

ΠΑΡΑΓΩΓΙΚΟΤΗΤΑ ΦΥΤΩΝ

Φωτοσύνθεση και Παραγωγικότητα φυτών.

Με την φωτοσύνθεση τα φυτά εκμεταλλεύονται την ύλη και την ενέργεια που έχουν στη διάθεσή τους στον χώρο και χρόνο που αναπτύσσονται και δίνουν την παραγωγή τους.

Για να επιτευχθεί η μέγιστη δυνατή παραγωγή με τη φωτοσύνθεση πρέπει να ισχύουν οι παρακάτω προϋποθέσεις:

1) Παροχή τοπικώς και χρονικώς νερού και θρεπτικών συστατικών σε επαρκείς ποσότητες και κατάλληλες αναλογίες.

2) Άριστη παροχή σε ένταση και ποιότητα και πλήρης δέσμευση του ηλιακού φωτός από τα όργανα που φωτοσυνθέτουν. Συνήθως όμως στο νεαρό στάδιο του φυτού η φυλλική επιφάνεια δεν επαρκεί και αργότερα τα φυτά αλληλοσκιάζονται. Επίσης κλιματολογικοί παράγοντες επηρεάζουν την ένταση και ποιότητα του φωτός.

3) Η παραγόμενη ξηρά ουσία να διατίθεται κατά το δυνατό σε μεγαλύτερο ποσοστό στο συγκομιζόμενο τμήμα του φυτού. Επιδίωξη είναι να αυξηθεί ο **δείκτης συγκομιδής** ο οποίος ισούται με το βάρος του προϊόντος που έχει οικονομική σημασία προς τη συνολική απόδοση του φυτού, δηλαδή τη συνολική φυτομάζα (Harvest index).

4) Τα έμβια όντα (ζιζάνια, ανταγωνισμός φυτών, έντομα, ασθένειες) να μην ανταγωνίζονται τα φυτά ως προς την πρώτη ύλη που χρησιμοποιούν τα τελευταία.

Οι προϋποθέσεις αυτές δεν ισχύουν συνήθως ώστε τα φυτά δεν δίνουν τη μέγιστη δυνατή παραγωγικότητά τους.

Τα φυτά δεσμεύουν, σύμφωνα με υπολογισμούς, το 2-3% της ηλιακής ενέργειας, ενώ έχουν τη δυνατότητα να δεσμεύσουν 5-6%, γιατί οι βελτιωτές και οι φυσιολόγοι στρέφουν την προσοχή τους στη μεγιστοποίηση της φωτοσυνθετικής ικανότητας των φυτών.

Η βασική αντίδραση της φωτοσυνθέσεως από ενεργειακής απόψεως είναι:

$H_2O + CO_2 + (h\nu) \rightarrow CH_2O + O_2$. Δεσμεύεται ενέργεια $h\nu$ φωτονίων όπου h = σταθερά του Planck ($6,55 \times 10^{-27}$ erg) και ν =συχνότητα ακτινοβολίας. Το ηλιακό φως δεσμεύεται από τη χλωροφύλλη, μετατρέπεται σε χημική (δυναμική) ενέργεια και παράλληλα ενεργείται φωτόλυση του ύδατος ώστε με το CO_2 που εισέρχεται στο φυτό από τα στομάτια των φύλλων συντίθενται τα σάκχαρα. Τα σάκχαρα με πολυμερισμό σχηματίζουν υδατάνθρακες και αποτελούν επίσης τη βάση για τη σύνθεση λιπών και αζωτούχων ενώσεων. Οι αντιδράσεις της φωτοσυνθέσεως διακρίνονται σε αντιδράσεις φωτός και αντιδράσεις σκότους. Ύπαρξη φωτός (φωτοχημική αντίδραση), απαιτείται για την φωτόλυση, του νερού και τη δέσμευση ενέργειας (παράγεται ATP, O_2 και ανάγεται το NADP). Οι αντιδράσεις του σκότους απαιτούν διάφορα ένζυμα (ενζυματική αντίδραση) για τη δέσμευση του CO_2 και τον σχηματισμό σακχάρων (Εικ.15).

Η ταχύτητα της φωτοσυνθέσεως εξαρτάται από εσωτερικούς παράγοντες (γενετικούς: είδος, ποικιλία, ενζυματική δράση, χρωστικές του φυτού) και εξωτερικούς (φως, νερό, θερμοκρασία κ.α). Σημαντικοί παράγοντες που επηρεάζουν τη φωτοσυνθετική ικανότητα των φυτών είναι οι παρακάτω.

1. Κατηγορία φυτών από άποψη φωτοσυνθετικής ικανότητας. Υπάρχουν φυτά υψηλής και χαμηλής φωτοσυνθετικής ικανότητας. Τα φυτά διακρίνονται αναλόγως της αντιδράσεώς τους στο φως και στη θερμοκρασία και κυρίως αναλόγως του κύκλου δεσμεύσεως του CO_2 που ακολουθούν.

Υπάρχουν φυτά που ακολουθούν τον **κύκλο C4** (η ενέργεια συγκεντρώνεται σε ουσίες με 4 άτομα άνθρακος, όπως το ασπαρτικό και το μηλικό οξύ) και θεωρούνται **υψηλής φωτοσυνθετικής** ικανότητας και φυτά του **κύκλου C3** (η ενέργεια συγκεντρώνεται σε ουσίες με 3 άτομα άνθρακος όπως φωσφογλυκερικό οξύ) που θεωρούνται **χαμηλής φωτοσυνθετικής** ικανότητας. Τα φυτά C4 θεωρούνται πιο ανταγωνιστικά από τα άλλα γιατί και προτιμώνται σε βοσκές, λειμώνες κ.α. Μερικές χαρακτηριστικές διαφορές των C4 φυτών έναντι των C3 αναφέρονται παρακάτω:

1) Υψηλότερο σημείο αντισταθμίσεως φωτός (10-12.000 έναντι 1-4.000 ft candles). 2) Άριστη θερμοκρασία φωτοσυνθέσεως κατά κανόνα, χωρίς να είναι απόλυτο το σημείο αυτό, υψηλότερη (30°-45° έναντι 10°-25°C). 3) Χαμηλότερο σημείο αντισταθμίσεως ως προς το CO₂ (0-10 έναντι 30-70 ppm CO₂). 4) Υψηλότερο σημείο αντισταθμίσεως ως προς το O₂. 5) Δεν δείχνουν εύκολα φωτοαναπνοή, ενώ τα C3 έχουν σαφή φωτοαναπνοή, συνεπώς απώλειες θρεπτικών ουσιών. Τέλος υπάρχουν ανατομικές διαφορές φύλλων μεταξύ των δύο κατηγοριών φυτών (τα C4 έχουν κύτταρα καλώς αναπτυγμένα και πλούσια σε οργανίδια).

Η συγκριτική παραγωγικότητα γεωργικών φυτών C3 και C4 εξαρτάται από τις συνθήκες του περιβάλλοντος και κατά συνέπεια από το γεωγραφικό πλάτος όπως έδειξε εργασία των Loomis και Gerakis (Εικ.16). Γενικώς στα C4 φυτά μειώνεται η παραγωγικότητα τους με την αύξηση του γεωγραφικού πλάτους ενώ στα C3 παρατηρείται σταθερή παραγωγικότητα αυξανόμενου του γεωγραφικού πλάτους και μείωση της παραγωγικότητας πέραν ενός ορισμένου πλάτους. Εξάιρεση αποτελεί ο αραβόσιτος που ευδοκιμεί και σε μεγάλα πλάτη, ίσως λόγω της ευρείας προσαρμοστικότητας και της καταγωγής του από δροσερές περιοχές της τροπικής ζώνης.

2. Κατασκευή φύλλου και περιεκτικότητα σε χλωροφύλλη και άλλες χρωστικές. Η ανατομική κατασκευή του φύλλου, η μορφολογία (μέγεθος, σχήμα, γωνία εκφύσεως κ.α.), ο προσανατολισμός, αριθμός και διάταξη των στοματίων, η ποσότητα και η κατανομή της χλωροφύλλης, επηρεάζουν τον ρυθμό φωτοσύνθεσης εμμέσως και αμέσως. Από τις διάφορες χρωστικές που έχουν την ικανότητα να δεσμεύουν την ορατή ακτινοβολία, που ενεργοποιεί τις φωτοχημικές αντιδράσεις της φωτοσυνθέσεως, οι σπουδαιότερες είναι, όπως προαναφέρθηκε, οι δύο πράσινες χρωστικές οι χλωροφύλλες α και β, με δύο άριστα, η κάθε μία, μήκη φωτός 400-500 nm (ιώδες-κυανούν) και 600-700 nm (πορτοκαλί-ερυθρό) (Εικ.17). Οι καροτίνες δεσμεύουν επίσης φωτεινή ενέργεια η οποία μπορεί να μεταφερθεί στην χλωροφύλλη από φωτοοξειδωση.

3. Ένζυμα και ανόργανα στοιχεία. Ορισμένα ένζυμα (όπως τα κυτοχρώματα) είναι απαραίτητα για τις αντιδράσεις της φωτοσύνθεσης καθώς επίσης και διάφορα στοιχεία και ιχνοστοιχεία διαδραματίζουν άμεσο ρόλο (όπως το Mg που συμμετέχει στη σύνθεση της χλωροφύλλης) ή έμμεσο ρόλο συμμετέχοντα στη δράση των χλωροπλαστών (όπως Zn, Fe, Mn, Mg). Επίσης παράγοντες που επηρεάζουν τη δράση των ενζύμων, όπως η θερμοκρασία, επιδρούν εμμέσως στη διαδικασία της φωτο-συνθέσεως.

4. Συγκέντρωση CO₂. Η αύξηση του CO₂ συντελεί, μέχρις ενός ορίου, στην αύξηση της φωτοσύνθεσης. Συνήθως υπάρχει ευθύγραμμη σχέση μέχρι περιεκτικότητας CO₂ στην ατμόσφαιρα 0,5%, αλλά παρατεταμένη τέτοια υψηλή συγκέντρωση δρα ναρκωτικώς και ζημιώνει τα φύλλα. Η ευνοϊκότερη συγκέντρωση CO₂ στην ατμόσφαιρα για την φωτοσύνθεση είναι περίπου 0,1% ενώ η ατμόσφαιρα περιέχει συνήθως 0,03-0,04%.

Επομένως το φαινόμενο του θερμοκηπίου με την αύξηση του CO₂ δεν επιδρά αρνητικώς, αυτό καθ' αυτό, στην παραγωγικότητα των φυτών αντιθέτως μάλιστα μπορεί να έχει ευνοϊκή επίδραση, ιδιαίτερα στα C3 φυτά που έχουν υψηλότερο σημείο αντισταθμίσεως CO₂ έναντι των C4 φυτών. Η αύξηση της παραγωγικότητας των φυτών που συνδέεται με την αύξηση του CO₂ είναι μεγαλύτερη την περίοδο της υψηλής ακτινοβολίας.

Τεχνική παροχή CO₂ κυρίως σε θερμοκήπια αλλά και σε αγρό, όπως έδειξαν πειράματα στις Η.Π.Α., καθώς επίσης και οργανικά εδάφη που λόγω αυξημένης βιολογικής δράσεως των μικροοργανισμών εκλύουν αυξημένο CO₂, μπορεί να αυξήσουν την παραγωγικότητα των φυτών, εφόσον οι υπόλοιποι παράγοντες δεν είναι περιοριστικοί.

5. Ένταση και ποιότητα φωτός. Η φωτοσύνθεση είναι, κατά κανόνα ανάλογη με την ένταση του φωτός μέχρι ενός ορίου που διαφέρει από φυτό σε φυτό. Ως προς την ποιότητα επιδρά το κόκκινο (92%) και το κυανούν (52%) ενώ το πράσινο επιδρά ελάχιστα.

Η μέση συνολική αποτελεσματικότητα του φωτός υπολογίζεται περίπου στο 20%. Η ορατή ακτινοβολία αποτελεί το 44% της συνολικής ακτινοβολίας άρα το φυτό μπορεί να χρησιμοποιήσει το 8% περίπου της **συνολικής ακτινοβολίας**. Στη γεωργική όμως πράξη το φυτό χρησιμοποιεί το 1-2%, λόγω ελλειπούς φυτοκάλυψης, αλληλοσκίασης φυτών, ελλειπούς διείσδυσης φωτός στο βάθος της φυτοστιβάδας και άλλων παραγόντων. Το φως χρειάζεται γιατί, όπως προαναφέρθηκε, η χλωροφύλλη δεσμεύει φωτόνια ώστε προκαλείται φωτόλυση του νερού, ελευθερώνεται O₂ και Η το οποίο ενώνεται με το CO₂ και δίδει σάκχαρο.

Η καθαρή φωτοσύνθεση αυξάνεται με την ένταση του φωτός, αλλά όχι αναλόγως. Συνήθως αρκεί ένταση φωτός 1.500-2.500 ft candles. Μέχρι 10.000 ft candles η φωτοσύνθεση αυξάνεται λίγο ενώ περαιτέρω αύξηση του φωτός δεν αυξάνει τη φωτοσύνθεση. Σε μια φωτεινή ημέρα η ανώτερη φυλλοστέγη μιας καλλιέργειας δέχεται πολλαπλάσια ακτινοβολία από εκείνη που απαιτείται για τη μεγιστοποίηση της φωτοσυνθέσεως (σημείο κορεσμού για ορισμένη ποσότητα CO₂), αλλά κατά τις νεφосκεπείς ημέρες δεν δέχεται επαρκή ακτινοβολία, ιδιαιτέρως τα κατώτερα στρώματα της φυτοστιβάδας, γι' αυτό και επιδιώκουμε να αυξήσουμε τη διείσδυση του φωτός στο βάθος της φυτοστιβάδας με κατάλληλη μορφολογία φυτού και διάταξη-πληθυσμό φυτών. Πρέπει να σημειωθεί, εντούτοις, ότι η χώρα μας με την ικανοποιητική ηλιοφάνεια πλεονεκτεί σε σχέση με άλλες ως προς τη σχέση φωτός με φωτοσύνθεση.

6. Θερμοκρασία. Επηρεάζει γενικώς τη δράση των ενζύμων και επομένως την ταχύτητα των χημικών αντιδράσεων. Σε χαμηλή ένταση φωτός (φωτοπεριοριστική περιοχή φωτοσυνθέσεως) η φωτοσύνθεση είναι ίδια για ευρέα όρια θερμοκρασίας. Αυξανόμενου του φωτός, αυξάνει και η άριστη θερμοκρασία (Εικ.18). Η άριστη όμως θερμοκρασία είναι σχετικώς χαμηλή, ιδιαιτέρως όταν οι άλλοι παράγοντες είναι περιοριστικοί. Η ευνοϊκή θερμοκρασία κυμαίνεται μεταξύ 20° και 30° C με άριστη περίπου 25° C. Τα περισσότερα φυτά των ευκράτων περιοχών φωτοσυνθέτουν ικανοποιητικώς μεταξύ 10-35° C. Μεγαλύτερη αύξηση της θερμοκρασίας αυξάνει την ταχύτητα αναπνοής, η οποία καταναλίσκει οργανική ουσία που σχηματίστηκε με τη φωτοσύνθεση ώστε επέρχεται το **σημείο αντισταθμίσεως** (μηδενική καθαρή φωτοσύνθεση).

7. Νερό. Επιδρά αμέσως αλλά και εμμέσως γιατί διατηρεί τα καταφρακτικά κύτταρα σε σπαργή ώστε να επιτρέπεται η διείσδυση του CO₂.

8. Φωτοσυνθέτουσα επιφάνεια και αρχιτεκτονική της φυτοφυλλο-στιβάδας. Φυτοστιβάδα καλείται το υπέργειο τμήμα μιας φυτοκοινότητας που καλύπτει μία συγκεκριμένη επιφάνεια εδάφους.

Ο καλύτερος χαρακτηρισμός της φυτοστιβάδας αποδίδεται με το κριτήριο της **φυλλικής επιφάνειας**, υπάρχουν όμως και άλλα κριτήρια όπως βάρος φύλλων, βάρος χλωροφύλλης κ.α.

Η φυλλική επιφάνεια εκφράζεται με τον δείκτη **φυλλικής επιφάνειας** (Δ.Φ.Ε.ή L.A.I. = Leaf area index), ο οποίος ισούται με τη συνολική επιφάνεια των φύλλων, μιας πλευράς, που αντιστοιχεί σε συγκεκριμένη μονάδα εδάφους.

Με τον Δ.Φ.Ε. αγνοούνται οι άλλες φωτοσυνθέτουσες επιφάνειες του φυτού (μίσχοι, στελέχη, άγανα σιτηρών, κ.α.), οι οποίες όμως σε πρακτική κλίμακα αντιπροσωπεύουν μικρό ποσοστό.

Ο Δ.Φ.Ε. εκφράζει και την αποτελεσματικότητα μιας καλλιέργειας ως προς τη φωτοσυνθετική ικανότητα.

Ο Δ.Φ.Ε. αυξάνει από το φύτευμα μέχρι ενός ορίου του ώριμου φυτού και η αύξηση αυτή συνδέεται εποχιακώς με τον ρυθμό αυξήσεως και βλαστικής αναπτύξεως των φυτών (Εικ.19). Η ταχεία ανάπτυξη του Δ.Φ.Ε. έχει μεγάλη σημασία για το φυτό γιατί το επιτρέπει να συμπληρώσει γρήγορα τη βλαστική του ανάπτυξη ώστε να έχει δυναμικότητα για αναπαραγωγική ανάπτυξη, να μπορέσει να εκμεταλλευτεί τις άριστες συνθήκες της ανοίξεως από φωτοσυνθετικής άποψης και να ανταγωνιστεί τα ζιζάνια με την ταχεία φυλλοκάλυψη που επιτυγχάνεται. Επιθυμητή επίσης είναι η μεγάλη **διάρκεια της φυλλικής επιφάνειας** (δηλαδή η ικανότητα του φυτού να διατηρεί τη φυλλική επιφάνεια σε κατάσταση φωτοσυνθετικής ικανότητας σε κατά το δυνατό μεγαλύτερο τμήμα του βιολογικού κύκλου). Π.χ. στα σιτηρά, η διατήρηση του πράσινου χρώματος του τελευταίου φύλλου (που συνδέεται με τη διατροφή του σπόρου) για όσο το δυνατό μεγαλύτερο διάστημα, συνδέεται με αυξημένη παραγωγικότητα.

Μερικές φορές χρησιμοποιείται ο όρος: **Κρίσιμος δείκτης φυλλικής επιφάνειας** ο οποίος αντιπροσωπεύει τον Δ.Φ.Ε. που απαιτείται για τη δέσμευση του 95% του φωτός κατά το μεσημέρι. Συνηθέστερα χρησιμοποιείται ο όρος: **άριστος δείκτης φυλλικής επιφάνειας**, ο οποίος αντιπροσωπεύει τον Δ.Φ.Ε. με τον οποίο επιτυγχάνεται το μέγιστο της παραγωγικότητας. Ο άριστος Δ.Φ.Ε. μεταβάλλεται με την ένταση του φωτός, με το στάδιο ανάπτυξης του φυτού, την κατασκευή-μορφολογία της φυλλοστιβάδας, την ύπαρξη και τον βαθμό των άλλων παραγόντων που επηρεάζουν τη φωτοσύνθεση. Επηρεάζεται επίσης από το περιβάλλον. Με αριστοποίηση του περιβάλλοντος μεγαλώνει ο άριστος Δ.Φ.Ε. και κατ' αναλογία με δυσμενείς συνθήκες (π.χ. άσχημες χρονιές) μικραίνει ο άριστος Δ.Φ.Ε.

Η αρχιτεκτονική της φυτοστιβάδας, επηρεάζει τη φωτοσύνθεση και κατά συνέπεια την παραγωγικότητα της καλλιέργειας. Οι σπουδαιότεροι εξωτερικοί παράγοντες που την επηρεάζουν και τη διαμορφώνουν είναι:

1) Η πυκνότητα της φυτείας. Η μεγάλη πυκνότητα συνήθως συνεπάγεται μεγαλύτερο Δ.Φ.Ε., γιαντό και μέχρι ενός ορίου συνδέεται με μεγαλύτερη φωτοσυνθετική ικανότητα και επομένως με μεγαλύτερη παραγωγικότητα της φυτείας (συνολική φυτομάζα, αλλά και οικονομική απόδοση). Η άριστη πυκνότητα εξαρτάται από το είδος και την ποικιλία του φυτού (μορφολογία κ.λ.π.) και τις εδαφολογικές συνθήκες. Με την πυκνότερη φυτεία επιτυγχάνεται ταχύτερη φυλλοκάλυψη αλλά πέραν ενός ορίου ο ανταγωνισμός μεταξύ φυτών και φυτικών οργάνων καθίσταται αρνητικός για την οικονομική παραγωγικότητα, γιατί με τέτοιες συνθήκες αυξάνεται σε μεγαλύτερο βαθμό η φυτική μάζα σε σχέση με την οικονομική απόδοση. Π.χ. με υπερβολικό πληθυσμό φυτών στο βαμβάκι παρατηρείται μεγάλη ανθόρροια ή καρπόροια ιδιαιτέρως στα κατώτερα στρώματα του φυτού και ακόμη παρατηρούνται αυξημένες ασθένειες και σήψη καρυδιών.

Γενικώς με την εκμηχάνιση των καλλιεργειών και ιδιαίτερα τη μηχανοσυλλογή έχει αυξηθεί σήμερα μέχρι ενός ορίου ο επιθυμητός αριθμός φυτών γιατί επιδιώκεται η μεγιστοποίηση της οικονομικής απόδοσης ανά μονάδα επιφάνειας και όχι ανά φυτό.

2) Ο τύπος του φυτού και η γωνία εκπτώξεως των φύλλων. Με την αύξηση του πληθυσμού φυτών τροποποιήθηκαν και οι αντιλήψεις για τον ιδανικό τύπο φυτού πολλών καλλιεργειών και οι βελτιωτές δημιούργησαν νέες ποικιλίες που γενικώς χαρακτηρίζονται από μικρά συμπαγή φυτά, με μικρά-όρθια φύλλα

ώστε να μην ενοχλούν ούτε να ενοχλούνται από τα άλλα και να ανέχονται αυξημένο πληθυσμό φυτών. Η οξεία γωνία εκφύσεως φύλλων αυξάνει τον άριστο πληθυσμό φυτών, όπως και τα σχιστά φύλλα π.χ. στο βαμβάκι. Επίσης με μεγάλη ένταση φωτός η φωτοσύνθεση ενοείται με οξεία γωνία εκφύσεως φύλλων και μεγάλο Δ.Φ.Ε. Οι παρατηρήσεις αυτές και άλλες παρόμοιες διατυπώθηκαν με βάση μαθηματικά πρότυπα μιμήσεως της αυξήσεως-αναπτύξεως των φυτών και μερικές επαληθεύτηκαν στην πράξη με πειράματα στον αγρό.

Σήμερα επίσης είναι γενικώς πιο επιθυμητά τα βραχύσωμα φυτά ώστε να έχουν μεγάλο δείκτη συγκομιδής και να επιτυγχάνουν μεγάλο Δ.Φ.Ε. Σε σχέση με τη βραχυσωμία επιθυμητό είναι επίσης το ισχυρό στέλεχος ώστε να μη πλαγιάζουν τα φυτά ακόμη και με ισχυρή λίπανση.

Γεωργική παραγωγικότητα

Παραγωγικότητα είναι η παραγωγή μιας καλλιέργειας στη μονάδα του χρόνου (Ετήσια Παραγωγικότητα είναι η παραγωγή της καλλιέργειας σε ένα χρόνο). Η παραγωγικότητα αυτή ονομάζεται πρωτογενής παραγωγικότητα και είναι η συσσώρευση από τα φυτά στη μονάδα του χρόνου της ακτινοβόλου ενέργειας υπό μορφή οργανικών ουσιών οι οποίες σχηματίζονται με τη φωτοσύνθεση.

Η πρωτογενής παραγωγικότητα διακρίνεται σε: **1) Συνολική πρωτογενή παραγωγικότητα** ή συνολική φωτοσύνθεση ή συνολική αφομοίωση. Η παραγωγικότητα αυτή αντιστοιχεί στο σύνολο της φωτοσύνθεσης συμπεριλαμβανομένης και της οργανικής ουσίας που χάνει το φυτό, στον αντίστοιχο χρόνο, με την αναπνοή. **2) Καθαρή πρωτογενή παραγωγικότητα** ή καθαρή φωτοσύνθεση η οποία αντιστοιχεί στο σύνολο των σχηματιζόμενων οργανικών ουσιών μετά την αφαίρεση των απωλειών λόγω αναπνοής.

Το μέγιστο ποσοστό δεσμεύσεως της ηλιακής ακτινοβολίας από τα φυτά για τη συνολική παραγωγικότητα δεν υπερβαίνει το 5%. Μόνο για μικρά διαστήματα και άριστες συνθήκες μπορεί να φθάσει το 7-8%. Στη πράξη συνήθως είναι πολύ μικρότερο. Πρέπει όμως να είναι γνωστό το θεωρητικώς εφικτό ώστε με την πρόοδο της τεχνολογίας να επιχειρείται η προσέγγισή του στην πράξη.

Υψηλή παραγωγικότητα ενός γεωργικού οικοσυστήματος επιτυγχάνεται με την εφαρμογή υψηλής τεχνολογίας όπου η προσφερόμενη **επικουρική** ενέργεια (καταπολέμηση φυτοπαρασίτων κ.α.) μειώνει το κόστος αυτοδιατήρησης του συστήματος και αυξάνει την προς παραγωγή διαθέσιμη ενέργεια.

Μία ώριμη φυτεία, ένα ώριμο δάσος, έχουν μικρή καθαρή παραγωγικότητα γιατί έχουν μεγαλύτερες απώλειες από αναπνοή, φυτοπαρασίτα κ.ά. Αντιθέτως μία νεαρή φυτεία π.χ. μηδικής έχει μεγάλη συνολική πρωτογενή και μεγάλη καθαρή πρωτογενή παραγωγικότητα. Παρομοίως ένα νεαρό φύλλο καταναλίσκει περισσότερες τροφές από εκείνες που παράγει, αργότερα παρουσιάζει πλεόνασμα και όταν αρχίζει το γήρας το ισοζύγιο παραγωγής και κατανάλωσης μπορεί και πάλι να γίνει αρνητικό.

Η παραγωγικότητα μιας καλλιέργειας σε μία περιοχή σπανίως αποτελεί το μέτρο του γενετικού δυναμικού της και του δυναμικού του περιβάλλοντος γιατί η εφαρμοζόμενη τεχνική της καλλιέργειας, η χορηγούμενη επικουρική ενέργεια και άλλοι παράγοντες περιπλέκουν την εκτίμηση.

