



ΤΜΗΜΑ ΓΕΩΠΟΝΙΑΣ ΦΥΤΙΚΗΣ ΠΑΡΑΓΩΓΗΣ  
& ΑΓΡΟΤΙΚΟΥ ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝΤΟΣ  
Αριθμ. Πρωτοκ 417  
Ημερομηνία 27-2-13

## Πανεπιστήμιο Θεσσαλίας Σχολή Γεωπονικών Επιστημών

Τμήμα Γεωπονίας, Φυτικής Παραγωγής και Αγροτικού Περιβάλλοντος



Αύξηση και ανάπτυξη του πολυετούς ενεργειακού φυτού *Panicum virgatum*  
(Switchgrass) στην Κεντρική Ελλάδα

Σάκκου Σοφία

Επιβλέπων Καθηγητής: Ν.Γ.Δαναλάτος

Βόλος, Φεβρουάριος 2013



**ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΘΕΣΣΑΛΙΑΣ  
ΒΙΒΛΙΟΘΗΚΗ & ΚΕΝΤΡΟ ΠΛΗΡΟΦΟΡΗΣΗΣ  
ΕΙΔΙΚΗ ΣΥΛΛΟΓΗ «ΓΚΡΙΖΑ ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ»**

Αριθ. Εισ.: 11624/1  
Ημερ. Εισ.: 30/04/2013  
Δωρεά: Συγγραφέα  
Ταξιδετικός Κωδικός: ΠΤ-ΦΠΑΠ  
2013  
ΣΑΚ

ΤΜΗΜΑ ΓΕΩΠΟΝΙΑΣ ΦΥΤΙΚΗΣ ΠΑΡΑΓΩΓΗΣ & ΑΓΡΟΤΙΚΟΥ ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝΤΟΣ	
Αριθμ. Πρωτοκ.	417
Ημερομηνία	28-2-13

## ΕΙΣΗΓΗΤΙΚΗ ΕΠΙΤΡΟΠΗ



Νικόλαος Δαναλάτος, Καθηγητής, Επιβλέπων.  
Ιμπραχίμ Αβραάμ Χά, Καθηγητής, Μέλος  
Δημήτριος Μπαρτζιάλης, ΠΔ407/80, Μέλος

## ΕΥΧΑΡΙΣΤΙΕΣ

Η παρούσα εργασία ολοκληρώθηκε υπό την εποπτεία του καθηγητή μου, κυρίου Δαναλάτου Νικόλαου, διδάσκων του Πανεπιστημίου Θεσσαλίας, τον οποίο ευχαριστώ θερμά. Οι πολύτιμες παρατηρήσεις του, οι γνώσεις του και η ηθική του υποστήριξη υπήρξαν καθοριστικά στοιχεία καθ' όλη τη διάρκεια συγγραφής της.

Επίσης θα ήθελα να ευχαριστήσω τον Καθηγητή κ. Ιμπραχίμ Αβραάμ Χά και τον Δρ. κ. Δημήτριο Μπαρτζιάλη για τον χρόνο που διέθεσαν για τη διόρθωση και τις παρατηρήσεις στην πτυχιακή μου.

Επιπλέον, θα ήθελα να ευχαριστήσω θερμά και τον κ. Γιαννούλη Κυριάκο, υποψήφιο διδάκτορα του Πανεπιστημίου Θεσσαλίας, για τη βοήθεια του καθ' όλη τη διάρκεια της διεξαγωγής του πειράματος καθώς και κατά την περαίωση της εργασίας.

**ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ**

ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ	4
ΠΕΡΙΛΗΨΗ	6
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1 - ΕΙΣΑΓΩΓΗ	7
1.1 ΓΕΝΙΚΑ	7
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2- PANICUM VIRGATUM L.	9
2.1 ΠΕΡΙΓΡΑΦΗ	9
2.1.1 ΒΟΤΑΝΙΚΗ ΤΑΞΙΝΟΜΗΣΗ	9
2.1.2 ΠΟΙΚΙΛΙΕΣ	9
2.1.3 ΜΟΡΦΟΛΟΓΙΚΑ ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΤΙΚΑ	10
2.2 ΚΑΛΛΙΕΡΓΗΤΙΚΕΣ ΑΠΑΙΤΗΣΕΙΣ	11
2.2.1 ΈΔΑΦΟΣ	11
2.2.2 ΣΠΟΡΑ	12
2.2.3 ΑΠΟΣΤΑΣΕΙΣ ΦΥΤΕΥΣΗΣ	12
2.2.4 ΛΙΠΑΝΣΗ	13
2.2.5 ΑΠΑΙΤΗΣΕΙΣ ΣΕ ΝΕΡΟ	14
2.2.6 ΖΙΖΑΝΙΟΚΤΟΝΙΑ	14
2.2.7 ΣΥΓΚΟΜΙΔΗ	15
2.2.8 ΑΠΟΔΟΣΕΙΣ	15
2.3 ΧΡΗΣΕΙΣ ΤΟΥ SWITCHGRASS	16
2.3.1 ΕΝΕΡΓΕΙΑ ΑΠΟ ΒΙΟΜΑΖΑ ΚΕΧΡΙΟΥ	16
2.3.2 ΚΑΥΣΗ	16
2.3.3 ΒΙΟΑΙΘΑΝΌΛΗ	16
2.3.4 ΆΛΛΕΣ ΧΡΗΣΕΙΣ	17
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3- ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝΤΙΚΑ ΟΦΕΛΗ ΚΑΛΛΙΕΡΓΕΙΑΣ	18
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4 – ΣΚΟΠΟΣ	20
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 5- ΥΛΙΚΑ ΚΑΙ ΜΕΘΟΔΟΙ	21

5.1 ΠΕΙΡΑΜΑΤΙΚΟ ΣΧΕΔΙΟ	21
5.2 ΕΡΓΑΣΙΕΣ ΣΤΟΝ ΑΓΡΟ	22
5.2.1 ΣΠΟΡΑ	22
5.2.2 ΛΙΠΑΝΣΗ	22
5.2.3 ΆΡΔΕΥΣΗ	23
5.2.4 ΈΛΕΓΧΟΣ ΕΧΘΡΩΝ ΚΑΙ ΑΣΘΕΝΕΙΩΝ	23
5.2.5 ΈΛΕΓΧΟΣ ΖΙΖΑΝΙΩΝ	23
5.3 ΣΥΛΛΟΓΗ ΠΕΙΡΑΜΑΤΙΚΩΝ ΔΕΔΟΜΕΝΩΝ	23
5.4 ΕΡΓΑΣΤΗΡΙΑΚΕΣ ΜΕΤΡΗΣΕΙΣ	24
5.4.1 ΕΠΕΞΕΡΓΑΣΙΑ ΦΥΛΛΩΝ	25
5.5 ΣΥΛΛΟΓΗ ΜΕΤΕΩΡΟΛΟΓΙΚΩΝ ΔΕΔΟΜΕΝΩΝ	25
5.6 ΥΠΟΛΟΓΙΣΜΟΙ	26
5.6.1 ΥΠΟΛΟΓΙΣΜΟΣ ΘΕΡΜΟΜΟΝΑΔΩΝ (ACCUMULATED HEAT UNITS)	26
5.6.2 ΥΠΟΛΟΓΙΣΜΟΣ LAI (LEAF AREA INDEX)	27
5.6.3 ΥΠΟΛΟΓΙΣΜΟΣ SLA (SPECIFIC LEAF AREA)	27
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 6 -ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ	29
6.1 ΚΛΙΜΑΤΟΛΟΓΙΚΕΣ ΣΥΝΘΗΚΕΣ	29
6.2 ΑΥΞΗΣΗ ΚΑΙ ΑΝΑΠΤΥΞΗ ΤΗΣ ΚΑΛΛΙΕΡΓΕΙΑΣ	31
6.2.1 Ύψος Φυτών	31
6.3 ΕΙΔΙΚΗ ΦΥΛΛΙΚΗ ΕΠΙΦΑΝΕΙΑ ΚΑΙ ΔΕΙΚΤΗΣ ΦΥΛΛΙΚΗΣ ΕΠΙΦΑΝΕΙΑΣ	32
6.3.1 ΔΕΙΚΤΗΣ ΦΥΛΛΙΚΗΣ ΕΠΙΦΑΝΕΙΑΣ (LAI)	32
6.3.2 ΔΕΙΚΤΗΣ ΕΙΔΙΚΗΣ ΦΥΛΛΙΚΗΣ ΕΠΙΦΑΝΕΙΑΣ (SLA)	33
6.4 ΣΥΝΟΛΙΚΟ ΧΛΩΡΟ ΒΑΡΟΣ ΦΥΤΩΝ	34
6.5 ΣΥΝΟΛΙΚΟ ΞΗΡΟ ΒΑΡΟΣ ΦΥΤΩΝ	34
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 7 - ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ	36
ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ	37
ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ	40

## ΠΕΡΙΛΗΨΗ

Το *Panicum virgatum* γνωστό και ως switchgrass, είναι ένα γηγενές φυτό της Β. Αμερικής και καλλιεργείται ως επί το πλείστον στις ΗΠΑ. Το switchgrass είναι φυτό C4 και επομένως οι αποδόσεις του σε βιομάζα είναι αυξημένες. Η βιομάζα του είναι πλούσια σε κυτταρίνη, με αποτέλεσμα να καθίσταται η συγκεκριμένη καλλιέργεια σημαντική για την αιθανόλη, την βουτανόλη και γενικότερα για την παραγωγή ενέργειας. Η καλλιέργεια του switchgrass είναι πολυετής και θερμής περιόδου. Έχει παρατηρηθεί ότι η καλλιέργεια αυτή φτάνει στην μέγιστη απόδοση της στον τρίτο χρόνο, ενώ πρέπει να σημειωθεί ότι μπορεί να παράγει βιομάζα για χρονικό διάστημα έως και δώδεκα χρόνια. Κατά τον πρώτο χρόνο της εγκατάστασης η ύπαρξη ζιζανίων στην καλλιέργεια ενδεχομένως να παρεμποδίσει την εγκατάσταση της καλλιέργειας.

