

Διερεύνηση της αντοχής του *Lotus corniculatus* L. σε συνθήκες περιορισμένης άρδευσης

Μ. Καρατάσιου¹, Π. Κωστοπούλου¹, Ε. Λυμπική¹, Α. Λαζαρίδου², Μ. Λαζαρίδου²

¹Εργαστήριο Λιβαδικής Οικολογίας (286), Τμήμα Δασολογίας και Φυσικού Περιβάλλοντος, Αριστοτέλειο Πανεπιστήμιο Θεσσαλονίκης, 54124 Θεσσαλονίκη, karatass@for.auth.gr

²Τμήμα Δασοπονίας και Διαχείρισης Φυσικού Περιβάλλοντος ΤΕΙ Αν. Μακεδονίας και Θράκης, 1^ο χιλ. Δράμας Μικροχωρίου, 66100 Δράμα

Περίληψη

Σκοπός της εργασίας ήταν η διερεύνηση της αντοχής και των μηχανισμών που υιοθετεί το *Lotus corniculatus* L. σε συνθήκες περιορισμένης άρδευσης. Φυτά του είδους συλλέχθηκαν από πληθυσμό της περιοχής του Ταξιάρχη Χαλκιδικής και μεταφυτεύτηκαν σε πλαστικά δοχεία. Μετά από μία περίοδο προσαρμογής εφαρμόστηκαν δύο χειρισμοί υδατικής διαίτας: α) άρδευση έως το σημείο της υδατοϊκανότητας και β) περιορισμένη άρδευση (καταπόνηση). Κατά τη διάρκεια της βλαστικής περιόδου του 2013 μετρήθηκαν σε συνθήκες υπαίθρου το υδατικό δυναμικό (Ψ), το οσμωτικό δυναμικό (Ψ_s), η στοματική αγωγιμότητα (g_s) και υπολογίστηκαν το δυναμικό σπαργής (Ψ_p) και το σχετικό υδατικό περιεχόμενο (RWC). Βρέθηκε ότι για το ίδιο Ψ τα φυτά που αναπτύχθηκαν σε περιορισμένη άρδευση εμφάνισαν υψηλότερο RWC και g_s , ενώ η σπαργή τους διατηρήθηκε σχεδόν σταθερή σε όλη την αυξητική περίοδο. Η διατήρηση της σπαργής κάτω από περιορισμένη υδατική διαίτα οφείλεται στο γεγονός ότι η μείωση της όσμωσης ήταν ανάλογη με τη μείωση του Ψ με αποτέλεσμα το δυναμικό σπαργής να παραμένει σταθερό ή να μεταβληθεί πολύ λίγο. Από τα παραπάνω αποτελέσματα προκύπτει ότι το *L. corniculatus* παρουσιάζει μία φυσιολογική πλαστικότητα κάτω από συνθήκες υδατικής καταπόνησης και μπορεί να διατηρεί υψηλό Ψ_p και RWC.

Λέξεις κλειδιά: υδατικό δυναμικό, οσμωτικό δυναμικό, στοματική αγωγιμότητα, σπαργή

Εισαγωγή

Το νερό είναι ο κύριος αβιοτικός παράγοντας περιορισμού της πρωτογενούς παραγωγής με αποτέλεσμα η οικονομική απόδοση των καλλιεργειών να επηρεάζεται σε μεγάλο βαθμό από τη διαθεσιμότητά του (Araus et al. 2002, Beer et al. 2007). Η διαθεσιμότητα νερού μειώνεται διαρκώς στον πλανήτη εξαιτίας της κλιματικής αλλαγής, της αύξησης του πληθυσμού και της οικονομικής ανάπτυξης. Ο τομέας στον οποίο η χρήση του νερού θα περιοριστεί φαίνεται να είναι η γεωργία, συνεπώς θα πρέπει να βρεθούν τρόποι ώστε η παραγωγή να γίνεται με τη μικρότερη δυνατή ποσότητα νερού (Bacelar et al. 2012).

