



ΓΕΩΠΟΝΙΚΟ ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΑΘΗΝΩΝ

AGRICULTURAL UNIVERSITY OF ATHENS

Φυσιολογία Καταπονήσεων των Φυτών

Ενότητα 4: Ακραίες Θερμοκρασίες (1/2β), 2ΔΩ

Τμήμα: Επιστήμης Φυτικής Παραγωγής

Διδάσκοντες: Γεώργιος Καραμπουρνιώτης

Γεώργιος Λιακόπουλος



Ευρωπαϊκή Ένωση
Ευρωπαϊκό Κοινωνικό Ταμείο



ΥΠΟΥΡΓΕΙΟ ΠΑΙΔΕΙΑΣ & ΘΡΗΣΚΕΥΜΑΤΩΝ, ΠΟΛΙΤΙΣΜΟΥ & ΑΘΛΗΤΙΣΜΟΥ
ΕΙΔΙΚΗ ΥΠΗΡΕΣΙΑ ΔΙΑΧΕΙΡΙΣΗΣ

Με τη συγχρηματοδότηση της Ελλάδας και της Ευρωπαϊκής Ένωσης





Μαθησιακοί Στόχοι

- Ορισμός και διάδοση της αλατότητας, επιπτώσεις της αυξημένης αλατότητας στα φυτά, κατάταξη των φυτών βάσει της ευαισθησίας τους στην αλατότητα, αντίληψη της αλατότητας από τα φυτά και μεταγωγή σήματος, στρατηγικές αντιμετώπισης της αλατότητας, συμβατοί οσμωλύτες.



Λέξεις Κλειδιά 1/2

- αλατότητα,
- αλίπεδα,
- εξατμισοδιαπνοή,
- ιόντα,
- δυναμικό νερού,
- οσμωτική καταπόνηση,
- τοξικότητα ιόντων,
- ιοντική ομοιόσταση,
- αλόφυτα, γλυκόφυτα,
- αντίληψη αλατότητας,



Λέξεις Κλειδιά 2/2

- ρυθμιστές αλατότητας,
- ενεργός αποκλεισμός ιόντων,
- κατανομή ιόντων,
- χυμοτόπιο,
- συμβατοί οσμωλύτες,
- οσμωτική εξισορρόπηση,
- οσμωτίνες,
- αφυδατάσες,
- στρατηγικές αντιμετώπισης.



Αλατότητα

- **Τι είναι;**

- Η αλατότητα αναφέρεται στην ύπαρξη υψηλών συγκεντρώσεων ιόντων (κατά κανόνα Na^+ και Cl^-), κυρίως στο περιβάλλον της ρίζας.

- **Έκταση**

- Ως παράγων καταπόνησης παρουσιάζεται σε εκτεταμένες περιοχές του πλανήτη στις οποίες για διαφορετικούς λόγους εμφανίζουν υψηλή αλατότητα στο έδαφος.
- Υπολογίζεται ότι ποσοστό 20% των καλλιεργουμένων εκτάσεων του πλανήτη εμφανίζουν υψηλή αλατότητα.



Περιοχές με Εγγενώς Υψηλή Αλατότητα

- Περιοχές οι οποίες συνήθως διαβρέχονται από θαλασσινό νερό (αλίπεδα ή υφάλμυρα έλη).
- Ερημικές περιοχές στα εδάφη των οποίων συσσωρεύονται άλατα επειδή ο ρυθμός εξάτμισης του νερού παρουσιάζεται κατά πολύ υψηλότερος έναντι του ρυθμού βροχόπτωσης.
- Υπερβολικά αρδευόμενες γεωργικές εκτάσεις στις οποίες παρατηρείται συσσώρευση ιόντων στο έδαφος λόγω έντονης εξατμισοδιαπνοής ή γεωργικές εκτάσεις οι οποίες αρδεύονται με κακής ποιότητας νερό.



Χαρακτηριστικά

Θαλασσινού Νερού και Νερού Άρδευσης Καλής Ποιότητας.

Παράμετρος	Θαλασσινό νερό	Νερό άρδευσης
Συγκέντρωση ιόντων (mM)		
Na ⁺	457	<2.0
K ⁺	9.7	<1.0
Ca ²⁺	10	0.5-2.5
Mg ²⁺	56	0.25-1.0
Cl ⁻	536	<2.0
SO ₄ ²⁻	28	0.25-2.5
HCO ₃ ⁻	2.3	<1.5
Οσμωτικό δυναμικό (Mpa)	-2.4	-0.039
Ολική συγκέντρωση ιόντων (mg L⁻¹ ή ppm)	32 000	500
Ηλεκτρική αγωγιμότητα (dS m⁻¹)	44-55	<2.0



Επιπτώσεις της Υψηλής Αλατότητας 1/2

- Αλλοίωση των χαρακτηριστικών των εδαφών όπως το πορώδες με συνέπειες στον αερισμό και την αποστράγγισή τους.
- Μείωση του δυναμικού νερού του εδάφους με αποτέλεσμα την ωσμωτική καταπόνηση των φυτών.
- Φυτοτοξικότητα λόγω της παρουσίας ιόντων Na^+ και Cl^- λόγω παρεμπόδισης της εκλεκτικότητας των πλασματικών μεμβρανών και της λειτουργίας των πρωτεϊνικών μεταφορέων.



Επιπτώσεις της Υψηλής Αλατότητας 2/2

- Η συσσώρευση ιόντων Na^+ και Cl^- εντός των κυττάρων διαταράσσει σταδιακά την κυτταρική ιοντική ομοιόσταση δηλαδή την κατανομή των ιόντων μεταξύ αποπλαστικού χώρου, κυτταροπλάσματος και χυμοτοπίου καθώς επίσης και την ηλεκτροχημική πολικότητα των πλασματικών μεμβρανών.