Με βάση την παραγωγικότητα, όταν ένα σύστημα (μία καλλιέργεια) έχει μειωμένη παραγωγικότητα σε μία περιοχή, γιατί δεν ανέχεται ή δεν προσαρμόζεται στους παράγοντες του περιβάλλοντος, πρέπει να αντικαθίσταται από άλλη ανταγωνιστική καλλιέργεια. Σήμερα όμως υπάρχει η τάση να μεγιστοποιηθεί το κέρδος από ένα οικοσύστημα και όχι η βιολογική του παραγωγικότητα ή η οικονομική του απόδοση.

Το οικονομικό κέρδος είναι συνάρτηση του κόστους, της οικονομικής απόδοσης και της τιμής διαθέσεως του προϊόντος. Σχετικώς με το κόστος μία καλλιέργεια που είναι προσαρμοσμένη σε ένα περιβάλλον απαιτεί μικρή επικουρική ενέργεια επομένως έχει μικρό κόστος παραγωγής.

Σε άλλες περιπτώσεις επικρατεί η τάση να μεγιστοποιηθεί η παραγωγικότητα ώστε να μειωθεί η καλλιεργούμενη έκταση μιας συγκεκριμένης καλλιέργειας και να αποδοθεί η εξοικονομούμενη έκταση σε ελλειμματική καλλιέργεια, χωρίς όμως να μειωθεί η γονιμότητα του εδάφους και να υποβαθμιστεί το περιβάλλον.

Οικονομική απόδοση. Η αύξηση της συνολικής καθαρής παραγωγικότητας δεν σημαίνει πάντοτε και ανάλογη αύξηση της οικονομικής απόδοσης του φυτού (απόδοση φυτικού τμήματος για το οποίο καλλιεργείται το φυτό). Η οικονομική απόδοση μπορεί να οριστεί είτε ως **απόλυτη τιμή** (βάρος του χρήσιμου τμήματος του φυτού) είτε ως **σχετική** (βάρος του χρήσιμου τμήματος προς τη συνολική βιομάζα). Η σχετική οικονομική απόδοση δηλαδή η απόλυτη οικονομική απόδοση προς τη συνολική απόδοση της βιομάζας αποτελεί, όπως προαναφέρθηκε, τον **δείκτη συγκομιδής**.

Η σχετική οικονομική απόδοση διαφέρει αναλόγως του γενοτύπου και του περιβάλλοντος (π.χ. στο σιτάρι μπορεί να κυμανθεί από 15-53%). Συνήθως υπερβολική βλαστική ανάπτυξη ανταγωνίζεται την αναπαραγωγική και μειώνει τον δείκτη συγκομιδής. Το ίδιο μπορεί να συμβεί με πολύ πυκνούς πληθυσμούς φυτών. Μεγαλύτερο ποσοστό οικονομικής απόδοσης προς συνολική επιτυγχάνεται συνήθως με ενδιάμεσες τιμές απόλυτης απόδοσης.

Οι παράγοντες που επηρεάζουν την οικονομική απόδοση είναι εκείνοι που επηρεάζουν τη φωτοσύνθεση αμέσως ή εμμέσως και επιπλέον εκείνοι που αφορούν τη μεταφορά και την κατανομή των προϊόντων αφομοιώσεως στα διάφορα όργανα του φυτού. Μεγάλη οικονομική παραγωγικότητα προϋποθέτει φυτά τα οποία δαπανούν το απολύτως απαραίτητο ποσοστό θρεπτικών συστατικών για την κανονική λειτουργία των μη εμπορικών τμημάτων του φυτού. Επίσης το φυτό πρέπει να έχει επαρκείς αποθήκες τροφίμων (π.χ. το σιτάρι: στάχυα, σταχύδια, σπόρους) και ταχείς οδούς μεταφοράς των θρεπτικών ουσιών.

Θεωρητικώς μέγιστη παραγωγικότητα. Ως βάση της αξιολογήσεως της παραγωγικότητας ενός οικοσυστήματος λαμβάνεται το ποσοστό της ηλιακής ακτινοβολίας που δεσμεύεται από τα φυτά. Το ποσοστό αυτό εκτιμάται με τη συνολική παραγωγή ξηράς ουσίας της οποίας 90-95% αποτελούν ενώσεις άνθρακος που προέρχονται από τη φωτοσύνθεση. Ένας από τους πλέον διαδεδομένους τρόπους για την εκτίμηση της συνολικής φωτοσύνθεσης στηρίζεται στη ποσότητα του CO₂ που δεσμεύεται από τα φυτά.

Εκτίμηση της μέγιστης παραγωγικότητας με βάση το διαθέσιμο φως. Παρακάτω δίνεται ένα παράδειγμα υπολογισμού της μέγιστης παραγωγικότητας καλαμποκιού σε περιοχή των Η.Π.Α, όπου η ημερήσια ακτινοβολία το καλοκαίρι είναι 500cal cm²/ ημέρα. Ο υπολογισμός έγινε με την προϋπόθεση ότι οι υπόλοιποι παράγοντες που εμπλέκονται με την παραγωγικότητα του φυτού (νερό, θρεπτικά στοιχεία, κλπ.) είναι σε άριστα επίπεδα.

-Ολική ημερήσια ακτινοβολία	500 cal/cm ²
-Ορατή ακτινοβολία για φωτοσύνθεση:400-700 nm (χιλ.του μικρού) (περίπου το 44% της συνολικής)	222 cal/cm ²
-Συνολικά quanta για 400-700 nm8,64μ Einsteins/cal συνολ.προσπίπτ.ηλιακής ακτινοβολίας 8,64X500	4320μ Einsteins/cm ²
-Απώλεια από ανάκλαση	360μEinsteins/cm ²

-Απώλεια λόγω μη ενεργού απορροφήσεως	432	"
-Συνολική ποσότητα quanta διαθέσιμη για φωτοσύνθεση 3528	"	
-Ποσότητα παραγομένων υδατανθράκων: (CH ₂ O) _n (10 quanta ανάγουν 1 mole CO ₂)	353μ moles/cm ²	
-Απώλεια από αναπνοή υδατανθράκων	237μ moles/cm ² ή	116μ moles/cm ² -Καθαρή παραγωγή
-Γραμμομόριο CH ₂ O=12+2+16=30g/mole:30X237X10.000/ 1.000.000		<u>71g/m²/ημέρα</u> ή
-71g/m ² =71g/5.000.000 cal ανά m ² =14μg/cal	14μg/cal	

Αν ένα φυτό έχει βιολογικό κύκλο έξι μηνών και θεωρήσουμε σταθερή την ακτινοβολία των 500 cal/cm² τότε η μέγιστη παραγωγικότητα της καλλιέργειας θα ήταν ίση με 12,78 t/στρ.για μία καλλιεργητική περίοδο(71g/m²/ ημέραx180ημέρεςx1000m²). Σημειώνεται ότι την περίοδο του θέρους η ακτινοβολία συνήθως είναι μεγαλύτερη από 500 cal/cm² αλλά η αύξηση της φωτοσυνθετικής ικανότητας δεν είναι ανάλογη γιατί μειούται η αποτελεσματικότητα στις υψηλότερες εντάσεις (έχουν μικρότερο μήκος κύματος και προκαλούν ιονισμό της ύλης). Επειδή περίπου το 8% της ξηράς ουσίας είναι τα ανόργανα συστατικά η μέγιστη παραγωγικότητα ανέρχεται από 71 σε 77g/m²/ημέρα. Η ποσότητα αυτή αντιπροσωπεύει ενέργεια η οποία αποτελεί το 5,3% της ολικής ακτινοβόλου ενέργειας των 500 cal/cm²/ημέρα και περίπου 12% της φωτοσυνθετικής ενεργού ακτινοβολίας(44% περίπου της συνολικής)

Από πολλές μετρήσεις υπολογίστηκε ότι η μέγιστη (καθαρή πρωτογενής) παραγωγικότητα υπερβαίνει τα 50g/m²/ημ. σε πολλά γεωργικά οικοσυστήματα, κάτω από συνθήκες έντονης ακτινοβολίας. Η ποσότητα αυτή αντιστοιχεί περίπου στο 10% της φωτοσυνθετικής ενεργού ακτινοβολίας (PAR=Photosynthetic active radiation) και αντιπροσωπεύει το πρακτικώς μέγιστο. Στις συνθήκες καλλιέργειας και με ευνοϊκές εδαφοκλιματικές συνθήκες η αποτελεσματικότητα της φυτείας κατέρχεται σε 2-3% της φωτοσυνθετικής ενεργού ακτινοβολίας λόγω γενετικών και φυσιολογικών αιτιών.

Γενετική βελτίωση της παραγωγικότητας των φυτών. Για να αυξηθεί η παραγωγικότητα πρέπει κατά κύριο λόγο να αυξηθεί η **φωτοσυνθετική ικανότητα** (εφόσον το 90% περίπου της ξηράς ουσίας των φυτών αποτελείται από ενώσεις του άνθρακος), να αυξηθεί η αποτελεσματική χρησιμοποίηση **του νερού** (εφόσον τα προϊόντα δεν διατίθενται σε ξηρά μορφή και αποτελούνται βασικώς από νερό) και να αυξηθεί η απορρόφηση και διάθεση **στα φύλλα** των απαραίτητων ανόργανων στοιχείων. Για την οικονομική παραγωγικότητα παίζει μεγάλο ρόλο, όπως προαναφέρθηκε, η κατανομή των προϊόντων φωτοσυνθέσεως στα εμπορικώς χρήσιμα μέρη του φυτού.

Σε χαμηλή ένταση φωτός (1/40 της πλήρους ηλιοφάνειας) η αφομοίωση του CO₂ είναι ευθέως ανάλογη με την ένταση του φωτός. Ορισμένα φυτά, όπως καλαμπόκι και ζαχαρότευτλα είναι πιο αποτελεσματικά από άλλα στην αξιοποίηση μεγάλης εντάσεως φωτός (αναλόγως σε ποιά κατηγορία κύκλου άνθρακος ανήκουν).

Πέραν ενός ορίου εντάσεως φωτός, μειώνεται η αποτελεσματικότητα μετατροπής της φωτεινής ενέργειας σε χημική (φωτοχημική αποτελεσματικότητα). Η αύξηση της φωτοχημικής αποτελεσματικότητας, στα υστερούντα φυτά, δεν φαίνεται πρακτικώς εφικτή από γενετικής πλευράς. Μπορεί όμως να αυξηθεί στα χαμηλής φωτοσυνθετικής ικανότητας φυτά με τη δημιουργία ποικιλιών με μικρές απώλειες λόγω αναπνοής, με

ευκολότερη διάχυση και δέσμευση CO₂, με μεγάλη ταχύτητα αναπτύξεως φυλλικής επιφάνειας, με επιθυμητή μορφολογία φυτού και μεγαλύτερο δείκτη συγκομιδής.

Η αναπνοή στο σκότος των φύλλων αντιστοιχεί με απώλεια CO₂ 5-10% αυτού που δεσμεύτηκε στο φως με τη φωτοσύνθεση. Το ποσοστό αυτό, βρέθηκε με πειράματα, ότι σε πρακτική κλίμακα ανέρχεται σε 29-70% γιατί αναπνέουν και όργανα που δεν φωτοσυνθέτουν (ρίζες, βλαστοί κ.λ.π.) και επιπλέον η καθαρή φωτοσύνθεση των γηρασμένων φύλλων και αυτών που σκιάζονται είναι περιορισμένη. Μέρος βέβαια αυτών των απωλειών χρησιμοποιείται για την παραγωγή βιολογικής ενέργειας (ATP) που είναι απαραίτητη για τη συνθετική και αυξητική δράση του φυτού.

Η αναπνοή στο φως (φωτοαναπνοή) είναι 3-5 φορές ταχύτερη από την αναπνοή στο σκότος και επιταχύνεται με την αύξηση της θερμοκρασίας σε μεγαλύτερο βαθμό από ότι η αναπνοή στο σκότος. Επιταχύνεται επίσης με αύξηση συγκέντρωσης O₂ μεγαλύτερης από 2-3% και με μείωση CO₂. Φαίνεται ότι ορισμένες ανασταλτικές ουσίες παίζουν ρόλο στην φωτοαναπνοή άρα υπάρχει δυνατότητα γενετικής βελτίωσης (υπάρχουν ποικιλιακές διαφορές).

Σχετικώς με τη φυλλική επιφάνεια αναφέρονται ότι στην πράξη οι συνηθισμένες παραγωγικότητες εξασφαλίζονται με ρυθμό καθαρής αφομοίωσης 20-25g/m² φυλλικής επιφάνειας ενός στρώματος φύλλων. Για να επιτευχθεί η υψηλή παραγωγικότητα των 71g/m² απαιτούνται περισσότερα στρώματα φύλλων και γιαυτό πρέπει τα φυτά να έχουν κατάλληλη αρχιτεκτονική (π.χ. όρθια φύλλα, σχιστά φύλλα) ώστε να επιτρέπουν τη διείσδυση του φωτός στο βάθος της φυτοστιβάδας.-

ΜΕΡΟΣ ΔΕΥΤΕΡΟ

ΦΥΤΟ ΚΑΙ ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝ

Τα φυτά επηρεάζονται από διάφορους παράγοντες του περιβάλλοντος που διακρίνονται στους εδαφικούς, κλιματικούς και βιοτικούς. Ο παράγων νερό θα εξεταστεί χωριστά λόγω της μεγάλης σημασίας του και γιατί υπεισέρχεται και στις τρεις κατηγορίες. Στους βιοτικούς παράγοντες υπάγεται και η επίδραση του ανθρώπου, επειδή όμως είναι βασικής σημασίας, η επίδραση αυτή θα αναπτυχθεί σε ιδιαίτερο κεφάλαιο.

ΕΔΑΦΙΚΟΙ ΠΑΡΑΓΟΝΤΕΣ

Το φυτό χρειάζεται το έδαφος για τη στήριξή του και την εξασφάλιση του νερού και των θρεπτικών στοιχείων που χρειάζεται για την αύξηση και την ανάπτυξή του (εκτός του CO₂ και μερικώς του O₂ που τα προσλαμβάνει από την ατμόσφαιρα). Σε αντίθεση με τους κλιματολογικούς παράγοντες ο άνθρωπος έχει πολλές δυνατότητες να τροποποιήσει τις εδαφικές συνθήκες. Εντούτοις, το έδαφος αποτελεί από πολλές απόψεις τον σπουδαιότερο παράγοντα για τη γεωργία μιας χώρας.

Έδαφος είναι το χαλαρό επιφανειακό στρώμα του στερεού φλοιού της γης που σχηματίζεται από την αποσάθρωση των μητρικών πετρωμάτων με την επίδραση διαφόρων φυσικών, χημικών και βιολογικών παραγόντων του περιβάλλοντος (νερό, άνεμος, πήξη-τήξη νερού, διάφορες χημικές αντιδράσεις, μικροοργανισμοί, βλάστηση). Στο έδαφος υπάρχουν ακόμη και οι μικροοργανισμοί που παίζουν ρόλο στην παραγωγικότητά του. Με την ευρύτερη έννοια το έδαφος αποτελείται από το μητρικό υλικό, την οργανική ουσία, τους ζώντες οργανισμούς, το νερό και τον αέρα.

Ένα έδαφος για να είναι κατάλληλο για υψηλή γεωργική παραγωγικότητα πρέπει:

- 1) Να επιδέχεται καλή κατεργασία με εργαλεία και μηχανήματα.
- 2) Να ανθίσταται στη διάβρωση και έκπλυση των στοιχείων με το εφαρμοζόμενο καλλιεργητικό σύστημα.
- 3) Να συγκρατεί επαρκή υγρασία για το φυτό με συνθήκες κανονικής άρδευσης και βροχόπτωσης αλλά να στραγγίζει επίσης ικανοποιητικά, ώστε να αερίζεται επαρκώς στο βάθος όπου αναπτύσσονται οι ρίζες.
- 4) Να έχει σε ικανοποιητικό βαθμό διαθέσιμα τα απαραίτητα θρεπτικά στοιχεία.
5. Να μην επιτρέπει την ανάπτυξη επιβλαβών οργανισμών.

Από άποψη προσαρμοστικότητας καλλιεργειών το έδαφος έχει μικρότερη σημασία από το κλίμα και μπορεί να τροποποιηθεί ευκολότερα (π.χ. λίπανση, ασβέστωση κ.λ.π.). Από άποψη εδαφικών απαιτήσεων τα φυτά διακρίνονται σε διάφορες κατηγορίες π.χ. οξύφυτα, (προτιμούν χαμηλό pH), αλόφυτα (προτιμούν υψηλό pH). Για τα υδροχαρή φυτά το έδαφος δεν παίζει μεγάλο ρόλο. Φυτά ειδικής προσαρμοστικότητας αποτελούν δείκτες πολλών χαρακτηριστικών του εδάφους (π.χ. μετάλλων). Οι σπουδαιότεροι εδαφικοί παράγοντες που επηρεάζουν την ανάπτυξη των φυτών είναι:

1. Μηχανική σύσταση και δομή του εδάφους:

Στο σύστημα του εδάφους υπάρχει η στερεά, υγρά και αέρια φάση. Η αναλογία των τριών φάσεων ορίζει διάφορες χρήσιμες φυσικές σταθερές του εδάφους όπως ειδικό βάρος, φαινομενικό βάρος, πορώδες κ.α.

Η στερεά φάση αποτελείται από τεμαχίδια που διαφέρουν στη χημική και ορυκτολογική σύσταση, στο μέγεθος και το σχήμα τους. Τα τεμαχίδια αυτά καθορίζουν τη μηχανική σύσταση του εδάφους. Η μηχανική σύσταση καθορίζεται από την επί τοις εκατό περιεκτικότητα σε άμμο (2-0,02 mm), σε ιλύ (0,02-0,002) και άργιλλο (< 0,002). Η μηχανική σύσταση αποτελεί το κύριο κριτήριο ταξινομήσεως των εδαφών (αμμώδη έως αργιλλώδη).

Τα τεμαχίδια του εδάφους μπορούν να σχηματίσουν με την ένωσή τους συσσωματώματα που ποικίλλουν σε μέγεθος και σχήμα. Το στοιχείο αυτό αποτελεί, σε συνδυασμό με τους πόρους που αφήνουν τα συσσωματώματα, τη δομή του εδάφους. Για τη δομή πρωτεύοντα ρόλο παίζουν τα διάφορα κolloειδή της αργίλλου και η οργανική ουσία του εδάφους (χούμος). Η δομή θεωρείται από τους σπουδαιότερους παράγοντες της γονιμότητας του εδάφους.

Η μηχανική σύσταση είναι πιο σταθερό χαρακτηριστικό, μπορεί βεβαίως να τροποποιηθεί με μετάπλαση (π.χ. άμμου). Αντιθέτως η δομή του εδάφους δεν είναι σταθερή αλλά μπορεί να μεταβληθεί αναλόγως των φυσικών συνθηκών, της βιολογικής δραστηριότητας και της κατεργασίας του εδάφους.

Η άμμος και η ιλύς έχουν μικρή ειδική επιφάνεια (επιφάνεια τεμαχιδίων προς μάζα εδάφους) ενώ η άργιλλος, ως μικρότερης διατομής, έχει μεγαλύτερη ειδική επιφάνεια και επομένως περισσότερα διάκενα ώστε έχει και μικρότερο ειδικό βάρος.

Τα αμμώδη εδάφη είναι εύκολα στην κατεργασία και στο φύτευμα αλλά λιγότερο παραγωγικά από τα αργιλλώδη. Απορροφούν γρήγορα το νερό αλλά έχουν μικρή υδατοϊκανότητα. Αερίζονται και θερμαίνονται εύκολα αλλά αντιπροσωπεύουν πτωχό σύστημα θρεπτικών συστατικών. Για να αυξηθεί η παραγωγικότητα τους πρέπει η άρδευση και η λίπανση να δίνεται τμηματικώς.

Εδάφη πλούσια σε άργιλλο έχουν μεγάλη υδατοϊκανότητα και ικανότητα συγκράτησης θρεπτικών συστατικών. Θερμαίνονται δύσκολα όταν είναι υγρά, δεν αερίζονται εύκολα και δεν αποδίδουν εύκολα το νερό στα φυτά. Γενικώς επιθυμητά εδάφη είναι τα πλούσια σε άργιλλο αλλά με καλή δομή, υπάρχουν όμως διαφορές ως προς τις απαιτήσεις των φυτών.

Η σημασία της μηχανικής συστάσεως δεν είναι ίδια για όλα τα φυτά, π.χ. η σόγια θεωρείται φυτό ευρείας προσαρμοστικότητας, το καννάβι αποδίδει περισσότερο στα βαρειά εδάφη, το σιτάρι ανέχεται και ίσως αποδίδει περισσότερο στα βαρειά, η πατάτα και η αραχίδα αρέσκεται σε ελαφρά εδάφη.

Η δομή επηρεάζεται ευνοϊκώς από τη βλάστηση (ριζικό σύστημα, οργανική ουσία), από προσθήκη οργανικής ουσίας, από ασβέστωση σε περιπτώσεις όξινων εδαφών. Δυσμενώς επηρεάζεται από τον λεπτό διαμερισμό του εδάφους με τη μηχανική επεξεργασία ιδίως όταν ακολουθήσει βροχή. Σήμερα κυκλοφορούν διάφορα εδαφοβελτιωτικά που μπορεί να επηρεάσουν θετικά τη δομή αλλά η χρησιμοποίησή τους προσκρούει στο κόστος και σε τυχόν τοξικές επιδράσεις στα καλλιεργούμενα φυτά.

Η επίδραση της μηχανικής συστάσεως και δομής του εδάφους στην παραγωγή των φυτών είναι άμεσος (αντίσταση του εδάφους στο φύτευμα και ανάπτυξη του ριζικού συστήματος) και έμμεσος (πρόσληψη νερού και θρεπτικών στοιχείων).

2. Οργανική ουσία του εδάφους:

Το ποσοστό της οργανικής ουσίας στο έδαφος κυμαίνεται σε ευρέα όρια. Στα τυρφώδη εδάφη το ποσοστό της επί ξηρού βάρους εδάφους μπορεί να είναι και μεγαλύτερο από 80% ενώ στα καλλιεργούμενα εδάφη κυμαίνεται από 0,5 έως 20%, συνήθως όμως είναι μικρότερο του 10%. Η οργανική ουσία επηρεάζει σε μεγάλο βαθμό τις φυσικοχημικές ιδιότητες του εδάφους ώστε περιορίζει τη σημασία του ανόργανου μέρους αυτού.

Η οργανική ουσία είναι μίγμα ζώντων φυτικών και ζωϊκών ιστών και των προϊόντων αποσύνθεσής τους. Η περιεκτικότητά της δεν είναι σταθερή αλλά βρίσκεται σε συνεχή κατάσταση μετατροπής αναλόγως των παραγόντων που επηρεάζουν τη συσσώρευση και την αποσύνθεσή της. Η ποσότητά της καθορίζεται από την συνθετική δράση των φυτών (ρίζες-φύλλα κ.λ.π.) και από τους ζωϊκούς οργανισμούς (γαιοσκώληκες, μικροοργανισμούς κ.λ.π.), επηρεάζεται όμως και από τη σύσταση του εδάφους, τις κλιματολογικές συνθήκες και την καλλιέργεια του εδάφους. Παρακάτω δίνονται ορισμένα στοιχεία για την επίδραση των σπουδαιότερων από τους παράγοντες αυτούς.

Θερμοκρασία. Με σταθερή εδαφική υγρασία, η οργανική ουσία μειώνεται με την αύξηση της θερμοκρασίας γιατί με τέτοιες συνθήκες αυξάνεται η φυτική βλάστηση αλλά αυξάνεται σε πολύ μεγαλύτερο βαθμό η βιολογική δράση των μικροοργανισμών και επομένως η αποσύνθεση της οργανικής ουσίας. Υπολογίστηκε σχετικώς ότι με θερμοκρασία κατά 10° C μικρότερη, η οργανική ουσία είναι διπλάσια.

Υγρασία. Με σταθερούς τους υπόλοιπους παράγοντες, η αύξηση της υγρασίας ευνοεί τη βλάστηση και λόγω περιορισμού του εδαφικού αέρος δυσχεραίνεται η δράση των μικροοργανισμών και κατά συνέπεια η αποσύνθεση της οργανικής ουσίας. Επομένως με τέτοιες συνθήκες παρατηρείται αύξηση της οργανικής ουσίας.

Αερισμός. Ο αερισμός αυξάνει τη σύνθεση της οργανικής ουσίας αλλά αυξάνει σε μεγαλύτερο βαθμό την αποσύνθεσή της.

Επομένως αυξημένη οργανική ουσία παρατηρείται σε δροσερές περιοχές με αυξημένη υγρασία και περιορισμένο αερισμό.

Καλλιέργεια εδάφους και γεωργική εκμετάλλευση. Με την κατεργασία του εδάφους μειώνεται η οργανική ουσία γιατί καταστρέφεται η βλάστηση που προσφέρει οργανική ουσία και με τον αερισμό αυξάνεται η αποσύνθεσή της. Με τη γεωργική εκμετάλλευση συνήθως παρατηρείται μείωση της οργανικής ουσίας αλλά είναι δυνατό να υπάρχει και αύξηση όταν τα φυτικά υπολείμματα της καλλιέργειας είναι περισσότερα από την αυτοφυή βλάστηση και ικανά να καλύψουν επίσης τις απώλειες της οργανικής ουσίας λόγω αυξημένης αποσύνθεσής της.

Με την εισαγωγή ενός αγρού στην καλλιέργεια επέρχεται μία νέα ισορροπία σύνθεσης και αποσύνθεσης της οργανικής ουσίας που για ορισμένο κλίμα εξαρτάται από τις συνθήκες της καλλιέργειας (είδος φυτού, καλλιεργητική τεχνική).

Εμπλουτισμός του εδάφους με οργανική ουσία γίνεται με προσθήκη κοπριάς (σήμερα πλέον χρησιμοποιείται μόνο για πολύ εντατικές εκμεταλλεύσεις), με χλωρά λίπανση ιδιαίτως ψυχανθών (βίκος, μπιζέλι κ.λ.π.), με καλλιέργεια χορτοδοτικών ιδιαίτως ψυχανθών γιατί δεσμεύουν άζωτο και με αγρανάπαυση.

Τα εδάφη της χώρας μας γενικώς είναι πολύ πτωχά σε οργανική ουσία (το ποσοστό της κυμαίνεται μέχρι και κάτω του 1%) λόγω ξηροθερμικών συνθηκών.

