

# Η Επίδραση Σύγχρονων Μεθόδων Άρδευσης στην Παραγωγή Ενέργειας και στην Ανάπτυξη του Ενεργειακού Φυτού Σόργου στην Κεντρική Ελλάδα<sup>1</sup>

**Μ. Σακελλαρίου - Μακραντωνάκη, Δ. Παπαλέξης, Ν. Νάκος, Χ. Παπανικολάου**

*Πανεπιστήμιο Θεσσαλίας, Σχολή Γεωπονικών Επιστημών, Τμήμα Γεωπονίας Φυτικής Παραγωγής  
και Αγροτικού Περιβάλλοντος, Εργαστήριο Γεωργικής Υδραυλικής, Ν. Ιωνία Βόλου.  
Email: mask@uth.gr*

## Περίληψη

Στην παρούσα εργασία εξετάζεται η ανάπτυξη και η παραγωγικότητα του Γλυκού Σόργου (var. Keller), υπό το καθεστώς δύο διαφορετικών μεθόδων άρδευσης – της επιφανειακής στάγδην άρδευσης με δόσεις άρδευσης που ικανοποιούσαν το 100% και το 80% της ημερήσιας εξατμισοδιαπνοής (ETm) και της υπόγειας στάγδην άρδευσης με δόση άρδευσης ίση με το 80% της ημερήσιας εξατμισοδιαπνοής – σε ένα άνυδρο έτος στην Κεντρική Ελλάδα, ως ενεργειακής καλλιέργειας με σκοπό την παραγωγή βίο-αιθανόλης. Οι ημερήσιες ανάγκες σε νερό της καλλιέργειας καθορίστηκαν με βάση το εξατμισόμετρο τύπου A. Μετρήθηκαν το ύψος, η φυλλική επιφάνεια των φυτών και η παραγωγή σε χλωρή και ξηρή βιομάζα. Παρατηρήθηκε υπεροχή της υπόγειας στάγδην άρδευσης σε επίπεδο μέσων όρων.

## Effect of Modern Irrigation Methods on Growth and Energy Production of the Energy Plant Sorghum in Central Greece.<sup>1</sup>

**M. Sakellariou-Makrantonaki, D. Papalexis, N. Nakos, C. Papanikolaou**

*University of Thessaly, School of Agricultural Sciences, Department of Agriculture, Crop Production  
and Rural Environment, Agriculture Hydraulics Laboratory, N. Ionia Volos Greece.  
Email: mask@uth.gr*

## Abstract

The subject of this project is to estimate the growth and productivity of sweet sorghum (var Keller), under two different irrigation methods – the conventional surface method (two treatments) which supplied water dose equal to 100% and 80% of

<sup>1</sup> Το παρόν άρθρο, σε εκτενέστερη μορφή, δημοσιεύθηκε στο περιοδικό Agricultural Water Management, Vol. 90, Issue 3, 16 June 2007, pp. 181-189, εκδόσεις Elsevier.

daily evapotranspiration (ET<sub>m</sub>) and the subsurface drip method which supplied water dose equal to 80% of daily evapotranspiration– in a dry year in Central Greece, as an energy crop for the production of bio-ethanol. The daily crop water needs were determined by using an A class open evaporation pan. The growth of the crop was measured by plant height, leaf area index and the production of fresh and dry biomass. It was demonstrated the superiority of the subsurface drip irrigation method (mean values).

## 1. Εισαγωγή

Την τελευταία δεκαετία ένα μεγάλο μέρος της επιστημονικής κοινότητας έστρεψε το ενδιαφέρον της σε φυτά από τα οποία μπορούν να παραχθούν βίο –diesel και βιο–αιθανόλη, εξαιτίας της σημαντικής μείωσης των διαθέσιμων αποθεμάτων σε υγρά καύσιμα..

Το Σόργο [*Sorghum bicolor* (L.) Moench] είναι ένα από τα πολλά φυτά που μπορούν να χρησιμοποιηθούν για το σκοπό αυτό. Μεταξύ άλλων πλεονεκτημάτων (μεγάλη φωτοσυνθετική ικανότητα, μικρές απαιτήσεις σε νερό και χημική λίπανση), η καλλιέργεια του σόργου επιτυγχάνει υψηλές αποδόσεις σε χλωρή και ξηρή βιομάζα. Το Σόργο, σε σύγκριση με άλλα φυτά, εκμεταλλεύεται αποτελεσματικότερα το νερό άρδευσης (Curt et al., 1995). Λόγω της μεγάλης προσαρμοστικότητας του, της αντοχής του στα αλατούχα – αλκαλικά εδάφη και στην έλλειψη αρδευτικού νερού του έχει δοθεί το προσωνύμιο «φυτό καμήλα» (FAO, 2002). Για τους παραπάνω λόγους το Γλυκό Σόργο έχει αναδειχθεί σε ένα από τα πλέον δημοφιλή ενεργειακά φυτά στον κόσμο.