Συμπεριφορά

Ορισμένων Καλλιεργούμενων Φυτών Έναντι της Αλατότητας με Βάση δύο Καθοριστικές Παραμέτρους.

Καλλιεργούμενο φυτό	Πτώση της παραγωγικότητας (%) για αύξηση της αλατότητας κατά 1 dS m ⁻¹	Κατωφλική αλατότητα ως EC _e (dS m ⁻¹)
βερικοκιά	23	1.6
φασόλι	18.9	1.0
καρότα	14.1	1.0
πορτοκαλιά	15.9	1.7
μηδική	7.3	2.0
αγγούρι	13.0	2.5
τομάτα	9.9	2.5
πατζάρι	9.0	4.0
σόγια	20.0	5.0
σιτάρι	7.1	6.0
βαμβάκι	5.2	7.7
κριθάρι	5.0	8.0



Επίδραση της Αλατότητας

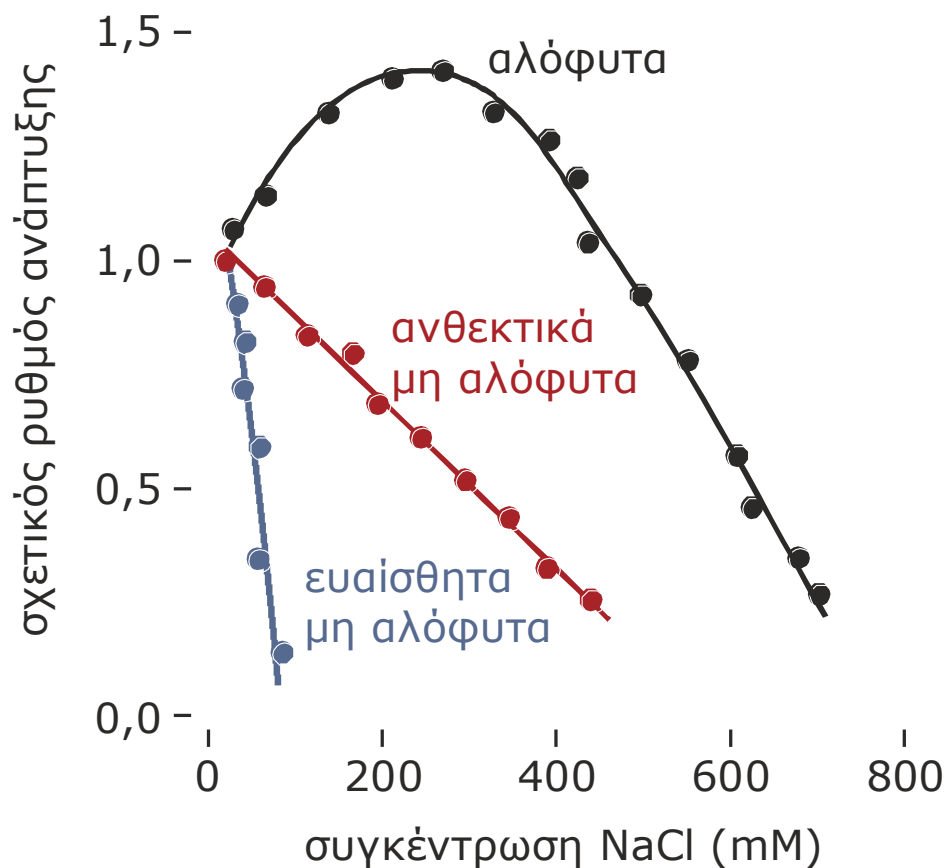
Εκφρασμένη ως Ωσμωτικό Δυναμικό στην Ανάπτυξη του Βαμβακιού.

Οσμωτικό δυναμικό υποστρώματος ανάπτυξης (MPa)	Επιφάνεια φύλλων (dm ² ανά φυτό)	Φωτοσυνθετική δραστηριότητα (mg CO ₂ dm ⁻² ημέρα ⁻¹)	Αναπνευστική δραστηριότητα (mg CO ₂ dm ⁻² ημέρα ⁻¹)
-0.04	30	46	11
-0.64	24	29	16
-1.24	18	23	19



