

# Η επίδραση της ξηρασίας στις υδατικές σχέσεις ετησίων λιβαδικών φυτών σε ποολίβαδο της χαμηλής ζώνης

Π. Εξαδακτύλου και Μ. Καρατάσιου

Εργαστήριο Λιβαδικής Οικολογίας (286), Τμήμα Δασολογίας και Φυσικού Περιβάλλοντος, Αριστοτέλειο Πανεπιστήμιο Θεσσαλονίκης, 541 24 Θεσσαλονίκη

## Περίληψη

Το νερό είναι καθοριστικός παράγοντας για την αύξηση και την παραγωγικότητα των φυτών στη μεσογειακή περιοχή. Στην παρούσα εργασία μελετήθηκαν οι υδατικές σχέσεις δύο ετήσιων λιβαδικών ειδών, του *Hordeum murinum* (αγρωστώδες) και της *Medicago arabica* (ψυχανθές) και αναζητήθηκαν οι οικοφυσιολογικοί μηχανισμοί που υιοθετούν τα είδη αυτά κάτω από συνθήκες υδατικού ελλείμματος. Η έρευνα πραγματοποιήθηκε την άνοιξη - αρχές καλοκαιριού του 2010 σε λιβάδι της χαμηλής ζώνης. Κατά τις μεσημβρινές ώρες μετρήθηκαν το υδατικό δυναμικό ( $\Psi$ ), η στοματική αγωγιμότητα ( $g_s$ ) και ο ρυθμός διαπνοής ( $E$ ), ενώ υπολογίστηκαν το έλλειμμα υδρατμών στην επιφάνεια του φυτοκαλύμματος (VPD) και το σχετικό υδατικό περιεχόμενο (RWC). Τα δύο είδη εμφάνισαν διαφορετική ανταπόκριση στο υδατικό έλλειμμα. Σε όλη τη διάρκεια της βλαστικής περιόδου επικράτησαν σχετικά υψηλές τιμές VPD (2,5-4,1 kPa) με αποτέλεσμα την αύξηση των διαπνευστικών απαιτήσεων των φυτών. Στο τέλος της βλαστικής περιόδου, η *M. arabica* παρουσίασε χαμηλότερο υδατικό δυναμικό (-2,84 MPa) και υψηλότερο RWC (60,64 %) σε σχέση με το *H. murinum* (-2,30 MPa, 56,27 %, αντίστοιχα). Το *H. murinum*, ετήσιο αγρωστώδες, ολοκλήρωσε νωρίτερα τον βιολογικό του κύκλο, έχοντας υψηλότερες υδατικές απώλειες σε σύγκριση με τη *M. arabica*, η οποία έφτασε στο κρίσιμο σημείο ξήρανσής της στα μέσα Ιουνίου εμφανίζοντας καλύτερη προσαρμογή στο υδατικό έλλειμμα. Τα παραπάνω αποτελέσματα εισηγούνται ότι πιθανόν η *M. arabica* διαθέτει οικοφυσιολογικούς μηχανισμούς που της παρέχουν τη δυνατότητα να συνεχίζει την ανάπτυξή της, ακόμη και σε συνθήκες έντονης υδατικής καταπόνησης.

**Λέξεις κλειδιά:** Υδατικό δυναμικό, Σχετικό υδατικό περιεχόμενο, Στοματική αγωγιμότητα, Διαπνοή.

## Εισαγωγή

Στη Μεσογειακή περιοχή, τα τελευταία χρόνια παρατηρούνται εκτεταμένες περιόδους ξηρασίας με αυξημένη συχνότητα ακραίων καιρικών φαινομένων, ενώ προβλέπεται περαιτέρω αύξηση της μέσης ετήσιας θερμοκρασίας και μείωση του ποσοστού των υδατικών αποθεμάτων (IPCC 2013). Το υδατικό έλλειμμα που λαμβάνει χώρα, κυρίως το καλοκαίρι, αποτελεί τον κυριότερο περιοριστικό παράγοντα για την επιβίωση και ανάπτυξη των φυτών (Volaire et al. 2014). Το υψηλό υδατικό έλλειμμα μεταβάλλει το υδατικό ισοζύγιο των φυτών, τροποποιεί το βιολογικό τους κύκλο, αναστέλλει τις φυσιολογικές τους λειτουργίες με τελικό αποτέλεσμα τη μείωση της παραγωγής (Faroog et al. 2009, Arve et al. 2011).