Η άρδευση με σταγόνα επιφανειακά αποτέλεσε από τις αρχές της δεκαετίας του 80' μία κοινή πρακτική για την άρδευση Οπωρώνων και Αμπελιών στην Ελλάδα. Μία παραλλαγή της παραδοσιακής επιφανειακής στάγδην άρδευσης είναι η υπόγεια στάγδην άρδευση, η οποία στις ημέρες μας έχει αρχίσει να χρησιμοποιείται σε αρκετές αρδευόμενες περιοχές ανά την Ελλάδα (Sakellariou-Makrantonaki et al., 2001, 2002, 2006). Σύμφωνα με τη μέθοδο αυτή οι πλευρικοί σωλήνες τοποθετούνται σε ένα συγκεκριμένο βάθος κάτω από την επιφάνεια του εδάφους κάτι βέβαια που εξαρτάται από το είδος της καλλιέργειας και τη συνήθη καλλιεργητική πρακτική. Η απόδοση του συστήματος παραμένει ανεπηρέαστη από τα χαρακτηριστικά διήθησης του επιφανειακού εδάφους. Από την άλλη πλευρά, το επιφανειακό έδαφος δεν συγκεντρώνει μεγάλα ποσοστά εδαφικής υγρασίας με αποτέλεσμα την εξάλειψη στον μέγιστο βαθμό της επιφανειακής εξάτμισης. Έτσι, διατηρώντας την επιφάνεια του εδάφους ξηρή μπορούν πιο εύκολα να πραγματοποιηθούν οι διάφορες καλλιεργητικές

εργασίες και επίσης μειώνονται οι ασθένειες των φυτών και το σάπισμα της ρίζας, ενώ διατηρείται σε ικανοποιητικά επίπεδα η δομή και υφή του επιφανειακού εδάφους με αποτέλεσμα να επιτυγχάνεται καλύτερος αερισμός του εδάφους και αποτελεσματικότερη διήθηση του νερού της βροχής εντός των χαμηλότερων στρωμάτων της εδαφικής κατατομής (Phene et al., 1993). Τα υλικά άρδευσης δεν εκτίθενται σε ακραίες καιρικές συνθήκες και κυρίως στον ήλιο, γεγονός που συνεπάγεται και μεγαλύτερη διάρκεια ζωής (7-12 χρόνια). Χρησιμοποιώντας λοιπόν αντίστοιχες μεθόδους, το αρδευτικό νερό και τα υδατοδιαλυτά λιπάσματα μεταφέρονται απευθείας στην ενεργή ζώνη του ριζοστρώματος, κάτι που αποτελεί μεγάλο πλεονέκτημα ειδικότερα για τα δυσκίνητα θρεπτικά στοιχεία του εδάφους (Solomon, 1993). Επίσης, η μόνιμη τοποθέτηση αυτών των συστημάτων κάτω από την επιφάνεια του εδάφους μειώνει μακροπρόθεσμα το κόστος εργασίας. Το υψηλό κόστος εγκατάστασης και οι δυσκολίες επιθεώρησης και επισκευής του συστήματος είναι τα μειονεκτήματα της μεθόδου. Επίσης είναι απαραίτητη η επιφανειακή άρδευση προφυτρωτικά.

Σκοπός της έρευνας αυτής ήταν να αξιολογηθεί η επίδραση των αναφερθέντων μεθόδων άρδευσης στην ανάπτυξη και παραγωγικότητα της καλλιέργειας αυτής.

## 2. Υλικά και μέθοδοι

Η εξέλιξη της ανάπτυξης και της παραγωγικότητας σε βιομάζα του Γλυκού Σόργου [*S. bicolor* (L.) Moench, var. Keller], μελετήθηκαν σε πείραμα αγρού που έλαβε χώρα στο αγρόκτημα του Πανεπιστημίου Θεσσαλίας στο Βελεστίνο (γεωγραφικό πλάτος 39° 23', γεωγραφικό μήκος 22° 45') το έτος 2005, χρησιμοποιώντας ένα πλήρως τυχαιοποιημένο πειραματικό σχέδιο τεσσάρων μεταχειρίσεων (Υπόγεια στάγδην-80% ETm, Επιφανειακή στάγδην-100% ETm, Επιφανειακή στάγδην-80% ETm και Μάρτυρα-χωρίς άρδευση) σε τέσσερις επαναλήψεις.

Η εγκατάσταση της καλλιέργειας έγινε στις 9 Μαΐου του 2005. Για τον προγραμματισμό των δόσεων άρδευσης χρησιμοποιήθηκε η μέθοδος του ανοιχτού εξατμισιμέτρου τύπου A. Κανενός είδους λιπαντική αγωγή δεν εφαρμόστηκε. Το δευτερεύον δίκτυο εφαρμογής της άρδευσης ήταν στο σύνολο των μεταχειρίσεων από πολυαιθυλένιο διατομής Φ20 με αυτορυθμιζόμενους σταλάκτες παροχής 3,6 l ha<sup>-1</sup>. Οι αγωγοί εφαρμογής στην υπόγεια στάγδην άρδευση τοποθετήθηκαν σε βάθος 0,45 m από την επιφάνεια του εδάφους με τη χρήση ειδικού υπεδαφοθέτη. Το σύστημα της υπόγεια στάγδην άρδευσης εξοπλίστηκε με βαλβίδα κενού, για την πρόληψη εισρόφησης νερού όταν πραγματοποιείται διακοπή της άρδευσης, και με φίλτρο δίσκων εμπλουτισμένο με το ζιζανιοκτόνο triflouralin ως ριζοαποθητικού. Οι αυτόματες ηλεκτροβάνες της άρδευσης συνδέθηκαν με ειδικό μικροϋπολογιστή με σκοπό την πλήρη αυτο-