Τα φυτά ξηρών και ημίξηρων περιοχών έχουν αναπτύξει φυσιολογικούς, μορφολογικούς ή/και βιοχημικούς μηχανισμούς προκειμένου να επιβιώσουν σε παρατεταμένες περιόδους ξηρασίας. Σημαντικό αντικείμενο των οικοφυσιολογικών ερευνών είναι να διευκρινιστούν οι υδατικές σχέσεις των φυτών για την αποτελεσματική χρήση των διαθέσιμων πόρων. Οι υδροδυναμικές παράμετροι των φυτών επηρεάζονται από την έλλειψη νερού (Fargou et al. 2009). Σημαντικό ρόλο στην αντοχή στην ξηρασία και τη στρατηγική που ακολουθεί το φυτό παίζουν οι διαπνευστικές του απώλειες, οι οποίες ρυθμίζονται με τον έλεγχο της στοματικής συσκευής. Τα στόματα είναι σημαντικά για την υδατική οικονομία του φύλλου και κατ'επέκταση ολόκληρου του φυτού. Η ρύθμιση του ανοίγματος της στοματικής συσκευής προστατεύει το φυτό από την ξήρανση όταν η διαθεσιμότητα του νερού στο έδαφος είναι περιορισμένη (Foyer and Harbinson 2012).

Το γένος *Lotus* ανήκει στην οικογένεια των ψυχανθών και περιλαμβάνει είδη με μεγάλη γεωγραφική εξάπλωση, λόγω της καλής προσαρμογής τους στις περιβαλλοντικές καταπονήσεις (Escaray et al. 2012). Το *Lotus corniculatus* L. θεωρείται σημαντικό χορτοδοτικό είδος, εξαιτίας της υψηλής παραγωγής και θρεπτικής του αξίας (Cassida et al. 2000, Sign et al. 2007). Αν και το *L. corniculatus* αντέχει αβιοτικές καταπονήσεις και έχει επιβεβαιωθεί η αντοχή του στην ξηρασία (Acuna 2000), εντούτοις δεν έχουν διασαφηνιστεί οι μηχανισμοί προσαρμογής που υιοθετεί.

Η εργασία αυτή προσπαθεί να ερευνησει: α) εάν φυσικός πληθυσμός του *Lotus corniculatus* από την Βόρεια Ελλάδα εμφανίζει αντοχή σε συνθήκες περιορισμένης άρδευσης και β) τους μηχανισμούς που το είδος αναπτύσσει προκειμένου να μπορέσει να επιβιώσει σε συνθήκες έλλειψης νερού, ερωτήματα που θα βοηθήσουν στην καλύτερη διαχείρισή του.

Υλικά και Μέθοδοι

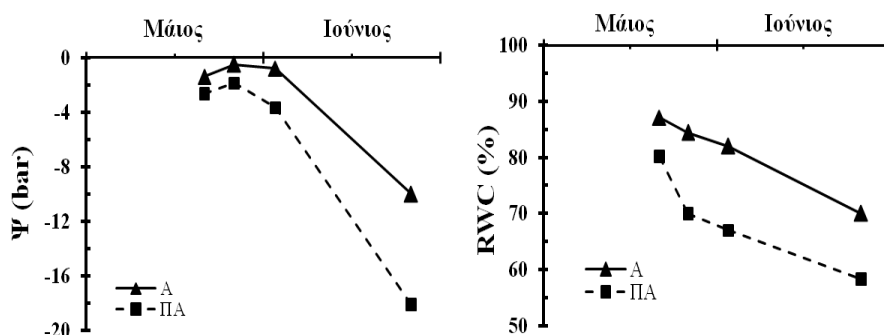
Η έρευνα πραγματοποιήθηκε την άνοιξη - αρχές καλοκαιριού του 2013 στο Λιβαδοπονικό κήπο του Τομέα Λιβαδοπονίας και Άγριας Πανίδας - Ιχθυοπονίας Γλυκέων Υδάτων στην περιοχή του αεροδρομίου Μακεδονία στη Θεσσαλονίκη (γεωγραφικό μήκος 40°31'51'', γεωγραφικό πλάτος 22°59'58'') και 6μ. υψόμετρο από την επιφάνεια της θάλασσας. Το κλίμα της περιοχής θεωρείται ημίξηρο Μεσογειακό με μέσο ετήσιο ύψος κατακρημνισμάτων 350 έως 400 mm. Το έλλειμμα υδρατμών της ατμόσφαιρας (VPD) στην περιοχή μελέτης κατά τη διάρκεια των μετρήσεων κυμάνθηκε μεταξύ 2,02 έως 4,24kPa ενώ η φωτοσυνθετικά ενεργή ηλιακή ακτινοβολία, εκφρασμένη ως πυκνότητα ροής φωτονίων (PPFD, Photosynthetic Photon Flux Density), από 941 έως 1304 $\mu\text{mol.photon.m}^{-2}\text{s}^{-1}$.

