

Ανάλυση δύο δεικτών αποτελεσματικότητας χρησιμοποίησης του νερού στη *Dactylis glomerata* L.

M. Καρατάσιου, B. Νοϊτσάκης, Z. Κούκουρα

Αριστοτέλειο Πανεπιστήμιο Θεσσαλονίκης, Σχολή Δασολογίας και Φυσικού Περιβάλλοντος,
Τομέας Λιβαδοπονίας και Άγριας Πανίδας Ιχθυοπονίας Γλυκέων Υδάτων, Εργαστήριο
Δασικών Βοσκοτόπων (236), 54124 Θεσσαλονίκη, e-mail: karatass@for.auth.gr

Περίληψη

Ο σκοπός της εργασίας αυτής ήταν η ανάλυση δύο δεικτών αποτελεσματικότητας χρησιμοποίησης του νερού στη *Dactylis glomerata* L., ένα ευρύτατα διαδεδομένο είδος στη μεσογειακή περιοχή, κατά τη διάρκεια της αυξητικής περιόδου. Ο ρυθμός φωτοσύνθεσης (A), ο ρυθμός διαπνοής (E) και η στοματική αγωγιμότητα (g_s) μετρήθηκαν σε πλήρως αναπτυγμένα φύλλα της *Dactylis glomerata* L. κατά τη διάρκεια της αυξητικής περιόδου, ενώ υπολογίστηκε η στιγμιαία (WUE) και η ενδογενής (A/g_s) αποτελεσματικότητα χρησιμοποίησης νερού. Στην αρχή της βλαστικής περιόδου και μέχρι τα μέσα Μαΐου η WUE ήταν υψηλότερη της A/g_s . Στις αρχές καλοκαιριού όταν οι ενδείξεις υδατικής καταπόνησης των φυτών είναι πιο έντονες οι δύο δείκτες φαίνεται να συμπίπτουν. Τα δεδομένα παρέχουν ενδείξεις για την αριστοποίηση χρησιμοποίησης νερού με την έναρξη της ξηρής περιόδου οπότε η τιμή της g_s εμφανίζεται χαμηλή και κατά το μάλλον ή ήττον σταθερή.

Λέξεις κλειδιά: Στοματική αγωγιμότητα, φωτοσύνθεση, διαπνοή, WUE, A/g_s

Εισαγωγή

Στη Μεσογειακή περιοχή τα φυτά υφίστανται μεγάλες περιόδους ξηρασίας, κυρίως κατά τη διάρκεια των οποίων η μέση θερμοκρασία κυμαίνεται από 22-32°C (Gullo and Salleo 1988). Το ζεστό και ξηρό καλοκαίρι και ο ψυχρός χειμώνας σε συνδυασμό με την αστάθεια και τη μη προβλεψιμότητα των βροχοπτώσεων είναι τα κύρια χαρακτηριστικά τα οποία περιορίζουν την παραγωγή, την ανάπτυξη και την κατανομή των φυτών στα μεσογειακά οικοσυστήματα (Joffre et al. 1999; Baquedano and Castillo 2007). Ειδικά, στη μεσογειακή περιοχή η καλοκαιρινή ξηρασία θεωρείται ο κύριος περιβαλλοντικός περιορισμός για την ανάπτυξη και την επιβίωση των φυτών (Galmés et al. 2007). Συνεπώς, η ανάγκη για εγκατάσταση φυτών τα οποία αριστοποιούν τη χρήση του νερού είναι μεγάλη.

