

## Επίδραση σεληνίου στην υδατική οικονομία του *Melilotus officinalis* (L.)

Π. Κωστοπούλου, Ζ. Κούκουρα και Β. Νοϊτσάκης

Αριστοτέλειο Πανεπιστήμιο Θεσσαλονίκης, Τμήμα Δασολογίας και Φυσικού Περιβάλλοντος,  
Εργαστήριο Δασικών Βοσκοτόπων (236),  
541 24 Θεσσαλονίκη

### Περίληψη

Ο συνδυασμός της συνεχώς αυξανόμενης ρύπανσης των εδαφών με τοξικά μέταλλα και της εμφάνισης φαινομένων ξηρασίας υπαγόρευσε ως σκοπό έρευνας τη μελέτη της συνεπίδρασης σεληνίου (υπό μορφή διαλύματος  $\text{Na}_2\text{SeO}_4$ ) και υδατικής καταπόνησης στις υδατικές σχέσεις του είδους *Melilotus officinalis* (L.). Για το σκοπό αυτό χρησιμοποιήθηκαν τρεις συγκεντρώσεις σεληνίου (0, 1 και 3 mg Se/l) και δύο επίπεδα ποτίσματος (κανονικό πότισμα: WW και υδατική καταπόνηση: WS). Εκτός των μικροκλιματικών παραμέτρων μετρήθηκε το υδατικό δυναμικό, το σχετικό υδατικό περιεχόμενο και η στοματική αγωγιμότητα των φύλλων. Από τα αποτελέσματα προέκυψε ότι το σελήνιο επιδρά στις υδατικές σχέσεις του *Melilotus officinalis* επηρεάζοντας ελαφρώς το υδατικό δυναμικό και το σχετικό υδατικό περιεχόμενο ενώ προκαλεί σημαντική μείωση της στοματικής αγωγιμότητας, η οποία αποκτά αρκετά χαμηλές τιμές στην υψηλότερη συγκέντρωση σεληνίου.

**Λέξεις κλειδιά:** Σελήνιο, υδατικές σχέσεις.

### Εισαγωγή

Η αύξηση της θερμοκρασίας αναμένεται να οδηγήσει τα επόμενα χρόνια σε αύξηση του φαινομένου της ξηρασίας σε ολόένα και μεγαλύτερες εκτάσεις (Νοϊτσάκης 1996). Ο ρυθμός ανάπτυξης των φυτών κυρίως στη Μεσογειακή περιοχή σχετίζεται άμεσα με τη διαθεσιμότητα του νερού στο έδαφος (Patakas et al. 2002), καθώς το υδατικό έλλειμμα μεταβάλλει μία σειρά βιοχημικών και φυσιολογικών διαδικασιών από τη φωτοσύνθεση έως την πρωτεϊνοσύνθεση (Bonnet et al. 2000, Mohr and Schopfer 1995).

Πέρα από τη ξηρασία η ρύπανση της βιόσφαιρας με τοξικά μέταλλα αποτελεί σήμερα έναν από τους σημαντικότερους περιβαλλοντικούς κινδύνους ο οποίος μεγεθύνεται από το γεγονός ότι τα μέταλλα δε βιοαποικοδομούνται, αλλά συσσωρεύονται στο περιβάλλον, καταλήγοντας μέσω της τροφικής αλυσίδας στον άνθρωπο (Κουϊμτζής και συν. 1998).

Ιδιαίτερο ενδιαφέρον από πλευράς ρύπανσης του περιβάλλοντος παρουσιάζει το στοιχείο σελήνιο (Se) και ένα κοινό λιβαδικό φυτό χρησιμοποιούμενο ευρέως για αποκαταστάσεις διαταραγμένων εδαφών (Smith and Gorz 1965). Η κατανομή του Se στην επιφάνεια της γης είναι ανομοιόμορφη, με αποτέλεσμα την ύπαρξη περιοχών με πολύ χαμηλά ή πολύ υψηλά επίπεδα στο περιβάλλον (W.H.O. 1978). Οι κύριες πηγές Se περιλαμβάνουν την αποσάθρωση των πετρωμάτων (Läuchli 1993), τη χρήση ορυκτών καυσίμων, τη μετάλλευση Cu, Ag, Au, Ni, Pb, Zn, μπετονίτη και ουρανίου (Alloway 1995), αλλά και ορισμένες βιομηχανικές διαδικασίες, όπως π.χ. την παραγωγή γυαλιού και ηλεκτρονικών εξαρτημάτων (W.H.O. 1978).