Φυτά του *Lotus corniculatus* L. συλλέχθηκαν το Σεπτέμβριο - Οκτώβριο του 2012 από φυσικό πληθυσμό από την περιοχή του Ταξιάρχη Χαλκιδικής και μεταφυτεύτηκαν σε μικρές γλάστρες στην περιοχή έρευνας. Στις αρχές Μαρτίου του 2013, 32 φυτά μεταφυτεύτηκαν σε μεγαλύτερες γλάστρες διαμέτρου 16εκ. και ύψους 45εκ. που είχαν πληρωθεί με έδαφος μέσης μηχανικής σύστασης και τοποθετηθεί κάτω από υπερυψωμένο σκέπαστρο, καλυμμένο από διαφανές νάιλον. Μετά από μία περίοδο εγκατάστασης των φυτών (μεγαλύτερη των δύο μηνών) εφαρμόστηκαν δύο επίπεδα άρδευσης: 1) πλήρης άρδευση μέχρι το σημείο της υδατοϊκανότητας (Α) και 2) περιορισμένη άρδευση (ΠΑ) στο 40% της υδατοϊκανότητας (Kostopolou et al. 2010). Η πειραματική διάταξη ήταν πλήρως τυχαιοποιημένη με 4 επαναλήψεις ανά χειρισμό. Οι μετρήσεις πραγματοποιήθηκαν σε τέσσερις διαφορετικές ημερομηνίες (21 και 26 Μαΐου, 2 και 25 Ιουνίου) που αντιστοιχούν σε τέσσερα διαφορετικά φαινολογικά στάδια ανάπτυξης του είδους: α) αρχικό βλαστικό στάδιο, β) βλαστικό, γ) ανθοφορίας και γ) έναρξης εμφάνισης των καρπών. Όλες οι μετρήσεις πραγματοποιήθηκαν το μεσημέρι (10:00-12:00) σε ηλιόλουστες ημέρες, σε τυχαία επιλεγμένο δείγμα πέντε πλήρως αναπτυγμένων και ίδιας ηλικίας φύλλων από κάθε χειρισμό για όλες τις παραμέτρους. Οι παράμετροι που μετρήθηκαν ήταν: το υδατικό δυναμικό (Ψ), το οσμωτικό δυναμικό (Ψ_{π}) η στοματική αγωγιμότητα (g_s) ενώ υπολογίστηκαν το δυναμικό σπαργής (Ψ_p) και το σχετικό υδατικό περιεχόμενο (RWC). Το Ψ μετρήθηκε με το θάλαμο πίεσης SKPM 1400 (Skye Instruments Ltd, Llandrindod Wells, UK) (Koide et al. 1991), το Ψ_{π} με τη χρήση του ψυχομέτρου HR-33T (Wescor-Inc., Logan, Utah, USA), το Ψ_p υπολογίστηκε με βάση την εξίσωση $\Psi_p = \Psi - \Psi_{\pi}$, το RWC υπολογίστηκε σε δίσκους 4mm με βάση την εξίσωση $RWC = [(N\omega\pi - \text{Βάρος-}\xi\eta\rho\text{ό Βάρος}) / (\text{Βάρος κορεσμού-}\xi\eta\rho\text{ό Βάρος})] \times 100$ (Sheretal. 2013), και η g_s μετρήθηκε με το φορητό σύστημα μέτρησης φωτοσύνθεσης LCpro-SD (ADC Bioscientific Ltd, Hoddesdon, UK).