ματοποίηση της διαφοροποιημένης άρδευσης. Καθ' όλη τη διάρκεια της αρδευτικής περιόδου (πρώτο δεκαήμερο του Ιουνίου με τέλος Σεπτεμβρίου) συνολικά πραγματοποιήθηκαν 32 αρδεύσεις και χορηγήθηκαν 659 mm στις επιφανειακές μεταχειρίσεις που αρδεύτηκαν στο 100% των απαιτήσεων σε νερό και 527 mm στις μεταχειρίσεις της επιφανειακής και υπόγειας στάγδην άρδευσης που αρδεύτηκαν στο 80% των απαιτήσεων σε νερό. Συνυπολογίζοντας και το συνολικό ποσό νερού βροχής κατά τη διάρκεια της αρδευτικής περιόδου του 2005, το οποίο ανήλθε στα 112 mm (Σχήμα 1), οι συνολικές εισροές ανήλθαν στα 771 και 639 mm, αντίστοιχα.

Η ανάπτυξη της καλλιέργειας υπολογίστηκε με βάση την εξέλιξη των μέσων όρων των υψών και του δείκτη φυλλικής επιφάνειας των φυτών, μεγέθη τα οποία μετρήθηκαν περιοδικά καλύπτοντας ολόκληρη την καλλιεργητική περίοδο. Η παραγωγή και παραγωγικότητα σε βιομάζα της καλλιέργειας μετρήθηκε συνολικά σε έξι στελεχοκοπές. Οι μετρήσεις της υγρασίας του εδάφους έλαβαν χώρα καθ' όλη τη διάρκεια των αρδεύσεων και πραγματοποιήθηκαν λίγο πριν την άρδευση και μία ημέρα μετά από αυτήν, έως και το βάθος του 1,2 m. Τα μετεωρολογικά δεδομένα (ημερήσια ελάχιστη και μέγιστη θερμοκρασία αέρα, βροχόπτωση) καταγράφηκαν από έναν πλήρως αυτοματοποιημένο μετεωρολογικό σταθμό, ο οποίος εγκαταστάθηκε για το σκοπό αυτό σε απόσταση 50 m από το κέντρο του πειραματικού αγρού συμπεριλαμβανομένου του εξατμισόμετρου τύπου A για την μέτρηση της ημερήσιας εξατμίσσης.

### **3. Αποτελέσματα και συζήτηση**

#### **3.1. Κλιματικά δεδομένα**

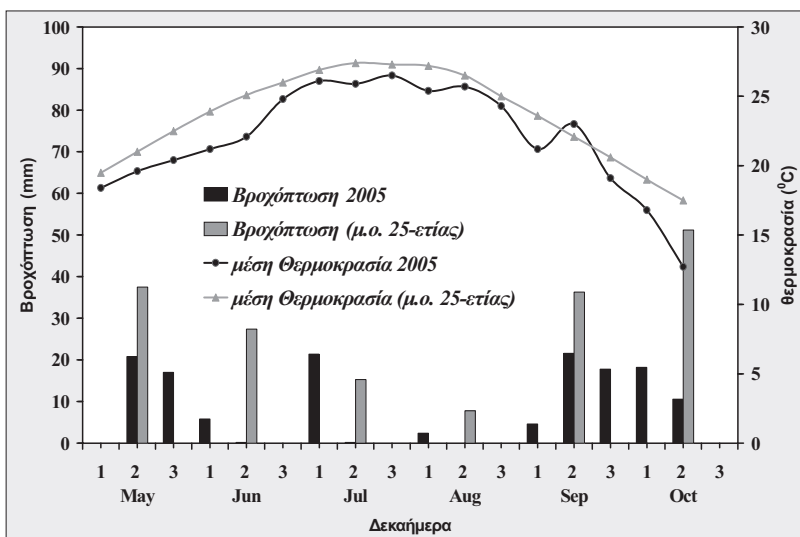
Οι μετρήσεις της θερμοκρασίας του αέρα και της βροχόπτωσης (μέσοι όροι δεκαημέρου), για το έτος 2005 και για ένα τυπικό έτος (μέσοι όροι 25ετίας), παρουσιάζονται στο Σχήμα 1.

Με μόνη εξαίρεση τον μήνα Μάιο (38 mm βροχής), η καλλιεργητική περίοδος του 2005 μπορεί να χαρακτηριστεί ως άνυδρη με τις συνολικές εισροές σε νερό βροχής να μην ξεπερνούν τα 103 mm, για την περίοδο από τις αρχές Ιουνίου έως και τα μέσα Οκτωβρίου.