Στην Ελλάδα καλλιεργείται σε πειραματικό στάδιο για την παραγωγή υγρών ή στερεών βιοκαυσίμων ή βιομηχανικές πρώτες ύλες. Το switchgrass είναι πολύ ανθεκτικό φυτό και προσαρμόζεται σε διάφορες κλιματολογικές και εδαφικές συνθήκες. Η διάρκεια της καλλιεργητικής περιόδου διαφέρει από περιοχή σε περιοχή. Ως C4 φυτό, το μεγαλύτερο μέρος της ανάπτυξής του εμφανίζεται από το τέλος της άνοιξης με αρχές φθινοπώρου και πέφτει σε αδράνεια κατά τους κρύους μήνες. Το switchgrass αποτελεί σημαντική ενεργειακή καλλιέργεια με δυνατότητα αξιόπιστης παροχής ενέργειας από ανανεώσιμες πηγές, ενώ επίσης δεσμεύει τον C στο έδαφος (Skinner R. H. and Adler P.R., 2010).

Στην παρούσα μελέτη, εξετάζεται η ανάπτυξη και η αύξηση του switchgrass κάτω από τέσσερα διαφορετικά επίπεδα αζωτούχου λίπανσης N ( $N_1 = 0$ ,  $N_2=8$ ,  $N_3=16$  και  $N_4=24$  μονάδες αζώτου), και κάτω από δύο διαφορετικά επίπεδα άρδευσης I ( $I_1=0$  mm και  $I_2=250$  mm) στην περιοχή του Παλαμά Καρδίτσας. Η περιοχή χαρακτηρίζεται από μεσογειακό κλίμα με ζεστά και ξηρά καλοκαίρια και ήπιους και υγρούς χειμώνες.

Στα επόμενα κεφάλαια γίνεται αναφορά, η οποία αφορά την ανάπτυξη της καλλιέργειας και τις γεωργικές μεταχειρίσεις που πραγματοποιήθηκαν. Το Switchgrass βλάστησε στις 24/3/2011. και έφθασε σε μέγιστη παραγωγή ξηρής βιομάζας περίπου ίση με τους 3 τόνους ανά στρέμμα στις 9 Αυγούστου και έπειτα να μειωθεί περί το 15% στα τέλη Σεπτεμβρίου.



## ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1 - ΕΙΣΑΓΩΓΗ

### 1.1 ΓΕΝΙΚΑ

Το επιστημονικό όνομα του switchgrass είναι *Panicum virgatum* και ανήκει στην οικογένεια Poaceae. Είναι ένα πολυετές αγροστώδες φυτό και ανήκει στα C4 φυτά. Το ύψος του μπορεί όταν καλλιεργείται υπό ευνοϊκές συνθήκες να ξεπεράσει και τα 2 μέτρα. Είναι αρκετά φυλλώδες και έχει πολυάριθμες ρίζες, που επιτρέπουν στο φυτό να αδελφώνει. Η καλλιέργεια παρουσιάζει σημαντικά πλεονεκτήματα αφού μπορούν να παραχθούν σημαντικές ποσότητες βιομάζας ακόμα και σε συνθήκες μειωμένων εισροών (π.χ. λίπανση, ζιζινοκτονία). Το Switchgrass συναντάται κυρίως στην Κεντρική και Βόρεια Αμερική, αλλά έχει παρατηρηθεί και στην Νότια Αμερική και στην Αφρική. Επιπλέον το φυτό μπορεί να βρεθεί σε λιβάδια, κατά μήκος των άκρων του δρόμου ακόμα και σαν διακοσμητικό σε κήπους. Στην Ελλάδα καλλιεργείται σε πειραματικό στάδιο για την παραγωγή υγρών και στερεών βιοκαυσίμων ή για την παραγωγή βιομηχανικών πρώτων υλών. Το Switchgrass είναι ένα πολύ ανθεκτικό φυτό και παρουσιάζεται σε διάφορες κλιματολογικές και εδαφικές συνθήκες. Η διάρκεια της κλιματολογικής περιόδου διαφέρει από περιοχή σε περιοχή. Ως ένα πολυετές C4 φυτό, το μεγαλύτερο μέρος της ανάπτυξής του εμφανίζεται από το τέλος της άνοιξης έως τις αρχές φθινοπώρου και πέφτει σε αδράνεια κατά τους κρύους μήνες. Το switchgrass αποτελεί σημαντική ενεργειακή καλλιέργεια με δυνατότητα αξιόπιστης παροχής ενέργειας από ανανεώσιμες πηγές, ενώ επίσης δεσμεύει τον C στο έδαφος (Skinner R. H. and Adler P.R., 2010).

Το switchgrass (*Panicum virgatum* L.) είναι πολυετές C<sub>4</sub>, αγροστώδες φυτό ιθαγενές της Β. Αμερικής και απαντάται νότια του 55° βόρειου γεωγραφικού πλάτους έως τα μέσα του Μεξικού. Συναντάται επίσης τόσο στη Ν. Αμερική όσο και στη Β. Αφρική. Αποτελεί φυτό εδαφοκάλυψης για προστασία από την διάβρωση. Μετά τη εγκατάστασή του, το switchgrass μπορεί να επιβιώσει για δέκα χρόνια ή και περισσότερο. Το switchgrass είναι πολύ ανθεκτικό φυτό και προσαρμόζεται σε διάφορες κλιματολογικές και εδαφικές συνθήκες. Η διάρκεια της καλλιεργητικής περιόδου διαφέρει από περιοχή σε περιοχή. Ως ένα πολυετές C<sub>4</sub> φυτό, το μεγαλύτερο μέρος της ανάπτυξής του εμφανίζεται από το τέλος της άνοιξης με αρχές φθινοπώρου και πέφτει σε αδράνεια κατά τους κρύους μήνες. Έτσι, η παραγωγική σεζόν στις βόρειες περιοχές μπορεί να είναι η συντομότερη από τρεις μήνες, αλλά μπορεί και να φτάσει μέχρι και τους οκτώ μήνες στην ακτή του Περσικού Κόλπου (Ball D.M. et al, 2002).



Από τις αρχές της δεκαετίας του 90 άρχισε να διερευνάται η χρήση του ως ενεργειακό φυτό για την παραγωγή αιθανόλης και για παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας με καύση της παραγόμενης βιομάζας, στις ΗΠΑ και τον Καναδά. Στην Ευρώπη, η έρευνα για την καλλιέργεια του switchgrass ως ενεργειακό φυτό άρχισε το 1998 στο πλαίσιο ενός ευρωπαϊκού δικτύου (FAIR 5 CT97 3701). Στο πλαίσιο αυτού του έργου, δημιουργήθηκαν πειραματικοί αγροί switchgrass σε πέντε ευρωπαϊκές χώρες, δύο στα νότια (Ελλάδα και Ιταλία) και τρεις στο Βορρά (Γερμανία, Ολλανδία και Ηνωμένο Βασίλειο). (Lewandowski et al.,2003).

**ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2- PANICUM VIRGATUM L.****2.1 ΠΕΡΙΓΡΑΦΗ****2.1.1 ΒΟΤΑΝΙΚΗ ΤΑΞΙΝΟΜΗΣΗ**

Η βοτανική ταξινόμηση σύμφωνα με την κατάταξη του USDA έχει ως εξής :

---

Βασίλειο	Φυτικό
Υποβασίλειο	<i>Tracheobionta</i>
Υποδιαίρεση	<i>Spermatophyta</i>
Διαίρεση	<i>Magnoliophyta</i>
Κλάση	<i>Liolipsida</i>
Υποκλάση	<i>Commelinidae</i>
Τάξη	<i>Cyperales</i>
Οικογένεια	<i>Poaceae</i>
Γένος	<i>Panicum</i> L.
Είδος	<i>Panicum virgatum</i> L. – Switchgrass

---

**2.1.2 ΠΟΙΚΙΛΙΕΣ**

Υπάρχουν δύο γενότυποι – οικότυποι. Ο ένας οικότυπος πεδινών περιοχών (**lowland**) είναι τετραπλοειδής γενότυπος και συναντάται σε περιοχές με εύρωστα φυτά. Ο δεύτερος (**upland**) είναι εξαπλοειδής ή οκταπλοειδής γενότυπος, ο οποίος απαντάται σε μεγαλύτερα υψόμετρα. Μία ποικιλία upland και μια lowland παρουσιάζονται στις παρακάτω εικόνες.

Περίπου 20 διαφορετικές ποικιλίες έχουν αξιολογηθεί για την προσαρμογή στις διάφορες περιοχές της Ευρώπης. Ο κύριος καθοριστικός παράγοντας για τον τομέα της προσαρμογής μιας ποικιλίας είναι το γεωγραφικό πλάτος προέλευσης. Τις υψηλότερες αποδόσεις τις έχουν οι νότιες ποικιλίες.

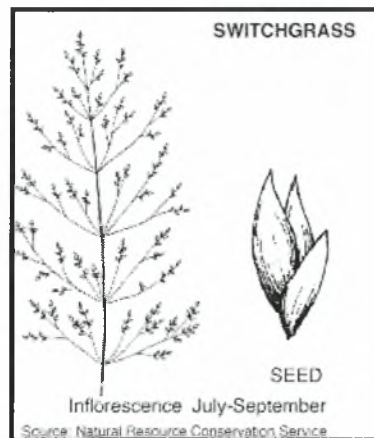
### 2.1.3 ΜΟΡΦΟΛΟΓΙΚΑ ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΤΙΚΑ

Το switchgrass είναι μια πολυετή πόα η οποία αναπτύσσεται σε ύψος 1,5 μέτρο περίπου, αλλά μπορεί να φθάσει και τα τρία μέτρα υπό ευνοϊκές συνθήκες. Το ριζικό σύστημα είναι πλούσιο και φθάνει σε βάθος τα τρία μέτρα (Liebig et al, 2005), συγχρόνως παράγει πολλά νέα ριζίδια κάθε χρόνο, τα οποία όταν νεκρώνονται εμπλουτίζουν το έδαφος με οργανική ουσία. Μάλιστα η υπόγεια παραγωγή βιομάζας, στην πλήρη ανάπτυξη καλλιέργειας, είναι ίση ή και μεγαλύτερη από την υπέργεια (Frank et al, 2004).