Η στατιστική ανάλυση των δεδομένων πραγματοποιήθηκε με τη βοήθεια του στατιστικού πακέτου SPSS (SPSS for Windows, version 21.0, SPSS Inc, Chicago, USA). Η ανάλυση διακύμανσης (ANOVA) χρησιμοποιήθηκε για να προσδιοριστεί η επίδραση των χειρισμών άρδευσης και του φαινολογικού σταδίου, για επίπεδο σημαντικότητας $\alpha=0,05$. Το t-test χρησιμοποιήθηκε για τη σύγκριση των μέσων όρων.

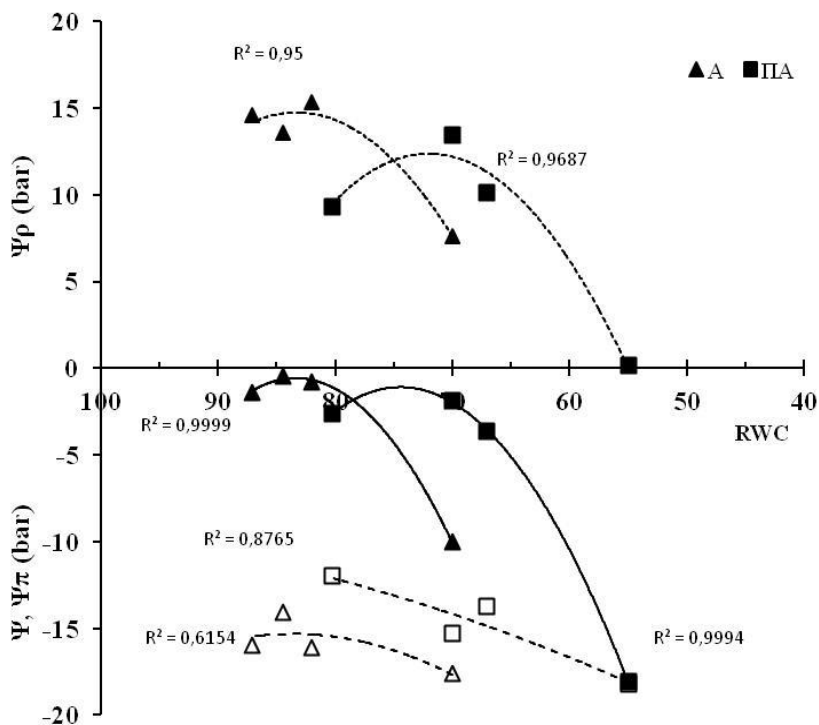
Αποτελέσματα – Συζήτηση

Η διαφοροποίηση του Ψ και του RWC ανάμεσα στους δύο χειρισμούς άρδευσης ήταν στατιστικώς σημαντική ($p < 0,05$) (Εικόνα 1). Στη διάρκεια της αυξητικής περιόδου εμφανίστηκαν, όπως ήταν αναμενόμενο, οι υψηλότερες τιμές του Ψ και του RWC στο χειρισμό της άρδευσης. Στην ίδια περίοδο η μείωση του Ψ ήταν 8,6 και 15,4 bar για τους χειρισμούς άρδευση και περιορισμένη άρδευση αντίστοιχα, ενώ για το RWC ήταν 17,5 και 21,85% αντίστοιχα. Το *L. corniculatus* εμφάνισε σημαντική μείωση ($p < 0,05$) του Ψ και στους δύο χειρισμούς στο στάδιο εμφάνισης των καρπών, όταν οι περιβαλλοντικές συνθήκες δεν ήταν ευνοϊκές, ενώ ανάλογη έντονη τάση μείωσης δεν παρατηρήθηκε για το RWC. Μείωση του Ψ στο στάδιο της καρποφορίας έχει αναφερθεί και από τους Burghardt et al. (2008) για το είδος *Teucrium*. Ο πληθυσμός του *L. corniculatus* από την περιοχή του Ταξιάρχη πρέπει να διαθέτει οικοφυσιολογικούς μηχανισμούς, οι οποίοι του παρέχουν τη δυνατότητα να διατηρεί υψηλό RWC όταν το Ψ είναι χαμηλό και επομένως αντοχή σε περιορισμένη άρδευση. Αντίστοιχοι μηχανισμοί έχουν περιγραφεί σε ετησία ψυχανθή (Karatassiou et al. 2009, Kostopoulou et al. 2010).