Τα φυτά προκειμένου να προσαρμοστούν στις περιβαλλοντικές συνθήκες χρησιμοποιούν διαφορετικές στρατηγικές (Mudrik et al. 2003) προσαρμογής ή αποφυγής του υδατικού ελλείμματος (Arndt et al. 2001) προκειμένου να διατηρήσουν την παραγωγή τους κάτω από συνθήκες ξηρασίας (Leport et al. 1998). Από τους σπουδαιότερους δείκτες προσαρμογής των φυτών στη ξηρασία είναι οι δείκτες αποτελεσματικότητας χρησιμοποίησης του νερού

Στο λιβαδικό οικοσύστημα όπου στόχος μας είναι η αριστοποίηση της σχέσης παραγωγής και κατανάλωσης νερού η αποτελεσματικότητα χρησιμοποίησης του νερού (WUE) αποτελεί ένα αξιόπιστο δείκτη παραγωγικότητας, προσαρμογής και επιβίωσης των φυτών σε συνθήκες υδατικής καταπόνησης (DaMatta et al. 2003) και εκφράζεται από τη σχέση του λόγου φωτοσύνθεσης προς διαπνοή (Bacon 2004). Είναι γνωστό, ότι πρωταρχικός ρόλος της στοματικής συσκευής και της φυλλικής επιφάνειας στον έλεγχο της φωτοσύνθεσης και της διαπνοής εκφράζεται με το συντελεστή αποτελεσματικότητας χρησιμοποίησης του νερού

(Pereira 1995). Επειδή όμως η WUE εξαρτάται από τις περιβαλλοντικές συνθήκες συχνά χρησιμοποιείται και ο ενδογενής δείκτης αποτελεσματικότητας χρησιμοποίησης νερού (WUE_i) που ορίζεται ως ο λόγος της φωτοσύνθεσης προς τη στοματική αγωγιμότητα. Το γνωστό και αμφιλεγόμενο ερώτημα που προκύπτει από τη σχέση A/E και A/g_s είναι: σε ποια τιμή της g_s λαμβάνει χώρα αριστοποίηση του λόγου A/E .

Σκοπός της εργασίας αυτής ήταν να αναλυθούν οι δύο δείκτες αποτελεσματικότητας χρησιμοποίησης του νερού (στιγμαίος και ενδογενής) της *Dactylis glomerata* L. κατά τη διάρκεια της αυξητικής περιόδου καθώς και η δυνατότητα χρονικού προσδιορισμού της αριστοποίησης χρησιμοποίησης του νερού.

Υλικά και Μέθοδοι

Η έρευνα πραγματοποιήθηκε στην περιοχή Μελισσοχωρίου, 25 χλμ. βορειοανατολικά από τη Θεσσαλονίκη, σε γεωγραφικό πλάτος $40^{\circ} 58'N$ και γεωγραφικό μήκος $23^{\circ} 01'E$, σ' ένα ποολίβαδο της χαμηλής ζώνης με υψόμετρο 170 μ. το οποίο βόσκονταν για τουλάχιστον 20 έτη πριν την έναρξη των πειραμάτων. Το κλίμα της περιοχής θεωρείται ημίξηρο μεσογειακό (Πίνακας 1) με τη μέση μηνιαία θερμοκρασία να κυμαίνεται από $4,9$ έως $25,6^{\circ}C$. Η ετήσια μέση βροχόπτωση κατά την περίοδο των πειραμάτων ήταν 476,5mm. Η πειραματική επιφάνεια (10 μ.Χ20 μ.) είχε περιφραχθεί από το 1989 προκειμένου να αποτραπεί η βόσκηση μέσα σε αυτή.

Πίνακας 1. Έλλειμμα ατμών στην ατμόσφαιρα (VPD) κατά τη διάρκεια του πειράματος.

