

# Ο ρόλος του πυριτίου στα φυτά

Γράφει: η Ομάδα γεωπόνων της Farmacon - Farmacon Team

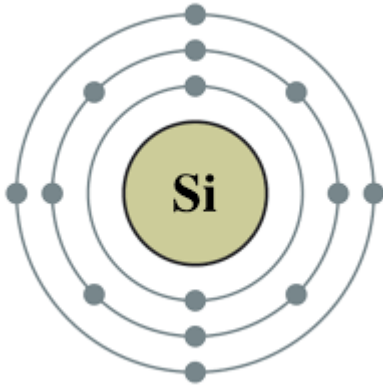


**Τα μακροθρεπτικά συστατικά είναι αυτά τα οποία είναι απαραίτητα για την ολοκλήρωση του κύκλου ζωής των φυτών. Υπάρχουν όμως, όπως όλοι γνωρίζουμε, και τα μικροθρεπτικά συστατικά τα οποία παρέχουν συγκεκριμένα οφέλη στις καλλιέργειες.**

Αυτά τα θρεπτικά συστατικά χρησιμοποιούνται σε πολύ μικρές ποσότητες (στο ένα στρέμμα αφαιρούνται κιλά από κάθε μακροθρεπτικό και ελάχιστα γραμμάρια από κάθε μικροθρεπτικό) από τα φυτά αλλά αυτό δεν σημαίνει πως δεν είναι απαραίτητα. Τις περισσότερες φορές, η έλλειψη μικροθρεπτικών συστατικών από τα φυτά προκαλεί σοβαρές ανωμαλίες στην ανάπτυξή τους.

Ένα από τα σχετικά άγνωστα μικροθρεπτικά είναι και το πυρίτιο (**Si**), για το οποίο δεν γνωρίζουμε και τόσο πολλά.

Το πυρίτιο είναι το δεύτερο πιο άφθονο στοιχείο του φλοιού της γης και βρίσκεται σε σημαντικές ποσότητες στο έδαφος.



## Ρόλος του πυριτίου

Το πυρίτιο φαίνεται να ωφελεί ορισμένα φυτά όταν βρίσκονται υπό συνθήκες καταπόνησης. Το πυρίτιο βοηθά στη:

- ▶ Βελτίωση της αντοχής των φυτών σε συνθήκες ξηρασίας
- ▶ Καθυστέρηση της μάρανσης υπό συγκεκριμένες συνθήκες
- ▶ Αύξηση της ικανότητας των φυτών να αντιστέκονται σε τοξικότητες άλλων στοιχείων
- ▶ Αύξηση της αντοχής των φυτικών στελεχών στο πλάγιασμα
- ▶ Αύξηση της ανθεκτικότητας των φυτών σε μυκητολογικές προσβολές (π.χ. φυτόφθορα και ωίδιο).

## Έλλειψη πυριτίου

Δεδομένου ότι το πυρίτιο δεν θεωρείται βασικό στοιχείο για την ανάπτυξη των φυτών, τα περισσότερα φυτά θα αναπτυχθούν κανονικά και χωρίς αυτό. Λίγα είναι τα φυτά που ελλείψει του στοιχείου αυτού παρουσιάζουν προβλήματα στην ανάπτυξη τους.

Τέτοια παραδείγματα αποτελούν οι τομάτες, οι οποίες μπορεί να παρουσιάσουν μη φυσιολογική ανάπτυξη ανθέων και ενδεχομένως παραγωγή καρπών με δυσμορφίες.

Παρόμοια προβλήματα μπορεί να προκληθούν και στην καλλιέργεια του αγγουριού και της φράουλας. Επίσης, η ανεπάρκεια του πυριτίου μπορεί να οδηγήσει σε τοξικότητα μαγγανίου, χαλκού ή και σιδήρου σε ορισμένα φυτά και κατάλληλες συνθήκες.

## Τοξικότητα πυριτίου

Αν και δε συμβαίνει συχνά, οι υπερβολικές ποσότητες πυριτίου μπορεί να ανταγωνίζονται την πρόσληψη άλλων θρεπτικών ουσιών.