Η διατήρηση των ενδοϊκού υδατικού ισοζυγίου είναι απαραίτητη για την ανάπτυξη και επιβίωση των φυτών. Τα λιβαδικά φυτά διαθέτουν την ικανότητα να υιοθετούν φυσιολογικούς και μορφολογικούς μηχανισμούς, όπως η ταχεία φαινολογική ανάπτυξη, η αύξηση της στοματικής αγωγιμότητας, η υψηλή υδραυλική αγωγιμότητα και η εκμετάλλευση των υδατικών αποθεμάτων του εδάφους με αποτέλεσμα να διαφεύγουν, να αποφεύγουν ή να αντέχουν την υδατική καταπόνηση (Karatassiou et al. 2009, Blum 2011, Zlatev and Lidon 2012). Η ανταπόκριση των φυτών στην έλλειψη νερού εξαρτάται από την ένταση, το μέγεθος, τη διάρκεια της καθώς και το στάδιο ανάπτυξης των φυτών (Brar et al. 1990). Στη μεσογειακή περιοχή, τα λιβαδικά οικοσυστήματα είναι πλούσια σε ετήσια είδη

και η παρουσία τους σχετίζεται με υποβαθμισμένα περιβάλλοντα που υφίστανται έντονες ανθρώπινες διαταραχές και παρατεταμένη καλοκαιρινή ξηρασία (Karatassiou et al. 2009). Είναι λοιπόν αναγκαία η εύρεση ειδών που εμφανίζουν μηχανισμούς προσαρμογής, προκειμένου να αντιμετωπίσουν το υδατικό έλλειμμα και να διατηρήσουν την παραγωγικότητά τους (Moreno et al. 2008).

Σκοπός της παρούσας έρευνας ήταν: α) να μελετηθούν κατά τη διάρκεια της βλαστικής περιόδου οι υδατικές σχέσεις δύο ετησίων λιβαδικών φυτών, του *Hordeum murinum* και της *Medicago arabica* και β) να διερευνηθούν οι οικοφυσιολογικοί μηχανισμοί που τα είδη εμφανίζουν σε συνθήκες υδατικού ελλείμματος.

### Μέθοδοι και υλικά

Η παρούσα έρευνα πραγματοποιήθηκε άνοιξη αρχές καλοκαιριού του 2010, στο Λιβαδοπονικό Κήπο του Τομέα Λιβαδοπονίας και Άγριας Πανίδας – Ιχθυοπονίας και Γλυκέων Υδάτων στη Θεσσαλονίκη (40°31'54'' Β, 22°59'35''Ε), σε υψόμετρο 6 μ. από την επιφάνεια της θάλασσας. Το κλίμα της περιοχής μελέτης θεωρείται ημίξηρο – Μεσογειακό. Το μέσο μηνιαίο ύψος κατακρημισμάτων και η μέση μηνιαία θερμοκρασία αέρα κατά τη περίοδο της έρευνας, κυμάνθηκαν από 17,2 έως 55,6 mm και από 9,6 έως 24,1 °C, αντίστοιχα. Οι μετρήσεις πραγματοποιήθηκαν σε δύο ετήσια αυτοφυή είδη *Hordeum murinum* L. και *Medicago arabica* (L.) Huds της οικογένειας *Poaceae* και *Fabaceae* αντίστοιχα. Οι παράμετροι που μετρήθηκαν ήταν το έλλειμμα υδρατμών στην επιφάνεια του φυτοκαλύμματος (VPD), το υδατικό δυναμικό (Ψ), το σχετικό υδατικό περιεχόμενο (RWC), η στοματική αγωγιμότητα ( $g_s$ ) και ο ρυθμός διαπνοής (E). Όλες οι μετρήσεις έγιναν ταυτόχρονα για κάθε είδος, ανά 10 - 15 ημέρες περίπου, κατά τις ώρες 11<sup>00</sup>- 13<sup>00</sup>, σε ηλιόλουστες μέρες, σε τυχαία επιλεγμένο δείγμα πέντε πλήρως ανεπτυγμένων φύλλων, ίδιας ηλικίας και χωρίς χρωματικές αλλοιώσεις.

