

Αλατότητα

Ο όρος αλατότητα αναφέρεται στην ύπαρξη υψηλών συγκεντρώσεων ιόντων (κατά κανόνα Na^+ και Cl^-), στο εδαφικό διάλυμα, η οποία προκαλεί αλλοίωση των χαρακτηριστικών και πτώση του δυναμικού του νερού του εδάφους με αποτέλεσμα την έλλειψη νερού και ιοντικές διαταραχές στα φυτικά κύτταρα

Αλατότητα

Ως παράγοντας καταπόνησης, παρουσιάζεται σε εκτεταμένες περιοχές του πλανήτη (η έκτασή τους φθάνει το 20% του συνόλου των καλλιεργούμενων εδαφών)

Ποιες περιοχές εμφανίζουν υψηλή αλατότητα στο έδαφος

Α. Περιοχές που διαβρέχονται συνήθως από θαλασσινό νερό (αλίπεδα ή υφάλμυρα έλη)

Η σύσταση ή/και συγκέντρωση από πλευράς ιόντων εξαρτώνται από:

- ★ την υψομετρική διαφορά και απόσταση από τη θάλασσα
- ★ το ποσοστό ανάμιξης του γλυκού με θαλασσινό νερό
- ★ το ρυθμό εξάτμισης και βροχοπτώσεων

Χαρακτηριστικά θαλασσινού και νερού άρδευσης καλής ποιότητας

χαρακτηριστικό	θαλασσινό νερό	νερό άρδευσης καλής ποιότητας
Ιόν	συγκέντρωση (mM)	
Na ⁺	469	2,0
K ⁺	10	1,0
Ca ²⁺	10	0,5-2,5
Mg ²⁺	53	0,25-1,0
Cl ⁻	546	2,0
SO ₄ ²⁻	28	0,25-2,5
HCO ₃ ⁻	2,3	1,5
οσμωτικό δυναμικό (MPa)	-2,50	-0,03
ολική συγκέντρωση ιόντων (mg Γ ¹ ή ppm)	35000	640
ηλεκτρική αγωγιμότητα (dS m ⁻¹)	50	1,0

Ποιες περιοχές εμφανίζουν υψηλή αλατότητα στο έδαφος

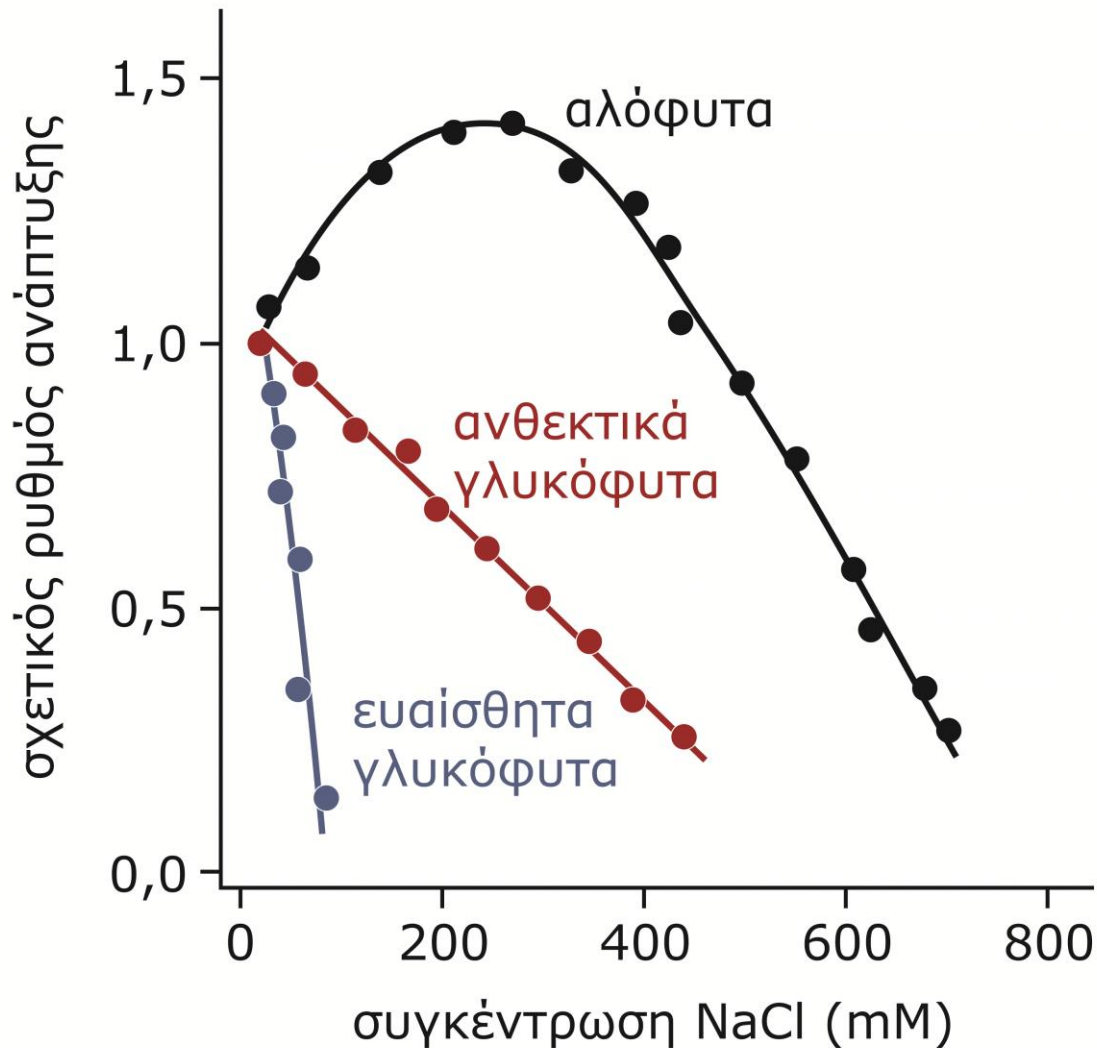
B. Ερημικές περιοχές στα εδάφη των οποίων συσσωρεύονται άλατα επειδή ο ρυθμός εξάτμισης του νερού είναι κατά πολύ υψηλότερος του ρυθμού βροχόπτωσης

