

# ΒΑΣΙΚΕΣ ΑΡΧΕΣ ΦΥΣΙΟΛΟΓΙΑΣ ΠΟΥ ΣΧΕΤΙΖΟΝΤΑΙ ΜΕ ΤΗΝ ΑΝΑΠΤΥΞΗ ΚΑΙ ΤΗΝ ΑΝΘΙΣΗ

## 1.1 ΜΕΤΑΒΟΛΙΚΕΣ ΚΑΙ ΒΙΟΧΗΜΙΚΕΣ ΔΙΕΡΓΑΣΙΕΣ

### ΦΩΤΟΣΥΝΘΕΣΗ

Κατά τη διαδικασία της **φωτοσύνθεσης** τα φυτά χρησιμοποιούν το προσλαμβανόμενο από την ατμόσφαιρα  $\text{CO}_2$  και με τη βοήθεια της ηλιακής ακτινοβολίας το μετατρέπουν σε υδατάνθρακες. Οι υδατάνθρακες είναι οι πρωταρχικοί «δομικοί λίθοι» για την ανάπτυξη των φυτών και συνεπώς η φωτοσύνθεση αποτελεί τη σημαντικότερη λειτουργία τους. Κατά τη φωτοσύνθεση, φωτεινή ενέργεια μετατρέπεται σε χημική με τη βοήθεια χρωστικών οι οποίες απορροφούν το ορατό φάσμα του φωτός (400–700 nm). Μερικές χρωστικές απορροφούν όλα τα μήκη κύματος του φωτός, ενώ άλλες αντανακλούν κάποια από αυτά. Η **χλωροφύλλη**, η χρωστική στην οποία οφείλεται το πράσινο χρώμα των φύλλων, απορροφά κυρίως τα ιώδη, τα ερυθρά και τα κυανά μήκη κύματος και αντανακλά το πράσινο. Η χλωροφύλλη βρίσκεται στα **θυλακοειδή** των χλωροπλαστών. Οι **χλωροπλάστες** είναι δισκοειδή πλαστίδια (4–6  $\mu\text{m}$ ) τα οποία περιέχουν σύστημα μεμβρανών με τη μορφή πεπλατυσμένων σάκων (θυλακοειδή) (Taiz & Zeiger, 1998).

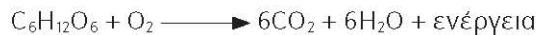
Κατά την καλλιεργητική περίοδο τα ανθοκομικά φυτά –μέσω της φωτοσύνθεσης– αποθηκεύουν υδατάνθρακες (άμυλο, σάκχαρα) στο κυτόπλασμα των κυττάρων του δεσμικού κολεού. Η διατηρησιμότητα των δρεπτών ανθέων εξαρτάται κατά μεγάλο ποσοστό από τους αποθηκευμένους υδατάνθρακες κατά την καλλιεργητική περίοδο. Αυτό είναι ιδιαίτερα σημαντικό αν σκεφτούμε ότι η εμπορική τους αξία καθορίζεται, εκτός από τα ποιοτικά τους χαρακτηριστικά, και από τη διατηρησιμότητά τους στο ανθοδοχείο. Δηλαδή ο φωτοσυνθετικός κύκλος αποτελεί βασική προϋπόθεση για την παραγωγή ανθέων με μεγάλη διάρκεια ζωής μετά τη συγκομιδή.

Όσον αφορά στα ποιοτικά χαρακτηριστικά των ανθοφόρων βλαστών (μήκος, ευρωστία, μέγεθος άνθους), εξαρτώνται από τη δημιουργία φυτικής μάζας στη διάρκεια του 24ώρου. Η ανάπτυξη των φυτών προκύπτει όταν το ισοζύγιο –δημιουργία φυτικής μάζας λόγω φωτοσύνθεσης και διάσπαση των αποθηκευμένων ουσιών λόγω αναπνοής– είναι θετικό. Δηλαδή, η αύξηση της φυτικής μάζας επιτυγχάνεται όταν οι αποθησαυριστικές ουσίες που

παράγονται μέσω της φωτοσύνθεσης είναι περισσότερες από εκείνες που καταναλώνονται μέσω της αναπνοής. Ωστόσο, ο ρυθμός της φωτοσυνθετικής δραστηριότητας κατά τη διάρκεια της ημέρας εξαρτάται και από τις συνθήκες που επικρατούν στο περιβάλλον ανάπτυξης των φυτών (Κεφάλαιο 1.2).