Μέχρι σήμερα το Se δε θεωρείται απαραίτητο στοιχείο για τη φυσιολογική ανάπτυξη των φυτών (Mayland et al. 1989), παρ'όλα αυτά προσλαμβάνεται σε μεγαλύτερη ή μικρότερη

ποσότητα από όλα τα φυτικά είδη, αφομοιώνεται μέσω του μεταβολικού δρόμου του θείου και ενσωματώνεται στις πρωτεΐνες (Wu et al. 1997). Τα φυτά ανάλογα με την ικανότητά τους να συσσωρεύουν σελήνιο διακρίνονται σε: α) *φυτά-δείκτες ή πρωτεύοντες συσσωρευτές Se*, οι οποίοι συσσωρεύουν μερικές χιλιάδες  $\mu\text{g Se}/\text{γρ}$ . ξ. β. χωρίς αναστολή της αύξησης, β) *δευτερεύοντες συσσωρευτές Se*, οι οποίοι συσσωρεύουν μέχρι 1000  $\mu\text{g Se}/\text{γρ}$ . ξ. β. και γ) *μη συσσωρευτές*, οι οποίοι δε μπορούν να προσλάβουν περισσότερο από 25 έως 50  $\mu\text{g Se}/\text{γρ}$ . ξ. β. χωρίς αναστολή της αύξησής τους (Enberg and Wu 1995).

Σκοπός της παρούσας εργασίας ήταν η μελέτη της συνεπίδρασης σεληνίου και ξηρασίας στις υδατικές σχέσεις του είδους *Melilotus officinalis* (L.).

## Μέθοδοι και υλικά

### Φυτικό υλικό

Σπόροι του είδους *M. officinalis* (L.) σπάρθηκαν σε γλάστρες χωρητικότητας 25 χιλ. σε ποσότητα 7,2 γρ. κατά μ.ο. ανά γλάστρα. Οι γλάστρες εγκαταστάθηκαν στο Λιβαδοπονικό Κήπο του Εργαστηρίου Δασικών Βοσκοτόπων του Α.Π.Θ. στην περιοχή Αεροδρομίου Θεσσαλονίκης. Μετά την ανάπτυξη των φυταρίων οι γλάστρες μεταφέρθηκαν κάτω από στέγαστρο. Αυτό απέτρεπε την πτώση των ομβρίων υδάτων επί του φυτοκαλύμματος διατηρώντας τους υπόλοιπους κλιματικούς παράγοντες αμετάβλητους.

### Υδατική και τοξική καταπόνηση

Οι παράγοντες που μελετήθηκαν ήταν η υδατική καταπόνηση και η συγκέντρωση του σεληνίου. Για το σκοπό αυτό χρησιμοποιήθηκε σύστημα άρδευσης κατά το οποίο οι γλάστρες χωρίστηκαν σε δύο ομάδες: α) οι μισές ποτίζονταν μέχρι του σημείου της αγραϊκανότητας και συμβολίζονται με WW και β) οι υπόλοιπες δέχονταν τη μισή ποσότητα νερού από τις πρώτες και συμβολίζονται με WS. Ο καθορισμός της υδατικής διαίτας έγινε με τη χρήση τασιομέτρων τα οποία τοποθετήθηκαν στις γλάστρες που ποτίζονταν επαρκώς. Για την πρόκληση της τοξικής καταπόνησης ετοιμάστηκαν τρία υδατικά διαλύματα στα οποία προστέθηκε σελήνιο με τη μορφή  $\text{Na}_2\text{SeO}_4$  (sodium selenate), έτσι ώστε η τελική συγκέντρωση του Se να είναι 0, 1 και 3  $\text{mg Se}/\text{l H}_2\text{O}$  αντίστοιχα σε κάθε διάλυμα. Σε κάθε ένταση ποτίσματος οι γλάστρες χωρίστηκαν σε τρεις ίσες ομάδες-χειρισμούς: α) καθόλου σελήνιο – κανονικό πότισμα (0-WW), β) καθόλου σελήνιο – 50% μειωμένο πότισμα (0-WS), γ) 1  $\text{mg}/\text{l Se}$  – κανονικό πότισμα (1-WW), δ) 1  $\text{mg}/\text{l Se}$  – 50% μειωμένο πότισμα (1-WS), ε) 3  $\text{mg}/\text{l Se}$  – κανονικό πότισμα (3-WW) και στ) 3  $\text{mg}/\text{l Se}$  – 50% μειωμένο πότισμα (3-WS). Ο κάθε χειρισμός αποτελούνταν από δέκα γλάστρες, η διάταξη των οποίων στο χώρο έγινε με πλήρως τυχαίοποιημένο τρόπο.

### Μικροκλιματικές παράμετροι

Με τη χρήση μικροκλιματικού αισθητήρα μετρήθηκαν εντός του φυτοκαλύμματος η σχετική υγρασία της ατμόσφαιρας RH (%), η θερμοκρασία του περιβάλλοντος T ( $^{\circ}\text{C}$ ), η θερμοκρασία υγροποίησης  $T_d$  ( $^{\circ}\text{C}$ ), η θερμοκρασία υγρού θερμομέτρου  $T_w$  ( $^{\circ}\text{C}$ ) και η ειδική ενθαλπία H ( $\text{KJ}/\text{γρ}$ ). Επίσης, με τη βοήθεια φωτοδιοδικού αισθητήρα Quantum QS2 (περιοχή 400-700 nm) μετρήθηκε η φωτοσυνθετικά ενεργός ηλιακή ακτινοβολία PAR ( $\mu\text{mol s}^{-1}\text{m}^{-2}$ ).