Ρυθμός Ανάπτυξης / Συγκέντρωση NaCl

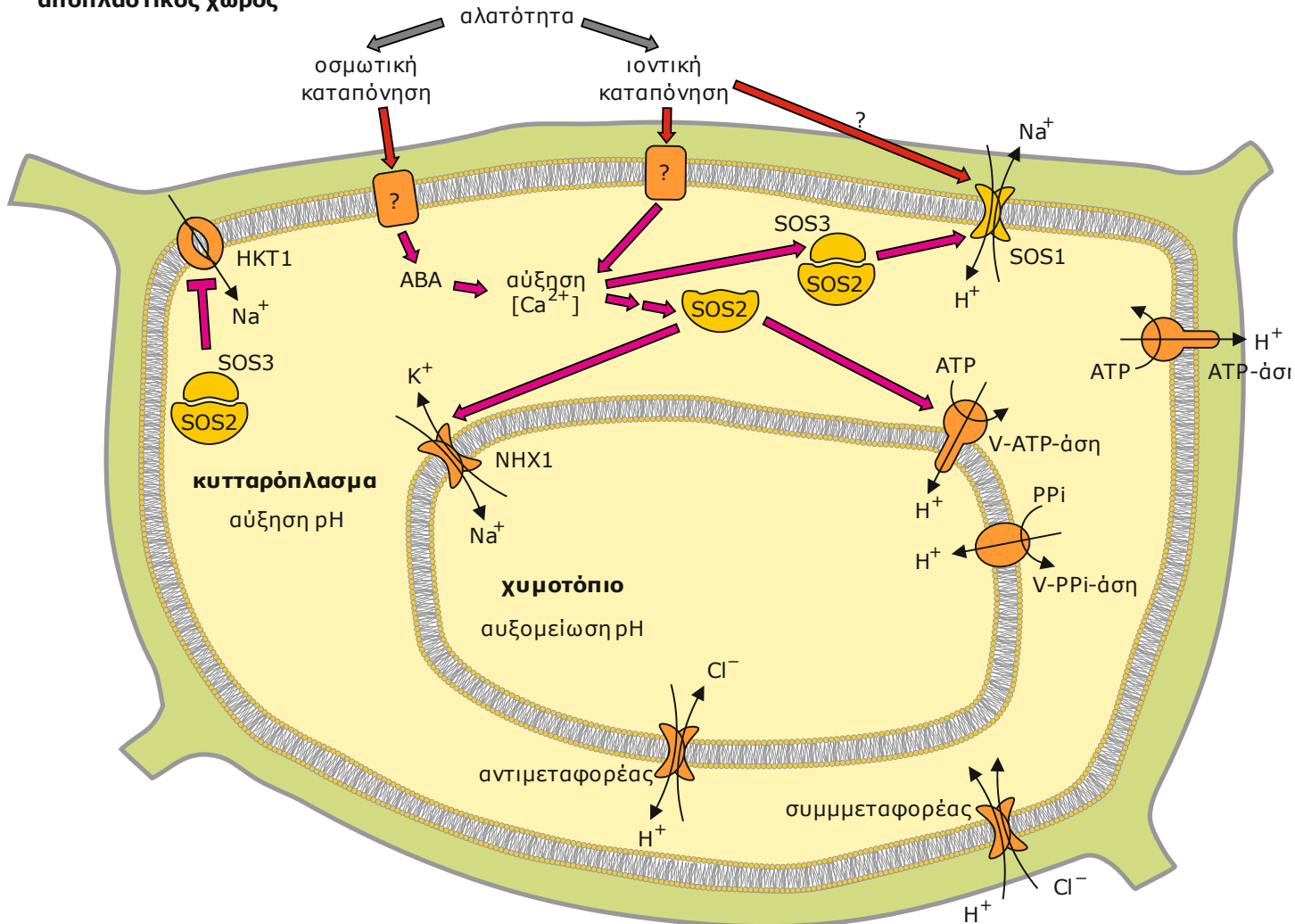
- Η εξάρτηση της ταχύτητας ανάπτυξης από τη συγκέντρωση αλατιού στο περιβάλλον μέσον, για τρεις κατηγορίες φυτών.





Αντίληψη και Μεταγωγή Σήματος Αλατότητας

αποπλαστικός χώρος





Διακρίνονται δυο Κύριες Στρατηγικές 1/2

- Η στρατηγική της αποφυγής
 - Τα φυτά τα οποία έχουν επιλέξει τη στρατηγική αυτή (ρυθμιστές αλατότητας), δεν επιτρέπουν την είσοδο των ιόντων στο εσωτερικό των ευαίσθητων κυττάρων. Η στρατηγική αυτή παρουσιάζεται με τρεις παραλλαγές:



Διακρίνονται δυο Κύριες Στρατηγικές 2/2

- Ρύθμιση της αλατότητας με **ενεργό αποκλεισμό**
- Ρύθμιση της αλατότητας με **απομάκρυνση από εξειδικευμένα κύτταρα**
- Ρύθμιση της αλατότητας με **ρύθμιση κατανομής**



Ρύθμιση της Αλατότητας με Ενεργό Αποκλεισμό

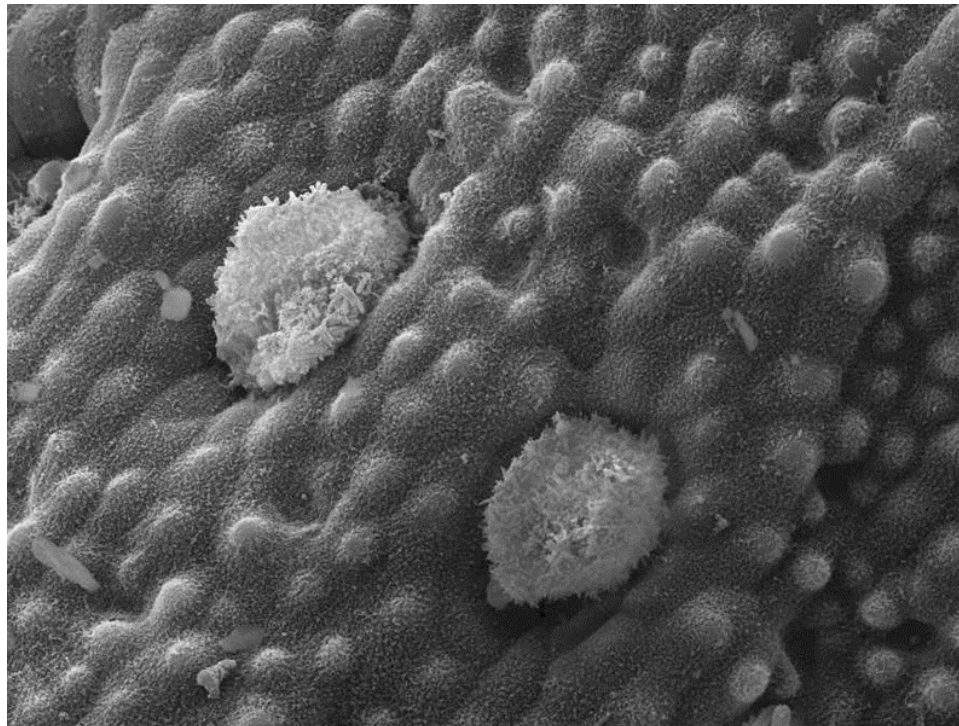
- Ορισμένα φυτικά είδη δεν απορροφούν το αλάτι, αλλά το αποκλείουν ενεργητικά στο εξωτερικό περιβάλλον των ριζών (π.χ. το είδος *Rhizophora mangle*).