## ΑΝΑΠΝΟΗ

Η σταδιακή και ελεγχόμενη διάσπαση των οργανικών ενώσεων προς απλούστερες, όπως το CO<sub>2</sub> και το νερό, και η απελευθέρωση της αποταμιευμένης ενέργειας υπό μορφή ATP για τις άμεσες ενεργειακές ανάγκες του κυττάρου χαρακτηρίζεται ως **καταβολισμός** ή **ανομοίωση**. Για τη λειτουργία των φυτών, βασική μορφή ανομοίωσης αποτελεί η **αναπνοή**. Κατά την αναπνοή, η οποία συντελείται κυρίως κατά τη διάρκεια της νύχτας, έχουμε πλήρη αποδόμηση των αποθηκευμένων ουσιών και ταυτόχρονα την απελευθέρωση ενέργειας η οποία χρησιμοποιείται από τα κύτταρα για μηχανικές διαδικασίες (πρωτοπλασματική κίνηση, ενεργός μεταφορά ιόντων και μορίων διά μέσου των μεμβρανών), καθώς και για την παραγωγή μεγάλου αριθμού ενδιάμεσων ουσιών (ορμόνες, πρωτεΐνες, χρωστικές) που χρησιμοποιούνται ως πρώτη ύλη σε πλήθος βιοχημικών μονοπατιών και αντιδράσεων (παραγωγή δευτερογενών μεταβολιτών – κυτταρικά συστατικά, χρωστικές, αιθέρια έλαια, αντιμικροβιακές ουσίες κ.λπ). Η διάσπαση των αποθηκευμένων ουσιών κατά την αναπνοή γίνεται παρουσία οξειδωτικού (οξειδωση). Η γλυκόζη είναι η βασική ουσία η οποία οξειδώνεται και περιγράφεται απλουστευμένα στην παρακάτω γενική αντίδραση:



Κατά την αναπνοή, η πλήρης διάσπαση της γλυκόζης περιλαμβάνει δύο διαδοχικά βιοχημικά μονοπάτια:

1. μετατροπή της γλυκόζης σε πυροσταφυλικό οξύ εντός του **κυτοπλάσματος** (διεργασία η οποία ονομάζεται **γλυκόλυση**)
2. μετατροπή του πυροσταφυλικού οξέος σε διοξείδιο του άνθρακα (διαδικασία η οποία συμβαίνει στα **μιτοχόνδρια**) (Taiz & Zeiger, 1998).

Η γλυκόζη, ωστόσο, δεν αποτελεί το βασικό αποθηκευτικό συστατικό των φυτών. Η βασική αποθηκευτική ουσία είναι το άμυλο (πολυμερές της γλυκόζης), το οποίο θα πρέπει αρχικά να μετατραπεί σε γλυκόζη. Στη συνέχεια, μέσω της γλυκόλυσης, η γλυκόζη μετατρέπεται σε πυροσταφυλικό οξύ. Το πυροσταφυλικό οξύ εισέρχεται στον **κύκλο του κιτρικού οξέος**, από όπου με διαδοχικές οξειδώσεις καταλήγουμε στην απελευθέρωση ενέργειας. Η διάσπαση ενός μορίου γλυκόζης απελευθερώνει περίπου 686 kcal ενέργειας (Taiz & Zeiger, 1998).

Τα ανθοκομικά φυτά συνήθως έχουν υψηλά επίπεδα αναπνοής μέσω της γλυκόλυσης και του κύκλου του κιτρικού οξέος χρησιμοποιώντας αποθηκευμένες ουσίες που βρίσκονται στα φύλλα (Halevy & Mayak, 1981). Για

παράδειγμα, στα κομμένα τριαντάφυλλα συχνά παρατηρείται το φαινόμενο του «μπλαβίσματος» των πετάλων. Αυτό σχετίζεται κυρίως με την έντονη αναπνευστική δραστηριότητα μετασυλλεκτικά, η οποία οδηγεί στην εξάτληση των αποθηκευμένων σακχάρων.