Από τις πρώτες τέσσερις μικροκλιματικές παραμέτρους και με τη βοήθεια πινάκων υπολογίστηκε το υδατικό έλλειμμα της ατμόσφαιρας (V.P.D.) σύμφωνα με τον τύπο:

$$\text{V.P.D.} = e_s(T_w) - \gamma \cdot (T - T_w)$$

όπου  $e_s(T_w)$ : η τάση των υδρατμών σε θερμοκρασία  $T_w$  (mbar) και

γ: η ψυχομετρική σταθερά με αριθμητική τιμή 0,63 mbar/°C (Landsberg 1986, Yoon and Richter 1990).

### Μετρήσεις υδατικής κατάστασης

Προκειμένου να ελεγχθεί η εγκατάσταση του υδατικού στρες στους φυλλικούς ιστούς του *M. officinalis* μετρήθηκε το υδατικό δυναμικό των φύλλων ( $\Psi$ ) των έξι χειρισμών κατά τη διάρκεια της ξηρασίας, με τη χρήση θαλάμου πίεσης (Dale and Sutcliffe 1986, Koide et al. 1991).

Το σχετικό υδατικό περιεχόμενο (RWC) προσδιορίστηκε σε φύλλα τα οποία ζυγίστηκαν σε αναλυτικό μικρομετρικό ζυγό αμέσως μετά την κοπή τους ( $W_{act}$ ). Στη συνέχεια τα φύλλα τοποθετήθηκαν μέσα σε νερό για 8 ώρες στο σκοτάδι και σε θερμοκρασία 4-6 °C. Ακολούθησε η ζύγιση των φύλλων ( $W_{sat}$ ) και η τοποθέτησή τους σε φούρνο στους 80 °C για 24 ώρες και η εκ νέου ζύγιση τους ( $W_{dr}$ ). Το σχετικό υδατικό περιεχόμενο (RWC) υπολογίστηκε με βάση τον τύπο (Koide et al. 1991):

$$RWC(\%) = \frac{W_{act} - W_{dr}}{W_{sat} - W_{dr}} \times 100$$

Τέλος, μετρήθηκε η στοματική αγωγιμότητα των φύλλων του σε κάθε χειρισμό με τη χρήση πορομέτρου διάχυσης τύπου “null-balance”. Η αγωγιμότητα στην απώλεια υδρατμών ( $g_w$ ) εκφράζεται ως η αναλογία μεταξύ του ρυθμού διαπνοής  $E$  ( $\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ ) και της διαφοράς των υδρατμών μεταξύ των μεσοκυττάρων χώρων στα φύλλα και της ατμόσφαιρας  $\Delta W$  ( $\text{mol mol}^{-1}$ ) (Percy et al. 1991):

$$g_w = \frac{E}{\Delta W} \quad (\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1})$$

### Συγκέντρωση σεληνίου

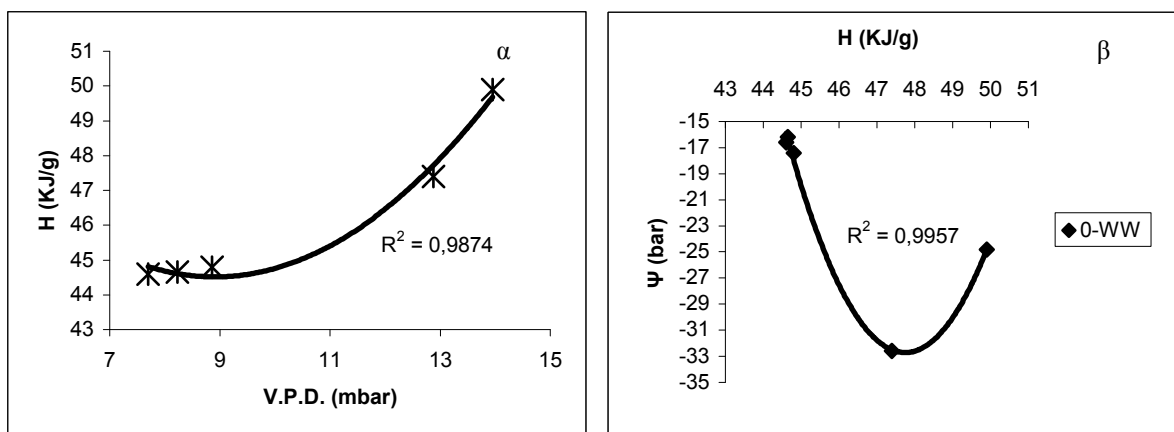
Για τον προσδιορισμό του σεληνίου στους ιστούς του *M. officinalis* συλλέχθηκαν στο τέλος του πειράματος 100 περίπου φυτά ανά χειρισμό και στη συνέχεια το φυτικό υλικό αποξηράνθηκε στους 60 °C για 48 ώρες. Ακολούθησε κονιοροποίηση του υλικού με χρήση μύλου και κόσκινου ανοίγματος 1 χλσ. Το σελήνιο προσδιορίστηκε χρωματομετρικά με τη μέθοδο των Holtzclaw et al. (1987) μετά από υγρή καύση με  $\text{HNO}_3\text{-HClO}_4$ .

