους της θερμοδυναμικής. Σύμφωνα με τον **πρώτο νόμο της θερμοδυναμικής** η «***ενέργεια ούτε δημιουργείται, ούτε καταστρέφεται, ανεξάρτητα από τις μετατροπές ή τους μετασχηματισμούς που αυτή υφίσταται***». Η ενέργεια μεταβάλλεται από τη μια μορφή στην άλλη, καθώς αυτή κινείται από τη μια θέση στην άλλη ή χρησιμοποιείται για να παραχθεί έργο, και μπορεί να μετρηθεί. Για παράδειγμα, η θερμική ενέργεια και η φωτεινή ενέργεια που δημιουργούνται από την καύση του ξύλου, μαζί με τη δυναμική ενέργεια των προϊόντων που παραμένουν, είναι ίση με τη δυναμική ενέργεια του ξύλου, πριν αυτό καεί και του οξυγόνου.

Ο **δεύτερος νόμος της θερμοδυναμικής** δηλώνει ό,τι, «***όταν η ενέργεια μεταφέρεται ή μετασχηματίζεται, μέρος αυτής μετατρέπεται σε μια μορφή, η οποία δεν μπορεί να διέλθει περαιτέρω και δεν είναι δυνατόν να παραγάγει έργο***». Η υποβαθμισμένη αυτή μορφή της ενέργειας είναι θερμότητα, είναι δηλαδή απλά η ανοργάνωτη κίνηση των μορίων. Ο δεύτερος νόμος της θερμοδυναμικής σημαίνει ότι υπάρχει πάντοτε μια τάση προς μεγαλύτερη αταξία ή **εντροπία**. Για να μετρήσουμε την εντροπία, δηλαδή για να δημιουργήσουμε τάξη με άλλα λόγια, η ενέργεια πρέπει να εξαντλείται.

Την λειτουργία του δευτέρου νόμου της θερμοδυναμικής μπορούμε να την δούμε με σαφήνεια σ' ένα φυσικό οικοσύστημα. Σ' αυτό, καθώς η ενέργεια μεταφέρεται από έναν οργανισμό σ' έναν άλλο με τη μορφή τροφίμου, ένα μεγάλο μέρος της ενέργειας αυτής υποβαθμίζεται σε θερμότητα, μέσω της μεταβολικής δραστηριότητας, και συνοδεύεται από μια καθαρή αύξηση της εντροπίας. Κατά μια άλλη έννοια, τα βιολογικά συστήματα δεν φαίνεται να συμβιβάζονται με τον δεύτερο νόμο της θερμοδυναμικής, διότι είναι ικανά να δημιουργούν τάξη μέσα στην αταξία. Αυτά όμως, είναι σε θέση να το κάνουν αυτό, εξαιτίας και μόνο της σταθερής εισροής ενέργειας που έρχεται στο σύστημα με τη μορφή της ηλιακής ενέργειας.

Η ανάλυση των ροών της ενέργειας σε οποιοδήποτε σύστημα απαιτεί τη μέτρηση της ενεργειακής χρήσης. Για το σκοπό αυτό είναι διαθέσιμες πολλές μονάδες. Στο κεφάλαιο αυτό θα χρησιμοποιήσουμε ως επιθυμητό μέτρο τις χιλιοθερμίδες (kilocalories = kcal), διότι είναι πολύ καλά προσανατολισμένες στο να συνδέουν την ανθρώπινη διατροφή με τις ενεργειακές εισροές στην παραγωγή τροφίμων. Κάποιες άλλες μονάδες και τα ισοδύναμά τους παρουσιάζονται στον **Πίνακα 19.1**.

Πίνακας 19.1. Μονάδες μέτρησης της ενέργειας.

Μονάδα	Ορισμός	Ισοδύναμα
Θερμίδα	Η ποσότητα θερμότητας που είναι απαιτείται για να ανυψωθεί ένα γραμ. (1 ml) νερού κατά 1 °C, στους 15 °C.	0,001 kcal 4,187 joule
Χιλιοθερμίδα	Η ποσότητα θερμότητας που είναι απαραίτητη για να ανυψωθεί ένα χιλιόγραμμο νερού κατά 1 °C, στους 15 °C.	1.000 cal 4.187 joule
Βρετανική θερμική μονάδα (Btu)	Η ποσότητα θερμότητας που απαιτείται για να ανυψωθεί μια λίμπρα νερού κατά 1 °F.	252 cal 0,252 joule
Joule	Η ποσότητα έργου που εκτελείται κατά την μετακίνηση ενός αντικειμένου σε μια απόσταση 1 μέτρου	0,252 cal 0,000252 joule

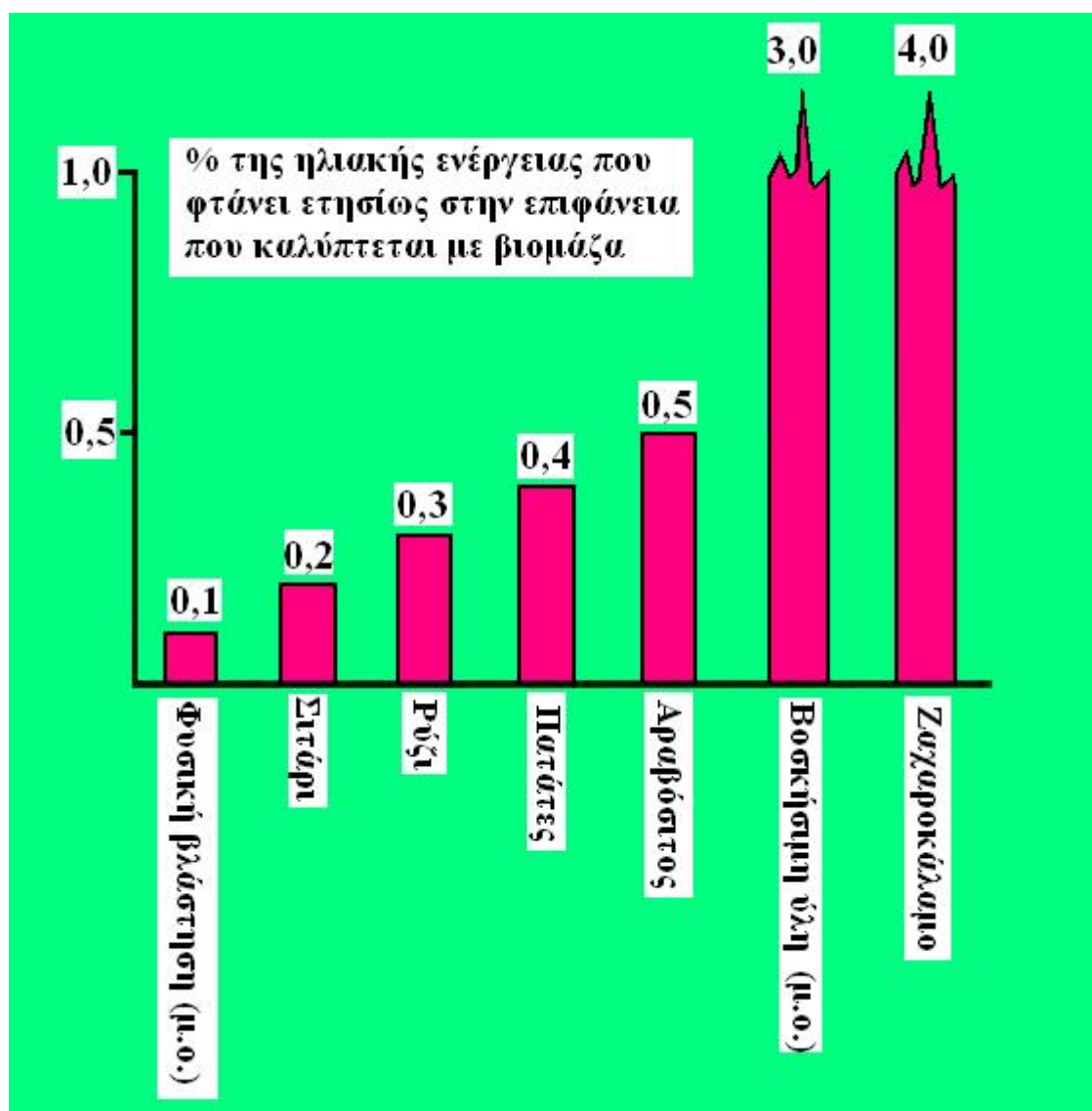
19.3. Η σύλληψη της ηλιακής ενέργειας

Το σημείο εκκίνησης της ροής της ενέργειας μέσα στα οικοσυστήματα και τα αγροοικοσυστήματα είναι ο ήλιος. Η ενέργεια που εκπέμπεται από τον ήλιο συλλαμβάνεται από τα φυτά και μετατρέπεται σε αποθηκευμένη χημική ενέργεια, μέσω της φωτοσυνθετικής διαδικασίας. Η ενέργεια που συσσωρεύεται στα φυτά μέσω της φωτοσύνθεσης καλείται **πρωτογενής παραγωγή**, διότι είναι η πρώτη και βασική μορφή αποθηκευμένης ενέργειας σ' ένα οικοσύστημα. Η ενέργεια που απομένει μετά την αναπνοή, η οποία είναι απαραίτητη για να συντηρηθούν τα φυτά, είναι η **καθαρή πρωτογενής παραγωγή** (ΚΠΠ) και αυτή παραμένει ως αποθηκευμένη βιομάζα. Με τη γεωργία, μπορούμε να συγκεντρώσουμε την αποθηκευμένη αυτή ενέργεια σε βιομάζα, η οποία μπορεί να συγκομιστεί και να χρησιμοποιηθεί, είτε με την κατανάλωσή της άμεσα είτε τρέφοντας με αυτή τα ζώα, τα οποία ωσαύτως, είτε καταναλώνουμε, είτε τα χρησιμοποιούμε ως ζώα φόρτου (έργου).

Στο κατά πόσο τα φυτά είναι ικανά να συλλαμβάνουν αποτελεσματικά την ηλιακή ενέργεια και την μετατρέπουν σε αποθηκευμένη βιομάζα, είναι ένα σημείο που ποικίλει ανάμεσα στα φυτά. Το κατά πόσο ποικίλει είναι αποτέλεσμα των υφιστάμενων διαφορών στη μορφολογία του φυτού (π.χ. φυλλική επιφάνεια), τη φωτοσυνθετική αποτελεσματικότητα και τη φυσιολογία τους. Εξαρτάται επίσης και από τις συνθήκες κάτω από τις οποίες το φυτό αναπτύσσεται. Τα γεωργικά φυτά είναι από τα πλέον αποτελεσματικά φυτά, όμως, ακόμη και στην περίπτωσή τους, η αποτελεσματικότητα της μετατροπής του ηλιακού φωτός σε βιομάζα σπάνια ξεπερνάει το 1% (μια αποτελεσματικότητα 1% σημαίνει ότι το 1% της ηλιακής ενέργειας που φτάνει στο φυτό μετατρέπεται σε βιομάζα).

Ο αραβόσιτος, ο οποίος σημειωτέον θεωρείται ένα από τα πλέον παραγωγικά φυτά καλλιέργειας για τροφή και τρόφιμα ανά μονάδα καλλιεργούμενης έκτασης,

μπορεί να παράγει πάνω από 1.500 χιλιόγραμμα /στρέμμα/περίοδο ξηρής βιομάζας, ποσότητα η οποία μπορεί να αναλογιστεί σε σπέρματα και άχυρο. Η βιομάζα αυτή αντιπροσωπεύει το 0,5% περίπου της ηλιακής ενέργειας που φτάνει στον αγρό κατά τη διάρκεια του έτους (ή 1% περίπου του ηλιακού φωτός που φτάνει στον αγρό στη διάρκεια της αυξητικής περιόδου). Μια καλλιέργεια πατάτας που αποδίδει 4.000 χιλιόγραμμα/στρέμμα φρέσκιας πατάτας (το ισοδύναμο 700 χιλιόγραμμων ξηρής ουσίας) έχει μια αποτελεσματικότητα μετατροπής της τάξης του 0,4% περίπου. Το σιτάρι, με μια απόδοση σπερμάτων 270 χιλιόγραμμων/στρέμμα και μια απόδοση σε ξηρή ουσία 675 χιλιόγραμμα/στρέμμα, έχει μια αποτελεσματικότητα μετατροπής της τάξης του 0,2% περίπου. Η αποτελεσματικότητα μετατροπής του ζαχαροκάλαμου στις τροπικές περιοχές (περίπου 4,0%), είναι μια από τις υψηλότερες γνωστές.



Εικόνα 19.1. Η αποτελεσματικότητα της ηλιακής ενέργειας κατά τη μετατροπή της σε βιομάζα.

Πηγή: Δεδομένα από τους Pimentel et al (1978), Pimentel et al (1990), Ludlow (1985).

Παρόλο που οι αποτελεσματικότητες αυτές είναι σχετικά χαμηλές, όμως, εξακολουθούν να είναι αρκετές φορές μεγαλύτερες από τη μέση αποτελεσματικότητα μετατροπής της ώριμης φυσικής βλάστησης, η οποία εκτιμάται ότι ανέρχεται στο 0,1% (Pimental *et al.* 1978). Ωσαύτως, δεν πρέπει να μη λαμβάνουμε υπόψη μας το γεγονός

ότι, ένα μικρό μόνο μέρος της βιομάζας της φυσικής βλάστησης είναι διαθέσιμο για την ανθρώπινη κατανάλωση, ενώ ένα μεγάλο τμήμα της αποθηκευμένης ενέργειας στα γεωργικά φυτικά είδη είναι καταναλώσιμο.

Με το δεδομένο ότι το μεγαλύτερο μέρος των τροφίμων που καταναλώνεται στις αναπτυγμένες χώρες δεν είναι φυτική βιομάζα, αλλά ζωική βιομάζα, θα πρέπει επίσης, να εξετάσουμε την αποτελεσματικότητα της μετατροπής της ενέργειας από τη φυτική ουσία σε κρέας ή γάλα. Η παραγωγή της ζωικής βιομάζας από τη φυτική βιομάζα είναι αναποτελεσματική, διότι τα ζώα χάνουν μεγάλο μέρος της μεταβολικής ενέργειας για τη συντήρησή και την αναπνοή τους.

Η ανάλυση της μετατροπής αυτής γίνεται κανονικά σε όρους του ενεργειακού περιεχομένου της πρωτεΐνης στη ζωική βιομάζα, αφού τόσο το κρέας, όσο και το γάλα παράγονται κυρίως για την πρωτεΐνη τους. Ένα κοπάδι χρειάζεται 20-120 μονάδες ενέργειας φυτικής τροφής για να παράγει μια μονάδα πρωτεϊνικής ενέργειας, ανάλογα βέβαια με το ζώο και το σύστημα παραγωγής. Αυτό ισοδυναμεί με μια αποτελεσματικότητα του 0,8% στο χαμηλό και 5% στο υψηλό πέρας. Εάν αυτές οι μετατροπές αποτελεσματικότητας συνδυαστούν με εκείνες για την παραγωγή της διατροφής των ζώων, η αναποτελεσματικότητα των συστημάτων ζωικής παραγωγής καθίσταται προφανής. Τέλος, εάν για παράδειγμα θεωρήσουμε ότι, τα φυτικά προϊόντα που διατρέφουν ένα κοπάδι στεγασμένων βοοειδών περιέχουν περίπου 0,5% της ηλιακής ενέργειας που φτάνει στα φυτά και η πρωτεΐνη στο καταναλωμένο κρέας από τα βοοειδή περιέχει 0,8% της ενέργειας που ήταν στην τροφή, η κατάληξη τελικά θα είναι μια αποτελεσματικότητα της τάξης 0,004% μόνον.

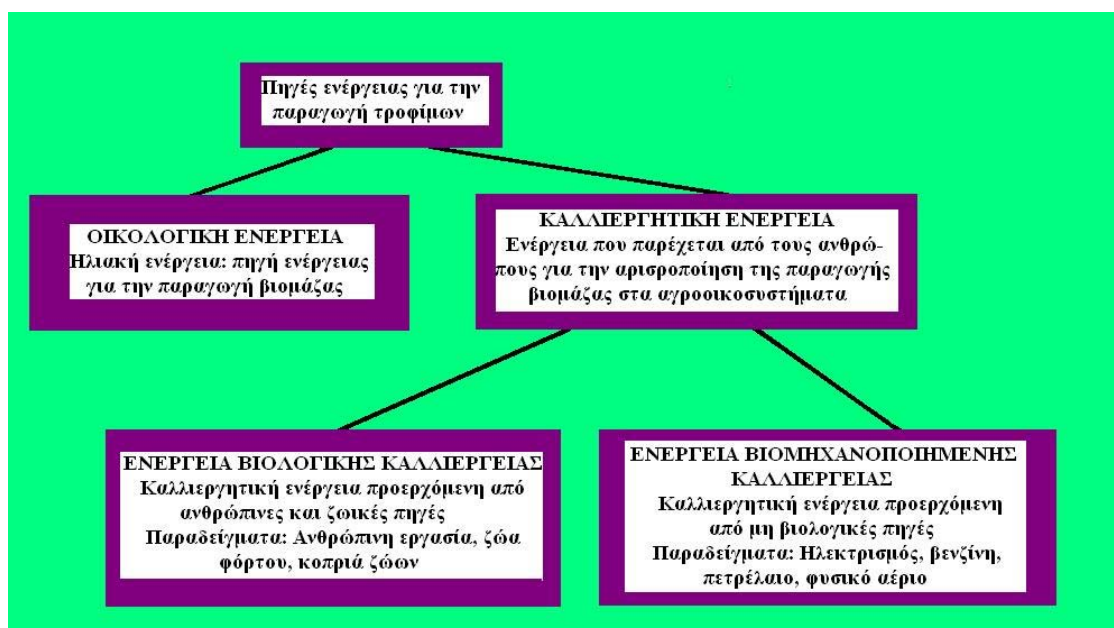
Τα κοπάδια ελεύθερης βοσκής πρέπει να τα αντιμετωπίσουμε κάπως διαφορετικά, αφού μπορούν και βόσκουν σε εκτάσεις που πιθανόν δεν είναι εντελώς κατάλληλες για άλλης μορφής γεωργική καλλιέργεια και καταναλώνουν βοσκήσιμη ύλη απ' ευθείας από το φυσικό οικοσύστημα ή από απαιτούντα χαμηλή ενέργεια συστήματα κτηνοτροφικής εκμετάλλευσης. Αυτά μπορούν να μετατρέψουν την ενέργεια που περιέχεται στη βιομάζα, η οποία βέβαια δεν μπορεί να καταναλωθεί άμεσα από τους ανθρώπους.