Ποιες περιοχές εμφανίζουν υψηλή αλατότητα στο έδαφος

Γ. Υπερβολικά αρδευόμενες γεωργικές εκτάσεις, στις οποίες παρατηρείται συσσώρευση ιόντων στο έδαφος λόγω έντονης εξατμισοδιαπνοής

Σημαντικές επιπτώσεις σε επίπεδο γεωργικής παραγωγής επειδή τα περισσότερα καλλιεργούμενα φυτικά είδη παρουσιάζονται ευαίσθητα σε συνθήκες έστω και ήπιας αλατότητας στο εδαφικό περιβάλλον

Ευαισθησία καλλιεργούμενων φυτών στην αυξημένη αλατότητα



Σε τέσσερα επίπεδα οι επιπτώσεις της καταπόνησης

- ① υποβάθμιση του εδάφους
- ② οσμωτική καταπόνηση
- ③ ιοντική καταπόνηση και
- ④ τοξικότητα στους φυτικούς οργανισμούς

Επίπεδο Ι: υποβάθμιση του εδάφους

Αλλοιώνονται τα χαρακτηριστικά του εδάφους.

Επηρεάζονται:

- το πορώδες
- ο αερισμός του εδάφους
- η ηλεκτρική αγωγιμότητα του εδαφικού διαλύματος

Επίπεδο II: οσμωτική καταπόνηση

Οι υψηλές συγκεντρώσεις ιόντων δημιουργούν χαμηλά δυναμικά νερού στο έδαφος, παρόλο που το νερό στην περιοχή της ριζόσφαιρας μπορεί να βρίσκεται εν αφθονία



το φυτό αδυνατεί να απορροφήσει ικανές ποσότητες εδαφικού νερού

Επίπεδο II: οσμωτική καταπόνηση

Υδατική καταπόνηση

Υψηλή εδαφική
αλατότητα

Έδαφος: \uparrow Οσμωτική πίεση \rightarrow \downarrow δυναμικό νερού

οσμωτική καταπόνηση

Επίπεδο III: ιοντική καταπόνηση

...για τρεις λόγους

- 1) Δυσχέρειες στην απορρόφηση θρεπτικών συστατικών από το εδαφικό περιβάλλον διότι τα ιόντα Na^+ και Cl^- ανταγωνίζονται την πρόσληψη άλλων ιόντων
π.χ. Na^+ vs. K^+

Επίπεδο III: ιοντική καταπόνηση

...για τρεις λόγους

2) η συσσώρευση ιόντων Na^+ και Cl^- εντός των κυττάρων

διαταράσσει σταδιακά την κυτταρική ιοντική ομοιόσταση

(δηλ. την επιθυμητή κατανομή ιόντων και φορτίων μεταξύ εσωτερικού και εξωτερικού κυτταρικού περιβάλλοντος και μεταξύ των υποκυτταρικών διαμερισμάτων)



παρεμποδίζεται η απορρόφηση ιόντων (π.χ. K^+) από τον αποπλασματικό χώρο προς το εσωτερικό των κυττάρων

Επίπεδο III: ιοντική καταπόνηση

...για τρεις λόγους

3) η αύξηση της συγκέντρωσης ιόντων Na^+ έχει ως αποτέλεσμα την αύξηση της δραστηριότητας μεμβρανικών αντλιών πρωτονίων με αποτέλεσμα την άνοδο του pH του κυτταροπλάσματος



στη δραστηριότητα βασικών ενζύμων του κυτταρικού μεταβολισμού + αυξημένη δαπάνη ATP

Επίπεδο IV: τοξικότητα

Τα ιόντα Na^+ και Cl^- αυτά καθαυτά, ασκούν τοξικότητα όταν βρεθούν στο εσωτερικό των κυττάρων

Επίπεδο IV: τοξικότητα

Η υπερβολική συγκέντρωση ιόντων Na^+ προκαλεί:

- ✦ ανωμαλίες στην περατότητα των μεμβρανών
- ✦ παρεμπόδιση της καταλυτικής δράσης ενζύμων
- ✦ δυσλειτουργίες στην αφομοίωση του άνθρακα