Ρύθμιση της Αλατότητας με Απομάκρυνση 1/2

- Ορισμένα φυτικά είδη επιτρέπουν την είσοδο του αλατιού, το οποίο οδηγείται προς και εκκρίνεται από εξειδικευμένους αλατώδεις αδένες των φύλλων (π.χ. είδη του γένους *Tamarix*)





Ρύθμιση της Αλατότητας με Απομάκρυνση 2/2

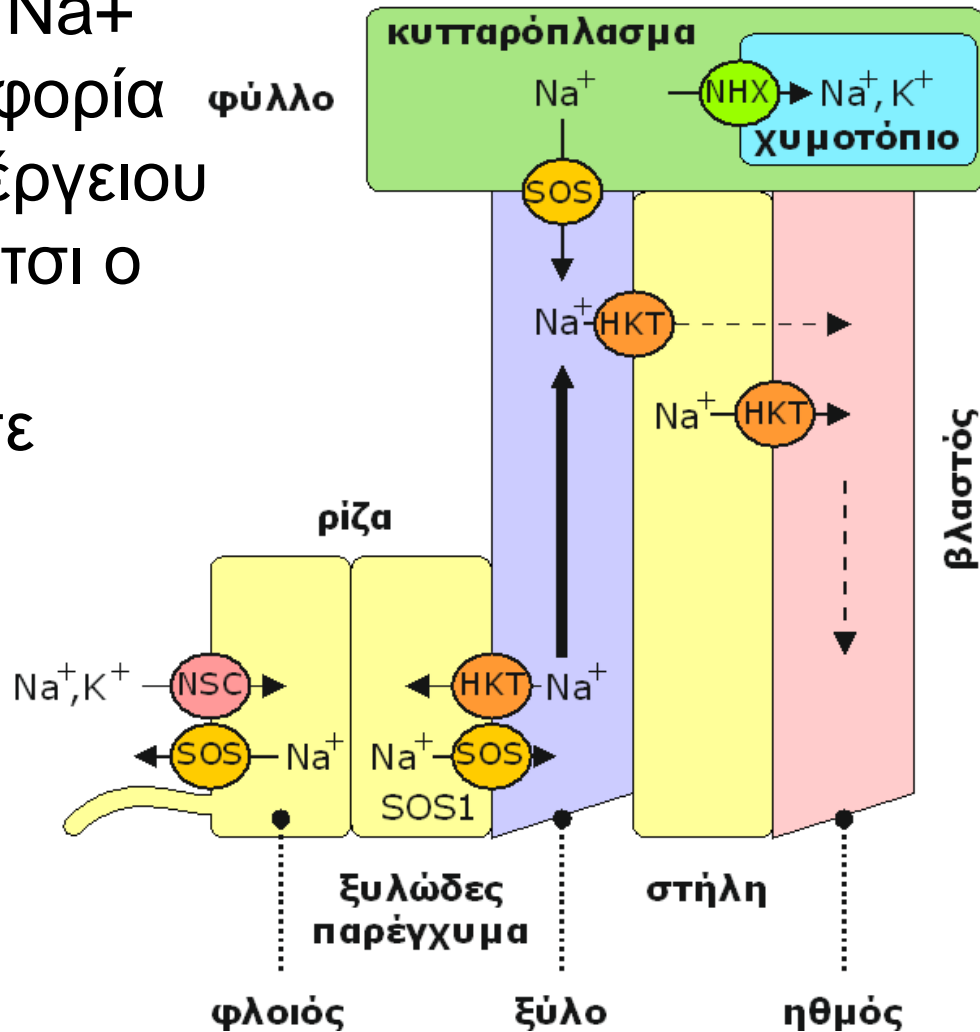
- Ορισμένα φυτικά είδη επιτρέπουν την είσοδο του αλατιού, το οποίο οδηγείται προς και εκκρίνεται από εξειδικευμένους αλατώδεις αδένες των φύλλων (π.χ. είδη του γένους *Tamarix*)





Ρύθμιση με Αποκλεισμό και Ρύθμιση Κατανομής

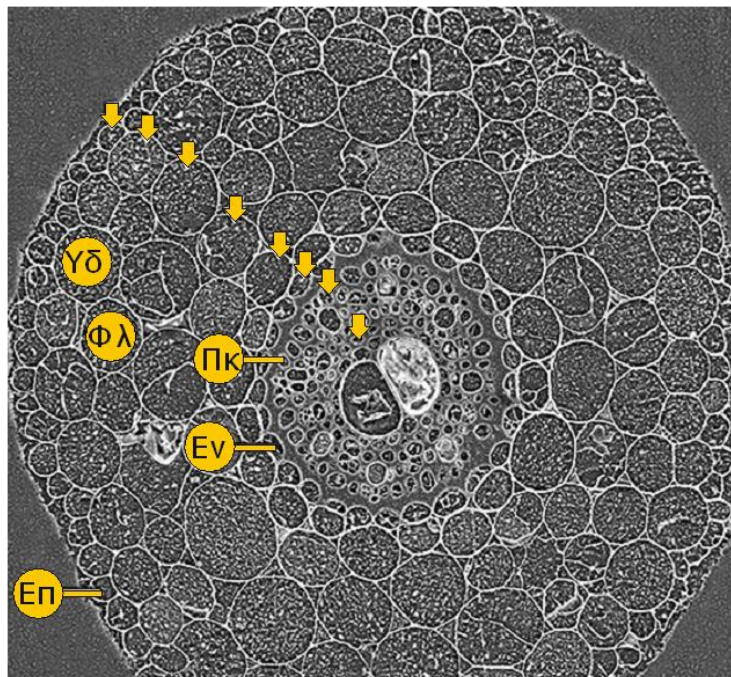
- Σε αρκετά είδη, τα ιόντα Na^+ υπόκεινται σε ανακυκλοφορία φύλλο μεταξύ υπόγειου και υπέργειου μέρους. Επιτυγχάνεται έτσι ο δυναμικός έλεγχος της κατανομής των ιόντων σε επίπεδο φυτού.