19.4. Ενεργειακές εισροές στην παραγωγή τροφίμων

Μολονότι όλη η ενέργεια που πηγαίνει στα τρόφιμα που καταναλώνουμε προέρχεται από τον ήλιο, για να παραχθούν αυτά, στο περιεχόμενο του αγροοικοσυστήματος χρειάζεται και η συμπληρωματική ενέργεια. Η συμπληρωματική αυτή ενέργεια έρχεται με τη μορφή της ανθρώπινης εργασίας, τα ζώα φόρτου, και την εργασία που προσφέρουν οι μηχανές. Ενέργεια επίσης απαιτείται για την παραγωγή των μηχανών, των εργαλείων, των σπόρων και των λιπασμάτων, για το νερό της άρδευσης, για να παραχθούν τα τρόφιμα και να τα μεταφέρουμε στις αγορές. Πρέπει λοιπόν να εξετάσουμε όλες αυτές τις ενεργειακές εισροές, ώστε να κατανοήσουμε τα ενεργειακά κόστη στη γεωργία και να αναπτύξουμε τη βάση για περισσότερο αειφορική χρήση της ενέργειας στη γεωργία.

Πρώτα απ' όλα, είναι χρήσιμο να κάνουμε τη διάκριση ανάμεσα στους διαφορετικούς τύπους των ενεργειακών εισροών στη γεωργία. Η αρχική διάκριση γίνεται ανάμεσα στις ενεργειακές εισροές που προέρχονται από την ηλιακή ακτινοβολία, τις οποίες ονομάζουμε εισροές οικολογικής ενέργειας, και τις εισροές που προέρχονται από τους ανθρώπινους πηγές, τις οποίες ονομάζουμε εισροές καλλιεργητικής ενέργειας. Οι εισροές οικολογικής ενέργειας είναι δυνατό να διαιρεθούν περεταίρω στις βιολογικές εισροές και τις βιομηχανικές εισροές (**Εικόνα 19.2**). Οι βιολογικές εισροές προέρχονται απευθείας από τους οργανισμούς και

περιλαμβάνουν την ανθρώπινη εργασία, τα ζώα φόρτου, και την κοπριά. Οι βιομηχανικές εισροές της ενέργειας προέρχονται από τα ορυκτά καύσιμα, την ραδιενεργό σχάση και τις γεωθερμικές και υδρολογικές πηγές.



Εικόνα 19.2 Τύποι ενεργειακών εισροών στη γεωργία. Η ενέργεια της βιολογικής καλλιέργειας και η ενέργεια της βιομηχανοποιημένης καλλιέργειας μπορούν να προέλθουν είτε απ' έξω από ένα συγκεκριμένο αγροοικοσύστημα ή μπορεί να προέλθει πόρους μέσα από το σύστημα.

Εδώ πρέπει να σημειωθεί ότι, ακόμη και όταν αναφερόμαστε σε όλες αυτές τις πηγές ενέργειας ως «εισροές», η καλλιεργητική ενέργεια οποιασδήποτε μορφής μπορεί να προέλθει από πηγές μέσα από ένα συγκεκριμένο αγροοικοσύστημα, κάνοντάς το μια εισροή, ασφαλώς όχι με την έννοια που έχουμε χρησιμοποιήσει τον όρο. Σ' αυτές τις «εσωτερικές εισροές» της ενέργειας περιλαμβάνονται η εργασία των ανθρώπων του αγροκτήματος, η κοπριά των ζώων του αγροκτήματος και η ενέργεια που παράγεται από κάποιες εγκαταστάσεις του αγροκτήματος (ανεμόμυλοι και αεροτουρμπίνες).

19.4.1. Καλλιεργητικές εισροές ενέργειας και εκροές συγκομιδής

Από τη σκοπιά της αειφορικότητας, η άποψη – κλειδί της ενεργειακής ροής στα αγροοικοσυστήματα είναι το πώς η καλλιεργητική ενέργεια χρησιμοποιείται για να κατευθυνθεί η μετατροπή της οικολογικής ενέργειας σε βιομάζα. Όσο μεγαλύτερη είναι μετατροπή των φυσικών διαδικασιών, τις οποίες οι άνθρωποι προσπαθούν να επιβάλλουν στο περιβάλλον κατά την παραγωγή των τροφίμων, τόσο μεγαλύτερη είναι η ποσότητα της απαιτούμενης καλλιεργητικής ενέργειας. Η ενέργεια είναι απαραίτητη για να διατηρηθεί ένα σύστημα χαμηλής ποικιλότητας, να περιοριστεί η παρέμβαση, να τροποποιηθούν οι φυσικές και οι χημικές συνθήκες του συστήματος, με σκοπό να διατηρηθεί η άριστη αύξηση και ανάπτυξη των οργανισμών των φυτών καλλιέργειας.

Οι μεγαλύτερες εισροές καλλιεργητικής ενέργειας δημιουργούν υψηλότερη παραγωγικότητα. Όμως, ανάμεσα σ' αυτές τις δύο, δεν υφίσταται μια σχέση μία προς μία. Όταν η εισροή καλλιεργητικής ενέργειας είναι πολύ υψηλή, η «επιστροφή» από την «επένδυση» της καλλιεργητικής ενέργειας είναι συχνά ελάχιστη. Αφού η εκροή ενός αγροοικοσυστήματος μπορεί να μετρηθεί με όρους ενέργειας, μπορούμε να

αξιολογήσουμε την αποτελεσματικότητα της χρήσης της ενέργειας αυτής στο αγροοικοσύστημα με έναν απλό λόγο, ήτοι: την ποσότητα της ενέργειας που περιέχεται σε μια συγκομισμένη βιομάζα, σε σύγκριση με την ποσότητα της καλλιεργητικής ενέργειας που απαιτείται, ώστε να παραχθεί η βιομάζα αυτή. Σ' όλα τα αγροοικοσυστήματα του πλανήτη, ο λόγος αυτός ποικίλει από το αγροοικοσύστημα στο οποίο πολύ περισσότερη ενέργεια προκύπτει απ' ό,τι διατίθεται μέχρι το αγροοικοσύστημα στο οποίο οι ενεργειακές εισροές είναι μεγαλύτερες από την ενέργεια εκροής.

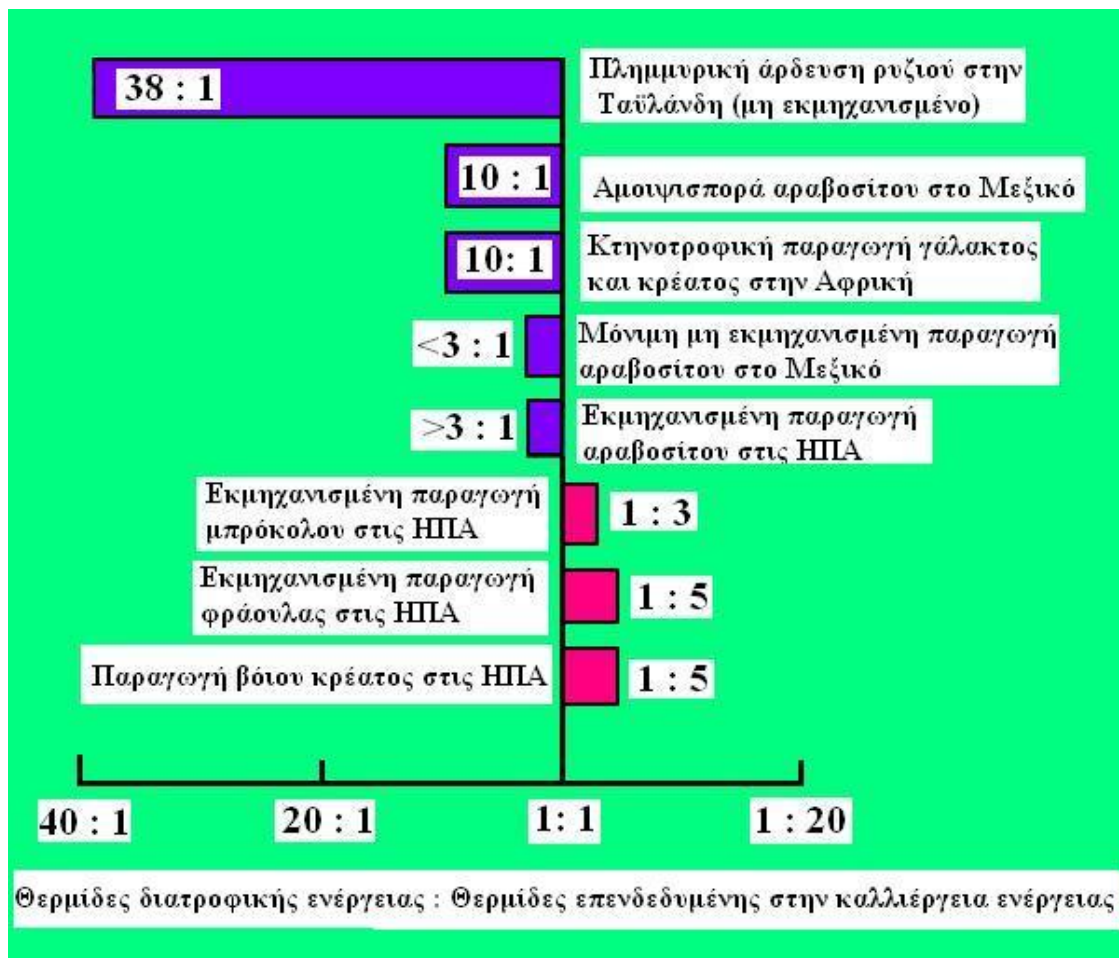
Τα μη εκμηχανισμένα αγροοικοσυστήματα (π.χ. η εκτατική κτηνοτροφία ή η αμειψισπορά) που χρησιμοποιούν μόνο βιολογική καλλιεργητική ενέργεια με τη μορφή της ανθρώπινης εργασίας, είναι ικανά να πραγματοποιούν επιστροφές που ποικίλουν από 5 μέχρι σχεδόν 40 θερμίδες διατροφικής ενέργειας, για κάθε θερμίδα της επενδύμενης καλλιεργητικής ενέργειας. Τα μόνιμα συστήματα αγροκτημάτων που χρησιμοποιούν ζώα, έχουν μια υψηλότερη εισροή καλλιεργητικής ενέργειας, αλλά, λόγω αυτής της μεγαλύτερης ενέργειας επένδυσης επιτυγχάνουν και υψηλότερες καρπώσεις. Τέτοια συστήματα εξακολουθούν να έχουν ευνοϊκές επιστροφές στην επένδυσή τους με καλλιεργητική ενέργεια.

Στα εκμηχανισμένα αγροοικοσυστήματα όμως, οι πολύ μεγάλες εισροές βιομηχανικής καλλιεργητικής ενέργειας αντικαθιστούν το μεγαλύτερο μέρος της βιολογικής καλλιεργητικής ενέργειας, καθιστώντας εαυτά ικανά να επιτύχουν υψηλά επίπεδα κάρπωσης, πλην όμως, μειώνουν σε μεγάλο βαθμό την αποτελεσματικότητα της χρήσης της ενέργειας. Για τα σποροπαραγωγικά είδη, όπως ο αραβόσιτος, το σιτάρι και το ρύζι, τα αγροοικοσυστήματα αυτά μπορούν να αποδώσουν 1 έως 3 θερμίδες διατροφικής ενέργειας ανά θερμίδα καλλιεργητικής ενέργειας. Στην εκμηχανισμένη παραγωγή φρούτων και λαχανικών, η επιστροφή της ενέργειας είναι, στην καλύτερη περίπτωση, ίση με την επενδεδυμένη ενέργεια, ενώ στις περισσότερες περιπτώσεις αυτή είναι μικρότερη. Για την παραγωγή τροφής για τα ζώα, ο λόγος είναι στις περισσότερες περιπτώσεις ακόμη λιγότερο ευνοϊκός. Για την παραγωγή βοοειδών στις ΗΠΑ, απαιτούνται περίπου 5 θερμίδες καλλιεργητικής ενέργειας για κάθε θερμίδα που επιτυγχάνεται.

Όταν οι τροφές των ζώων αξιολογούνται περισσότερο για την περιεχόμενη πρωτεΐνη παρά για την συνολική περιεχόμενη ενέργεια, θα πρέπει να αντιμετωπίζουμε την αποτελεσματικότητα της ενέργειας της παραγωγής τους με τους όρους της ενέργειας στην πρωτεΐνη των τροφών αυτών, συγκρινόμενη με την ενέργεια της καταναλωμένης από τα ζώα τροφής. Με τους όρους αυτούς, για να παραχθεί μια θερμίδα πρωτεΐνης στο γάλα, το κρέας του χοίρου και των στεγασμένων βοδινών απαιτείται ενέργεια 30 έως 80 θερμίδες. Σε σύγκριση με τα παραπάνω, μια θερμίδα πρωτεΐνης μπορεί να παραχθεί από τουλάχιστο 3 θερμίδες καλλιεργητικής ενέργειας (στην περίπτωση της πρωτεΐνης από σπόρους). Ακόμη και η παραγωγή της συγκεντρωμένης φυτικής πρωτεΐνης (π.χ. τοφού από σπόρους σόγιας) δεν χρειάζεται περισσότερες από 20 θερμίδες ενέργειας για κάθε θερμίδα πρωτεΐνης.

Τα δεδομένα που παρουσιάζονται στην **Εικόνα 19.3** ενισχύουν τους ισχυρισμούς μας ότι οι απαιτήσεις της γεωργίας σε καλλιεργητική ενέργεια είναι στενά συνδεδεμένες με το επίπεδο της τροποποίησης των διαδικασιών του φυσικού οικοσυστήματος. Τα κόστη είναι μικρά, όταν οι άνθρωποι αφήνουν τη βασική δομή του οικοσυστήματος ανέπαφη. Όταν γίνονται μερικές μικρότερες τροποποιήσεις που αυξάνουν την αφθονία των ειδών μιας συγκεκριμένης καλλιέργειας με ενδιαφέρον, απαιτείται περισσότερη καλλιεργητική ενέργεια, αλλά η επιστροφή είναι ακόμη ευνοϊκή. Όταν όμως, ένα πολύπλοκο φυσικό οικοσύστημα αντικαθίσταται από μια μονοκαλλιέργεια, μια μορφή ζωής πολύ διαφορετική από αυτή των ενδημικών ειδών

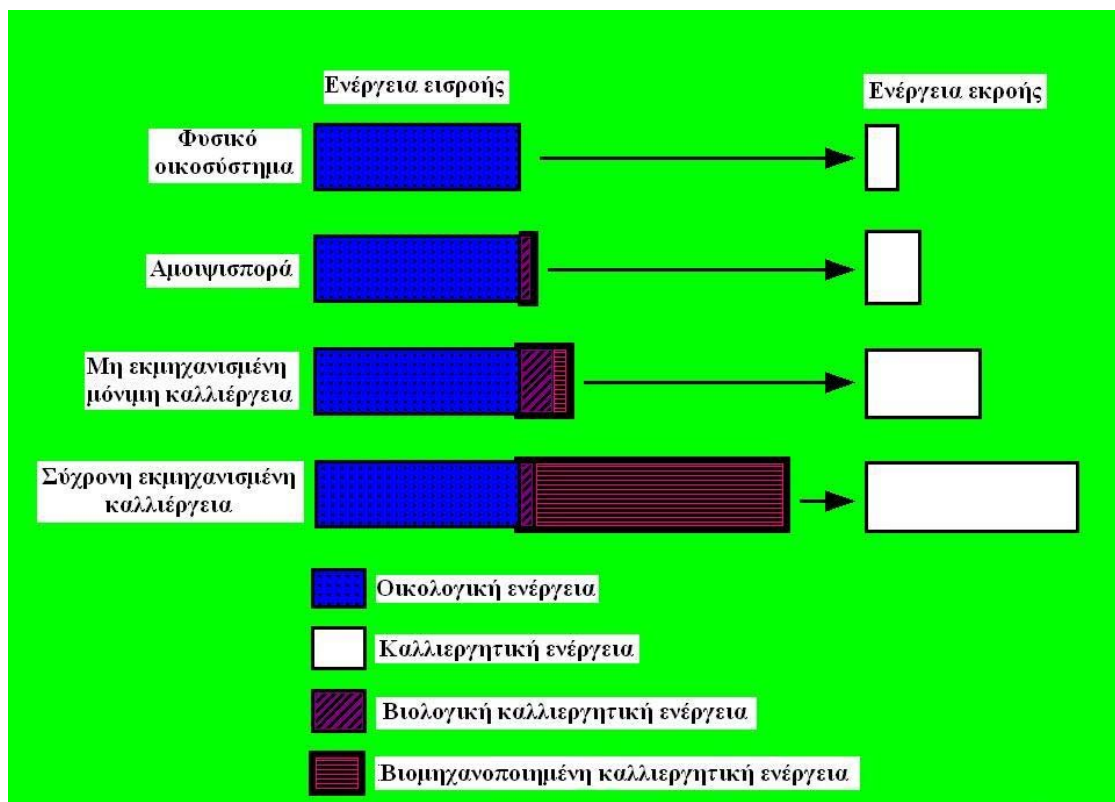
(όπως στην περίπτωση με το αρδευόμενο βαμβάκι στις πρώην ξηρές θαμνώδεις εκτάσεις της δυτικής κοιλάδας του San Joaquin στην California), τα κόστη της καλλιεργητικής ενέργειας ανεβαίνουν απότομα. Όταν ο σκοπός είναι να αυξηθεί ωσαύτως το επίπεδο της συλλαμβανόμενης ηλιακής ενέργειας (παραγωγικότητα) πάνω από αυτή που επιδείκνυε το προηγούμενο φυσικό σύστημα, τα επίπεδα της καλλιεργητικής ενέργειας που απαιτούντο μπορεί να είναι πολύ υψηλά.



Εικόνα 19.3. Σύγκριση επιστροφών επενδεδυμένης ενέργειας σε ποικίλα αγροοικοσυστήματα. Οι στήλες που βρίσκονται στο αριστερό μέρος της εικόνας παρουσιάζουν συστήματα στα οποία η πραγματοποιούμενη εκροή είναι μεγαλύτερη από την εισροή, ενώ αυτές στο δεξιό η εισροή της ενέργειας είναι μεγαλύτερη από την τιμή της ενέργειας του τροφίμου που προκύπτει.

Πηγή: Δεδομένα από τους Pimentel (1980) και Cox and Atkins (1979).