#### **3.2. Ανάλυση ανάπτυξης**

##### **3.2.1. Ύψη φυτών**

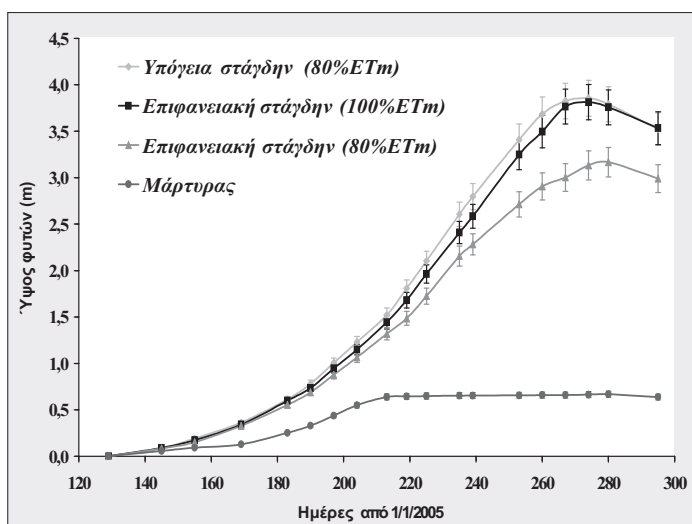
Η ανάλυση ανάπτυξης του Γλυκού Σόργου όπως απεικονίζεται από τους μέσους όρους της εξέλιξης των υψών των φυτών, παρουσιάζεται στο Σχήμα 2. Όπως φαίνεται



**Σχήμα 1.** Τιμές θερμοκρασιών και βροχόπτωσης (μέσοι όροι δεκαημέρων) στην περιοχή μελέτης κατά τη διάρκεια της αναπτυξιακής περιόδου του 2005 και ενός μέσου έτους.

στο σχήμα όλες οι μεταχειρίσεις, με εξαίρεση τον μάρτυρα, επέτυχαν στην αρχή παρεμφερείς ρυθμούς ανάπτυξης. Ενάμιση μήνα μετά την έναρξη της διαφοροποιημένης άρδευσης, τα φυτά που αρδεύτηκαν επιφανειακά και υπόγεια με σταγόνα στο 100% και στο 80% των απαιτήσεων σε νερό παρουσίασαν αξιόλογους ρυθμούς ανάπτυξης της τάξης των  $2,7-3,3 \text{ cm d}^{-1}$ , την περίοδο από 15/7/05 έως και 31/7/05. Σημαντικά μικρότερους ρυθμούς ανάπτυξης, την ίδια περίοδο, εμφάνισαν τα φυτά που αρδεύτηκαν με σταγόνα επιφανειακά στο 80% των απαιτήσεων σε νερό ( $2,0-2,8 \text{ cm d}^{-1}$ ). Είναι επίσης εμφανές στο Σχήμα 2 ότι το σύνολο των μεταχειρίσεων, με εξαίρεση τον μάρτυρα, παρουσίασε αξιοσημείωτους ρυθμούς ανάπτυξης ( $4,3-5,0 \text{ cm d}^{-1}$ ), την περίοδο από 15/8/05 έως και τις αρχές Σεπτεμβρίου. Από τις πρώτες ημέρες του Αυγούστου, μία στατιστικά σημαντική υπεροχή ( $*P < 0,05$ ) παρουσίασαν σε ρυθμούς ανάπτυξης τα φυτά που αρδεύτηκαν επιφανειακά και υπόγεια με σταγόνα στο 100% και στο 80% των απαιτήσεων σε νερό, έναντι των φυτών που αρδεύτηκαν επιφανειακά στάγδην στο 80% των απαιτήσεων σε νερό. Αντίθετα, δεν παρατηρήθηκε κανενός είδους στατιστική υπεροχή μεταξύ των δύο πρώτων μεταχειρίσεων, καθ' όλη τη διάρκεια της παραγωγικής διαδικασίας.

Η υπεροχή της υπόγεια έναντι της επιφανειακής στάγδην άρδευσης για ισόποσες χορηγούμενες δόσεις άρδευσης, οφείλεται στην άμεση διάθεση του αρδευτικού νερού πλησίον της ζώνης του ενεργού ριζοστρώματος των φυτών, τη μέγιστη αποτελεσματικότητα της άρδευσης και την ελαχιστοποίηση των απωλειών λόγω εξάτμισης, συ-



**Σχήμα 2.** Εξέλιξη του ύψους των φυτών του γλυκού σόργου υπό το καθεστώς διαφορετικών μεθόδων άρδευσης για το έτος 2005 στην Κεντρική Ελλάδα [οι μπάρες αναφέρονται σε ελάχιστη σημαντική διαφορά ( $P < 0,05$ )].

νεπικουρούμενου και του φαινομένου διατήρησης υψηλών τιμών εδαφικής υγρασίας στις υπόγειες επαναλήψεις, για 3-5 ημέρες μετά την λήξη της κάθε εφαρμογής.