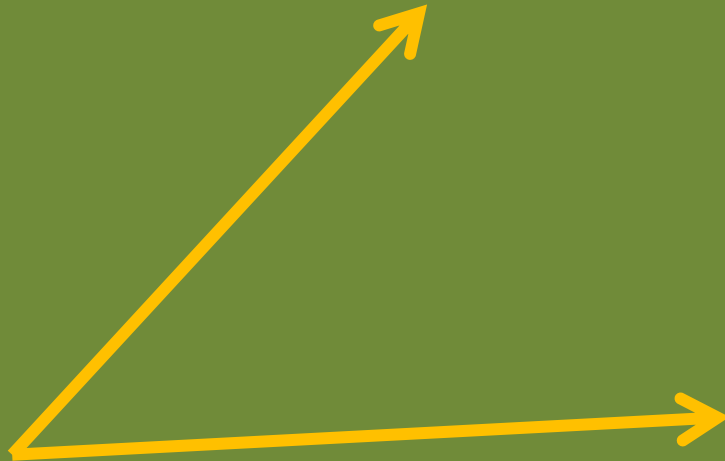


παρεμπόδιση της
φωτοσυνθετικής
λειτουργίας

επιτάχυνση της
αναπνευστικής
δραστηριότητας

Επίπεδο IV: τοξικότητα

ευαίσθητο στόχο αποτελεί η φωτοσυνθετική ροή ηλεκτρονίων, η οποία μπορεί να διαταραχθεί ακόμα και με χαμηλές συγκεντρώσεις των παραπάνω ιόντων

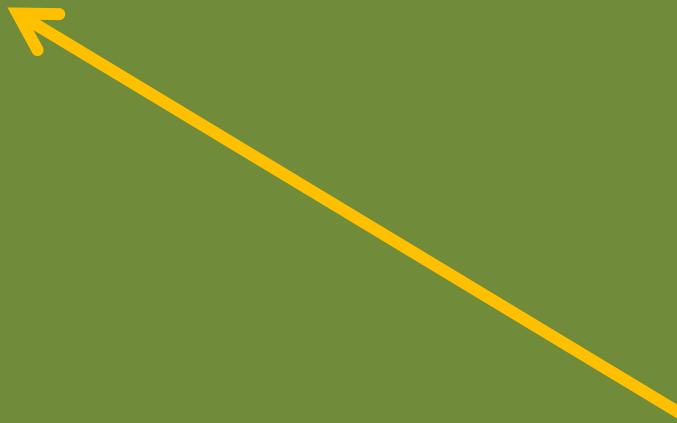


παρεμπόδιση της
φωτοσυνθετικής
λειτουργίας

λόγω της μειωμένης
στοματικής
αγωγιμότητας που
επιφέρει μειωμένη
τροφοδοσία με CO_2

Επίπεδο IV: τοξικότητα

προκειμένου να αντισταθμιστεί
το ενεργειακό κόστος αποκλεισμού των
ιόντων
ή σύνθεσης νέων μεταβολιτών



επιτάχυνση της
αναπνευστικής
δραστηριότητας

Επίπεδο IV: τοξικότητα

επιβράδυνση της ανάπτυξης των
ευαίσθητων φυτικών ειδών



παρεμπόδιση της
φωτοσυνθετικής
λειτουργίας

επιτάχυνση της
αναπνευστικής
δραστηριότητας

Επίδραση στην αναπνευστική και φωτοσυνθετική δραστηριότητα φυτών βαμβακιού

Ψ_z (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

Συμπεριφορά αντιπροσωπευτικών καλλιεργουμένων φυτών έναντι της αλατότητας

καλλιεργούμενο φυτό	πτώση της παραγωγικότητας (%) για αύξηση της αλατότητας κατά 1 dS m ⁻¹	κατωφλική αλατότητα ως EC _e (dS m ⁻¹)
πολύ ευαίσθητα		
βερυκοκιά	23,0	1,6
φασόλι	18,9	1,0
καρότα	14,1	1,0
λεμονιά		1,0
κρεμόδι	16,1	1,2
πορτοκαλιά	15,9	1,7
ευαίσθητα		
μηδική	7,3	2,0
λάχανο	5,0	1,8
αγγούρι		2,5
αμπέλι		1,5
μαρούλι		1,3
πατάτα		1,7
σπανάκι		2,0
τομάτα		2,5
ανθεκτικά		
συστά		4,2
ελιά		4,0
σόργο		4,8
σόγια	10,0	5,0
σπάρη	7,1	6,0
πολύ ανθεκτικά		
κριθάρι	5,0	8,0
βαμβάκι	5,2	7,7
ζαχαρότευτλο	5,9	7,0

τα οριακά επίπεδα αλατότητας, πέραν των οποίων παρατηρείται πτώση της παραγωγικότητας

Συμπεριφορά αντιπροσωπευτικών καλλιεργουμένων φυτών έναντι της αλατότητας

καλλιεργούμενο φυτό	πτώση της παραγωγικότητας (%) για αύξηση της αλατότητας κατά 1 dS m ⁻¹	κατωφλική αλατότητα ως EC _e (dS m ⁻¹)
		πολύ ευαίσθητα
βερυκοκιά	23,0	1,6
φασόλι	18,9	1,0
καρότα	14,1	1,0
λεμονιά		1,0
κρεμόδι	16,1	1,2
πορτοκαλιά	15,9	1,7
		ευαίσθητα
μηδική	7,3	2,0
λάχανο	9,7	1,8
αγγούρι	13,0	2,5
αμπέλι	9,5	1,5
μαρούλι	13,0	1,3
πατάτα	12,0	1,7
σπανάκι	7,6	2,0
τομάτα	9,9	2,5
		ανθεκτικά
συστά		4,2
ελιά		4,0
σόργο		4,8
σόγια	20,0	5,0
σπάρη	7,1	6,0
		πολύ ανθεκτικά
κριθάρι	5,0	8,0
βαμβάκι	5,2	7,7
ζαχαρότευτλο	5,9	7,0