Η **Εικόνα 19.4** προσφέρει μια άλλη προοπτική στα κόστη της σχετικής ενέργειας και τις ωφέλειες της ενέργειας των διαφορετικών τύπων των αγροοικοσυστημάτων. Μολονότι η χρήση μιας μεγάλης ποσότητας καλλιεργητικής ενέργειας καθιστά ικανά τα συμβατικά αγροοικοσυστήματα να είναι περισσότερο παραγωγικά από κάποια άλλα, τα συστήματα αυτά δεν πραγματοποιούν μια καλή επιστροφή στην επένδυση της ενέργειάς τους. Η παραγωγή τροφίμων που είναι περισσότερο ενεργειακά αποτελεσματική είναι εφικτή, εάν μειωθούν οι εισροές της βιομηχανικής καλλιεργητικής ενέργειας, αυξηθεί η επένδυση της βιολογικής καλλιεργητικής ενέργειας και αλλάξει η ποσότητα της βιομηχανικής καλλιεργητικής ενέργειας που χρησιμοποιείται.



Εικόνα 19.4. Κατά προσέγγιση σχετικό μέγεθος των εισροών και των εκροών της ενέργειας για τέσσερις τύπους συστημάτων. Το πραγματικό μέγεθος της εισροής της οικολογικής ενέργειας για κάθε σύστημα είναι πολύ μεγαλύτερο από το εμφανιζόμενο. Ας σημειωθεί ότι για την σύγχρονη εκμηχανισμένη γεωργία, η συνολική εισροή ενέργειας είναι μικρότερη από την εισροή της καλλιεργητικής ενέργειας. Η ανομοιομορφία αυτή είναι συχνά πιο ακραία απ' ό,τι παρουσιάζεται.

19.4.2. Χρήση της βιολογικής καλλιεργητικής ενέργειας

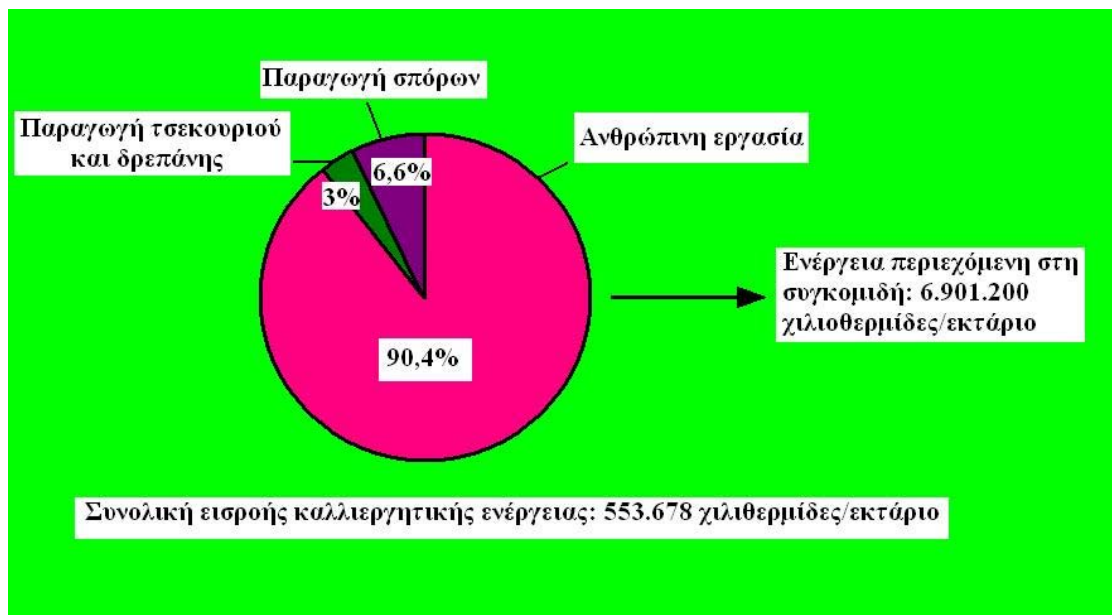
Η βιολογική καλλιεργητική ενέργεια είναι κάθε εισροή ενέργειας με ένα βιολογικό πόρο να βρίσκεται κάτω από τον ανθρώπινο έλεγχο, όπως π.χ. η ανθρώπινη εργασία, η εργασία που προσφέρουν τα ζώα κάτω από την ανθρώπινη καθοδήγηση, και κάθε βιολογική δραστηριότητα που κατευθύνεται από τον άνθρωπο ή υποπροϊόν αυτής. Κάποιες από τις διαφορετικές μορφές της βιολογικής καλλιεργητικής ενέργειας με τις κατά προσέγγιση ενεργειακές αξίες, παρουσιάζονται στον **Πίνακα 19.2**.

Πίνακας 19.2. Ενεργειακό περιεχόμενο τύπων εισροών βιολογικής καλλιεργητικής ενέργειας στη γεωργία

Τύπος εισροής	Ενεργειακή αξία	
Ανθρώπινη εργασία, βαριά (κοπή βλάστησης)	400-500	Kcal/ώρα
Ανθρώπινη εργασία ελαφριά (οδήγηση ελκυστήρα)	175-200	Kcal/ώρα
Μεγάλη εργασία ζώων φόρτου	2.400	Kcal/ώρα
Τοπικά παραγόμενος σπόρος	4.000	Kcal/ώρα
Κοπριά αγελάδας	1.611	Kcal/ώρα
Κοπριά χοίρου	2.403	Kcal/ώρα
Εμπορική κομπόστα	2.000	Kcal/ώρα
Βιοαέριο	1.730	Kcal/ώρα

Πηγή: Δεδομένα από τους Cox και Atkins (1979), Pimentel (1984), Zhengfang (1994).

Η βιολογική καλλιεργητική ενέργεια είναι ανανεώσιμη, καθότι προέρχεται από την διατροφική ενέργεια, τελική πηγή προέλευσης της οποίας είναι η ηλιακή ενέργεια. Επίσης, η βιολογική καλλιεργητική ενέργεια είναι αποτελεσματική, καθόσον διευκολύνει την παραγωγή συγκομίσιμης βιομάζας. Όπως άλλωστε είδαμε παραπάνω, τα αγροοικοσυστήματα που βασίζονται κατά κύριο λόγο στη βιολογική καλλιεργητική ενέργεια, είναι ικανά να επιτύχουν τις πλέον ευνοϊκές σχέσεις μεταξύ της ενέργειας εισροής και της ενέργειας εκροής.



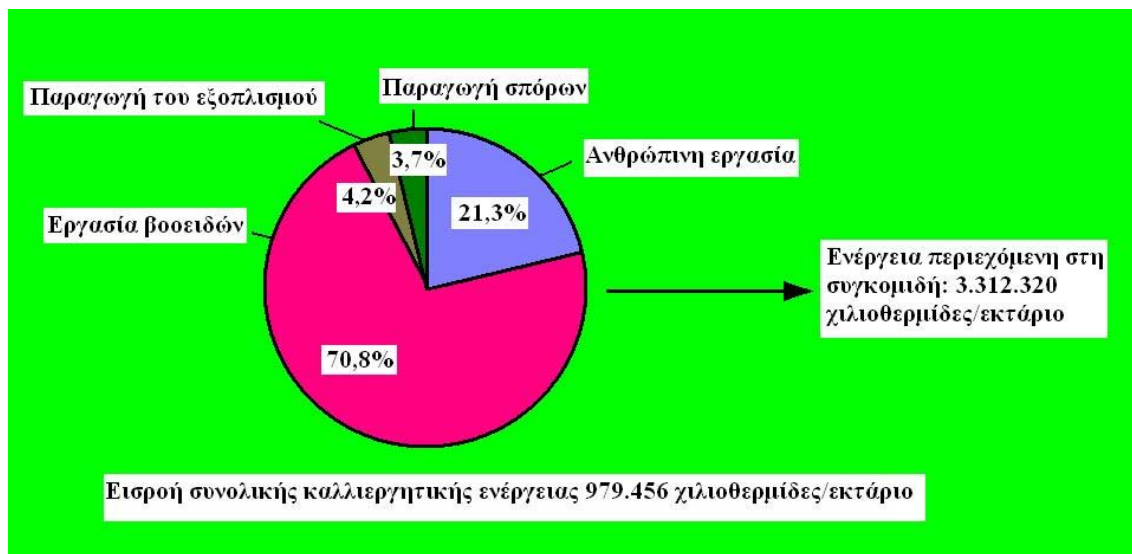
Εικόνα 19.5. Εισροές καλλιεργητικής ενέργειας σε ένα παραδοσιακό σύστημα καλλιεργητικής εναλλαγής αραβοσίτου στο Μεξικό.

Πηγή: Δεδομένα από τον Pimentel (1984).

Για την γεωργία, η ανθρώπινη εργασία ήταν ανέκαθεν η εισροή – κλειδί της καλλιεργητικής ενέργειας και σε πολλά μέρη του πλανήτη εξακολουθεί και σήμερα να αποτελεί, μαζί με την εργασία των ζώων, την πρωτεύουσα ενεργειακή εισροή. Στα συστήματα καλλιεργητικής εναλλαγής για παράδειγμα, η ανθρώπινη εργασία είναι πρακτικά η μόνη μορφή ενέργειας που προστίθεται πέρα από την ενέργεια που συλλαμβάνεται μέσω της φωτοσύνθεσης. Οι υψηλές σχέσεις της παραγόμενης ενέργειας τροφίμου προς την επενδεδυμένη καλλιεργητική ενέργεια των συστημάτων αυτών κυμαίνονται από 10:1 έως 40:1, και αποτελούν αντανάκλαση του αποτελεσματικού τρόπου με τον οποίο η ανθρώπινη εργασία μπορεί να καθοδηγήσει την μετατροπή της ηλιακής ενέργειας σε συγκομίσιμο υλικό (Rappaport 1971, Pimentel 1980). Στην **Εικόνα 19.5**, παρουσιάζεται ο προϋπολογισμός για μια παραδοσιακή καλλιέργεια αμειψισποράς.

Πολλοί άλλοι τύποι παραδοσιακών, μη μηχανοποιημένων συστημάτων παραγωγής τροφίμων, στα οποία η βιολογική καλλιεργητική ενέργεια είναι η πρωτεύουσα εισροή, πραγματοποιούν μια πολύ ευνοϊκή επιστροφή στην επένδυση της καλλιεργητικής τους ενέργειας. Στα αγροοικοσυστήματα κτηνοτροφικής εκμετάλλευσης, στα οποία η ποιίμανση και η φροντίδα των ζώων είναι οι κύριες ανθρώπινες δραστηριότητες και τα ζώα αποκτούν την ενέργεια τροφής από τη φυσική βλάστηση, οι σχέσεις της παραγόμενης ενέργειας διατροφής προς την επενδεδυμένη καλλιεργητική ενέργεια κυμαίνεται από 3:1 έως 10:1. Ένα θετικό προϋπολογισμό διατηρούν ακόμη και τα εντατικά, μη μηχανοποιημένα συστήματα γεωργικής

εκμετάλλευσης. Τα συστήματα παραγωγής ρυζιού στην Νοτιανατολική Ασία για παράδειγμα, είναι ικανά να αποκτούν πάνω από 38 θερμίδες τροφικής ενέργειας για κάθε θερμίδα επενδεδυμένης καλλιεργητικής ενέργειας.



Εικόνα 19.6. Εισροές καλλιεργητικής ενέργειας σε ένα σύστημα παραδοσιακής παραγωγής αραβοσίτου με τη χρήση ζώων έλξης.

Πηγή: Δεδομένα από τους Cox και Atkins (1979), Pimentel (1980).

Η ενεργειακή αξία της ανθρώπινης εργασίας στα συστήματα αυτά έχει υπολογιστεί, μετά από τον καθορισμό της ποσότητας της τροφικής ενέργειας που ένα πρόσωπο καίει, καθόν χρόνο αυτό εργάζεται. Μολονότι η τεχνική αυτή παρέχει καλά δεδομένα βάσης, δεν λαμβάνει υπόψη της μια πλειάδα άλλων παραγόντων. Θα μπορούσε κάποιος να σκεφθεί πόση ενέργεια απαιτείται για να αυξηθεί το τρόφιμο που μεταβολίζεται κατά την διάρκεια της εργασίας και την ενέργεια που χρειάζεται να παρασχεθεί για όλες τις άλλες βασικές ανάγκες των εργαζόμενων ανθρώπων, όταν αυτοί δεν εργάζονται. Από την άλλη πλευρά, οι βασικές ανάγκες των ανθρώπων πρέπει να παρέχονται, ανεξάρτητα από το εάν η εργασία τους λειτουργεί ως μια ενεργειακή εισροή στη γεωργία και χρειάζονται τροφή ακόμη και όταν αναπαύονται. Στη βάση αυτή, μπορούμε να ελαττώσουμε το ενεργειακό κόστος της ανθρώπινης εργασίας θεωρώντας ότι, μόνο η επιπλέον τροφική ενέργεια χρειάζεται για να εκτελεστεί η αγροτική εργασία.

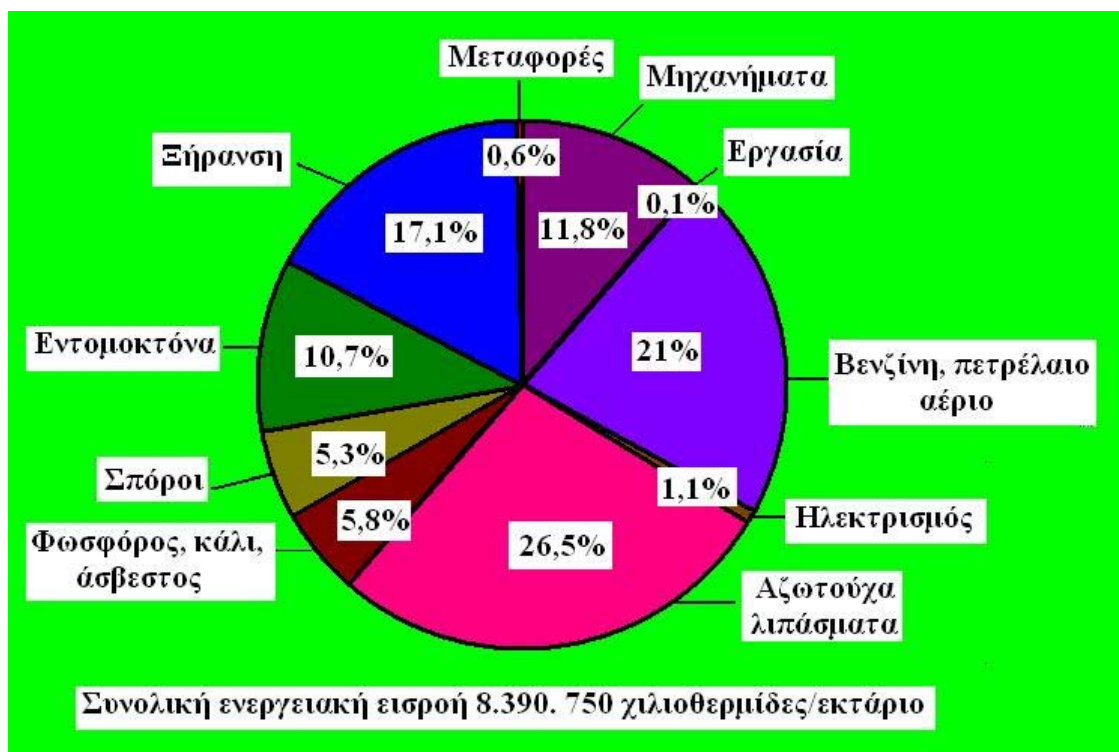
Μολονότι η χρήση των ζώων εργασίας αυξάνει την συνολική εισροή της βιολογικής καλλιεργητικής ενέργειας και χαμηλώνει της σχέση της συγκομισμένης ενέργειας προς την επενδεδυμένη ενέργεια κοντά στο 3:1, αυτή επιτρέπει την εφαρμογή της σταθερής καλλιέργειας αντί της καλλιεργητικής εναλλαγής, αυξάνει την επιφάνεια πάνω στην οποία μπορεί να εφαρμοστεί η καλλιέργεια, παράγει κοπριά για τον εμπλουτισμό του εδάφους και επιτρέπει την απόληψη κρέατος, γάλακτος και άλλων ζωοκομικών προϊόντων. Επιπλέον, τα ζώα καταναλώνουν βιομάζα η οποία δεν είναι δυνατό να καταναλωθεί άμεσα από τους ανθρώπους και η οποία μειώνει τα σχετικά ενεργειακά τους κόστη. Ένα παράδειγμα της ενεργειακής αποτελεσματικότητας της παραγωγής αραβοσίτου με τη χρήση ζώων έλξης δίδεται στην **Εικόνα 19.8**.

Η βιολογική καλλιεργητική ενέργεια είναι μια σημαντική παράμετρος της αειφορικής γεωργίας. Οι ενεργειακές εισροές από τους ανθρώπους και τα ζώα τους είναι γενικά ανανεώσιμες, αποδίδοντας ενέργεια η οποία βοηθάει στο μετασχηματισμό μεγαλύτερης αναλογίας της ηλιακής ενέργειας σε συγκομίσιμη τροφική ενέργεια. Η χρήση της ανθρώπινης και της ζωικής εργασίας εκμεταλλεύεται τον πρώτο νόμο της

θερμοδυναμικής, αφού τροποποιεί τις φυσικές διαδικασίες του οικοσυστήματος με τέτοιο τρόπο, ώστε να συγκεντρώνεται η ενέργεια σε χρήσιμα προϊόντα, υπακούει όμως και στον δεύτερο νόμο, αφού επιστρέφει πάντοτε στις οικολογικές εισροές ενέργειας από τον ήλιο, με σκοπό το αγροοικοσύστημα να διατηρείται για μακρά διάρκεια χρόνου. Όταν κάνουμε μια ενεργειακή ανάλυση της βιολογικής καλλιεργητικής ενέργειας πρέπει πάντοτε να ενθυμούμεθα ότι, η μορφή αυτή της ενέργειας είναι κάτι περισσότερο από ένα οικονομικό κόστος για την γεωργία, είναι προπάντων, ένα ενσωματωμένο τμήμα μιας διαδικασίας αειφορικής παραγωγής.