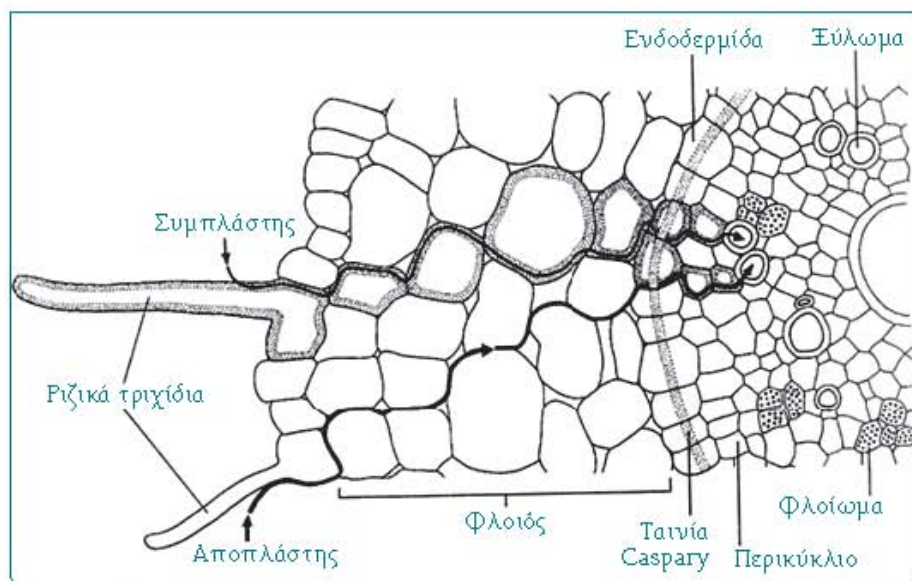
## ΔΙΑΠΝΟΗ

Το πιο άφθονο συστατικό σε ένα ζωντανό φυτικό κύτταρο είναι το νερό. Το νερό αποτελεί:

- τη βασικότερη ουσία για τη σύνθεση οργανικών συστατικών
- τον βασικό διαλύτη για τις ουσίες οι οποίες κινούνται από κύτταρο σε κύτταρο μέσω των κυτταρικών μεμβρανών
- το μέσο διασποράς των κολλοειδών ουσιών του πρωτοπλάσματος στο οποίο λαμβάνουν χώρα όλες οι ζωτικής σημασίας αντιδράσεις του
- το κύριο θερμορρυθμιστικό μέσο των φυτικών ιστών (Taiz & Zeiger, 1998).

Εκτός από τα παραπάνω, αποτελεί βασικό και αναντικατάστατο στοιχείο για την πραγματοποίηση της φωτοσύνθεσης. Το νερό αποτελεί το 85–90% του νωπού βάρους των φυτικών ιστών και προσλαμβάνεται από το έδαφος. Η εδαφική υγρασία η οποία καταλαμβάνει τους πόρους του εδάφους αποτελεί την άμεσα διαθέσιμη πηγή νερού η οποία καλύπτει τις υδατικές ανάγκες του φυτού. Από τους πόρους του εδάφους, το νερό μαζί με διαλυμένα ιόντα έρχεται σε επαφή με τα ριζικά τριχίδια της ρίζας. Το νερό με τα εν διαλύσει συστατικά του εισέρχεται στα φυτικά κύτταρα είτε μέσω του αποπλάστη (μέσω των κυτταρικών τοιχωμάτων), είτε μέσω του συμπλάστη (μέσω πλασμοδεσμάτων από πρωτόπλασμα σε πρωτόπλασμα), είτε με συνδυασμό των παραπάνω (**Εικόνα 1.1**). Το νερό περνά τον φλοιό, την ταινία gaspary, τα παρεγχυματικά κύτταρα και τελικά φτάνει στα αγγεία του ξυλώματος. Πρωτίστως, τα ανόργανα ιόντα έχουν απορροφηθεί ωσμωτικά από τα επιδερμικά κύτταρα και ακολουθούν τον δρόμο του συμπλάστη κατά μήκος του φλοιού μέσα στο πρωτόπλασμα των κυττάρων. Η κίνηση του νερού γίνεται ωσμωτικά από κύτταρα με υψηλό υδατικό δυναμικό σε κύτταρα με χαμηλό υδατικό δυναμικό. Με αυτόν τον τρόπο δημιουργείται η ριζική πίεση η οποία εξαναγκάζει το νερό και τα διαλυμένα ιόντα σε ανοδική κίνηση μέσα στο ξύλωμα. Γνωρίζουμε, ωστόσο, ότι από μόνη της αυτή η ριζική πίεση δεν μπορεί να μεταφέρει το νερό σε πολύ μεγάλο ύψος. Η ροή του νερού πιθανότατα να οφείλεται σε περισσότερες δυνάμεις, όπως την έλξη προς τα πάνω λόγω του ρεύματος διαπνοής και τις τεράστιες δυνάμεις συνοχής μεταξύ των μορίων του νερού (Taiz & Zeiger, 1998).