Αλόφυτα και γλυκόφυτα



Φυτά τα οποία

αναπτύσσονται σε εδάφη με υψηλές συγκεντρώσεις αλάτων (200 mM NaCl και άνω, που αντιστοιχεί στο 40% της συγκέντρωσης NaCl στο θαλασσινό νερό)

Τα ευαίσθητα φυτά στα οποία σχετικά χαμηλές συγκεντρώσεις αλάτων (χαμηλότερες των 50 mM) επιφέρουν συνήθως ανεπανόρθωτες φυσιολογικές βλάβες

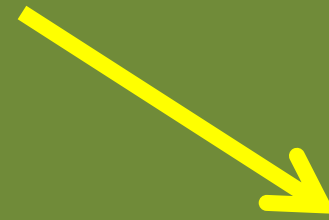
Αλόφυτα και γλυκόφυτα



1% περίπου της

χλωρίδας του πλανήτη.

Μονοκότυλα και δικότυλα

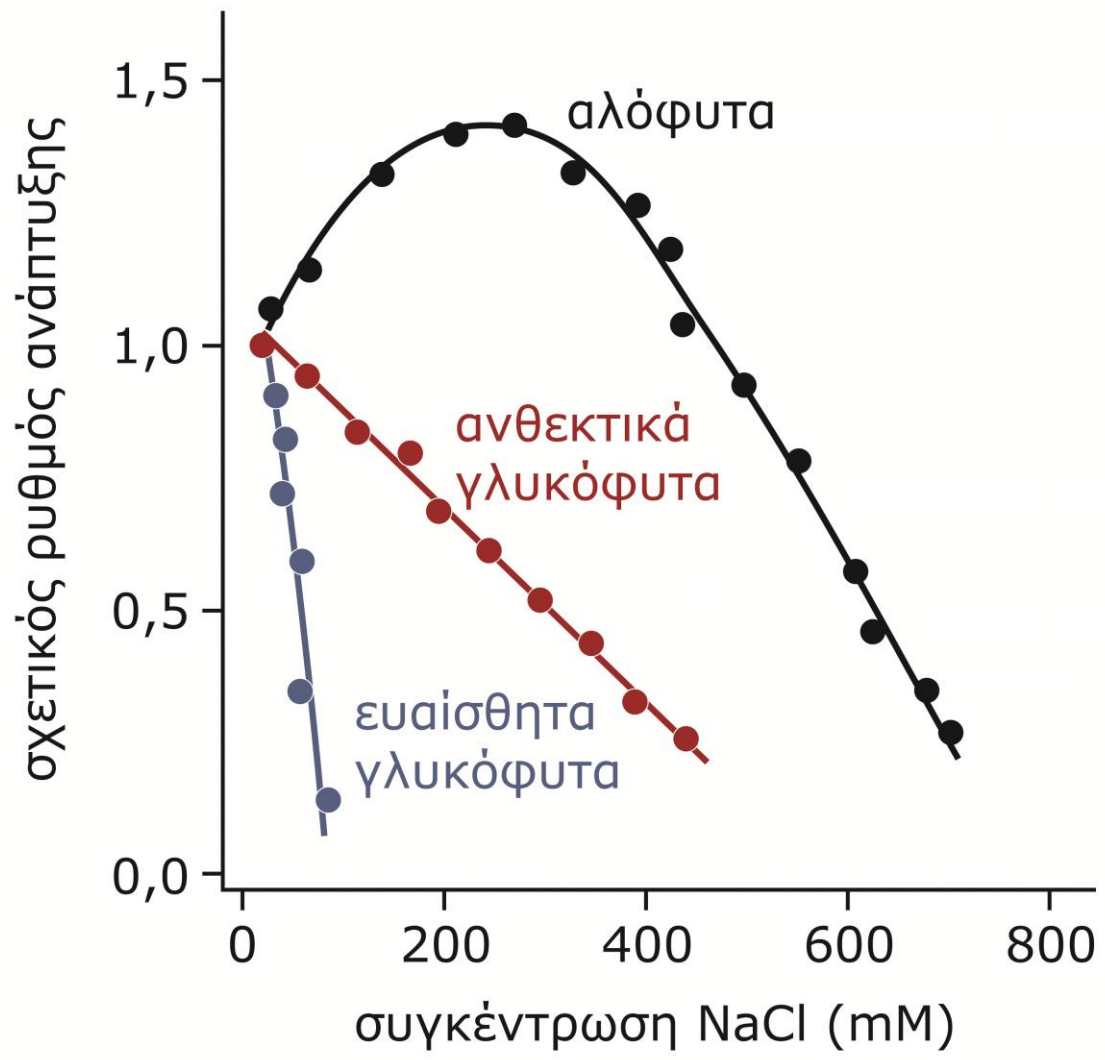


...το υπόλοιπο 99%

τα καταφέρνουν εκεί που αυτά πεθαίνουν

αλλά δεν μπορούν να ζήσουν πουθενά αλλού

Ανάπτυξη σε αυξημένη αλατότητα



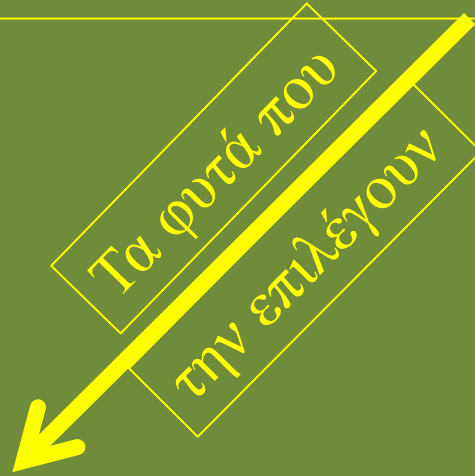