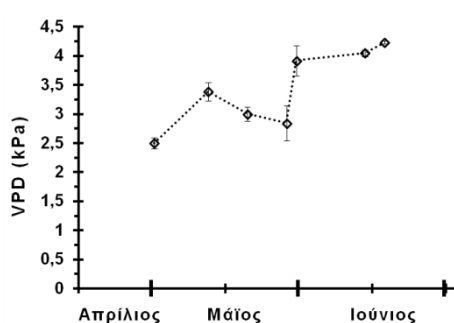
Το VPD υπολογίστηκε στην επιφάνεια του φυτοκαλύμματος με τη βοήθεια του μικροκλιματικού πολυσένσора (Novasina ms1, Novasina AG, CH) από τον μέσο όρο πέντε επαναλήψεων (Εικόνα 1). Το Ψ μετρήθηκε με τη μέθοδο του θαλάμου πίεσης (Koide et al. 1991), ενώ το RWC υπολογίστηκε σε δισκία 4mm με βάση τη μέθοδο που περιγράφεται από τους Blum (2011) και Sher et al. (2013). Για τη μέτρηση της  $g_s$  και του E, χρησιμοποιήθηκε πορόμετρο τύπου null-balance LI-1600 (LICOR, USA, NE). Η μέθοδος στηρίζεται σε ποσοτικές μετρήσεις ανταλλαγής αερίων στην επιφάνεια επαφής φύλλου – ατμόσφαιρας (Blum 2011).

Η επεξεργασία των δεδομένων έγινε με τη βοήθεια του στατιστικού πακέτου SPSS v. 20.0 (SPSS Inc., Chicago, IL, USA). Ανάλυση της παραλλακτικότητας (ANOVA) χρησιμοποιήθηκε για να καθορίσει την επίδραση του είδους και της ημερομηνίας ( $P \leq 0,05$ ), ενώ το t-test χρησιμοποιήθηκε για την σύγκριση δύο μέσων όρων (Steel and Torrie 1980). Η ανάλυση της παλινδρόμησης χρησιμοποιήθηκε για να προσδιοριστεί η συμμεταβολή του Ψ και του RWC.

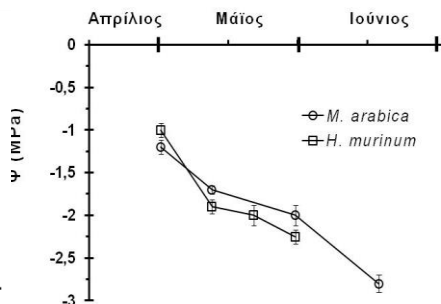
### Αποτελέσματα και συζήτηση

Στην περιοχή έρευνας το VPD στην επιφάνεια των φυτοκαλύμματος κατά τη διάρκεια των μετρήσεων παρουσίασε μια αυξητική τάση και κυμάνθηκε από 2,5 έως 4,1 kPa (Εικόνα 1). Η εποχιακή αύξηση του υδατικού ελλείμματος αναμένεται να επηρεάσει τις διαπεραστικές απώλειες των δύο ετήσιων ειδών και συνεπώς το υδατικό τους δυναμικό. Το Ψ ως ένας ευαίσθητος δείκτης στην έλλειψη νερού, παρουσίασε σημαντική μείωση ( $P \leq 0,05$ ) κατά τη διάρκεια της αυξητικής περιόδου (Εικόνα 2). Η *M. arabica* (ψυχανθές) εμφάνισε σημαντικά υψηλότερο ( $P \leq 0,05$ ) Ψ σε σχέση με το *H. murinum* (αγρωστώδες) για το μεγαλύτερο μέρος της αυξητικής περιόδου. Στο ετήσιο ψυχανθές το Ψ κυμάνθηκε από -1,2 έως -2,84 MPa, ενώ στο ετήσιο αγρωστώδες από -1 έως -2,30 MPa. Ιδιαίτερο ενδιαφέρον

