

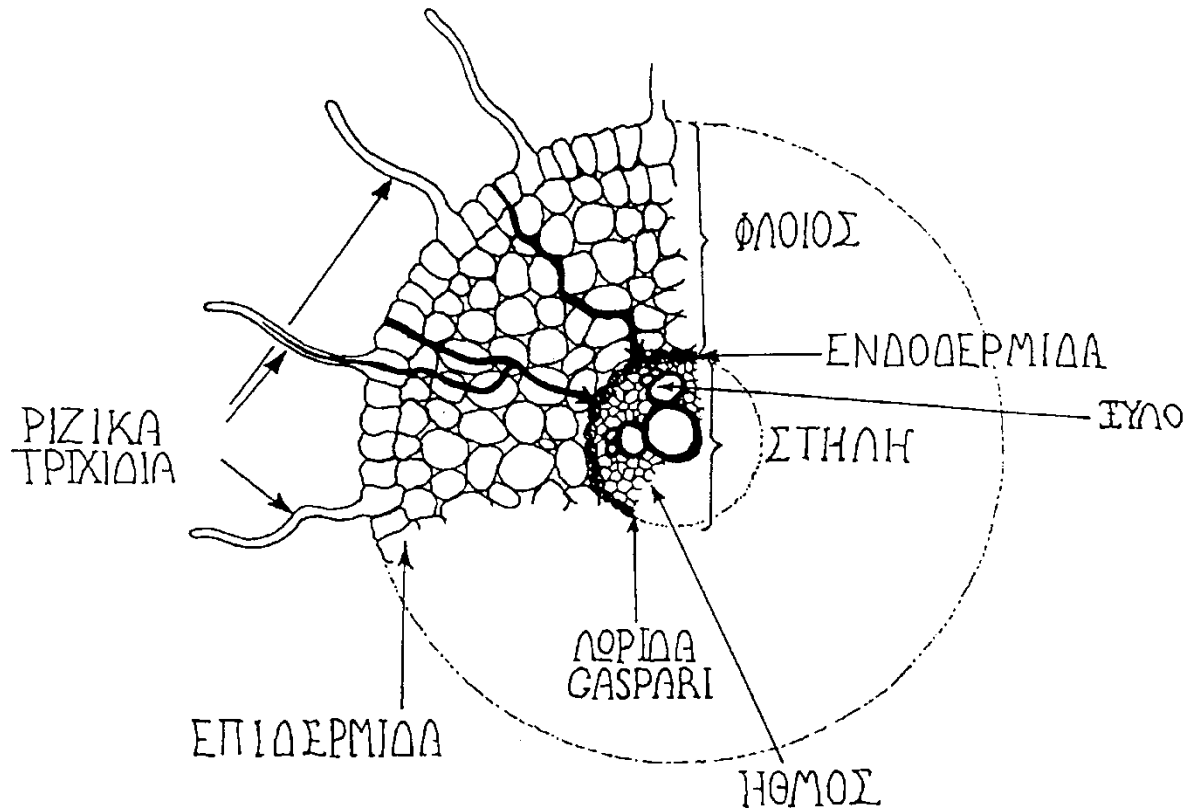
ΠΡΟΣΛΗΨΗ - ΜΕΤΑΦΟΡΑ ΘΡΕΠΤΙΚΩΝ ΣΤΟΙΧΕΙΩΝ ΣΤΟ ΥΠΕΡΓΕΙΟ ΤΜΗΜΑ ΤΟΥ ΦΥΤΟΥ

- Κίνηση στα αγγεία του ξύλου
- Κίνηση μέσω του φλοιού

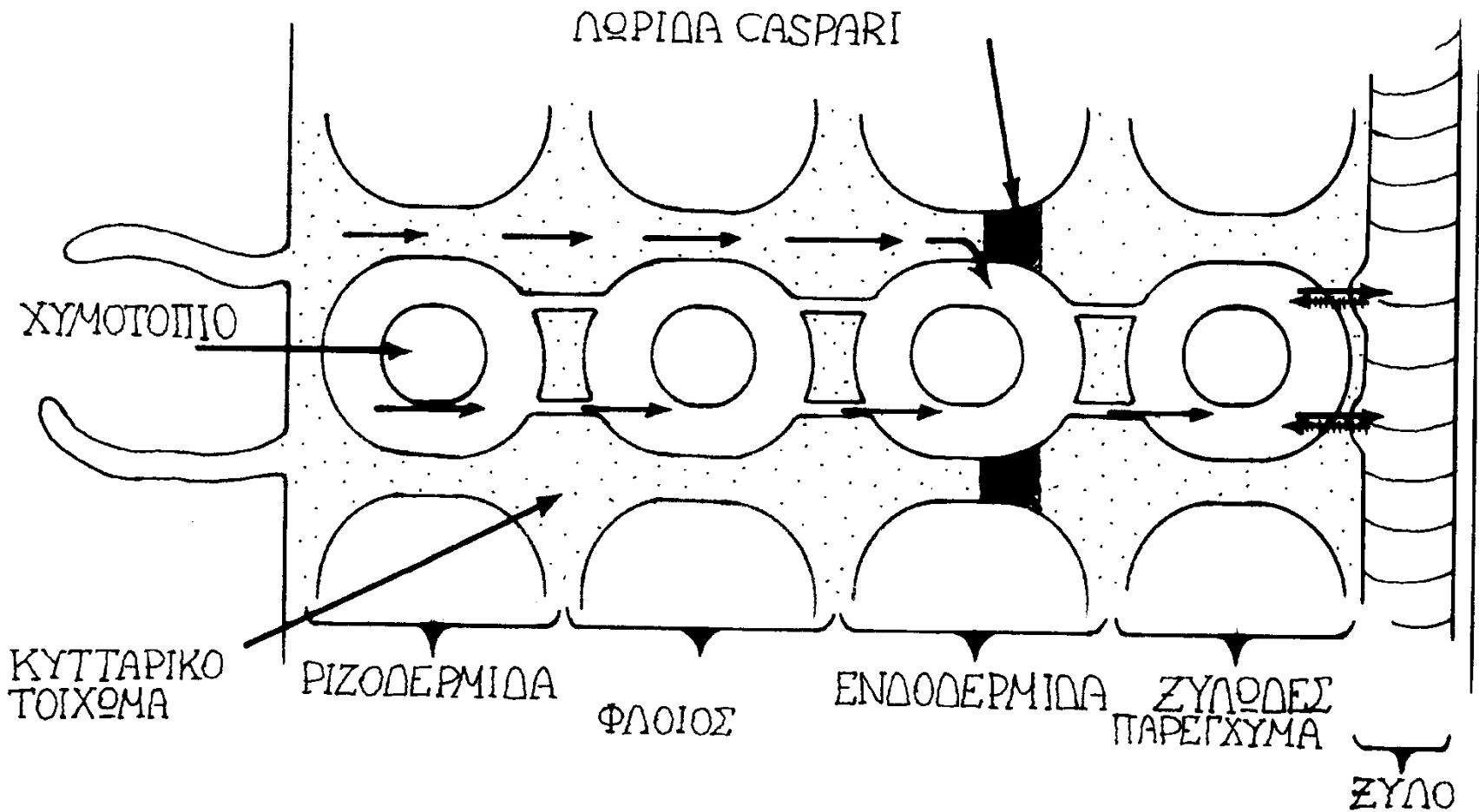
Τρόποι μετακίνησης των θρεπτικών στοιχείων στο εσωτερικό της ρίζας:

- Κίνηση με διάχυση και μαζική ροή (ελεύθερος χώρος νερού: Water Free Space = WFS)