19.4.3. Χρήση της βιομηχανοποιημένης καλλιεργητικής ενέργειας

Όταν η γεωργία αρχίσει να εκμηχανίζεται, η χρήση της ενέργειας από τις βιομηχανικές καλλιεργητικές πηγές αυξάνεται δραματικά. Η εκμηχάνιση και η βιομηχανική ενέργεια αύξησε σε μεγάλο βαθμό την παραγωγικότητα, άλλαξαν όμως δραματικά τη φύση της γεωργικής παραγωγής. Η ανθρώπινη και η ζωική εργασία αντικαταστάθηκαν και η αγροτική καλλιέργεια συνδέθηκε με τα ορυκτά καύσιμα και την κατανάλωση.



Εικόνα 19.7. Εισροές ενέργειας ανά εκτάριο για την παραγωγή αραβοσίτου στις ΗΠΑ κατά το έτος 1980. Μέσες συνολικές καρπώσεις 7.000 χιλιόγραμμα/εκτάριο και ο λόγος εισροής προς εκροή σε θερμίδες ήταν 2,9:1.

Πηγή: Δεδομένα από τον Pimentel (1984).

Τα σύγχρονα συμβατικά αγροοικοσυστήματα έχουν σε υψηλό βαθμό συνδεθεί με τις εισροές της βιομηχανικής καλλιεργητικής ενέργειας. Η παραγωγή αραβοσίτου στις ΗΠΑ αποτελεί ένα καλό παράδειγμα ενός αγροοικοσυστήματος, στο οποίο όλες σχεδόν οι ενεργειακές εισροές στο σύστημα προέρχονται από βιομηχανικές πηγές. Στην **Εικόνα 19.7** παρουσιάζεται η συνολικές ενεργειακές εισροές ανά εκτάριο για την παραγωγή αραβοσίτου και ο τρόπος με τον οποίο η ενέργεια αυτή κατανέμεται μεταξύ

των ποικίλων τύπων εισροής. Η βιολογική καλλιεργητική ενέργεια με τη μορφή της ανθρώπινης εργασίας αποτελεί ένα ελάχιστο τμήμα (0,1%) του συστήματος αυτού.

Οι αλλαγές που έγιναν μετά τον Δεύτερο Παγκόσμιο Πόλεμο στον τρόπο με τον οποίο χρησιμοποιήθηκε η καλλιεργητική ενέργεια στην παραγωγή αραβοσίτου, σε γενικές γραμμές, αποτελεί ένα καλό παράδειγμα για το πώς άλλαξε η χρήση της ενέργειας στη γεωργία. Ανάμεσα στα έτη 1945 και 1983, στις ΗΠΑ οι καρπώσεις από τον αραβόσιτο αυξήθηκαν τρεις φορές, αλλά οι ενεργειακές εισροές αυξήθηκαν περισσότερο από πέντε φορές. Το 1945, ο εκτιμώμενος λόγος της ενεργειακής εκροής προς την ενεργειακή εισροή για τον αραβόσιτο ήταν ανάμεσα στο 3,5:1 και το 5,5:1. Το 1975, ο λόγος αυτός υποχώρησε ανάμεσα στο 3,2:1 και το 4,1:1 και το 1983, έφτασε στο 2,3:1 (Smil *et al.* 1983, Pimentel 1992). Τα τελευταία δεκαπέντε έτη, με τη συνεχιζόμενη εντατικοποίηση των εισροών στη γεωργία, ο λόγος αυτός των επιστροφών προφανώς είναι τώρα χαμηλότερος, ειδικά αφότου οι αυξήσεις στις καρπώσεις μέχρι το 1985 παρουσίασαν ένα οριακό σημείο. Παρόμοιες μορφές προφανώς παρουσιάζονται και σε άλλα πρωτογενή φυτά καλλιέργειας του πλανήτη μας.

Από ενεργητικής άποψης θα λέγαμε, ότι η βιομηχανοποιημένη καλλιεργητική ενέργεια είναι υψηλότερης ποιότητας συγκρινόμενη τόσο με την ηλιακή, όσο και με την βιολογικά καλλιεργούμενη ενέργεια. Είναι περισσότερο συμπυκνωμένη, θερμίδα με θερμίδα, και έχει μια μεγαλύτερη ικανότητα να παράγει έργο, από την ηλιακή ή τη βιολογικά καλλιεργούμενη ενέργεια. Μια χιλιοθερμίδα ενέργειας με τη μορφή ορυκτού καυσίμου, για παράδειγμα, είναι ικανή να προσφέρει 2000 φορές περισσότερο έργο από μια χιλιοθερμίδα της ηλιακής ακτινοβολίας.

Μολονότι όμως, η βιομηχανοποιημένη καλλιεργητική ενέργεια είναι γενικότερα υψηλής ποιότητας, σε όρους παρεχόμενου έργου, κάθε μορφή αυτής της ενέργειας ποικίλει στην ποσότητα της ενέργειας που απαιτείται, ώστε αυτή να προσφέρει για μια υψηλότερης ποιότητας κατάσταση. Μια χιλιοθερμίδα ηλεκτρικής ενέργειας, για παράδειγμα, προσφέρει τέσσερες φορές περισσότερο έργο από μια χιλιοθερμίδα καυσίμου πετρελαίου, αλλά καταναλώνεται πολύ περισσότερη ενέργεια για να παραχθεί το ηλεκτρικό ρεύμα. Όπως προκύπτει από τους νόμους της θερμοδυναμικής, οι άνθρωποι πρέπει να καταναλώνουν ενέργεια με σκοπό να συγκεντρώσουν ενέργεια και καμία νέα ενέργεια δεν δημιουργείται κατά τη διαδικασία. Έτσι, ενδιαφερόμαστε περισσότερο για την απόλυτη ποσότητα έργου που μπορεί να προσφερθεί από κάθε χιλιοθερμίδα μιας συγκεκριμένης μορφής ενέργειας, η οποία καταναλώνεται για να μετασχηματιστεί αυτή σε μια άλλη μορφή ενέργειας. Για να μπορέσουμε να συγκρίνουμε τις εισροές της βιομηχανοποιημένης καλλιεργητικής ενέργειας με τους όρους αυτούς, θα υπολογίσουμε τα ενεργειακά τους κόστη. Στον **Πίνακα 19.3** παρουσιάζεται μια πλειάδα από ενεργειακά κόστη για κάποιες πολύ κοινές στη χρήση εισροές βιομηχανικής ενέργειας.

Η βιομηχανοποιημένη καλλιεργητική ενέργεια χρησιμοποιείται στη γεωργία, είτε άμεσα, είτε έμμεσα. Η άμεση χρήση συμβαίνει, όταν η βιομηχανοποιημένη καλλιεργητική ενέργεια χρησιμοποιείται για τους ελκυστήρες και τα οχήματα μεταφοράς, τα μηχανήματα που συμμετέχουν στην κατεργασία, τις αντλίες άρδευσης και την θέρμανση και την ψύξη των θερμοκηπίων. Η έμμεση χρήση συμβαίνει, όταν η βιομηχανοποιημένη καλλιεργητική ενέργεια χρησιμοποιείται εκτός του αγροκτήματος για να παραχθούν τα μηχανήματα, τα οχήματα, οι χημικές εισροές και τα άλλα αγαθά και οι υπηρεσίες που στη συνέχεια χρησιμοποιούνται για τη λειτουργία του αγροκτήματος. Στο τυπικό συμβατικό σύστημα καλλιέργειας περίπου το 1/3 της ενέργειας που χρησιμοποιείται είναι άμεση και τα 2/3 είναι έμμεση.

Πίνακας 19.3. Κόστος ενέργειας κατά προσέγγιση των πλέον κοινών στη χρήση βιομηχανικών καλλιεργητικών εισροών.

Μηχανήματα (μ.ο. για φορτηγά και ελκυστήρες)	18.000 kcal/kg
Βενζίνη (περιλαμβάνεται η διύλιση και η μεταφορά)	16.500 kcal/l
Πετρέλαιο (περιλαμβάνεται η διύλιση και η μεταφορά)	11.450 kcal/l
Αέριο (περιλαμβάνεται η διύλιση και η μεταφορά)	7.700 kcal/l
Ηλεκτρισμός (περιλαμβάνεται η δημιουργία και η μεταφορά)	3,100 kcal/kwh
Αζωτο (ως νιτρικό αμμώνιο)	14.700 kcal/kg
Φωσφόρος (ως τριπλά υπερφωσφορικά)	3.000 kcal/kg
Κάλιο (ως ποτάσσα)	1.800 kcal/kg
Άσβεστος (περιλαμβάνεται η εξόρυξη και η επεξεργασία)	295 kcal/kg
Εντομοκτόνα (περιλαμβάνεται η παρασκευή)	85.680 kcal/kg
Φυτοκτόνα (περιλαμβάνεται η παρασκευή)	111.070 kcal/kg

Πηγή: Δεδομένα από τον Fluck (1992).

Η παραγωγή των λιπασμάτων (ειδικά τα αζωτούχα λιπάσματα) ευθύνονται για το μεγαλύτερο μέρος της έμμεσης ενεργειακής χρήσης στη γεωργία. Κοντά στο 1/3 ολόκληρης της ενέργειας που χρησιμοποιείται στη σύγχρονη γεωργία, καταναλώνεται για την παραγωγή αζωτούχων λιπασμάτων. Το κόστος αυτό της ενέργειας είναι υψηλό διότι, για να παραχθούν αυτά, απαιτείται μια μεγάλη ποσότητα ενέργειας. Για την παραγωγή του αραβοσίτου, για παράδειγμα, χρησιμοποιούνται στον αγρό 152 χιλιόγραμμα ανά εκτάριο περίπου αζωτούχα λιπάσματα, ποσότητα η οποία αντιπροσωπεύει το 28% της συνολικής εισροής ενέργειας ανά εκτάριο (Pimentel 1992). Η ενεργειακή αυτή εισροή θα μπορούσε σε μεγάλο βαθμό να μειωθεί, εάν χρησιμοποιηθούν η κοπριά, η βιολογική δέσμευση του αζώτου και η ανακύκλωση.

Ένα άλλο 15% της χρησιμοποιούμενης έμμεσης ενέργειας συνδέεται με την παραγωγή των εντομοκτόνων και των φυτοκτόνων. Όταν συμπεριλαμβάνονται η παρασκευή, η συσκευασία και η μεταφορά στο αγρόκτημα, το ενεργειακό κόστος είναι κάπως υψηλότερο. Μολονότι, τα νεώτερης γενιάς εντομοκτόνα και φυτοκτόνα συνήθως χρησιμοποιούνται σε μικρότερες ποσότητες, αυτά τυπικά περιέχουν περισσότερη ενέργεια.

Οι περισσότερες από τις βιομηχανικής καλλιεργητικής ενέργειας εισροές στη γεωργία, τόσο οι άμεσες όσο και οι άμεσες, προέρχονται από τα ορυκτά καύσιμα ή η κατασκευή τους εξαρτάται από τα ορυκτά καύσιμα. Οι άλλες πηγές της βιομηχανικής ενέργειας παίζουν πολύ μικρότερο ρόλο στο σύνολο της γεωργίας, μολονότι σε τοπική βάση αυτές μπορεί να έχουν κάποια ιδιαίτερη σπουδαιότητα. Μια ανάλυση του ενεργειακού προϋπολογισμού για την παραγωγή του αραβοσίτου στην Πολιτεία της Indiana έδειξε ότι, περισσότερο από το 90% των εισροών βιομηχανικής ενέργειας προήλθε από τα ορυκτά καύσιμα και λιγότερο από το 2% της συνολικής ενέργειας που απαιτήθηκε για την παραγωγή, προήλθε από την ανανεώσιμη βιολογικά καλλιεργητική ενέργεια με τη μορφή της εργασίας (Doering 1977). Όταν η παραγωγή των φυτών καλλιέργειας εξαρτάται πλήρως από τα ορυκτά καύσιμα, κάθε τι που επηρεάζει το κόστος ή τη διαθεσιμότητα μιας τέτοιας ενέργειας μπορεί να έχει δραματικές επιπτώσεις στη γεωργία.

Οι τρέχουσες τάσεις δείχνουν ότι η χρήση των ορυκτών καυσίμων στη γεωργία θα χρειαστεί να συνεχιστεί αυξανόμενη, ώστε να καλύψει τις ανάγκες της αυξανόμενης παραγωγής (Pimentel *et al* 1992), και θα έχει κατάληξη μια περισσότερο ταχεία εξάντληση των παγκόσμιων αποθεμάτων πετρελαίου και έναν ισχυρό ανταγωνισμό με τις άλλες χρήσεις των ορυκτών καυσίμων.

19.5. Προς μια αειφορική χρήση της ενέργειας στα αγροοικοσυστήματα

Εξετάζοντας τη γεωργία μέσα από τους φακούς της ενέργειας προκύπτει μια κρίσιμη πηγή μη αειφορικότητας. Η συμβατική γεωργία σήμερα χρησιμοποιεί περισσότερη ενέργεια για την παραγωγή τροφίμων απ' ό,τι τα ίδια τα τρόφιμα περιέχουν, και το μεγαλύτερο μέρος αυτής της επενδεδυμένης ενέργειας προέρχεται από πηγές με πεπερασμένη παροχή. Έχουμε φτάσει στο σημείο για να μπορούμε να παράγουμε τα τρόφιμά μας, να εξαρτιόμαστε από τα ορυκτά καύσιμα. Τα ορυκτά καύσιμα όμως, δεν θα είναι πάντοτε διαθέσιμα σε άφθονη παροχή. Επιπλέον, η εξάρτηση της γεωργίας από τη χρήση των ορυκτών καυσίμων είναι «τω όντι» συνδεδεμένη με κάθε άλλη πηγή που προωθεί τη μη αειφορικότητα στα συστήματα της παραγωγής τροφίμων.

19.5.1 Προβλήματα από την έντονη χρήση ορυκτών καυσίμων

Τις περασμένες δεκαετίες, τα αυξανόμενα επίπεδα των ενεργειακών εισροών έχουν διαδραματίσει ένα σημαντικό ρόλο για τα αυξημένα επίπεδα καρπώσεων, σε πολλά από τα αγροτικά οικοσυστήματα του πλανήτη. Όμως, όπως άλλωστε περιγράψαμε παραπάνω, οι περισσότερες από αυτές τις ενεργειακές εισροές προέρχονται από βιομηχανικές πηγές, και τα περισσότερα αγροτικά οικοσυστήματα βασίζονται στη χρήση των ορυκτών καυσίμων. Εάν η στρατηγική της κάλυψης των διατροφικών αναγκών του αυξανόμενου πληθυσμού του πλανήτη συνεχίσει να εξαρτάται από τις πηγές αυτές, τότε θα αρχίσουν να αναδύονται συγκεκριμένα κρίσιμα προβλήματα. Κάποια από αυτά είναι οικολογικά, κάποια άλλα όμως είναι κοινωνικά και οικονομικά.

Όπως έχει τονιστεί σε όλα τα κεφάλαια του βιβλίου αυτού, όταν αγνοούνται οι οικολογικές διαδικασίες, αρχίζει να εμφανίζεται στα αγροοικοσυστήματα η περιβαλλοντική υποβάθμιση. Η χρήση των εισροών της εντατικής καλλιεργητικής ενέργειας είναι εκείνη που επέτρεψε να αγνοήσουμε τις οικολογικές διαδικασίες. Η εφαρμογή των ανόργανων λιπασμάτων καλύπτει την υποχώρηση της εδαφικής γονιμότητας, ενώ τα εντομοκτόνα και τα φυτοκτόνα συμβάλλουν στην υποβάθμιση της γεωργικής βιοποικιλότητας, την οποία και προσωρινά καλύπτουν.

Όμως, οι συνέπειες από την αγνόηση των οικολογικών διαδικασιών καθίστανται πλέον περισσότερο εμφανείς. Στο επίπεδο του αγροκτήματος, μια αλλαγή προς την υψηλή εκμηχάνιση και την υψηλή χρήση των χημικών εισροών που προέρχονται από τα ορυκτά καύσιμα, έχει οδηγήσει σε προβλήματα. Προβλήματα όπως είναι αυτά της απώλειας της οργανικής ύλης, της απόπλυσης των θρεπτικών στοιχείων, της υποβάθμισης του εδάφους και της αυξημένης εδαφικής διάβρωσης. Οι υδατικές προμήθειες έχουν ρυπανθεί και η εκτεταμένη άντληση των υπόγειων νερών έχει οδηγήσει στην εξάντληση των υδροφόρων στρωμάτων και συνοδεύει τις υδατικές ελλείψεις. Οι ανωφελείς οργανισμοί και οι ασθένειες έχουν αναπτύξει ανοχές στη χρήση των ζιζανιοκτόνων και των φυτοκτόνων, και τα τελευταία αυτά έχουν μολύνει τόσο τα περιβάλλοντα του αγροκτήματος, όσο και τα φυσικά οικοσυστήματα, προκαλώντας προβλήματα υγείας για τους ιδιοκτήτες των αγροκτημάτων και τους εργάτες γης και καταστρέφοντας πληθυσμούς ωφέλιμων εντόμων και μικροοργανισμών.

Έξω από το αγρόκτημα, η αιολική και η υδατική διάβρωση του εδάφους, σε συνδυασμό με την εκμηχανισμένη γεωργία, είχε αρνητικές επιπτώσεις στα άλλα

συστήματα, ειδικά στα ευρισκόμενα στα χαμηλά υψόμετρα. Οι πρόσφατες εργασίες που αφορούσαν τις εκπομπές αερίων από τα αζωτούχα λιπάσματα (N_2O και NO) έδειξαν ότι η προσθήκη αυτών των υλικών στην ατμόσφαιρα, αρχίζει να έχει επιπτώσεις στον παγκόσμιο κύκλο του αζώτου, καταστρέφει περεταίρω το στρώμα του όζοντος, και επιδεινώνει το παγκόσμιο πρόβλημα της υπερθέρμανσης. Η απλούστευση των καλλιεργητικών συστημάτων, την οποία συνοδεύουν πάντοτε οι υψηλές εισροές της βιομηχανικής ενέργειας στη γεωργία, προκαλούν μεγαλύτερες απώλειες στην περιφερειακή βιοποικιλότητα.