### Στατιστική ανάλυση

Το πειραματικό σχέδιο που εφαρμόστηκε ήταν διπαραγοντικό, με πρώτο παράγοντα τη ξηρασία σε δύο επίπεδα και δεύτερο παράγοντα τη ρύπανση με σελήνιο σε τρία επίπεδα. Η στατιστική επεξεργασία των δεδομένων έγινε με ανάλυση της διακύμανσης (Univariate Analysis of Variance) και επίπεδο σημαντικότητας 95% με τη βοήθεια του στατιστικού πακέτου SPSS 11 for Windows. Στις περιπτώσεις στις οποίες εντοπίστηκαν διαφορές μεταξύ των μέσων όρων των χειρισμών χρησιμοποιήθηκε το κριτήριο της Ελάχιστης Σημαντικής Διαφοράς (LSD) για τον έλεγχο των διαφορών.

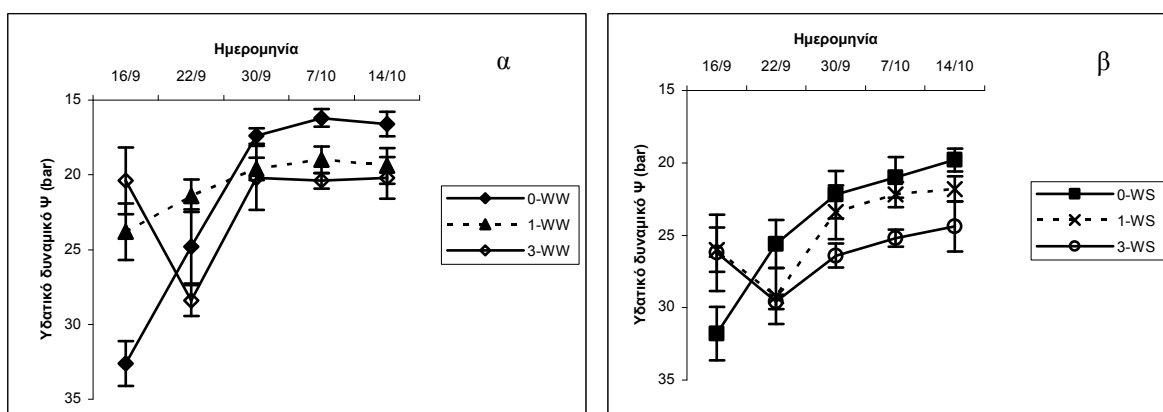
### Αποτελέσματα και συζήτηση

Το μικροπεριβάλλον της περιοχής του φυτοκαλύμματος είναι γνωστό ότι παίζει ιδιαίτερο ρόλο στη διαμόρφωση του υδατικού ισοζυγίου των φυτών, έχοντας ως καθοριστικούς παράγοντες το υδατικό έλλειμμα της ατμόσφαιρας (V.P.D.) και την ενθαλπία του συστήματος  $H$  (Kramer 1983).



Εικόνα 1α,β. Μεταβολή της ειδικής ενθαλπίας του συστήματος συναρτήσει του υδατικού ελλείμματος της ατμόσφαιρας (α) και του υδατικού δυναμικού (β).

Η μεταβολή του V.P.D., η οποία συνεπάγεται αύξηση ή μείωση της ξηρασίας, προφανώς θα αναμενόταν να επάγει και ανάλογη μεταβολή της ενθαλπίας του συστήματος. Όντως, όσο αυξάνεται το V.P.D. μετά από τον ουδό των 11 mbar η ενθαλπία του συστήματος (φυτοκαλύμματος) αυξάνεται λογαριθμικά (Εικόνα 1α). Μια τέτοια μεταβολή προκαλεί και την αντίστοιχη μείωση του Ψ (Εικόνα 1β). Αρχικά, παρατηρείται μεν μείωση του υδατικού δυναμικού συναρτήσει της αύξησης της ενθαλπίας, έως της τιμής των 48 KJ/γρ. πέραν της οποίας όμως το Ψ αυξάνεται. Από τα παραπάνω δεδομένα προκύπτει ότι το υδατικό δυναμικό ως μεταβλητή εξαρτάται από την ενθαλπία του συστήματος, εντός ορισμένων ορίων πέραν των οποίων φαίνεται η ενθαλπία να αναστρέφει τη δράση της στη συμμεταβολή, εμπλεκόμενων και άλλων παραγόντων (οσμωτικό δυναμικό, συντελεστής ελαστικότητας κυτταρικών τοιχωμάτων) (Morgan 1984, Bowman and Roberts 1985, Patakas and Noitsakis 1999, Patakas et al. 2002).



Εικόνα 2α,β. Εποχιακή μεταβολή του υδατικού δυναμικού στα κανονικά ποτισμένα (α) και τα υδατικός καταπονημένα φυτά (β).

Πίνακας 1. Η επίδραση του εφαρμοζόμενου υδατικού καθεστώτος και των διαφορετικών επιπέδων ρύπανσης με σεληνίο στο υδατικό δυναμικό του φύλλου.