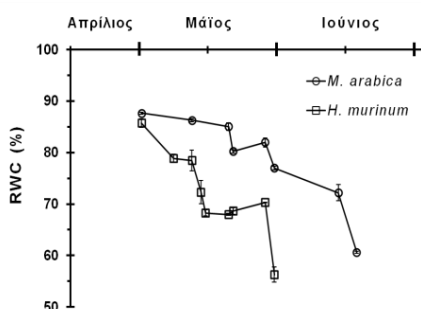
παρουσιάζει το γεγονός ότι, το ψυχανθές, *M. arabica*, συνέχισε την αύξησή του σε αρκετά χαμηλό  $\Psi$  (-2,84 MPa) και κάτω από υψηλό έλλειμμα υδρατμών.



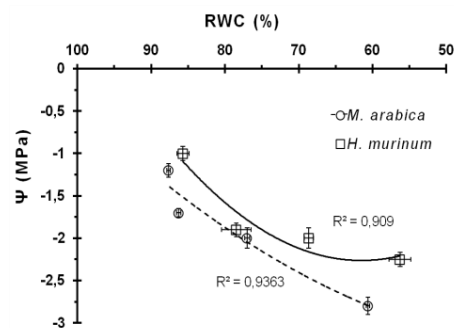
Εικόνα 1. Εποχιακή μεταβολή του ελλείμματος υδρατμών στην επιφάνεια του φυτοκαλύμματος (VPD) κατά την περίοδο της έρευνας. Τα δεδομένα παρουσιάζονται ως μ.ο. ± τυπικό σφάλμα.



Εικόνα 2. Εποχιακή μεταβολή του υδατικού δυναμικού ( $\Psi$ ) σε δύο ετήσια λιβαδικά φυτά, κατά τη βλαστική περίοδο. Τα δεδομένα παρουσιάζονται ως μ.ο. ± τυπικό σφάλμα.



Εικόνα 3. Εποχιακή μεταβολή του σχετικού υδατικού περιεχομένου (RWC) σε δύο ετήσια λιβαδικά φυτά, κατά τη βλαστική περίοδο. Τα δεδομένα παρουσιάζονται ως μ.ο. ± τυπικό σφάλμα.



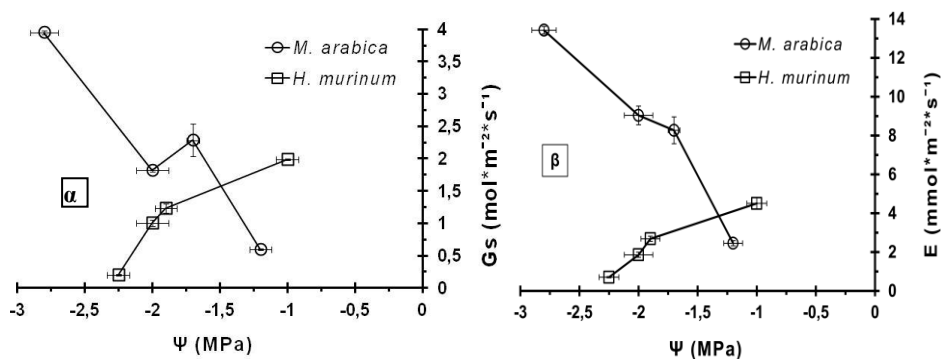
Εικόνα 4. Συμμεταβολή του RWC και του υδατικού δυναμικού ( $\Psi$ ) σε δύο ετήσια λιβαδικά φυτά, κατά τη βλαστική περίοδο. Τα δεδομένα παρουσιάζονται ως μ.ο. ± τυπικό σφάλμα.