Από την οικονομική και την κοινωνική σκοπιά, τα προβλήματα της υπερβολικής εξάρτησης από την ενέργεια των ορυκτών καυσίμων στη γεωργία πηγαίνουν πολύ πέρα από την αποτελεσματικότητα των επιστροφών από την επένδυση της ενέργειας που χρησιμοποιήθηκε. Η εξάρτηση από τη χρήση των ορυκτών καυσίμων σημαίνει μεγαλύτερη ευπάθεια στις αλλαγές των τιμών και την προσφορά του πετρελαίου. Όπως διαπιστώσαμε στις πετρελαϊκές κρίσεις του 1973, του 1991, αλλά και η παρατηρούμενη σύγχρονη κερδοσκοπία, οι τιμές του πετρελαίου έχουν ανυψωθεί σε εξωπραγματικά επίπεδα, αυξάνοντας έτσι το κόστος της αγροτικής παραγωγής. Με τη κατανάλωση των ορυκτών καυσίμων να συνεχίζει να αυξάνεται σε παγκόσμιο επίπεδο, οι κίνδυνοι για μια γεωργία που βασίζεται στα ορυκτά καύσιμα καθίστανται ακόμη μεγαλύτεροι. Το πρόβλημα θα καταστεί ακόμη πιο κρίσιμο, καθώς οι αναπτυσσόμενες χώρες θα εξαναγκαστούν να εντατικοποιήσουν τη γεωργική τους εκροή, ώστε να καλύψουν τις ανάγκες τους σε τρόφιμα.

Ένα τελικό πρόβλημα με τη γεωργία που βασίζεται στα ορυκτά καύσιμα, είναι ότι αυτή συνδέεται με ένα συγκεκριμένο είδος γεωργικής ανάπτυξης. Καθιστά μια ευρείας κλίμακας εκμηχανισμένη γεωργία, η οποία σε ολόκληρο τον πλανήτη αντικαθιστά την παραδοσιακή γεωργία και έτσι αναγκάζει τον αγροτικό πληθυσμό να οδεύσει προς τις μεγάλες πόλεις, διακόπτοντας τους πολιτιστικούς δεσμούς και υποβιβάζοντας την αυτάρκεια του.

19.5.2. Μελλοντικές κατευθύνσεις της ενέργειας

Πολλές από τις σε οικολογική βάση επιλογές και προσεγγίσεις που παρουσιάστηκαν στο βιβλίο αυτό σχετίζονται άμεσα με την αποτελεσματικότητα της ενέργειας. Υπεδείχθη ένας αριθμός στρατηγικών για τον εκσυγχρονισμό των συστημάτων παραγωγής τροφίμων, οι οποίες χρησιμοποιούν την ενέργεια με ένα τρόπο αειφόρο:

1. Μείωση της χρήσης της βιομηχανικής καλλιεργητικής ενέργειας, ειδικά της προερχόμενης από μη ανανεώσιμες ή μολύνουσες πηγές, όπως είναι τα ορυκτά καύσιμα. Η μείωση αυτή εξειδικεύεται με τις παρακάτω ενέργειες:
 - ✚ Χρήση ελάχιστων ή μειωμένων συστημάτων καλλιεργητικών επεμβάσεων που απαιτούν λιγότερη εκμηχανισμένη καλλιέργεια.
 - ✚ Εφαρμογή πρακτικής που μειώνει τη χρήση του νερού και τις απώλειες του νερού με σκοπό να ελαττωθεί η ποσότητα της ενέργειας που αναλώνεται για την άρδευση.
 - ✚ Χρήση των κατάλληλων περιφορών φυτών καλλιέργειας και των συνδυασμών που διεγείρουν την ανάκαμψη από τη διαταραχή που προκαλείται από κάθε καλλιεργητικό κύκλο, χωρίς την ανάγκη των τεχνητών εισροών.
 - ✚ Ανάπτυξη ανανεώσιμων, ενεργειακά αποτελεσματικών βιομηχανικών καλλιεργητικών πηγών και χρήσεων ενέργειας, οι οποίες θα αντικαταστήσουν τα ορυκτά καύσιμα και τις χρήσεις τους.

- ✚ Ανάπτυξη των πηγών του αγροκτήματος της βιομηχανικής καλλιεργητικής ενέργειας (π.χ. φωτοβολταϊκός ηλεκτρισμός, αιολική ενέργεια, μικρής κλίμακας υδροηλεκτρικά) όπου αυτό είναι εφικτό.
 - ✚ Χρήση της βιομηχανικής καλλιεργητικής ενέργειας περισσότερο αποτελεσματικά, με τη μείωση των απωλειών και κάνοντας περισσότερο κατάλληλες συζεύξεις μεταξύ της ποιότητας της ενέργειας και της χρήσης της.
 - ✚ Μείωση της κατανάλωσης των ζωικών προϊόντων συνολικά, και για τα ζωικά προϊόντα που καταναλώνονται, σύνδεση περισσότερο με την εκτατική κτηνοτροφία.
 - ✚ Μείωση της χρήσης της ενέργειας στον γεωργικό τομέα με τον ορθολογισμό της παραγωγής, και τοποθέτηση των καταναλωτών και των παραγωγών σε περισσότερο άμεση επαφή, τόσο εποχιακά όσο και γεωγραφικά.
2. Αύξηση της χρήσης της βιολογικής καλλιεργητικής ενέργειας. Η αύξηση αυτή εξειδικεύεται με τις παρακάτω ενέργειες:
- ✚ Αντιμετώπιση της ανθρώπινης ενέργειας ως ένα ολοκληρωμένο τμήμα της ενεργειακής ροής στη γεωργία μάλλον, παρά ως μια οικονομική κόστος που πρέπει να μειωθεί ή να εξαφανιστεί.
 - ✚ Επιστροφή συγκομισμένων θρεπτικών στοιχείων στο αγρόκτημα από το οποίο αυτά προήλθαν.
 - ✚ Περισσότερο εντατική χρήση της κοπριάς για τη διατήρηση της ποιότητας και της γονιμότητας του εδάφους.
 - ✚ Αύξηση της τοπικής και της μέσα στο αγρόκτημα χρήσης των γεωργικών προϊόντων, με σκοπό τη χαλάρωση των ενεργειακών κοστών των μεταφορών σε μεγάλες αποστάσεις.
 - ✚ Επέκταση της χρήσης του βιολογικού ελέγχου και της ολοκληρωμένης διαχείρισης των ανωφελών οργανισμών.
 - ✚ Ενθάρρυνση της παρουσίας των μυκορριζικών σχέσεων στις ρίζες των φυτών καλλιέργειας με σκοπό την χαλάρωση της ανάγκης για εξωτερικές εισροές.
3. Σχεδιασμός των αγροοικοσυστημάτων στα οποία οι βιολογικές και οι οικολογικές σχέσεις παρέχουν το μεγαλύτερο μέρος των εισροών σε θρεπτικά στοιχεία και βιομάζα και διαδικασίες ρύθμισης των πληθυσμών και έτσι να απαιτούνται για αυτούς χαμηλότερα επίπεδα εισροών καλλιεργητικής ενέργειας. Ο σχεδιασμός υλοποιείται με τις παρακάτω ενέργειες:
- ✚ Μεγαλύτερη χρήση των αζωτοδεσμευτικών φυτών καλλιέργειας, της χλωρής λίπανσης και των αμειψισπορών.
 - ✚ Μεγαλύτερη χρήση της βιολογικής διαχείρισης των ανωφελών οργανισμών μέσω της καλλιέργειας με φυτά κάλυψης, της συγκαλλιέργειας, ενθάρρυνση των ωφέλιμων οργανισμών, κλπ.
 - ✚ Εισαγωγή φυτών καλλιέργειας που είναι κατάλληλα ή προσαρμοσμένα στο τοπικό περιβάλλον, αντί της προσπάθειας αλλαγής του περιβάλλοντος για να αντιμετωπιστούν οι ανάγκες του φυτού καλλιέργειας.
 - ✚ Ενσωμάτωση ανεμοθραυστών, δένδροστοιχιών, και μη καλλιεργήσιμων εκτάσεων στα συστήματα καλλιέργειας για τη διαχείριση του βιοτόπου και του μικροκλίματος.
 - ✚ Σχεδιασμός αγροοικοσυστημάτων κάνοντας χρήση τοπικών φυσικών οικοσυστημάτων προτύπων.

4. Ανάπτυξη δεικτών αειφορικότητας σχετισμένων με την ενέργεια που ενσωματώνει τους παράλληλους στόχους της αποτελεσματικότητας, της παραγωγικότητας και της ανανεωσιμότητας.

Πολύ συχνά ακούγεται ο ισχυρισμός ότι, χωρίς τη συνεχή εντατική χρήση των ορυκτών καυσίμων η γεωργία δεν θα είναι ικανή να καλύψει την αυξανόμενη ζήτηση τροφίμων στον πλανήτη. Μολονότι η άποψη αυτή υπογραμμίζει την πρωτεύουσα πρόκληση που θα αντιμετωπίσουμε στις επερχόμενες δεκαετίες, εντούτοις αγνοεί, τόσο τη σοβαρότητα των προβλημάτων που προκλήθηκαν από τις παρούσες μεθόδους παραγωγής τροφίμων αλλά και τις πολύ πραγματικές και πρακτικές εναλλακτικές λύσεις που υπάρχουν και μπορούν να αναπτυχθούν, εάν η έρευνα κατευθυνθεί προς την ανάλυση του όλου συστήματος του αγροοικοσυστήματος.

Η ταχεία αύξηση της χρήσης της ενέργειας στη γεωργία, κατά τη διάρκεια του 20^{ου} αιώνα, άλλαξε ριζικά τη φύση της καλλιεργητικής πρακτικής. Με την κατανόηση της ενέργειας, ως ενός οικολογικού παράγοντα στη γεωργία και την χρήση και την ροή της, ως μια αναδυόμενη ποιότητα του όλου αγροοικοσυστήματος, είναι δυνατό να αναπτυχθούν πολύ καλύτερα μέσα για την αξιολόγηση των τρεχουσών πρακτικών, τα οποία θα συμβάλλουν ταυτόχρονα στην ανάπτυξη πρακτικών και των πολιτικών, οι οποίες εγκαθιστούν μια περισσότερο αειφόρο βάση για τα παγκόσμια συστήματα παραγωγής τροφίμων. Όσο περισσότερο αργοπορήσει μια τέτοια εναλλακτική λύση, με την οικολογικά στέρεα χρήση της ενέργειας και τα συστήματα μετατροπής της, τόσο ευπαθή και ευαίσθητα θα είναι τα τρέχοντα εξαρτημένα από την ενέργεια συστήματα.

19.6. Χρήσιμη συμπληρωματική βιβλιογραφία

Fluck, R. C. (ed.). 1992. *Energy in Farm Production*. Energy in World Agriculture. Volume 6. Elsevier: Amsterdam.

Odum, H. T. 1983. *Systems Ecology: An Introduction*. Wiley: New York.

Pimentel, D. (ed.). 1980. *Hand book of Energy Utilization in Agriculture*. CRC Press: Boca Raton, FL.

Pimentel, D., and M. Pimentel. (eds.). 1997. *Food, Energy, and Society*. Second Edition. University Press of Colorado: Niwot, CO.

Κεφάλαιο Εικοστό

Η αλληλεπίδραση μεταξύ αγροοικοσυστημάτων και φυσικών οικοσυστημάτων

20.1. Γενικά

Από την απαρχή της γεωργίας, τα αγροοικοσυστήματα τροποποίησαν και μετατόπισαν τα φυσικά χερσαία οικοσυστήματα από πρόσωπο Γης. Η συνεχής διαδικασία της μετατροπής των χερσαίων εκτάσεων σε εκτάσεις για την αγροτική παραγωγή είχε μια δραματική και συνάμα αρνητική επίδραση στην ποικιλότητα των οργανισμών και των οικολογικών διαδικασιών που σχηματίζουν το τοπίο. Μολονότι κάποιες άλλες μορφές της ανθρώπινης εκμετάλλευσης του περιβάλλοντος, όπως αυτές της αστικοποίησης και της εξόρυξης, έχουν επίσης συμβάλλει σε μια ευρείας κλίμακας διαφοροποίηση των βιοτόπων και την απώλεια της βιοποικιλότητας, η γεωργική παραγωγή, συμπεριλαμβανομένης της βόσκησης και της υλοτομίας, έχει μεγάλη ευθύνη για τις προκληθείσες περιβαλλοντικές αλλαγές σε παγκόσμια κλίμακα, αλλαγές οι οποίες απειλούν τα συστήματα υποστήριξης της ζωής της υφελίου.

Ένας από τους σπουδαιότερους σκοπούς της ανάπτυξης μιας αειφορικής γεωργίας είναι η αντιστροφή αυτής της παράδοσης, της παράδοσης της καταστροφής και της αδιαφορίας. Η γεωργική παραγωγή μπορεί να συντελεστεί με έναν τρόπο ο οποίος θα βοηθά στη διατήρηση των βιοτικών πόρων και θα προστατεύει την ποιότητα του περιβάλλοντος. Η αειφορική γεωργία λοιπόν, μοιράζεται με τη βιολογία της διατήρησης, πολλά κοινά ενδιαφέροντα και σκοπούς. Στο κεφάλαιο αυτό θα μας απασχολήσει το πώς αυτά τα δυο επιστημονικά πεδία συνεργάζονται για να ικανοποιήσουν τους παραπάνω στόχους.

Τόσο η αειφορική γεωργία, όσο και η βιολογία της διατήρησης έχουν ως κύριο προσανατολισμό τη διατήρηση της παραγωγικότητας των οικοσυστημάτων. Αμφότερες ενδιαφέρονται για την διατήρηση της βιοποικιλότητας και τον περιορισμό των

περιβαλλοντικά καταστρεπτικών πρακτικών. Μολονότι η πρώτη ασχολείται με τα διαχειριζόμενα συστήματα και η τελευταία με τα φυσικά συστήματα, η διαφορά αυτή ανάμεσα στα επιστημονικά πεδία καθίσταται ολοένα και πιο ασαφής. Εξ αιτίας των βαθιών επιδράσεων της ανθρώπινης δραστηριότητας σε όλα τα οικοσυστήματα, δεν είναι πλέον εφικτό να διατηρήσουμε την φυσική βιοποικιλότητα, προστατεύοντας απλώς τα φυσικά οικοσυστήματα από τις ανθρώπινες επιρροές. Όπως απέδειξαν κάποιες προσπάθειες για την αποκατάσταση των φυσικών βιοτόπων, φέρνοντας πίσω είδη από το χείλος της εξόντωσης, και προστατεύοντας ενδημικούς πληθυσμούς όλων των ειδών, η διατήρηση της φυσικής βιοποικιλότητας είναι ακριβώς ένα θέμα διαχείρισης, όπως άλλωστε είναι και η αγροτική παραγωγή.

Τόσο η διαχείριση του αγροοικοσυστήματος, όσο και η συντηρητική διαχείριση έχουν ως βάση την οικολογική γνώση. Όλα τα οικοσυστήματα, ανεξάρτητα από το μέγεθος της ανθρώπινης παρέμβασης που αυτά έχουν υποστεί, λειτουργούν κάτω από παρόμοιες αρχές, και οι ίδιοι παράγοντες καθορίζουν την αειφορική τους. Η κατανόηση της αλληλεπίδρασης του συμπλόκου έδαφος – φυτό – ζώο, για παράδειγμα, είναι σημαντικό τόσο για την ανάπτυξη των φυτών καλλιέργειας, όσο και για την αποκατάσταση κατεστραμμένων ή υποβαθμισμένων οικοσυστημάτων. Συνεπώς, έχοντας τις ρίζες της στην οικολογία, η αγροοικολογία παρέχει μια καλή βάση για ένα καρποφόρο συνδυασμό της γεωργίας και της συντηρητικής βιολογίας.

20.2. Το γεωργικό τοπίο

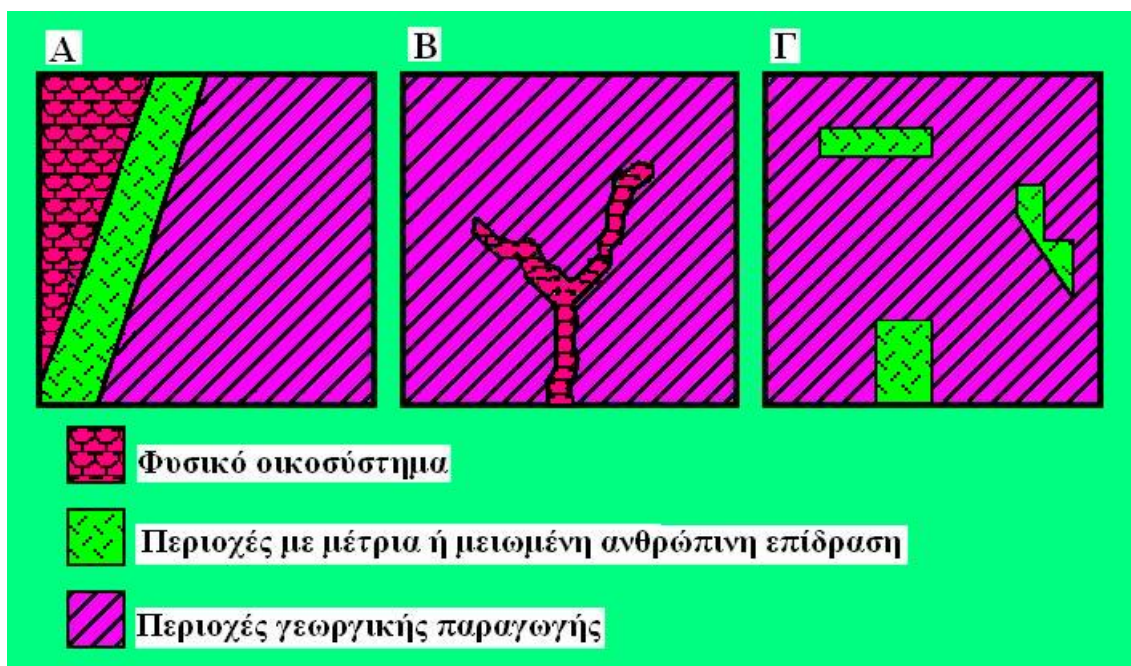
Η γεωργική ανάπτυξη μέσα σ' ένα πρότερο φυσικό οικοσύστημα τείνει να καταλήξει σ' ένα ετερογενές μωσαϊκό αποτελούμενο από τμήματα βιοτόπων διαφορετικών τύπων, διάσπαρτων σ' ένα τοπίο. Το έδαφος μπορεί να έχει διαχειριστεί εντατικά και συχνά να έχει διαταραχθεί για τους σκοπούς της γεωργικής παραγωγής, αλλά, κάποια τμήματα (υγρότοποι, παρόχθιοι διάδρομοι, λοφίσκοι) είναι δυνατόν να αφεθούν σε μια σχετικά φυσική κατάσταση, και άλλα σημεία (όρια μεταξύ των αγρών, περιοχές γύρω από κτίσματα, ερείσματα δρόμων, λωρίδες ανάμεσα στους αγρούς και γειτονικές φυσικές περιοχές) μπορεί κατά περίπτωση να διαταράσσονται, αλλά να μην διαχειρίζονται έντονα. Ακόμη, τα φυσικά οικοσυστήματα να περιβάλλουν ή να γειτνιάζουν με περιοχές στις οποίες κυριαρχεί η γεωργική παραγωγή.