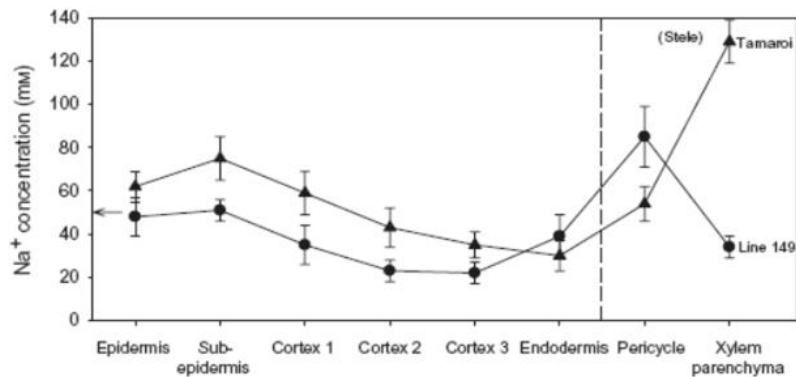
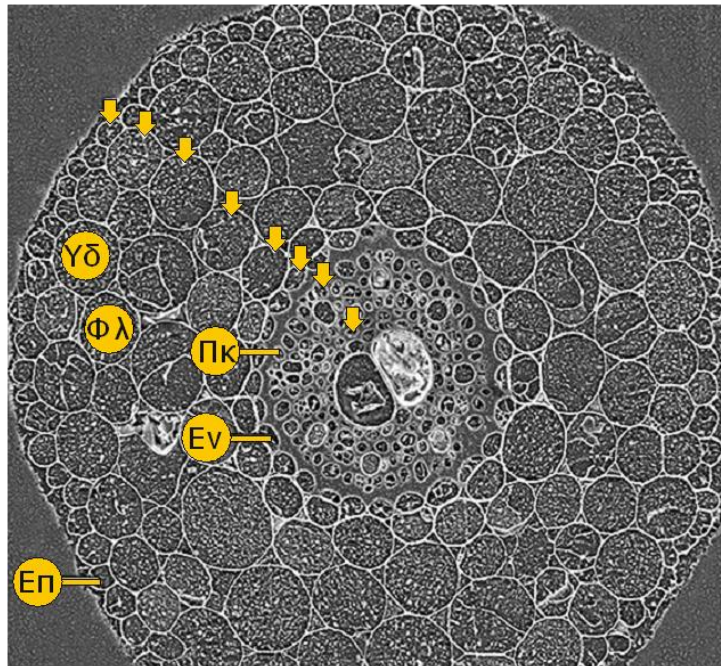
Αντιμετώπιση της Αλατότητας στο Σκληρό Σιτάρι 1/3

- Ρύθμιση της αλατότητας στην κατά ακτίνα κίνηση.
 - Ορισμένα αγρωστωδή όπως το σιτάρι (*Triticum turgidum* spp. *durum*) επιτρέπουν την είσοδο του αλατιού, το οποίο περιο-ρίζεται στα χυμοτόπια σε συγκεκριμένους ιστούς της ρίζας.



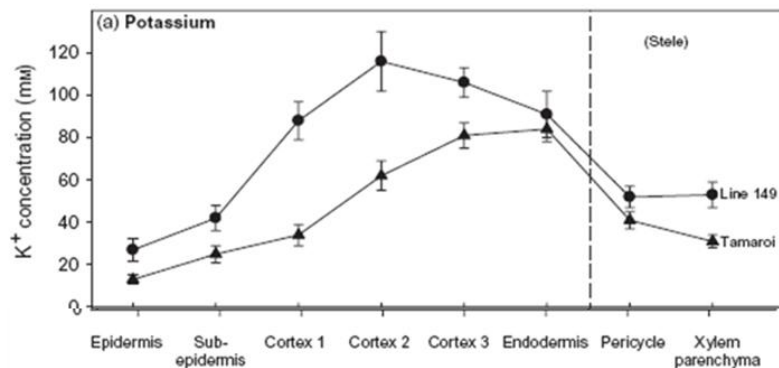
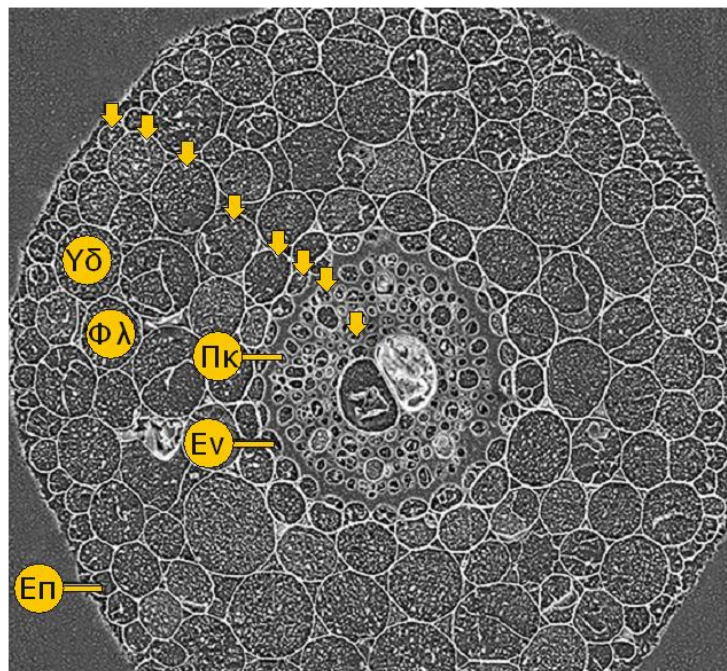