Η σημασία της οργανικής ουσίας για τα φυτά. Η οργανική ουσία αποτελεί η ίδια πηγή θρεπτικών συστατικών, περιέχει τα βασικά στοιχεία (N,P,K) και μερικές φορές πολύτιμα ιχνοστοιχεία και διάφορες ορμόνες. Αποτελεί επίσης τροφή για πολλούς μικροοργανισμούς που με τη βιολογική τους δράση βελτιώνουν το έδαφος. Βελτιώνει τη δομή του εδάφους γιατί βοηθάει στο σχηματισμό συσσωματωμάτων εμποδίζοντας συγχρόνως την υπερβολική συγκόλληση ανόργανων κolloειδών (π.χ. της αργίλλου) και κατά συνέπεια δημιουργεί επιθυμητό πορώδες. Με την αύξηση του πορώδους όπως και με τον όγκο της αυξάνει την

υδατοϊκανότητα, κυρίως στα αμμώδη εδάφη και την υδατοπερατότητα, κυρίως στα αργιλλώδη. Προστατεύει επίσης τα θρεπτικά συστατικά από την έκπλυση. Οργανική ουσία στο επιφανειακό έδαφος κατά τη σπορά ευνοεί το φύτερωμα γιατί δεν σχηματίζει κρούστα, συγκρατεί υγρασία και ζεσταίνει το έδαφος.

Μερικές φορές κατάλοιπα ορισμένων φυτών (π.χ. τεύτλα) μπορεί να έχουν δυσμενή επίδραση στην επόμενη καλλιέργεια πιθανόν λόγω τοξικών ουσιών.

3. Ζώντες οργανισμοί του εδάφους.

Στο έδαφος υπάρχει πλήθος φυτικών (μύκητες, βακτήρια, ρίζες κ.α.) και ζωικών οργανισμών (πρωτόζωα, νηματώδεις, έντομα, γαιοσκώληκες κ.α.). Το είδος και ο πληθυσμός τους επηρεάζεται από την προσαρμοστικότητά τους στο συγκεκριμένο οικολογικό περιβάλλον, από τις κλιματικές συνθήκες, τις εδαφικές (θερμοκρασία, υγρασία, pH), το είδος της καλλιέργειας, τις καλλιεργητικές εργασίες (χρήση λιπασμάτων, χημικών σκευασμάτων). Ιδιαίτερη σημασία για τη γεωργία έχει η μικροχλωρίδα και η μικροπανίδα που βρίσκεται στο ριζόστρωμα.

Ο ρόλος των μικροοργανισμών είναι συνήθως πολύτιμος, μπορεί όμως να είναι και επιβλαβής αμέσως (Εχθροί-ασθένειες) και εμμέσως (Αποσύνθεση της οργανικής ουσίας με πολύ γρήγορο ρυθμό που δεν μπορεί να τον εκμεταλλευτεί η καλλιέργεια ώστε χάνονται στην ατμόσφαιρα ή εκπλύνονται πολύτιμα στοιχεία. Παραγωγή τοξικών ουσιών σε κακώς αεριζόμενα εδάφη. Ανταγωνισμός με τα φυτά για θρεπτικά συστατικά ιδιαίτερος N όταν η αναλογία C/N είναι ίση ή μεγαλύτερη από 20).

Ο ευεργητικός ρόλος των ζώντων οργανισμών του εδάφους για τα καλλιεργούμενα φυτά οφείλεται στα εξής σημεία:

α) Αποσύνθεση των οργανικών ενώσεων σε απλούστερες ενώσεις ή στοιχεία που μπορούν να προσληφθούν από τα φυτά. Ευνοϊκές συνθήκες αποσυνθέσεως υπάρχουν σε θερμά, υγρά, καλώς αεριζόμενα, μη όξινα εδάφη.

β) Αύξηση διαλυτοποίησης του K,P,Ca γιατί με το παραγόμενο CO₂ αυξάνει η διαλυτική ικανότητα του νερού.

γ) Παραγωγή αυξητικών ουσιών στο περιβάλλον του ριζικού συστήματος των φυτών.

δ) Δέσμευση ατμοσφαιρικού αζώτου με ορισμένα βακτηρίδια μη συμβιωτικά, όπως το **Azotobacter** στα αεριζόμενα εδάφη και το **Clostridium** στα μη αεριζόμενα και με βακτηρίδια συμβιωτικά όπως το **Rhizobium** που συμβιών με τις ρίζες ψυχανθών. Η πολύτιμη αυτή ιδιότητα αποκτά μεγαλύτερη σημασία σήμερα που επιδιώκεται μείωση του κόστους παραγωγής των προϊόντων, με τη μείωση των εισροών και προστασία του περιβάλλοντος. Επιδίωξη των επιστημόνων είναι να απομονωθούν συμβιωτικοί μικροοργανισμοί με άλλα πλην ψυχανθών φυτά, οι οποίοι να δεσμεύουν άζωτο.

ε) Ανάμιξη εδάφους, βελτίωση δομής και πορώδους εδάφους και αερισμός του εδάφους με διάφορους μετακινούμενους στο έδαφος ζωικούς οργανισμούς (γαιοσκώληκες, τρωκτικά κ.α.).

4. Θερμοκρασία του εδάφους.

Η θερμοκρασία, που αποκτά ένα έδαφος, καθορίζεται κυρίως από την ηλιακή ακτινοβολία που φθάνει στο έδαφος και από την θερμότητα που επιστρέφει από το έδαφος στο διάστημα και σε πολύ μικρότερο βαθμό από την γεωθερμότητα και την θερμότητα που εκλύεται λόγω της δράσεως των μικροοργανισμών και της σήψεως της οργανικής ουσίας. Η θερμοκρασία του εδάφους επηρεάζεται από τη μηχανική σύσταση, τη δομή, τη θερμοχωρητικότητα (που είναι συνάρτηση της υγρασίας και του αέρα του εδάφους) και το χρώμα του εδάφους (το μαύρο δεσμεύει μεγαλύτερη θερμότητα) καθώς και από την κάλυψη ή μη κάλυψη του εδάφους με βλάστηση.

Το ποσό της θερμότητας που φθάνει στο έδαφος εξαρτάται από το γεωγραφικό πλάτος, την εποχή του έτους, την ώρα της ημέρας, τη σύνθεση της ατμόσφαιρας (νέφωση, κονιορτός κ.λ.π.), τον προσανατολισμό και κλίση του εδάφους (κάθετη πρόσπτωση των ακτίνων αυξάνει τη θερμότητα). Η νέφωση περιορίζει και τις απώλειες γεγονός που έχει σημασία κατά την ψυχρή περίοδο.

Η γεινίαση με υδάτινους όγκους μειώνει τη διακύμανση της θερμοκρασίας γιατί οι υδρατμοί απορροφούν μέρος της ακτινοβολίας (δροσιά το καλοκαίρι) και εμποδίζουν την απώλεια θερμότητας (έχει σημασία για την ψυχρή περίοδο).

Η ύπαρξη βλαστήσεως συντελεί σε μικρότερη διακύμανση της θερμοκρασίας γιατί παρεμποδίζει την προσπίπτουσα ακτινοβολία το θέρος και την απώλεια της θερμότητας τον χειμώνα.

Το ποσό της θερμότητας που απορροφά ένα έδαφος και η θερμοκρασία που αποκτά, με δεδομένη ένταση και διάρκεια ακτινοβολίας, εξαρτάται από την ειδική θερμότητα των μορίων του και τη θερμική αγωγιμότητά του, στοιχεία τα οποία επηρεάζονται από τη φυσική σύσταση, το χρώμα και την υγρασία του εδάφους.

Τα ξηρά εδάφη είναι πιο θερμά από τα υγρά γιατί αφενός έχουν μικρότερη ειδική θερμότητα και θερμαίνονται πιο γρήγορα και αφετέρου έχουν μικρότερο διαμερισμό των μορίων τους και επομένως περισσότερο αέρα στους πόρους τους, ο οποίος είναι κακός αγωγός της θερμότητας. Τα ξηρά εδάφη επηρεάζονται από τις διαφορές της θερμοκρασίας στο επιφανειακό τους κυρίως τμήμα ενώ τα υγρά έχουν σταθερότερη θερμοκρασία στα διάφορα βάθη επειδή το νερό είναι καλός αγωγός της θερμότητας. Σκουρόχρωμο επίσης χώμα μπορεί να έχει μέχρι και 10°C μεγαλύτερη θερμοκρασία από ανοιχτόχρωμο χώμα.

Η φυσική σύσταση του εδάφους επηρεάζει επίσης τη θερμοκρασία του γιατί μεταβάλλει την αγωγιμότητά του. Τα συμπαγή πετρώματα μπορεί να έχουν επταπλάσια αγωγιμότητα από το νερό ενώ ψιλοχωματισμένο χώμα μπορεί να έχει μόλις το 1/3 της αγωγιμότητας του νερού. Η οργανική ουσία αυξάνει τη θερμοκρασία γιατί με την αύξηση του όγκου και μείωση του ειδικού βάρους του εδάφους η κατ' όγκο ειδική θερμότητα είναι μικρότερη από εκείνη που έχουν ανοιχτόχρωμα αμμώδη εδάφη.

Η κύμανση της θερμοκρασίας στην επιφάνεια του εδάφους είναι μεγαλύτερη από της υπερκείμενης ατμόσφαιρας. Η κύμανση μειώνεται με την αύξηση του βάθους του εδάφους και εκμηδενίζεται σε βάθος 70-80 cm. Η μέση θερμοκρασία εδάφους είναι μεγαλύτερη από τη μέση θερμοκρασία αέρος.

Επίδραση θερμοκρασίας εδάφους στα φυτά. Η θερμοκρασία εδάφους επηρεάζεται από τη θερμοκρασία αέρος και αντιθέτως αλλά σε μικρότερο βαθμό. Η επίδραση και των δύο θερμοκρασιών εξαρτάται από το είδος και το στάδιο αναπτύξεως των φυτών. Η κοινή επίδραση των δύο θερμοκρασιών θα εξεταστεί στο κεφάλαιο των κλιματολογικών παραγόντων.

Ειδικότερα η θερμοκρασία εδάφους επιδρά στη βλάστηση και φύτρωμα του σπόρου, στην αύξηση και στις υπόλοιπες λειτουργίες της ρίζας (απορρόφηση θρεπτικών στοιχείων) καθώς και στην ποσότητα των

θρεπτικών στοιχείων που μπορεί να συγκρατήσει το εδαφικό διάλυμα. Υπάρχει μία μέγιστη και μια ελάχιστη άριστη θερμοκρασία για τις παραπάνω διεργασίες (π.χ. για βλάστηση σιτηρών επαρκεί θερμοκρασία ελαφρώς υψηλότερη των 0°C ενώ το βαμβάκι χρειάζεται θερμοκρασία 15°C για τη βλάστηση και με θερμοκρασία 10°C υφίσταται ζημιές). Η επίδραση των ακραίων θερμοκρασιών εξαρτάται από τη διάρκειά τους καθώς και από τις συνθήκες που θα ακολουθήσουν. Η θερμοκρασία εδάφους καθορίζει στις περισσότερες περιπτώσεις και την εποχή σποράς για την κάθε καλλιέργεια.

Μερικοί πρακτικοί τρόποι μπορεί να επηρεάσουν τη θερμοκρασία του εδάφους όπως: η υποβοήθηση της καλής στράγγισης (αποστράγγιση - αναχώματα) αυξάνει τη θερμοκρασία· το ψιλοχωμάτισμα με την ελάττωση της θερμικής αγωγιμότητας μειώνει τη θερμοκρασία το θέρος· η κάλυψη με βλάστηση μειώνει το ετήσιο εύρος. Επίσης χρησιμοποιείται η κάλυψη του εδάφους με πολυαιθέριο κατά το φύτευμα και πρώτη ανάπτυξη των φυτών (καπνοσπορεία, καρπούζια και σήμερα και βαμβάκι).

5. Αντίδραση (pH) του εδάφους.

Τα εδάφη διαφέρουν σε μεγάλο βαθμό ως προς το pH όπως επίσης και οι απαιτήσεις και η ανοχή των φυτών ώστε σε μερικές περιπτώσεις να μπορούμε να εκτιμήσουμε το pH από το φυτό που υπάρχει.

Το pH εκφράζει την οξύτητα του εδάφους η οποία καθορίζεται από την περιεκτικότητά του σε κατιόντα υδρογόνου (H^+). Όσο μεγαλύτερη η περιεκτικότητα σε H^+ τόσο οξύτερο το έδαφος (οξέα διαλυόμενα σε νερό δίνουν H^+ και βάσεις δίνουν OH^-). Το καθαρό νερό έχει $\frac{1}{10.000.000} = 10^{-7}$ περιεκτικότητα H^+ δηλαδή $pH=7$

Το pH ισούται με την απόλυτη τιμή του εκθέτη της δύναμης ($p = \text{power}$) που εκφράζει τη συγκέντρωση των $H^+(H)$ στο διάλυμα. Μεγαλύτερη συγκέντρωση από 10^{-7} σε ένα διάλυμα, π.χ. 10^{-4} δείχνει ότι το διάλυμα είναι πιο όξινο από το νερό ($pH = 4$).

Το pH του εδάφους εξαρτάται από τη συγκέντρωση H^+ στο εδαφικό νερό (υγρά φάση) και από το είδος και την ποσότητα των εναλλακτικών κατιόντων που περιέχει η στερεά φάση του εδάφους (τα ανόργανα και οργανικά κolloειδή). Π.χ. pH σε πάστα εδάφους κορεσμένη από νερό μεγαλύτερο από 8,5 δείχνει ότι υπάρχει πολύ Na, $pH = 8.4-7.5$ δείχνει εδάφη πλούσια σε $CaCO_3$, pH μικρότερο από 7,5 υποδηλοί εδάφη πτωχά σε $CaCO_3$, $pH=7$ είναι ουδέτερα εδάφη και pH μικρότερο από 7 δείχνει εδάφη με μεγάλη ποσότητα εναλλακτικών ιόντων H, Al, Fe.

Η επίδραση του pH στα φυτά είναι άμεση μόνο στις ακραίες περιπτώσεις όπου παρεμποδίζει την ανάπτυξη των ριζών και κατά συνέπεια την απορρόφηση νερού και θρεπτικών στοιχείων.

Η έμμεσος επίδραση του pH αφορά την αφομοιωσιμότητα και πρόσληψη των εναλλακτικών κατιόντων. Π.χ. με pH μικρότερο του 5 (ισχυρώς όξινο έδαφος) ελαττώνεται ο αφομοιώσιμος φώσφορος και ευνοείται η τοξική δράση των Al, Mn, Bo ενώ στα αλκαλικά ($pH > 7,5$) ο P διαλυτοποιείται από το Ca. Τα ανόργανα νιτρικά άλατα διαλύονται σε όλη την κλίμακα του pH αλλά η μέγιστη ανοργανοποίηση του N και της οργανικής ουσίας και επομένως και η δυνατότητα προσλήψεώς του γίνεται στην περιοχή $pH:6-8$. Όσον αφορά το K τα

ισχυρώς όξινα εδάφη παρουσιάζουν έλλειψη, τα μετρίως όξινα διαθέτουν συνήθως Κ προσιτό στα φυτά, σε κλίμακα pH 7,5-8,5 και εφόσον υπάρχει μεγάλη ποσότητα CaCO₃ αναστέλλεται η αφομοιωσιμότητα του Κ και με pH > 8,5 υπάρχει συνήθως αφθονία Κ. Η οξύτητα του εδάφους επηρεάζει την αφομοιωσιμότητα πολλών άλλων στοιχείων, όπως φαίνεται στην Εικ. 20 και αναλύεται στο κεφάλαιο των θρεπτικών στοιχείων.

Η έμμεση επίδραση του pH αφορά επίσης τη δράση της μικροβιακής χλωρίδας του εδάφους. Π.χ. με χαμηλό pH μειώνεται η αποσύνθεση της οργανικής ουσίας, ελαττώνεται η δέσμευση του ατμοσφαιρικού Ν με pH < 6 και εκμηδενίζεται η δράση των Rhizobium με pH < 5.

Τα όρια προτίμησης των διαφόρων καλλιεργειών αναφέρονται στον πίνακα 1. Η μηδική π.χ. προτιμάει αλκαλικά εδάφη (άριστο pH 7,2-8,3), η σίκαλη και τα λούπινα ευδοκιμούν σε όξινα εδάφη (pH 5,0-6,8 και 4,0-6,0 αντιστοίχως)

Βελτίωση του pH. όταν επιδιώκεται μείωση της τιμής του pH προστίθεται F₂S₀₄ και χρησιμοποιούνται όξινα λιπάσματα, ενώ όταν επιδιώκεται αύξηση προστίθενται Ca⁰ ή CaCO₃ και χρησιμοποιούνται λιπάσματα με αλκαλική αντίδραση. Η απαιτούμενη ποσότητα CaCO₃ εξαρτάται από την επιδιωκόμενη διαφορά του pH και τη μηχανική σύσταση του εδάφους (π.χ. για ανύψωση του pH από 6 σε 8 απαιτούνται 600 kg/στρ. σε αμμώδες έδαφος και 2.300 σε αργιλώδες.

6. Αλατότητα-αλκαλικότητα εδάφους.

Τα αλατούχα εδάφη περιέχουν πολλά διαλυτά άλατα κυρίως Na, Ca, Mg, Cl και S. Τα αλατούχα εδάφη μπορεί να είναι αλκαλιωμένα (έχουν μεγάλη ποσότητα ανταλλάξιμου Na) ή μη. Στην Ελλάδα υπάρχουν περίπου 1,5 εκ.στρ. από τα οποία το 80% είναι αλατούχα - αλκαλιωμένα. Τα αλατούχα αυξάνουν την ωσμωτική πίεση του εδαφικού διαλύματος ώστε δυσχεραίνουν την πρόσληψη του ύδατος, γιατί και σε τέτοια εδάφη παρεμποδίζεται το φύτεμα του σπόρου. Η αλκαλικότητα προκαλεί έλλειψη πολλών στοιχείων όπως P, Fe, Mn γιατί υπάρχει ανταγωνισμός από το Na και διαταράσσει τον μεταβολισμό, ιδιαίτερος του N, εξαιτίας ορισμένων ιόντων μετάλλων.

Η βελτίωση των αλατούχων και αλκαλιωμένων επιδιώκεται με: στράγγιση του εδάφους, υποβιβασμό της υπόγειας στάθμης, έκπλυση του εδάφους (με καλλιέργεια ρυζιού ή όχι), προσθήκη οργανικής ουσίας η οποία βελτιώνει την κακή δομή αυτών των εδαφών, προσθήκη λιπασμάτων με όξινη αντίδραση (π.χ. NH₄N₀₃), προσθήκη γύψου (διαλυτοποιεί το Ca και κάνει δυνατή την έκπλυση του Na). Όταν βελτιωθεί το έδαφος καλό είναι να καλλιεργείται κάθε 6-8 χρόνια με ρύζι.

Αν δεν μπορεί να αντιμετωπιστεί το πρόβλημα της αλατότητας και αλκαλικότητας των εδαφών τότε επιβάλλεται η καλλιέργεια ανθεκτικών φυτών. Εντούτοις και παρόλες τις μελέτες δεν είναι απολύτως καθορισμένες οι καλλιέργειες αυτές γιατί το πρόβλημα της ανθεκτικότητας των φυτών στην αλκαλικότητα του εδάφους σχετίζεται με τουλάχιστον τέσσερις επιμέρους παράγοντες: α) αντοχή στα άλατα, β) αντοχή σε υψηλό pH (π.χ. βαμβάκι, μηδική, αραβόσιτος), γ) αντοχή στο βόριο, δ) αντοχή στην κατάκλυση με νερό (εδάφη με πλημμελή στράγγιση και ανεπαρκή αερισμό).

7. Το νερό του εδάφους.

Τα στερεά συστατικά του εδάφους καταλαμβάνουν το 40-70% του όγκου του εδάφους. Ο υπόλοιπος όγκος καταλαμβάνεται από αέρα και νερό. Το μέγεθος, το σχήμα και η διάταξη των μορίων του εδάφους καθορίζουν τους κενούς χώρους αυτού. Αν όλοι οι κενοί χώροι καταλαμβάνονται από νερό τότε το έδαφος είναι **κορεσμένο υγρασίας**.

Το εδαφικό νερό διακρίνεται σε τρεις κατηγορίες που δεν έχουν όμως σαφή όρια μεταξύ τους:

α) Υδροστατικό (ή διηθητό): απομακρύνεται εύκολα με τη βαρύτητα ώστε έχει μικρή σημασία για τα φυτά.

β) Τριχοειδές: Καταλαμβάνει τους τριχοειδείς πόρους τους εδάφους ή συγκρατείται, ως ένα λεπτό στρώμα γύρω από τους κόκκους του εδάφους, με δυνάμεις επιφανειακής τάσεως. Κινείται με τριχοειδείς δυνάμεις προς τις ρίζες και προς την επιφάνεια εξατμίσεως. Είναι η κυριότερη πηγή νερού για τα φυτά.

γ) Υγροσκοπικό: περιβάλλει σταθερώς τα μόρια του εδάφους ως μεμβράνη, κινείται μόνο υπό μορφή υδρατμών και δεν προσλαμβάνεται από τα φυτά. Η ποσότητα του υγροσκοπικού νερού είναι ανάλογη με το ποσοστό κolloειδών του εδάφους (μεγαλύτερη στα αργιλώδη από τα αμμώδη).

Οι παρακάτω εδαφικές σταθερές, σχετικές με την υγρασία, έχουν μεγάλη γεωργική σημασία:

1) Υδατοχωρητικότητα: Είναι η μέγιστη ποσότητα νερού που μπορεί να χωρέσει σε ένα έδαφος (κορεσμένο έδαφος) όταν αποκλείεται η στράγγιση (π.χ. κορεσμένο έδαφος σε γλάστρα χωρίς οπή εξόδου του νερού).

2) Υδατοϊκανότητα: Είναι το ποσό του νερού που από την κατάσταση κορεσμού παραμένει στο έδαφος μετά 48ωρη στράγγιση. Έχει μεγάλη σημασία για τα φυτά γιατί αντιπροσωπεύει την ποσότητα του νερού που μπορεί να συγκρατήσει το έδαφος. Η υδατοϊκανότητα είναι μεγαλύτερη στα αργιλώδη εδάφη.

3) Σημείο μόνιμης μαράνσεως: Αντιστοιχεί με το ποσοστό νερού που υπάρχει στο έδαφος όταν τα φυτά μαραίνονται οριστικώς (υπάρχει και η προσωρινή μάρανση) από έλλειψη νερού. Το σημείο μαράνσεως εξαρτάται από το είδος του εδάφους. Τα βαρειά (αργιλώδη) εδάφη έχουν πολύ μεγαλύτερο σημείο μαράνσεως από τα αμμώδη, γιατί έχουν μεγαλύτερη ποσότητα υγροσκοπικού νερού.

4) Διαθέσιμο νερό: Είναι το ποσοστό νερού που προκύπτει από τη διαφορά μεταξύ υδατοϊκανότητας και σημείου μαράνσεως. Συνήθως είναι περισσότερο στα αργιλώδη εδάφη λόγω μεγαλύτερης υδατοϊκανότητας (Εικ.21).

Μία ενδιαφέρουσα από γεωργική άποψη φυσική ιδιότητα του εδάφους είναι η **διηθητικότητα** που δηλώνει την ταχύτητα με την οποία το έδαφος απορροφά το νερό που δίνεται στην επιφάνεια του εδάφους με βροχή ή άρδευση. Συμπεριλαμβάνει την πλευρική και την κατακόρυφη διήθηση του νερού. Η ταχύτητα διηθήσεως εξαρτάται κυρίως από τη μηχανική σύσταση τη δομή και την υφή του εδάφους. (Τα αμμώδη έχουν ταχύτερη διήθηση από τα αργιλώδη).

Κίνηση του νερού στο έδαφος. Για τη συνεχή τροφοδότηση των φυτών με νερό παίζει ρόλο και η ευκολία με την οποία κινείται το νερό στο έδαφος, πέραν της ικανότητας με την οποία τα φυτά προσλαμβάνουν το νερό. Το νερό κινείται στο έδαφος από τις περιοχές με υψηλότερο δυναμικό προς τις περιοχές με χαμηλότερο δυναμικό. Το δυναμικό καθορίζεται από διάφορες δυνάμεις όπως η βαρύτητα, η πίεση του αέρα, η ωσμωτική πίεση, η τάση συγκρατήσεως από τη στερεά φάση του εδάφους. Με την απορρόφηση νερού από τις ρίζες

δημιουργείται διαφορά δυναμικού μεταξύ του εδάφους που είναι σε επαφή με τις ρίζες και εκείνου που είναι μακρύτερα, ώστε μεταφέρεται νερό από τις απομακρυσμένες περιοχές εδάφους προς το έδαφος που είναι κοντά στις ρίζες.

Το νερό κινείται μέσω των τριχοειδών πόρων με τη βαρύτητα, τη θερμότητα και τις τριχοειδείς δυνάμεις. Υπάρχει και η ανοδική τριχοειδής κίνηση του νερού που εξαρτάται από τη φυσική σύσταση του εδάφους. Σε πολύ αμμώδη εδάφη, με μόρια μεγαλύτερα από 2,5 mm δεν παρουσιάζεται τριχοειδής άνοδος και στα αργιλλώδη η κίνηση είναι βραδεία αλλά μπορεί να υπερβεί το ένα μέτρο. Γενικώς η κίνηση του νερού στο έδαφος δυσχεραίνεται από τα λεπτά συστατικά αυτού και ιδιαιτέρως από τα κολλοειδή της αργίλου. Αν ξηρό έδαφος παρεμβληθεί στην ανοδική πορεία του νερού, σταματάει η τριχοειδής κίνηση, γιατί αν υπάρχει λεπτό στρώμα ξηρού επιφανειακού εδάφους μετά τη σπορά εμποδίζεται η εξάτμιση εδαφικού νερού. Το φυτό για να ικανοποιήσει τις ανάγκες του σε νερό αναπτύσσει το ριζικό του σύστημα προς τα υγρότερα μέρη. Η κίνηση του νερού στο έδαφος και η ανάπτυξη των ριζών ευνοούνται σε εδάφη μέσης συστάσεως.

Απώλειες του νερού από το έδαφος. Η τροφοδότηση της ριζόσφαιρας με νερό γίνεται κυρίως με τη βροχή, την άρδευση και την τριχοειδή άνοδο του νερού από τυχόν υπόγεια στάθμη.

Σε γυμνό έδαφος οι απώλειες σε νερό προκαλούνται από **επιφανειακή απορροή** (ανάλογη της κλίσεως του εδάφους), από **βαθεία διήθηση** και από **εξάτμιση**.