- Δέσμευση στα κολλοειδή των κυτταρικών τοιχωμάτων (ελεύθερος χώρος κατά Donnan)
- Είσοδος στο εσωτερικό των κυττάρων του φλοιώδους παρεγχύματος

Τρόποι κίνησης θρεπτικών στοιχείων στο εσωτερικό της ρίζας (1)



Τρόποι κίνησης θρεπτικών στοιχείων στο εσωτερικό της ρίζας (2)



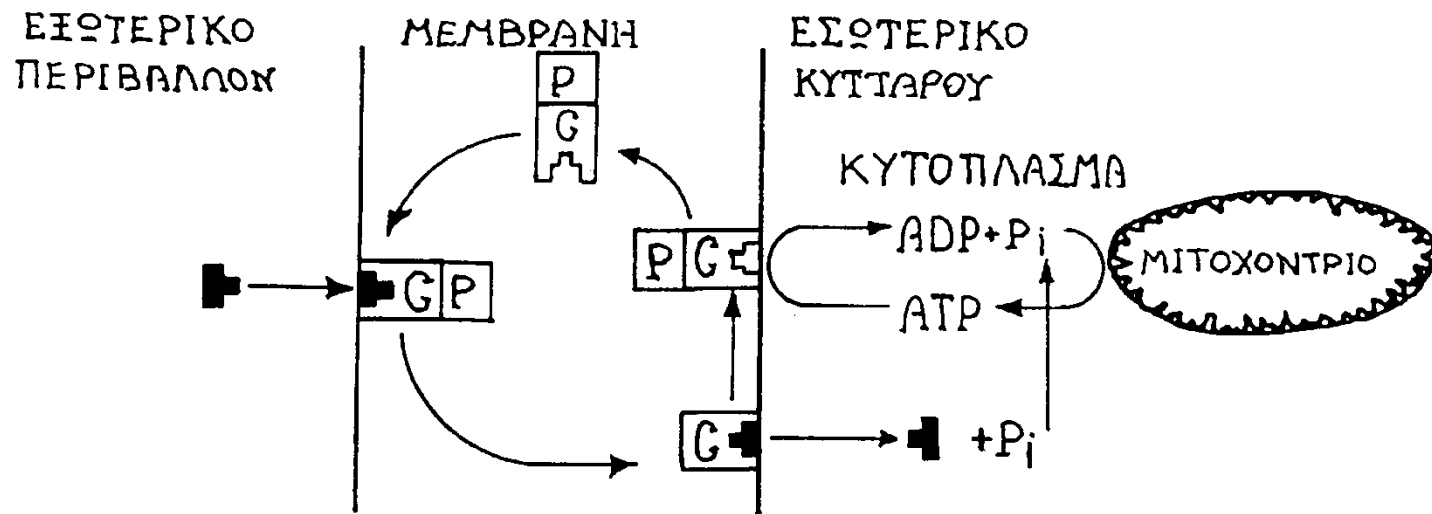
Διάκριση οδών κίνησης θρεπτικών
στοιχείων στις ρίζες από φυσιολογική
άποψη