Ημέρες	VPD (mbar)
20 Απριλίου	8,08
12 Μαΐου	11,41
21 Μαΐου	14,37
4 Ιουνίου	17,32
20 Ιουνίου	28,55

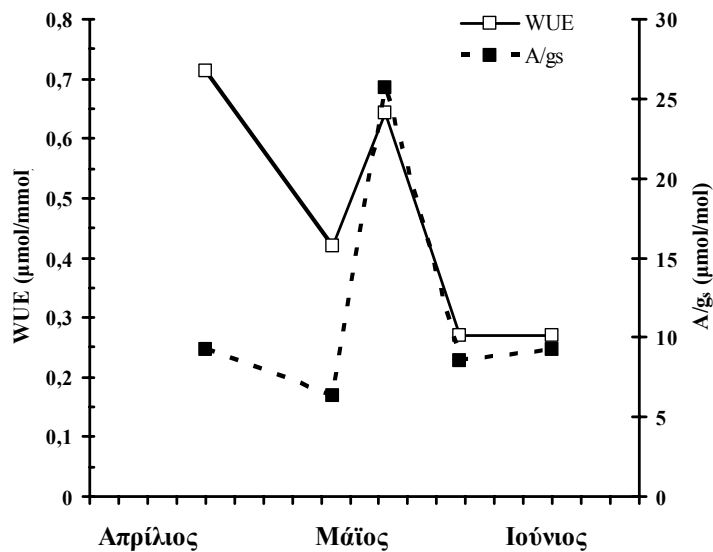
Οι μετρήσεις πραγματοποιήθηκαν κάθε 15 μέρες το μεσημέρι (12.00 - 14.00π.μ) κατά τη διάρκεια της αυξητικής περιόδου σε πλήρως αναπτυγμένα φύλλα από το πολυετές αγρωστώδες *Dactylis glomerata* L. (*D. glomerata*) και οι τιμές είναι ο μέσος όρος πέντε επαναλήψεων.

Οι παράμετροι που μετρήθηκαν ήταν: ο καθαρός ρυθμός φωτοσύνθεσης (A), ο ρυθμός διαπνοής (E) και η στοματική αγωγιμότητα (g_s) με τη φορητή συσκευή φωτοσύνθεσης και διαπνοής LI-6200 της LI-COR -USA, NE. Η αποτελεσματικότητα χρησιμοποίησης νερού υπολογίστηκε ως α) στιγμαία από την εξίσωση (Van de Geijn and Goudriaan 1996): $WUE = A/E$ και β) ενδογενής από την εξίσωση: $WUE_i = A/g_s$ (Jones 2004).

Αποτελέσματα – Συζήτηση

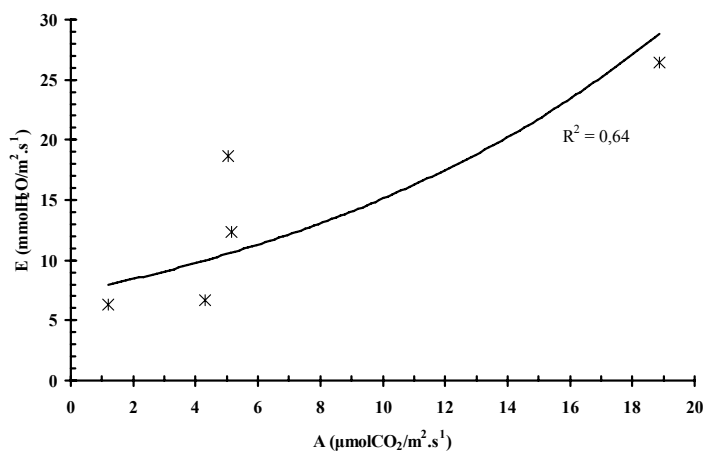
Από την εποχιακή μεταβολή του στιγμαίου και ενδογενούς δείκτη αποτελεσματικότητας χρησιμοποίησης νερού στη *D. glomerata* (Εικόνα 1) γίνεται φανερό ότι η ενδογενής αποτελεσματικότητα χρησιμοποίησης του νερού εμφανίζει χαμηλότερες τιμές σε σχέση με τη στιγμαία στην αρχή τουλάχιστον της βλαστικής περιόδου γεγονός που αποδίδεται στις μεταβολές της στοματικής αγωγιμότητας και στο διαφορετικό συντελεστή διαχύσεως των υδρατμών και του CO_2 . Αν δεχθούμε ότι ο συντελεστής διαχύσεως του νερού είναι 1,56 φορές μεγαλύτερος του συντελεστή διαχύσεως του CO_2 , τότε η στοματική αγωγιμότητα ασκεί μεγαλύτερο έλεγχο στις διαπνευστικές απώλειες, ενώ μειώνει οριακά το ρυθμό αφομοίωσης (Farquar and Sharkey 1982, Long 1985, Nobel 1991). Στο σημείο αυτό αναφέρεται το πρόβλημα της αριστοποίησης χρησιμοποίησης του νερού ώστε με την ελάχιστη