	Συγκέντρωση Σεληνίου (mg/l)		
	0	1	3
WW	21,52±1,42 α*	20,64±0,62 α	21,92±0,93 α
WS	24,08±1,08 β	24,52±0,83 β	26,36±0,71 β

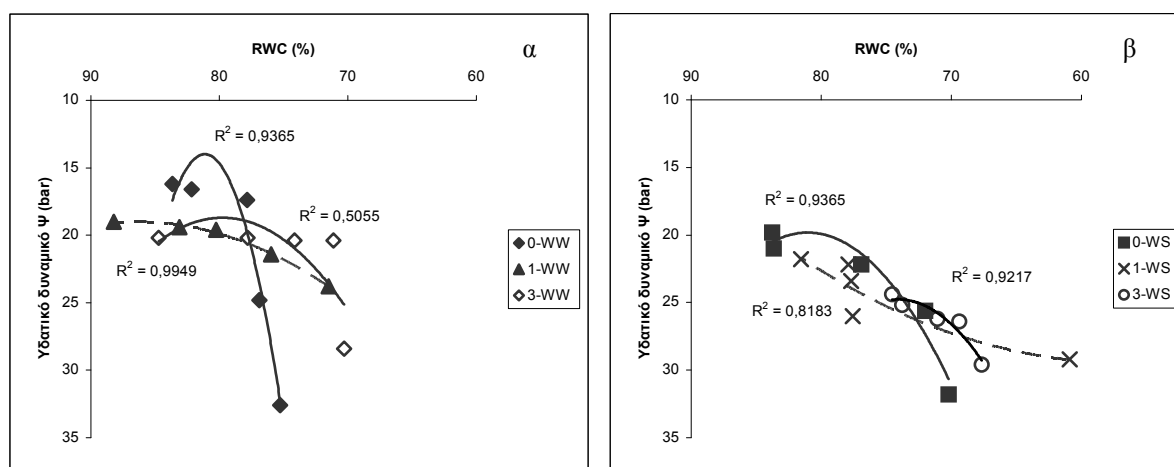
\*Τα δεδομένα παρουσιάζονται ως μ.ο. ± τυπικό σφάλμα (n = 25). Τα διαφορετικά γράμματα στην ίδια στήλη ή γραμμή δείχνουν σημαντικές διαφορές μεταξύ των μέσων όρων των χειρισμών (P=0,05).

Πίνακας 2. Η επίδραση του χρόνου και των διαφορετικών επιπέδων ρύπανσης με σελήνιο στο υδατικό δυναμικό του φύλλου.

Ημ/νία	Συγκέντρωση Σεληνίου (mg/l)		
	0	1	3
16/9	32,2±1,13 Αα*	24,9±1,20 Αβ	23,3±1,89 Αβ
22/9	25,2±1,41 Βα	25,3±1,67 Αα	29,0±0,58 Βα
30/9	19,8±1,14 Γα	21,5±1,14 ΑΒα	23,3±1,49 Αα
7/10	18,6±1,08 Γα	20,6±0,79 Βαβ	22,8±0,88 Αβ
14/10	18,2±0,76 Γα	20,6±0,81 Βαβ	22,3±1,26 Αβ

\*Τα δεδομένα παρουσιάζονται ως μ.ο. ± τυπικό σφάλμα (n = 10). Τα διαφορετικά κεφαλαία γράμματα δείχνουν σημαντικές διαφορές των μέσων όρων ανά στήλη, ενώ τα διαφορετικά πεζά γράμματα διαφορές ανά γραμμή (P=0,05).

Από τη στατιστική ανάλυση των δεδομένων προκύπτει ότι η προσθήκη σεληνίου δεν επηρεάζει στατιστικώς σημαντικά το υδατικό δυναμικό του φυλλικού ιστού, ενώ αντίθετα το εφαρμοζόμενο υδατικό καθεστώς φαίνεται πως παίζει σημαντικότερο ρόλο στη διαμόρφωση του Ψ (Πίνακας 1). Από την εποχιακή μεταβολή του υδατικού δυναμικού (Εικόνα 2α,β) άξιο προσοχής είναι το γεγονός ότι τόσο τα φυτά των χειρισμών 1-WW και 3-WW όσο και τα φυτά των χειρισμών 1-WS και 3-WS αρχικά παρουσιάζουν μεγαλύτερες τιμές Ψ από τα 0-WW και 0-WS αντίστοιχα, κάτω όμως από την αλληλεπίδραση Se και χρόνου οι τιμές τους γίνονται τελικά στατιστικώς σημαντικά μικρότερες (Πίνακας 2). Η μικρή μείωση του υδατικού δυναμικού στους χειρισμούς με προσθήκη Se μπορεί να οφείλεται στην επίδραση του στοιχείου αυτού στον αριθμό και το μέγεθος των δομικών στοιχείων ή/και στην απόφραξη του αγωγού ιστού, όπως έχει παρατηρηθεί για το κάδμιο (Barcelò et al. 1988).