Μολονότι το επίπεδο της ανθρώπινης επίδρασης στις χερσαίες επιφάνειες ποικίλει, σε ένα συνεχές που απλώνεται από την έντονη διαταραχή και τη διαχείριση μέχρι το απόλυτα άγριο τοπίο, μπορούμε να διαιρέσουμε το συνεχές αυτό σε τρεις τομείς, ώστε να έχουμε τρία βασικά είδη συστατικών του γεωργικού τοπίου:

1. **Περιοχές γεωργικής παραγωγής.** Οι περιοχές αυτές δημιουργήθηκαν από μη ενδημικά, εξημερωμένα είδη φυτών και είναι έντονα διαχειριζόμενες και σε κανονικά διαστήματα διαταρασσόμενες.
2. **Περιοχές μέτριας ή ελαττωμένης ανθρώπινης επίδρασης.** Η ενδιάμεση αυτή κατηγορία περιλαμβάνει λιβαδικές εκτάσεις, δάση διαχειριζόμενα για την παραγωγή ξυλείας, δενδροστοιχίες και άλλες περιοχές που βρίσκονται στα όρια των αγροοικοσυστημάτων και τέλος, αγροδοσικά συστήματα. Οι περιοχές αυτές δημιουργήθηκαν τυπικά από κάποια ανάμιξη των ενδημικών με τα μη ενδημικά είδη φυτών και είναι ικανές να λειτουργούν ως βιότοποι, για πολλά ενδημικά είδη ζώων.
3. **Φυσικές περιοχές.** Οι περιοχές αυτές διατηρούν κάποια ομοιότητα με τη δομή του αρχικού οικοσυστήματος και στην τοποθεσία η σύνθεση των ειδών είναι παρούσα με φυσικό τρόπο. Μολονότι αυτές οι περιοχές είναι μικρές σε μέγεθος,

περιέχουν κάποια μη ενδημικά είδη και υπόκεινται σε κάποια ανθρώπινη διαταραχή.

Τα τρία αυτά συστατικά του τοπίου, σε ποικίλους συνδυασμούς και διευθετήσεις, σχηματίζουν μια μορφή μωσαϊκού του τυπικού γεωργικού τοπίου.



Εικόνα 20.1. Παραδείγματα τριών κοινών μορφών στην τοποθέτηση των συστατικών στο γεωργικό τοπίο. Ένα φυσικό οικοσύστημα και ένα αγροοικοσύστημα είναι δυνατόν να διαχωρίζονται από μια περιοχή μέτριας ανθρώπινης επιρροής (Α), ένα φυσικό οικοσύστημα μπορεί να σχηματίζει ένα διάδρομο, λωρίδα ή τεμάχιο μέσα σε ένα αγροοικοσύστημα (Β), και περιοχές λιγότερο έντονης ανθρώπινης διαχείρισης μπορεί να είναι διασκορπισμένες μέσα σε μια ευρύτερη περιοχή αγροτικής παραγωγής (Γ).

20.2.1. Μορφές τοπίου

Μέσα στο μωσαϊκό του τοπίου υπάρχουν τρεις κοινές, αναγνωρίσιμες μορφές, ανάλογα με τον τρόπο με τον οποίο τα τρία συστατικά διευθετούνται σε σχέση το ένα με το άλλο:

1. Μια φυσική περιοχή και μια περιοχή διαχειριζόμενη για την γεωργική παραγωγή διαχωρίζονται από μια περιοχή μέτριας ή μειωμένης ανθρώπινης επίδρασης.
2. Φυσικές περιοχές σχηματίζουν λωρίδες, διαδρόμους ή τεμάχια μέσα σε μια περιοχή γεωργικής παραγωγής.
3. Περιοχές μέτριας ή μειωμένης ανθρώπινης επίδρασης διασκορπίζονται ανάμεσα σε μια περιοχή γεωργικής παραγωγής.

Οι τρεις αυτές μορφές, που εμφανίζονται στην **Εικόνα 20.1**, μπορούν να συνδυαστούν και να διευθετηθούν με πολλούς διαφορετικούς τρόπους.

Την πλέον σημαντική μεταβλητή στην μωσαϊκή μορφή του γεωργικού τοπίου αποτελεί ο βαθμός ετερογένειας του τοπίου ή ο βαθμός της ποικιλότητάς του. Τα τοπία είναι σχετικά ομοιογενή, όταν κυριαρχούν οι περιοχές της γεωργικής παραγωγής, αδιάσπαστες από τεμάχια ή λωρίδες των συστατικών των δύο άλλων ειδών του τοπίου. Αντιθέτως, τα ετερογενή τοπία παρουσιάζουν ένα πλούτο από μη καλλιεργούμενα και φυσικά τεμάχια.

Κατά περιοχή, η ετερογένεια του γεωργικού τοπίου ποικίλει σε μεγάλο βαθμό. Σε κάποια μέρη του πλανήτη (π.χ. μεσοδυτικές ΗΠΑ), η βαριά χρήση των αγροχημικών και της μηχανικής τεχνολογίας, οι στενές γενετικές γραμμές και η άρδευση σε μεγάλες περιοχές έχουν καταστήσει το τοπίο σχετικά ομοιογενές. Στις περιοχές αυτές, το γεωργικό τοπίο δημιουργήθηκε κυρίως από μεγάλες περιοχές γεωργικής παραγωγής από ένα και μόνο φυτό καλλιέργειας. Σε άλλες περιοχές (π.χ. στην επαρχία Jiangsu της περιοχής Yangtze, στην Κίνα), η χρήση των παραδοσιακών καλλιεργητικών πρακτικών με ελάχιστες βιομηχανικές εισροές έχουν ως αποτέλεσμα ένα ποικίλο, υψηλά ετερογενές τοπίο, πιθανόν περισσότερο ετερογενές απ' ό,τι προηγουμένως ήταν.

Το τυπικό γεωργικό τοπίο, λόγω της εν ήδη μωσαϊκού εμφάνισής του, είναι οικολογικά ένα διασπασμένο περιβάλλον. Κάθε τεμάχιο είναι ένα τμήμα απομονωμένο από τα άλλα, όμοια με αυτό τεμάχια, μετά από την παρέμβαση κάποιου τύπου οικολογικά ανόμοιας κοινότητας. Από την μια πλευρά, η διάσπαση αυτή μπορεί να έχει αρνητικές επιπτώσεις στους πληθυσμούς, αφού τους περιορίζει σ' ένα συγκεκριμένο τύπο βιοτόπου. Από την άλλη πλευρά όμως, ένα διασπασμένο, ετερογενές τοπίο έχει υψηλή γάμα ποικιλότητα. Όπως θα δούμε στο επόμενο μέρος, η αποτελεσματική διαχείριση στο επίπεδο του τοπίου εμπεριέχει επαυξημένη γάμα ποικιλότητα και αποκτά τα πλεονεκτήματα των ευεργετημάτων της, ενώ ταυτόχρονα, υποβαθμίζει τις πιθανές αρνητικές συνέπειες της διάσπασης του βιοτόπου.

20.2.2. Ανάλυση του τοπίου

Στο επίπεδο του τοπίου, η κίνηση των οργανισμών και των ουσιών ανάμεσα στα τεμάχια του βιοτόπου καθίσταται ο κρίσιμος παράγοντας για τη διατήρηση των συνολικών οικολογικών διαδικασιών. Σημαντική είναι επίσης, η αλληλεπίδραση των οργανισμών και των φυσικών διαδικασιών που βρίσκονται σε διαφορετικά τεμάχια βιοτόπων. Αυτό που συμβαίνει σε μια περιοχή του τοπίου μπορεί να έχει επίπτωση σε άλλες περιοχές. Η μελέτη των παραγόντων αυτών και το πώς σχηματίζονται από τη κατά χώρο διαμόρφωση του τοπίου, είναι γνωστή ως οικολογία τοπίου. Επειδή αυτό μας βοηθά στο να κατανοήσουμε πώς σχηματίζονται τα διαφορετικά τμήματα του μωσαϊκού του τοπίου και πώς αυτά αλληλεπιδρούν, η οικολογία τοπίου παρέχει μια καλή βάση για τη διαχείριση του γεωργικού τοπίου (Barret *et al.* 1990).

Δύο σημαντικά εργαλεία της οικολογίας τοπίου είναι η αεροφωτογραφίες και η ανάλυση του συστήματος γεωγραφικής πληροφόρησης (GIS). Με τη χρήση των εργαλείων αυτών, οι παρούσες μορφές τοπίου μπορούν να συγκριθούν με αυτές που είχαν παρατηρηθεί στο παρελθόν. Οι αλλαγές που συνέβησαν μπορούν στη συνέχεια να συσχετιστούν με τα δεδομένα των καλλιεργητικών συστημάτων, ώστε να είμαστε σε θέση να κατανοήσουμε το ρόλο των αγροοικοσυστημάτων στη διατήρηση της σταθερότητας και της αειφορικότητας των συστημάτων τοπίου, στοιχεία που παρέχουν τη βάση για το σχεδιασμό των διαχειριστικών σχημάτων, αφού λαμβάνουν υπόψη τους όλα τα στοιχεία του τοπίου (Lowrance *et al.* 1986).

Κάθε μορφής ιστορικά δεδομένα των μορφών του τοπίου μπορεί να είναι χρήσιμα στην ανάλυση του γεωργικού τοπίου. Δεδομένα των γεωργικών απογραφών μπορεί να είναι ιδιαίτερα σημαντικά για τον καθορισμό των τύπων των φυτών καλλιέργειας που έχουν αναπτυχθεί σε μια περιοχή και πώς αυτά έχουν αναπτυχθεί. Τα δεδομένα αυτά, όταν συνδυάζονται με αεροφωτογραφίες, μπορούν να παράσχουν τις ποσοτικές αξίες που θα επιτρέψουν στον αναλυτή να καθορίσει τον αριθμό των στοιχείων του τοπίου που κατά καιρούς παρουσιάζονται (π.χ. καλλιεργούμενοι αγροί, λιβάδια, παραποτάμιοι διάδρομοι, δασικά τμήματα). Όταν τα δεδομένα αυτά

υποβληθούν σε ανάλυση GIS, μπορεί να καταστούν ένας δυναμικός τρόπος οπτικοποιημένων μορφών και σχέσεων της δομής του τοπίου μέσα στο χρόνο.

Με τη γνώση των γεωργικών πρακτικών που χρησιμοποιήθηκαν στο παρελθόν σε κάθε συγκεκριμένο τοπίο, σε συνδυασμό με τη γνώση του πώς αλληλεπιδρούν τα διαφορετικά συστατικά του τοπίου, καθίσταται εφικτό να αντιληφθούμε πως οι καλλιεργητικές πρακτικές επιδρούν πάνω στα μη καλλιεργητικά στοιχεία ενός τοπίου και τούμπαλιν. Οι ρυθμοί διάβρωσης του εδάφους, οι εισροές λιπασμάτων, οι εφαρμογές των εντομοκτόνων, η άρδευση, οι τύποι των φυτών καλλιέργειας και η ποικιλότητα, αλλά και οι άλλες πρακτικές και διαδικασίες μπορούν να γίνουν κατανοητές σε όρους μορφών του τοπίου. Με βάση τη γνώση αυτή, οι συστάσεις για την αλλαγή, είτε των μορφών καλλιέργειας, είτε των πρακτικών που μπορεί να γίνουν και οι αποφάσεις για τον σχεδιασμό της διαχείρισης, είναι δυνατό να ξεπεράσουν το επίπεδο του αγροκτήματος και να φτάσουν στο ευρύτερο περιεχόμενο του τοπίου.

20.3. Διαχείριση στο επίπεδο του τοπίου

Όταν η διαχείριση του αγροοικοσυστήματος διεξάγεται στο επίπεδο του γεωργικού τοπίου, ο ανταγωνισμός που τόσο συχνά υπάρχει ανάμεσα στα ενδιαφέροντα των φυσικών οικοσυστημάτων και των διαχειριζόμενων για γεωργική παραγωγή συστημάτων, μπορεί να αντικατασταθεί από μια σχέση αμοιβαίου συμφέροντος. Τα τεμάχια των φυσικών και οι ημι-φυσικών οικοσυστημάτων που περιέχονται σε ένα τοπίο μπορεί να γίνουν ένας πόρος για τα αγροοικοσυστήματα και τα αγροοικοσυστήματα είναι δυνατόν να αναλάβουν ένα θετικό μάλλον παρά ένα αρνητικό ρόλο στη διατήρηση της ολοκλήρωσης των φυσικών οικοσυστημάτων.

Η έννοια της διαχείρισης στο επίπεδο του τοπίου δεν σημαίνει αναγκαστικά την διαχείριση σε συνεργασία με πολλούς ιδιοκτήτες μιας γεωργικής περιοχής (διάφοροι κτηματίες, κυβερνητικοί παράγοντες, συμφέρονται διατήρησης, κλπ.). Στην ουσία, αυτή σχετίζεται με την εισαγωγή των φυσικών οικοσυστημάτων και της τοπικής ποικιλότητας στις διαχειριστικές αποφάσεις και τον σχεδιασμό. Έτσι, η διαχείριση στο επίπεδο του τοπίου μπορεί να εφαρμοστεί από έναν ανεξάρτητο παραγωγό που να έχει άμεσο έλεγχο πάνω σε ένα μόνο μικρό κομμάτι του γεωργικού τοπίου μιας περιοχής.

Κατά την εφαρμογή της διαχείρισης στο επίπεδο του τοπίου, η καθοδηγούσα αρχή είναι η διαφοροποίηση του γεωργικού τοπίου, με την αύξηση της πυκνότητας, του μεγέθους, του πλούτου και της ποικιλίας των βιοτόπων των μη καλλιεργούμενων τεμαχίων. Τα τεμάχια αυτά είναι δυνατό να ποικίλουν στο επίπεδο της διαταραχής τους και της «φυσικότητας». Αυτό που μοιράζονται κοινά όμως, είναι η ικανότητα να αποτελούν τοποθεσίες όπου μπορεί να συμβούν οι φυσικές οικολογικές διαδικασίες και όπου μπορούν τα ενδημικά ή ωφέλιμα είδη φυτών και ζώων να βρουν ένα κατάλληλο βίοτοπο.

Οι βιότοποι των μη καλλιεργούμενων τεμαχίων σ' ένα γεωργικό τοπίο μπορούν να αλληλεπιδρούν με τις περιοχές γεωργικής παραγωγής, με μια ποικιλία τρόπων. Μια περιοχή, μη καλλιεργούμενος βίοτοπος δίπλα σε ένα καλλιεργούμενο αγρό για παράδειγμα, μπορεί να φιλοξενήσει πληθυσμούς ενδημικών παρασιτικών ειδών σφήκας που μπορούν να μετακινηθούν προς τον αγρό και να παρασιτήσουν σε έναν ανωφελή οργανισμό. Ένας παραποτάμιος διάδρομος που η βλάστησή του αποτελείται από ενδημικά είδη φυτών μας δίνει το παράδειγμα μιας περισσότερο πολύπλοκης σχέσης: Ο διάδρομος μπορεί να φιλτράρει τα διασπώμενα στοιχεία από τα λιπάσματα που αποπλένονται από τους καλλιεργούμενους αγρούς, να προωθήσει την παρουσία των ωφέλιμων ειδών και να επιτρέψει την μετακίνηση των ενδημικών ζώων μέσα στα γεωργικά στοιχεία του τοπίου και δια μέσου αυτών σε κάποια άλλα.

Όπως, μπορούμε να δούμε στα παραδείγματα αυτά, η διαφοροποίηση στο επίπεδο του τοπίου, προσφέρει οφέλη τόσο στα ενδημικά είδη, όσο και στα αγροοικοσυστήματα. Όταν η διαφοροποίηση σχεδιάζεται και διαχειρίζεται προσεκτικά, τα οφέλη αυτά είναι δυνατό να μεγιστοποιηθούν και οι πιθανές αρνητικές επιπτώσεις να ελαχιστοποιηθούν. Η αποτελεσματική διαχείριση στο επίπεδο του τοπίου γίνεται έτσι, ένας σημαντικός παράγοντας για την επίτευξη της αιφορικότητας.

20.3.1. Διαφοροποίηση στο επίπεδο του αγροκτήματος

Το πρώτο βήμα για την επίτευξη ενός περισσότερο ποικίλου γεωργικού τοπίου σ' ένα ανεξάρτητο αγρόκτημα, είναι η μείωση ή η εξαφάνιση κάθε γεωργικής εισροής που έχει αρνητική επίπτωση στα φυσικά οικοσυστήματα και την οικολογική λειτουργία του αγροοικοσυστήματος. Τα εντομοκτόνα είναι τα πλέον προφανή από αυτές τις εισροές, αλλά τα ανόργανα λιπάσματα και η άρδευση είναι δυνατό επίσης να έχουν αρνητικές επιπτώσεις. Επιπροσθέτως, μαζί με την διαφοροποίηση του τοπίου μπορεί να παρέμβει και ένας αριθμός κοινών καλλιεργητικών πρακτικών. Αυτές είναι η συχνή άρση, η παραμονή των αγρών χωρίς κάλυψη του εδάφους για μεγάλες χρονικές περιόδους, η φύτευση μεγάλης κλίμακας μονοκαλλιεργειών, και ο ψεκασμός των πλευρών των δρόμων και των αυλακών.