Η καταπόνηση αλατότητας αντιμετωπίζεται μέσω κυρίως δύο στρατηγικών

① Αποφυγή

② Ανθεκτικότητα

Διαφυγή: Τα γλυκόφυτα που έχουν επιλέξει τη στρατηγική αυτή είναι εξαιρετικά ευαίσθητα στην αλατότητα και **δεν** μπορούν να ολοκληρώσουν το βιολογικό τους κύκλο ακόμη και σε εδάφη με χαμηλά επίπεδα αλάτων

Αποφυγή



Ρυθμιστές αλατότητας: δεν επιτρέπουν την είσοδο των ιόντων στο εσωτερικό των ευαίσθητων κυττάρων, ειδικά αυτών των φωτοσυνθετικών ιστών

... τρεις μηχανισμοί αποκλεισμού

Μηχανισμοί αποκλεισμού

A. ενεργητικός αποκλεισμός στο εξωτερικό

περιβάλλον των ριζών → τα φυτά δεν

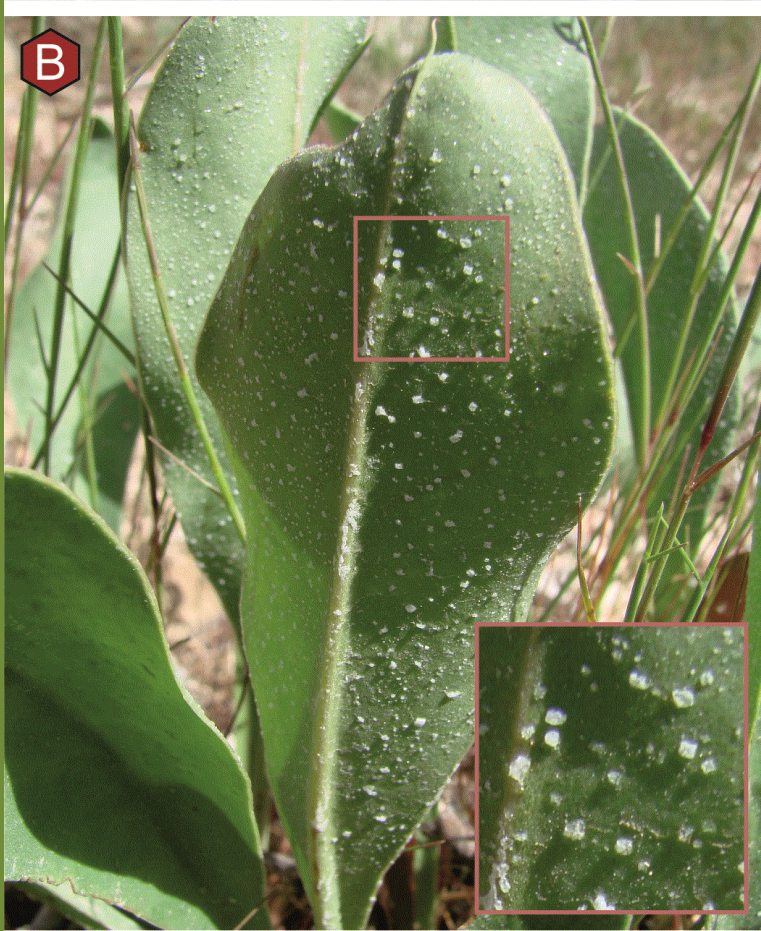
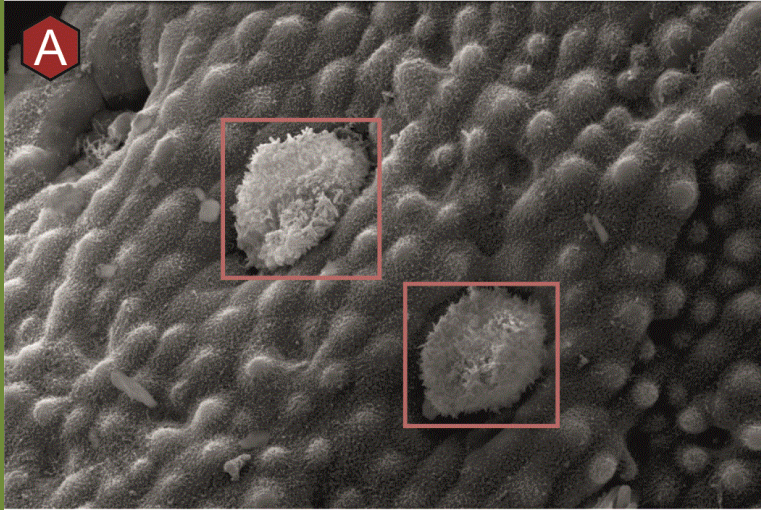
απορροφούν το αλάτι