Τα φύλλα είναι λογχοειδή πάχους 6-12 χιλιοστά με ευδιάκριτη νεύρωση και στην πάνω επιφάνεια διαθέτει τριχίδια, χαρακτηριστικό που βοηθάει στη μείωση της εξατμισοδιαπνοής. Έχει γλωσσίδα μήκους 1,5-3 χιλιοστά μεμβρανώδη με τριχίδια.

Η ταξιανθία είναι σύνθετος βότρυς, μήκους 15-45 εκατοστών, με κατάληξη σε σταχίδια στις άκρες των μακρών κλαδιών, τα οποία είναι ανθισμένα ανά δύο, δηλαδή ένα γόνιμο και ένα στείρο, μήκους 3-5,5 χιλιοστά.

Ο καρπός είναι μικρός, με σχήμα ωσειδής και οι σπόροι μικροί σε μέγεθος. Η καλλιέργεια του switchgrass για σπόρο μπορεί να παράγει 35-56 κιλά σπόρου ανά στρέμμα. Μάλιστα χρειάζεται σταυρογονιμοποίηση επειδή είναι αυτόσπειρο.



Πηγή: <http://www.riparianbuffers.umd.edu/fact/FS728.html>

## 2.2 ΚΑΛΛΙΕΡΓΗΤΙΚΕΣ ΑΠΑΙΤΗΣΕΙΣ

Η διαχείριση της καλλιέργειας εξαρτάται κυρίως από τις εδαφικές και τις κλιματικές συνθήκες της περιοχής, οι οποίες και θα καθορίσουν την επιλογή του γενότυπου και της ποικιλίας που θα επιλεγεί. Η σχέση γενότυπου – περιβάλλοντος έχει αποδειχθεί ότι είναι πολύ σημαντική (Fike J., David P.J., 2006)

Για να ελέγξουμε αν μια συγκεκριμένη καλλιέργεια μπορεί να αποτελέσει μία ικανοποιητική πρόταση αντικατάστασης παραδοσιακών καλλιεργειών σε μια χώρα, θα πρέπει να ελέγξουμε τα πειραματικά δεδομένα που υπάρχουν για την χώρα αυτή, καθώς και τα πειραματικά δεδομένα που υπάρχουν για παρόμοιες κλιματικές συνθήκες στον υπόλοιπο κόσμο. Η προσαρμογή της ποικιλίας σε συγκεκριμένο περιβάλλον είναι αυτή που καθορίζει το μέγεθος της παραγωγής και την ανταπόκριση στις καλλιεργητικές τεχνικές που εφαρμόζονται.

### 2.2.1 ΈΔΑΦΟΣ

Το switchgrass προτιμά βαθιά εδάφη, με καλή ικανότητα συγκράτησης νερού. Παρόλα αυτά αναπτύσσεται σε ποικιλία εδαφών και αποδίδει ικανοποιητικά (εδάφη: ρηχά, πετρώδη έως περιστασιακά κορεσμένα με νερό, καθώς και σε εδάφη με χαμηλό pH ή σε πολύ χαμηλής γονιμότητας εδάφη). Αντιθέτως ευδοκμεί στα πολύ βαριά αργιλώδη εδάφη (Eldersen H. et al, 2004).

Σε εδάφη με υψηλό pH η απόδοση σε βιομάζα μειώνεται σημαντικά. Το εύρος pH που αναπτύσσεται ικανοποιητικά είναι μεταξύ 4,5 και 7,6 (Virgilio N. Et al, 2007 ). Παρά την ευρεία γκάμα εδαφών που ευδοκμεί, πειράματα έχουν δείξει ότι το μέγεθος της παραγωγής μπορεί να παρουσιάζει σημαντική διαφοροποίηση, ακόμα και μέσα στο ίδιο χωράφι (Kiniry J.R. et al 2005).

Οι απαιτήσεις σε κάλιο δεν είναι μεγάλες, ενώ οι απαιτήσεις του φυτού σε φώσφορο καλύπτονται μέσα από την συμβίωση με μυκόρριζες. Η περιεκτικότητα του εδάφους σε άζωτο καθορίζει και το πλάνο της λίπανσης άρα και το μέγεθος των εισροών.

Οι επικρατούσες εδαφικές συνθήκες παίζουν σημαντικό ρόλο τόσο στο μέγεθος της παραγωγής όσο και στην ποιότητα της παραγόμενης βιομάζας. Την ίδια σημαντική επίδραση έχουν όλες οι μεταχειρίσεις του εδάφους, και κυρίως της λίπανσης (Elbersen H. Et al.2001).

### 2.2.2 ΣΠΟΡΑ

Η σπορά του switchgrass στην Ελλάδα διεξάγεται το Μάιο, όταν η θερμοκρασία του εδάφους ξεπερνά τους 10-15 °C. Η εγκατάσταση του φυτού γίνεται με σπόρο. Οι σπόροι του switchgrass είναι μικροί, σκληροί και έχουν γυαλιστερό περίβλημα. Οι 1000 σπόροι ζυγίζουν περίπου ένα γραμμάριο, αναλόγως του γενότυπου και της ποικιλίας. Κατά την σπορά θα πρέπει να προσεχθεί η βλαστικότητα των σπόρων. Επιπλέον, μελέτες έχουν δείξει ότι το φύτευμα εξαρτάται και από την ηλικία του σπόρου, δηλαδή οι πρόσφατα μαζεμένοι σπόροι έχουν υψηλό ποσοστό λήθαργου και χρειάζονται ειδική μεταχείριση προκειμένου να διακοπή ο λήθαργος (θερμοκρασία 5°C για 2-4 εβδομάδες)

Το βάθος, η θερμοκρασία και η υγρασία του εδάφους αποτελούν ανασταλτικούς παράγοντες φυτρώματος. Το βάθος σποράς κυμαίνεται από 10 έως 15 mm και δεν πρέπει να ξεπερνά τα 20 mm. Η θερμοκρασία εδάφους πρέπει να ξεπερνά τους 10°C. Η υγρασία του εδάφους είναι απαραίτητη, αλλά θα πρέπει να αποφεύγεται η σπορά σε πολύ υγρά εδάφη.

Η ποσότητα σπόρου για την Β. Ευρώπη κυμαίνεται περίπου στα 10 Kgr/ha και για την Ν. Ευρώπη 20 Kgr/ha. Εφόσον η βλαστικότητα του σπόρου είναι άριστη η ποσότητα του σπόρου μπορεί να μειωθεί στο μισό (Monti A. Et al, 2007).

Ο γενότυπος και η ποικιλία καθορίζουν τις ανεκτές και βέλτιστες θερμοκρασίες φυτρώματος. Γενικά ισχύει ότι η ελάχιστη θερμοκρασία φυτρώματος είναι 10 °C, όμως σε θερμοκρασίες κάτω των 15,5 °C το φύτευμα καθυστερεί αρκετά, ενώ στους 29,5 °C οι περισσότεροι σπόροι φυτρώνουν σε τρεις μέρες (Lewandowski I. et al, 2003).

### 2.2.3 ΑΠΟΣΤΑΣΕΙΣ ΦΥΤΕΥΣΗΣ

Η σπορά γίνεται με την σπαρτική μηχανή των σιτηρών, οι δε αποστάσεις μεταξύ των σειρών πρέπει να είναι 15cm (Eldersen H. Et al, 2004). Οι αποστάσεις των σειρών επηρεάζουν τη δέσμευση του άνθρακα, αλλά και την κατανομή μεταξύ υπέργειου και υπόγειου μέρους του φυτού. Η αποθήκευση του άνθρακα στους βλαστούς ήταν μεγαλύτερη κατά 14% σε διάστημα σειρών 80cm από ότι σε 20cm, (Ma Z., et al, 2001).

## 2.2.4 ΛΙΠΑΝΣΗ

Οι κυριότερες πηγές που ρυθμίζουν την παραγωγικότητα του switchgrass, εκτός από την ηλιοφάνεια, είναι το νερό και το άζωτο και για αυτό και αποτέλεσαν πεδίο ιδιαίτερης έρευνας. Οι απαιτήσεις σε λίπανση κάθε καλλιέργειας, εξαρτώνται κυρίως από την γονιμότητα του εδάφους, τις κλιματικές συνθήκες, από την αναμενόμενη παραγωγή και από την φύση της ίδιας της καλλιέργειας (Lemus et al, 2008). Μιλώντας για το switchgrass θα πρέπει να δούμε γενικά τις απαιτήσεις της καλλιέργειας σε θρεπτικά στοιχεία τον χρόνο εφαρμογής των λιπασμάτων και τις επιδράσεις του ύψους των θρεπτικών και κυρίως του αζώτου, στη φυσιολογία του φυτού.

Η διαχείριση του αζώτου είναι μία πολύ σημαντική παράμετρος διότι αποτελεί σημαντικό συντελεστή του κόστους παραγωγής ενώ ταυτόχρονα επιβαρύνει σημαντικά και το λεγόμενο περιβαλλοντικό κόστος (Nelson R.G. et al, 2006), καθώς αποτελεί εισροή υψηλής ενέργειας και μπορεί να καταστεί ρύπος, ο οποίος είναι δυνατόν να μολύνει τα υπόγεια και τα επιφανειακά ύδατα.

Όσον αφορά το κάλιο οι απαιτήσεις είναι μικρές και μόνο σε μεγάλη εδαφική έλλειψη γίνεται εφαρμογή ενώ για τον φώσφορο ισχύουν τα ίδια με την διαφορά ότι το φυτό έχει αναπτύξει μηχανισμούς αξιοποίησης της συμβίωσης με μυκόρριζες (Elbersen H.W., et al, 2001), οπότε τα επόμενα χρόνια, μετά την εγκατάσταση, δεν υπάρχει πρόβλημα έλλειψης.