## Το πυρίτιο του εδάφους

**Το πυρίτιο υπάρχει σε αφθονία στο φλοιό της γης. Στα εδάφη, αυτό διαχωρίζεται σε τρία διαφορετικά κλάσματα:**

- ▶ Στην υγρή φάση
- ▶ Στην απορροφούμενη φάση
- ▶ Στη στερεά φάση

Η υγρή φάση του πυριτίου αποτελείται από  $H_4SiO_4$  και από συμπλοκοποιημένο και πολυμερισμένο πυριτικό οξύ στο εδαφικό διάλυμα αλλά και από τη μη φορτισμένη μορφή του  $H_4SiO_4$  η οποία είναι και η μόνη που απορροφάται από τα φυτά και τους μικροοργανισμούς. Εν συνεχεία, το πυρίτιο εναποτίθεται εντός των φυτικών ιστών και αφού κάνουν τον κύκλο τους, αυτά τα πολυμερισμένα σώματα πυριτίου επιστρέφουν ξανά στο έδαφος από την οργανική ουσία και υπολείμματα μικροοργανισμών.



## Η απορρόφηση του πυριτίου από τα φυτά

Τα φυτά απορροφούν το πυρίτιο του εδάφους μόνο στη μορφή του  $H_4SiO_4$  και είναι οι πλευρικές ρίζες των φυτών που συμμετέχουν σε αυτήν τη διαδικασία.

Σημαντικό είναι να αναφερθεί πως υπάρχουν τρεις διαφορετικοί μηχανισμοί απορρόφησης του πυριτίου από τα φυτά και αυτοί είναι: ο ενεργητικός, ο παθητικός και ο απορριπτικός.

### ✓ Μηχανισμός ενεργητικής απορρόφησης:

Η ποσότητα πρόσληψης του πυριτίου με αυτόν τον τρόπο είναι μεγαλύτερη από την προβλεπόμενη και αποδίδεται στην πυκνότητα των μεταφορέων πυριτίου που υπάρχουν στις κυτταρικές μεμβράνες των ριζών οι οποίοι και διευκολύνουν τη διαδικασία της απορρόφησης. Ένα τέτοιο χαρακτηριστικό παράδειγμα φυτού είναι αυτό του ρυζιού.

### ✓ Μηχανισμός παθητικής απορρόφησης:

Η ποσότητα του πυριτίου που απορροφάται μέσω αυτού του μηχανισμού πραγματοποιείται πιθανόν εξ' ολοκλήρου μέσω της μαζικής ροής.

✓ **Μηχανισμός απόρριψης:** Σε αυτόν τον μηχανισμό, η συγκέντρωση του  $H_4SiO_4$  του εδαφικού διαλύματος συνήθως προκύπτει από τις χαμηλές συγκεντρώσεις του πυριτίου οι οποίες και απορροφώνται από τα φυτά.