Ανάλογη πορεία με το  $\Psi$  ακολούθησε και το RWC (Εικόνα 3). Σε όλη τη διάρκεια της αυξητικής περιόδου, η *M. arabica* διατήρησε σημαντικά υψηλότερες τιμές ( $P \leq 0,05$ ) σε σύγκριση με το *H. murinum*, ενώ η διαφοροποίηση του RWC μεταξύ των δύο ειδών έγινε πιο εμφανής μετά τα μέσα Μαΐου, όπου η *M. arabica* εμφάνισε σημαντικά υψηλότερο  $\Psi$  και RWC σε σχέση με το *H. murinum*. Η απότομη αύξηση του VPD, κατά 36%, που παρατηρήθηκε αυτήν την περίοδο πιθανόν προκάλεσε την εντονότερη μείωση του RWC στο *H. murinum*.

Από τα παραπάνω αποτελέσματα είναι εμφανές ότι η υδατική κατάσταση των δύο ετησίων ειδών παρουσιάζει διαφοροποίηση. Η μελέτη της συμμεταβολής του RWC με το  $\Psi$

θα μπορούσε να δώσει μια καλύτερη εικόνα για την υδατική κατάσταση των δύο ειδών, καθώς και για τους μηχανισμούς που αυτά πιθανόν αναπτύσσουν κάτω από υδατικό έλλειμμα (Εικόνα 4). Σε χαμηλό Ψ και περίπου ίσο με -2,20 MPa, η *M. arabica* παρουσίασε υψηλότερο RWC σε σχέση με το *H. murinum* και συνεπώς καλύτερη υδατική κατάσταση (Εικόνα 4). Οι υψηλότερες τιμές RWC για το ίδιο Ψ στη *M. arabica* θα μπορούσαν να αποδοθούν στην υψηλότερη υδραυλική αγωγιμότητα παρά τον υψηλότερο ρυθμό διαπνοής που εμφανίσε σε σχέση με το *H. murinum* ή στην υψηλή ικανότητα πρόσληψης νερού από το έδαφος (Karatassiou et al 2009, Kostopoulou et al. 2010).

Τα δύο είδη εμφάνισαν διαφοροποίηση στο ρυθμό διαπνοής καθώς και στη στοματική αγωγιμότητα (Εικόνα 5). Για Ψ περίπου ίσο με -1 MPa, το *H. murinum* εμφάνισε τετραπλάσια  $g_s$  (Εικόνα 5α) και διπλάσιο E (Εικόνα 5β), σε σχέση με τη *M. arabica*. Κατά τη διάρκεια της αυξητικής περιόδου με την αύξηση του υδατικού ελλείμματος, το αγρωστώδες μείωσε την  $g_s$  και το E προκειμένου να περιορίσει τις υδατικές του απώλειες και να διατηρήσει ένα θετικό υδατικό ισοζύγιο (Karatassiou et al. 2009). Αντίθετα, το ψυχανθές παρουσίασε αύξηση στο ρυθμό διαπνοής και μη έλεγχο των υδατικών του απωλειών μέσω της λειτουργία της στοματικής συσκευής (Arve et al. 2011).



Εικόνα 5. Συμμεταβολές του Ψ και: (α) της στοματικής αγωγιμότητας ( $g_s$ ) και (β) του ρυθμού διαπνοής (E), σε δύο ετήσια είδη, κατά τη διάρκεια της βλαστικής περιόδου. Τα δεδομένα παρουσιάζονται ως μ.ο. ± τυπικό σφάλμα.