Όταν στο έδαφος υπάρχει καλλιέργεια υπάρχει επιπλέον απώλεια λόγω της πρόσληψης νερού από τα φυτά του οποίου μέρος χρησιμοποιούν τα φυτά για να συνθέσουν το σώμα τους ενώ το υπόλοιπο φεύγει προς την ατμόσφαιρα με τη **διαπνοή**. Το σύνολο του νερού που μεταπίπτει στην αέρια φάση και φεύγει στην ατμόσφαιρα με την εξάτμιση από την επιφάνεια του εδάφους και με τη διαπνοή καλείται **εξατμισοδιαπνοή**. Όταν υπάρχει μεγάλη φυτοκάλυψη υπάρχει μικρή εξάτμιση και μεγάλη διαπνοή. Το ισοζύγιο του νερού στο περιβάλλον του φυτού εξαρτάται από τις παραπάνω προσθήκες και απώλειες.

8. Ο αέρας του εδάφους.

Ο αέρας καταλαμβάνει συνήθως το 7-10% του εδαφικού όγκου. Το ποσοστό αυτό μπορεί να κατεβεί στο 0 όταν το έδαφος είναι κορεσμένο ύδατος ή να ανεβεί στο 25% και πλέον όταν το έδαφος είναι πολύ ξηρό. Άριστη σχέση για τα φυτά είναι όταν το πορώδες αερισμού ισούται με το πορώδες της υδατοϊκανότητας. Μεγάλο συνολικό πορώδες δεν σημαίνει οπωσδήποτε και καλό αερισμό γιατί τα αργιλλώδη εδάφη π.χ. με συνολικό πορώδες 60% (σε αντίθεση με τα αμμώδη που έχουν ≈40%) έχουν λεπτούς πόρους μέσω των οποίων το νερό κινείται με δυσκολία επομένως υπάρχει κακός αερισμός.

Ο εδαφικός αέρας σε βάθος 15-25 cm είναι παραπλήσιος του ατμοσφαιρικού με τη διαφορά ότι έχει περισσότερο CO₂ (0,15-0,65 ή και περισσότερο έναντι 0,03-0,04%) λόγω αναπνοής των ριζών και βιολογικής δράσεως των μικροοργανισμών και περισσότερους υδρατμούς.

Κυκλοφορία του αέρα. Ο αέρας του εδάφους ανανεώνεται συνεχώς και γρήγορα. Αν δεν ανανεωθεί θα αυξηθεί υπερβολικά το CO₂. Οι κυριότεροι παράγοντες που ευνοούν την ανανέωση του αέρα είναι η μεταβολή της θερμοκρασίας και της ατμοσφαιρικής πίεσεως, οι άνεμοι, η διάχυση, η εξάτμιση, η βροχή-άρδευση. Η διάχυση δρα συνεχώς και ίσως είναι ο σπουδαιότερος παράγοντας.

Επίδραση στα φυτά. Ο αερισμός επιβάλλεται για να απομακρυνθεί το CO₂ και για να εισχωρήσει το O₂ που είναι απαραίτητο για την αναπνοή των ριζών, τη βλάστηση του σπόρου και τη δράση των μικροοργανισμών. Οι ανάγκες σε οξυγόνο και η ευπάθεια στην τοξική επίδραση του CO₂ εξαρτάται από το είδος του φυτού. Π.χ. το ρύζι αναπτύσσεται και με ποσοστό εδαφικού οξυγόνου 0,5% ενώ άλλα όπως κριθάρι, πατάτα, αραβόσιτος θα ευνοούνται με περιεκτικότητα μεγαλύτερη και από της ατμόσφαιρας.

Η επίδραση του αερισμού σχετίζεται και με άλλους παράγοντες, ιδιαίτερα με τη θερμοκρασία. Με αύξηση της θερμοκρασίας εντείνεται η έλλειψη O₂ γιατί αυξάνει η αναπνοή των ζώντων οργανισμών και μειώνεται η διαλυτότητα οξυγόνου στο εδαφικό διάλυμα. Αγροί κορεσμένοι υγρασίας παρουσιάζουν καχεκτική ανάπτυξη φυτών, σήψη ριζών, προκαλούν ευπάθεια των φυτών στις ασθένειες και επιπλέον είναι ψυχροί και εμποδίζουν το φύτρωμα του σπόρου.

Πρακτικές εφαρμογές για διευκόλυνση του αερισμού. Με τη μηχανοκαλλιέργεια σχηματίστηκε σε πολλά εδάφη αδιαπέραστος ορίζοντας σε βάθος που δεν υπερβαίνει συχνά τα 40 cm ώστε τα φυτά υποφέρουν από κακή στράγγιση. Στις περιπτώσεις αυτές επιβάλλεται να σπάσει το αδιαπέραστο αυτό στρώμα με εδαφοσχίστες ή άλλα μηχανήματα. Γενικώς διευκόλυνση του αερισμού γίνεται με καλή εφαρμογή του συστήματος άρδευσης-στράγγισης (πρέπει να υπάρχουν αποστραγγιστικές τάφροι) και με ενδεδειγμένες καλλιεργητικές εργασίες (οργώματα,σκαλίσματα), ιδιαίτερος όταν έχει συμπιεσθεί το έδαφος από βροχή-άρδευση. Πολλές φορές επιβάλλεται να σπάσει η επιφανειακή κρούστα του εδάφους. Επίσης συνιστάται ισοπέδωση του αγρού για να μην υπάρχουν τα σημεία του νερού που νεροκρατούν.

9. Θρεπτικά στοιχεία του εδάφους.

Τα φυτά προσλαμβάνουν τα απαραίτητα στοιχεία από το έδαφος με τις ρίζες (μικρές ποσότητες προσλαμβάνονται και με άλλα όργανα του φυτού όπως τα φύλλα).

Το μεγαλύτερο ποσοστό θρεπτικών στοιχείων βρίσκεται στο έδαφος σε μη αφομοιώσιμη για τα φυτά μορφή. Η φυσικοχημική κατάσταση του εδάφους και ιδιαίτερα η μηχανική σύσταση και η περιεκτικότητά του σε οργανική ουσία, προσδιορίζουν την ικανότητα του εδάφους να εφοδιάζει τα φυτά με τα απαραίτητα θρεπτικά στοιχεία. Μόνο η άργιλος και η οργανική ουσία του εδάφους μπορούν να παρέχουν εύκολα τα θρεπτικά τους στοιχεία γιατί τα έχουν προσροφημένα στα κolloειδή τους υπό μορφή ιόντων.

Εδαφικά μόρια, εδαφικό διάλυμα και φυτό αποτελούν ενιαίο και συνεχές σύστημα ανταλλαγής και διακίνησης των θρεπτικών στοιχείων. Η εναλλακτική αυτή ικανότητα έχει μεγάλη σημασία για τη θρέψη των φυτών.

Ο βαθμός κορεσμού των εδαφικών μορίων της αργίλου με εναλλακτικά κατιόντα και το είδος των κατιόντων έχει άμεση σχέση με τη δομή και γονιμότητα του εδάφους. Ιόντα Ca ευνοούν την καλή δομή γιατί προκαλούν συσσωμάτωση των κolloειδών της αργίλου σε αντίθεση με τα ιόντα Na, Mg που προκαλούν διασπορά των κolloειδών και επομένως και κακή δομή του εδάφους. Κορεσμός των κolloειδών με ιόντα υδρογόνου παρατηρείται σε υγρές περιοχές όπου εκπλύνονται οι βάσεις (όξινα εδάφη) ενώ σε ξηρές περιοχές συγκεντρώνονται πολλά ιόντα Ca, Mg (ουδέτερα και αλκαλικά εδάφη). Μεγαλύτερη εναλλακτική ικανότητα σε

κατιόντα από τα ορυκτά της αργίλου έχουν τα μαρμαρυγιακά και ο μοντμοριλλονίτης ενώ ο καολινίτης έχει ελάχιστη.

Η σημασία των θρεπτικών στοιχείων για το φυτό αναπτύσσεται στο κεφάλαιο της λίπανσης.

10. Απώλεια του εδάφους - Προστασία

Διάβρωση είναι η μεταφορά από τον αγρό συστατικών του εδάφους με το νερό και τον άνεμο. Τεράστια ποσά εδάφους χάνονται με τη διάβρωση με ανυπολόγιστες δυσμενείς επιπτώσεις. Τα ποσά αυτά δεν αντικαθίστανται πάρα πολύ βραδύτατα με την αναγέννηση του εδάφους. Στη χώρα μας το ανάγλυφο του εδάφους και οι ραγδαίες βροχές ευνοούν τη διάβρωση από νερό. Η διάβρωση με τον άνεμο είναι εντονότερη την ξηροθερμική περίοδο και ευνοείται όταν το έδαφος είναι γυμνό, χαλαρό, διαμερισμένο (λεπτοχωματισμένο) και ξηρό.

Η διάβρωση με νερό στον αγρό είναι τριών κατηγοριών:

α) Επιφανειακή: Το έδαφος απομακρύνεται επιφανειακά και ομοιόμορφα από τον αγρό.

β) Αυλακοειδής: Σχηματίζονται μικρές ή μεγαλύτερες αυλακιές (μικρά νεροφαγώματα) με την ανομοιόμορφη διαβρωτική ενέργεια του νερού. Το παρασυρόμενο έδαφος συγκεντρώνεται στη βάση του αγρού ή απομακρύνεται.

γ) Χαραδρωτική: Σχηματίζονται μεγάλα νεροφαγώματα ώστε δυσχεραίνεται και η κίνηση των μηχανημάτων.

Τα μέτρα που λαμβάνονται κατά της διάβρωσης αποβλέπουν κυρίως στον περιορισμό της επιφανειακής απορροής, στην αύξηση της ταχύτητας διηθήσεως του νερού στο έδαφος και στην αύξηση της ικανότητας αποθηκείσεως υγρασίας στο έδαφος.

Η ταχύτητα διηθήσεως ή απορροφήσεως εξαρτάται από πολλούς παράγοντες όπως την υφή (τα αμμώδη απορροφούν ευκολότερα) και τη δομή του εδάφους. Όταν το έδαφος είναι γυμνό η βροχή διαμερίζει τα εδαφικά μόρια που συσσωρεύονται και κλείνουν τους πόρους του εδάφους ώστε σταματούν τη διήθηση του νερού. Γιαυτό και η βλάστηση ή τα οργανικά υπολείμματα προστατεύουν το έδαφος.

Η οργανική ουσία προστατεύει επίσης το έδαφος γιατί απορροφά περισσότερο νερό.

Η τοπογραφία του εδάφους επηρεάζει επίσης το νερό που απορροφάται (επίπεδο έδαφος απορροφά περισσότερο νερό από κεκλιμένο).

Τέλος σκάλισμα γραμμικών καλλιεργειών και άρδευση με καταιωνισμό, με μικρή ένταση, αυξάνει το νερό που απορροφάται.

Εκτός των όσων αναφέρθηκαν παραπάνω είναι δυνατό να εφαρμοστούν τα παρακάτω πρακτικά μέτρα για να προστατευθούν οι καλλιεργούμενοι αγροί από τη διάβρωση:

1) Κατασκευή πεζουλιών (ανθήρων) σε κεκλιμένα εδάφη. Το μέτρο αυτό είχε ευρύτερη εφαρμογή στο παρελθόν ενώ σήμερα εφαρμόζεται πλέον σε ορισμένες περιπτώσεις πολύ επικλινών εδαφών που καλλιεργούνται παραδοσιακά. Απαντώνται στην Ελλάδα σε ορεινές και ημιορεινές περιοχές, κυρίως στα νησιά. Είναι χαρακτηριστικές επίσης οι όχθες του Ρήνου όπου καλλιεργείται η άμπελος σε αναβαθμίδες.

2) Κατεργασία του εδάφους και σπορά παράλληλα με τις ισοϋψείς.

3) Άρδευση κατά τις ισοϋψείς και μικρό μήκος αυλάκων ποτίσματος.

4) Καλλιέργεια χειμερινών φυτών και πολυετών ψυχανθών.

5) Σπορά κατά τη χειμερινή περίοδο φυτών για εδαφοκάλυψη του εδάφους (Cover crops). Τέτοια φυτά είναι συνήθως αγροστώδη ή ψυχανθή και αναστρέφονται την άνοιξη πριν τη σπορά της ανοιξιάτικης καλλιέργειας ώστε εκτός από την προστασία του εδάφους από τη διάβρωση το εμπλουτίζουν και με οργανική ουσία (χλωρά λίπανση).

6) Αύξηση της οργανικής ουσίας, π.χ. με χλωρά λίπανση.

7) Παραμονή φυτικών υπολειμμάτων στον αγρό κατά τη βροχερή περίοδο. 8) Φυτοκάλυψη με πολυετείς καλλιέργειες (θάμνοι, δένδρα) κατά ορισμένες αποστάσεις.

Η προστασία του εδάφους από διάβρωση με τον αέρα, μπορεί να γίνει με φυτοκάλυψη του εδάφους κατά το θέρος, με αποφυγή καλλιεργητικών εργασιών που προκαλούν λεπτό διαμερισμό και με ανεμοθραύστες. Το τελευταίο μέτρο σπανίως εφαρμόζεται στην περίπτωση των αροτραίων καλλιεργειών.

Έκπλυση του εδάφους. Με τη βαθειά διήθηση εκπλύνονται τα υδατοδιαλυτά συστατικά όπως τα ανθρακικά, θειικά, νιτρικά, αμμωνιακά, τα άλατα καλίου, βορίου και μαγνησίου που είναι απαραίτητα για φυτά. Ρύθμιση των καλλιεργητικών εργασιών, π.χ. ως προς την ποσότητα αρδευτικού νερού, περιορίζει ή εκμηδενίζει τις απώλειες.

ΚΛΙΜΑΤΙΚΟΙ ΠΑΡΑΓΟΝΤΕΣ

Το κλίμα αποτελεί τον κυριότερο παράγοντα που καθορίζει την καταλληλότητα μιας καλλιέργειας σε μία περιοχή γιατί δεν μπορεί να επηρεασθεί σε μεγάλο βαθμό από τον άνθρωπο. Από γεωργικής πλευράς ενδιαφέρει τόσο το μακροκλίμα της ευρύτερης περιοχής όσο και το μικροκλίμα της στενότερης.

Οι παράγοντες του κλίματος είναι η θερμοκρασία, τα ατμοσφαιρικά κατακρημνίσματα, το φως και οι άνεμοι. Παρατηρήσεις και εκτιμήσεις για τους παράγοντες αυτούς λαμβάνονται με μετεωρολογικά όργανα σε μετεωρολογικούς σταθμούς ή κλωβούς. Σήμερα με την τηλεπισκόπηση μέσω δορυφόρων γίνεται ακριβέστερη μελέτη και πρόβλεψη των καιρικών φαινομένων, γεγονός που συμβάλλει στην αύξηση της αποτελεσματικότητας της γεωργικής εκμετάλλευσης.

ΕΝΕΡΓΕΙΑΚΟΣ ΠΑΡΑΓΟΝΤΑΣ

Η θερμότητα και το φως (ηλεκτρομαγνητική ακτινοβολία) αποτελούν τον ενεργειακό παράγοντα του κλίματος και του περιβάλλοντος του φυτού.

Το κέρδος ή η απώλεια ενέργειας ενός σώματος γίνεται συνήθως υπό μορφή θερμότητας. Το φαινόμενο αυτό εκδηλώνεται με τη μεταβολή της θερμοκρασίας του σώματος, με τη μετατροπή φάσεως, π.χ. από υγρά σε αέριο, ή με χημικές μεταβολές (χαλάρωση ή διάσπαση μοριακών δεσμών).

Η ενέργεια που ενδιαφέρει την γεωργία (θερμότητα-φως) έχει κύρια πηγή την ηλιακή ακτινοβολία η οποία φθάνει στη γη σε περίπου 8 min. από την απόσταση των 150.000.000 km που βρίσκεται ο ήλιος. Η γη δέχεται περίπου τα 2 δισεκατομμυριοστά της συνολικής ενέργειας που ακτινοβολεί ο ήλιος στο διάστημα. Από την ηλιακή ακτινοβολία που φθάνει στη γη, περίπου το 1% χρησιμοποιείται για τη φωτοσύνθεση, το 2% για τη θέρμανση του εδάφους, το 4% για τη θέρμανση του αέρα και το 40% για την εξατμισοδιαπνοή ενώ το υπόλοιπο ποσό ανακλάται ή αντιακτινοβολείται. Οι ακτινοβολίες έχουν κυματώδη μορφή, διακρίνονται βάσει του μήκους κύματος και μεταδίδονται με ταχύτητα 300.000 km/sec.

Η ποσότητα της ηλιακής ακτινοβολίας και επομένως της θερμότητας και του φωτός εξαρτάται από το γεωγραφικό πλάτος (στον Ισημερινό είναι μεγαλύτερη), από το υψόμετρο (μεγάλο υψόμετρο έχει χαμηλότερη θερμοκρασία και μεγαλύτερο φωτισμό), την εποχή του έτους, από τη σύνθεση της ατμόσφαιρας, δηλαδή τα σύννεφα, το όζον, τις αιωρούμενες στερεές ουσίες καθώς και από τις κηλίδες του ήλιου. Μεταβάλλεται επίσης κατά τη διάρκεια του ημερονυκτίου.

Η ηλιακή ακτινοβολία που πέφτει στο εξωτερικό της ατμόσφαιρας έχει μία τιμή που ονομάζεται **ηλιακή σταθερά** και υπολογίζεται σε $2\text{cal/cm}^2/\text{min}$. Μέρος αυτής απορροφάται από τα συστατικά της ατμόσφαιρας και το μέγιστο ποσοστό που μπορεί να φθάσει στη γη υπολογίζεται στο 67%. Στα μέσα γεωγραφικά πλάτη (όπως η Ελλάδα) η γη δέχεται κατά το μεσημέρι των αιθρίων μηνών ποσότητα ενέργειας $1.2-1.5\text{cal/cm}^2/\text{min}$.

Η ηλιακή ακτινοβολία που φθάνει στη γη μετατρέπεται και διασπείρεται υπό μορφή θερμικής ενέργειας. Μικρό μέρος (1-2%) μετατρέπεται από τα φυτά σε δυναμική ή χημική ενέργεια με τη φωτοσύνθεση. Ένα ποσοστό της δυναμικής ενέργειας μετατρέπεται, κατά την τροφική αλυσίδα, πάλι σε θερμική ενέργεια με την αναπνοή. Η ηλιακή ενέργεια που πέφτει στα φύλλα απορροφάται περίπου κατά 80% και το μεγαλύτερο μέρος αυτής δαπανάται για τη διαπνοή.

Από τα παραπάνω φαίνεται ότι τα φαινόμενα της ζωής συνδέονται με μετατροπές της ύλης και της ενέργειας. Ύλη και ενέργεια δεν χάνονται αλλά υφίστανται αμοιβαία μετατροπή καθώς και μετατροπή από μία μορφή σε άλλη.

Επίδραση των διαφόρων ακτινοβολιών στα φυτά. Τα φυσιολογικά αποτελέσματα των ακτινοβολιών στα φυτά εξαρτώνται από το μήκος κύματος της ακτινοβολίας. Ένα στενό φάσμα μήκους κύματος της ηλιακής ακτινοβολίας είναι επιθυμητό από τα φυτά, το φάσμα της ορατής ακτινοβολίας, το οποίο κυμαίνεται από 400-800 nm. Όπως αναφέρθηκε, η μέγιστη απορρόφηση από τη χλωροφύλλη και επομένως η μέγιστη φωτοσυνθετική ικανότητα σημειώνεται σε μήκος κύματος 610-700 nm. Το δεύτερο μέγιστο της φωτοσύνθεσης παρατηρείται στο φάσμα των 400-510 nm. Στο φάσμα των 510-610nm γίνεται ελάχιστη φωτοσύνθεση. Οι

υπέρυθρες ακτίνες με μήκος κύματος μεγαλύτερο από 800nm δεν είναι αποτελεσματικές για τη φωτοσύνθεση και χρησιμοποιούνται μόνο για θέρμανση, ενώ μήκος κύματος 315-400 nm προκαλεί μορφολογικές αλλοιώσεις στα φυτά (π.χ.βραχύσωμα φυτά και πάχυνση φύλλων), 315-280 nm είναι επιβλαβής ακτινοβολία για τα περισσότερα φυτά γιατί προκαλεί ιονισμό και μικρότερη των 280 nm (υπεριώδης) νεκρώνει τα φυτά πολύ γρήγορα (Εικ.17). Όπως προαναφέρθηκε, οι τρύπες του όζοντος έχουν αυξήσει την υπεριώδη ακτινοβολία που φθάνει στη γη με δυσμενείς επιπτώσεις όχι μόνο στην υγεία του ανθρώπου αλλά και στην αύξηση και ανάπτυξη των φυτών.

Το φως ως πηγή ενέργειας για τα φυτά.

Εκτός από την ένταση του φωτός που εξαρτάται από την ποσότητα της ηλιακής ακτινοβολίας που φθάνει στη γη, ενδιαφέρον από γεωργικής πλευράς έχει και η διάρκεια αυτού που εξαρτάται από το γεωγραφικό πλάτος και την εποχή του έτους. Όπως είναι γνωστό, στην Ελλάδα η μεγαλύτερη ημέρα είναι στις 21/6 και η μικρότερη στις 21/12.

Το φως είναι απαραίτητο για την αύξηση και ανάπτυξη των φυτών γιατί αποτελεί τη βασική πηγή ενέργειας. Επεμβαίνει σε τρεις βασικές λειτουργίες του φυτού, τη φωτοσύνθεση, τον φωτοτροπισμό και τη φωτοπερίοδο.

Φωτοσύνθεση. Αποτελεί τη βάση υπάρξεως της ζωής στον πλανήτη μας, όπως προαναφέρθηκε. Υπολογίζεται ότι σε ένα χρόνο δεσμεύονται 3×10^{10} ton. άνθρακος (50% στην ξηρά και 50% στη θάλασσα) και ελευθερώνονται 8×10^{10} ton. οξυγόνου (οι όγκοι CO_2 και O_2 είναι ίσοι). Η φωτοσύνθεση αναλύθηκε σε προηγούμενο κεφάλαιο.

Φωτοτροπισμός. Είναι η ιδιότητα των φυτών να κατευθύνουν το υπέργειο τμήμα τους προς το φως καθώς αυξάνονται. Το φαινόμενο οφείλεται στη δράση, της ρυθμιστικής ουσίας, αυξίνης, που σχηματίζεται στο βλαστικό μερίστωμα και προκαλεί την αύξηση των κυττάρων. Η αυξίνη καταστρέφεται από το ένζυμο οξειδάση. Η καταστροφή είναι ταχύτερη στα φωτιζόμενα μέρη του φυτού και επομένως όταν υπάρχει μονόπλευρος φωτισμός συγκεντρώνεται μεγαλύτερη ποσότητα αυξίνης στη σκιαζόμενη πλευρά γεγονός που προκαλεί εντονότερη επιμήκυνση των κυττάρων ώστε το φυτό κλίνει προς το φως (Εικ.22).

Φωτοπεριοδισμός. Η επίδραση που έχει η εποχιακή εναλλαγή του μήκους της ημέρας στα φυτά και ειδικότερα στην άνθησή τους ονομάζεται όπως προαναφέρθηκε, φωτοπεριοδισμός. Τα φυτά, όπως αναφέρθηκε, διακρίνονται σε βραχείας, μακράς και ουδέτερα φωτοπεριόδου (βλ.εξήγηση του φωτοπεριοδισμού με φυτόχρωμα).

Άλλες επιδράσεις του φωτός στα φυτά:

- **Φύτρωμα σπόρου.** Υπάρχουν σπόροι που δεν φυτρώνουν στο σκότος ή αντιθέτως. Η δράση του φωτός στο φύτρωμα σχετίζεται πολλές φορές με τη θερμοκρασία και την αυξίνη που σχηματίζεται στο έμβρυο των σπόρων όταν βλαστάνει, η συγκέντρωση της οποίας όπως αναφέρθηκε εξαρτάται από το φως. - **Αύξηση και ανάπτυξη των φυτών.** Η αύξηση επηρεάζεται από τη συγκέντρωση της αυξίνης και επομένως από το φως. Το μήκος της ημέρας επηρεάζει πολλές φορές, όπως αναφέρθηκε, την αναπαραγωγική ανάπτυξη των φυτών όπως την άνθηση, τον λήθαργο των οφθαλμών των δένδρων, τον σχηματισμό βολβών, κονδύλων κ.α. Χαμηλή ένταση φωτός ευνοεί τη βλαστική ανάπτυξη (φυλλώδη φυτά, σχηματισμό ριζωμάτων) και κάνει τα φυτά ευαίσθητα στις

ασθένειες, ενώ υψηλή ένταση ευνοεί την άνθηση και καρποφορία. Έλλειψη φωτός οδηγεί στη δημιουργία αφοριστικού ιστού, που συνδέεται με την αυξίνη, με αποτέλεσμα την πτώση φύλλων, καρπών κ.λ.π.

- **Χρωστικές ουσίες.** Το φως επιδρά επίσης στη σύνθεση και διάσπαση διαφόρων χρωστικών ουσιών των φυτών και επομένως στο χρώμα των φύλλων και καρπών. Η χλωροφύλλη και ο ερυθρός και κίτρινος χρωματισμός των φύλλων σχηματίζονται μόνο στα φωτιζόμενα μέρη του φυτού. Άλλες φυτικές χρωστικές κυρίως των ανθέων, δεν απαιτούν την παρουσία του φωτός. Τα φυτά αμύνονται στον έντονο φωτισμό (φυτά ορέων) με διάφορες μορφολογικές και φυσιολογικές μεταβολές καθώς και με μείωση της χλωροφύλλης, με αύξηση των ανθοκυανών (για μεγαλύτερη αντανάκλαση φωτός) και με αύξηση των ερυθρών χρωστικών (για μεγαλύτερη αντανάκλαση θερμότητας).

- **Πρόσληψη θρεπτικών στοιχείων.** Δεν υπάρχει άμεση αλλά έμμεση σχέση που συνδέεται με τη μεταβολή της θερμοκρασίας, της εξατμισοδιαπνοής (αυξάνει η πρόσληψη Ca) και της φωτοσύνθεσης (αυξάνει η χρησιμοποίηση ιδίως του K, του Mg και του N).

Τα φυτά αναλόγως των απαιτήσεών τους σε φως ταξινομούνται ως ηλιόφυτα ή φωτόφυτα και σκιάφυτα προαιρετικά ή υποχρεωτικά.