### 3.3. Ανάλυση παραγωγή

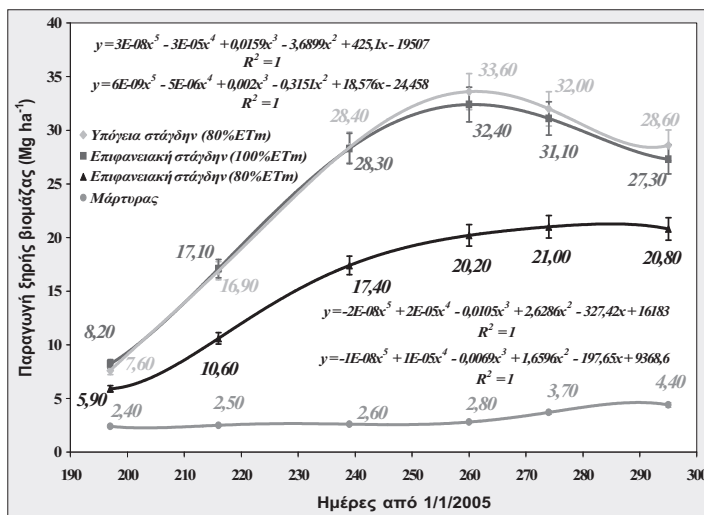
#### 3.3.1. Παραγωγή Χλωρής και Ξηρής Βιομάζας

Στο Σχήμα 3α παρουσιάζεται η εξέλιξη της παραγωγής σε ξηρή βιομάζα των μεταχειρίσεων του Γλυκού Σόργου για το έτος 2005. Όπως φαίνεται, τα φυτά που αρδεύτηκαν με σταγόνα επιφανειακά στο 100% των απαιτήσεων σε νερό και με σταγόνα υπογείως, επέτυχαν υψηλότερες αποδόσεις σε ξηρή βιομάζα έναντι αυτών που αρδεύτηκαν με σταγόνα επιφανειακά στο 80% των απαιτήσεων σε νερό, αναδεικνύοντας έτσι την σαφή ανωτερότητα ( $*P < 0,05$ ) της υπόγεια στάγδην άρδευσης έναντι της επιφανειακής για ισόποσες δόσεις άρδευσης.

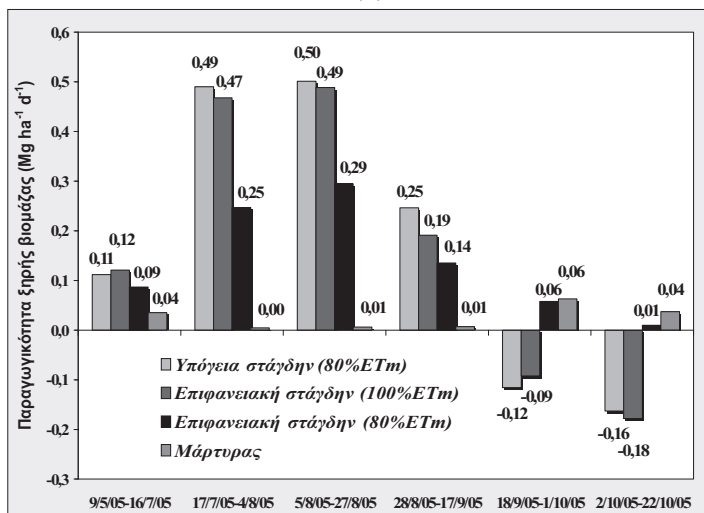
Οι μέγιστες τιμές ξηρής βιομάζας παρατηρήθηκαν στην υπόγεια και στην επιφανειακή στάγδην άρδευσης στο 100% των απαιτήσεων σε νερό στις αρχές του δευτέρου δεκαπενθημέρου του Σεπτεμβρίου και στην επιφανειακή στάγδην στο 80% των απαιτήσεων σε νερό δύο εβδομάδες αργότερα και ήταν αντίστοιχα 33,6, 32,4 και 21,0  $Mg\ ha^{-1}$ . Αντίθετα οι μέγιστες αποδόσεις σε ξηρή βιομάζα του μάρτυρα (χωρίς άρδευση) επιτεύχθηκαν στα τέλη Οκτωβρίου και ήταν αντίστοιχα 14,1 και 4,4  $Mg\ ha^{-1}$ .

Πιο συγκεκριμένα, όπως φαίνεται και στο Σχήμα 3β, την περίοδο από 5/8 έως και

τις 27/8 σημειώθηκαν οι υψηλότεροι ρυθμοί παραγωγικότητας σε ξηρή βιομάζα των μεταχειρίσεων και ήταν  $0,49 \text{ Mg ha}^{-1} \text{ d}^{-1}$  στις επιφανειακές στάγδην επαναλήψεις στο 100% των απαιτήσεων σε νερό και  $0,50 \text{ Mg ha}^{-1} \text{ d}^{-1}$  στις υπόγειες στάγδην επαναλήψεις. Την ίδια περίοδο έκανε την εμφάνιση της και η μέγιστη τιμή παραγωγικότητας στις επαναλήψεις της επιφανειακής στάγδην στο 80% των απαιτήσεων σε νερό η οποία ήταν  $0,29 \text{ Mg ha}^{-1} \text{ d}^{-1}$ .