δυνατή τιμή διαπνοής να έχουμε τη μέγιστη δυνατή τιμή φωτοσύνθεσης (Cowan and Farquhar 1977) αλλά και ποια η σκοπιμότητα των δύο δεικτών.



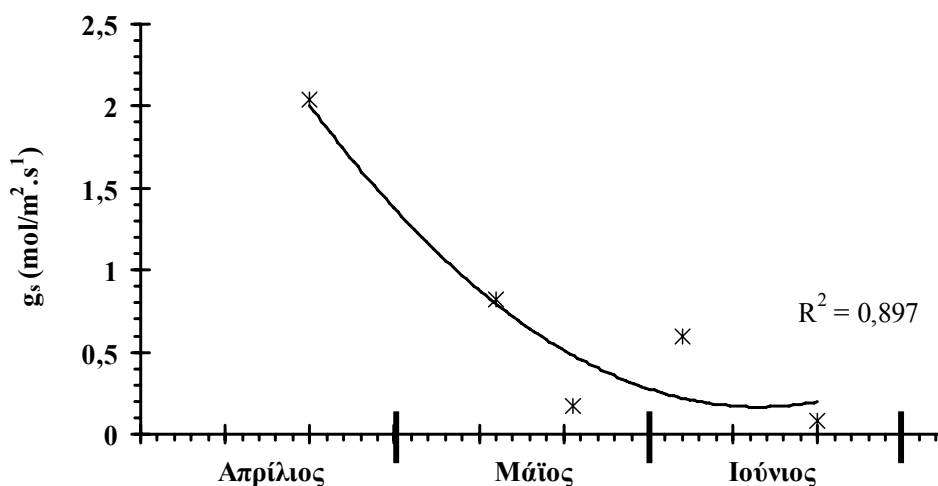
Εικόνα 1. Εποχιακή μεταβολή των δεικτών στιγμιαίας (WUE) και ενδογενούς (A/gs) αποτελεσματικότητας χρησιμοποίησης του νερού της *D. glomerata* L.

Όσον αφορά τους δύο δείκτες αποτελεσματικότητας χρησιμοποίησης του νερού, ο μεν δείκτης στιγμιαίας αποτελεσματικότητας χρησιμοποίησης του νερού εφαρμόζεται κυρίως στη πράξη όταν ενδιαφερόμαστε να διακρίνουμε τα φυτά σε «καταναλωτές» νερού και σε φυτά που «οικονομούν» νερό (Jones 1986) υπολογίζοντας τον αφομοιωτικό ρυθμό στη μονάδα διαπνευστικού ρυθμού, ο οποίος επηρεάζεται από τις διαπνευστικές απαιτήσεις του περιβάλλοντος (VPD). Ο δε δείκτης ενδογενούς αποτελεσματικότητας χρησιμοποίησης του νερού χρησιμοποιείται κυρίως προκειμένου να δώσει απ' ευθείας μετρήσεις της φωτοσυνθετικής δραστηριότητας με σταθερή στοματική αγωγιμότητα ή και όταν θέλουμε να εμπλέξουμε και τις τρεις παραμέτρους φωτοσύνθεση διαπνοή και στοματική αγωγιμότητα. Συνεπώς, για μία δεδομένη μέση αφομοιωτική τιμή θα μπορούσαμε να ελέγξουμε την άριστη τιμή της στοματικής αγωγιμότητας για την οποία πετυχαίνετε η ελάχιστη δυνατή διαπνευστική τιμή.