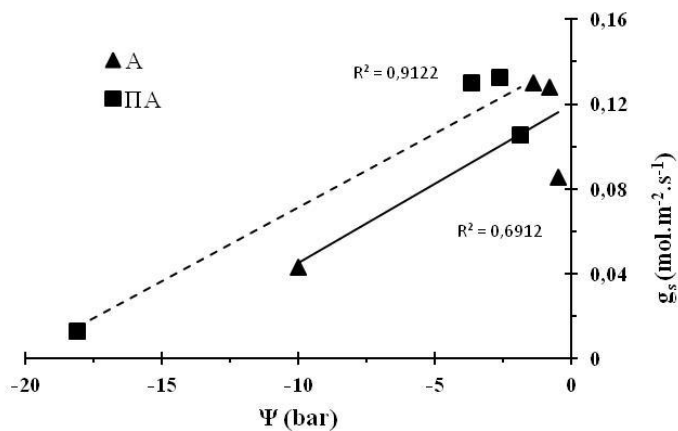


Εικόνα 1. Εποχιακή μεταβολή του α) υδατικού δυναμικού (Ψ) και β) σχετικού υδατικού περιεχομένου (RWC) του *Lotus corniculatus* σε δύο χειρισμούς: άρδευση (A) και περιορισμένη άρδευση (PIA).

Για το ίδιο Ψ τα φυτά που δέχθηκαν περιορισμένη άρδευση εμφάνισαν σημαντικά χαμηλότερο ($p < 0,05$) RWC και συνεπώς υψηλότερο υδατικό έλλειμμα ($100 - \text{RWC}$), που πιθανόν οφείλεται στο μη καλό έλεγχο της στοματικής τους συσκευής (Εικόνα 2). Ωστόσο υπό περιορισμένη άρδευση το *L. corniculatus* διατήρησε την ανάπτυξη και τη σπαργή του μέχρι αρκετά χαμηλό υδατικό έλλειμμα (42%). Το δυναμικό σπαργής και για τους δύο χειρισμούς άρδευσης διατηρήθηκε υψηλό και σχεδόν σταθερό μέχρι το στάδιο της ανθοφορίας (Εικόνα 2). Εντούτοις, στο στάδιο της εμφάνισης καρπών παρατηρήθηκε σημαντική μείωση ($p < 0,05$) του δυναμικού σπαργής, η οποία όμως ήταν πιο έντονη στα φυτά που βρίσκονταν υπό περιορισμένη άρδευση. Στο χειρισμό της περιορισμένης άρδευσης η μείωση του RWC περίπου κατά 9% οδήγησε σε απώλεια της σπαργής (Εικόνα 2). Όμως το είδος μπόρεσε και επιβίωσε σε περιορισμένη ποσότητα νερού μέχρι RWC 58%. Πιθανόν ο πληθυσμός του *L. corniculatus* από την περιοχή του Ταξιάρχη κάτω από συνθήκες περιορισμένης υδατικής διαίτας να έχει αναπτύξει κάποιο μηχανισμό προσαρμογής στην ξηρασία.



Εικόνα 2. Μεταβολή του υδατικού δυναμικού (Ψ), του οσμωτικού δυναμικού ($\Psi\pi$) (διακεκομμένη γραμμή) και του δυναμικού σπαργής ($\Psi\rho$) σε σχέση με το σχετικό υδατικό περιεχόμενο (RWC) του *L. corniculatus* στους χειρισμούς άρδευσης (Α) και περιορισμένης άρδευσης (ΠΑ).



Εικόνα 3. Μεταβολή του υδατικού δυναμικού (Ψ) σε σχέση με τη στοματική αγωγιμότητα (g_s) του *Lotus corniculatus* στους χειρισμούς άρδευσης (Α) και περιορισμένης άρδευσης (ΠΑ).