- Ελεύθερος χώρος: Αποπλασμική κίνηση
(την προτιμούν: Ca^{2+} , Mg^{2+} , SO_4^{2-}).
- Εσωτερικό κυττάρων: Συμπλασμική
κίνηση (την προτιμούν: K^+ , P, NH_4^+ , NO_3^-).

Διαφορές συγκέντρωσης (mM) θρεπτικών στοιχείων στο εξωτερικό μέσο (εδαφικό διάλυμα) και στον κυτταρικό χυμό ριζών καλαμποκιού και φασολιού.

Ιόν	Εξωτερική συγκέντρωση (mM)		Συγκέντρωση στον κυτταρικό χυμό (mM)		
	Αρχική	Μετά 4 ημέρες	Καλαμπόκι	Φασόλι	
Κάλιο	2,00	0,14	0,67	160	84
Ασβέστιο	1,00	0,94	0,59	3	10
Νάτριο	0,32	0,51	0,58	0,6	6
Φώσφορος	0,25	0,06	0,09	6	12
Νιτρικά	2,00	0,13	0,07	38	35
Θειικά	0,67	0,61	0,81	14	6

Είσοδος θρεπτικών στοιχείων στα κύτταρα μέσω ενεργού μεταφοράς



■ ΙΟΝ

☐_C ΦΟΡΕΑΣ ΜΕ ΕΚΛΕΚΤΙΚΗ ΘΕΣΗ ΔΕΣΜΕΥΣΗΣ ΙΟΝΤΟΣ

☐_P
☐_C ΕΝΕΡΓΟΠΟΙΗΜΕΝΟΣ ΦΟΡΕΑΣ

Παράγοντες που επηρεάζουν την απορρόφηση των θρεπτικών στοιχείων από τις ρίζες:

- ◆ Συγκέντρωση θρεπτικών στοιχείων στο εδαφικό διάλυμα.
- ◆ Επαρκής τροφοδότηση ριζών με υδατάνθρακες (καλή λειτουργία φωτοσύνθεσης).
- ◆ Απρόσκοπτη λειτουργία αναπνοής στις ρίζες (ικανοποιητική θερμοκρασία και επάρκεια οξυγόνου στην περιοχή των ριζών).
- ◆ Έκταση ριζικού συστήματος.

Τρόπος εισόδου θρεπτικών στοιχείων από ξυλώδες παρέγχυμα ρίζας στα αγγεία του ξύλου

Μετάβαση από σύμπλασμα σε αποπλάστη.

Διαρροή ή ελεγχόμενη απέκκριση;

Διαρροή: Χωρίς την κατανάλωση μεταβολικής ενέργειας.

Ελεγχόμενη απέκκριση: Με κατανάλωση ενέργειας (ενεργός μεταφορά).

Η ελεγχόμενη απέκκριση φαίνεται πιο πιθανή, γιατί η συγκέντρωση πολλών θρεπτικών στοιχείων (π.χ. K) είναι υψηλότερη μέσα στα αγγεία του ξύλου σε σύγκριση με τα κύτταρα του φλοιού, γεγονός που υποδηλώνει ενεργό μεταφορά.

Διαπνοή & μεταφορά θρεπτικών στοιχείων

- Η άνοδος του νερού από την ρίζα προς τα φύλλα οφείλεται στην απώλεια νερού μέσω του φυλλώματος λόγω της διαπνοής.
- Το νερό που ανεβαίνει από την ρίζα προς τα φύλλα μέσω των αγγείων του ξύλου καλείται ανιόν χυμός.
- Τα θρεπτικά στοιχεία κινούνται μαζί με τον ανιόντα χυμό από την ρίζα προς τα φύλλα μέσω μαζικής ροής.
- Η κίνηση των θρεπτικών στοιχείων από την ρίζα προς τα φύλλα μέσω του ανιόντος χυμού είναι αποπλασμική.