Κατά την διάρκεια δεκαετούς προγράμματος ελέγχου της καλλιέργειας αποδείχθηκε ότι οι ανάγκες σε άζωτο ήταν 50% λιγότερες από ότι αρχικά πιστευόταν, (McLaughlin S. and Kszos L., 2005). Ενώ οι αρχικές δοκιμές έγιναν με επίπεδα λίπανσης 10 - 30 κιλά ανά στρέμμα, τελικά ανακαλύφθηκε ότι 5 κιλά ανά στρέμμα ήταν επαρκή για τα συστήματα μίας κοπής, (Roger S. et al, 2005).

Η ανταπόκριση στη λίπανση αζώτου εκτός των άλλων εξαρτάται και από τον οικότυπο. Σε πείραμα που διεξήχθη μεταξύ των δύο οικότυπων σε συνθήκες έλλειψης νερού και αζώτου αποδείχθηκε ότι ενώ η αντίδραση, στην έλλειψη νερού ήταν η ίδια, η έλλειψη αζώτου επηρέασε περισσότερο τον οικότυπο ορεινών περιοχών (upland), αν και παρατηρήθηκε υψηλότερη απόδοση σε ξηρή ουσία στον οικότυπο, πεδινών περιοχών (lowland), η οποία αποδόθηκε στη χρονικά μεγαλύτερη βλαστική περίοδο. Αξίζει εδώ να αναφερθεί ότι καλύτερη ό-λων αποδείχθηκε η ποικιλία Alamo μια ποικιλία πεδινών περιοχών (Stroup J.A. et al, 2003).



### 2.2.5 ΑΠΑΙΤΗΣΕΙΣ ΣΕ ΝΕΡΟ

Το νερό είναι σημαντικός παράγοντας που επηρεάζει την απόδοση μιας καλλιέργειας. Η αντοχή του switchgrass σε έλλειψη νερού είναι ικανοποιητική. Ένα ιδιαίτερο χαρακτηριστικό του switchgrass, είναι το πλούσιο ριζικό του σύστημα το οποίο φθάνει σε βάθος 3 μέτρων στον οικοτύπο των πεδινών περιοχών και το οποίο το βοηθά να εκμεταλλεύεται υγρασία από μεγαλύτερα βάθη εδάφους.

Το επίπεδο και η διαθεσιμότητα των υπολοίπων παραγόντων που επηρεάζουν την παραγωγή καθορίζει και τις ελάχιστες ανάγκες σε νερό. Στο συμπέρασμα αυτό κατέληξε έρευνα (Stroup G.A. et al, 2003), κατά την οποία εξετάστηκαν 2 ποικιλίες οικοτύπου πεδινών περιοχών (Alamo και Kanlow) και 2 ποικιλίες οικοτύπου ορεινών περιοχών (Blackwell και Caddo) ως προς τις αντιδράσεις και τον βαθμό επηρεασμού τους σε συνθήκες στρες νερού αλλά και αζώτου. Στα χαμηλά επίπεδα αζώτου, η έλλειψη νερού επηρέασε την παραγωγή σε πολύ μικρότερο ποσοστό από ότι όταν υπήρχε υψηλή αζωτούχος λίπανση. Συγχρόνως και μεταξύ των ποικιλιών ίδιου οικοτύπου, επηρεάστηκε περισσότερο η πιο παραγωγική (Alamo). Επίσης παρατηρήθηκε πολύ καλύτερη αντίδραση των οικοτύπων πεδινών περιοχών από ότι των υψιπέδων, κάτι που ίσως έχει να κάνει με το γεγονός ότι ο φαινότυπος των πεδινών περιοχών εκφράζεται με βαθύτερο ριζικό σύστημα. Προκύπτει λοιπόν ότι οι ανάγκες σε νερό είναι πολύπλοκο ζήτημα διότι εξαρτάται από την διαθεσιμότητα του πόρου, την επιλογή ποικιλίας, τις εισροές σε λίπασμα και τέλος στο ύψος της μέγιστης δυνατής αναμενόμενης παραγωγής. Πειράματα που έχουν εκτελεστεί έδειξαν ότι αρδεύσεις συνολικού ύψους 400mm είναι αρκετές για ικανοποιητική παραγωγή.

### 2.2.6 ΖΙΖΑΝΙΟΚΤΟΝΙΑ

Τα ζιζάνια μπορούν να προκαλέσουν πρόβλημα στην καλλιέργεια κατά τον χρόνο εγκατάστασης, οπότε και απαιτείται χημικός έλεγχος. Συχνά η πίεση από τα ζιζάνια είναι τόσο έντονη, που πολλές φορές έχουμε αποτυχία εγκατάστασης ικανοποιητικού αριθμού φυτών. Τα επόμενα χρόνια και εφόσον έχει επιτευχθεί καλή εγκατάσταση της καλλιέργειας, η κάλυψη του χωραφιού είναι πλήρης και σε συνδυασμό με την αναβλάστηση των φυτών, η οποία γίνεται μέσα στον Απρίλιο, δεν χρειάζεται ζιζανιοκτονία (Piscioneri I. et al, 2001).

Πρόβλημα, αποτελούν τα στενόφυλλα, αγρωστώδη ζιζάνια, τα οποία είναι δύσκολα στην καταπολέμηση τους. Η λύση που προτείνεται είναι το κόψιμο των ζιζανίων αυτών σε ύψος ακριβώς πάνω από την καλλιέργεια.



### 2.2.7 ΣΥΓΚΟΜΙΔΗ

Η συγκομιδή του switchgrass, σε πειράματα που έγιναν στην Ευρώπη, γινόταν μετά την πρώτη παγωνιά, ο χρόνος της οποίας εξαρτάται φυσικά από τα γεωγραφικά και τα κλιματικά στοιχεία της περιοχής. Η συγκομιδή γίνεται με κοινές χορτοκοπτικές, και χορτοδετικές μηχανές.

Η χρονική στιγμή της συγκομιδής έχει σημαντικό ρόλο στη γενικότερη θρέψη του φυτού. Εφόσον αυτή καθυστερήσει και γίνει πολύ αργότερα μετά τον πρώτο παγετό, έχουμε μία μείωση της παραγωγής κατά 20%, άλλα από την άλλη έχουμε σημαντική μεταφορά θρεπτικών από τα υπέργεια μέρη προς τις ρίζες. Αυτό έχει σαν αποτέλεσμα την μείωση των απαιτήσεων σε θρεπτικά (McLaughlin S. and Kszos L., 2005).

### 2.2.8 ΑΠΟΔΟΣΕΙΣ

Η εκμετάλλευση μίας εγκατεστημένης καλλιέργειας switchgrass έχει διάρκεια 10 έως 15 χρόνια. Το ύψος της παραγωγής είναι αυξανόμενο μέχρι τον 5<sup>ο</sup> χρόνο της καλλιέργειας, όπου και κορυφώνεται. Σε θερμό όμως περιβάλλον, σε εδάφη ελαφρά και με καλλιέργεια οικοτύπων πεδινών περιοχών, η κορύφωση της παραγωγής μπορεί να επιτευχθεί από τον τρίτο χρόνο (Eldersen H., et al., 2004).

Το ύψος παραγωγής του switchgrass εξαρτάται όπως είναι φυσικό από πολλούς παράγοντες που έχουν να κάνουν με την περιοχή που καλλιεργείται, με τον οικότυπο και την ποικιλία, με τις εισροές κ.τ.λ. Έτσι, στην παραγωγή βιοκαυσίμων από ενεργειακές καλλιέργειες οι διαχειριστικές μέθοδοι που εφαρμόζονται είναι διαφορετικές από αυτές που εφαρμόζονται όταν η παραγωγή κατευθύνεται σε άλλες χρήσεις, με αποτέλεσμα και οι αποδόσεις να είναι διαφορετικές. Παραδείγματος χάρη όταν το switchgrass καλλιεργείται για παραγωγή ζωοτροφής μπορεί να εφαρμοστούν αραιά συστήματα σποράς που φθάνουν έως και 80 cm μεταξύ των γραμμών, κάτι που ευνοεί την ανάπτυξη μεγαλύτερης φυλλικής επιφάνειας ανά φυτό και απαιτεί υψηλότερα ποσά λίπανσης. Όμως το συγκεκριμένο σύστημα δεν ευνοεί την μέγιστη παραγωγή ξηράς ουσίας για ενεργειακούς σκοπούς, με αποτέλεσμα να εφαρμόζεται σύστημα πυκνής φύτευσης με αποστάσεις 10-15cm,(Eldersen H., et al.,2004).

Το εύρος των αποδόσεων ξηράς ουσίας για ενεργειακούς σκοπούς που έχει καταγραφεί στις ΗΠΑ, είναι 11-28 t/ha με μέγιστη τους 35 t/ha στην Αλαμπάμα (McLaughlin S.B., et al.,2006). Είναι σημαντικό να αναφερθεί ότι οι αποδόσεις αυτές αναφέρονται σε πειραματικά τεμάχια που αντιπροσώπευαν εδάφη χαμηλής έως μέσης, γονιμότητας (McLaughlin S.B. et al, 2006). Στην Ευρώπη οι αποδόσεις κυμάνθηκαν από 6-25 t/ha και οι μέγιστες καταγράφηκαν στις νότιες περιοχές.

## 2.3 ΧΡΗΣΕΙΣ ΤΟΥ SWITCHGRASS

### 2.3.1 ΕΝΕΡΓΕΙΑ ΑΠΟ ΒΙΟΜΑΖΑ ΚΕΧΡΙΟΥ

Η βιομάζα μπορεί να μετατραπεί σε ενέργεια με θερμοχημική μετατροπή (απευθείας καύση, πυρόλυση και αεριοποίηση) ή με ζύμωση των υδρογονανθράκων και την παραγωγή μεθανίου και βιοαιθανόλης (Hamelinck et al, 2005). Η καταλληλότητα της συγκομιδής μιας καλλιέργειας για ενεργειακούς σκοπούς, είτε με την μετατροπή της σε κάποιο καύσιμο είτε με την απευθείας καύση, μπορεί να μετρηθεί από δείκτες που απεικονίζουν το ενεργειακό περιεχόμενο, την πυκνότητα και την ευκολία ανάκτησης της αποθηκευμένης ενέργειας. Αυτοί οι δείκτες είναι που καθορίζουν τελικά την καταλληλότητα και το είδος της χρήσης, της παραγόμενης βιομάζας.