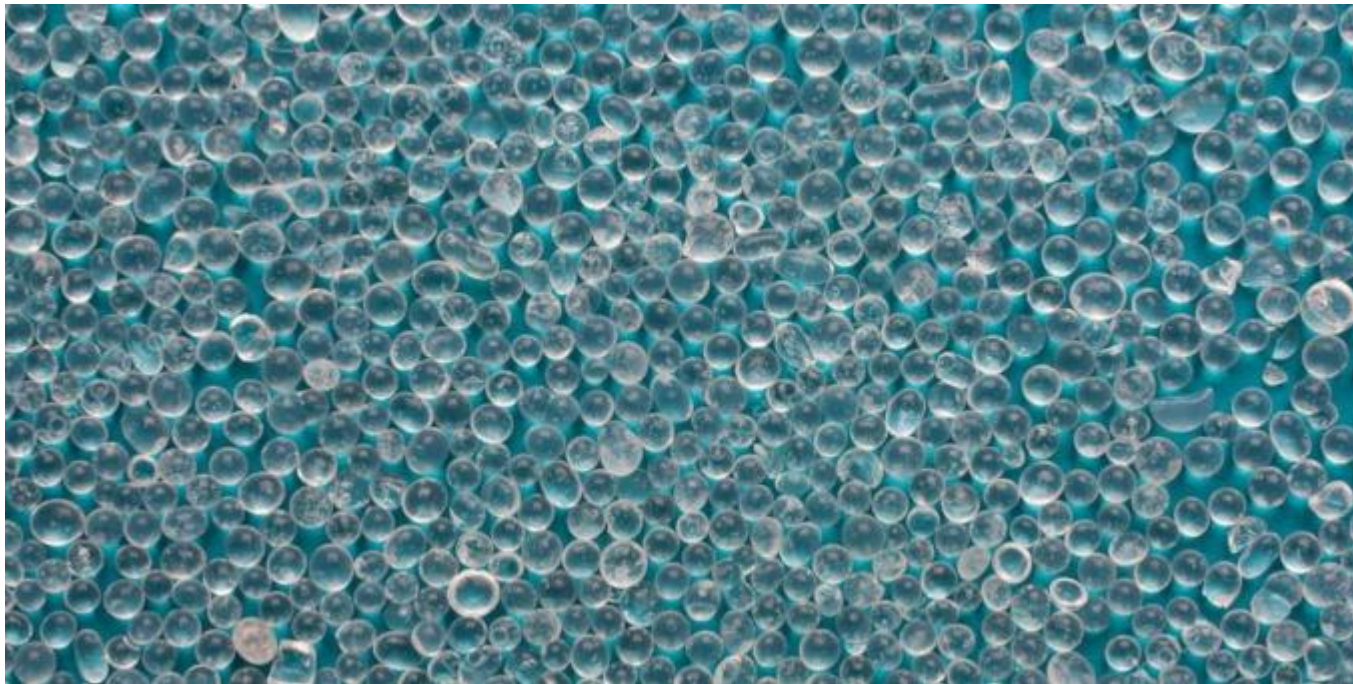
Βάσει των τριών παραπάνω μηχανισμών, τα φυτικά είδη έχουν ταξινομηθεί σε **υψηλούς, μεσαίους και μη συσσωρευτές** πυριτίου.

Στους **υψηλούς συσσωρευτές** ανήκουν φυτικά είδη που περιέχουν 1-10% πυρίτιο επί του ξηρού τους βάρους, π.χ. κριθάρι, ρύζι, σόργο. Αυτή η περίπτωση φυτών διαθέτει ένα αποτελεσματικό σύστημα πρόσληψης πυριτίου και γι' αυτό το λόγο οι ποσότητες πρόσληψης πυριτίου από το έδαφος υπερβαίνουν αυτές των βασικών θρεπτικών συστατικών. Για παράδειγμα, η πρόσληψη του N μπορεί να είναι η μεγαλύτερη ανάμεσα στα υπόλοιπα στοιχεία, αλλά η συσσώρευση του Si μπορεί να είναι η διπλάσια από την ποσότητα του N στο ρύζι.

Οι **μεσαίοι συσσωρευτές** είναι κατά κύριο λόγο τα αγρωστώδη, με περιεκτικότητες πυριτίου που κυμαίνονται από 0,5-1,5% επί του ξηρού τους βάρους.

Οι μη συσσωρευτές Si αποτελούνται από φυτά όπως τα δικότυλα, των οποίων η χαμηλή απορρόφηση αποδίδεται σε έλλειψη συγκεκριμένων μεταφορέων στις μεμβράνες των ριζικών κυττάρων, ώστε η απορρόφηση του πυριτίου ήταν μέσω του παθητικού μηχανισμού.

Από τη στιγμή που το Si απορροφηθεί από τα φυτά, αυτό εν συνεχεία μεταφέρεται μέσω των αγγείων και εναποτίθεται στα κυτταρικά τοιχώματα των κυττάρων στα σημεία διαπνοής.