Αλληλεπίδραση φωτός με άλλους παράγοντες: Υπάρχει έντονη αλληλεπίδραση φωτός και θερμότητας επί των φυτών, γιατί και κάθε μελέτη φωτός πρέπει να αναφέρεται σε συγκεκριμένη θερμοκρασία. Η σχέση αυτή είναι δυσεξήγητη αλλού φαίνεται ότι σε ορισμένες περιπτώσεις η θερμοκρασία υποκαθιστά μερικώς τον ελλιπή φωτισμό και αντιθέτως. Η επίδραση π.χ. του φωτοπεριοδισμού μπορεί να αντιστραφεί με κατάλληλη ρύθμιση της θερμοκρασίας. Επίσης τα ανατομικά χαρακτηριστικά των φυτών που αναπτύσσονται στο σκότος και με ευνοϊκές θερμοκρασίες ομοιάζουν με τα χαρακτηριστικά των φυτών που αναπτύσσονται σε χαμηλές θερμοκρασίες και ικανοποιητικό φωτισμό.

Επίσης το γόνιμο έδαφος συντελεί σε μεγαλύτερη παραγωγή χλωροφύλλης και επομένως σε μεγαλύτερη φωτοσυνθετική ικανότητα.

Θερμοκρασία αέρος.

Η τοπική και χρονική κατανομή της θερμότητας εξαρτάται από την ηλιακή ακτινοβολία που φθάνει σε ένα σημείο. Η θερμοκρασία όμως ενός τόπου επηρεάζεται και από την κίνηση των αέριων μαζών, από τη γειτνίαση του τόπου με υδάτινες μάζες (μεγάλη θερμοχωρητικότητα και αγωγιμότητα επομένως πιο σταθερή θερμοκρασία) και από τα θαλάσσια ρεύματα. Η θερμοκρασία είναι συνήθως αντιστρόφως ανάλογη προς το υψόμετρο αλλά σε μερικές περιπτώσεις παρατηρείται αναστροφή της θερμοκρασίας. Π.χ. τον χειμώνα, όταν επικρατεί άπνοια και αιθρία, ο αέρας κοντά στο έδαφος και ιδιαίτερα στο βάθος μιας κοιλάδας ψύχεται περισσότερο λόγω ακτινοβολίας της γης, οπότε η θερμοκρασία είναι χαμηλότερη από τα υψηλότερα σημεία ή τις παρυφές της κοιλάδας. Τέτοιες χαμηλές τοποθεσίες, σε αντίθεση με τις κεκλιμένες, αποτελούν θήλακες παγετού και είναι επικίνδυνες κυρίως για πολυετείς καλλιέργειες (δένδρα).

Το ετήσιο εύρος της θερμοκρασίας αυξάνει όταν μεγαλώνει το γεωγραφικό πλάτος, αυξάνει το υψόμετρο ή αυξάνει η απόσταση από τις υδάτινες μάζες. Αντιθέτως το ημερήσιο εύρος είναι μεγαλύτερο στον Ισημερινό.

Η θερμοκρασία του περιβάλλοντος των φυτών έχει πηγή την ηλιακή ενέργεια και ειδικότερα εκείνη που προέρχεται από το υπέρυθρο, μη ορατό τμήμα της ακτινοβολίας. Η θερμοκρασία που αποκτά ένα φυτό είναι το

αποτέλεσμα της ισορροπίας της θερμότητας που δέχεται το φυτό και αυτής που ακτινοβολεί. Οι χημικές αντιδράσεις του φυτού μπορεί να συμβούν συνήθως σε θερμοκρασίες 0-38°C. Για κάθε φυτό και για κάθε στάδιο αύξησεως και αναπτύξεως υπάρχει μία **ελάχιστη** θερμοκρασία, μία **άριστη** (με την αύξηση της θερμοκρασίας μέχρι ενός ορίου επιταχύνονται οι βιοχημικές διεργασίες και στη συνέχεια ακολουθεί κάμψη) και μία **μέγιστη** όπου ανακόπτονται οι βιοχημικές διεργασίες. Η άριστη θερμοκρασία φαίνεται ότι είναι υψηλότερη για το υπέργειο από το υπόγειο τμήμα του φυτού ενώ οι ρίζες είναι πιο ευπαθείς στις υψηλές θερμοκρασίες.

Επίδραση της θερμοκρασίας στην ανάπτυξη των φυτών. Η επίδραση της θερμοκρασίας αέρος στα φυτά είναι συνυφασμένη με εκείνη του εδάφους, όπως αναφέρθηκε. Χαρακτηριστικές επιδράσεις της θερμοκρασίας αναφέρονται στις εξής λειτουργίες του φυτού:

- **1. Βλάστηση - φύτευμα.** Η βλάστηση του σπόρου αρχίζει με απορρόφηση νερού άρα η θερμοκρασία του νερού πρέπει να είναι μεγαλύτερη από το σημείο πήξεως. Όπως αναφέρθηκε, τα διάφορα φυτά έχουν διαφορετική απαίτηση θερμοκρασίας για βλάστηση, π.χ. τα χειμερινά σιτηρά (ελαφρώς μεγαλύτερη) 0°C, τα εαρινά σιτηρά 5°C και το βαμβάκι 15°C. Η ταχύτητα φυτρώματος αυξάνει με τη θερμοκρασία με άριστο επίπεδο περίπου τους 30°C και όρια 4-38° C.

- **2. Αύξηση.** Η αύξηση των φυτικών οργάνων είναι ανάλογη, μέχρι ενός ορίου, με τη θερμοκρασία. Η αύξηση των ριζών απαιτεί γενικώς μικρότερη θερμοκρασία από το υπέργειο τμήμα.

- **3. Αναπνοή.** Υπάρχει άμεση σχέση στην αύξηση αναπνοής με την αύξηση της θερμοκρασίας. Έτσι σε μεγάλες θερμοκρασίες, ιδιαίτερα σε γηρασμένα φυτά, η απώλεια άνθρακος από την αναπνοή είναι μεγαλύτερη από την δέσμευση άνθρακος με τη φωτοσύνθεση. Επίσης συγκομισμένοι καρποί και σπόροι χάνουν άνθρακα με την αναπνοή ή ποσότητα του οποίου είναι ανάλογη με τη θερμοκρασία του περιβάλλοντος.

- **4. Διαπνοή.** Η διαπνοή γίνεται εντονότερη με την αύξηση της θερμοκρασίας, ιδιαίτερος όταν φυσσάει αποξηραντικός άνεμος.

- **5. Ταχύτητα σταδίων αναπτύξεως.** Τα φυτά για να συμπληρώσουν τα επιμέρους στάδια και το σύνολο του βιολογικού τους κύκλου έχουν ανάγκη από ορισμένο άθροισμα θερμοκρασιών (growing degree days: GDD) που είναι διαφορετικό για το κάθε φυτό. Για τον υπολογισμό των GDD συνήθως αφαιρούνται οι θερμοκρασίες άνω και κάτω ενός ορίου, αναλόγως του φυτού. Όταν δεν συμπληρώνεται ο αριθμός των ημερών αναπτύξεως, κατά τη διάρκεια της βλαστικής περιόδου, μειώνεται η παραγωγικότητα του φυτού, γεγονός που παρατηρείται συχνά σε φυτά που καλλιεργούνται σε οριακές για τα φυτά αυτά περιοχές, όπως π.χ. το βαμβάκι στην Ελλάδα. Με την αύξηση της θερμοκρασίας επιταχύνονται τα διάφορα στάδια, αλλά η υπερβολική σμίκρυνση των σταδίων αναπτύξεως μπορεί να αποβεί σε βάρος της απόδοσης των φυτών.

Επίδραση χαμηλών θερμοκρασιών. Η ετήσια διακύμανση της θερμοκρασίας καθορίζει τη βλαστική περίοδο των φυτών, δηλαδή την περίοδο που οι θερμοκρασίες είναι ευνοϊκές για την ανάπτυξη των φυτών και επομένως καθορίζει και τις ζώνες καλλιέργειας των φυτών.

Η βλαστική περίοδος, ειδικότερα στις εύκρατες περιοχές και ακόμη περισσότερο στις περιοχές με μεγαλύτερο γεωγραφικό πλάτος όπου οι μέγιστες θερμοκρασίες σπανίως υπερβαίνουν το μέγιστο ανεκτό από το φυτό όριο θερμοκρασίας, προσδιορίζεται από τις ελάχιστες θερμοκρασίες.

Τα φυτά είναι συνήθως πιο ανθεκτικά στις χαμηλές θερμοκρασίες στην αρχή και το τέλος του βιολογικού τους κύκλου και πολύ ευαίσθητα κατά την άνθηση. Εντούτοις ζημιές από χαμηλές θερμοκρασίες παρατηρούνται

ιδιαίτερα στα πρώτα στάδια του φυτού γιατί τότε επικρατούν χαμηλές θερμοκρασίες. Ειδικότερα για οριακές καλλιέργειες, όπως το βαμβάκι στην Ελλάδα, η χαμηλή θερμοκρασία είναι ο σπουδαιότερος ίσως κλιματολογικός παράγοντας που καθορίζει την επιτυχία της καλλιέργειας σε μια χρονιά. Επίσης χαμηλές θερμοκρασίες στα πρώτα στάδια των φυτών μπορεί να έχουν σημαντικές επιδράσεις μεταγενέστερα, π.χ. να προκαλέσουν πρόωρη άνθηση στα ζαχαρότευτλα, ώστε από διετή να μετατραπούν σε μονοετή φυτά, με αποτέλεσμα τη μείωση της παραγωγής.

Το ψύχος περιορίζει την ταχύτητα βλαστήσεως, φυτρώματος και γενικώς αναπτύξεως των φυτών και τα καθιστά ευαίσθητα σε μυκητολογικές ασθένειες, ιδιαίτερος κατά το φύτρωμα. Οι ζημιές από το ψύχος εξαρτώνται και από τη διάρκεια του καθώς και από τις συνθήκες που θα επακολουθήσουν. Σταδιακή άνοδος της θερμοκρασίας, μετά το ψύχος, είναι προτιμότερη από την απότομη άνοδο της θερμοκρασίας.

Έχει μεγάλη γεωργική σημασία να γνωρίζουμε τα όρια αντοχής των φυτών ώστε να επιλέγουμε τη σωστή καλλιέργεια για μία περιοχή και την κατάλληλη εποχή σποράς του φυτού. Η αντοχή του φυτού φαίνεται ότι συνδέεται με τον τόπο καταγωγής του αλλά και με τη γενετική, φυσική ή τεχνητή, διαφοροποίηση που έχει υποστεί κατά την εξελικτική του πορεία. Η πολυπλοειδία π.χ. συνδέεται συνήθως με αύξηση της αντοχής σε χαμηλές θερμοκρασίες. Γενικώς φυτά τα οποία κατάγονται από τροπικές και υποτροπικές περιοχές (π.χ. βαμβάκι) είναι πιο θερμό απαιτητικά σε σχέση με φυτά που κατάγονται από εύκρατες περιοχές (π.χ. χειμερινά σιτηρά).

Οι προσπάθειες των βελτιωτών αποσκοπούν στη δημιουργία ποικιλιών ανθεκτικών στις χαμηλές θερμοκρασίες και με μικρότερο βιολογικό κύκλο ώστε να προσαρμόζονται στη βλαστική περίοδο της περιοχής.

Υπάρχει και ευνοϊκή επίδραση των χαμηλών θερμοκρασιών όπως στο φαινόμενο της εαρινοποίησης, σύμφωνα με το οποίο, όπως προαναφέρθηκε, δεν φυτρώνουν οι σπόροι και δεν ανθίζουν πολλά φυτά αν δεν υποστούν την επίδραση χαμηλών θερμοκρασιών.

Η τοπογραφία, το ανάγλυφο της περιοχής, η έκθεση του αγρού καθώς και διάφοροι κλιματολογικοί παράγοντες όπως υγρασία, ομίχλη, άνεμοι κ.λ.π. επιδρούν στην διαμόρφωση των θερμοκρασιών στο περιβάλλον των φυτών και επομένως ρυθμίζουν τις ζημιές από το ψύχος.

Παγετοί. Όταν η θερμοκρασία εδάφους ή αέρος κοντά στα φυτά κατεβεί κάτω των 0°C σημειώνεται παγετός. Παγετοί σημειώνονται συνήθως τον χειμώνα, αλλά μερικές φορές και αργά την άνοιξη ή νωρίς το φθινόπωρο, οπότε είναι πιο καταστρεπτικοί.

Από τους παγετούς μπορεί να προκληθούν μηχανικές ζημιές, λόγω διαστολής του νερού στους φυτικούς ιστούς και αφυδάτωση γιατί το φυτό δεν μπορεί να προσλάβει νερό. Τα δύο παραπάνω φαινόμενα μπορεί να οδηγήσουν το φυτό σε θάνατο. Η επίδραση του παγετού, όπως και γενικώς του ψύχους, εξαρτάται από το στάδιο του φυτού. Π.χ. πολλοί σπόροι, στους οποίους δεν άρχισε η διεργασία της βλαστήσεως, αντέχουν σε θερμοκρασίες κάτω του μηδενός. Επίσης τα χειμερινά σιτηρά π.χ. αντέχουν θερμοκρασίες πολλών βαθμών κάτω του 0°C μετά το φύτρωμα και πριν το καλάμωμα.

Υπάρχουν μεγάλες διαφορές μεταξύ των φυτών ως προς την αντοχή στους παγετούς και γενικότερα στο ψύχος. Από τα χειμερινά σιτηρά αντέχουν κατά σειρά: σίκαλη, σιτάρι, κριθάρι, βρώμη. Από τα ψυχανθή ανθεκτικά είναι: π.χ. το μπιζέλι, ο βίκος, η φακή, και ενώ ευαίσθητα είναι: π.χ. το φασόλι, η σόγια και η αραχίδα γαυτό και σπέρνονται άνοιξη

Υπάρχει και ευνοϊκή επίδραση από τους παγετούς, όταν δεν υπάρχουν στον αγρό φυτά με έντονη δραστηριότητα. Π.χ. καταστρέφονται πολλά έντομα και παθογόνοι οργανισμοί του εδάφους, καθώς και ζιζάνια. Επίσης με το πάγωμα του εδάφους και τον θρυμματισμό των σβόλων βελτιώνεται η υφή του εδάφους.

Μέτρα προστασίας κατά των παγετών και γενικότερα κατά του ψύχους. Στις πολύ εντατικές καλλιέργειες, π.χ. ανθοκομικές και λαχανοκομικές, χρησιμοποιούνται θερμοκήπια διαφόρου τύπου που αποτελούν και τον πιο αποτελεσματικό τρόπο αντιμετώπισης του ψύχους. Ο περιορισμός του κόστους θερμοκηπίων και η χρησιμοποίηση φθινών μορφών ενέργειας μπορεί να επεκτείνει στο μέλλον τη χρήση θερμοκηπίων. Η Ελλάδα έχει συγκριτικά πλεονεκτήματα για την επέκταση θερμοκηπιακών καλλιεργειών ιδιαίτερα με χρησιμοποίηση ήπιων μορφών ενέργειας, που είναι και φιλικές προς το περιβάλλον, όπως αιολική ενέργεια, γεωθερμία κ.ά.

Στη δένδροκομία χρησιμοποιούνται επίσης ανεμοφράκτες, άρδευση, καπνογόνα καθώς και ανεμιστήρες για εκμετάλλευση του φαινομένου της αναστροφής της θερμοκρασίας.

Για τα φυτά μεγάλης καλλιέργειας άρχισε να εφαρμόζεται, όπως αναφέρθηκε, η κάλυψη των γραμμών σποράς με φύλλα πολυαιθυλενίου κατά το φύτεμα και κατά τα πρώτα στάδια ανάπτυξης ευαίσθητων φυτών (καρπούζια, σπαράγγι, βαμβάκι). Το σύστημα αποσκοπεί στην ασφαλή πρώιμη σπορά και πρώτη ανάπτυξη των φυτών και κατά συνέπεια στην αύξηση της παραγωγής και του γεωργικού εισοδήματος. Η κάλυψη στο βαμβάκι εφαρμόζεται σε μεγάλη έκταση στην Ισπανία και άρχισε εδώ και μερικά χρόνια να εφαρμόζεται και στη χώρα μας, κυρίως στη Βόρεια Ελλάδα.

Η εμφάνιση παγετών παίζει πολλές φορές καθοριστικό ρόλο στην επιτυχία της καλλιέργειας γιαυτό και υπάρχει γεωργική ασφάλιση κατά των ζημιών από παγετούς.

Επίδραση υψηλών θερμοκρασιών. Οι υψηλές θερμοκρασίες μπορεί να προκαλέσουν άμεσες και έμμεσες ζημιές στα φυτά. Μαραίνουν ή αποξηραίνουν το φυτό, αυξάνουν την αναπνοή, μειώνουν τη φωτοσύνθεση και μπορούν να προκαλέσουν νέκρωση του πρωτοπλάσματος όταν η σπαργή κατέλθει κάτω του σημείου μόνιμης μαράνσεως.

Τα φυτά αντιδρούν στις υψηλές θερμοκρασίες με την αύξηση της διαπνοής η οποία μπορεί να μειώσει τη θερμοκρασία μέχρι και 10°C. Διάφορα μορφολογικά χαρακτηριστικά, όπως παχειά εφυμενίδα και ύπαρξη τριχών, επηρεάζουν την ένταση διαπνοής και επομένως και τον βαθμό των ζημιών. Η αντοχή των φυτών στις υψηλές θερμοκρασίες σχετίζεται με την ικανότητα έντονης διαπνοής και πρόσληψης νερού γιαυτό και επηρεάζεται και από την ανάπτυξη του ριζικού συστήματος.

Το μικροκλίμα από ενεργειακής απόψεως. Από γεωργικής πλευράς ως μικροκλίμα χαρακτηρίζεται το κλίμα που επικρατεί στο χώρο της καλλιέργειας. Αυτό επηρεάζεται από το γενικό κλίμα αλλά μπορεί να διαφέρει σημαντικώς, αναλόγως του ισοζυγίου ενέργειας που δέχεται ο χώρος της καλλιέργειας υπό μορφή θερμότητας και φωτός και της αντίστοιχης ενέργειας που χάνει. Η ευκολία μετάδοσης της ενέργειας, η κίνηση του αέρος, η εξάτμιση και άλλοι παράγοντες επηρεάζουν το ισοζύγιο της ενέργειας.

Μεγάλη σημασία έχει το ανάγλυφο της περιοχής, η έκθεση του αγρού, το χρώμα και η υγρασία του εδάφους, η βλάστηση και η ύπαρξη ανεμοθραυστών. Διάφορες επίσης καλλιεργητικές εργασίες μπορούν να επηρεάσουν το μικροκλίμα της καλλιέργειας. Π.χ. η άρδευση ξηρού εδάφους αποφέρει όφελος σε ενέργεια γιατί

αφενός μειώνεται η απώλεια ακτινοβολίας με το σκουρότερο χρώμα που αποκτά το έδαφος και αφετέρου με τη μείωση της επιφανειακής θερμοκρασίας μειώνεται η ακτινοβολία μεγάλου μήκους που εκπέμπει το έδαφος. Εντούτοις με την παραπάνω διεργασία μειώνεται η θερμοκρασία της επιφάνειας του εδάφους και του υπεράνω στρώματος αέρος γιατί με την άρδευση αυξάνεται η εξάτμιση που καταναλίσκει πολλή ενέργεια και επιπλέον αυξάνεται η θερμοαγωγιμότητα του εδάφους.

Επικουρική ενέργεια για τις ανάγκες της Γεωργίας. Όπως αναφέρθηκε, κύρια πηγή της ενέργειας που απαιτούν τα φυτά είναι η ηλιακή ενέργεια. Σε ορισμένες μόνο περιπτώσεις χρησιμοποιείται πρόσθετη ενέργεια υπό μορφή θερμότητας και φωτισμού, κυρίως στα θερμοκήπια. Για τις ανάγκες όμως της Γεωργίας, π.χ. για τις καλλιεργητικές εργασίες, την παραγωγή λιπασμάτων και φυτοφαρμάκων, τη μεταφορά και επεξεργασία των προϊόντων καθώς και για άλλες ανάγκες, απαιτείται η καταβολή επικουρικής ενέργειας.

Αρχικώς στη γεωργική πράξη χρησιμοποιείτο ως επικουρική ενέργεια αυτή που κατέβαλαν οι άνθρωποι και τα ζώα. Σήμερα χρησιμοποιούνται κυρίως καύσιμα και ηλεκτρική ενέργεια, ώστε από ενεργειακής απόψεως η σύγχρονη γεωργία είναι απαιτητικότερη από την παραδοσιακή. Έτσι με την εκμηχάνιση της καλλιέργειας προέκυψε το οξύ πρόβλημα της εξασφάλισης οικονομικών πηγών ενέργειας για συγκράτηση του κόστους παραγωγής.

Η προστασία επίσης του περιβάλλοντος επιβάλλει τη χρησιμοποίηση μορφών ενέργειας που δεν μολύνουν το περιβάλλον. Βασικές επιδιώξεις σήμερα είναι: η παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας από πυρηνική σύντηξη, η χρησιμοποίηση ήπιων μορφών ενέργειας για τα θερμοκήπια (κυρίως ηλιακής και γεωθερμίας) και η δέσμευση αζώτου και από άλλα φυτά πέραν των ψυχανθών ώστε να μειωθούν οι απαιτήσεις των καλλιεργειών σε λιπάσματα. Επίσης πολλές απόψεις συγκλίνουν στον περιορισμό ορισμένων καλλιεργητικών εργασιών, όπως περιττή κατεργασία εδάφους και υπερβολική χρήση φυτοφαρμάκων και λιπασμάτων.

Η γεωργία μπορεί και αναμένεται να διαδραματίσει σημαντικό ρόλο στην αντιμετώπιση του παγκόσμιου ενεργειακού προβλήματος με την καλλιέργεια φυτών που παράγουν βιοενέργεια η οποία είναι ανανεώσιμη αλλά και φιλική προς το περιβάλλον.

ΥΔΑΤΙΚΟΣ ΠΑΡΑΓΟΝΤΑΣ

Αν δεν υπήρχε το νερό δεν θα υπήρχε στον πλανήτη μας ζωή, τουλάχιστον με τη σημερινή μορφή. Το νερό, εκτός από τις υδάτινες συγκεντρώσεις, βρίσκεται στο έδαφος, στην ατμόσφαιρα, στα φυτά, κ.α.

Το νερό είναι απαραίτητο για την ανάπτυξη των φυτών: Αποτελεί μέχρι και πλέον του 95% του συνολικού βάρους των φυτικών κυττάρων, παίρνει μέρος σε πολλές αντιδράσεις και ειδικότερα στη φωτοσύνθεση, αποτελεί τον γενικό διαλύτη των ορυκτών και συστατικό του εδαφικού διαλύματος από το οποίο προσλαμβάνονται τα θρεπτικά στοιχεία, αποτελεί επίσης διαλύτη των οργανικών ουσιών, που παράγονται και μετακινούνται στο φυτό, όπως και διαλύτη του CO₂ που είναι απαραίτητο για τη φωτοσύνθεση.

Επίσης διατηρεί τα κύτταρα σε σπαργή, στοιχείο που είναι απαραίτητο για τις λειτουργίες του κυττάρου και τη στήριξη του φυτού, είναι απαραίτητο για τη διατήρηση της ζωής του πρωτοπλάσματος και των κυττάρων γενικώς. Ελάχιστοι ιστοί μπορούν να ζήσουν με περιεκτικότητα σε υγρασία μικρότερη από 10%. Ακόμη το νερό, μέσω της διαπνοής, προστατεύει τα φυτά από τις υψηλές θερμοκρασίες. Τα φυτά μπορούν να προσλάβουν θρεπτικά στοιχεία που θα επαρκέσουν για πολλές εβδομάδες, αλλά μη απορρόφηση νερού έστω και για μία ημέρα μπορεί να ανακόψει την ανάπτυξη του φυτού ή και να προκαλέσει τον θάνατό του.

Ο κύκλος του νερού στον αγρό αρχίζει με το νερό που δέχεται ο αγρός με τα ατμοσφαιρικά κατακρημνίσματα και την άρδευση, συνεχίζεται με την είσοδο του νερού στο έδαφος και την πρόσκαιρη αποθήκευσή του στο ριζόστρωμα και τελειώνει με την απομάκρυνσή του, με την αποστράγγιση, την επιφανειακή απορροή, την εξάτμιση και την πρόσληψη του από τα φυτά τα οποία το χρησιμοποιούν αλλά και το διαπνέουν. Οι απώλειες νερού από την εξάτμιση και τη διαπνοή, αποτελεί την εξατμισοδιαπνοή.

Ατμοσφαιρικά κατακρημνίσματα και γεωργικές επιπτώσεις. Τα σπουδαιότερα ατμοσφαιρικά κατακρημνίσματα είναι η βροχή, το χιόνι, το χαλάζι και η δρόσος. Αποτελούν την πρωτογενή πηγή η οποία τροφοδοτεί με νερό το έδαφος και στη συνέχεια το φυτό. Επηρεάζουν ακόμη τη σχετική υγρασία της ατμόσφαιρας και την ένταση του φωτός με τη συννεφιά, ομίχλη και άλλα φαινόμενα.

Η έλλειψη νερού αποτελεί τον πλέον κοινό παράγοντα που περιορίζει τις αποδόσεις των φυτών. Η σημασία της έγινε προφανής σε παγκόσμια κλίμακα τα τελευταία χρόνια που επικράτησε ασυνήθιστη ξηρασία (εκτός το 1994) και ανάγκασε τον άνθρωπο να αναλογιστεί τις συνέπειες της ληστρικής του επέμβασης στη φύση, με την καταστροφή των δασών κ.α.

Μέσα στο έτος υπάρχει συνήθως μία υγρή περίοδος κατά την οποία η βροχόπτωση είναι μεγαλύτερη από την εξατμισοδιαπνοή, μία ενδιάμεση και μία ξηρή περίοδος που η βροχόπτωση δεν επαρκεί για να καλύψει τις ανάγκες του φυτού. Η εναλλαγή των εποχών έχει σημασία όλο το χρόνο για τα πολυετή φυτά, ενώ για τα ετήσια επιδιώκεται από τον άνθρωπο ο συγχρονισμός των σταδίων αυξήσεως και αναπτύξεως με τις εποχές αναλόγως των απαιτήσεων σε νερό. Υπάρχουν σημαντικές διαφορές μεταξύ των φυτών ως προς την ικανότητα προσαρμογής ή ανοχής σε περιόδους ξηρασίας.