Πίεση Ρίζας

- Παρατηρείται όταν η υγρασία της ατμόσφαιρας προσεγγίζει το 100%, οπότε η απώλεια νερού από τα φύλλα τείνει στο μηδέν.
- Κάτω από τέτοιες συνθήκες το νερό που περιέχεται μέσα στα αγγεία του ξύλου δεν ανεβαίνει από την ρίζα προς τα φύλλα.
- Η είσοδος θρεπτικών στοιχείων στο νερό των αγγείων του ξύλου όμως συνεχίζεται μέσω ενεργού μεταφοράς, με συνέπεια να αυξάνεται το ωσμωτικό του δυναμικό.
- Το αποτέλεσμα είναι να εισέρχεται και νερό στα αγγεία του ξύλου λόγω ώσμωσης.
- Το εισερχόμενο νερό ωθεί τον υπάρχοντα ανιόντα χυμό προς τα πάνω (πίεση ρίζας), οπότε μαζί με αυτόν μετακινούνται προς τα πάνω και τα θρεπτικά στοιχεία.

Σημασία πίεσης ρίζας για την θρέψη των φυτών

- Όταν ο ανιόν χυμός έλκεται από την κόμη λόγω διαπνοής, κατανέμεται κυρίως στα πλήρως ανεπτυγμένα φύλλα που διαπνέουν έντονα λόγω μεγάλης επιφάνειας.
- Αντίθετα, όταν ο ανιόν χυμός ωθείται προς τα πάνω λόγω πίεσης ρίζας, κατανέμεται ομοιόμορφα προς όλους τους φυτικούς ιστούς (φύλλα καρποί, άνθη, κορυφές αύξησης).
- Επομένως παρέχει θρεπτικά στοιχεία ομοιόμορφα σε όλα τα όργανα.
- Αυτό είναι σημαντικό για τα μη διακινήσιμα θρεπτικά στοιχεία, τα οποία δεν μπορούν να μετακινηθούν μέσω του ηθμού από τα φύλλα προς τα φυτικά όργανα που έχουν χαμηλούς ρυθμούς διαπνοής.
- Κυρίως η πίεση ρίζας λαμβάνει χώρα τις νυχτερινές ώρες, γιατί τότε η σχετική υγρασία της ατμόσφαιρας τείνει συχνά προς τον κορεσμό (100%).

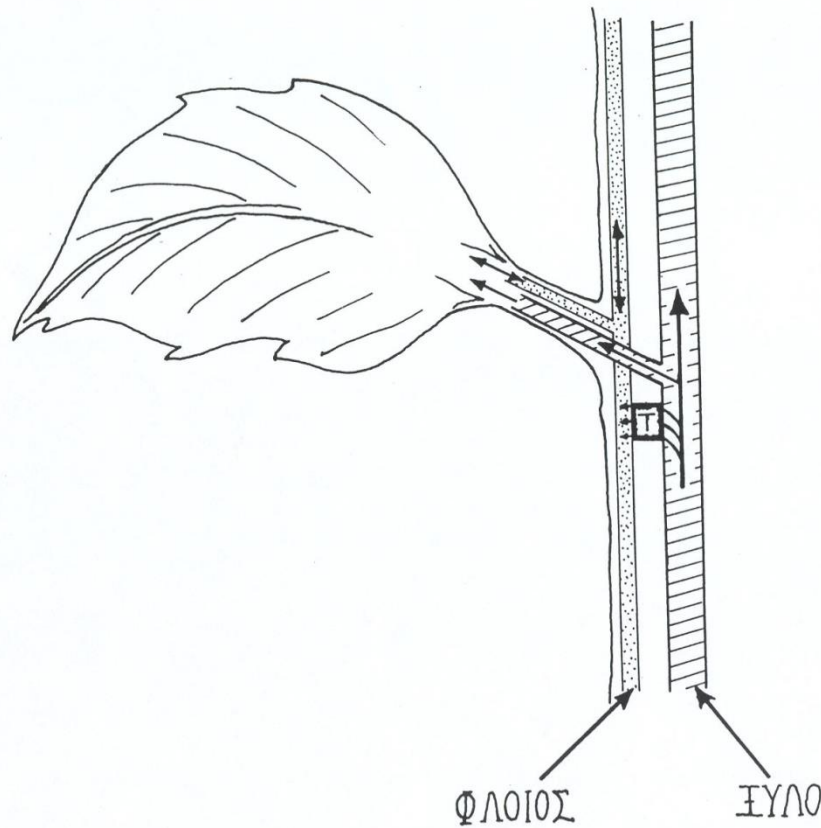
Προσρόφηση θρεπτικών στοιχείων στον αποπλάστη

- Ακινητοποίηση κατιόντων και ιδιαίτερα δισθενών σε θέσεις των κυτταρικών τοιχωμάτων στις οποίες υπάρχουν αρνητικά φορτισμένες ομάδες.
- Συμβαίνει τόσο στα κυτταρικά τοιχώματα των αγγείων του ξύλου όσο και σε αυτά που περιβάλλουν τα κύτταρα του ξυλώδους παρεγχύματος.
- Κυρίως ακινητοποιείται το Ca και ακολουθούν το Mg, καθώς και τα ιχνοστοιχεία Fe, Mn, Zn, Cu.