Μηχανισμοί αποκλεισμού

B. Άλλα φυτικά είδη **επιτρέπουν την είσοδο του αλατιού**, το οποίο οδηγείται προς και εκκρίνεται από εξειδικευμένους **αλατώδεις αδένες των φύλλων**

Μηχανισμοί αποκλεισμού

B. Άλλα φυτικά είδη **επιτρέπουν την είσοδο του αλατιού**, το οποίο οδηγείται προς και εκκρίνεται από εξειδικευμένους **αλατώδεις αδένες των φύλλων**



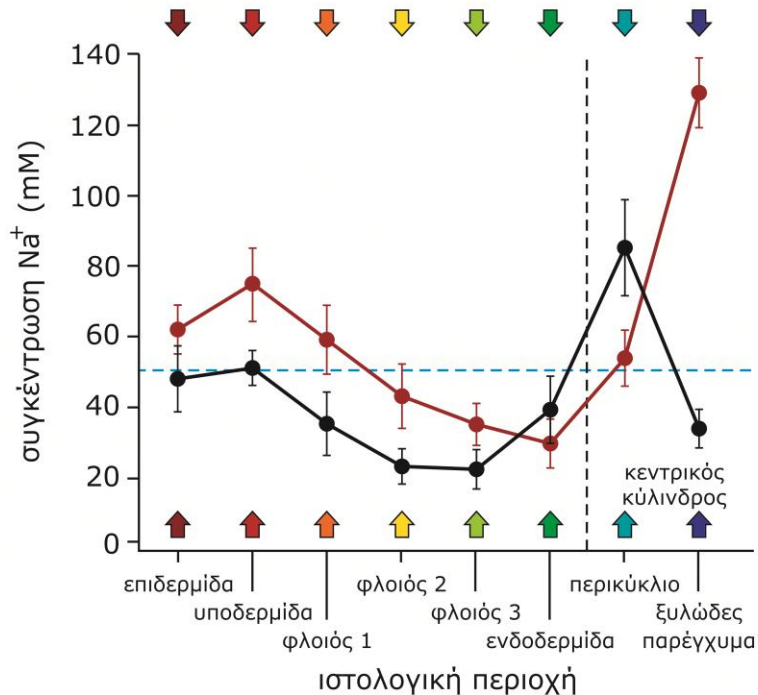
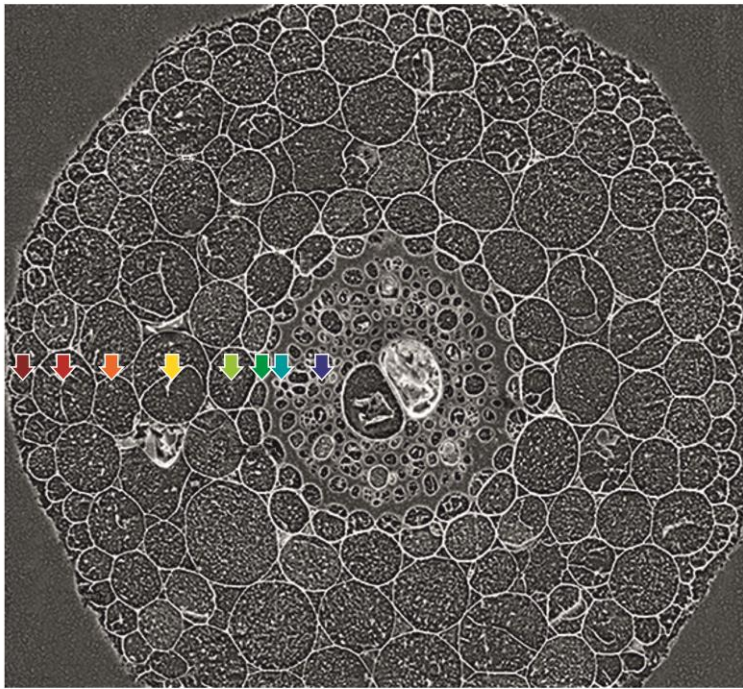
Αλατώδεις αδένες
και
έκκριση αλάτων στην
επιφάνεια του φύλλου

Μηχανισμοί αποκλεισμού

Γ. Σε πολλά είδη γλυκοφύτων (πολλά είδη καλλιεργούμενων), **το αλάτι απορροφάται από τις ρίζες αλλά παρεμποδίζεται η μεταφορά του μέσω των αγγείων του ξύλου προς το υπέργειο (ευαίσθητο) τμήμα**



Σημείο ελέγχου: τα παρεγχυματικά του ξυλώματος



ρίζα σιταριού μετά από έκθεση των φυτών σε 50 mM NaCl για 10 ημέρες. Πραγματοποιήθηκε στοιχειακή ανάλυση νατρίου σε δύο ποικιλίες

Ανθεκτικότητα



Συσσωρευτές άλατος: επιτρέπουν την είσοδο των ιόντων στο εσωτερικό των ευαίσθητων κυττάρων, αλλά ο μεταβολισμός τους είναι κατάλληλα προσαρμοσμένος ώστε να μην παρουσιάζονται δυσλειτουργίες

Ανθεκτικότητα

Η «τακτική»...