(α)



(β)

Σχήμα 3. Εξέλιξη της παραγωγής (α) και της παραγωγικότητας (β) σε ξηρή βιομάζα του γλυκού σόργου.

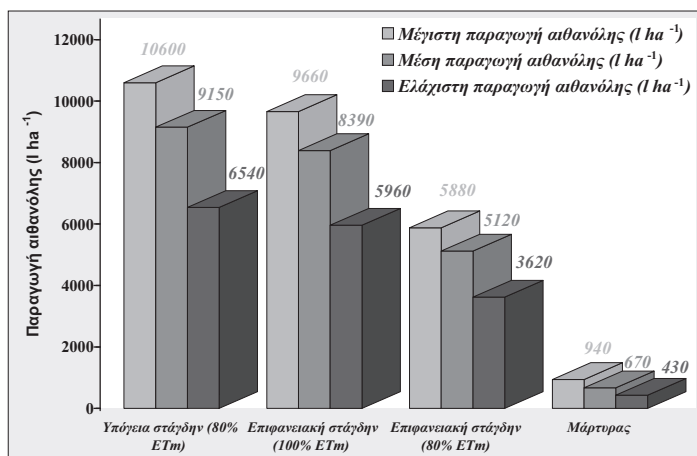
Την περίοδο από 2/10 έως και τις 22/10 παρατηρήθηκαν αρνητικοί ρυθμοί παραγωγικότητας σε αποδόσεις ξηρής βιομάζας στις μεταχειρίσεις της επιφανειακής στάγδην στο 100% των απαιτήσεων σε νερό και στις υπόγειες επαναλήψεις (0,16-0,18 Mg ha<sup>-1</sup> d<sup>-1</sup>).

Αντίθετα στις μεταχειρίσεις της επιφανειακής στάγδην στο 80% των απαιτήσεων σε νερό και στις επαναλήψεις του μάρτυρα δεν παρατηρήθηκαν αρνητικοί ρυθμοί παραγωγικότητας καθ' όλη της αναπτυξιακής διαδικασίας, αποδεικνύοντας έτσι με τον καλύτερο τρόπο το χαρακτηρισμό της καλλιέργειας ως «φυτό καμήλα». Η τελική απόδοση σε ξηρή βιομάζα ήταν 28,6 Mg ha<sup>-1</sup> στις υπόγειες επαναλήψεις και 27,3 Mg ha<sup>-1</sup> στις επιφανειακές στο 100% των απαιτήσεων σε νερό.

Πρόσφατες μελέτες έδειξαν ότι 1 Mg ξηρής βιομάζας αντιστοιχεί σε 0,4 Mg ισοδυνάμων πετρελαίου (Dolcioti et al., 1996) και 1 kg σακχαρόζης μπορεί να αποδώσει 538-700 g ή 648-843 l αιθανόλης με το ειδικό βάρος αυτής να κυμαίνεται από 0,789 έως τα 0,870 kg Γ<sup>-1</sup> (Soldatos and Chatzidaki, 1999).

### 3.3.2. Παραγωγή Ενέργειας

Στο Σχήμα 4 παρουσιάζονται οι μέγιστες, ελάχιστες και μέσες αποδόσεις σε παραγωγή αιθανόλης για το έτος 2005 στην Κεντρική Ελλάδα, οι οποίες εξαρτώνται βέβαια από την εποχή συγκομιδής (βέλτιστη εποχή συγκομιδής για τις αρδευόμενες μεταχειρίσεις 17/9/2005). Είναι προφανές ότι στις υπόγειες επαναλήψεις η μέση παραγωγή σε αιθανόλη ήταν μεγαλύτερη των υπολοίπων μεταχειρίσεων, ακολουθώντας όπως ήταν φυσικό τις υψηλότερες αποδόσεις της μεταχείρισης σε χλωρή και ξηρή βιομάζα.



**Σχήμα 4.** Θεωρητική μέγιστη, ελάχιστη και μέση παραγωγή σε αιθανόλη (l αιθανόλης ha<sup>-1</sup>) του γλυκού σόργου.



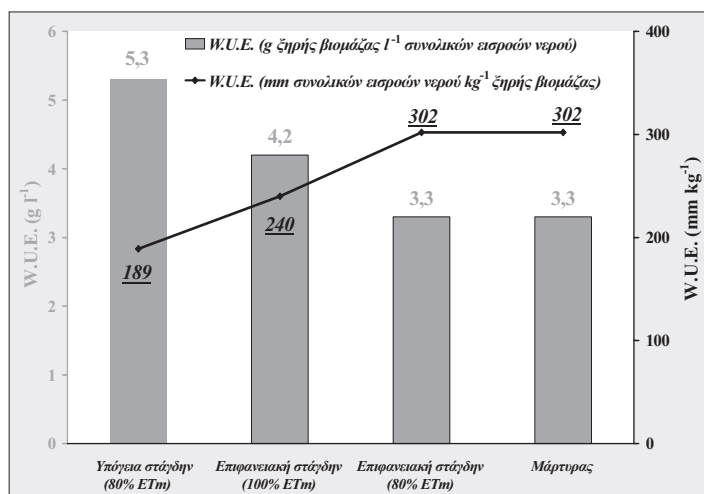
Ένας θεωρητικός τρόπος υπολογισμού της παραγόμενης αιθανόλης από την χλωρή βιομάζα του Γλυκού Σόργου προτάθηκε από τον Lipinski (1978) και τυποποιήθηκε στην εξής σχέση:

Συνολική παραγόμενη αιθανόλη ( $l\ ha^{-1}$ ) = Συνολικό ποσοστό συγκέντρωσης σακχάρων (%) στην χλωρή μάζα των βλαστών των φυτών  $\times 6,5$  (συντελεστής μετατροπής)  $\times 0,85$  (συντελεστής αποδοτικότητας διαδικασίας)  $\times$  συνολική χλωρή βιομάζα ( $Mg\ ha^{-1}$ ).

Αντίστοιχα, σε πρόσφατη πειραματική εργασία (Soldatos and Chatzidaki, 1999), η παραγωγή αιθανόλης από το Γλυκό Σόργο τυποποιήθηκε ως εξής:  $64,8$  έως  $84,3\ l$  αιθανόλης (όρια αντιστοιχίας)  $\times$  συνολική χλωρή βιομάζα ( $Ton\ ha^{-1}$ )  $\times$  το ποσοστό των βλαστών των φυτών επί της συνολικής χλωρής βιομάζας (%).

### 3.3.3. Αποδοτικότητα Νερού Άρδευσης

Η αποδοτικότητα σε αρδευτικό νερό, όπως προτάθηκε από τον Monteith το 1993 (λόγος της ξηρής βιομάζας προς το σύνολο των εισροών σε νερό, ήτοι: αρδευτικό νερό, βροχόπτωση και νερό αποθηκευμένο στο έδαφος), του Γλυκού Σόργου για το έτος 2005, στο σύνολο των μεταχειρίσεων, παρουσιάζεται στο Σχήμα 5 (η επιφανειακή απορροή και η βαθιά διήθηση εξαιρέθηκαν).



**Σχήμα 5.** Αποδοτικότητα νερού (λόγος παραγωγής σε ξηρή βιομάζα προς συνολικές εισροές σε νερό-“άρδευση, βροχόπτωση, αποθηκευμένο νερό”) του γλυκού σόργου

Όπως φαίνεται, στην υπόγεια στάγδην άρδευση επιτεύχθηκαν υψηλότερες τιμές σε αποδοτικότητα αρδευτικού νερού. Πιο συγκεκριμένα, η μέγιστη ποσοστιαία δια-

φορά μεταξύ της υπόγειας στάγδην και της επιφανειακής στάγδην στο 100% των απαιτήσεων σε νερό παρατηρήθηκε την περίοδο από τα μέσα Σεπτεμβρίου έως τα τέλη Οκτωβρίου (περίπου 21%). Επιπλέον, η ποσοστιαία διαφορά μεταξύ της υπόγειας στάγδην και της επιφανειακής στάγδην στο 80% των απαιτήσεων σε νερό ήταν σαφώς υψηλότερη και άγγιξε το 38%. Αντίθετα, η διαφορά μεταξύ των δύο επιφανειακών στάγδην μεταχειρίσεων κινήθηκε σε συμβατά όρια, αναλογικά ίση με την διαφορά τους σε δόσεις άρδευσης (περίπου 21%). Τέλος, η διαφορά της ποσοστιαίας αποδοτικότητας σε νερό άρδευσης μεταξύ των μεταχειρίσεων της επιφανειακής στάγδην στο 80% των απαιτήσεων σε νερό και του μάρτυρα, ήταν σχεδόν μηδενική.

Αποδείχθηκε ότι μία μείωση των χορηγούμενων δόσεων άρδευσης κατά 38% αντιστοιχεί σε μείωση των τιμών παραγωγικότητας κατά 22% και σε μία αύξηση της αποδοτικότητας της άρδευσης από 4,05 έως 5,00 g l<sup>-1</sup> (Foti et al., 2004).

#### 4. Συμπεράσματα

Λαμβάνοντας υπόψη τα αποτελέσματα της πρώτης καλλιεργητικής περιόδου, συμπεραίνεται ότι η υπόγεια στάγδην άρδευση υπερέρχει της επιφανειακής στάγδην τόσο σε ποσοτικούς όσο και σε ποιοτικούς δείκτες ανάπτυξης, παραγωγικότητας και αποδοτικότητας σε νερό άρδευσης όσον αφορά την καλλιέργεια του Γλυκού Σόργου (var. Kelller), στην Κεντρική Ελλάδα.