Εικόνα 2. Μεταβολή του ρυθμού διαπνοής (E) και φωτοσύνθεσης (A) της *D. glomerata* L. κατά τη διάρκεια της αυξητικής περιόδου.

Από τα δεδομένα είναι φανερό ότι η παραβολική μορφή μείωσης της σχετικής διαπνοής συναρτήσει της σχετικής αφομοίωσης (Εικόνα 2) οδηγεί σε δραστική μείωση της διαπνοής για πολύ μικρές μεταβολές της τιμής της σχετικής αφομοίωσης γεγονός που σημαίνει ότι μία μικρή μείωση της στοματικής αγωγιμότητας που θα επιφέρει μικρή μεταβολή του ρυθμού αφομοίωσης θα προκαλέσει έντονη μείωση της διαπνοής.



Εικόνα 3. Εποχιακή μεταβολής της στοματικής αγωγιμότητας (g_s) της *D. glomerata L*

Από πρακτικής πλευράς αυτό σημαίνει ότι, καθώς αυξάνει η ξηρασία κατά τη διάρκεια της ημέρας η στοματική συσκευή ρυθμίζει την αγωγιμότητα των αερίων CO_2 και H_2O ώστε για ανεπαίσθητες μεταβολές της στοματικής αγωγιμότητας, η ευαισθησία του λόγου διαπνοή/αφομοίωση να διατηρείται κατά το δυνατόν σταθερή. Αυτό προφανώς επάγει σταθερή g_s και χαμηλής τιμής. Σύμφωνα με τη θεωρία του Jones (1986) η τιμή της g_s θα πρέπει να είναι πολύ χαμηλή για να πετυχαίνουμε αριστοποίηση της χρησιμοποίησης του νερού. Η εποχιακή μεταβολή της g_s (Εικόνα 3) δείχνει ότι η τιμή της g_s καθίσταται σταθερή και πολύ χαμηλή με την έναρξη της ξηρής περιόδου. Γεγονός, που επιτρέπει τη συνέχεια προσλήψεως CO_2 και μειώνει τις διαπνευστικές απώλειες νερού.

Συνεπώς, στη *D. glomerata* η αριστοποίηση της αποτελεσματικότητας χρησιμοποίησης του νερού και κατά συνέπεια της παραγωγής πετυχαίνετε στις αρχές καλοκαιριού όταν οι συνθήκες υδατικής καταπόνησης είναι πιο έντονες.

Βιβλιογραφία

- Arndt, S.K., S.C. Chifford, W. Wanek, H.G. Jones and M. Popp. 2001. Physiological and morphological adaptation of the fruit tree *Ziziphus rotundifolia* in response to progressive drought stress. *Tree Physiology*, 21: 705-715.
- Bacon M.A. 2004. Water use efficiency in plant biology, p. 1-26. In: *Water Use Efficiency in Plant Biology* (M.A. Bacon, ed). Blackwell Publishing, UK.
- Baquedano, F.J., and F.J. Castillo. 2007. Drought tolerance in the Mediterranean species *Quercus coccifera*, *Quercus ilex*, *Pinus halepensis* and *Juniperus phoenicea*. *Photosynthetica*, 45(2) 229-238.
- Cowan, I.R. and G.D. Farquhar 1977. Stomatal function in relation to leaf metabolism and environment, p. 471-505. In: *Integration of activity in the higher plants* (D.H. Jennings, ed.). Cambridge University Press, UK.