Αναρρόφηση θρεπτικών στοιχείων από τα αγγεία του ξύλου

- Μετακίνηση ιόντων από τον ανιόντα χυμό προς το σύμπλασμα κυττάρων του ξυλώδους παρεγχύματος.
- Η αναρρόφηση ιόντων του ανιόντος χυμού από το ξυλώδες παρέγχυμα είναι εκλεκτική και συντελείται μέσω ενεργού μεταφοράς με κατανάλωση μεταβολικής ενέργειας.

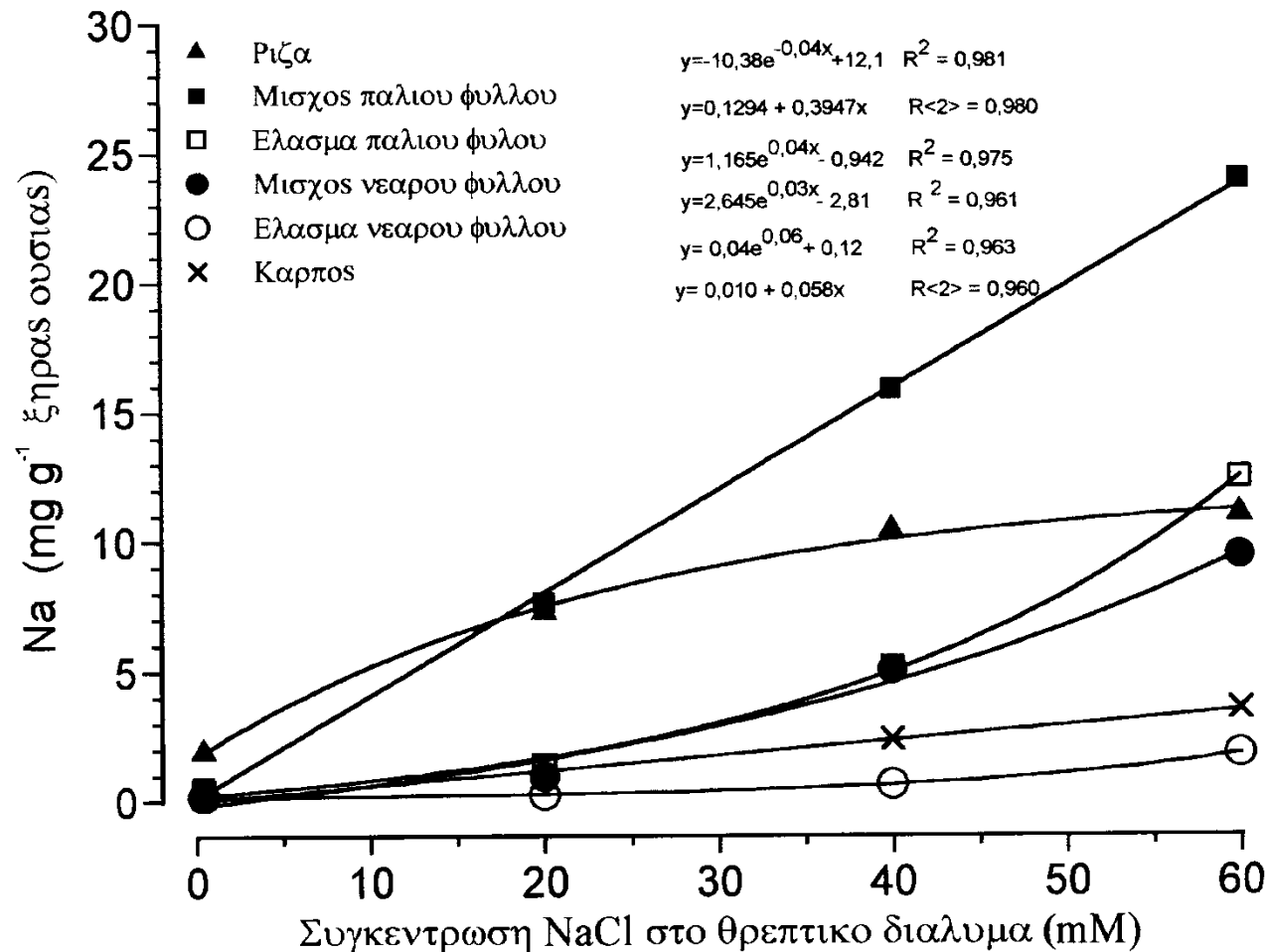
Προσρόφηση θρεπτικών στοιχείων από αγγεία ξύλου και μεταφορά στον ηθμό μέσω συνοδών κυττάρων (T)