Υγρασία της ατμόσφαιρας και δημιουργία ατμοσφαιρικών κατακρημνισμάτων. Η ατμόσφαιρα εμπλουτίζεται με υδρατμούς κυρίως με: α) την εξάτμιση νερού από τους υδάτινους όγκους, αναλόγως της θερμοκρασίας της ατμόσφαιρας και του νερού, της ταχύτητας του ανέμου και της υγρασίας του αέρα, β) την εξάτμιση υγρασίας από την επιφάνεια της γης και γ) τη διαπνοή των φυτών.

Το ποσοστό των υδρατμών που περιέχει η ατμόσφαιρα σε ορισμένη θερμοκρασία σε σχέση με το συνολικό ποσό που μπορεί να συγκρατήσει (σημείο κορεσμού) ονομάζεται **σχετική υγρασία**. Το σημείο κορεσμού αυξάνει αναλόγως προς τη θερμοκρασία. Όταν θερμοί άνεμοι, εμπλουτισμένοι με υδρατμούς, αναγκαστούν, λόγω διαφοράς πίεσεως, να ακολουθήσουν ανοδική πορεία ή να μετακινηθούν σε μεγαλύτερο γεωγραφικό πλάτος ψύχονται και αν φθάσουν το μειωμένο πλέον σημείο κορεσμού αποδίδουν ένα μέρος των υδρατμών με ατμοσφαιρικά κατακρημνίσματα. Οι συμπυκνωμένοι υδρατμοί πέφτουν ως βροχή, χιόνι ή χαλάζι αναλόγως της θερμοκρασίας των νεφών και των στρωμάτων της ατμόσφαιρας. Ψύξη του αέρα κοντά στο έδαφος σχηματίζει ομίχλη, δρόσο ή πάχνη.

Υψηλή ατμοσφαιρική υγρασία απορροφά μέρος των ηλιακών ακτίνων ώστε περιορίζει την ένταση του φωτός και την εξάτμιση. Η νέφωση επίσης περιορίζει την ηλιοφάνεια και το ημερήσιο εύρος της θερμοκρασίας.

Βροχή. Είναι το σπουδαιότερο από άποψης παροχής νερού ατμοσφαιρικό κατακρήμνισμα. Εκτός από την παροχή νερού έχει και μηχανική επίδραση στο έδαφος και στο φυτό που συνήθως, όταν μάλιστα είναι ραγδαία, είναι επιβλαβής γιατί: συμπιέζει το έδαφος, σχηματίζει κρούστα που εμποδίζει το φύτεμα και τον αερισμό του εδάφους, σκεπάζει μικρά φυτά ή τα κατώτερα φύλλα με λάσπη και δεν τα επιτρέπει να φωτοσυνθέσουν, ρίχνει άνθη και καρπούς, εμποδίζει τη γονιμοποίηση, πλαγιάζει τα φυτά, ξεπλένει τις προστατευτικές ουσίες που πρόσφατα ψεκάστηκαν στα φυτά. Μεταφέρει με τους κόκκους εδάφους μύκητες εδάφους και βακτήρια στα κατώτερα φύλλα. Η μηχανική επίδραση μπορεί να είναι επωφελής όταν ξεπλένει τα φυτά από τη σκόνη, σταθεροποιεί τα φυτά μετά από μεταφύτευση, παρασύρει ορισμένα έντομα (όπως αφίδες) συμπιέζει το πολύ χαλαρό έδαφος, ή λυώνει τα επιφανειακά λιπάσματα και τα επιτρέπει να εισχωρήσουν στο έδαφος.

Τα σπουδαιότερα χαρακτηριστικά της βροχής είναι το ύψος, η ετήσια κατανομή και η έντασή της. Η βροχόπτωση διαφέρει από περιοχή σε περιοχή αλλά για κάθε περιοχή το ετήσιο ύψος και η κατανομή κυμαίνονται εντός ορισμένων ορίων. Για τον χαρακτηρισμό μιας περιοχής ως ξηρής ή υγρής πρέπει να λαμβάνεται υπόψη και η θερμοκρασία που επηρεάζει τις ανάγκες των φυτών σε νερό. Η ένταση της βροχής επηρεάζει το ποσοστό απωλειών από επιφανειακή απορροή και έχει σχέση με τη διάβρωση του εδάφους και τις μηχανικές ζημιές των φυτών.

Με παρατεταμένες βροχές ή με καταιγίδες το νερό δεν προλαβαίνει να διηθηθεί στο έδαφος και κατακλύζει τον αγρό, όταν είναι επίπεδος, οπότε εμποδίζει τον αερισμό και προκαλεί ζημιές στα φυτά. Σε κεκλιμένα εδάφη απορρέει με δύναμη ανάλογη με την ποσότητα και το ανάγλυφο του εδάφους, εκπλύνει το έδαφος από θρεπτικά συστατικά και προκαλεί διαβρώσεις. Όταν το νερό της βροχής φθάνει στα ποτάμια μπορεί να προκαλέσει ρύπανση, με τα φυτοφάρμακα και λιπάσματα που τυχόν συμπαράσύρει ή να ανεβάσει τη στάθμη τους και να προκαλέσει πλημμύρες.

Οι επιβλαβείς επιδράσεις της βροχής, ειδικότερα οι πλημμύρες και η διάβρωση αντιμετωπίζονται με διάφορα αντιπλημμυρικά και αποστραγγιστικά έργα, όπως αναφέρεται στο κεφάλαιο της διάβρωσης.

Στην Ελλάδα το ύψος βροχής, σε συνδυασμό με τη σχετικώς υψηλή θερμοκρασία, είναι περιορισμένο. Στις περισσότερες περιοχές είναι μικρότερο από 500 mm. Επίσης η άνιση κατανομή της βροχής δεν είναι η επιθυμητή για τη γεωργία (βροχερός χειμώνας, ξηρό καλοκαίρι). Ακόμη το ανάγλυφο του εδάφους συμβάλλει στην έντονη διάβρωση και στη δημιουργία πλημμυρών. Για την αντιμετώπιση των συνεπειών από την άνιση κατανομή των βροχοπτώσεων τόσο για την άρδευση όσο και την ύδρευση, ειδικότερα σε ξηρές και απομονωμένες περιοχές όπως τα νησιά, επιβάλλεται να γίνουν έργα ώστε να συγκεντρώνεται το νερό κατά τη χειμερινή περίοδο και να χρησιμοποιείται το θέρος.

Η κατανομή της βροχής σε σχέση με τη θερμοκρασία επηρεάζει σε μεγάλο βαθμό την προσαρμοστικότητα των καλλιεργειών. Διακρίνονται τρεις κυρίως κατηγορίες:

- α) Όταν η βροχόπτωση και η θερμοκρασία ακολουθούν παράλληλη πορεία, η κατανομή της βροχής είναι ιδανική για την αξιοποίηση της βλαστικής περιόδου των φυτών (περίπτωση πολιτείας Iowa των Η.Π.Α.).

- β) Όταν η θερμοκρασία και η βροχόπτωση ακολουθούν αντίθετη πορεία, όπως συμβαίνει στην Ελλάδα και σε άλλες παραμεσόγειες περιοχές, δεν ευνοούνται τα εαρινά φυτά παρά μόνον εφόσον αρδεύονται. Ευνοούνται τα χειμερινά φυτά που αξιοποιούν την αρχή της ανοίξεως, τότε που συνήθως υπάρχει άριστος συνδυασμός θερμοκρασίας και υγρασίας, για τη συμπλήρωση της ανάπτυξής τους. Γιαυτό και τα χειμερινά φυτά στην Ελλάδα έχουν μεγαλύτερη προσαρμοστικότητα σε σχέση με τα εαρινά φυτά.

- γ) Όταν η κατανομή της βροχής είναι ομοιόμορφη όλο το έτος (όπως Ohio των Η.Π.Α. και άλλα βορειότερα δροσερά κλίματα) ευνοούνται τα πολυετή φυτά βοσκών.

Η κύμανση του ύψους βροχής από έτος σε έτος και η διαφοροποίηση της ετήσιας κατανομής από τη συνήθη, μπορεί να ζημιώσει σε μεγάλο βαθμό τη γεωργία που κατά κανόνα είναι προσαρμοσμένη στα συνήθη φαινόμενα.

Χιόνι. Η επίδρασή του μπορεί να είναι ωφέλιμη ή επιζήμια. Το χιόνι είναι ωφέλιμο γιατί συγκρατεί μεγάλη ποσότητα νερού χωρίς να δημιουργεί ασφυκτικό περιβάλλον για τα φυτά και όταν λιώνει σιγά-σιγά απορροφάται από το έδαφος και χρησιμοποιείται από τα φυτά ή τροφοδοτεί τα υδροφόρα στρώματα, τις πηγές και τα ποτάμια. Επίσης προστατεύει τα νεαρά φυτά, όπως σιτηρά, από τις χαμηλές θερμοκρασίες, ακόμη και όταν η θερμοκρασία αέρος είναι πολύ κάτω του μηδενός.

Οι ζημιές από το χιόνι είναι κυρίως μηχανικής φύσεως από το βάρος που συσσωρεύεται στα φυτά. Απότομη τήξη χιονιού μπορεί να προκαλέσει πλημμύρες.

Χαλάζι. Είναι σχεδόν πάντοτε επιζήμιο για τη γεωργία. Μόνο σε γυμνό ξηρό χωράφι που πρόκειται να καλλιεργηθεί μπορεί να είναι ωφέλιμο, κυρίως γιατί προσθέτει κάποια υγρασία. Οι ζημιές από το χαλάζι είναι μηχανικής φύσεως και είναι ιδιαίτερος σοβαρός όταν το μέγεθός του είναι μεγάλο. Το μέγεθος των ζημιών εξαρτάται από το στάδιο του φυτού. Το χαλάζι πέφτει συνήθως κατά το τέλος της ανοίξεως ή το καλοκαίρι όταν υπάρχουν τόσο χειμερινές όσο και εαρινές καλλιέργειες και μάλιστα αναπτυγμένες οπότε οι ζημιές είναι μεγαλύτερες. Ευτυχώς το χαλάζι πέφτει σε περιορισμένη έκταση και έχει μεγαλύτερη συχνότητα σε ορισμένες περιφέρειες. Δεν υπάρχουν, προς το παρόν, πρακτικά μέτρα αντιμετώπισής του και μόνο η ασφάλιση της παραγωγής από οργανισμούς γεωργικών ασφαλίσεων ανακουφίζει τον παραγωγό από τις ζημιές (για την Ελλάδα οι ΕΛΓΑ: Ελληνικές Γεωργικές Ασφαλίσεις).

Δρόσος. Έχει περιορισμένη σημασία για την αύξηση της υγρασίας του εδάφους. Λίγα είναι τα φυτά, όπως της ερήμου, που μπορούν να εκμεταλλευτούν με τα φύλλα το νερό της δρόσου. Περισσότερο ευνοείται η βλάστηση των σπορίων πολλών επιβλαβών μυκήτων (περονόσπορος κ.α.). Επίσης εμποδίζει τις πρωϊνές επεμβάσεις στα φυτά, όπως τη συγκομιδή βαμβακιού και την αποξήρανση του κομένου χόρτου των χορτοδοτικών φυτών.

Απώλειες του νερού από εξάτμισοδιαπνοή σε σχέση με τους εδαφοκλιματικούς παράγοντες.

Εξάτμιση. Το νερό μεταπίπτει από την υγρά στην αέρια φάση είτε στην επιφάνεια του εδάφους είτε λίγο κάτω από αυτή. Στη δεύτερη περίπτωση η εξάτμιση είναι βραδύτερη γιατί πρέπει να επακολουθήσει διάχυση ατμών προς την επιφάνεια του εδάφους και στη συνέχεια προς την ατμόσφαιρα.

Οι κυριότεροι παράγοντες που επηρεάζουν τη ποσότητα του εξατμιζόμενου νερού είναι οι καιρικές συνθήκες, ιδιαιτέρως η θερμοκρασία και η σχετική υγρασία, η τριχοειδής κίνηση του νερού στο έδαφος και το μέγεθος και ο αριθμός των εδαφικών πόρων που είναι γεμάτοι με νερό.

Οι καιρικές συνθήκες επηρεάζουν την εξάτμιση αναλόγως και της μηχανικής συστάσεως του εδάφους. Στα αμμώδη εδάφη που δεν υπάρχει τριχοειδής κίνηση του νερού, λόγω των μεγάλων πόρων, η εξάτμιση συμβαίνει μόνο στην επιφάνεια του εδάφους. Στα αργιλώδη η τριχοειδής κίνηση είναι μικρότερη από την εξάτμιση στην επιφάνεια ώστε γρήγορα σχηματίζεται κρούστα που εμποδίζει την έξοδο των υδρατμών. Τα ιλυοπηλώδη έχουν συνήθως εντονότερες απώλειες από εξάτμιση γιατί έχουν ενδιάμεσου μεγέθους πόρους που επιτρέπουν την τριχοειδή κίνηση (γρήγορη υδατοαγωγιμότητα).

Διαπνοή. Ο ρυθμός της διαπνοής επηρεάζεται από παράγοντες του φυτού και του περιβάλλοντος αέρος καθώς και του εδάφους. Ο αριθμός και η έκταση των στοματίων, η έκταση της συνολικής επιφάνειας των φύλλων, το πάχος της εφυμενίδας, η ύπαρξη κηρώδους επιφάνειας των φύλλων, η ύπαρξη τριχών, η ικανότητα του ριζικού συστήματος να τροφοδοτεί το φυτό με νερό, η πρωτοπλασματική διαπερατότητα είναι οι σπουδαιότεροι εσωτερικοί παράγοντες του φυτού.

Η ικανότητα του αέρος, που περιβάλλει τα φυτά, να παραλάβει και να απομακρύνει το νερό της διαπνοής εξαρτάται από τη θερμοκρασία, τη σχετική υγρασία και την ταχύτητα του ανέμου. Η περιεκτικότητα του εδάφους σε νερό, η θερμοκρασία και ο αερισμός του εδάφους, καθώς και η συγκέντρωση και σύνθεση του εδαφικού διαλύματος επηρεάζουν τη διαπνοή.

Το φυτό, με κανονικές συνθήκες, αντιδρά κατά τρόπο ώστε να υπάρχει μία ισορροπία στην πρόσληψη και απώλεια του νερού. Αν η απώλεια είναι μεγαλύτερη από την πρόσληψη προκαλείται προσωρινή μάρανση και απώλεια της σπαργής των κυττάρων μέχρις ότου επέλθει και πάλι υδατική ισορροπία.

Όπως αναφέρθηκε το ποσό του νερού που διαπνέεται είναι τουλάχιστον εκατονταπλάσιο από εκείνο που χρησιμοποιείται κατά τη φωτοσύνθεση. Η μεγάλη αυτή ποσότητα απαιτείται τόσο για τη πρόσληψη και μετακίνηση των θρεπτικών στοιχείων όσο και για την ρύθμιση της θερμοκρασίας των φυτών, ιδιαιτέρως των φύλλων.

Κατανάλωση νερού από τα φυτά. Το νερό που καταναλίσκει το φυτό το προσλαμβάνει από το έδαφος. Στο κεφάλαιο "έδαφος" εξετάστηκε η μετακίνηση του νερού στο έδαφος και προς τις ρίζες. Η πρόσληψη νερού από το ριζικό σύστημα αναφέρθηκε στις λειτουργίες της ρίζας.

Κίνηση του νερού μέσα στα φυτά. Το σώμα του φυτού με το σύστημα των αγγείων, μεταφέρει συνεχώς το νερό, σαν φυτίλι, από κάτω προς τα άνω. Η κίνηση αυτή είναι αποτέλεσμα της διαφορετικής τάσεως απορροφήσεως μεταξύ υπέργειου άκρου του φυτού και της ρίζας του. Προκαλείται από:

- α) την ενεργό δράση του πρωτοπλάσματος των κυττάρων των ριζικών τριχιδίων. Το πρωτόπλασμα απορροφά νερό σαν αντλία.

- β) τη διαδοχική αύξηση της ωσμωτικής πίεσεως που παρατηρείται από το έδαφος προς στον φλοιό και προς το ξυλόγχυμα και η οποία οφείλεται στην πρόσληψη ιόντων από το φυτό και κυρίως

- γ) τη διαπνοή που προκαλεί απορρόφηση νερού προς τα άνω λόγω της τάσεως που δημιουργείται. Η τάση μεταβιβάζεται σε όλη την υδάτινη στήλη από τη ρίζα μέχρι τα στομάτια. Το φυτό ρυθμίζει την κίνηση αυτή και την κατανάλωση του νερού με το ανοιγοκλείσιμο των στοματίων.

Περιεκτικότητα των φυτών σε νερό. Όσο πιο ενεργό είναι ένα μέρος του φυτού τόσο μεγαλύτερη είναι συνήθως η περιεκτικότητά του σε νερό. Τα φύλλα των φυλλωδών φυτών (π.χ. ψυχανθών) περιέχουν 90-95% νερό, τα υπόγεια αποθησαυριστικά όργανα (βολβοί, κόνδυλοι) 70-80%, οι πλήρως ώριμοι σπόροι των δημητριακών 12-13% και οι ελαιούχοι σπόροι 7-9%.

Οι σπουδαιότεροι παράγοντες που επηρεάζουν την περιεκτικότητα των φυτών σε νερό είναι:

- α) η κληρονομική σύνθεση του φυτού.

- β) η ηλικία του φυτού και εποχή του έτους (περιορίζεται όσο ωριμάζει το φυτό και βαίνει προς την ξηροθερμική περίοδο),

- γ) η φύση και η χημική σύσταση του εδάφους (επηρεάζουν το διαθέσιμο νερό). Όταν διευκολύνεται η πρόσληψη νερού από το έδαφος τα φυτά γίνονται πιο υδαρή,

- δ) η σκίαση των φυτών δημιουργεί φυτά πιο υδαρή γιατί υπάρχουν συνθήκες μειωμένης διαπνοής λόγω μειωμένης θερμοκρασίας αέρος και ίσως αυξημένης σχετικής υγρασίας,

- ε) η ώρα της ημέρας. Η μέγιστη περιεκτικότητα παρατηρείται προς το τέλος της νύκτας. Το στοιχείο αυτό έχει σημασία για την κατάλληλη ώρα συγκομιδής του προϊόντος,

- στ) οι κλιματολογικές συνθήκες. Κατά τα βροχερά έτη η περιεκτικότητα των φυτών σε νερό είναι μεγαλύτερη,

- ζ) η θερμοκρασία αέρος και εδάφους, που επηρεάζουν την πρόσληψη και την διαπνοή,

- η) η πυκνότητα της φυτείας.

Κατανάλωση νερού. Όπως προαναφέρθηκε το ποσό του νερού σε kg που καταναλίσκει το φυτό για να σχηματίσει ένα kg ξηράς ουσίας ονομάζεται συντελεστής διαπνοής. Ο συντελεστής διαπνοής διαφέρει πολύ μεταξύ των φυτών αλλά επηρεάζεται σημαντικώς και από τις συνθήκες του περιβάλλοντος, π.χ. συνθήκες διαπνοής, διαθέσιμο νερό κ.ά. Για τον λόγο αυτό ο συντελεστής διαπνοής δεν μπορεί να χρησιμοποιηθεί ως κριτήριο αντοχής του φυτού στην ξηρασία. Συντελεστές διαπνοής που αναφέρονται κυμαίνονται σε ευρέα όρια π.χ. 270 για το σόργο και 860 για μηδική.

Οι συνθήκες που συμβάλλουν στην αύξηση των αποδόσεων μειώνουν τον συντελεστή διαπνοής (π.χ. ποικιλία, λίπανση σε συνδυασμό με άρδευση, γονιμότητα εδάφους, καλλιεργητικές εργασίες). Με την αύξηση της ηλικίας του φυτού αυξάνει, κατά κανόνα, ο συντελεστής διαπνοής. Στα ξηρά κλίματα υπάρχει ευθύγραμμη σχέση μεταξύ παραγωγής ξηράς ουσίας και κατανάλωσης νερού ενώ στα υγρά η σχέση είναι πολυπλοκότερη και ελέγχεται περισσότερο από το είδος του φυτού.

Έλλειψη υγρασίας.

Η έλλειψη υγρασίας στη χώρα μας αποτελεί συνήθως τη σπουδαιότερη αντιξοότητα του περιβάλλοντος που μειώνει τις αποδόσεις των φυτών. Έλλειψη υγρασίας παρατηρείται όταν η πρόσληψη του νερού είναι μικρότερη από τη διαπνοή ώστε ο ρυθμός αυξήσεως του φυτού περιορίζεται και το φυτό μαραίνεται. Η μάρανση διακρίνεται σε **προσωρινή μάρανση**, όταν το φυτό επανακτά τη σπαργή του μόλις παρέλθει η περίοδος της ημέρας με την έντονη διαπνοή (μεσημέρι) και τη **μόνιμη μάρανση** που οδηγεί το φυτό στον θάνατο.

Η έλλειψη υγρασίας ασκεί μεγαλύτερη επίδραση σε ορισμένο στάδιο του φυτού που ονομάζεται **κριτική περίοδος**. Για τα περισσότερα φυτά η κριτική περίοδος είναι γύρω στο στάδιο της ανθοφορίας γιατί τότε είναι μεγιστοποιημένες οι ανάγκες του φυτού σε νερό. Φυτά με περιορισμένο συντελεστή διαπνοής έχουν περιορισμένες ζημιές από έλλειψη υγρασίας.

Το φυτό αντιδρά, καταρχή στην έλλειψη νερού με το κλείσιμο των στοματίων με αποτέλεσμα να μειώνεται η φωτοσυνθετική δράση και επομένως η απόδοση του φυτού. Σε τέτοιες περιπτώσεις το ριζικό σύστημα αυξάνει σε αντίθεση με το υπέργειο τμήμα. Τα στάδια του φυτού επιταχύνονται, γιατί το φυτό προσπαθεί να συμπληρώσει εσπευσμένα τον βιολογικό του κύκλο, με αποτέλεσμα τη μείωση της παραγωγής. Συχνά παρατηρείται πτώση καρποφόρων οργάνων και μείωση της ποιότητας πολλών προϊόντων (π.χ. ίνες βαμβακιού.).

Η αντοχή του φυτού στην ξηρασία επηρεάζεται από την διαπνέουσα επιφάνεια, το ριζικό σύστημα και την ωσμωτική πίεση του κυτταρικού χυμού. Ορισμένα φυτά αντέχουν στην ξηρασία γιατί αναπτύσσουν μεγάλο και βαθύ ριζικό σύστημα, ή έχουν περιορισμένη διαπνοή, ή αναστέλλουν τις λειτουργίες τους κατά την περίοδο της ξηρασίας και αναλαμβάνουν ευχερώς τις δραστηριότητές τους μετά την ξηρασία (π.χ. σόργο).

Η αντοχή του φυτού στην ξηρασία είναι συνήθως γενετική αλλά μπορεί να είναι και επίκτητη ύστερα από σκληραγώγηση του φυτού. Η γενετική αντοχή μπορεί να είναι ανατομική (κατασκευή ρίζας, φύλλων και άλλων οργάνων) ή φυσιολογική (ωσμωτική πίεση πρωτοπλάσματος, ικανότητα του πρωτοπλάσματος να επιζήσει με μικρή πίεση ατμού, ή ικανότητα συγκράτησης υγρασίας στο πρωτόπλασμα). Επίκτητη αντοχή μπορεί να προέλθει και με χρήση αντιδιαπνευστικών ουσιών που ψεκάζονται στα φύλλα, αλλά έχει περιορισμένη χρήση σε φυτά μεγάλης καλλιέργειας.

Τα φυτά διακρίνονται σε υγρόφυτα, ξηρόφυτα και μεσόφυτα. Τα περισσότερα καλλιεργούμενα φυτά ανήκουν στην κατηγορία των μεσόφυτων.

Από τα θρεπτικά στοιχεία βοηθούν την προσαρμογή στην ξηρασία το K γιατί αυξάνει τη σπαργή και φωτοσύνθεση και σε μικρότερο βαθμό ο P. Μεγάλη σημασία έχει επίσης η σχέση K/N που πρέπει να είναι ισορροπημένη.

Αντιμετώπιση της ελλείψεως νερού. Αναφέρονται οι σπουδαιότεροι τρόποι ενώ λεπτομερέστερη ανάλυση για τους τρόπους αυτούς γίνεται στα οικεία κεφάλαια.

-1) **Αρδευση.** Είναι ο αποτελεσματικότερος τρόπος, ο οποίος αποτελεί τον σπουδαιότερο παράγοντα επιτυχίας πολλών καλλιεργειών όταν αυτές καλλιεργούνται σε ξηρές περιοχές.

- 2) **Καταστροφή ζιζανίων** που ανταγωνίζονται τα φυτά σε νερό και θρεπτικά στοιχεία.

- 3) **Προσθήκη οργανικής ουσίας** που αυξάνει τα κολλοειδή του εδάφους και την ικανότητα του να συγκρατεί νερό.

- 4) **Κατεργασία εδάφους.** Τα φθινοπωρινά ή χειμερινά οργώματα βοηθούν τη συγκράτηση του νερού των βροχών που συνήθως πέφτουν τη χειμερινή περίοδο, σε αντίθεση με τα εαρινά που συμβάλλουν σε απώλεια εδαφικής υγρασίας. Την άνοιξη η κατεργασία πρέπει να περιορίζεται στις τελείως απαραίτητες και οπωσδήποτε ελαφρές μορφές κατεργασίας και να επιδιώκεται μετά την κατεργασία να συμπιεστεί το επιφανειακό χώμα (κυλίνδρισμα) ώστε να μη χάνεται υγρασία. Επίσης το σπάσιμο του αδιαπέραστου εδαφικού ορίζοντα βοηθάει στη συγκράτηση περισσότερου νερού.

- 5) **Εναλλαγή καλλιεργειών** με διαφορετικές απαιτήσεις σε νερό και κυρίως με διαφορετικό βάθος ριζοστρώματος. Θετικά επενεργούν επίσης αραιότερος πληθυσμός φυτών ή και καλλιεργούμενη αγρανάπαυση.

- 6) **Επωφελέστερη χρησιμοποίηση του νερού** με εκλογή του κατάλληλου φυτού και ποικιλίας, με προσαρμογή, κυρίως με την εποχή σποράς, των σταδίων αναπτύξεως αναλόγως της χρονικής ποσότητας διαθέσιμου νερού και με εφαρμογή της κατάλληλης λίπανσης.

- 7) **Χρήση αντιδιαπνευστικών ουσιών** ή άλλων ουσιών που σκληραγωγούν το φυτό.

- 8) **Αποταμίευση του νερού** κατά τις περιόδους που δεν χρειάζεται στα φυτά και χρησιμοποίησή του την περίοδο των αρδεύσεων. Οι προσπάθειες για επίτευξη αυτού του στόχου πρέπει να εντατικοποιηθούν.