Εικόνα 3α,β. Μεταβολή του υδατικού δυναμικού συναρτήσει του RWC στα κανονικά ποτισμένα (α) και τα υδατικώς καταπονημένα φυτά (β).

Για την πληρέστερη κατανόηση του μηχανισμού απόκρισης των φυτών στην προσθήκη του σεληνίου κρίνεται απαραίτητη η ανάλυση της συμμεταβολής υδατικού δυναμικού και σχετικού υδατικού περιεχομένου (Εικόνα 3α,β). Έτσι, η προσθήκη Se και στους δύο χειρισμούς υδατικής διαίτας έχει ως αποτέλεσμα σχετικά μεγάλες μεταβολές του RWC να επάγουν σχετικά μικρές μεταβολές του Ψ. Επομένως, φυτά χωρίς Se μειώνουν ταχύτερα το Ψ εν συγκρίσει με το RWC. Στους χειρισμούς WS με προσθήκη Se η μείωση του Ψ συνοδεύεται από ανάλογη μείωση του RWC και συνεπώς το Se θα μπορούσε να θεωρηθεί εν μέρει υπεύθυνο για τη δυσμενέστερη υδατική κατάσταση του φυλλικού ιστού στα WS.

Η επίδραση του Se στις υδατικές σχέσεις δεν έχει ερευνηθεί ιδιαίτερα μέχρι σήμερα, εντούτοις παρόμοιες μελέτες με άλλα μέταλλα φανερώνουν την ύπαρξη αρνητικής επίδρασης

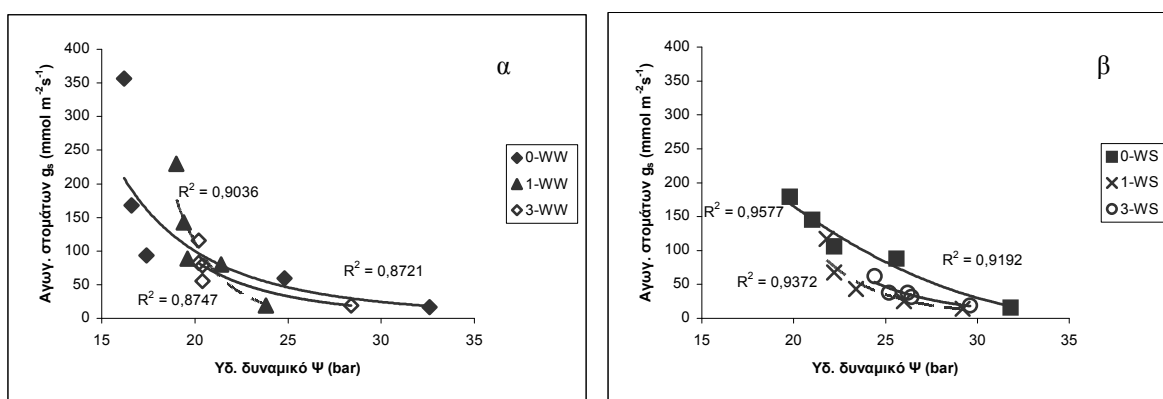
της συγκέντρωσης των μετάλλων επί του RWC στους φυτικούς ιστούς. Έτσι, η προσθήκη Cd βρέθηκε ότι προκαλεί ελάττωση του RWC στα είδη *Phaseolus vulgaris* (Poschenrieder et al. 1989, Barcelò et al. 1986) και *Picea abies*. Η μείωση του υδατικού περιεχομένου στους χειρισμούς με προσθήκη Se είναι πιθανό να οφείλεται στην απόφραξη του αγωγού ιστού από τη δράση των μετάλλων, στη μείωση του λόγου ρίζας/βλαστού που συνεπάγεται τη μείωση της προμήθειας νερού προς τα φύλλα (Schlegel et al. 1987), στη δράση του Se στο μήκος ή στην πυκνότητα των ριζών (Subbarao et al. 2000) ή στην έμμεση δράση του στις ελαστικές ιδιότητες των κυτταρικών τοιχωμάτων (Barcelò et al. 1986).

Πίνακας 3. Η επίδραση του εφαρμοζόμενου υδατικού καθεστώτος και των διαφορετικών επιπέδων ρύπανσης με σελήνιο στη στοματική αγωγιμότητα ( $g_s$ ).

Υδατική δίαιτα	Συγκέντρωση Σεληνίου (mg/l)		
	0	1	3
WW	138,678±29,01 α*	112,145±15,98 αβ	70,121±8,59 β
WS	106,871±12,39 α	53,438±8,18 αβ	37,490±4,76 β

\*Τα δεδομένα παρουσιάζονται ως μ.ο. ± τυπικό σφάλμα (n = 25). Τα διαφορετικά γράμματα στην ίδια στήλη ή γραμμή δείχνουν σημαντικές διαφορές μεταξύ των χειρισμών (P=0,05).

Τα φυτά στα οποία έχει προστεθεί Se δε διέπονται από ευνοϊκό υδατικό καθεστώς, συνεπώς θα ήταν αναμενόμενο να μειώνουν την αγωγιμότητα των στομάτων τους προκειμένου να προληφθούν οι απώλειες νερού μέσω της διαπνοής και να αντεπεξέλθουν στο μικρότερο υδατικό περιεχόμενο των ιστών τους.