### 2.3.2 ΚΑΥΣΗ

Ένας τρόπος ενεργειακής αξιοποίησης της καλλιέργειας του switchgrass είναι η καύση. Το ενεργειακό περιεχόμενο του είναι συγκρίσιμο με αυτό του ξύλου, με σημαντικά χαμηλότερη αρχική περιεκτικότητα σε υγρασία. Τα βασικά χαρακτηριστικά που καθορίζουν την καταλληλότητα των ενεργειακών καλλιεργειών για καύση ή αεριοποίηση είναι τα εξής: α) το συνολικό περιεχόμενο ενέργειας, β) η περιεκτικότητα σε υγρασία και γ) η χημική σύνθεση της στάχτης που παράγεται στην καύση.

Το συνολικό περιεχόμενο ενέργειας, καθορίζει την μέγιστη ποσότητα θερμότητας που μπορεί να παραχθεί και τελικά την ποσότητα ηλεκτρικής ενέργειας που μπορεί να δημιουργηθεί από την καύση. Για το switchgrass το περιεχόμενο ενέργειας, ποικίλει από περιοχή σε περιοχή σύμφωνα με τη διεθνή βιβλιογραφία. Πιο συγκεκριμένα σε μελέτες που πραγματοποιηθήκαν στις ΗΠΑ (Iowa) αναφέρεται ως 16,4 GJ/t σε γεωγραφικό πλάτος όμοιο με την Ελλάδα (Lemus R. et al, 2002), 17,4 GJ/t σε περιοχές του Καναδά (Madakadze I.C. et al, 1998) και 18,4 GJ/t σε πειράματα στην Αλαμπάμα των ΗΠΑ (McLaughlin S. et al, 1996).

### 2.3.3 ΒΙΟΑΙΘΑΝΟΛΗ

Η βιομηχανία παραγωγής βιοαιθανόλης χρησιμοποιεί δύο ειδών πρώτες ύλες για τη παραγωγή βιοαιθανόλης: α) την παραγωγή από χλωρή βιομάζα πλούσια σε άμυλα ή ζάχαρα (γλυκό σόργο ή καλαμπόκι) και β) την παραγωγή από βιομάζα προερχόμενη είτε από υπολείμματα καλλιεργειών είτε

από φυτά καλλιεργούμενα για τον σκοπό αυτό, χρησιμοποιώντας την κυτταρίνη, την ημικυτταρίνη και την λιγνίνη.

Αναλύσεις που έγιναν από το National Renewable Energy Laboratory (NREL) των ΗΠΑ, έδειξαν ότι το switchgrass είναι κατάλληλο υπόστρωμα για παραγωγή αιθανόλης και υψηλής παραγωγικότητας που αναφέρεται στα 329 l/t (Varvel G.E. et al., 2007).

#### **2.3.4 ΆΛΛΕΣ ΧΡΗΣΕΙΣ**

Επιπλέον το switchgrass μπορεί να χρησιμοποιηθεί για χορτονομή για βοσκή και σανό, για προστασία και έλεγχο της διάβρωσης (σε κανάλια, αναχώματα κ.α), αλλά και ως βιότοποι άγριας φύσης. Τέλος μπορεί να χρησιμοποιηθεί για ίνα ή πολτό για παραγωγή χαρτιού αλλά και για την Παρασκευή βιολογικών υλικών και πλαστικών.

### ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3- ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝΤΙΚΑ ΟΦΕΛΗ ΚΑΛΛΙΕΡΓΕΙΑΣ

Οι περιβαλλοντικές εκροές των υπό μελέτη συστημάτων καλλιέργειών με switchgrass, για παραγωγή βιοενέργειας είναι χαμηλότερες από αυτές των παραδοσιακών καλλιέργειών. Πιο συγκεκριμένα τα περιβαλλοντικά οφέλη έχουν να κάνουν με τη μείωση της νιτρορύπανσης, τη μείωση των φυτοφαρμάκων, τη προφύλαξη από διάβρωση & ερημοποίηση, την αύξηση εδαφικής γονιμότητας, παροχή καταφυγίου στην άγρια πανίδα και τη συμβολή στη κλιματική αλλαγή.

Σύμφωνα με τη διεθνή βιβλιογραφία η καλλιέργεια switchgrass είναι ανθεκτική και δεν προσβάλλεται από σοβαρές ασθένειες και έντομα. Ως εκ τούτου η χρήση μυκητοκτόνων, εντομοκτόνων και ζιζανιοκτόνων είναι μηδενική. Πρέπει ωστόσο να αναφερθεί και η συμβολή της καλλιέργειας στην αύξηση της γονιμότητας των εδαφών με τον εμπλουτισμό τους με οργανική ουσία και τη δημιουργία καλής δομής, έτσι ώστε να δίνει μεγάλες αποδόσεις στις επόμενες καλλιέργειες. Η βελτίωση της εδαφικής ποιότητας κατά την καλλιέργεια του switchgrass είναι ένα γεγονός που υποστηρίζουν πρόσφατες εδαφολογικές μελέτες τους, ενώ ταυτόχρονα παρατηρήθηκε μια αύξηση της ποσότητας και βελτίωση της ποιότητας της οργανικής ουσίας του εδάφους μετά από μόνο τέσσερα χρόνια καλλιέργειας στην γεγονότα που αποδίδονται στο πλούσιο ριζικό σύστημα της καλλιέργειας (Wright L. , 2007).

Το έδαφος σε κάθε περίπτωση δεσμεύει μεγάλη ποσότητα από CO<sub>2</sub> και σύμφωνα με υπολογισμούς είναι 10 φορές περισσότερη από αυτήν που ελευθερώνεται από την καύση των ορυκτών καυσίμων (Raich J.W. and Tufekcioglu A., 2000). Άρα μια μικρή αύξηση της ικανότητας αυτής του εδάφους να δεσμεύει CO<sub>2</sub> είτε άμεσα από την ατμόσφαιρα, είτε έμμεσα με την εναπόθεση οργανικής ουσίας, μπορεί να οδηγήσει σε σημαντική μείωση του ατμοσφαιρικού CO<sub>2</sub>. (Schlesinger W.H. and Andrews J.A., 2000). Παράλληλα όλες οι καλλιεργητικές πρακτικές επηρεάζουν την εν λόγω ικανότητα του εδάφους αφού επηρεάζουν χαρακτηριστικά του όπως τη θερμοκρασία, την υγρασία, τον λόγο C/N ή την μικροβιακή δραστηριότητα. Η αζωτούχος λίπανση που προστέθηκε για την παραγωγή βιομάζας από switchgrass βρέθηκε ότι δεν επηρέασε την ικανότητα του εδάφους για δέσμευση ούτε αύξησε τις εκπομπές CO<sub>2</sub> προς την ατμόσφαιρα (Frank A.B. et al, 2002).

Σε μελέτη που έγινε για την περιεκτικότητα του εδάφους σε οργανικό άνθρακα, μεταξύ καλλιέργειας switchgrass και ποικίλων εδαφών όπου καλλιεργούνταν διάφορα είδη για χρήσεις παραδοσιακές, βρέθηκε ότι η περιεκτικότητα του εδάφους με καλλιέργεια switchgrass περιείχε μεγαλύτερη ποσότητα οργανικού άνθρακα. Ιδιαίτερα στα βάθη 60 - 90 cm και 90 -120 cm, με διαφορά που έφτανε τα 7.74 και 4.35 t/ha (Liebig M.A. et al, 2005). Στο ίδιο αποτέλεσμα κατέληξαν

και άλλοι ερευνητές, οι οποίοι βρήκαν την μέγιστη διαφορά μεταξύ 60-900 cm (Frank A.B. et al, 2004).

Άλλες σημαντικές επιδράσεις της καλλιέργειας έχουν να κάνουν με την ρύπανση από νιτρικά. Σε πείραμα στο Κάνσας των ΗΠΑ το switchgrass μείωσε την επιφανειακή απορροή των νιτρικών ( $\text{NO}_3^-$ ) κατά 38% και βελτίωσε σημαντικά την ποιότητα των υπόγειων υδάτων (Nelson R.G. et al, 2006).

Επιπρόσθετα ως προς τη συμβολή του switchgrass στην προφύλαξη από τη διάβρωση και την ερημοποίηση, αυτό καλύπτει πλήρως το έδαφος προστατεύοντας το από την διάβρωση που είναι ιδιαίτερα απειλητική στα επικλινή εδάφη της ξηροθερμικής ζώνης της χώρας μας. Σε πείραμα στο Κάνσας των ΗΠΑ το switchgrass μείωσε την διάβρωση κατά 98% και σε σχέση με παραδοσιακές καλλιέργειες (Nelson R.G. et al, 2006).

Σύμφωνα με τους Skinner R. H. και Adler P.R., (2010), το switchgrass συμβάλλει στη διατήρηση του φυσικού περιβάλλοντος και της άγριας φύσης αφού αποτελεί καταφύγιο ειδών πουλιών θήρας. Οι μικροί σπόροι του είναι αρεστοί σε πολλά είδη της άγριας ορνιθοπανίδας. Ανάλογα με πόσο πυκνοφυτεμένο είναι το switchgrass μπορεί να προσφέρει άριστη χορτονομή και να καλύψει μια ευρεία ποικιλία της άγριας πανίδας.

Το switchgrass όπως και άλλα αγρωστώδη θα μπορούσε να αποτελέσει σημαντική λύση για την επίτευξη των στόχων μείωσης εκπομπών των αερίων του θερμοκηπίου. Σύμφωνα με μελέτη στον Καναδά, τα pellets από switchgrass μπορούν να μειώσουν τις εκπομπές αερίων του θερμοκηπίου κατά περίπου 90% σε σύγκριση με τη χρησιμοποίηση των ορυκτών καυσίμων. Το switchgrass μπορεί επίσης να μειώσει τις εκπομπές μέσω της αυξημένης αποθήκευσης διοξειδίου του άνθρακα στις ρίζες και στην οργανική ύλη του εδάφους. Έχει διαπιστωθεί ότι η αντικατάσταση παραδοσιακών καλλιεργειών με switchgrass στις Ηνωμένες Πολιτείες είχε ως αποτέλεσμα την αποθήκευση 40 t/ha  $\text{CO}_2$  στο έδαφος (Samson R., 2007).

## ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4 – ΣΚΟΠΟΣ

Το πείραμα έλαβε χώρα στην περιοχή του Παλαμά Καρδίτσας, με κλίμα μεσογειακό, δηλαδή έχει υγρούς και ψυχρούς χειμώνες, ξηρά και θερμά καλοκαίρια. Σκοπός της παρούσης έρευνας ήταν ο έλεγχος της προσαρμοστικότητας του πολυετούς φυτού *Panicum virgatum* (Switchgrass), στην περιοχή της κ. Ελλάδας και πιο συγκεκριμένα στη Θεσσαλία. Κύριο θέμα της έρευνας ήταν ο ρυθμός αύξησης και ανάπτυξης της καλλιέργειας σε ένα έδαφος αμμοπηλώδες κάτω από διαφορετικές μεταχειρίσεις.

## ΚΕΦΑΛΑΙΟ 5- ΥΛΙΚΑ ΚΑΙ ΜΕΘΟΔΟΙ

### 5.1 ΠΕΙΡΑΜΑΤΙΚΟ ΣΧΕΔΙΟ

Για τους σκοπούς της μελέτης, πραγματοποιήθηκε πείραμα αγρού στην περιοχή του Παλαμά Καρδίτσας κατά την καλλιεργητική περίοδο 2010-2011.

Το πειραματικό σχέδιο ήταν παραγοντικό 2x4 (split-plot), με 2 παράγοντες και 4 επαναλήψεις. Οι παράγοντες ήταν:

Α) Δύο διαφορετικά επίπεδα άρδευσης, και συγκεκριμένα:

- Επίπεδο I<sub>1</sub>: 0 mm άρδευσης
- Επίπεδο I<sub>2</sub> (100% ΕΤο): 250 mm άρδευσης

Β) Αζωτούχος λίπανση (N) στα υπο-τεμάχια με τέσσερα επίπεδα και πιο συγκεκριμένα:

- Επίπεδο N<sub>1</sub>: 0 μονάδες αζώτου
- Επίπεδο N<sub>2</sub>: 8 μονάδες αζώτου
- Επίπεδο N<sub>3</sub>: 16 μονάδες αζώτου
- Επίπεδο N<sub>4</sub>: 24 μονάδες αζώτου

N - 0	N - 8	N - 16	N - 24	I R R I G A T E D
N - 8	N - 0	N - 24	N - 16	
N - 16	N - 24	N - 0	N - 8	
N - 24	N - 16	N - 8	N - 0	
N - 24	N - 16	N - 8	N - 0	R A I N F E D
N - 16	N - 24	N - 0	N - 8	
N - 8	N - 0	N - 24	N - 16	
N - 0	N - 8	N - 16	N - 24	
BLOCK I	BLOCK II	BLOCK III	BLOCK IV	



Κάθε επανάληψη (block) είχε διαστάσεις 200 m x 3,2 m (εμβαδόν 640 m<sup>2</sup>) και αποτελούνταν από 8 πειραματικά υπό-τεμάχια εμβαδού 25 m x 3,2 m = 80 m<sup>2</sup>. Το σύνολο της έκτασης του πειραματικού αγρού ήταν 15 x 200 = 3000 m<sup>2</sup> (συμπεριλαμβανομένων και των διαδρόμων). Όπως φαίνεται και στο παραπάνω πειραματικό σχέδιο (σχήμα).

## 5.2 ΕΡΓΑΣΙΕΣ ΣΤΟΝ ΑΓΡΟ

### 5.2.1 ΣΠΟΡΑ

Για την διεξαγωγή του πειράματος χρησιμοποιήσαμε φυτεία η οποία είχε εγκατασταθεί στον αγρό το έτος 2009 και βρισκόταν στο τρίτο έτος της. Για την εγκατάσταση της συγκεκριμένης φυτείας χρησιμοποιήθηκε σπόρος Switchgrass (variety Alamo). Η σπορά των τεμαχίων έγινε με σπαρτική μηχανή σιτηρών και ο απαιτούμενος σπόρος που χρειάστηκε για την σπορά του αγρού ήταν 800 γραμμάρια ανά στρέμμα.

### 5.2.2 ΛΙΠΑΝΣΗ

Η λίπανση πραγματοποιήθηκε σύμφωνα με το πειραματικό σχέδιο, στο οποίο προβλέπονται τέσσερα διαφορετικά επίπεδα λίπανσης αζώτου ( $N_1=0$  μονάδες N,  $N_2=8$  μονάδες N,  $N_3=16$  μονάδες N και  $N_4=24$  μονάδες N). Στα υπό-τεμάχια  $N_1$  δεν εφαρμόστηκε καμία λίπανση, ενώ για τη λίπανση των  $N_2$ ,  $N_3$  και  $N_4$  υπό-τεμαχίων χρησιμοποιήθηκε ουρία (46-0-0). Για τα  $N_1$  υπό-τεμάχια εφαρμόστηκαν 570gr και στα  $N_2$  υπό-τεμάχια 1140gr αντιστοίχως του παραπάνω λιπάσματος. Η λίπανση πραγματοποιήθηκε στις 11/6/2011.

Η λίπανση που εφαρμόστηκε στον πειραματικό αγρό του 3<sup>ου</sup> έτους είναι η ακόλουθη σε κάθε μεταχείριση (plot):

ΛΙΠΑΝΣΗ 3ου ΕΤΟΥΣ
N-0 =0kg
N-8 =1.39kg
N-16 =2.78kg
N-24 =4.17kg

### 5.2.3 ΑΡΔΕΥΣΗ

Κατά τη διάρκεια διεξαγωγής του πειράματος πραγματοποιήθηκαν 5 αρδεύσεις στο αρδευόμενο τεμάχιο I<sub>2</sub> (100%), αφού ένας από τους σκοπούς του πειράματος ήταν και η μελέτη της αύξησης και ανάπτυξης του switchgrass σε όλες τις συνθήκες, ξηρικές (I<sub>1</sub>) αλλά και αρδευόμενες (I<sub>2</sub>). Έτσι τα φυτά στο τεμάχιο I<sub>1</sub> είχαν στη διάθεσή τους το νερό των βροχοπτώσεων ενώ για του αρδευόμενου τεμαχίου I<sub>2</sub> είχαν 250mm. Η καλλιέργεια αρδεύτηκε με καταιονισμό (κανόνι).

Οι ημερομηνίες άρδευσης κατά την καλοκαιρινή περίοδο καθώς και οι ποσότητες άρδευσης φαίνονται στον ακόλουθο πίνακα:

ΑΡΔΕΥΣΗ Switchgrass		mm
1η	4/7/2011	50
2η	14/7/2011	50
3η	25/7/2011	50
4η	4/8/2011	50
5η	14/8/2011	50

### 5.2.4 ΈΛΕΓΧΟΣ ΕΧΘΡΩΝ ΚΑΙ ΑΣΘΕΝΕΙΩΝ

Κατά τη διάρκεια του πειράματος δεν παρατηρήθηκε καμία σοβαρή προσβολή των φυτών από εχθρούς ή ασθένειες και κατά συνέπεια δεν έγινε καμία εφαρμογή φυτοπροστατευτικών σκευασμάτων. Κρίνεται όμως σκόπιμο να αναφερθεί η ύπαρξη μεγάλης βιοποικιλότητας στην καλλιέργεια (όπως βατράχια, βύδρες, διάφορα είδη πουλιών κ.α).

### 5.2.5 ΈΛΕΓΧΟΣ ΖΙΖΑΝΙΩΝ

Λόγω του ότι η καλλιέργεια βρισκόταν στο τρίτο έτος εγκατάστασης της η ζιζανιοκτονία που πραγματοποιήθηκε ήταν μηχανική (σκαλιστήρι ανάμεσα στις επαναλήψεις-διαδρόμους).

## 5.3 ΣΥΛΛΟΓΗ ΠΕΙΡΑΜΑΤΙΚΩΝ ΔΕΔΟΜΕΝΩΝ

Η αύξηση και ανάπτυξη της καλλιέργειας μελετήθηκε με έξι (6) δειγματοληψίες – κοπές κατά τη διάρκεια της καλλιεργητικής περιόδου. Οι δειγματοληψίες – κοπές πραγματοποιήθηκαν:

- Η πρώτη στις 11/6/2011
- Η δεύτερη στις 27/6/2011
- Η τρίτη στις 11/7/2011
- Η τέταρτη στις 25/7/2011
- Η πέμπτη στις 9/8/2011
- Η έκτη στις 29/9/2011

Σε κάθε κοπή επιλεγόταν τυχαία μέσα στο κάθε πειραματικό υπό-τεμάχιο πλαίσιο  $1 \text{ m}^2$  και κοβόντουσαν όλα τα φυτά που βρισκόντουσαν μέσα σε αυτό. Η επιλογή των φυτών γινόταν συνήθως από το κέντρο του υπό-τεμαχίου. Αυτό έγινε γιατί παράγοντες όπως η λίπανση απαιτούν μεγάλα τεμάχια διότι η επίδραση τους επεκτείνεται και στα αλλιά τεμάχια, ώστε μεταξύ τεμαχίων πρέπει να υπάρχουν περιθωριακές γραμμές, που θα εξομαλύνουν την επίδραση του περιθωρίου – border effect – ενώ οι μετρήσεις θα γίνονται στο κεντρικό τμήμα του τεμαχίου δηλαδή στις πειραματικές γραμμές.

Μετά την κοπή των φυτών, μετριόταν το ύψος και το βάρος ολόκληρου του δείγματος και 10 φυτά από κάθε πειραματικό τεμάχιο τοποθετούνταν μέσα σε πλαστική σακούλα πάνω στην οποία αναγραφόταν ο αριθμός του τεμαχίου από το οποίο λήφθηκε το δείγμα.

Στην πρώτη κοπή, δηλαδή πριν από την πρώτη άρδευσης ελήφθησαν 8 δείγματα, ένα από κάθε επίπεδο λίπανσης, ενώ στις επόμενες κοπές, δηλαδή μετά την εφαρμογή των μεταχειρήσεων, ελήφθησαν 32 δείγματα κάθε φορά.