Επίσης ορισμένοι καλλιεργητικοί παράγοντες αποσκοπούν στην αύξηση της ικανότητας προσαρμογής των φυτών σε συνθήκες ξηρασίας. Τέτοιοι παράγοντες, εκτός από τη χρήση αντιδιαπνευστικών ουσιών, μπορεί να είναι π.χ. η ρύθμιση της αρδεύσεως με αραιότερα αλλά πιο γερά ποτίσματα ώστε να αναγκαστεί το φυτό να σχηματίσει βαθύ ριζικό σύστημα και να εκμεταλλεύεται μεγαλύτερο εδαφικό όγκο, η στέρηση του νερού για 2-3 ημέρες σε φυτά που πρόκειται να μεταφυτευτούν (π.χ. καπνός) κ.α.

Αντιδιαπνευστικές ουσίες. Χρησιμοποιούνται κυρίως σε μεταφυτευόμενα φυτά. Είναι χημικές ενώσεις που περιορίζουν τη διαπνοή. Διακρίνονται αναλόγως του τρόπου δράσεως σε: α) αντανεκαστικές οι οποίες αυξάνουν την αντανάκλαση με αποτέλεσμα να περιορίζεται το ποσοστό απορρόφησης ηλιακής ακτινοβολίας και συνεπώς η θερμοκρασία και διαπνοή του φύλλου, β) μονωτικές, που σχηματίζουν λεπτές μεμβράνες ώστε εμποδίζεται η έξοδος ατμού από τα φυτά, γ) ουσίες που περιορίζουν το άνοιγμα των στοματίων με επίδρασή τους στα καταφρακτικά κύτταρα των στοματίων. Οι δύο τελευταίες κατηγορίες μειονεκτούν έναντι της πρώτης γιατί προκαλούν αύξηση της θερμοκρασίας των φύλλων αλλά και μειώνουν και τον ρυθμό φωτοσύνθεσης του φυτού αφού περιορίζουν και την είσοδο του CO₂ στο φυτό. Οι αντανεκαστικές πλεονεκτούν γιατί επιδρούν στην επάνω επιφάνεια των φύλλων και δεν επηρεάζουν τον ρυθμό φωτοσύνθεσης γιατί το CO₂ εισέρχεται από τα στομάτια που βρίσκονται κυρίως στην κάτω επιφάνεια των φύλλων.

Αναφέρονται επίσης και άλλες ουσίες που βρίσκονται σε δοκιμαστικό στάδιο, όπως η ρεζιστίνη που χρησιμοποιείται για εμβάπτιση σπόρων ή μικρών φυταρίων.

Περίσσεια υγρασίας.

Για τις συνθήκες της χώρας μας αποτελεί, σε σχέση με την έλλειψη υγρασίας, σπανιότερο φαινόμενο με δυσμενείς επιπτώσεις στο φυτό. Περίσσεια υγρασίας παρατηρείται και από κακή εφαρμογή της αρδεύσεως.

Η περίσσεια υγρασίας αυξάνει τα βλαστικά τμήματα του φυτού σε σχέση με τα αναπαραγωγικά, προκαλεί πτώση καρποφόρων οργάνων, καταστροφή των ριζιδίων, δημιουργεί υδαρείς ιστούς που αυξάνουν την ευπάθεια σε ασθένειες, μειώνει πολλές φορές την ποιότητα του προϊόντος (π.χ. το σιτάρι έχει περισσότερη πρωτεΐνη με συνθήκες περιορισμένης υγρασίας) και προκαλεί σήψη τμημάτων του φυτού ή ολόκληρου του φυτού.

Υπερβολική εδαφική υγρασία περιορίζει το απαραίτητο για το φυτό οξυγόνο και μπορεί να το οδηγήσει σε αποπληξία, επίσης περιορίζει τη μικροβιακή δράση που σχετίζεται με την παροχή αφομοιώσιμων για το φυτό θρεπτικών στοιχείων και ακόμη, με αναερόβιες συνθήκες, οι μικροοργανισμοί παράγουν από τη διάσπαση της οργανικής ουσίας ανεπιθύμητες ή και επιβλαβείς για το φυτό ουσίες.

Περίσσεια εδαφικής υγρασίας δυσχεραίνει επίσης ή καθυστερεί την έγκαιρη κατεργασία του εδάφους, ενώ η κατεργασία υγρού εδάφους καταστρέφει τη δομή του.

Η περίσσεια υγρασίας αυξάνει τη θερμοχωρητικότητα του εδάφους ώστε ο αγρός γίνεται πιο ψυχρός. Με τέτοιες συνθήκες τα φυτά γίνονται χλωρωτικά γιατί δυσχεραίνεται και η πρόσληψη θρεπτικών ουσιών από το έδαφος, λόγω της μειωμένης θερμοκρασίας και έλλειψης οξυγόνου.

Επίσης περίσσεια υγρασίας μετά από περίοδο ξηρασίας μπορεί να οδηγήσει πολλές καλλιέργειες (π.χ. βαμβάκι) σε αναβλάστηση η οποία συνήθως είναι ανεπιθύμητη γιατί ανταγωνίζεται τη φυσιολογική ωρίμαση του προϊόντος.

Οι επιπτώσεις της περισσειας υγρασίας εξαρτώνται από το στάδιο του φυτού και τη θερμοκρασία. Τα νεαρά φυτά είναι κατά κανόνα πιο ευαίσθητα, ενώ με χαμηλές θερμοκρασίες η αντοχή των φυτών σε συνθήκες κορεσμένου εδάφους είναι μεγαλύτερη. Επίσης υπάρχουν διαφορές μεταξύ φυτών με ακραίο παράδειγμα το ρύζι που μπορεί να αναπτυχθεί μέσα στο νερό.

Η περίσσεια εδαφικής υγρασίας αντιμετωπίζεται με τρόπους που αποσκοπούν στην καλή στράγγιση του εδάφους. Έργα αποστραγγίσεως και υποστραγγίσεως (όταν είναι ανεβασμένη η υπόγεια στάθμη) αποτελούν τα πλέον αποτελεσματικά μέτρα για αντιμετώπιση της περισσειας υγρασίας. Τα έργα αυτά μπορεί να είναι γενικότερα και να αφορούν μεγάλες εκτάσεις, όπως δίκτυα αποστραγγίσεως και περιφερειακές τάφροι ή να αφορούν έναν αγρό, όπως αυλάκια στραγγίσεως κ.α. Η καλή ισοπέδωση του αγρού διευκολύνει την ομοιόμορφη αποστράγγιση.-

ΑΤΜΟΣΦΑΙΡΙΚΟΣ ΠΑΡΑΓΟΝΤΑΣ

Ο αέρας της ατμόσφαιρας αποτελεί απαραίτητο στοιχείο για τη ζωή στον πλανήτη μας. Η θερμοκρασία και η υγρασία της ατμόσφαιρας επηρεάζουν την ανάπτυξη του φυτού αμέσως ή εμμέσως (με το έδαφος).

Τα κύρια συστατικά της ατμόσφαιρας που έχουν ιδιαίτερη γεωργική σημασία είναι το O₂ και το CO₂.

Το άζωτο της ατμόσφαιρας δεν αποτελεί οικολογικό παράγοντα γιατί βρίσκεται σε μεγάλη περιεκτικότητα και έχει περιορισμένη γεωργική σημασία που αναφέρεται στην απευθείας δέσμευσή του από ορισμένα φυτά και στον περιορισμένο εμπλουτισμό του εδάφους από το ατμοσφαιρικό άζωτο υπό μορφή διαφόρων ενώσεων που σχηματίζονται με τις ηλεκτρικές εκκενώσεις και πτώση στο έδαφος με τα ατμοσφαιρικά κατακρημνίσματα. Σήμερα που επιδιώκεται η μείωση των εισροών για περιορισμό του κόστους και της ρύπανσης του περιβάλλοντος, η δέσμευση του ατμοσφαιρικού αζώτου αποκτά όλο και μεγαλύτερη σημασία.

Η σύσταση του ατμοσφαιρικού αέρα που βρίσκεται κοντά στο έδαφος είναι σχετικώς σταθερή και μεταβάλλεται λίγο τοπικώς και χρονικώς. Ο ατμοσφαιρικός αυτός αέρας περιέχει συνήθως 78% άζωτο, 21% οξυγόνο, 0,03% CO₂ και σε μικρές αναλογίες αδρανή αέρια. Περιέχει επίσης μεγάλες ποσότητες υδρατμών, σκόνη και άλλα αιωρούμενα σωματίδια και προϊόντα καύσεως που επηρεάζουν τη θερμοκρασία και τον φωτισμό των φυτών. Επιπλέον η σκόνη που επικάθεται στα φύλλα μπορεί να επηρεάσει σε μεγάλο βαθμό τη φωτοσύνθεση (κοντά σε δρόμους ή ύστερα από κατεργασία ξηρού χώματος) ή και να έχει τοξικές επιδράσεις και να υποβαθμίσει την ποιότητα του προϊόντος. Ιδιαίτερα τοξικές επιδράσεις μπορεί να έχουν τοξικά αέρια που παράγονται ως υποπροϊόντα καύσεως κυρίως από αυτοκίνητα και εργοστάσια. Το πρόβλημα αυτό γίνεται συνεχώς οξύτερο με τη συνεχώς αυξανόμενη ρύπανση του περιβάλλοντος.

Από τα κύρια συστατικά του ατμοσφαιρικού αέρα, το οξυγόνο όπως και το άζωτο δεν αποτελούν γεωργικό πρόβλημα γιατί υπάρχουν σε αφθονία. Μεγαλύτερη σημασία έχει το CO₂.

Διοξείδιο του άνθρακος

Το CO₂ της ατμόσφαιρας χρησιμοποιείται από τα φυτά για τη φωτοσύνθεση. Ως άριστη περιεκτικότητα για τη φωτοσύνθεση αναφέρεται το 0,12% ενώ το 1% θεωρείται τοξικό.

Το CO₂ της ατμόσφαιρας προέρχεται κυρίως από διάφορες καύσεις, την αναπνοή των ζώντων οργανισμών, τη ζύμωση και αποσύνθεση οργανικών ουσιών. Η αναλογία του στον αέρα μεταβάλλεται με το ύψος, (μεγαλύτερη κοντά στο έδαφος), κατά τη διάρκεια του 24ώρου (αυξημένη τη νύκτα λόγω αναπνοής των φυτών και αναστολής της φωτοσύνθεσης), με την εποχή του έτους (αυξημένη την άνοιξη λόγω εντονότερης μικροβιακής δράσεως και το φθινόπωρο λόγω περιορισμού της φωτοσύνθεσης και εντονότερης αναπνοής των γηρασμένων πλέον φυτών), επηρεάζεται από τη γειννίαση με υδάτινους όγκους κυρίως θάλασσες που ρυθμίζουν την περιεκτικότητα γιατί διαλύουν ή αποδίδουν CO₂, από τη γειννίαση με βιομηχανίες (αυξάνεται η περιεκτικότητά του), από την πυκνότητα βλαστήσεως κ.λ.π.

Με συνθήκες έντονης φωτοσύνθεσης και άπνοιας και όταν η αρχιτεκτονική της φυτοστιβάδας δεν επιτρέπει ανακύκλωση, μπορεί να παρατηρηθεί έλλειψη CO₂.

Όπως προαναφέρθηκε, πρόσφατο φαινόμενο, πολύ συζητημένο, που συνδέεται με το CO₂ είναι το φαινόμενο του θερμοκηπίου που αναφέρεται στο γεγονός, όπως υποστηρίζουν πολλοί, ότι η θερμοκρασία της ατμόσφαιρας έχει αυξηθεί περίπου κατά 1°C ως αποτέλεσμα της αύξησης του CO₂ στην ατμόσφαιρα (δεσμεύει περισσότερη ακτινοβολία) λόγω της ανθρώπινης δραστηριότητας (αυτοκίνητα, εργοστάσια κ.λ.π.). Αν συνεχιστεί η αύξηση της θερμοκρασίας μπορεί να οδηγήσει στην τήξη των παγετώνων τα νερά των οποίων θα ανεβάσουν τη στάθμη των υδάτων και θα πλημμυρίσει η γη. Εντούτοις πολλοί αμφισβητούν την αύξηση αυτή της θερμοκρασίας.

Ανεξαρτήτως όμως από την αύξηση της θερμοκρασίας, η αύξηση του CO₂ συμβάλλει στην αύξηση της παραγωγικότητας αφού, όπως αναφέρθηκε, η άριστη φωτοσύνθεση σημειώνεται με τετραπλάσια περιεκτικότητα CO₂ από την υπάρχουσα. Εξάλλου αυξημένη απόδοση σε θερμοκήπια μπορεί να επιτευχθεί με διοχέτευση CO₂, ενώ η αυξημένη παραγωγικότητα που παρατηρείται σε οργανικά εδάφη, π.χ. στα ζαχαρότευτλα, αποδίδεται και στην αυξημένη έκλυση CO₂. Πρόσφατα πειράματα σε αγρό στις ΗΠΑ με βαμβάκι και άλλα φυτά αποδεικνύουν ότι αυξάνει η παραγωγικότητα των φυτών με τον εμπλουτισμό του αέρα του αγρού με CO₂.

Άνεμοι

Ως άνεμος χαρακτηρίζεται ο ατμοσφαιρικός αέρας που βρίσκεται σε κίνηση. Από τα χαρακτηριστικά του ανέμου ιδιαίτερη γεωργική σημασία έχουν η διεύθυνση, η ταχύτητα, η συχνότητα, η εποχή εμφανίσεως καθώς και η θερμοκρασία και η υγρασία του. Τα χαρακτηριστικά αυτά σε συνδυασμό με το στάδιο του φυτού καθορίζουν και τη σημασία του ανέμου ως οικολογικού παράγοντα του φυτού. Για τη χώρα μας οι Βόρειοι άνεμοι είναι κατά κανόνα ψυχροί ενώ οι Νότιοι θερμοί και υγροί γιατί περνούν πάνω από υδάτινες επιφάνειες.

Οι ζημιές που προκαλεί ο άνεμος είναι κυρίως μηχανικής φύσεως όπως και φυσιολογικής λόγω αποξηραντικής επιδράσεως. Από μηχανική επίδραση των ανέμων μπορεί να σχιστούν ή να τραυματιστούν τμήματα του φυτού, κυρίως φύλλα, ώστε να επηρεασθεί η ποιότητα και απόδοση του προϊόντος, να πέσουν καρποφόρα όργανα, να ξεριζωθούν επιπολαιόριζα κυρίως φυτά (π.χ. καλαμπόκι), ή να πλαγιάσουν (σιτηρά). Εάν ο άνεμος συνοδεύεται από βροχή και χαλάζι οι ζημιές είναι μεγαλύτερες. Η αποξηραντική δράση επιφέρει απώλεια εδαφικής υγρασίας, αυξάνει τη διαπνοή, προκαλεί πρόωρη ωρίμανση με μειωμένη απόδοση στα σιτηρά (είναι γνωστή η επίδραση του λίβα κυρίως στον Θεσσαλικό κάμπο), πτώση καρποφόρων οργάνων λόγω ανεπαρκούς υγρασίας (π.χ. βαμβάκι). Ο άνεμος παρασύρει επίσης το χώμα (διάβρωση) και διευκολύνει τη διασπορά των ζιζανίων και παθογόνων οργανισμών.

Κάτω από ορισμένες συνθήκες οι άνεμοι και ειδικότερα η αποξηραντική τους δράση μπορεί να είναι ωφέλιμη για τη γεωργία. Π.χ. συντελεί στην ταχύτερη εξάτμιση της υπερβολικής εδαφικής υγρασίας προκειμένου να ετοιμαστεί ο αγρός για σπορά. Επιταχύνει την ωρίμανση των όψιμων καρυδιών του βαμβακιού, επιταχύνει την εξάτμιση της υπερβολικής υγρασίας του προϊόντος για τη συγκομιδή και αποθήκευση του σύσπορου βαμβακιού, καλαμποκιού κ.λ.π.

Ευεργετική είναι ακόμη η επίδραση του ανέμου γιατί ανανεώνει τον αέρα στο περιβάλλον του φυτού, απομακρύνει την περίσσεια υγρασίας που ευνοεί τη σήψη του φυτού και την ανάπτυξη παθογόνων μικροοργανισμών και ακόμη ελαφρός άνεμος υποβιβάζει τη θερμοκρασία του φυτού σε επιθυμητά ή ανεκτά όρια.

Αντιμετώπιση των ανέμων.

Οι μηχανικές ζημιές μπορεί να αποφευχθούν με κατασκευή θερμοκηπίων μόνο όμως για πολύ εντατικές καλλιέργειες. Στις δενδρώδεις καλλιέργειες επιδιώκεται η δημιουργία ανεμοφρακτών. Στις μεγάλες καλλιέργειες επιδιώκεται, σπανίως, κατασκευή ανεμοφρακτών ενώ τα σπορεία του καπνού κατασκευάζονται σε υπήνεμα μέρη. Η αντιμετώπιση όμως τόσο των μηχανικών όσο και των αποξηραντικών επιδράσεων των ανέμων στις μεγάλες καλλιέργειες επιδιώκεται με την εκλογή του κατάλληλου φυτού και ποικιλίας που έχει ισχυρό ριζικό σύστημα, αντοχή στο πλάγιασμα και στην ξηρασία και ικανότητα να συγκρατεί το προϊόν και να ανθίσταται στον αέρα (π.χ. ποικιλίες βαμβακιού Storm proof που συγκρατούν το ανοικτό βαμβάκι στην κάψα). Η αποξηραντική ζημία αντιμετωπίζεται κυρίως με άρδευση.

Η γεωργική σημασία του κλίματος της Ελλάδος.

Η Ελλάδα βρίσκεται στο νότιο τμήμα της εύκρατης ζώνης σε βόρειο γεωγραφικό πλάτος 34°-42°. Το κλίμα της, παρόλη τη μικρή έκτασή της, παρουσιάζει μεγάλη παραλλακτικότητα. Αυτό οφείλεται στη γεωγραφική της θέση, στο ανάγλυφό της με τις έντονες υψομετρικές διαφορές, στη διάταξη των οροσειρών της (από ΒΔ προς ΝΑ) και στην κατανομή ξηράς και θάλασσας. Ως προς το τελευταίο σημείο μεγάλη σημασία έχει το γεγονός ότι η θάλασσα περιβρέχει τη χώρα μας σε πολύ μεγάλο αναλογικώς μήκος ακτών (περίπου 15 χιλ. km) γεγονός που συμβάλλει στη μείωση του ετήσιου θερμομετρικού εύρους. Κατά τον Μαριόπουλο η Ελλάδα διαιρείται κλιματικώς σε τέσσερες περιοχές: Στις, Ορεινή, Δυτική, ΒΑ και ΝΑ.

Το κλίμα της Ελλάδος εξετάζεται λεπτομερέστερα στο μάθημα της Αγρομετεωρολογίας.

Τα χαρακτηριστικά του ελληνικού κλίματος με μεγάλη γεωργική σημασία είναι: η μεγάλη ηλιοφάνεια που αποτελεί μεγάλο πλεονέκτημα, το περιορισμένο ετήσιο εύρος θερμοκρασίας, ιδιαίτερα στις παράκτιες περιοχές, που είναι επίσης μεγάλο πλεονέκτημα, η μεγάλη περίοδος απαλλαγμένη παγετού, που κυμαίνεται αναλόγως της περιοχής από 6 - 9 μήνες και η οποία επιτρέπει σε πάρα πολλά φυτά να συμπληρώσουν το βιολογικό τους κύκλο, ώστε να ευδοκιμούν πολλά φυτά ακόμη και τροπικών και υποτροπικών περιοχών όπως το βαμβάκι, ρύζι, ζαχαρότευτλα, αραχίδα, εφόσον αρδεύονται.

Μειονέκτημα του ελληνικού κλίματος για τη γεωργία είναι η περιορισμένη βροχόπτωση και ιδιαίτερα η άνιση ετήσια κατανομή της. Το καλοκαίρι συνήθως επικρατούν ξηροθερμικές συνθήκες που αντιμετωπίζονται με άρδευση, όχι πάντοτε ικανοποιητικά λόγω ελλείψεως επαρκούς αρδευτικού νερού. Οι περισσότερες βροχοπτώσεις (σχεδόν το σύνολο σε πολλές περιπτώσεις) παρατηρούνται τον χειμώνα με αποτέλεσμα να προκαλείται έντονη διάβρωση στις ορεινές κεκλιμένες εκτάσεις και πλημμύρες ή προβλήματα υπερβολικής υγρασίας στις πεδινές. Μόνο στην ορεινή και Βόρειο Ελλάδα παρουσιάζεται συνήθως ένα δεύτερο μέγιστο βροχοπτώσεων τον Μαΐο και Ιούνιο χωρίς και αυτό να καλύπτει τις συνολικές ανάγκες των εαρινών καλλιεργειών.

Επομένως χωρίς άρδευση μόνο χειμερινές καλλιέργειες μπορεί να αποδώσουν ικανοποιητικά κάτω από τις ελληνικές συνθήκες.

ΒΙΟΤΙΚΟΙ ΠΑΡΑΓΟΝΤΕΣ

Τα φυτά είναι αυτότροφοι οργανισμοί αλλά δεν είναι τελείως ανεξάρτητα άλλων φυτών και ζώντων οργανισμών, συμπεριλαμβανομένου και του ανθρώπου. Η επίδραση των βιοτικών παραγόντων στο φυτό μπορεί να είναι επωφελής, ουδέτερη ή επιζήμια και να τροποποιείται από τους εδαφοκλιματικούς παράγοντες. Στους φυτικούς βιοτικούς παράγοντες περιλαμβάνεται : 1) η επίδραση από τα ίδια τα καλλιεργούμενα φυτά, με τον πληθυσμό και τη διάταξή τους, 2) η επίδραση από άλλα φυτά όπως ζιζάνια και ασθένειες που προκαλούνται από μικροοργανισμούς που ανήκουν στο φυτικό βασίλειο (μύκητες, βακτήρια) και 3) η επίδραση από συμβιωτικούς μικροοργανισμούς (π.χ. αζωτοβακτήρια).

Στους ζωϊκούς βιοτικούς παράγοντες περιλαμβάνεται η επίδραση : 1) των εντόμων και ακάρεων, 2) άλλων ζωϊκών οργανισμών (τρωκτικών κ.λ.π.) και 3) του ανθρώπου. Η επίδραση του τελευταίου παράγοντα θα αναλυθεί στο κεφάλαιο "επίδραση του ανθρώπου στη φυτική παραγωγή".

Υπάρχουν διάφορες μορφές αλληλεπιδράσεως μεταξύ εμβίων όντων όπως:

- **1) Θετική αλληλεπίδραση:** Παράδειγμα αμοιβαίας ωφέλειας φυτού και άλλων εμβίων όντων είναι τα αζωτοβακτήρια που διαβιούν στις ρίζες των ψυχανθών, (Εικ. 23).

- **2) Αρνητική αλληλεπίδραση** και για τα δύο μέρη, είναι περίπτωση φυτών που ζούν στο ίδιο περιβάλλον, είτε του ίδιου είδους είτε καλλιεργούμενου φυτού και ζιζανίων.

- **3) Παρασιτισμός:** Μονομερής δυσμενής επίδραση είναι η παρασιτική σχέση κυρίως εχθρών και ασθενειών με το φυτό. Η παρασιτική αυτή δυσμενής σχέση για το καλλιεργούμενο φυτό, σε ορισμένες περιπτώσεις είναι επωφελής όπως στην περίπτωση εντόμων που είναι απαραίτητα για την επικονίαση των φυτών.

Επίδραση βιοτικού παράγοντα υπό μορφή ανταγωνισμού υπάρχει και στην αμειψισπορά (διαδοχή καλλιεργειών στον ίδιο αγρό) με την έννοια ότι η προηγούμενη καλλιέργεια μπορεί να έχει θετική επίδραση επί της άλλης (περίπτωση ψυχανθών) ή αρνητική (τεύτλα στο βαμβάκι).

Ανταγωνισμός μεταξύ καλλιεργούμενων φυτών

Συμβαίνει στον αγρό όταν η πυκνότητα φυτών υπερβεί ένα σημείο πέραν του οποίου ένας ή περισσότεροι παράγοντες γίνονται ελλειμματικοί, με αποτέλεσμα τη μειωμένη ανάπτυξη. Ο ανταγωνισμός αφορά κυρίως α) ανταγωνισμό μεταξύ ριζών για πρόσληψη θρεπτικών στοιχείων και νερού και β) ανταγωνισμό μεταξύ υπέργειου τμήματος φυτών κυρίως για φως και λιγότερο για CO₂ και σπανιότερα γ) ανταγωνισμό για τον χώρο που παρατηρείται συνήθως σε φυτά με ογκώδες ριζικό σύστημα (π.χ. τεύτλα).

Όταν τα φυτά έχουν τον ίδιο γενότυπο ο ανταγωνισμός ονομάζεται **ισοανταγωνισμός** και είναι ομοιόμορφος αλλά έντονος γιατί όταν τα φυτά έχουν την ίδια ηλικία συμπίπτουν οι ανάγκες τους ποιοτικώς και ποσοτικώς. Όταν οι ανταγωνιστές έχουν διαφορετικό γενότυπο ο ανταγωνισμός ονομάζεται **αλλοανταγωνισμός** και η έντασή του εξαρτάται από το κατά πόσο συμπίπτουν οι ανάγκες των φυτών ως προς τους παράγοντες του εδάφους και του εναέριου περιβάλλοντος.

Ως μέτρο εντάσεως του ανταγωνισμού μπορεί να θεωρηθεί η μείωση της ανάπτυξης ενός φυτού συγκριτικώς με την ανάπτυξη χωρίς ανταγωνισμό. Στην περίπτωση του ισοανταγωνισμού και όταν τα φυτά έχουν την ίδια ηλικία, υπάρχει στενή θετική συσχέτιση μεταξύ έντασης ανταγωνισμού και μείωσης της ανάπτυξης, ενώ στην περίπτωση του αλλοανταγωνισμού ή ισοανταγωνισμού αλλά με διαφορετική ηλικία φυτών, η σχέση εξαρτάται από τη διαφορά ανταγωνιστικής ικανότητας μεταξύ των ανταγωνιστών και μπορεί να γίνει αρνητική για τον πτωχό ανταγωνιστή και θετική για τον ισχυρό.

Από γεωργικής απόψεως, από τις περιπτώσεις του ανταγωνισμού μεταξύ φυτών, παρουσιάζουν ενδιαφέρον οι εξής τρεις : α) Φυτά της ίδιας καλλιέργειας ή αμιγής καλλιέργεια, β) διαφορετικά είδη φυτών συγκαλλιεργούμενα ή συγκαλλιέργεια, γ) καλλιεργούμενα φυτά και ζιζάνια.