Αυτή βέβαια η υπεροχή ήταν αναμενόμενη εξαιτίας της μείωσης των απωλειών λόγω εξάτμισης του επιφανειακού εδάφους και της αμεσότερης προσέγγισης του αρδευτικού νερού από το ενεργό ριζόστρωμα των φυτών. Επιπλέον, στις επαναλήψεις της υπόγειας στάγδην άρδευσης 189 l αρδευτικού νερού απαιτήθηκαν για την παραγωγή 1 kg ξηρής βιομάζας, όταν οι απαιτήσεις στις επιφανειακές στάγδην μεταχειρίσεις στο 100% και στο 80% των απαιτήσεων σε νερό ήταν 240 και 302 l, αντίστοιχα.

Επίσης, η ωφελιμότητα σε νερό άρδευσης της καλλιέργειας του Γλυκού Σόργου ήταν μεγαλύτερη από αυτήν που αρχικά είχε υποτεθεί (20%) μεταξύ της υπόγειας και της επιφανειακής στάγδην άρδευσης για ισόποσες χορηγούμενες δόσεις άρδευσης και κυμάνθηκε σε υψηλά επίπεδα (38%).

Η μέθοδος λοιπόν της υπόγειας στάγδην άρδευσης αποδείχθηκε ως η πλέον ελπιδοφόρα και πρέπει να ληφθεί σοβαρά υπόψη σε νέες επενδύσεις στο χώρο της γεωργίας και ειδικότερα σε εφαρμογές χαμηλών εισροών όπως τα ενεργειακά φυτά. Τέλος, έχοντας υπόψη τις αποδόσεις, του Γλυκού Σόργου, σε παραγωγή χλωρής βιομάζας και αιθανόλης υπό το καθεστώς διαφορετικών μεθόδων και δόσεων άρδευσης, το φυτό αυτό αποδείχθηκε έως η πλέον ελπιδοφόρα εναλλακτική καλλιέργεια για την παραγωγή βιομάζας και ενέργειας στην Κεντρική Ελλάδα για το άμεσο μέλλον.

## Βιβλιογραφία

1. Curt, M.D., Fernandez, J. and Martinez, M., 1995. Productivity and water use efficiency of sweet sorghum (*Sorghum bicolor* (L.) Moench) cv. “Keller” in relation to water regime. *Biomass Bioenergy*, 8 (6): 401–409.
2. Dolcioti, A., Mambelli, S., Grandi, S. and Venturi, G., 1996. Comparison of two Sorghum genotypes for sugar and fiber production. In: *Crops Prod.* 7, 265–272.
3. FAO Production, 2002. Sweet Sorghum in China.
4. Foti, S., Cosentino, S., Patane, C. and Mantineo, M., 2004. Sweet sorghum in Mediterranean environment. In: *Proceedings of the 2<sup>nd</sup> World Conference on Biomass for Energy, Industry and Climate Protection*, Rome, Italy, 10–14 May, pp. 391–394.
5. Kavidakis, G., Nikolaou, A., Alexopoulou, E., Natioti, H., Mitsiou, C., Panoutsou, C. and Danalatos, N., 2000. Growth, productivity and sugar yields of sweet sorghum (var Keller) in central Greece. In: *Proceedings of the 2<sup>nd</sup> National Conference of Agricultural Engineers (HelAgEng)*. Volos, Greece, (in Greek), pp. 205–212.
6. Lipinski, E.S., 1978. Sugar crops as a source of fuels, vol. II. Processing and Conversion, Research Dept. of Energy. Final Report. Battelle Columbus Labs, OH.
7. Monteith, J.L., 1993. The exchange of water and carbon by crops in a Mediterranean climate. *Irrigation Sci.*, 14: 85–91.
8. Phene, C.J., Hutmacher, R.B. and Ayars, J.E., 1993. Subsurface drip irrigation: Realizing the full potential. In: *Proceeding Workshop*, Visalia, California.
9. Sakellariou-Makrantonaki, M., Kalfountzos, D. and Vyrilas, P., 2001. Irrigation water saving and yield increase with subsurface drip irrigation. In: *Proceedings of the 7<sup>th</sup> International Conference on Environmental Science and Technology* Ermoupolis, Syros Island, Greece, pp. 466–473.
10. Sakellariou-Makrantonaki, M., Kalfountzos, D., Vyrilas, P., 2002. Water saving and yield increase of sugar beet with subsurface drip irrigation. *Global Nest*, 4(2-3):85-91.
11. Sakellariou-Makrantonaki, M., Papalexis, D., Nakos, N., Dassios, S., Chatzinikos, A., Papanikos, N. and Danalatos, N., 2006. Potential and water-limited growth and productivity of fiber sorghum in central Greece irrigated by surface and subsurface drip methods on a rainy and a dry year. In: *Proceedings of the 6<sup>th</sup> International Conference of IASME/ WSEAS International Conference on Energy and Environmental Systems*, Chalkida, Greece, May 8–10, pp. 49–54.
12. Soldatos, P. and Chatzidaki, M., 1999. Economic evaluation of biofuel production in Greece. The case of ethanol. In: *Proceedings of “AgEnergy 99*, vol. 2. pp. 973–980.
13. Solomon, K., 1993. Subsurface drip irrigation: product selection and performance. In: *Jorgensen, G.S., Norum, K.N. (Eds.), Subsurface Drip Irrigation: Theory Practice and Application*. CATI Publication, No. 92100