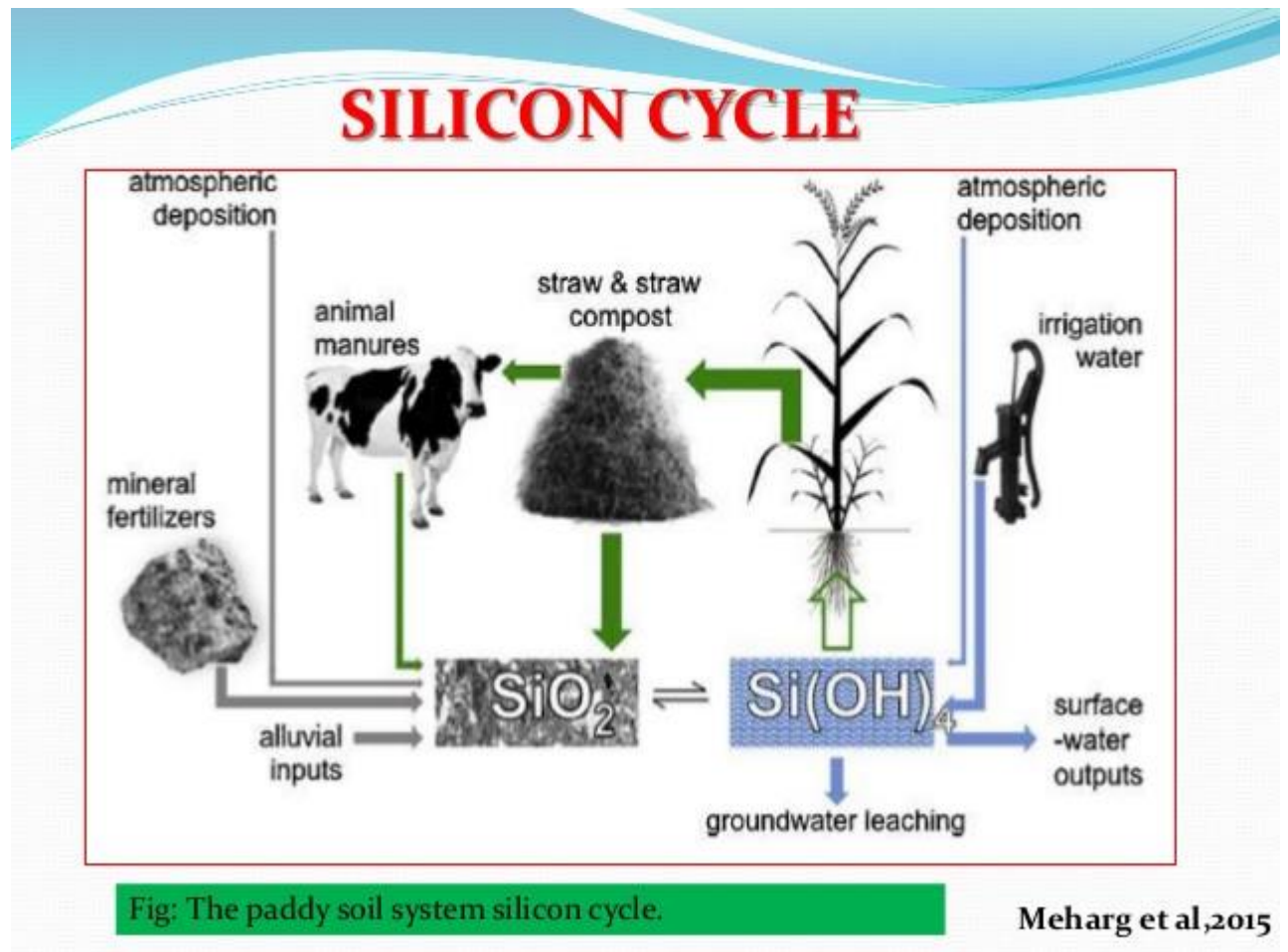
Σημαντικό είναι εδώ να αναφερθεί πως το ίζημα του  $\text{SiO}_2$  στα φυτά προκύπτει σε συγκεντρώσεις  $\text{H}_4\text{SiO}_4$  μεγαλύτερες από 2-3 mol και αρχικά δημιουργείται στην επιδερμίδα των βλαστών, στο αγγειακό σύστημα και στην ενδοδερμίδα των ριζών ορισμένων ειδών.