Ωστόσο από την Εικόνα 3 γίνεται εμφανές ότι το είδος υπό περιορισμένη άρδευση δεν μπόρεσε να περιορίσει τις απώλειές του μέσω της λειτουργίας της στοματικής του συσκευής οπότε η διατήρηση της σπαργής σε χαμηλό RWC πιθανόν να οφείλεται στην ανάπτυξη βαθύτερου ριζικού συστήματος ή στην ενεργοποίηση του μηχανισμού οσμωρύθμισης σύμφωνα με τους Iannucci et al. (2002) και Chaves et al (2003). Η διατήρηση της σπαργής κάτω από περιορισμένη άρδευση οφείλεται στο γεγονός ότι η μείωση της όσμωσης ήταν ανάλογη με τη μείωση του Ψ με αποτέλεσμα το δυναμικό σπαργής να παραμένει σταθερό ή να μεταβληθεί πολύ λίγο για το μεγαλύτερο μέρος της αυξητικής περιόδου (Εικόνα 2) παρέχοντας στα φυτά τη δυνατότητα να διατηρήσουν το άνοιγμα της στοματικής τους συσκευής, τη συνέχιση της λειτουργίας της φωτοσύνθεσης, καθώς και την αύξηση της φωτοσυνθετικής τους επιφάνειας σε μεγαλύτερο εύρος υδατικού ελλείμματος (Flexas et al. 2012).

Συμπεράσματα

Ο πληθυσμός του *L. corniculatus* από την περιοχή του Ταξιάρχη παρουσιάζει μία φυσιολογική πλαστικότητα κάτω από συνθήκες περιορισμένης υδατικής διαίτας. Η διατήρηση της σπαργής μέχρι υδατικό έλλειμμα 30-35% φαίνεται να καθιστά το συγκεκριμένο πληθυσμό κατάλληλο να χρησιμοποιηθεί σε περιοχές με περιορισμένη διαθέσιμη ποσότητα νερού.

Ευχαριστίες

Η παρούσα έρευνα έχει συγχρηματοδοτηθεί από την Ευρωπαϊκή Ένωση (Ευρωπαϊκό Κοινωνικό Ταμείο - ΕΚΤ) και από εθνικούς πόρους μέσω του Επιχειρησιακού Προγράμματος «Εκπαίδευση και Δια Βίου Μάθηση» του Εθνικού Στρατηγικού Πλαισίου Αναφοράς (ΕΣΠΑ) – Ερευνητικό Χρηματοδοτούμενο Έργο: ΑΡΧΙΜΗΔΗΣ ΙΙΙ . Επένδυση στην κοινωνία της γνώσης μέσω του Ευρωπαϊκού Κοινωνικού Ταμείου.

Βιβλιογραφία

- Acuna, H. 2000. Growth and DM yield of three *Lotus* spp. (*L. corniculatus* L., *L. glaber* Mill. and *L. uliginosus* Cav.) in clay soils of Chilean Mediterranean zone. *Cahiers Options Mediterraneennes*, 45: 171-175.
- Araus, J.L., G.A.Slafer, M.P. Reynolds and C.Royo. 2002. Plant breeding and drought in C₃ cereals: what should we breed for? *Annals of Botany*, 89: 925–940.
- Bacelar, E.L.B.A., J.M. Mutinho-Pereira, B.M.C. Gonsalves, C.V.Q. Brito, J. Gomes-Laranjo, H.M.F. Ferreira and C.M. Coreira. 2012. Water use strategies of plants under drought conditions. In: Aroca R. (ed), *Plant responses to drought stress. From morphological to molecular features*. Springer, pp:145-170.
- Beer, C., M. Reichstein, P. Ciais, G. Farquhar and D. Papale. 2007. Mean annual GPP of Europe derived from its water balance. *Geophysical Research Letters*. 34: LO5401, doi:10.1029/2006GL029006.
- Burghardt, M., A. Burghardt, J. Gall, C. Rosenberger and M. Riederer. 2008. Ecophysiological adaptations of water relations of *Teucrium chamaedrys* L. to the hot and dry climate of xeric limestone sites in Franconia (Southern Germany). *Flora - Morphology, Distribution, Functional Ecology of Plants*, 203(1): 3-13.
- Cassida, K.A., T.S. Griffin, J. Rodriguez, S.C. patching, O.B. Hesterman and S.R. Rust. 2000. Protein degradability and forage quality in maturing alfalfa, red clove and birdsfoot trefoil, *Crop sci.*, 40:209-215.
- Chaves, M.M., P. Maroco and J.S.Pereira. 2003. Understanding plant response to drought: from genes to the whole plant. *Functional Plant Biol.* 30: 239-264.
- Escaray F.J., A.B.Menendez, A.Garriz, F.L. Pieckenstein, M.J.Estrella, L.N.Castagno, P.Carrasco, J. Sanjuan and O. Ruiz. 2012. Ecological and agronomic importance of the