Αντιμετώπιση της Αλατότητας στο Σκληρό Σιτάρι 2/3





Αντιμετώπιση της Αλατότητας στο Σκληρό Σιτάρι 3/3





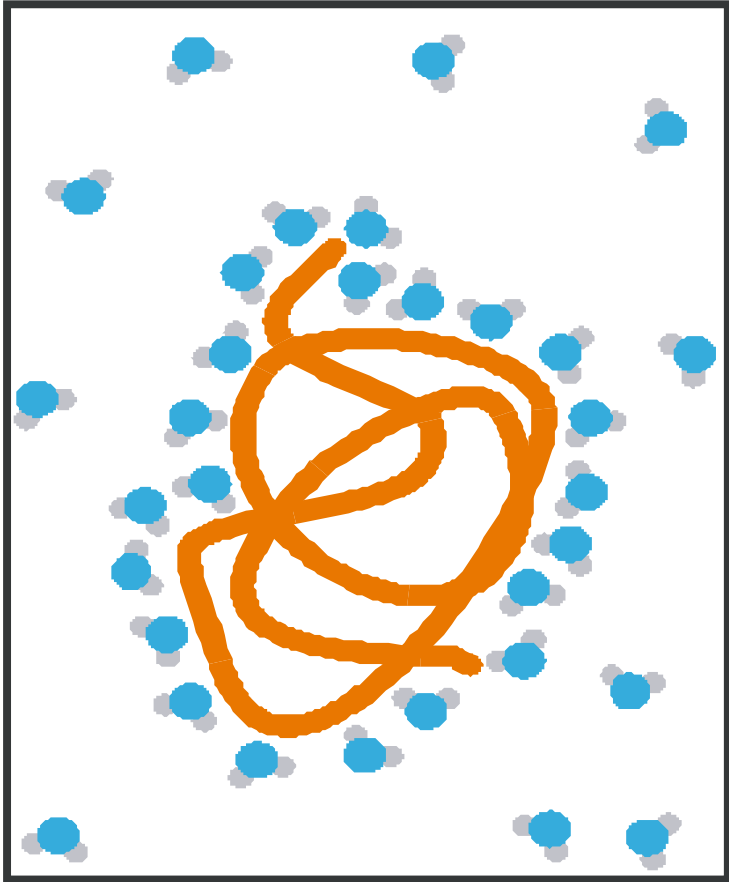
Η Στρατηγική της Ανθεκτικότητας

- Ο μεταβολισμός των φυτών αυτών (συσσωρευτές άλατος) είναι κατάλληλα προσαρμοσμένος ώστε να μη παρουσιάζονται δυσλειτουργίες παρουσία υψηλών συγκεντρώσεων ιόντων.
- Τα ιόντα συσσωρεύονται στο χυμοτόπιο, ενώ οι συγκεντρώσεις στο κυτταρόπλασμα διατηρούνται σε χαμηλά επίπεδα. Το δυναμικό του νερού του κυτταροπλάσματος εξισορροπείται οσμωτικά με εκείνο του χυμοτοπίου, έτσι ώστε να μην αφυδατωθεί. Η οσμωρρύθμιση επιτυγχάνεται με τη σύνθεση συμβατών οσμωλυτών.





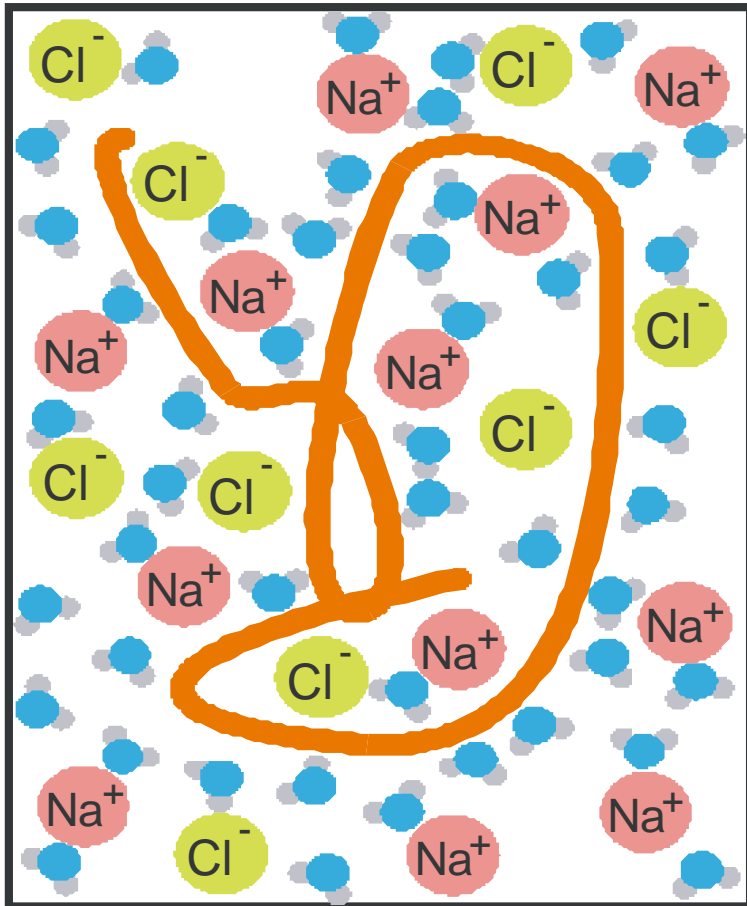
Η Προστατευτική Δράση των Συμβατών Οσμωλυτών 1/3



Η σφαίρα ενυδάτωσης ενός πρωτεϊνικού μορίου.