Εικόνα 4α,β. Μεταβολή της στοματικής αγωγιμότητας συναρτήσει του υδατικού δυναμικού στα κανονικά ποτισμένα (α) και τα υδατικώς καταπονημένα φυτά (β).

Πράγματι, η προσθήκη Se επάγει μείωση της στοματικής αγωγιμότητας, η οποία αποκτά αρκετά χαμηλές τιμές, ανεξάρτητα από το υδατικό καθεστώς που έχει εφαρμοστεί (Πίνακας 3). Πιο συγκεκριμένα, οι χειρισμοί WS με προσθήκη Se αποκτούν εξαιρετικό ενδιαφέρον στη μεταβολή της  $g_s=f(\Psi)$  καθώς για την ίδια τιμή του  $\Psi$  τα φυτά των χειρισμών 1-WS και 3-WS φαίνεται να έχουν μικρότερη τιμή  $g_s$  σε σχέση με αυτή του χειρισμού 0-WS. Η προσθήκη Se φαίνεται να συμβάλλει στη μείωση της  $g_s$  προκαλώντας αντίστοιχη μείωση του ανοίγματος της στοματικής συσκευής (Εικόνα 4α,β). Η αντίδραση των στομάτων σε χαμηλές τιμές  $\Psi$  είναι εξέχουσας σημασίας καθώς επηρεάζει τη στρατηγική επιβίωσης και την παραγωγή βιομάζας (Yoon and Richter 1990, Λαζαρίδου και Νοϊτσάκης 2002). Το Se ίσως επηρεάζει την ελαστικότητα των κυτταρικών τοιχωμάτων, ελαττώνοντας τη σπαργή και αυξάνοντας τα επίπεδα του αποσκιζικού οξέος (ABA), με συνέπεια το κλείσιμο των στομάτων (Poschenrieder et al. 1989) ή μπορεί να επηρεάζει την παραγωγή των κυτοκινινών με αποτέλεσμα να επηρεάζεται έμμεσα το υδατικό δυναμικό, η διαπνοή και η στοματική

αγωγιμότητα (Kirkham 1978). Τέλος, η αρνητική δράση επί της στοματικής αγωγιμότητας μπορεί να οφείλεται στη μειωμένη διαθεσιμότητα νερού στα φύλλα μέσω τοξικής δράσης σε ρίζες και βλαστούς (Chardonnens et al. 1999).

## Βιβλιογραφία

- Alloway, B.J. 1995. Heavy Metals in Soils. Second Edition. Blackie Academic and Professional, London, pp. 367.
- Barceló, J., M.D. Vázquez and C. Poschenrieder. 1988. Cadmium-induced structural and ultrastructural changes in the vascular system of bush bean stems. *Botanica Acta*, 101: 254-261.
- Barceló, J., C. Poschenrieder, J. Andreu and B. Günsé. 1986. Cadmium-induced decrease of water stress resistance in bush bean plants (*Phaseolus vulgaris* L. cv. Contender). I. Effects of Cd on water potential, relative water content, and cell wall elasticity. *Journal of Plant Physiology*, 125: 17-25.
- Bonnet, M., O. Camares and P. Veisseire. 2000. Effects of zinc and influence of *Acremonium lolii* on growth parameters, chlorophyll a fluorescence and antioxidant enzyme activities of ryegrass (*Lolium perenne* L. cv Apollo). *Journal of Experimental Botany*, 51 (346): 945-953.
- Bowman, W.D. and S.W. Roberts. 1985. Seasonal changes in tissue elasticity in chaparral shrubs. *Physiologia Plantarum*, 65: 233-236.
- Chardonnens, A.N., W.M. Ten Bookum, S. Vellinga, H. Schat, J.A.C. Verkleij and W.H.O. Ernst. 1999. Allocation patterns of zinc and cadmium in heavy metal tolerant and sensitive *Silene vulgaris*. *Journal of Plant Physiology*, 155: 778-787.
- Dale, J.E. and J.F. Sutcliffe. 1986. Water relations of plant cells. In: *Plant Physiology*. Steward F. C. (Ed.). Volume IX. Academic Press, Orlando, pp. 1-43.
- Enberg, A. and L. Wu. 1995. Selenium assimilation and differential response to elevated sulfate and chloride salt concentrations in two saltgrass ecotypes. *Ecotoxicology and Environmental Safety*, 32: 171-178.
- Holtzclaw, K.M., R.H. Neal, G. Sposito and S.J. Traina. 1987. A sensitive colorimetric method for the quantitation of selenite in soil solutions and natural waters. *Soil Science Society American Journal*, 51: 75-78.
- Κουϊμτζής, Θ., Κ. Φυτιάνος και Κ. Σαμαρά-Κωνσταντίνου. 1998. Χημεία Περιβάλλοντος. University Studio Press, Θεσσαλονίκη, σελ. 376.
- Kirkham, M.B. 1978. Water relations of cadmium-treated plants. *Journal of Environmental Quality*, 7: 334-336.
- Koide, R.T., R.H. Robichaux, S.R. Morse and C.M. Smith. 1991. Plant water status, hydraulic resistance and capacitance. In: *Plant Physiological Ecology. Field Methods and Instrumentation*. Percy R.W., Ehleringer J., Mooney H.A. and Rundel P.W. (Eds). Chapman and Hall, London, pp. 161-183.
- Kramer, P.J. 1983. *Water Relations of Plants*. Academic Press, New York, pp. 489.
- Λαζαρίδου, Μ. και Β. Νοϊτσάκης. 2002. Επίδραση της ξηρασίας στην εποχιακή μεταβολή της αποτελεσματικότητας χρήσης νερού σε εν μείξει καλλιέργεια μηδικής. *Γεωτεχνικά Επιστημονικά Θέματα, Σειρά II*, (13)3: 59-66.
- Landsberg, J.J. 1986. *Physiological Ecology of Forest Production*. Academic Press, London, pp. 198.
- Läuchli, A. 1993. Selenium in plants: Uptake, functions, and environmental toxicity. *Botanica Acta*, 106: 455-468.