Το  $\text{SiO}_2$  είναι ένα ακίνητο υλικό και δεν μπορεί να μεταφερθεί στην περιοχή ενεργής ανάπτυξης των φυτών ή στους μεριστωματικούς ιστούς. Επομένως, η διαπνοή παραμένει η κύρια οδός μεταφοράς του Si στο φυτό, και η μεταφορά μέσω του ηθμού είναι μηδενική. Επίσης, όσο αναπτύσσονται τα φυτά, τόσο συσσωρεύουν Si. Τέλος, τα παλαιότερα φύλλα περιέχουν μεγαλύτερες συγκεντρώσεις πυριτίου σε σχέση με τα νεότερα.

## Πυρίτιο και αβιοτικό στρες

Η εφαρμογή του Si έχει αποδειχθεί ότι ανακουφίζει τις αρνητικές επιπτώσεις πολλών αβιοτικών καταπονήσεων, όπως η αλατότητα, η έλλειψη νερού, οι υψηλές ή χαμηλές θερμοκρασίες, τα βαρέα μέταλλα, αλλά και η μηχανική καταπόνηση. Βάσει ερευνών από τους Cooke και Leishman (2016) για το Si ως βοηθητικό στην ανακούφιση της καταπόνησης σημειώνεται ότι οι περισσότερες μελέτες έχουν επικεντρωθεί στην αντιμετώπιση ενός είδους καταπόνησης κάθε φορά και όχι πολλών μαζί.

Άλλοι πιθανοί μηχανισμοί μπορεί επίσης να περιλαμβάνουν οσμωτικές προσαρμογές μέσω αυξημένου δυναμικού ύδατος και περιεκτικότητας σε νερό, μείωση οξειδωτικού στρες και μεταβολές στις συγκεντρώσεις των φυτορμόνων. Σχετικά με το τελευταίο, η φυτορμονική οδός του αιθυλενίου αποδείχθηκε πρόσφατα ότι εμπλέκεται στη μείωση των αρνητικών αποτελεσμάτων από καταπονήσεις, όπως π.χ. της αλατότητας όπου το Si μειώνει την οξειδωτική βλάβη. Συγκεκριμένα, χωρίς το αιθυλένιο, το Si όχι μόνο απέτυχε να ενισχύσει την ανθεκτικότητα των φυτών στην καταπόνηση λόγω αλατότητας αλλά προκάλεσε αύξηση της οξειδωτικής βλάβης και κατέληξε σε κυτταρικό θάνατο.



## Πυρίτιο και βιοτικό στρες

Τα φυτά έρχονται αντιμέτωπα καθημερινά με φυτοπαθογόνους οργανισμούς (μύκητες, βακτήρια, έντομα).

Έχει αποδειχθεί πως η προσθήκη Si στα φυτά έχει αυξήσει την αντοχή τους σε επιθέσεις φυτοπαθογόνων οργανισμών.

### Πως όμως επιτυγχάνεται αυτό;

Τα φυτά αποκτούν την ανθεκτικότητά τους στα παράσιτα λόγω της φυσικής τους άμυνας η οποία και αποδίδεται στην εναπόθεση Si στους φυτικούς ιστούς με τη μορφή φυτολίθων. Οι φυτόλιθοι είναι μικροσκοπικά φυτικά κατάλοιπα αποτελούμενα από SiO<sub>2</sub> ή οξαλικό ασβέστιο στο κυτταρικό τοίχωμα. Η απόθεση των φυτολίθων αυξάνει την ακαμψία των φυτών και τη φυσική ανθεκτικότητα, δρώντας ως φυσικός φραγμός στη διείσδυση των παρασίτων.