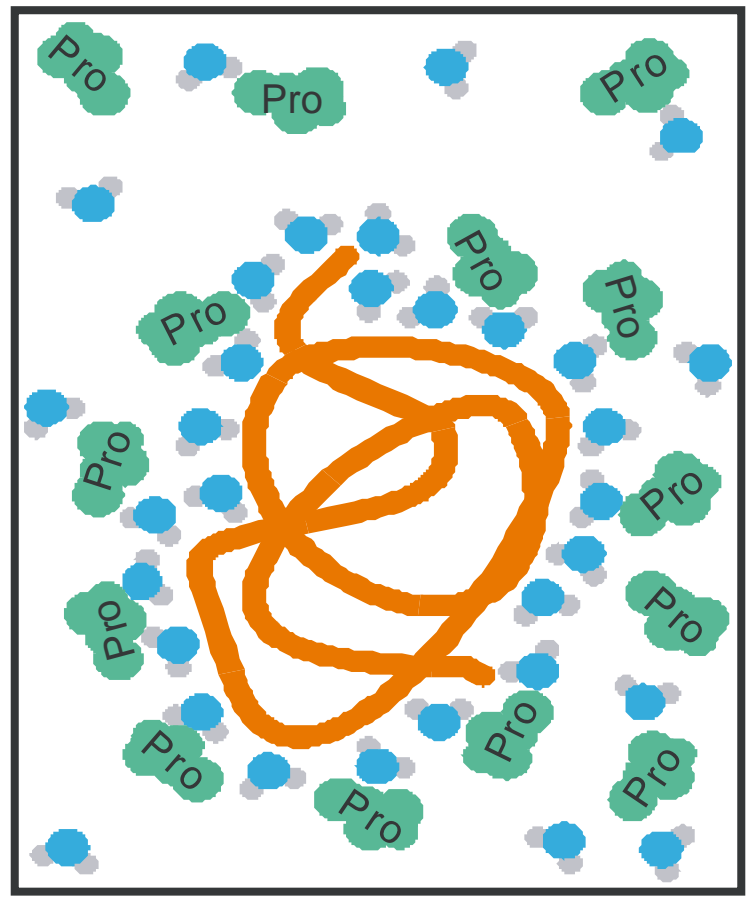
Η Προστατευτική Δράση των Συμβατών Οσμωλυτών 2/3



Παρουσία ιόντων Na⁺ και Cl⁻
το πρωτεϊνικό μόριο
αποδιατάσσεται, λόγω
διαταραχής της σφαίρας
ενυδάτωσης



Η Προστατευτική Δράση των Συμβατών Οσμωλυτών 3/3



Τα μόρια του συμβατού οσμωλύτη σταθεροποιούν τη σφαίρα ενυδάτωσης και προστατεύουν το πρωτεϊνικό μόριο από απώλεια της λειτουργικής διαμόρφωσης.



Ενδοκυτταρική Κατανομή

Ορισμένων Ιόντων ή Οργανικών Μορίων σε Κύτταρα Μεσοφύλλου Σπανακιού σε Συνθήκες Αλατότητας στο Εξωτερικό Περιβάλλον.

Ιόν ή μόριο	Συγκέντρωση στο χυμοτόπιο (mM)	Συγκέντρωση στο κυτταρόπλασμα (mM)
Βεταΐνη της γλυκίνης	<1	300
Οργανικά οξέα	100	60
Cl⁻	<150	<50
Na⁺	200	<50
K ⁺	150	120
σύνολο	~600	~580
λόγος $[Na^+]_{vac}/[Na^+]_{cyt}$	~4,0	~4,0
λόγος $[Na^+]_{cyt}/[K^+]_{cyt}$	~0,4	~0,4
λόγος $[Na^+]_{vac}/[K^+]_{vac}$	~1,3	~1,3



Τροποποιήσεις του Πρωτεώματος Λόγω Αλατότητας

- Αφορά σε διευθετήσεις που οδηγούν σε αλλαγή της δράσης πρωτεϊνών αλλά και de novo σύνθεση νέων πρωτεϊνικών μορίων απαραίτητων για τον εγκλιματισμό όπως π.χ. για τη σύνθεση συμβατών οσμολυτών.
- Οι οσμωτίνες, πρωτεΐνες με MW 24-50 kDa συσσωρεύονται υπό συνθήκες αλατότητας. Ανήκουν στην ευρύτερη οικογένεια των πρωτεϊνών παθογένεσης.
- Οι υδρόφιλες πρωτεΐνες LEA: Ορισμένες από αυτές, οι οποίες ονομάζονται αφυδατάσες, φαίνεται πως λειτουργούν ως συνοδές πρωτεΐνες σταθεροποιώντας κυστίδια, πρωτεΐνες και μεμβρανικές δομές υπό συνθήκες αφυδάτωσης, οσμωτικής καταπόνησης και ψύχους.