Με τη βοήθεια των αγγείων του ξύλου, το νερό κινείται από τις ρίζες προς τους βλαστούς και τα φύλλα, από τα οποία μεγάλο μέρος διαφεύγει με τη μορφή υδρατμών στην ατμόσφαιρα. Η διαφυγή των υδρατμών από τον μεσοκυττάριο χώρο στην ατμόσφαιρα συντελείται από τα στομάτια τα οποία συντονίζουν την ανταλλαγή αερίων. Οι μεσοκυττάριοι χώροι είναι κορεσμέ-



**Εικόνα 1.1** Βασικοί δρόμοι για τη μεταφορά του νερού από τη ρίζα στα αγγεία του ξυλώματος (Καράταγλης, 1999).

νοι από υδρατμούς και παρουσιάζουν υψηλό υδατικό δυναμικό. Αντίθετα, ο ατμοσφαιρικός αέρας είναι σπανιότερα κορεσμένος από υδρατμούς, ενώ συνήθως παρουσιάζει χαμηλό υδατικό δυναμικό. Αυτό έχει ως αποτέλεσμα υδρατμοί να εξέρχονται από τους μεσοκυττάριους χώρους προς την ατμόσφαιρα όταν τα στομάτια παραμένουν ανοιχτά. Η συνεχής ροή των υδρατμών από το υψηλό υδατικό δυναμικό των μεσοκυττάριων χώρων προς την ατμόσφαιρα επηρεάζει τη φυσική ροή του νερού από τις ρίζες προς τα φύλλα και ονομάζεται **διαπνοή**.

## 1.2 ΠΑΡΑΓΟΝΤΕΣ ΠΟΥ ΕΠΗΡΕΑΖΟΥΝ ΤΗΝ ΑΝΑΠΤΥΞΗ ΚΑΙ ΤΗΝ ΑΝΘΙΣΗ

### ΘΕΡΜΟΚΡΑΣΙΑ

#### *Θερμοκρασία περιβάλλοντος (αέρα)*

Η φωτοσύνθεση και η αναπνοή αποτελούν αλληλουχία ενζυμικών αντιδράσεων των οποίων η ταχύτητα εξαρτάται άμεσα από τη **θερμοκρασία**. Με αύξηση της θερμοκρασίας του περιβάλλοντος αυξάνεται και ο ρυθμός κατάλυσης των αντιδράσεων από τα ένζυμα των οποίων η δραστηριότητα εξαρτάται από τις διακυμάνσεις της θερμοκρασίας. Πρακτικά, σε τιμές μεταξύ 10–40°C, αυξανόμενης της θερμοκρασίας, αυξάνεται και η ταχύτητα της αντίδρασης. Αύξηση της θερμοκρασίας κατά 10°C έχει ως αποτέλεσμα