α) Αμιγής καλλιέργεια : Είναι η συνήθης μορφή καλλιέργειας σήμερα. Οι αποστάσεις μεταξύ φυτών επιδιώκεται να είναι τέτοιες ώστε αναλόγως των εδαφοκλιματικών συνθηκών να μεγιστοποιείται η ποσοτική και ποιοτική απόδοση των φυτών ανά μονάδα επιφάνειας εδάφους και σπανιότερα ανά φυτό. Εκτός από την πυκνότητα και η διάταξη των φυτών στον χώρο επηρεάζει τον ανταγωνισμό μεταξύ τους ως προς ορισμένους οικολογικούς παράγοντες, ιδιαίτερα το φως. Η επίδρασή τους θα αναπτυχθεί παρακάτω.

β) Συγκαλλιέργεια : Ήταν πιο διαδεδομένη στο παρελθόν, πριν την εκμηχάνιση της γεωργίας. Σήμερα ασκείται κυρίως σε όχι προηγμένες γεωργικές χώρες. Στη χώρα μας και σε περιορισμένη κλίμακα, υπάρχουν μερικές περιπτώσεις συγκαλλιέργειας, ειδικότερα ψυχανθών και αγροστωδών είτε σε γεωργικούς αγρούς είτε σε λειμώνες και βοσκές ως μίγματα χορτοδοτικών φυτών. Σχεδόν όλες οι μορφές συγκαλλιέργειας αποσκοπούν στην παραγωγή ζωοτροφών.

Με τη συγκαλλιέργεια επιδιώκεται η μεγαλύτερη απόδοση του μίγματος σε σχέση με τον μέσο όρο των δύο συγκαλλιεργούμενων φυτών υπό αμιγή καλλιέργεια. Η ποιοτική βελτίωση του προϊόντος του μίγματος ψυχανθών - αγροστωδών, προέρχεται από την αύξηση της βιολογικής του αξίας λόγω συμμετοχής ψυχανθούς. Εκτός από την ποσοτική και ποιοτική αύξηση της αποδόσεως του μίγματος, ως πλεονεκτήματα αναφέρονται και η αποφυγή πλαγιάσματος (π.χ. του ψυχανθούς που στηρίζεται στο αγροστώδες), η μικρότερη ευπάθεια στις ασθένειες κ.α.

γ) Ζιζάνια: Ζιζάνιο καλείται κάθε φυτό που φυτρώνει χωρίς να το επιθυμούμε μέσα στην καλλιέργεια. Όταν τα ζιζάνια φυτρώνουν μέσα σε ακαλλιέργητο χωράφι μπορεί να είναι ωφέλιμα όταν αυξάνουν την οργανική ουσία του εδάφους και περιορίζουν τη διάβρωση και την έκπλυση των διαλυτών ουσιών. Η συνύπαρξη ζιζανίων με καλλιεργούμενα φυτά αποτελεί πολύ σοβαρό πρόβλημα της γεωργίας, γιατί τα ζιζάνια και η αντιμετώπισή τους μελετώνται σε ιδιαίτερο μάθημα.

Επίδραση της πυκνότητας και διάταξης των φυτών στην ανάπτυξή τους.

Η επίδραση της πυκνότητας της φυτείας στην απόδοση δεν είναι αναλογική γιατί στους αραιούς πληθυσμούς επιτυγχάνεται μεγαλύτερη ανάπτυξη φυτών η οποία μπορεί, μέχρι ενός σημείου, να αντισταθμίσει τη μειωμένη απόδοση λόγω μειωμένου πληθυσμού φυτών.

Για ένα ορισμένο πληθυσμό φυτών υπάρχουν διάφορες διατάξεις που καθορίζονται από τις αποστάσεις μεταξύ γραμμών, από τις αποστάσεις των φυτών επί της γραμμής σποράς και από τον αριθμό φυτών κατά θέση. Ο άριστος πληθυσμός φυτών καθορίζεται από το είδος του φυτού, την ποικιλία (ιδιαίτερα την αρχιτεκτονική του σώματός τους), και από τους εδαφοκλιματικούς και καλλιεργητικούς παράγοντες όπως π.χ. εποχή σποράς.

Η διάταξη επηρεάζεται ακόμη από τη μορφή της εκμηχανισμένης καλλιέργειας και άλλους καλλιεργητικούς παράγοντες ώστε να διευκολύνεται η κίνηση των μηχανημάτων μεταξύ των φυτών. Εκτός από την απόδοση ο πληθυσμός και η διάταξη των φυτών μπορεί να επηρεάσει την πρωϊμότητα, την ποιότητα και άλλα χαρακτηριστικά όπως π.χ. χρώμα καρπών κ.α.

Ο καθορισμός του άριστου συνδυασμού πληθυσμού και διάταξης φυτών αποτελεί αντικείμενο έντονης διερεύνησης για όλα σχεδόν τα καλλιεργούμενα φυτά. Με βάση πειραματικά δεδομένα βρέθηκαν ότι υπάρχουν διάφορες σχέσεις μεταξύ αποδόσεως και πληθυσμού φυτών, επικρατούν όμως δύο :

- **α) Ασυμπτωματική** σχέση κατά την οποία η αύξηση της πυκνότητας συντελεί στην αύξηση της απόδοσης μέχρι ενός μέγιστου πληθυσμού πέραν του οποίου η απόδοση παραμένει σταθερή. (Εικ. 24). Σε πολύ μεγάλες όμως πυκνότητες παρατηρείται πτώση της αποδόσεως. Ασυμπτωματική σχέση παρατηρείται συνήθως, προκειμένου για το σύνολο της παραγωγής ξηράς ουσίας, στις καλλιέργειες στις οποίες το οικονομικό προϊόν είναι το βλαστικό μέρος του φυτού, όπως γεώμηλα, τεύτλα, χορτοδοτικά κ.α.

- **β) Παραβολική** σχέση κατά την οποία η απόδοση αυξάνει μέχρι ενός μέγιστου πληθυσμού και στη συνέχεια μειώνεται (Εικ. 25). Τέτοιες σχέσεις παρατηρήθηκαν σε περιπτώσεις που αφορούν καρπό αραβοσίτου, κριθής κ.α. Στο βαμβάκι επίσης βρέθηκε καμπυλόγραμμη σχέση.

Έχουν προταθεί και δοκιμάστηκαν και άλλες εξισώσεις π.χ. πολυωνυμικές, εκθετικές κ.λ.π. που δεν επιδέχονται όμως βιολογική ερμηνεία.

Συχνά μία σχέση δεν ισχύει για όλες τις συνθήκες, π.χ. στο βαμβάκι όταν οι εδαφοκλιματικές συνθήκες εμποδίζουν σε μεγάλο βαθμό τη βλαστική ανάπτυξη των φυτών τότε ο πυκνός πληθυσμός μπορεί να επιτείνει το φαινόμενο αυτό και να μειώσει την απόδοση. Το ίδιο μπορεί να συμβεί όταν τα φυτά αποκτήσουν ανεπιθύμητα μεγάλη βλαστική ανάπτυξη.

Με την εκμηχάνιση της καλλιέργειας στη σύγχρονη γεωργία ο άριστος πληθυσμός φυτών στις περισσότερες καλλιέργειες έχει μετακινηθεί σε πυκνότερους πληθυσμούς και αυτό γιατί σήμερα είναι εντονότερη η επιδίωξη για αύξηση της αποδόσεως ανά μονάδα επιφάνειας και λιγότερο ανά φυτό και ακόμη γιατί με την αύξηση του πληθυσμού, μέχρι ενός βαθμού, επιτυγχάνεται συνήθως με τη μείωση της αποδόσεως ανά φυτό, καλύτερος συγχρονισμός των σταδίων αναπτύξεως μεταξύ φυτών και πρωϊμηση της παραγωγής (π.χ. βαμβάκι).

Με τη μετακίνηση των καλλιεργειών σε πυκνότερους πληθυσμούς προέκυψε και η ανάγκη της μετατροπής του ιδεατού φυτού των περισσότερων φυτών, όπως προαναφέρθηκε. Γενικώς σήμερα τα φυτά επιδιώκεται, από γενετικής πλευράς, να είναι πιο μικρόσωμα ώστε να μη ενοχλούν ούτε να ενοχλούνται από τα διπλανά τους και να επιδέχονται αύξηση του πληθυσμού, να είναι συμπαγή, να επιτρέπουν τη διείσδυση του φωτός στο βάθος της φυτοστιβάδας (π.χ. με το να έχει το βαμβάκι μικρά-σχιστά φύλλα και ο αραβόσιτος και το βαμβάκι όρθια φύλλα), να έχουν ικανοποιητικό αλλά όχι υπερβολικό δείκτη φυλλικής επιφάνειας και να είναι κατά το δυνατόν καθορισμένης αναπτύξεως, ώστε να είναι σύγχρονη και πρωϊμότερη η ωρίμανση του προϊόντος.

Η ιδιότητα των φυτών να είναι καθορισμένης (determinate) ή συνεχούς αναπτύξεως (indeterminate) προσδιορίζει σε μεγάλο βαθμό και το εύρος πληθυσμού που ανέχονται οι διάφορες καλλιέργειες. Έτσι:

α) Τα φυτά καθορισμένης αναπτύξεως, έχουν περιορισμένο αριθμό μονάδων παραγωγής, όπως ο ηλιάνθος (λίγες κεφαλές) και το καλαμπόκι (λίγους σπάδικες) και γιαυτό και τα περιθώρια που μπορεί να κυμανθεί ο πληθυσμός χωρίς να επηρεαστεί το οικονομικό αποτέλεσμα είναι μικρά γιατί αν μειωθεί ο πληθυσμός

η μεγένθυση της μονάδας παραγωγής μπορεί μερικώς να αναπληρώσει τις απώλειες αλλά και αν αυξηθεί πολύ μικραίνουν μόνο οι μονάδες παραγωγής ώστε χάνουν την εμπορική τους αξία.

- **β) Τα φυτά συνεχούς αναπτύξεως**, έχουν πολλές μονάδες παραγωγής που συμβάλλουν στην απόδοση, όπως το βαμβάκι (πολλά καρύδια), τα γεώμηλα (πολλούς κονδύλους), το σιτάρι-σόργο κ.α. (πολλά αδέρφια, στάχια, κόκκους), ώστε ρυθμίζεται ευχερέστερα από τα άλλα φυτά η επίπτωση της διακύμανσης πληθυσμού φυτών στην απόδοση.

Ασθένειες.

Ασθένεια ονομάζεται οποιαδήποτε ανώμαλη κατάσταση στην αύξηση και ανάπτυξη του φυτού που οφείλεται στην επίδραση κάποιου αιτίου. Από γεωργικής πλευράς ασθένεια καλείται η ανωμαλία που συνεπάγεται ποσοτική ή ποιοτική μείωση της παραγωγής. Με την ευρύτερη βιολογική έννοια, ασθένεια είναι κάθε ανωμαλία στις φυσιολογικές και ανατομικές αλλοιώσεις.

Συνήθως **ασθένειες** καλούνται εκείνες που προκαλούνται από φυσιολογικά αίτια και φυτικούς μικροοργανισμούς και **εχθροί**, όλοι οι ζωϊκοί οργανισμοί που προσβάλλουν τα καλλιεργούμενα φυτά χωρίς όμως η διάκριση αυτών να είναι αναγκαία. Οι ασθένειες και οι εχθροί θα αναπτυχθούν λεπτομερέστερα στα μαθήματα της Φυτοπαθολογίας και Εντομολογίας.

Οι απώλειες της παραγωγής από ασθένειες είναι πολύ μεγάλες σε παγκόσμια κλίμακα.

Τα αίτια των ασθενειών (με την ευρεία έννοια) είναι πολλά και ποικίλα. Τα πιο χαρακτηριστικά είναι αυτά που οφείλονται σε:

- **α) Παράσιτα ζωϊκά και φυτικά**, όπως έντομα, ακάρεα, μύκητες, βακτήρια, ιοί αλλά και πτηνά, τρωκτικά κ.α. Οι περισσότερες ασθένειες οφείλονται σε αυτά τα αίτια και καλούνται παρασιτικές.

- **β) Κλιματικούς παράγοντες**, όπως ανώμαλες και δυσμενείς καιρικές συνθήκες, κυρίως θερμοκρασίας, υγρασίας και φωτός που προκαλούν ανωμαλίες στα φυτά ή ευνοούν την ανάπτυξη των παρασίτων.

- **γ) Εδαφικούς παράγοντες**, όπως υπερβολική υγρασία, έλλειψη ή περίσσεια θρεπτικών στοιχείων, οξύτητα και αλκαλικότητα.

- **δ) Ατμοσφαιρικούς παράγοντες** που αποκτούν όλο και μεγαλύτερη σημασία με τη ρύπανση της ατμόσφαιρας με τοξικά αέρια, όζον και υπεριώδη ακτινοβολία.

- **ε) Γεωργικά φάρμακα**, κυρίως ζιζανιοκτόνα με τοξική επίπτωση στα φυτά.

Τα παραπάνω αίτια συχνά αλληλεπιδρούν μεταξύ τους. Η μετάδοση των ασθενειών και εχθρών των φυτών γίνεται με τον σπόρο και άλλα φυτικά τμήματα, με το έδαφος, τον αέρα και με ζωϊκούς οργανισμούς.

Στη μεταφορά και μετάδοση των παρασιτικών κυρίως ασθενειών παίζουν ρόλο πολλοί οικολογικοί παράγοντες, όπως ο αέρας που μεταφέρει σπόρια μυκήτων, έντομα κ.λ.π., η βροχή που με την πρόσκρουση των σταγόνων της στο έδαφος προκαλεί την αναπήδηση μορίων του εδάφους μολυσμένων με παθογόνους μικροοργανισμούς και μόλυνση των κατώτερων φύλλων των φυτών (π.χ. η βακτηρίωση στο βαμβάκι).

Πολλά έντομα επίσης είναι φορείς παθογόνων μικροοργανισμών (όπως π.χ. αφίδες που μεταφέρουν ιούς). Επίσης τα μηχανικά μέσα και εργαλεία καλλιέργειας μπορεί να μεταφέρουν παθογόνα, κυρίως αυτά που ενδημούν στο έδαφος, με το χώμα που μετακινούν. Τέλος πολλά ζιζάνια αποτελούν ξενιστές εχθρών και

ασθενειών, ώστε συμβάλλουν στη μετάδοσή τους (όπως π.χ. η βερβερίδα που αποτελεί ξενιστή ενός μύκητα που προκαλεί σκωριάσεις στα σιτηρά).

Όλα τα έντομα και τα παράσιτα δεν είναι επιβλαβή. Υπάρχουν και ωφέλιμα έντομα ή γενικώς υπερπαράσιτα τα οποία καταπολεμούν επιβλαβή έντομα (π.χ. η πασχαλίτσα που τρώει τις αφίδες).

Τα συμπτώματα από τις ασθένειες και εχθρούς των φυτών είναι διάφορα όπως ανωμαλίες στον χρωματισμό και μορφολογία των φύλλων και των άλλων οργάνων του φυτού, μάρανση, νέκρωση, σήψη και πτώση φύλλων και καρποφόρων οργάνων, διάφορες εκκρίσεις φυτού, νέκρωση φυτού.

Οι ζημιές από τις ασθένειες μπορεί να αφορούν στη μείωση της απόδοσης, της ποιότητας ή συνηθέστερα και των δύο, καθώς επίσης στην αύξηση της ευπάθειας σε άλλα αίτια.

Η αντιμετώπιση των φυσιολογικών ασθενειών αναφέρεται στα οικεία κεφάλαια. Εδώ αναφέρεται η αντιμετώπιση των παρασιτικών ασθενειών

Καταπολέμηση ασθενειών. Μεγάλη σημασία παίζει η γνώση του βιολογικού κύκλου του παρασίτου και η σχέση του με τους εδαφοκλιματικούς παράγοντες.

Οι μέθοδοι καταπολεμήσεως μπορεί να διακριθούν στις παρακάτω κατηγορίες. **α) Προληπτικά μέτρα, β) αμειψισπορά, γ) χημικά μέσα, δ) βιολογική καταπολέμηση και ε) βελτίωση ποικιλιών.** Με την εντατικοποίηση της γεωργίας έχει αυξηθεί η συμβολή των τριών τελευταίων κατηγοριών. Για την αντιμετώπιση των ζημιών χρησιμοποιούνται επίσης διάφορα καλλιεργητικά μέτρα όπως π.χ. εποχή σποράς, αυξημένος πληθυσμός φυτών, κατεργασία εδάφους, καταστροφή φυτικών υπολειμμάτων, καταστροφή ζιζανίων-ξενιστών.

Σήμερα με στόχο την καλύτερη αντιμετώπιση των ασθενειών, τη μείωση του κόστους αντιμετώπισής τους και την προστασία του περιβάλλοντος, επιδιώκεται η χρησιμοποίηση συνδυασμού των παραπάνω μέτρων σε ένα σύστημα ολοκληρωμένης καταπολέμησης (intergrated control), το οποίο αποσκοπεί και στον περιορισμό των χημικών επεμβάσεων.

α) Προληπτικά μέτρα. Αποτελούν αποτελεσματική μέθοδο αντιμετώπισης των ζημιών στην οποία σήμερα πλέον δίνεται η ανάλογη σημασία. Η εισαγωγή σπόρων ή φυτών από χώρα σε χώρα, ακόμη και από μολυσμένη περιοχή σε αμόλυντη (περίπτωση φυλλοξήρας αμπέλου), πρέπει να υπόκειται σε αυστηρό έλεγχο. Σήμερα οι προηγμένες χώρες όπως και η χώρα μας, διέπονται από νομοθεσία που αποσκοπεί στον έλεγχο της εισαγωγής και εξαγωγής πολλαπλασιαστικού υλικού και στην έκδοση πιστοποιητικού φυτουγιεινής καταστάσεώς του. Επίσης ελέγχεται η φυτουγιεινή κατάσταση του πολλαπλασιαστικού υλικού το οποίο παράγεται στα σποροπαραγωγικά κέντρα και επιβάλλεται στις περισσότερες περιπτώσεις η χρήση υγιούς ή απολυμασμένου με χημικά μέσα πολλαπλασιαστικού υλικού.

β) Αμειψισπορά. Είναι από τους πλέον αποτελεσματικούς τρόπους, συνήθως ο αποκλειστικός σε περίπτωση πολύ σοβαρής μόλυνσης από ασθένειες που προκαλούνται από παθογόνα που ενδημούν στο έδαφος, όπως νηματώδεις, φυτόφθορα, βερτισιλλίωση κ.α. Η αποφυγή καλλιέργειας ευπαθών φυτών ή ποικιλιών για χρονική περίοδο ανάλογη και με τη μακροβιότητα του παθογόνου στο έδαφος, οδηγεί τον παθογόνο οργανισμό σε ασιτία και επομένως στον περιορισμό ή την εξάλειψή του. Σήμερα η αμειψισπορά εντάσσεται συνήθως σε ένα ολοκληρωμένο σύστημα αντιμετώπισης του παρασίτου ώστε να περιορίζεται ο χρόνος αποφυγής της καλλιέργειας ευπαθών αλλά με μεγάλη οικονομική σημασία φυτών ή ποικιλιών.

γ) Χημική καταπολέμηση. Έχει ευρεία εφαρμογή σήμερα σε σημείο τέτοιο ώστε να επιδιώκεται ο περιορισμός της για μείωση του κόστους και προστασία του περιβάλλοντος.

Τα φυτοφάρμακα χρησιμοποιούνται κυρίως υπό μορφή διαλύματος ή σκόνης και εφαρμόζονται αναλόγως του παθογόνου στο υπέργειο τμήμα του φυτού, στο έδαφος, στον σπόρο και στους χώρους αποθήκευσης των σπόρων (προκειμένου περί εντόμων αποθηκών).

Η χημική καταπολέμηση είναι ευρύτερα διαδεδομένη προκειμένου περί εντομολογικών προσβολών. Ειδικότερα τα εντομοκτόνα αναλόγως του τρόπου που επιδρούν στα έντομα διακρίνονται σε εντομοκτόνα επαφής (σκοτώνεται το έντομο όταν έρθει σε επαφή με το φάρμακο), σε εντομοκτόνα του πεπτικού συστήματος του εντόμου (το έντομο πρέπει να φάει τη δραστική ουσία) και σε εντομοκτόνα με συνδυασμένη δράση. Ιδιαίτερο ενδιαφέρον παρουσιάζουν σήμερα τα διασυστηματικά φυτοφάρμακα που κυκλοφορούν σε ολόκληρο το φυτό με τους χυμούς του, έχουν μεγαλύτερο χρόνο δράσεως και δεν εκπλύνονται με τη βροχή, όταν εισέλθουν στο φυτό.

Για να είναι κατάλληλο ένα φυτοφάρμακο πρέπει να είναι αποτελεσματικό στην αντιμετώπιση του παθογόνου, να έχει μειωμένο κόστος σε σχέση με την ωφέλεια που παρέχει, να μην είναι τοξικό για το φυτό, να μην είναι ιδιαίτερα επικίνδυνο για τον άνθρωπο που το εφαρμόζει και μετά από μια καθορισμένη περίοδο να αδρανοποιείται ή να διασπάται σε συστατικά ακίνδυνα για τον άνθρωπο, τα ζώα και το περιβάλλον.

Η ύπαρξη πολλών εταιρειών φυτοφαρμάκων που επιδιώκουν μεγιστοποίηση των κερδών, η μη επαρκής πληροφόρηση των παραγωγών και η τάση των τελευταίων να υπερχρησιμοποιούν τα φυτοφάρμακα, δημιουργεί σήμερα πολλά προβλήματα στην υγεία των ζώντων οργανισμών. Ιδιαίτερα τοξικά και επικίνδυνα για τον άνθρωπο και τα ζώα είναι τα εντομοκτόνα και λιγότερο τα μυκητοκτόνα.

Η αντιμετώπιση των ζημιών που προκαλούνται από τα παθογόνα με τη χρήση φυτοφαρμάκων, περιπλέκεται με τον εθισμό που δημιουργείται σε πολλές περιπτώσεις από ένα παθογόνο σε ένα συγκεκριμένο φυτοφάρμακο που είναι αποτέλεσμα της δημιουργίας ή πολλαπλασιασμού ανθεκτικών φυλών του παθογόνου. Η αλόγιστη επίσης χρήση φυτοφαρμάκων οδηγεί στην καταστροφή των ωφέλιμων εντόμων ή παρασίτων.

δ) Βιολογική καταπολέμηση. Περιλαμβάνει τη χρήση ενός μικροοργανισμού-παρασίτου για την καταπολέμηση του επιβλαβούς παθογόνου. Σήμερα γίνεται εκτροφή στο εργαστήριο και απελευθέρωση στον αγρό ωφέλιμων ή στείρων παρασίτων.

ε) Ανθεκτικές ποικιλίες. Στη βιολογική καταπολέμηση συμπεριλαμβάνεται και η δημιουργία και χρήση ανθεκτικών ποικιλιών που όσο δαπανηρή και κοπιώδης και αν είναι αποτελεί την οικονομικότερη για τον παραγωγό μέθοδο καταπολέμησης των εχθρών και ασθενειών. Η μέθοδος αυτή είναι απαλλαγμένη δυσμενών επιδράσεων στον άνθρωπο και το περιβάλλον. Αντιμετωπίζονται κυρίως παθογόνα εξειδικευμένα σε μεμονωμένες ή συγγενικές καλλιέργειες και ιδιαίτερα, παθογόνα που ανήκουν στο φυτικό βασίλειο όπως μύκητες, βακτήρια κ.λ.π. Γονίδια που εξασφαλίζουν αντοχή στα παθογόνα μεταφέρονται σε μία ευαίσθητη αλλά επιθυμητή ως προς τους άλλους γεωργικούς χαρακτήρες ποικιλία ή σε νέα ποικιλία που δημιουργείται με διασταυρώσεις. Η μεταφορά γίνεται τόσο από άλλες ποικιλίες όσο και από συγγενή άγρια ή καλλιεργούμενα είδη ή και γένη. Επίσης επιδιώκεται η τροποποίηση γονιδίων του φυτού, που να το καθιστούν ανθεκτικό σε παράσιτα, με τη χρήση μεταλλαξογόνων.

Η φύση της αντοχής ποικίλλει στα διάφορα φυτά και μπορεί να οφείλεται σε: **α) μορφολογικά χαρακτηριστικά** του φυτού, όπως το μέγεθος και η θέση των στοματίων, η ύπαρξη κηρώδους εφουμένιδας στα

φύλλα, η ύπαρξη τριχών κ.α. και κυρίως **β) σε φυσιολογικές ιδιότητες** όπως στην παραγωγή από το ανθεκτικό φυτό χημικών ουσιών που είναι τοξικές για το παθογόνο.

Η αντοχή στα παθογόνα ταξινομείται για πρακτικούς κυρίως σκοπούς στις παρακάτω κατηγορίες:

- **α) Ανοσία** (immunity). Το φυτό δεν προσβάλλεται και δεν υφίσταται ζημία από το παθογόνο.

- **β) Αντοχή** (resistance). Είναι απίθανη η οικονομική ζημία του φυτού από το παθογόνο.

- **γ) Ανοχή** (tolerance). Το φυτό μπορεί να προσβληθεί από το παθογόνο αλλά η επίπτωση της προσβολής στο φυτό και επομένως η οικονομική ζημία είναι απίθανη ή περιορισμένη.

- **δ) Αποφυγή** (escape). Το φυτό παρόλο που είναι ευπαθές, μπορεί να αποφύγει την προσβολή λόγω άλλων παραγόντων, όπως πρωϊμότητας ή γιατί δεν συμπίπτουν τα κρίσιμα στάδια του φυτού με την περίοδο ευνοϊκών συνθηκών για την ασθένεια.

- **ε) Ευπάθεια** (susceptibility). Εφόσον το φυτό μολυνθεί υπάρχει πάντοτε οικονομική ζημία.

Η ανθεκτικότητα των ποικιλιών μπορεί να μην είναι μόνιμη γιατί οι παθογόνοι οργανισμοί μεταλλάσσουν εύκολα και εμφανίζουν νέες μορφές που μπορούν να προσβάλλουν την πρώην ανθεκτική ποικιλία. Γιαυτό και δεν πρέπει να γίνεται αλόγιστη χρήση μιας ανθεκτικής ποικιλίας αλλά η χρήση της να εντάσσεται σε ένα ολοκληρωμένο σύστημα αντιμετώπισης των ζημιών που προκαλεί ένα συγκεκριμένο παθογόνο.