#### 5.4 ΕΡΓΑΣΤΗΡΙΑΚΕΣ ΜΕΤΡΗΣΕΙΣ

Μετά από κάθε κοπή τα επιλεγόμενα φυτά μεταφέρονταν στο Εργαστήριο Γεωργίας. Εκεί με τη βοήθεια ηλεκτρονικού ζυγού μετριέται το χλωρό βάρος του δείγματος των 20 φυτών, και έπειτα το κάθε φυτό του δείγματος τεμαχίστηκε έτσι ώστε να διαχωριστεί ο βλαστός, τα φύλλα (χλωρά και ξερά) και οι ταξιανθίες εφόσον υπάρχουν. Τα τμήματα του χλωρού βάρος των φυτών τοποθετήθηκαν μέσα σε χωριστές χάρτινες σακούλες ανά plot και ανά τμήμα τεμαχίου φυτού για ξήρανση.

Κρίνεται απαραίτητο να επισημανθεί ότι τα φυτά είχαν αναπτύξει ανθικό στέλεχος (το 50% των φυτών) περί της 22 Ιουλίου. Η μεταφορά των υποδειγμάτων από τον αγρό στον χώρο του εργαστηρίου γινόταν σε όσο το δυνατό συντομότερο χρονικό διάστημα. Για το λόγο αυτό το υπόδειγμα ζυγιζότανε στο εργαστήριο. Στη συνέχεια οι βλαστοί και τα φύλλα (μετά από επεξεργασία) τοποθετούνταν μέσα σε χάρτινες σακούλες και ακολούθως έμπαιναν για ξήρανση μέσα σε κλίβανο σε θερμοκρασία  $70^\circ \text{C}$ , μέχρι να αποκτήσουν σταθερά βάρη. Μετά την ξήρανση η οποία διήρκεσε 6-7 ημέρες, μετρήθηκε το ξηρό τους βάρος με τη βοήθεια ηλεκτρονικού ζυγού ακριβείας.

### 5.4.1 ΕΠΕΞΕΡΓΑΣΙΑ ΦΥΛΛΩΝ

Από το κάθε δείγμα μετρήθηκε το χλωρό βάρος όλων των φύλλων με τη βοήθεια ηλεκτρονικού ζυγού ακριβείας. Στη συνέχεια μετρήθηκε η φυλλική επιφάνεια (leaf area) των φύλλων με την βοήθεια ειδικού μηχανήματος (leaf area meter) και έπειτα τοποθετήθηκαν σε χάρτινες σακούλες στις οποίες αναγραφόταν ο αριθμός του υπό-τεμαχίου και ακολούθως μπαίνανε σε κλίβανο για ξήρανση στους  $70^{\circ}\text{C}$  μέχρι να αποκτήσουν σταθερά βάρη.

Το μηχάνημα που χρησιμοποιήθηκε για την μέτρηση της leaf area αποτελείται από:

- ♦ Την κεφαλή σάρωσης του συστήματος μέσα από την οποία περνούν τα φύλλα.
- ♦ Το εξάρτημα LI-3050A Transparent Belt Conveyer με πλαστική διάφανη ζώνη η οποία περιστρέφεται βοηθώντας τη διέλευση των φύλλων μέσα από την κεφαλή σάρωσης, για τη μέτρηση της φυλλικής επιφάνειας, και
- ♦ Το LI-COR model LI-3000A portable area meter, που είναι ο υπολογιστής του συστήματος και αποτελείται από την οθόνη, τα πλήκτρα του υπολογιστή και τις υποδοχές για τις συνδέσεις με τα παράπλευρα όργανα.

Τα τρία αυτά όργανα συνδέονται μεταξύ τους και το όλο σύστημα αποτελεί μια ηλεκτρονική μέθοδο υπολογισμού κατά προσέγγιση της φυλλικής επιφάνειας.

Αφού τοποθετήθηκε κατάλληλα η κεφαλή σάρωσης μέσα στο LI-3050A έγινε η σύνδεση με το LI-COR. Τα φύλλα τοποθετήθηκαν πάνω στην περιστρεφόμενη ζώνη με προσοχή έτσι ώστε να είναι παράλληλα με τη ζώνη και να μη διπλώνουν. Μόλις αυτά περνούσαν μέσα από την κεφαλή σάρωσης το LI-COR παρείχε τις ενδείξεις. Η ίδια διαδικασία επαναλήφθηκε για όλα τα φύλλα από κάθε δείγμα. Οι μεμβράνες πάνω στις οποίες τοποθετούσαν τα φύλλα για να μετρηθεί η φυλλική τους επιφάνεια πρέπει να είναι πάντοτε καθαρές ώστε να μην επηρεάζεται το αποτέλεσμα. Επιπλέον η ταχύτητα με την οποία τοποθετούνται τα φύλλα μέσα στο μηχάνημα πρέπει να είναι σταθερή για να μην υπάρχει μεγάλη απόκλιση των αποτελεσμάτων που λαμβάνουμε.

### 5.5 ΣΥΛΛΟΓΗ ΜΕΤΕΩΡΟΛΟΓΙΚΩΝ ΔΕΔΟΜΕΝΩΝ

Η συλλογή των μετεωρολογικών δεδομένων πραγματοποιήθηκε με τη βοήθεια ενός αυτόματου μετεωρολογικού σταθμού που βρίσκεται εγκατεστημένος στον πειραματικό αγρό του Παλαμά Καρδίτσας. Ο μετεωρολογικός αυτός σταθμός περιλαμβάνει καταγραφέα τύπου DATALOG2 SERIES της εταιρίας SKYE INSTRUMENTS LTD., ο οποίος απαρτίζεται από τους παρακάτω αισθητήρες μέτρησης:

- Φωτός (PYRANOMETER)
- Θερμοκρασίας (THERMISTORS)
- Βροχόπτωσης (ARG 100)
- Ταχύτητας ανέμου (THIES CLIMA)

## 5.6 ΥΠΟΛΟΓΙΣΜΟΙ

### 5.6.1 ΥΠΟΛΟΓΙΣΜΟΣ ΘΕΡΜΟΜΟΝΑΔΩΝ (ACCUMULATED HEAT UNITS)

Σύμφωνα με τη μέθοδο των προστιθέμενων θερμομονάδων (Accumulated Heat Units, A.H.U.), οι απαιτούμενες θερμομονάδες από το φύτευμα έως ένα δεδομένο φαινολογικό στάδιο της καλλιέργειας (π.χ. άνθιση, ωρίμανση), υπολογίζονται με την άθροιση των ημερήσιων αποτελεσματικών θερμοκρασιών πάνω από τη βασική θερμοκρασία ανάπτυξης της καλλιέργειας (threshold temperature) σύμφωνα με τον τύπο:

$$A.H.U. = \sum \left[ \frac{T_{\max} + T_{\min}}{2} - T_o \right]$$

Όπου,  $T_{\max}$  και  $T_{\min}$  είναι η μέγιστη και η ελάχιστη ημερήσια θερμοκρασία αέρα αντίστοιχα και  $T_o$  είναι η βασική θερμοκρασία (σε °C). Στην περίπτωση του Switchgrass χρησιμοποιήθηκε ως βασική θερμοκρασία η τιμή των 10 °C.

Η μέθοδος αυτή συνήθως χρησιμοποιείται για την εκτίμηση του ρυθμού φυσιολογικής ωρίμανσης μιας καλλιέργειας, και υπερτερεί έναντι της ημερολογιακής μεθόδου (Ritchie & Nesmith, 1991).

DATES	JD*	GDD**
24/3/2011(Βλάστηση)	83	0
11/6/2011(1η κοπή)	162	557
27/6/2011(2η κοπή)	178	804
11/7/2011(3η κοπή)	192	1036
25/7/2011(4η κοπή)	206	1301
9/8/2011(5η κοπή)	221	1556
29/9/2011(6η κοπή)	272	2326

\*JD=Julian days, \*\*GDD=Θερμομονάδες

### 5.6.2 ΥΠΟΛΟΓΙΣΜΟΣ LAI (LEAF AREA INDEX)

Η φυλλική επιφάνεια εκφράζεται με το δείκτη φυλλικής επιφάνειας (LAI). Ο οποίος ισούται με τη συνολική επιφάνεια των φύλλων που αντιστοιχεί σε συγκεκριμένη μονάδα επιφάνειας του εδάφους. Με το δείκτη αυτό αγνοούνται οι άλλες φωτοσυνθέτουσες επιφάνειες του φυτού όπως μίσχοι, στελέχη, κ.α.. Οι οποίες όμως σε πρακτική κλίμακα αντιπροσωπεύουν μικρό ποσοστό. Επιπλέον ο LAI εκφράζει και την αποτελεσματικότητα μιας καλλιέργειας ως προς τη φωτοσυνθετική ικανότητα. Ο LAI αυξάνει από το στάδιο του φυτρώματος μέχρι ενός ορίου του ώριμου φυτού και η αύξηση αυτή συνδέεται εποχικός με τον ρυθμό αύξησης και βλαστικής ανάπτυξης των φυτών .

Ο δείκτης φυλλικής επιφάνειας (LAI) συνδέεται με την ειδική φυλλική επιφάνεια (SLA) με την σχέση ,

$$L.A.I = \frac{SL \times SLA}{1000}$$

όπου ,

SL = το ξηρό βάρος των (πράσινων) φύλλων (kg/στρέμμα) (Δαναλάτος, 1999).

Ο υπολογισμός του LAI έγινε με βάση την παραπάνω εξίσωση και η τιμή του LAI εκφράζεται σε  $m^2$  επιφάνειας φύλλων/ $m^2$ εδάφους επιφάνειας.