τον διπλασιασμό ή και τριπλασιασμό της ταχύτητας της αντίδρασης. Πάνω από τους 30°C, η ταχύτητα των ενζυμικών αντιδράσεων μειώνεται γραμμικά. Γενικά, για φυσιολογικούς φωτοσυνθετικούς ρυθμούς, θα πρέπει η θερμοκρασία του περιβάλλοντος να διατηρείται σε επίπεδα μεγαλύτερα των 7°C (Dole & Wilkins, 2005). Επίσης, για τη μεγιστοποίηση του φωτοσυνθετικού ρυθμού κατά τη διάρκεια της ημέρας, συνιστάται η διατήρηση της θερμοκρασίας σε επίπεδα μικρότερα των 30°C. Στην πράξη, για όλα τα είδη υπάρχουν μέγιστες ημερήσιες και ελάχιστες νυκτερινές θερμοκρασίες σε ένα 24ωρο οι οποίες αποτελούν τα ιδανικά όρια στα οποία τα ανθοκομικά φυτά αναπτύσσονται στον μέγιστο βαθμό. Το εύρος των ορίων αυτών διαφέρει μεταξύ των ειδών. Για παράδειγμα, τα φυτά χρυσανθέμου (*Dedranthema grandiflorum*) έχουν ιδανικό εύρος νυκτερινών θερμοκρασιών 16–18°C, ανεξάρτητα αν η ανάπτυξή τους συνεχίζεται σε θερμοκρασίες μεταξύ 4–27°C (Whealy et al., 1987). Ωστόσο, η καλλιέργεια σε θερμοκρασίες εκτός ιδανικών ορίων λειτουργεί αρνητικά ως προς την ποιότητα των παραγόμενων ανθικών στελεχών.

Εκτός από την επίδραση της θερμοκρασίας στις μεταβολικές δραστηριότητες της φωτοσύνθεσης και της αναπνοής, ιδιαίτερη σημασία στην ανάπτυξη έχει και η διαφορά της θερμοκρασίας (DIF) μεταξύ ημέρας (DT) και νύχτας (NT) [(difference between day temperature (DT) and night temperature (NT))] (Myster & Moe, 1995· Dole & Wilkins, 2005). Οι Berghage και Heins (1991) αναφέρθηκαν διεξοδικά σε έρευνές τους στην επίδραση που εμφανίζει η διαφορά θερμοκρασίας μεταξύ ημέρας και νύχτας στο ύψος των ανθοκομικών φυτών. Ο Dr Erwin και οι συνεργάτες του (1989) ανακάλυψαν ότι τα φυτά τα οποία αναπτύσσονταν σε χαμηλότερες νυκτερινές απ' ό,τι ημερήσιες θερμοκρασίες είχαν μεγαλύτερο ύψος από τα φυτά τα οποία αναπτύσσονταν σε υψηλότερες νυκτερινές απ' ό,τι ημερήσιες θερμοκρασίες. Αποτέλεσμα των ερευνών τους ήταν ότι η διαφορά, σε απόλυτη τιμή, μεταξύ ημερήσιας και νυκτερινής θερμοκρασίας καθορίζει μορφογενετικές αλλαγές εξέλιξης στα ανθοκομικά είδη (**Πίνακας 1.1**).

Η αρνητική DIF επηρεάζει ταυτόχρονα το χρώμα των φύλλων νεαρών φυταρίων (Erwin et al., 1989). Παρατηρήθηκε ότι φυτάρια τα οποία αναπτύσσονταν σε αρνητική DIF εμφάνισαν κλωρώσεις στα φύλλα. Όταν τα κλωρωτικά φυτά μεταφέρονταν σε καθεστώς θετικής DIF, οι κλωρώσεις υποχωρούσαν (Erwin et al., 1989).

Μια ευνόητη εξήγηση για τη δράση της DIF είναι ότι οι χαμηλές ημερήσιες θερμοκρασίες διατηρούν τον φωτοσυνθετικό ρυθμό σε χαμηλά επίπεδα, ενώ αντίστοιχα οι υψηλές νυκτερινές θερμοκρασίες επιταχύνουν τις μεταβολικές δραστηριότητες της αναπνοής, με αποτέλεσμα την παρεμπόδιση της παραγωγής φυτικής βιομάζας και της ανάπτυξης των φυτών σε ύψος (Erwin et al., 1989· Berghage & Heins, 1991· Myster & Moe, 1995). Σε ανθοκομικά φυτά όπου το μήκος του βλαστού αποτελεί βασικό ποιοτικό κριτήριο (π.χ. τριαντάφυλλα), η τιμή της DIF είναι καθοριστική. Εκτός από τον προφανή λόγο που μόλις αναφέρθηκε, έρευνες δείχνουν ότι η δράση της DIF εξαρτάται και από την ποιότητα του προσλαμβανόμενου φωτός από