- plant genus *Lotus*. Its application in grassland sustainability and the amelioration of constrained and contaminated soils. *Plant Science*, 182: 121-133.
- Farooq M., A. Wahid, N. Kobayashi, D. Fujita and S. M. A. Basra. 2009. Plant drought stress: effects, mechanisms and management. *Agromomy for Sustain. Development* 29: 185-212.
- Flexas, J., F. Loreto and H. Medrano. 2012 *Terrestrial Photosynthesis in a Changing Environment. A molecular, physiological and ecological approach*, Cambridge University Press, pp. 1-6.
- Foyer, C.H. and J. Harbinson. 2012. Photosynthetic regulation. In: *Terrestrial Photosynthesis in a Changing Environment. A molecular, physiological and ecological approach*, Flexas, J., F. Loreto, H. Medrano (Eds), Cambridge University Press, pp 20-40
- Iannucci, A., M. Russo, L. Arena, N. Fonzo and P. Martiniello. 2002. Water deficits effects on osmotic adjustment and solute accumulation in leaves of annual clovers. *Eur. J. Agron.*, 16: 111-122.
- Karatassiou, M., B. Noitsakis and Z. Koukoura. 2009: Drought adaptation ecophysiological mechanisms of two annual legumes on semi-arid Mediterranean grassland. *Scientific Research and Essays*, 4: 493-500.
- 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* (R. W. Pearcy et al., eds.). Chapman and Hall, London, pp. 161-183.
- Kostopoulou, P., M.S. Vrahnakis, T. Merou and M. Lazaridou. 2010. Perennial-like adaptation mechanisms of annual legumes to limited irrigation. *J. of Environmental Biology*, 31: 311-314
- Sher, A., L. Barbanti, M. Ansar and M.A. Malik. 2013. Growth response and plant water status in forage sorghum [*Sorghum bicolor* (L.) Moench] cultivars subjected to decreasing levels of soil moisture. *Australian Journal of Crop Science*, 7 (6): 801-808.
- Sign R.J., G.H. Chung, R.L. Nelson, 2007. Landmark research in legumes. *Genome*, 50: 525-537

Investigation of *Lotus corniculatus* L. adaptation under limited irrigation

M. Karatassiou,¹ P. Kostopoulou¹, E. Limpiki¹, A. Lazaridou², M. Lazaridou²

¹School of Forestry and Natural Environment, 54124 Thessaloniki, Greece, karatass@for.auth.gr

²TEI of East Macedonia and Thrace, Department of Forestry & MNE, 66100 Drama, Greece

Abstract

The purpose of this study was to investigate the adaptation of a population of *Lotus corniculatus* in conditions of limited irrigation. Plants from a natural population were harvested and transplanted into plastic pots. After a period of plant adjustment two irrigation treatments were applied: a) irrigation to the point of field capacity and b) limited irrigation. During the growing period of 2013, the water potential (Ψ), osmotic potential (Ψ_s) and stomatal conductance (g_s) were measured under field conditions, while the turgor potential (Ψ_p) and the relative water content (RWC) were calculated. It was found that for the same Ψ , plants under limited irrigation showed higher water deficit and stomatal conductance and positive turgor, which remained almost constant throughout the growing season. The maintenance of turgor under water stress could be due to the fact that the reduction of Ψ_s was proportional to the reduction of Ψ . The above results suggest that *L. corniculatus* shows plasticity and is able to grow under limited irrigation, while maintaining high relative turgor potential and relative water content.

Key words: water potential, osmotic potential, stomatal conductance, turgor.