Επίσης, η εναπόθεση του Si μπορεί να φθείρει τα στοματικά μόρια των εντόμων για παράδειγμα. Έχει παρατηρηθεί πως φυτά που δέχονται πολλές επιθέσεις από διάφορα παράσιτα, έχουν μεγαλύτερες ποσότητες συσσωρευμένου Si.

Άλλον έναν σημαντικό τομέα που επηρεάζει το Si είναι αυτό της επαγωγής παραγωγής μεταβολιτών συσχετιζόμενων με την άμυνα του φυτού, καθώς και αλληλεπιδράσεις μεταξύ των μονοπατιών μεταγωγής σημάτων άμυνας.

## Διαφυλλικοί ψεκασμοί Si

Οι διαφυλλικοί ψεκασμοί Si είναι γενικά πρόσφατοι. Αρχικά χρησιμοποιήθηκαν πυριτικά άλατα και αργότερα πυριτικά οξέα καθώς και νανοσωματίδια Si.

Τα πυριτικά άλατα είναι αποτελεσματικά κατά την εφαρμογή τους ως παρασιτοκτόνα και τα πυριτικά οξέα εφαρμόζονται για τη βελτίωση της ανάπτυξης των φυτών. Τα νανοσωματίδια Si ενισχύουν την αντοχή των φυτών στα διάφορα είδη βιοτικής καταπόνησης.

## Πειραματικά δεδομένα

Αποτελέσματα εφαρμογής πυριτικού σκευάσματος σε διάφορες καλλιέργειες.

Καλλιέργεια	Απόδοση	Παρατηρήσεις
Πιπεριές τσίλι	+39%	Μειωμένες προσβολές
Τομάτα	+31%	Αυξημένες τιμές brix
Μελιτζάνα	+44%	Μεγαλύτερη σταθερότητα
Αραβόσιτος γλυκός	+34%	Μειωμένες προσβολές
Καρπούζι	+38%	Μειωμένες προσβολές
Σιτάρι	+340%	Σε συνθήκες με υψηλή εδαφική αλατότητα
Σιτάρι	+19%	Αυξημένα ποσοστά περιεχόμενης πρωτεΐνης

Αναφερόμενοι στις τρεις διαφορετικές μορφές πυριτικών σκευασμάτων που χρησιμοποιούνται σήμερα, θα μπορούσαμε να συνοψίσουμε σε έναν πίνακα τη χρησιμότητα του καθενός:

Αποτελέσματα	Πυριτικά άλατα	Σταθεροποιημένα πυριτικά οξέα	Νανοδομημένα SiO <sub>2</sub>
<b>Προσβολές (Βιοτικό στρες)</b>	+ / ++	+ / ++	+
<b>Αβιοτικό στρες</b>	-	++	ND
<b>Ριζική ανάπτυξη</b>	-	+ / ++	-
<b>Φυτική ανάπτυξη</b>	-	+ / ++	+
<b>Μέγεθος φύλλων</b>	-	++	+
<b>Απόδοση</b>	-	+ / ++	+



<b>Ποιότητα παραγόμενου προϊόντος</b>	-	+ / ++	+
---------------------------------------	---	--------	---

- κανένα αποτέλεσμα

+ θετικό αποτέλεσμα

++ καλό αποτέλεσμα

ND καθόλου στοιχεία

---

## Βιβλιογραφία

Liang, Y., Nikolic, M., Bélanger, R., Gong, H., & Song, A. (2015). *Silicon in agriculture: From theory to practice*. Springer.

Tubaña, B. S., & Heckman, J. R. (2015). Silicon in soils and plants. In *Silicon and plant diseases* (pp. 7-51). Springer, Cham.

Rafi, M. M., & Epstein, E. (1999). Silicon absorption by wheat (*Triticum aestivum* L.). *Plant and Soil*, 211(2), 223-230.

Laane, H. M. (2018). The Effects of Foliar Sprays with Different Silicon Compounds. *Plants*, 7(2), 45.

Epstein, E. (2001). Silicon in plants: facts vs. concepts. In *Studies in Plant Science* (Vol. 8, pp. 1-15). Elsevier.