- Mayland, H.F., L.F. James, K.E. Panter and J.L. Sonderegger. 1989. Selenium in seleniferous environments. In: Selenium in Agriculture and the Environment (L.W. Jacobs, Ed.). American Society of Agronomy and Soil Science Society of America, Madison, pp. 15-50.
- Mohr, H. and P. Schopfer. 1995. Plant Physiology. Springer-Verlag, Berlin, pp. 629.
- Morgan, J.M. 1984. Osmoregulation and water stress in higher plants. Annual Review of Plant Physiology, 35: 299-319.
- Νοϊτσάκης, Β. 1996. Λιβαδική παραγωγή και ξηρασία. Προβληματική σχέση; Γεωργία – Κτηνοτροφία, 4: 32-35.
- Patakas, A. and B. Noitsakis. 1999. Mechanisms involved in diurnal changes of osmotic potential in grapevines under drought conditions. Journal of Plant Physiology, 154: 767-774.
- Patakas, A., N. Nikolaou, E. Zioziou, K. Radoglou and B. Noitsakis. 2002. The role of organic solute and ion accumulation in osmotic adjustment in drought-stressed grapevines. Plant Science, 163: 361-367.
- Pearcy, R.W., E.D. Schulze and R. Zimmermann. 1991. Measurement of transpiration and leaf conductance. In: Plant Physiological Ecology. Field Methods and Instrumentation. Pearcy R.W., Ehleringer J., Mooney H.A. and Rundel P.W. (Eds). Chapman and Hall, London, pp. 137-160.
- Poschenrieder, C., B. Gunsé and Juan Barceló. 1989. Influence of cadmium on water relations, stomatal resistance, and abscisic acid content in expanding bean leaves. Plant Physiology, 90: 1365-1371.
- Schlegel, H., D.L. Godbold and A. Hüttermann. 1987. Whole plant aspects of heavy metal induced changes in CO<sub>2</sub> uptake and water relations of spruce (*Picea abies*) seedlings. Physiologia Plantarum, 69: 265-270.
- Smith, W.K. and H.J. Gorz. 1965. Sweetclover improvement. Advances in Agronomy, 17: 163-231.
- Subbarao, G.V., N.H. Nam, Y.S. Chauhan and C. Johansen. 2000. Osmotic adjustment, water relations and carbohydrate remobilization in pigeonpea under water deficits. Journal of Plant Physiology, 157: 651-659.
- W.H.O. 1978. Selenium. Series: Environmental Health Criteria; 58. World Health Organization, Geneva, pp. 223.
- Wu, L., A.W. Enberg and X. Guo. 1997. Effects of elevated selenium and salinity concentrations in root zone on selenium and salt secretion in saltgrass (*Distichlis spicata* L.). Ecotoxicology and Environmental Safety, 37: 251-258.
- Yoon, T.M. and H. Richter. 1990. Seasonal changes in stomatal responses of sweet cherry and plum to water status in detached leaves. Physiologia Plantarum, 80: 520-526.



## Effects of selenium on water economy of *Melilotus officinalis* (L.)

**P. Kostopoulou, Z. Koukoura και B. Noitsakis**

Aristotle University of Thessaloniki, Faculty of Forestry and Natural Environment,  
Laboratory of Range Science (236), 541 24 Thessaloniki

### Summary

Elevated heavy metal pollution of soils in relation to drought phenomena have triggered the study of the synergistic effect of selenium (as  $\text{Na}_2\text{SeO}_4$  solution) and water deficit on water relations of *Melilotus officinalis* (L.). For this purpose three selenium concentrations (0, 1 and 3 mg Se/l) and two water regimes (well watered: WW and water stressed: WS) were tested. Apart from the microclimatic parameters, water potential, relative water content and stomatal conductance were measured. The results indicate that selenium affects the water economy of *Melilotus officinalis* by altering slightly leaf water potential and relative water content and by reducing significantly stomatal conductance.

**Key words:** Selenium, water relations.