- DaMatta, F.M., A.R.M. Chaves, H.A Pinheiro, C. Ducatti and M.E. Loureiro. 2003. Drought tolerance of two field-grown clones of *Coffea canephora*. *Plant Sci.* 164,:111–117.
- Farquar, G.D, and T.D. Sharkey. 1982. Stomatal conductance and photosynthesis. *Ann. Re. Plant Physiol.*, 33:317-345.
- Galmés, J., Abadia, A. Cifre J., Medrano, H. and Flexas, J. (2007). Photoprotection processes under water stress and recovery in Mediterranean plants with different growth forms and leaf habits. *Physiologica Plantarum*, 130: 495-510.
- Gullo, M.A. and S. Salleo. 1988. Different strategies of drought resistance in three Mediterranean sclerophyllous trees growing in the same environmental conditions. *New Phytol.*, 108: 267-276.
- Joffre, R., S.Rambal and C.Damesin. 1999. Functional attributes in Mediterranean –type ecosystems, p. 347-380. In: *Handbook of Functional Plant Ecology* (F.I Pugnaire and F. Valladares, eds). Marcel Dekker Inc. New York, Basel.
- Jones, H.G. 1986. *Plants and microclimate*. Cambridge University Press, Second p. 167.
- Jones, H. 2004. What is water use efficiency? p. 27-41. In: *Water Use Efficiency in Plant Biology* (M.A. Bacon, ed.). Blackwell Publishing, UK.
- Leport, L., N.C. Turner, S.L. Davies and K.H.M. Siddique 1998. Variation in pod production and abortion among chickpea cultivars under terminal drought. *European J. of Agronomy*, 24(3) 236-246.
- Long, S.P. 1985. Leaf Gas Exchange, p. 453-499. In: *Photosynthetic mechanisms and the environment*, (J. Barber and N.R. Baker, eds). Elsevier, Amsterdam.
- Mudrik, V., A. Kosobrukhov, I. Knyazeva and Pigulevskaya T. 2003. Changes in the photosynthetic characteristics of *Plantago major* plants caused by soil drought stress. *Plant Growth Regulation*, 40: 1-6.
- Nobel, P.S. 1991. *Physicochemical and Environmental Plant Physiology*. Academic Press, San Diego.
- Pereira, J.S. 1995. Gas Exchange and Growth, p.147-181. In: *Ecophysiology of Photosynthesis* (E.D. Schulze and M.M. Cardwell, eds). Springer- Verlag, Berlin Heidelberg, New York.
- Van de Geijn, S.C. and J. Goudriaan. 1996. The effects of elevated CO₂ and temperature change on transpiration and crop water use, p. 101-121. In: *Global Climate Change and Agricultural Production, Direct effects of changing hydrological, pedagogical and plant physiological process*, (F. Bazaaz and W. Sombrock, eds). FAO. Rome. John, Wiley & Sons, Chichester, New York, Brisbane, Toronto, Singapore.

Analysis of two indexes water use efficiency in *Dactylis glomerata* L

M. Karatassiou, V. Noitsakis, Z. Koukoura

Aristotle University of Thessaloniki, School of Forestry and Natural Environment, Laboratory of Range Science (236) 54124 Thessaloniki – Greece, email: karatass@for.auth.gr

Summary

The instantaneous and the intrinsic water use efficiency were analysed in order to study the mechanisms of water use optimization in *Dactylis glomerata* L. during the growing season. Net assimilation rate (A), transpiration rate (E) and stomatal conductance (g_s) were measured in the leaf of *Dactylis glomerata* L. and the instantaneous (A/E) and intrinsic water use efficiency (A/ g_s) were calculated by A, E, g_s . In the early stages of biological cycle of *Dactylis glomerata* L and until May the A/E was higher than A/ g_s . Early in summer when the water deficit was higher the two indexes seem to be similar. Our results provide indications of water use efficiency optimization during the dry season, decreasing and maintaining more or less the value of g_s constant.

Key words: stomatal conductance, photosynthesis, transpiration, A/E, A/ g_s .