Πρόσληψη υψηλών συγκεντρώσεων αλατιού εντός των κυττάρων τους, έτσι ώστε να **αντισταθμιστεί** το χαμηλό δυναμικό νερού του εδάφους και να επιτυγχάνονται **ικανοποιητικές πιέσεις σπαργής**



Χρησιμοποίηση των υψηλών συγκεντρώσεων αλατιού προς όφελος του φυτού: ελάττωση του Ψ

Συσώρευση πού;

Συσώρευση ιόντων Na^+ και Cl^- στο **χυμοτόπιο**

ενώ

οι συγκεντρώσεις τους κρατιούνται **χαμηλές στο**

κυτταρόπλασμα

Συσώρευση, το πρόβλημα:

Η συσώρευση των ιόντων στο χυμοτόπιο προκαλεί
πτώση του Ψ του σε σχέση με το Ψ του
κυτταροπλάσματος



άρα

κίνδυνος αφυδάτωσης του κυτταροπλάσματος

Η λύση: οσμωρύθμιση ή οσμωτική εξισορρόπηση...

...στο κυτταρόπλασμα που επιτυγχάνεται με τη σύνθεση **συμβατών οσμωλυτών**

καθοριστική συμβολή στην αύξηση της οσμωτικής πίεσης, ενώ ταυτόχρονα είναι συμβατοί με τις μεταβολικές δραστηριότητες του κυττάρου

προλίνη, μαννιτόλη βεταΐνη της γλυκίνης, τρεαλόζη ή ακόμα και σακχαρόζη.
Ειδο-ειδική η σύσταση

Η λύση: οσμωρύθμιση ή οσμωτική εξισορρόπηση...

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
λόγος $[Na^+]_{cyt}/[K^+]_{cyt}$		~0,4
λόγος $[Na^+]_{vac}/[K^+]_{vac}$		~1,3

Ενδοκυτταρική κατανομή ορισμένων ανόργανων ιόντων και οργανικών μορίων σε κύτταρα μεσοφύλλου σπανακιού σε συνθήκες αλατότητας στο εξωτερικό περιβάλλον

Οσμωτική εξισορρόπηση

Διαδεδομένος μηχανισμός...