Βιβλιογραφία 1/2

- Abogadallah, G.M. 2010. Antioxidative defense under salt stress. *Plant Signaling and Behavior*, 5: 369-374.
- Chaves MM, Flexas J, Pinheiro C. 2009. Photosynthesis under drought and salt stress: regulation mechanisms from whole plant to cell. *Annals of Botany* 103: 551-560.
- Flowers TJ, Colmer TD. 2008. Salinity tolerance in halophytes. *New Phytologist* 179: 945-963.
- Kader Md A, Lindberg S. 2010. Cytosolic calcium and pH signaling in plants under salinity stress. *Plant Signaling and Behavior* 5: 233-238.



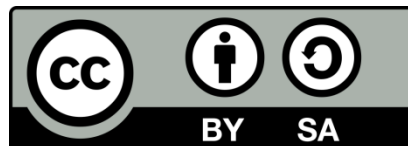
Βιβλιογραφία 2/2

- Munns, R., Tester, M. 2008. Mechanisms of salinity tolerance. *Annual Review of Plant Biology*, 59: 651-681.
- Pardo, J.M. 2010. Biotechnology of water and salinity stress tolerance. *Current Opinion in Biotechnology*, 21: 185-196.
- Silva P, Geros H. 2009. Regulation by salt of vacuolar H⁺-ATPase and H⁺-pyrophosphatase activities and Na⁺/H⁺ exchange. *Plant Signaling and Behavior* 4: 718-726.
- Turkan I., Demiral T. 2009. Recent developments in understanding salinity tolerance. *Environmental and Experimental Botany* 67: 2-9.



Άδειες Χρήσης

- Το παρόν εκπαιδευτικό υλικό υπόκειται σε άδειες χρήσης Creative Commons.
- Για εκπαιδευτικό υλικό, όπως εικόνες, που υπόκειται σε άλλου τύπου άδεια χρήσης, η άδεια χρήσης αναφέρεται ρητώς.





Χρηματοδότηση

- Το παρόν εκπαιδευτικό υλικό έχει αναπτυχθεί στο πλαίσιο του εκπαιδευτικού έργου του διδάσκοντα.
- Το έργο «**Ανοικτά Ακαδημαϊκά Μαθήματα Γεωπονικού Πανεπιστημίου Αθηνών**» έχει χρηματοδοτήσει μόνο την αναδιαμόρφωση του εκπαιδευτικού υλικού.
- Το έργο υλοποιείται στο πλαίσιο του Επιχειρησιακού Προγράμματος «Εκπαίδευση και Δια Βίου Μάθηση» και συγχρηματοδοτείται από την Ευρωπαϊκή Ένωση (Ευρωπαϊκό Κοινωνικό Ταμείο) και από εθνικούς πόρους.



Ευρωπαϊκή Ένωση
Ευρωπαϊκό Κοινωνικό Ταμείο



ΕΠΙΧΕΙΡΗΣΙΑΚΟ ΠΡΟΓΡΑΜΜΑ
ΕΚΠΑΙΔΕΥΣΗ ΚΑΙ ΔΙΑ ΒΙΟΥ ΜΑΘΗΣΗ
επένδυση στην κοινωνία της γνώσης
ΥΠΟΥΡΓΕΙΟ ΠΑΙΔΕΙΑΣ ΚΑΙ ΘΡΗΣΚΕΥΜΑΤΩΝ
ΕΙΔΙΚΗ ΥΠΗΡΕΣΙΑ ΔΙΑΧΕΙΡΙΣΗΣ

Με τη συγχρηματοδότηση της Ελλάδας και της Ευρωπαϊκής Ένωσης



ΕΣΠΑ
2007-2013
πρόγραμμα για την ανάπτυξη
ΕΥΡΩΠΑΪΚΟ ΚΟΙΝΩΝΙΚΟ ΤΑΜΕΙΟ



Σημείωμα Αναφοράς

Copyright Γεωπονικό Πανεπιστήμιο Αθηνών 2014. Τμήμα Επιστήμης Φυτικής Παραγωγής, Γεώργιος Καραμπουρνιώτης/ Γεώργιος Λιακόπουλος. «Φυσιολογία Καταπονήσεων των Φυτών». Έκδοση: 1.0. Αθήνα 2014. Διαθέσιμο από τη δικτυακή διεύθυνση: <https://mediasrv.aua.gr/eclass/courses/OCDCS100/>



Σημείωμα Αδειοδότησης

Το παρόν υλικό διατίθεται με τους όρους της άδειας χρήσης Creative Commons Αναφορά, Παρόμοια Διανομή 4.0 [1] ή μεταγενέστερη, Διεθνής Έκδοση. Εξαιρούνται τα αυτοτελή έργα τρίτων, π.χ. φωτογραφίες, διαγράμματα κ.λ.π., τα οποία εμπεριέχονται σε αυτό και τα οποία αναφέρονται μαζί με τους όρους χρήσης τους στο «Σημείωμα Χρήσης Έργων Τρίτων».



Η άδεια αυτή ανήκει στις άδειες που ακολουθούν τις προδιαγραφές του Ορισμού Ανοικτής Γνώσης [2], είναι ανοικτό πολιτιστικό έργο [3] και για το λόγο αυτό αποτελεί ανοικτό περιεχόμενο [4].

[1] <http://creativecommons.org/licenses/by-sa/4.0/>

[2] <http://opendefinition.org/okd/ellinika/>

[3] <http://freedomdefined.org/Definition/EI>

[4] <http://opendefinition.org/buttons/>



Διατήρηση Σημειωμάτων

Οποιαδήποτε αναπαραγωγή ή διασκευή του υλικού θα πρέπει να συμπεριλαμβάνει:

- το Σημείωμα Αναφοράς
 - το Σημείωμα Αδειοδότησης
 - τη δήλωση Διατήρησης Σημειωμάτων
 - το Σημείωμα Χρήσης Έργων Τρίτων (εφόσον υπάρχει)
- μαζί με τους συνοδευόμενους υπερσυνδέσμους.