Τύχη των ιόντων που αναρροφώνται από το ξυλώδες παρεγχύμα

- Κάλυψη διατροφικών αναγκών κυττάρων ξυλώδους παρεγχύματος και κυττάρων γειτονικών ιστών.
- Μετακίνησή τους προς τα συνοδά κύτταρα δια μέσου του συμπλασμικού δικτύου και από εκεί μεταφορά τους στους ηθμοσωλήνες (φόρτωμα ηθμού), οπότε μέσω αυτών μεταφέρονται σε όλα τα φυτικά όργανα ανάλογα με τις ανάγκες τους και όχι ανάλογα με τον ρυθμό διαπνοής τους.
- Αποθήκευσή τους στα κύτταρα του ξυλώδους παρεγχύματος και συγκεκριμένα στα χυμοτόπιά τους.

Κατακράτηση Na στα χυμοτόπια των κυττάρων του ξυλώδους παρεγχύματος



Απελευθέρωση θρεπτικών στοιχείων σε ανιόντα χυμό αγγείων ξύλου

- Απέκκριση διαλυτών ενώσεων οργανικού αζώτου (αμίδια, αμινοξέα) από τους πρωτοπλάστες διαφόρων παρακείμενων κυττάρων.
- Σε συνθήκες έλλειψης κάποιου θρεπτικού στοιχείου, λαμβάνει χώρα και απέκκριση αυτού του θρεπτικού στοιχείου από παρακείμενα κύτταρα στον ανιόντα χυμό.
- Αυτό οφείλεται σε κινητοποίηση αποθεμάτων τους από παλαιότερους φυτικούς ιστούς (π.χ. κατώτερα φύλλα) με στόχο την μεταφορά τους στα νέα, αναπτυσσόμενα όργανα.

Διακίνηση θρεπτικών στοιχείων στα φύλλα

- Μέσω του ανιόντος χυμού τα θρεπτικά στοιχεία φθάνουν τελικά στον αποπλάστη, (κυτταρικά τοιχώματα, μεσοκυττάριοι χώροι) των κυττάρων του μεσοφύλλου.
- Από εκεί:
 - Εισέρχονται στον πρωτοπλάστη των κυττάρων του μεσοφύλλου με ενεργό μεταφορά και χρησιμοποιούνται από αυτά.
 - Εισέρχονται στους ηθμοσωλήνες (φόρτωμα φλοιού), οπότε μέσω αυτών μεταφέρονται σε άλλα όργανα που έχουν χαμηλούς ρυθμούς διαπνοής.

Διαφυλλική λίπανση

- Τα κύτταρα των φύλλων μπορούν να απορροφήσουν μικρές ποσότητες θρεπτικών στοιχείων που βρίσκονται στην εξωτερική τους επιφάνεια.
- Στη συνέχεια αυτά τα θρεπτικά στοιχεία είτε εισάγονται στον πρωτοπλάστη των κυττάρων των φύλλων, οπότε χρησιμοποιούνται στον μεταβολισμό τους, είτε φορτώνονται στον ηθμό και μέσω αυτού κατανέμονται σε άλλα τμήματα του φυτού.
- Συνεπώς, όταν υπάρχει επείγουσα ανάγκη χορήγησης ενός θρεπτικού στοιχείου σε μία καλλιέργεια λόγω τροφοπενίας, είναι εφικτή η απευθείας εφαρμογή του μέσω ψεκασμού του υπέργειου μέρους των φυτών.