Το επόμενο βήμα είναι η ενθάρρυνση και η διατήρηση της παρουσίας των ενδημικών ειδών στο αγρόκτημα, που περιλαμβάνει κυρίως την εγκατάσταση και την προστασία των κατάλληλων βιοτόπων. Οι βιότοποι αυτοί μπορεί να είναι μέσα στους αγρούς του αγροκτήματος, ανάμεσα στους αγρούς, κατά μήκος των αγροτικών δρόμων, σε αύλακες, κατά μήκος ορίων ιδιοκτησίας, ή στα όρια που χωρίζουν τους αγρούς από τις κτηριακές εγκαταστάσεις. Οι βιότοποι μπορεί να είναι μόνιμες λωρίδες ή τετράγωνα φυτεμένα με διάφορα μη καλλιεργούμενα πολυετή είδη ή ακόμη προσωρινά τεμάχια μέσα στους αγρούς. Ανάμεσα στις μεθόδους με τις οποίες δημιουργούνται τέτοιοι βιότοποι περιλαμβάνονται και οι παρακάτω:

- ✚ Η φύτευση ενός φυτού κάλυψης κατά τους χειμερινούς μήνες. Το φυτό καλλιέργειας μπορεί να παράσχει κρίσιμη τροφή για μια πλειάδα ειδών ζώων, ειδικά σε πτηνά που κάνουν τις φωλιές τους στο έδαφος.
- ✚ Η παραμονή λωρίδων χωρίς συγκομιδή του φυτού καλλιέργειας, που θα είναι ο αραβόσιτος ή το σιτάρι. Τα είδη αυτά μπορούν να παράσχουν διατροφικούς πόρους στα ενδημικά είδη ζώων.
- ✚ Όπου στο αγρόκτημα είναι απαραίτητος ο έλεγχος της διάβρωσης, φύτευση ποωδών φυτών στις διαδρομές του νερού, ώστε να επαυξηθεί η ποικιλότητα και να επιτευχθούν οι σκοποί της σημαντικής περιβαλλοντικής προστασίας.
- ✚ Στην περίπτωση των αναβαθμών σε λόφους, φύτευση πολυετών αγρωστωδών ή θάμνων στις όχθες ή τους τοίχους που χωρίζουν τους αναβαθμούς.
- ✚ Φύτευση πολυετών ειδών στα εδάφη που είναι οριακά ή επιρρεπή στη διάβρωση, ή αποκατάσταση της επιφάνειας αυτής με μια περισσότερο φυσική κατάσταση, η οποία θα επιτρέπει τη φυσική διαδοχή των ενδημικών ειδών.
- ✚ Αποκατάσταση των ευρισκόμενων στο αγρόκτημα πενιχρά στραγγισμένων ή ημι-μόνιμων υγροτόπων με τη μετατροπή τους σε φυσικούς υγροτόπους.
- ✚ Διατήρηση ενδημικών δένδρων στους περίξ αγρούς που θα χρησιμοποιούνται ως φωλιές, θέσεις κυνηγιού ενδημικών πτηνών.
- ✚ Παροχή τεχνητών θέσεων για ενδημικούς θηρευτές και κουτιά πτηνών για άλλα πιθανώς ωφέλιμα είδη πτηνών.

Στο τροποποιημένο σε υψηλό βαθμό γεωργικό τοπίο, στ οποίο έχει παραμείνει ένα μικρό μέρος βιοτόπων ή κανένας από αυτούς, όλα τα παραπάνω μέτρα είναι πολύ σημαντικά για την αποκατάσταση, σε κάποιο βαθμό, της βιοποικιλότητας του τοπίου.

20.3.2. Όρια και εισδοχές του αγροκτήματος

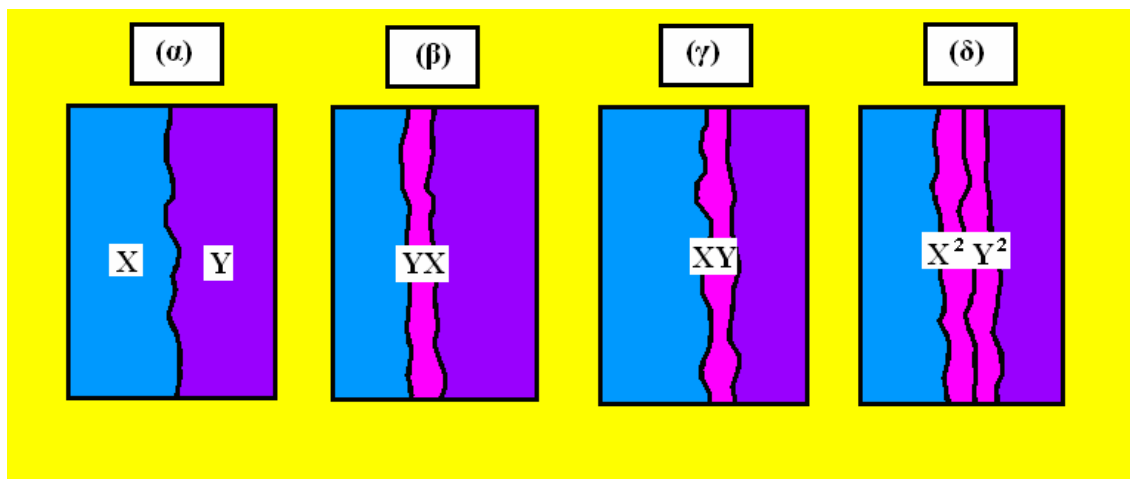
Όπου γύρω και μέσα στο γεωργικό τοπίο υπάρχουν σχετικά εκτεταμένα μη καλλιεργούμενα φυσικά οικοσυστήματα, τα κοινά όρια ή οι ζώνες μετάβασης ανάμεσα στα τελευταία και τις διαχειριζόμενες για τη γεωργική παραγωγή περιοχές δημιουργούν μια σημαντική οικολογική σπουδαιότητα. Αυτό ισχύει ιδιαίτερα στις περιοχές όπου υπήρχε σημαντική τοπογραφική, γεωλογική και μικροκλιματική ποικιλομορφία, πριν αυτές μετατραπούν σε καλλιεργήσιμες εκτάσεις. Σε συνάφεια με την ιστορία της διαχείρισής τους, τα όρια και οι εισδοχές μπορούν να είναι ξεκομμένα και να περιγράφονται επακριβώς ή να είναι ευρέα και ο καθορισμός τους να είναι ασαφής. Όταν υπάρχει μια βαθμιαία ζώνη μετάβασης ανάμεσα στην καλλιεργούμενη έκταση και τη φυσική βλάστηση (όπως συμβαίνει για παράδειγμα, ανάμεσα στα σκιάζοντα δένδρα τη φυτεία του κακάο και το περιβάλλον τη φυτεία φυσικό δάσος) δημιουργείται ένας **οικοτόνος**. Τέτοιες μεταβατικές ζώνες συχνά αναγνωρίζονται από μόνοι τους ως διακριτοί βιότοποι, ικανοί να υποστηρίξουν μοναδικά μίγματα ειδών. Σε πολλές καταστάσεις αυτές δημιουργούνται από διαδοχικά είδη τα οποία προέρχονται από αμφότερα τα συστήματα, ήτοι και το φυσικό οικοσύστημα και το διαχειριζόμενο αγροοικοσύστημα.

20.3.2.1. Δημιουργία ωφελειών για το αγροοικοσύστημα

Οι εισδοχές που είναι οικοτονικές στη φύση, ακόμη και όταν είναι σχετικά στενές, είναι δυνατό να παίξουν σημαντικούς ρόλους σ' ένα γεωργικό τοπίο. Αφού οι περιβαλλοντικές συνθήκες που υπάρχουν σε μια εισδοχή είναι μεταβατικές μεταξύ του βιοτόπου του αγροκτήματος και του φυσικού βιοτόπου, είδη από αμφότερους τους βιοτόπους μπορούν να συνυπάρξουν σ' αυτές, μαζί με άλλα είδη που επιθυμούν πραγματικά τις ενδιάμεσες καταστάσεις. Πολύ συχνά, η ποικιλία και η πυκνότητα της μορφής ζωής είναι συχνά μεγαλύτερες μέσα και γύρω από τις εισδοχές και τους οικοτόνους. Το φαινόμενο αυτό έχει αποκληθεί **επίδραση της εισδοχής** (edge effect). Η επίδραση της εισδοχής επηρεάζεται από την ποσότητα του διαθέσιμου χώρου της εισδοχής δηλαδή το μήκος, το πλάτος και το βαθμό αντίθεσης μεταξύ όμορων φυτοκοινοτήτων. Όσο μεγαλύτερη είναι η αντίθεση μεταξύ των όμορων φυτοκοινοτήτων τόσο μεγαλύτερη θα είναι η αφθονία των ειδών (**Εικόνα 20.2**).

Για τα καλλιεργητικά συστήματα, τα οφέλη από έναν βιότοπο εισδοχής έχουν καταστεί αρκετά γνωστά. Σε μια ενδελεχή ανασκόπηση του θέματος της επίδρασης των γειτονικών βιοτόπων στους πληθυσμούς των εντόμων στους καλλιεργούμενους αγρούς, ο Altieri (1994β) υποστηρίζει ότι οι εισδοχές είναι σημαντικοί βιότοποι για την αναπαραγωγή και την προστασία μιας ευρείας γκάμας φυσικών παραγόντων βιολογικού ελέγχου των ανωφελών οργανισμών για τη γεωργία. Κάποιοι ωφέλιμοι οργανισμοί δεν έλκονται, ούτε είναι ικανοί να επιβιώσουν επί μακρόν στο διαταραγμένο περιβάλλον του καλλιεργούμενων αγρών, ειδικά εκείνων όπου εφαρμόζονται τα εντομοκτόνα. Αντ' αυτού, επιλέγουν να μετακινούνται από την εισδοχή στους αγρούς, χρησιμοποιώντας τους αγρούς ως θέσεις εναπόθεσης των αυγών τους, ή ως θέσεις για τη διατροφή τους.

Κάποιοι άλλοι ωφέλιμοι οργανισμοί, για να επιβιώσουν στις περιόδους που οι καλλιεργούμενοι αγροί δεν έχουν πληθυσμούς των πρωτογενών ξενιστών τους, εξαρτώνται από εναλλακτικούς ξενιστές, οι οποίοι βρίσκονται στο σύστημα της εισδοχής, όπως για παράδειγμα, κατά την διάρκεια μια ξηρής περιόδου ή εάν δεν υπάρχει καλλιέργεια. Καθώς έχουμε διδαχθεί πολλά για τις απαιτούμενες συνθήκες στις περιοχές των εισδοχών στις οποίες θα διασφαλίζονται οι ποικίλοι και αποτελεσματικοί ωφέλιμοι πληθυσμοί, η σωστή διαχείριση των μεταβατικών αυτών περιοχών μπορεί να καταστεί μέρος της διαδικασίας διαχείρισης του τοπίου.



Εικόνα 20.2. Εισδοχή και τύποι οικοτόνου που μπορούν να αναπτυχθούν. **(α)** αλλαγή, στενή εισδοχή χωρίς καμιά ανάπτυξη οικοτόνου. **(β)** Στενός οικοτόνος που δημιουργείται με την προέλαση της Y κοινότητας στην κοινότητα X. **(γ)** Η κοινότητα X προελαύνει και εισέρχεται στην κοινότητα Y για να δημιουργήσει τον οικοτόνο XY. **(δ)** Ιδανική ανάπτυξη οικοτόνου, στον οποίο τα φυτά από τις δύο κοινότητες αλληλοεπελαύνουν για να δημιουργήσουν ένα ευρύ οικοτόνο X^2Y^2 . Ο τύπος αυτός του οικοτόνου θα εξυπηρετήσει τα περισσότερα είδη εισδοχής.

Η διαχείριση των εισδοχών θα εξαρτηθεί κατά ένα μέρος από τον καθορισμό της κατάλληλης κατά χώρο σχέσης τους με τις καλλιεργούμενες εκτάσεις. Ποια είναι όμως η ιδανική αναλογία του βιοτόπου της εισδοχής με την καλλιεργούμενη περιοχή; Πόσο κοντά στο βίοτοπο της εισδοχής πρέπει να φυτεύεται ένα φυτό καλλιέργειας, ώστε αυτό να επωφεληθεί από τους εξαρτημένους από την εισδοχή ωφέλιμους οργανισμούς; Τέτοια ερωτήματα είναι ανάγκη να απευθύνονται ώστε να αριστοποιηθούν οι ωφέλειες για τα αγροοικοσυστήματα και να επαυξηθεί η περιφερειακή βιοποικιλότητα.

20.3.2.2. Προστασία διπλανών φυσικών οικοσυστημάτων

Εάν μεταβάλλουμε την προοπτική των ενδιαφερόντων μας και την κατευθύνουμε προς τον τομέα της υγείας των φυσικών οικοσυστημάτων που βρίσκονται στην άλλη πλευρά της εισδοχής, η εισδοχή είναι δυνατό να δούμε ότι λειτουργεί ως μια **διαφραγματική ζώνη** (buffer zone), η οποία προστατεύει το φυσικό σύστημα από τις πιθανές αρνητικές επιπτώσεις κατά την άσκηση της γεωργίας, της δασοπονίας ή της βόσκησης. Η εισδοχή, λειτουργούσα ως διάφραγμα, τροποποιεί τα χαρακτηριστικά της ροής του ανέμου, των επιπέδων υγρασίας, της θερμοκρασίας και της ηλιακής ακτινοβολίας που προέρχονται από τον καλλιεργούμενο αγρό, έτσι ώστε, οι περιβαλλοντικές αυτές συνθήκες να μην έχουν μεγάλη επίπτωση στο γειτονικό

φυσικό οικοσύστημα (Ranney *et al.* 1981). Η μετατροπή είναι ιδιαίτερα σημαντική για τα είδη που διαβιούν στον υπόροφο της δασικής βλάστησης. Μια «εχθρική» εισδοχή μπορεί να επιτρέψει στον άνεμο, τη θερμότητα και το ισχυρό φως να διεισδύσουν στο δάσος και να ζημιώσουν τη σύνθεση της βλάστησης.

Οι διαφραγματικές ζώνες έχουν επίσης να διαδραματίσουν και άλλους ρόλους. Για παράδειγμα, μπορούν να εμποδίσουν την φωτιά να επεκταθεί από τον ανοικτό βιότοπο ενός καλλιεργητικού συστήματος προς το φυσικό οικοσύστημα. Μια τέτοια προστασία είναι ιδιαίτερα σημαντική για τις περιοχές στις οποίες η φωτιά χρησιμοποιείται για την καύση των καλλιεργητικών υπολειμμάτων, φυσικά όταν εφαρμόζονται ανάλογες πρακτικές.

Μια μελέτη που έγινε στην κεντρική ακτή της California, έδειξε με ποιο τρόπο οι διαφραγματικές ζώνες απαλύνουν αποτελεσματικά την επίδραση της γεωργίας στα γειτονικά φυσικά οικοσυστήματα (Brown 1992). Μέσα και γύρω από την περιοχή μελέτης, υπήρχαν λόφοι στους οποίους τα εδάφη της πλαγιάς ήταν επιρρεπή στην έντονη διάβρωση και την απόπλυση, με κατεύθυνση προς την κοίτη ενός υγροτόπου. Στα πόδια των λόφων αναπτύσσεται η καλλιέργεια της φράουλας. Οι ρυθμοί διάβρωσης ξεπερνούν τους 15 τόνους εδάφους ανά στρέμμα στα υγρά έτη. Επιπρόσθετα, προς την κοίτη αποπλένονται τα νιτρικά, με τη βοήθεια των κατακρημνισμάτων ή της άρδευσης, ενώ τα φωσφορικά και τα υπολείμματα των εντομοκτόνων ενσωματώνονται με τα μόρια του εδάφους που προέρχονται από τη διάβρωση και καταλήγουν και αυτά στην κοίτη, συμβάλλοντας έτσι, στην υποβάθμιση του οικοσυστήματος του υγροτόπου (Soil Conservation Service 1984). Σε μια προσπάθεια να εμποδιστούν οι αρνητικές αυτές επιπτώσεις, φυτεύτηκε μια διαφραγματική ζώνη ανάμεσα στους αγρούς με την εντατική καλλιέργεια της φράουλας και της κοίτης του υγροτόπου. Επειδή η προϋπάρχουσα βλάστηση αποτελείτο από παραθαλάσσια ποώδη είδη και θαμνώνες, φυτεύτηκαν ενδημικά πολυετή αγρωστώδη σε πυκνές λωρίδες που είχαν πλάτος από 20 έως 25 μέτρα. Αμέσως μετά την εγκατάσταση, η κάλυψη της ποώδους βλάστησης παγίδευσε αποτελεσματικά τα εδαφικά μόρια και προσέλαβε τα διαλυτά θρεπτικά στοιχεία, περιορίζοντας έτσι, τόσο την διάβρωση, όσο και την ροή των νιτρικών, των φωσφορικών και των εντομοκτόνων προς την κοίτη του υγροτόπου. Η διαφραγματική ζώνη επίσης, λειτούργησε ως μια δυναμική δεξαμενή ωφέλιμων οργανισμών που προέρχονταν από τους καλλιεργούμενους αγρούς.

Οι διαφραγματικές ζώνες έχουν καταστεί σημαντικά στοιχεία για την σε οικολογική βάση ανάπτυξη (οικοανάπτυξη) προγραμμάτων σε πολλά αγροτικά μέρη του κόσμου (Gregg 1991). Στις περιοχές όπου τα φυσικά οικοσυστήματα έχουν ξεχερσωθεί και έχουν αντικατασταθεί από τα καλλιεργητικά συστήματα και τα συστήματα βόσκησης, οι διαφραγματικές ζώνες μπορούν να προστατεύσουν τα δάση από περεταίρω προσβολές και να προσφέρουν μια περιοχή, στην οποία μπορούν να υλοποιηθούν οι ανθρώπινες δραστηριότητες. Οι παραδοσιακές δραστηριότητες στη χρήση της γης, στις οποίες συμπεριλαμβάνονται η δασοπονία των αειφορικών καρπώσεων, η καλλιέργεια στο υπόροφο των δένδρων, τα αγροδασικά συστήματα, και η συλλογή του υλικού των ενδημικών φυτών ή ζώων, επιτρέπεται στην διαφραγματική ζώνη, όσο η δομή του δάσους στο διάφραγμα διατηρείται και τα παρακείμενα δάση προστατεύονται. Σε μια ιδανική κατάσταση, το δασικό οικοσύστημα διατηρείται, η περιορισμένη οικονομική δραστηριότητα συνεχίζεται στο διάφραγμα και οι εντατικές καλλιεργητικές δραστηριότητες υλοποιούνται στις παρακείμενες αποδασωμένες εκτάσεις. Η επιτυχία των προγραμμάτων αυτών έχει περιοριστεί λόγω του εύρους των κοινωνικών, οικονομικών και πολιτικών αιτίων (Alcorn 1991), αλλά η έννοια υπόσχεται πολλά, ως ένας σημαντικός τρόπος ολοκλήρωσης των στόχων της αειφόρου γεωργίας και της διατήρησης της βιοποικιλότητας.