Στη *M. arabica*, φαίνεται ότι η μείωση του Ψ ήταν ανεξάρτητη από τη ρύθμιση της στοματικής συσκευής και του E, γεγονός που υποδηλώνει αυξημένη υδραυλική αγωγιμότητα (Sklavou et al. 2010). Έτσι, το ετήσιο ψυχανθές κατάφερε να διατηρήσει ένα ευνοϊκό υδατικό ισοζύγιο σε κατάσταση υδατικής καταπόνησης ισοσταθμίζοντας τις υδατικές του απώλειες, μολονότι το VPD ήταν αρκετά υψηλό (Lambers et al. 2008). Παρόμοια μη αναμενόμενη συμπεριφορά εμφάνισε σύμφωνα με τους Karatassiou et al. (2009) και η *Onobrychis aequidentata* σε λιβάδι της χαμηλής ζώνης. Από την άλλη πλευρά, το *H. murinum* παρουσίασε μεγαλύτερη ευαισθησία και περιόρισε το άνοιγμα της στοματικής του συσκευής, μειώνοντας σταδιακά τις διαπνευστικές του απαιτήσεις. Για τιμές του VPD μεγαλύτερες από 3 kPa (Εικόνα 1, 2, 5α) εμφάνισε χαμηλή στοματική αγωγιμότητα προκειμένου να αποφύγει τις περαιτέρω διαπνευστικές απώλειες (Farooq et al. 2009).

Τα αποτελέσματα εισηγούνται σημαντική διαφοροποίηση στις υδατικές σχέσεις των δύο ετήσιων ειδών. Το *H. murinum* έφτασε στο κρίσιμο σημείο ξήρανσης στις 29 Μαΐου σε RWC 56,27 % και Ψ -2,30 MPa, ενώ η *M. arabica* αρκετά αργότερα (16 Ιουνίου) σε RWC 60,64 % και Ψ -2,84 MPa. Τα παραπάνω αποτελέσματα υποδηλώνουν ότι το πρώτο είδος ολοκλήρωσε νωρίς τον βιολογικό του κύκλο και απέφυγε την περαιτέρω υδατική καταπόνηση, γεγονός που του προσδίδει μεγάλη ευαισθησία σε υδατικό έλλειμμα (Sherrard and Maherali 2006,

Volaire et al. 2014). Αντίθετα, η *M. arabica* κατάφερε να συνεχίσει για αρκετό χρονικό διάστημα την ανάπτυξή της κάτω από περιοριστικές κλιματικές συνθήκες, πιθανόν λόγω της υψηλής υδραυλικής αγωγιμότητας, της οσμωρύθμισης ή του βαθύτερου ριζικού συστήματος (Moreno et al. 2008, Arve et al. 2011, Karatassiou et al. 2012).

### **Συμπεράσματα**

Τα αποτελέσματα υποδηλώνουν τη διαφορετική ικανότητα προσαρμογής των ετήσιων λιβαδικών ειδών. Η *M. arabica* παρουσίασε καλύτερη προσαρμογή στο υδατικό έλλειμμα σε σχέση με το *H. murinum*. Η *M. arabica*, αν και ετήσιο είδος, πέρα από το μηχανισμό της διαφυγής που εμφανίζεται κυρίως στα ετήσια είδη, πρέπει να διαθέτει οικοφυσιολογικούς μηχανισμούς προσαρμογής στο υδατικό έλλειμμα.