Μεταφορά θρεπτικών στοιχείων μέσω ξύλου και ηθμού

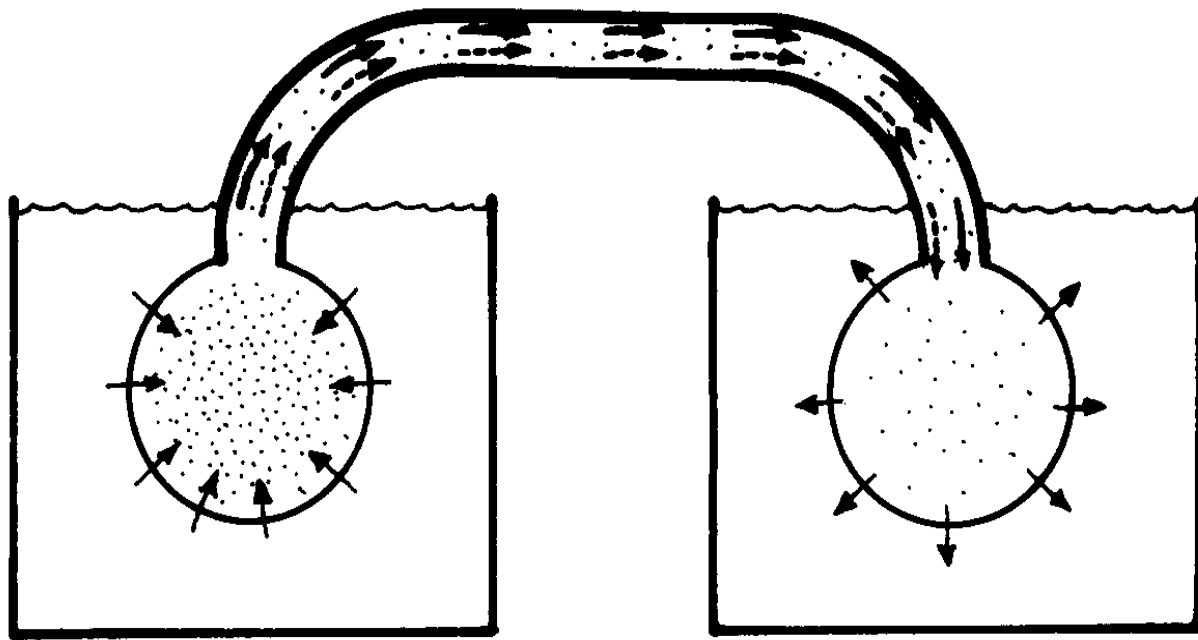
- Μεταφορά μέσω αγγείων ξύλου (ανιών χυμός): Συνιστά το «Ρεύμα διαπνοής».
- Μεταφορά μέσω αγγείων ηθμού (χυμός ηθμού): Συνιστά το «αφομοιωτικό ρεύμα».
- Το ρεύμα διαπνοής κινείται πάντοτε από κάτω (ρίζα) προς τα πάνω (κορυφές βλαστών και φύλλων). Γι' αυτό η κίνηση μέσω του ξύλου χαρακτηρίζεται «ακροπέταλη».
- Το αφομοιωτικό ρεύμα κινείται από τα φωτοσυνθετικά ενεργά φύλλα προς τα κέντρα κατανάλωσης τόσο προς τα πάνω (άνθη, καρποί, κορυφές αύξησης) όσο και προς τα κάτω (ρίζες).
- Η κίνηση μέσω των ηθμοσωλήνων από τα φύλλα της κορυφής προς κατώτερα φύλλα και τις ρίζες χαρακτηρίζεται «βασιπέταλη».

Είσοδος θρεπτικών στοιχείων στους ηθμοσωλήνες

- Οι ηθμοσωλήνες είναι ζωντανά κύτταρα.
- Η είσοδος των θρεπτικών στοιχείων και των σακχάρων στους ηθμοσωλήνες με στόχο την μεταφορά τους σε άλλα φυτικά όργανα καλείται «φόρτωμα ηθμού».
- Φόρτωμα ηθμού: Πραγματοποιείται μέσω του μηχανισμού «ροή μέσω πίεσης».

Φόρτωμα φλοιού:

Πρότυπο μηχανισμού «ροή μέσω πίεσης»