20.3.3. Η οικολογία της κατάτμησης

Η κατάτμηση του γεωργικού τοπίου έχει μια βαθειά επίδραση στις οικολογικές διαδικασίες που συμβαίνουν στο τοπίο. Τεμάχια με παρόμοιες βιοτόπους μπορεί να είναι απομονωμένα μεταξύ τους, αλλά η γάμα ποικιλότητα είναι πιθανά υψηλή. Σε ένα τέτοιο περιεχόμενο, το μέγεθος και το σχήμα των τεμαχίων και η απόσταση μεταξύ τους, είναι σημαντικοί παράγοντες που καθορίζουν μακροχρόνια την ποικιλότητα του τοπίου.

Όταν οι σε υψηλό βαθμό τροποποιημένες γεωργικές εκτάσεις διαχωρίζουν τα τεμάχια του φυσικού οικοσυστήματος, τα τεμάχια αυτά είναι οικολογικά ανάλογα με τα νησιά. Σύμφωνα με τη θεωρία της νησιωτικής βιογεωγραφία, την οποία παρουσιάσαμε στο Δέκατο Έβδομο Κεφάλαιο, μπορούμε να υποθέσουμε ότι τα φυσικά οικοσυστήματα και τα αγροοικοσυστήματα μπορούν να δημιουργήσουν εμπόδια μεταξύ τους στην κίνηση των διαφορετικών ειδών φυτών και ζώων. Ένας πληθυσμός ενός συγκεκριμένου είδους που υπάρχει σ' ένα τεμάχιο, μπορεί να είναι απομονωμένος από άλλους πληθυσμούς, εκτός αν μεταξύ των τεμαχίων μπορεί να συμβεί συχνή ανταλλαγή των ατόμων και κάθε ένας υποπληθυσμός μπορεί να καταστεί υποκείμενο, είτε στη γενετική απομόνωση, είτε την εξόντωση.

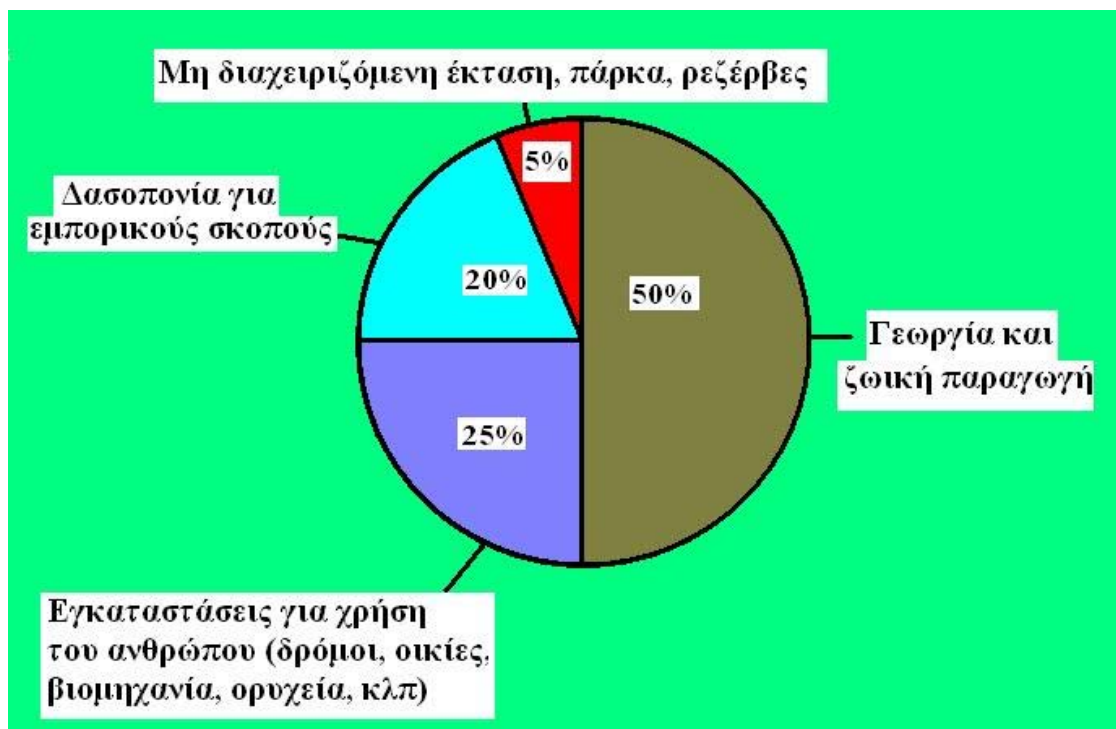
Επειδή τα τεμάχια του φυσικού οικοσυστήματος παρέχουν καταφύγια για τους γεωργικά ωφέλιμους οργανισμούς, όπως επίσης, μπορεί να παρέξει ποικίλες άλλες περιβαλλοντικές υπηρεσίες, υπάρχει ένα σημαντικό πλεονέκτημα στον καθορισμό της άριστης πυκνότητας, του πλούτου και της εμφάνισης των τεμαχίων του φυσικού οικοσυστήματος, σε σχέση με τις περιοχές της γεωργικής παραγωγής. Οι διάδρομοι που συνδέουν τα τεμάχια των βιοτόπων είναι απαραίτητοι για την διευκόλυνση της κίνησης των ωφέλιμων οργανισμών κατά μήκος του τοπίου. Ένα συγκεκριμένο πλάτος της εισδοχής μπορεί να προσφέρει την άριστη επίδραση της εισδοχής, χωρίς να δημιουργηθούν προβλήματα μη ωφέλιμων οργανισμών τόσο για τα φυσικά συστήματα, όσο και τα γεωργικά συστήματα. Αυτοί που προωθούν την ολοκληρωμένη διαχείριση των ανωφελών οργανισμών συχνά ισχυρίζονται ότι, η επιτυχημένη διαχείριση των ανωφελών οργανισμών, χωρίς η χρήση των εντομοκτόνων, απαιτεί διαχειριστικά προγράμματα στο επίπεδο της περιφέρειας ή του τοπίου, τα οποία θα προσπαθήσουν να αποκτήσουν το πλεονέκτημα τόσο των μηχανισμών απομόνωσης, όσο και των μηχανισμών διευκόλυνσης ενός διάστικτου περιβάλλοντος (Settle *et al.* 1996). Συμπερασματικά, οι οικολόγοι καλούνται να εφαρμόσουν τη γνώση τους πάνω στις οικολογικές διαδικασίες, ώστε τέτοια προβλήματα να βρουν την επίλυση τους (Kareiva 1996).

20.4. Ο ρόλος της γεωργίας στην προστασία της περιφερειακής και της παγκόσμιας βιοποικιλότητας

Η γεωργική ανάπτυξη έχει ουσιαστικά αλλάξει τη σχέση ανάμεσα στην ανθρώπινη καλλιέργεια και το φυσικό περιβάλλον. Πριν από πολλά χρόνια, όταν η γεωργία ήταν παραδοσιακή και σε μικρή κλίμακα, τα αγροοικοσυστήματα ήταν διάσπαρτα, ως μικρά τεμάχια κατά μήκος μεγαλύτερων φυσικών τοπίων. Οι διαχειριζόμενοι βιότοποι διατηρούσαν την σταθερότητα των φυσικών οικοσυστημάτων,

ενώ διαφοροποιούσαν το τοπίο. Αντίθετα σήμερα, η χρήση της γεωργικής γης προεξάρχει, κάνοντας τα διασκορπισμένα τεμάχια βιοτόπους.

Κατά συνέπεια, μεγάλο μέρος της γήινης επιφάνειας καλύπτεται τώρα από ένα καλλιεργούμενο τοπίο, παρά από ένα φυσικό. Σύμφωνα με κάποιους εκτιμητές (**Εικόνα 20.3**), το 95% του παγκόσμιου γήινου περιβάλλοντος έχει αστικοποιηθεί, έχει διαχειριστεί ή έχει χρησιμοποιηθεί κατά κάποιο τρόπο από τη γεωργία, τη ζωική παραγωγή ή τη δασοπονία (Pimentel *et al.* 1992). Μόνο το 3,2% της παγκόσμιας γήινης επιφάνειας ανήκει πλέον στις προστατευόμενες περιοχές, τα εθνικά πάρκα, ή τις ρεζέρβες.



Εικόνα 20.3. Χρήση της παγκόσμιας χερσαίας επιφάνειας.

Πηγή: Δεδομένα από τους Pimentel *et al* 1992.

Σε μια χερσαία επιφάνεια με ένα καλλιεργούμενο τοπίο, οι προσπάθειες για την διατήρηση της παραμένουσας βιοποικιλότητας δεν μπορεί πρωτογενώς να εστιαστεί στις μικρές περιοχές της γης που παραμένουν ακόμη «άγριες». Οι διαχειριζόμενες εκτάσεις, ειδικά εκείνες που είναι γεωργικές, έχουν ένα τεράστιο δυναμικό υποστήριξης μιας ποικιλότητας ενδημικών ειδών και συνεπώς μπορούν συμβάλλουν στη διατήρηση της παγκόσμιας βιοποικιλότητας.

Πιθανόν, τα περισσότερα είδη των φυτών και των ζώων μπορεί να εντοπιστούν σε εκτάσεις που σε κάποιο βαθμό διαχειρίζονται. Οι αριθμοί ανά μονάδα περιοχής πρέπει να είναι μικροί, αλλά οι συνολικοί αριθμοί προφανώς θα είναι υψηλοί, διότι αναφερόμαστε σε μια μεγάλη εδαφική επιφάνεια. Εάν υπάρχουν τοπία στα οποία υπάρχει ένα μεγάλο τμήμα από κάποια συγκεκριμένα αγροοικοσυστήματα, τα οποία διαχειρίζονται και σχεδιάζονται με τρόπους που να τα κάνουν περισσότερο φιλικά προς τα ενδημικά είδη, τα τοπία αυτά μπορούν να υποστηρίξουν μια μεγαλύτερη ποικιλότητα οργανισμών. Έτσι, τα σπονδυλωτά μπορούν να εφοδιάζονται με μεγαλύτερους βιοτόπους, καλύτερες πηγές τροφής, και αρκετούς διαδρόμους για την κίνησή τους. Τα ενδημικά είδη μπορεί να έχουν καταλληλότερους βιοτόπους και να αντιμετωπίζουν λιγότερα εμπόδια κατά την διασπορά τους. Οι μικρότεροι οργανισμοί, όπως τα μικρόβια και τα έντομα του εδάφους, μπορεί να διαβιώσουν σε λιγότερο αντίξοες

συνθήκες και να ευεργετούν κάποια άλλα είδη, αφού θα υπάρχουν στη δομή και τη λειτουργία του οικοσυστήματος τόσο σημαντικά στοιχεία.

Με λίγα λόγια, με την διαχείριση των γεωργικών τοπίων από την άποψη της διατήρησης της βιοποικιλότητας, αλλά και της παραγωγής, όλοι οι οργανισμοί μπορούν να ωφεληθούν μακροπρόθεσμα, συμπεριλαμβανομένων και των ανθρώπων. Για να μάθουμε πώς πρέπει να διαχειρίζονται με αυτό τον τρόπο, θα απαιτηθεί η συνεργασία μεταξύ της βιολογίας της διατήρησης και της γεωργίας, αλλά και κάποιες νέες κατευθύνσεις στην έρευνα.

Μερικά παραδείγματα προς την κατεύθυνση της έρευνας που είναι απαραίτητη για το σκοπό αυτό, είναι και τα παρακάτω:

- ✚ Καθορισμός του σχεδιασμού και της διαχείρισης των αγροοικοσυστημάτων, ώστε να παρέχουν βιοτόπους για είδη εκτός από τα γεωργικά.
- ✚ Διεξαγωγή στις γεωργικές εκτάσεις μελετών διατήρησης, ώστε να μπορούν να λαμβάνουν χώρα ευρείας κλίμακας σχέδια, συνδέοντας περισσότερους πόρους και καλύπτοντας μεγαλύτερες περιοχές.
- ✚ Να γίνει η αγροοικολογία η γέφυρα ανάμεσα στη διατήρηση και τη χρήση της γης, ώστε η βάση των φυσικών πόρων πάνω στους οποίους στηρίζονται όλα τα φυτά, τα ζώα και οι άνθρωποι να διαχειρίζεται αειφορικά.
- ✚ Ανάπτυξη περισσότερων διεπιστημονικών προσεγγίσεων για την έρευνα και την επίλυση του προβλήματος.

Το πλήρες δυναμικό για τη σύνδεση των αγροοικοσυστημάτων και των φυσικών οικοσυστημάτων όμως, μπορεί να πραγματοποιηθεί μόνο με ριζικές αλλαγές στη φύση της ίδιας της γεωργίας. Η ουσία είναι ότι, η γεωργία πρέπει να υιοθετήσει οικολογικά σταθερές πρακτικές διαχείρισης, στις οποίες περιλαμβάνονται οι βιολογικοί έλεγχοι και η ολοκληρωμένη διαχείριση των ανωφελών οργανισμών, ως αντιστάθμισμα για τα συνθετικά εντομοκτόνα, τα λιπάσματα και τα υπόλοιπα χημικά. Μόνο με μια τέτοια βάση μπορούμε να επιτύχουμε το σκοπό μιας αειφόρου βιόσφαιρας.

20.5. Η πρωτοβουλία της αειφόρου βιόσφαιρας

Το 1988, με το κλείσιμο του 20^{ου} αιώνα, η Οικολογική Εταιρία της Αμερικής πήρε την πρωτοβουλία να κάνει μια προσπάθεια αξιολόγησης των ερευνητικών προτεραιοτήτων της οικολογίας. Η πρωτοβουλία της αειφόρου βιόσφαιρας {Sustainable Biosphere Initiative (SBI)} δημοσιεύθηκε στο επιστημονικό περιοδικό της εταιρίας *Ecology* το 1991. Η πρωτοβουλία αυτή περιγράφει **«τον απαραίτητο ρόλο της οικολογικής επιστήμης στη σώφρονα διαχείριση των πόρων της υφελίου και τη διατήρηση του συστήματος υποστήριξης της ζωής στη Γη»** και καθορίζει ένα **«κρίσιμο πρωτόκολλο ερευνητικής διαδικασίας»**, το οποίο θα εκπληρώσει τον ρόλο αυτόν.

Η πρωτοβουλία αναγνωρίζει τα οικοσυστήματα, τα οποία βρίσκονται σε επείγουσα ανάγκη μελέτης, λόγω της ευαισθησίας τους και της πιθανής υποβάθμισής τους. Επίσης, τονίζει την ανάγκη για τη διεξαγωγή βασικής έρευνας, η οποία θα προσβλέπει στην ενδυνάμωση και την κατανόηση των θεμελιωδών οικολογικών διαδικασιών, θεωρώντας ότι μια τέτοια γνώση θα αποτελέσει τη βάση για τον σχεδιασμό των στρατηγικών της αειφορίας των οικοσυστημάτων της Γης.

Είναι σημαντικό, ότι η πρωτοβουλία δεν περιορίζει την εστίασή της μόνο στα φυσικά οικοσυστήματα, αλλά θεωρεί τα διαχειριζόμενα οικοσυστήματα, συμπεριλαμβανομένων και των αγροοικοσυστημάτων, ως τμήματα αδιάρρηκτα συνδεδεμένα με τη βιόσφαιρα, τα οποία έχουν να παίξουν ένα σημαντικό ρόλο στη διατήρηση της παγκόσμιας βιοποικιλότητας. Ακόμη, αναγνωρίζοντας την πολύπλοκη

φύση των περιβαλλοντικών προβλημάτων, η πρωτοβουλία καλεί τους οικολόγους να συμπτύξουν συμμαχίες με τους ερευνητές άλλων επιστημονικών πεδίων, τόσο των φυσικών, όσο και των κοινωνικών επιστημών.

Με την πρωτοβουλία αυτή διαρρηγνύονται οι φραγμοί, που από πολύ παλιά, έχουν διαχωρίσει την γεωργική έρευνα και την αγροοικολογία από την επιστήμη της οικολογίας. Οι οικολόγοι αναγνωρίζουν την σημασία της έρευνας που εκφέρει η οικολογία των σε υψηλό βαθμό τροποποιημένων συστημάτων, στα οποία οι άνθρωποι αποτελούν τους μείζονες οικολογικούς πρωταγωνιστές.

Ταυτόχρονα, όπως άλλωστε έχει τονιστεί και στο κεφάλαιο αυτό, οι ερευνητές της αγροοικολογίας δίνουν μεγαλύτερη έμφαση στο ρόλο που μπορούν να παίξουν τα αγροοικοσυστήματα στη διατήρηση της ακεραιότητας των φυσικών οικοσυστημάτων και της παγκόσμιας βιοποικιλότητας. Άλλωστε, ο τελικός σκοπός της έρευνας αμφοτέρων των επιστημών είναι θεμελιωδώς ο ίδιος, δηλαδή η αιεφόρος λειτουργία της βίωσης, ως ένα ενιαίο σύνολο.

20.6. Χρήσιμη συμπληρωματική βιβλιογραφία

Antehucci, J. C., K. Brown, P. L. Crosswell, and M. J. Kevany. 1991. *Geographic Information systems: A Guide to the Technology*. Reinhold: New York.

Forman, R. T. T. and M. Gordon. 1986. *Landscape Ecology*. John Wiley and Sons: New York.

Gholz, H. L, (ed.). 1987. *Agroforestry: Realities, Possibilities, and Potentials*. M. Nijhoff: Dordrecht, The Netherlands.

Hudson, W. E. (ed.). 1991. *Landscape Linkages and Biodiversity*. Island Press: Washington, D.C.

Κανδρέλης, Σ. Σ. 2000. *Οικοσυστήματα*. Άρτα.

Meffe, G. K and C. R. Carroll. 1994. *Principles of Conservation Biology*. Sinauer: Sunderland, MA.

Oldfield, M. L. and J. B. Alcorn. 1991. *Biodiversity: Culture, Conservation, and Ecodevelopment*. Westview Press: Boulder, CO.

Ricklefs. R. E. 1997. *The Economy of Nature*. 4th Edition. W. E. Freeman and company: New York.

Szaro, R. C. and D. W. Johnston (eds.). 1996. *Biodiversity in Managed Landscapes: Theory and Practice*. Oxford University Press: New York.

Schulze, E. D., and H. A. Mooney, (eds.). 1994. *Biodiversity and Ecosystem Function*. Springer Study Edition. Springer – Verlag: Berlin.

Smith, R. L. 1995. *Ecology and Field Biology*. 5th Edition. Harper Collins College Publishers: New York.

Westen, D. and M. C. Pearl, (eds.). 1989. *Conservation for the Twenty-first Century.*
Oxford University Press: New York.