### **Βιβλιογραφία**

- Arve, L.E., S. Torre, J.E. Olsen and K.K. Tanino. 2011. Stomatal Responses to Drought Stress and Air Humidity. In: Abiotic Stress in Plants: Mechanisms and Adaptations (Prof. Arun Shanker, ed.), InTech, Croatia, pp. 267-280.
- Blum, A. 2011. Plant breeding for water limited environments. Springer, Dordrecht, Heidelberg, London, New York, pp. 258.
- Brar, G.S., S. Kar and N.T. Singh. 1990. Photosynthetic response of wheat to soil water deficits in the tropics. J. Agron. Crop Sci., 164: 343-348.
- Farooq, M., A. Wahid, N. Kobayashi, D. Fujita and S.M.A. Basra. 2009. Plant drought stress: effects, mechanisms and management. Agron. Sustain. Dev., 29: 185-212.
- I.P.C.C. 2013. Climate Change 2013: The Physical Science Basis. Working Group I Contribution to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel of Climatic Change, Cambridge University Press, UK, pp. 1535.
- Karatassiou, M., B. Noitsakis and Z. Koukoura. 2009. Drought adaptation ecophysiological mechanisms of two annual legumes on semi-arid Mediterranean grassland. Scientific Research and Essay, 4 (5): 493-500.
- Karatassiou, M., M. Lazaridou, P. Kostopoulou and T. Antoniou. 2012. Influence of water deficit on growth parameters of perennial grass species. Opt. Méditerr., 102: 61-64.
- 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. Journal of Environmental Biology, 31: 311-314.
- Lambers, H., S.F. Chapin III and T.L. Pons. 2008. Plant Physiological Ecology, Springer-Verlag, New York, pp. 2008.
- Moreno, M., J. Gulías, M. Lazaridou, H. Medrano and J. Cifre. 2008. Ecophysiological strategies to overcome water deficit in herbaceous species under Mediterranean conditions. Opt. Méditerr., A 79: 247-257.
- 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. AJCS, 7 (6): 801-808.
- Sherrard, M.E. and H. Maherali. 2006. The adaptive significance of drought escape in *Avena barbata*, an annual grass. Evolution, 60 (12): 2478-2489.
- Sklavou, P., M. Karatassiou, C.N. Tsiouvaras and B. Noitsakis, 2010. Ecophysiological approach of two herbaceous species in a grazed *Robinia pseudoacacia* L. silvopastoral system. Opt. Méditerr., A 92: 59-62.
- Steel, R.G.D. and J.H. Torrie. 1980. Principles and Procedures of Statistics, 2<sup>nd</sup> edn. McGraw-Hill, New York, pp. 481.

- Volaire, F., K. Barkaoui and M. Norton. 2014. Designing resilient and sustainable grasslands for a drier future: Adaptive strategies, functional traits and biotic interactions. *Eur. J. Agron.*, 52: 81-89.
- Zlatev, Z. and F.C. Lidon. 2012. An overview on drought induced changes in plant growth, water relations and photosynthesis. *EJFA*, 24 (1): 57-72.

## **The effect of drought on the water relations of annual forage species in a low elevation grassland**

**P. Exadactylou and M. Karatassiou**

Laboratory of Range Ecology (P.O. Box 286), Department of Forestry and Natural Environment, Aristotle University of Thessaloniki, GR-54124, Thessaloniki, Greece

### **Abstract**

Water is a restrictive factor that affects the growth and the productivity of forage species in the Mediterranean region. The aim of this study was to investigate the water relations under water deficit conditions and the drought adaptation ecophysiological mechanisms of two annual forage species, *Hordeum murinum* (grass) and *Medicago arabica* (legume). The experiment was conducted in the spring - early summer of 2010 in a low elevation grassland. The midday leaf water potential ( $\Psi$ ), the stomatal conductance ( $g_s$ ) and the transpiration rate (E) were measured, while the Vapor Pressure Deficit (VPD) over the canopy and the leaf Relative Water Content (RWC) were estimated. Different responses under water deficit conditions were evident between the two species. During the growing season, high VPD (2,5-4,1kPa) values dominated and, thus, both species presented different transpiration demands. In the end of the growing season, *M. arabica* exhibited lower  $\Psi$  (-2,84 MPa) and higher RWC (60,64%) in relation to *H. murinum* (-2,30 MPa, 56.27%, respectively). The annual grass *H. murinum* completed earlier its biological cycle, having higher water losses than *M. arabica* which reached the critical threshold point later (middle of June) and adapted better to water deficit conditions. Our results suggest that, *M. arabica* probably displays ecophysiological mechanisms that enable it to continue to grow, even under intense water deficit conditions.

**Key words:** Water potential, Relative water content, Stomatal conductance, Transpiration.