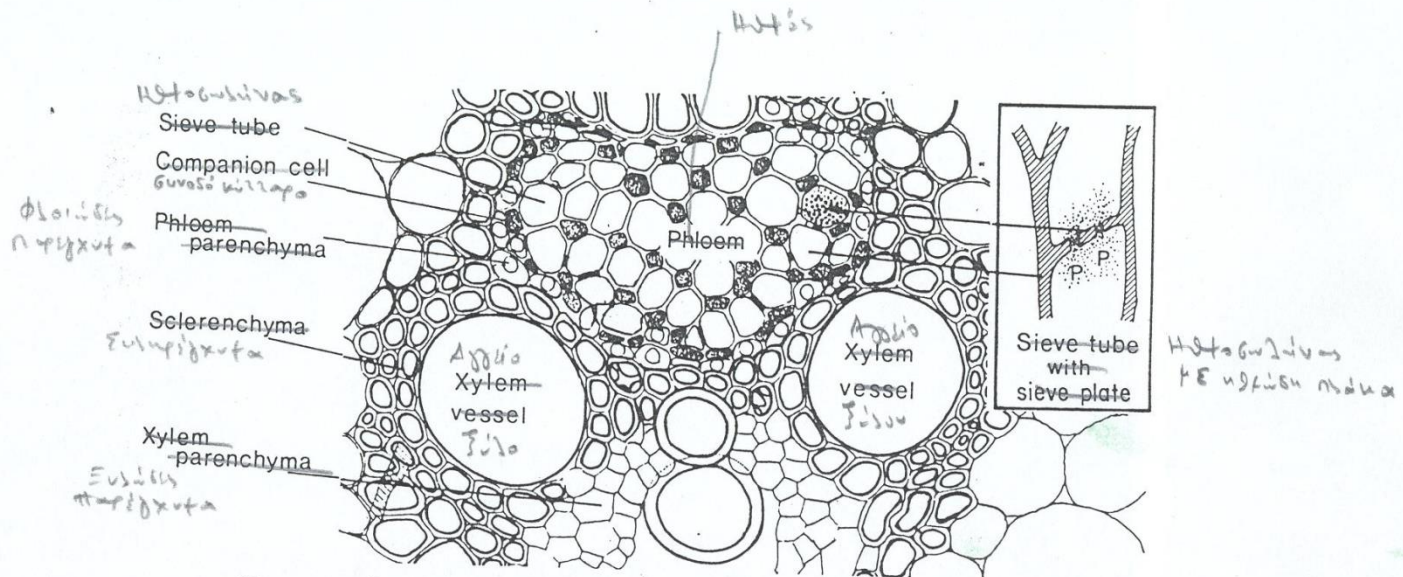
Φόρτωμα φλοιού στα φύλλα

- Η πίεση μέσα στους ηθμοσωλήνες των φύλλων οφείλεται στην είσοδο νερού σε αυτούς.
- Η είσοδος του νερού στους ηθμοσωλήνες οφείλεται στην αύξηση του ωσμωτικού τους δυναμικού λόγω ενεργού απορρόφησης καλίου και σακχαρόζης (φόρτωμα ηθμού).
- Το νερό ωθεί τον χυμό του ηθμού (πίεση) με συνέπεια να προκαλείται ροή μέσω της οποίας μετακινούνται και τα θρεπτικά στοιχεία.
- Για να συνεχιστεί αυτή η κίνηση θα πρέπει το νερό να μην παγιδεύεται μέσα σε κλειστούς ηθμοσωλήνες αλλά να εξέρχεται ανεμπόδιστα στην διαδρομή ή το άλλο άκρο τους.

Ξεφόρτωμα φλοιού στα ετερότροφα φυτικά όργανα

- Στα ετερότροφα όργανα (κέντρα κατανάλωσης), η σακχαρόζη και το Κ απεκκρίνονται ενεργά εκτός των ηθμοσωλήνων («ξεφόρτωμα ηθμού») για να χρησιμοποιηθούν στον μεταβολισμό.
- Αυτό οδηγεί στην μείωση του ωσμωτικού τους δυναμικού με συνέπεια να εξέρχεται και το νερό.
- Με τον τρόπο αυτό δημιουργούνται οι προϋποθέσεις για συνεχή ροή νερού και θρεπτικών στοιχείων από τα φύλλα προς τα κέντρα κατανάλωσης.

Φόρτωμα φλοιού: Ανατομική σηματική απεικόνιση



Cross-sectional area of a vascular bundle from the stem of maize. Inset: sieve tube with sieve plate pores and "P-protein." (From Eschrich, 1976.)

Σύσταση φλοιώδους και ξυλώδους χυμού στο φυτό *Nicotiana glauca*^a

Ουσία	Χυμός φλοιού: pH 7,8 – 8,0 (μg/ml) ^b	Χυμός ξύλου: pH 5,6 – 5,9 (μg/ml) ^b	Αναλογία συγκέντρωσης σε φλοιό και ξύλο
Ξηρή ουσία	170-196 ^c	1,1-1,2 ^c	155-163 ^c
Σακχαρόζη	155-168 ^c	ND	-
Αναγωγικά σάκχαρα	Όχι	NA	-
Αμινοενώσεις	10.800	283,0	38,2
Νιτρικά	ND	NA	-
Αμμωνιακά	45,3	9,7	4,7
Κάλιο	3.670	204,3	18,0
Φόσφορος	434,6	68,1	6,4
Χλώριο	486,4	63,8	7,6
Θείο	138,9	43,3	3,2
Ασβέστιο	83,3	189,2	0,44
Μαγνήσιο	104,3	33,8	3,1
Νάτριο	116,3	46,2	2,5
Σίδηρος	9,4	0,60	15,7
Ψευδάργυρος	15,9	1,47	10,8
Μαγγάνιο	0,87	0,23	3,8
Χαλκός	1,20	0,11	10,9

^a Σύμφωνα με τον Hocking (1980).

^b ND: Μη ανιχνεύσιμο. NA: Δεν υπάρχουν δεδομένα

^c Milligrams ανά milliliter.

Διακινήσιμα θρεπτικά στοιχεία μέσω του ηθμού

Ευκίνητα θρεπτικά στοιχεία

- Άζωτο (N)
- Φώσφορος (P)
- Κάλιο (K)
- Μαγνήσιο (Mg)

Δυσκίνητα θρεπτικά στοιχεία

- Μαγγάνιο (Mn)

Μη διακινήσιμα θρεπτικά στοιχεία μέσω του ηθμού

- Ασβέστιο (Ca)
- Θείο (S)
- Σίδηρος (Fe)
- Ψευδάργυρος (Zn)
- Χαλκός (Cu)
- Βόριο (B)
- Μολυβδαίνιο (Mo)