και σε αλόφυτα

Οσμωρύθμιση με επαρκείς ποσότητες οσμολυτών + προστασία

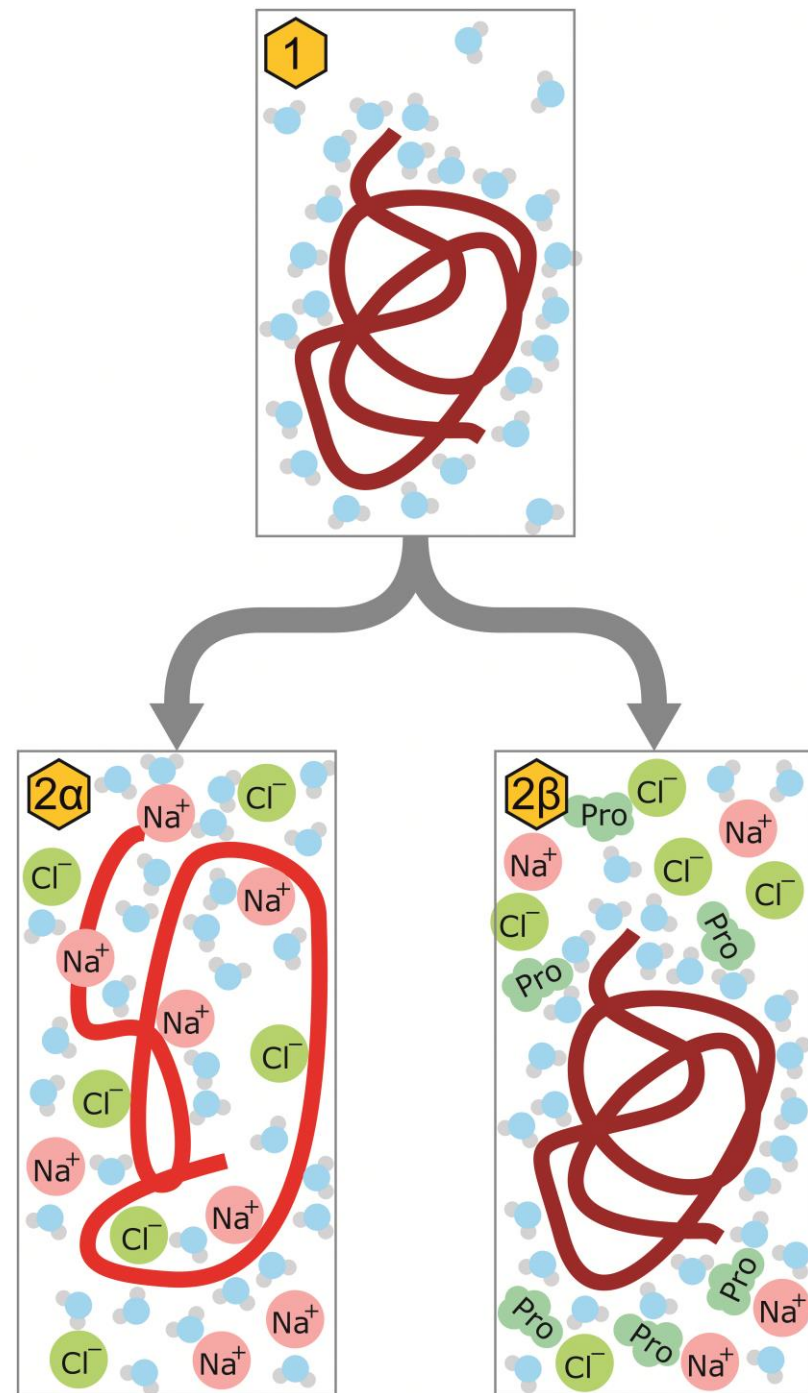
και σε γλυκόφυτα

Όχι επαρκώς υψηλές συγκεντρώσεις συμβατών οσμολυτών για βελτίωση υδατικής κατάστασης.
Άρα, μόνο προστασία.



Προστασία της τριδιάστατης δομής των πρωτεϊνών (και αδρανοποίηση των ROS)

τρόπος δράσης των
συμβατών οσμωλυτών:
διατήρηση της σφαίρας
ενυδάτωσης του πρωτεϊνικού
μορίου με ταυτόχρονη
αποτροπή της επαφής του με
τοξικά ιόντα



Ανθεκτικότητα

Συσώρευση στο
χυμοτόπιο

αντιμετωπίζεται η **ιοντική
καταπόνηση** αφού
περιορίζεται η επαφή των
τοξικών ιόντων με
ευαίσθητους στόχους

Οσμωτική εξισορρόπηση

αντιμετωπίζεται η
**οσμωτική
καταπόνηση**

Συνοψίζοντας....

Ρυθμιστές αλατότητας

Συσσωρευτές άλατος

Στρατηγική αποφυγής

δεν επιτρέπουν την είσοδο των ιόντων στο εσωτερικό των ευαίσθητων κυττάρων

είτε μέσω αποκλεισμού στο εξωτερικό περιβάλλον

είτε μέσω περιορισμού σε ιστούς της ρίζας

είτε μέσω μεταφοράς στο υπέργειο τμήμα και απέκκρισης από αλατώδεις αδένες

Συνοψίζοντας....

Ρυθμιστές αλατότητας

Συσσωρευτές άλατος

Στρατηγική ανθεκτικότητας

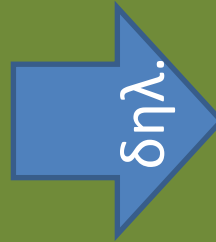
επιτρέπουν την είσοδο των ιόντων στο εσωτερικό των ευαίσθητων κυττάρων

Τα ιόντα περιορίζονται στο χυμοτόπιο

επιτυγχάνονται
ικανοποιητικές πιέσεις
σπαργής μέσω οσμωτικής
εξισορρόπησης

Εγκλιματισμός στην αλατότητα

Ενεργοποίηση μηχανισμών
εγκλιματισμού



Τροποποίηση δομών &
λειτουργιών όλου του
φυτικού οργανισμού με
στόχους:

- α) την αντιμετώπιση της
οσμωτικής καταπόνησης
- β) τον περιορισμό των
τοξικών επιδράσεων
των ιόντων Na^+ και Cl^-

Τη στρατηγική που
ακολουθεί, άρα από
δομικούς/λειτουργικούς
χαρακτήρες (π.χ. τα
φυτά της
διαφυγής → μικρή
ικανότητα)



Εγκλιματισμός στην αλατότητα

δραματικές μεταβολές στην αρχιτεκτονική διάταξη του ριζικού συστήματος

παρεμπόδιση της
αύξησης της κύριας
ρίζας

επαγωγή της
ανάπτυξης των
πλάγιων ριζών

απώλεια της
αντίληψης του
γεωτροπικού
ερεθίσματος

ABA και αυξίνη

Εγκλιματισμός στην αλατότητα

de novo σύνθεση νέων πρωτεϊνών

Οσμωτίνες: μεταφορικές πρωτεΐνες της κυτταροπλασματικής μεμβράνης και του τονοπλάστη

Ανήκουν στην ευρύτερη οικογένεια των **πρωτεϊνών που σχετίζονται με την παθογένεση (PRPs)** και εντοπίζονται κυρίως στο χυμοτόπιο ως συσσωματώματα

αμυντικές πρωτεΐνες

με στόχο την προστασία της κυτταροπλασματικής μεμβράνης των φυτικών κυττάρων

Εγκλιματισμός στην αλατότητα

υψηλή αλατότητα προκαλεί οξειδωτική
καταπόνηση



Σε ορισμένα φυτά διαπιστώνεται συσχέτιση
μεταξύ ανθεκτικότητας στην αλατότητα και
αντιοξειδωτικής άμυνας

Εγκλιματισμός στην αλατότητα

Μορφο-ανατομικές προσαρμογές

σαρκώδη φύλλα και βλαστοί



↓ λόγου επιφάνεια/όγκο → ↓
έκθεση στα άλατα