### 5.6.3 ΥΠΟΛΟΓΙΣΜΟΣ SLA (SPECIFIC LEAF AREA)

Η ειδική φυλλική επιφάνεια (SLA) αντιπροσωπεύει την συνολική φυλλική επιφάνεια ανά μονάδα ξηρού βάρους της φυλλικής μάζας. Πρόκειται για μορφολογικό χαρακτηριστικό της καλλιέργειας που εξαρτάται από τη θερμοκρασία, την ένταση ακτινοβολίας και το σχετικό στάδιο ανάπτυξης (DVS). Μερικοί συγγραφείς αναφέρουν ότι η SLA μειώνεται από μια μέγιστη τιμή κατά την περίοδο του φυτρώματος (όταν το φυτό σχηματίζει λεπτά φύλλα), μέχρι μια ελάχιστη τιμή κατά την ωρίμανση. Με βάση τις μέγιστες και ελάχιστες τιμές της, η SLA μπορεί να προσδιοριστεί με τις εξισώσεις:

$$SLA = SLA_{\min} - (SLA_{\max} - SLA_{\min}) \times \ln(DVS)/2$$

$$\text{If } SLA > SLA_{\max} \text{ then } SLA = SLA_{\max}$$

όπου

$SLA_{\max}$  είναι η μέγιστη ειδική φυλλική επιφάνεια ( $m^2/kg$ )

$SLA_{\min}$  είναι η ελάχιστη ειδική φυλλική επιφάνεια ( $m^2/kg$ )

DVS είναι το σχετικό στάδιο ανάπτυξης



Οι εξισώσεις που εισηγούνται είναι εμπειρικές και πρέπει να χρησιμοποιούνται με προσοχή. Συνιστάται η χρήση πραγματικών δεδομένων της SLA που έχουν προκύψει από πειραματισμό στον αγρό (Δαναλάτος, 1999).

Όπως προαναφέρθηκε η SLA ισούται με το πηλίκο της επιφάνειας των φύλλων προς το ξηρό τους βάρος. Κατά συνέπεια ο υπολογισμός της SLA έγινε με βάση τις μετρήσεις της φυλλικής επιφάνειας ενός αριθμού φύλλων που μετρήθηκαν και του ξηρού τους βάρους, χρησιμοποιώντας τη σχέση:

**SLA= Φυλλική Επιφάνεια / Ξηρό Βάρος Φύλλων**

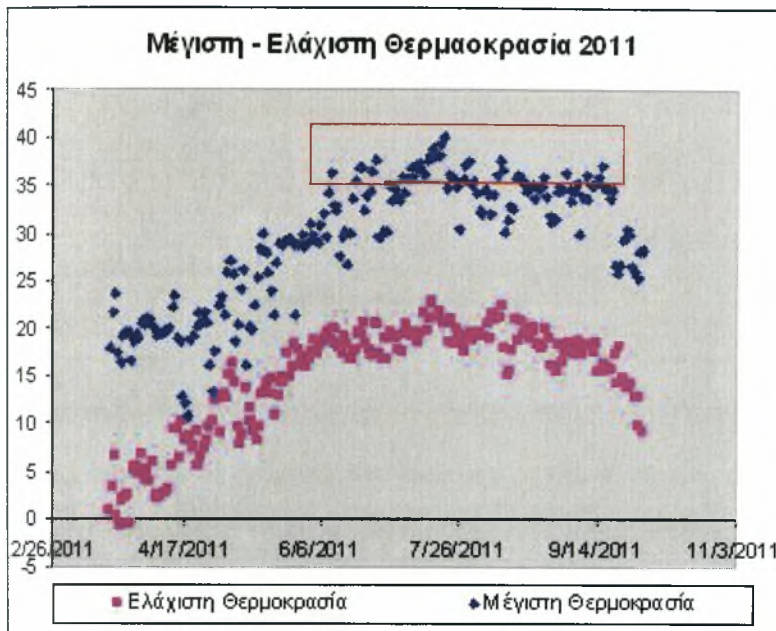
Η SLA εκφράζεται συνήθως σε (m<sup>2</sup>φύλλων/kg ξηρών φύλλων).



## ΚΕΦΑΛΑΙΟ 6 -ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ

### 6.1 ΚΛΙΜΑΤΟΛΟΓΙΚΕΣ ΣΥΝΘΗΚΕΣ

Στο παρακάτω διάγραμμα παρουσιάζονται η μέγιστη και ελάχιστη θερμοκρασία που παρατηρήθηκαν στην περιοχή του Παλαμά Καρδίτσας κατά τη διάρκεια της καλλιεργητικής περιόδου 2011



Διάγραμμα 1. Μέγιστη και ελάχιστη θερμοκρασία κατά τη διάρκεια του πειράματος (2011).

Όπως φαίνεται και έχει σημειωθεί επάνω στο διάγραμμα υπήρξαν αρκετές ημέρες κατά τη διάρκεια του καλοκαιριού του 2011 όπου και σημειώθηκαν κύματα καύσωνα (θερμοκρασίες άνω των 35 °C) (Πίνακας 1, ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ). Η περιοχή όπου πραγματοποιήθηκε το πείραμα (Παλαμά Καρδίτσας), χαρακτηρίζεται από μεσογειακό κλίμα με ζεστά, ξηρά καλοκαίρια και ήπιους υγρούς χειμώνες. Όπως φαίνεται και στο Διάγραμμα 1, η μέγιστη θερμοκρασία κυμάνθηκε μεταξύ 35 και 40°C κατά τους καλοκαιρινούς μήνες, ενώ η ελάχιστη θερμοκρασία κατά την ίδια περίοδο κυμάνθηκε από 16-21 °C. Είναι καλό να αναφερθεί εδώ ότι από τις αρχές Ιουνίου μέχρι τα μέσα Σεπτεμβρίου υπάρχουν περίοδοι καύσωνα. Ποιο συγκεκριμένα οι περίοδοι καύσωνα (>35°C) είναι οι ακόλουθοι: 8-10 Ιουνίου, 17-26 Ιουνίου, 30 Ιουνίου έως 31 Ιουλίου, 8-10 Αυγούστου, 15-25 Αυγούστου, 30 Αυγούστου έως 5 Σεπτεμβρίου, 11-16 Σεπτεμβρίου. (Πίνακα 7 ,ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ).



**Διάγραμμα 2.** Μέση θερμοκρασία αέρα και βροχόπτωση ανά δεκαήμερο κατά τη διάρκεια του πειράματος (2011).

Στο παραπάνω διάγραμμα, δίνονται η βροχόπτωση ανά δεκαήμερο, για όλη την βλαστική περίοδο του 2011 στην περιοχή του Παλαμά, καθώς και η μέση θερμοκρασία του αέρα. Παρατηρούμε ότι κατά την βλαστική περίοδο 2011 έχουμε ικανοποιητική βροχόπτωση. Ο υετός για τον μήνα Μάρτιο κυμαίνεται περίπου στα 20mm για το τρίτο δεκαήμερο. Βροχές σημειώνονται ολόκληρο τον Απρίλιο, εκτός του πρώτου δεκαημέρου, με τον μέσο υετό να φτάνει τα 20mm. Τον Μάιο σημειώνεται η υψηλότερη βροχόπτωση κατά το τρίτο δεκαήμερο, κρίνεται σκόπιμο να αναφερθεί εδώ ότι σε επίσκεψη στον πειραματικό αγρό το νερό είχε σχεδόν πνίξει την καλλιέργεια. Κατά τη διάρκεια τέλη Ιουνίου και ολόκληρο τον Ιούλιο δεν σημειώθηκε βροχόπτωση και μόνο κατά το πρώτο δεκαήμερο του Αυγούστου σημειώνεται βροχόπτωση ύψους 45mm, και λαμβάνει τέλος η περίοδος ξηρασίας.

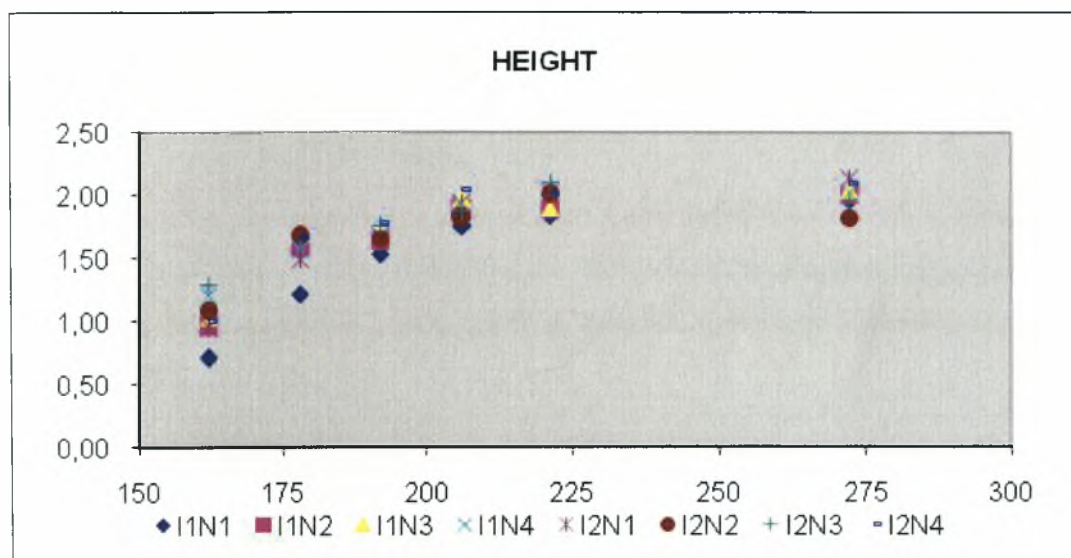
Οι θερμοκρασίες αέρα, περιγράφουν ένα καλοκαίρι θερμό. Ζεστές αέριες μάζες υπάρχουν στην περιοχή όλη την καλοκαιρινή περίοδο.

Συμπεραίνουμε λοιπόν ότι επικρατεί μια βροχερή άνοιξη με καλή θερμοκρασία αέρα, που ευνοεί το φύτευμα (24/3/2011). Την διαδέχεται ένα θερμό καλοκαίρι, με διάστημα ξηρασίας περί τις 40 μέρες (τελευταίο δεκαήμερο Ιουνίου και ολόκληρος ο Ιούλιος) με μία ισχυρή βροχόπτωση κατά το μήνα Αύγουστο (1<sup>ο</sup> 10ήμερο) που σηματοδοτεί τη λήξη της περιόδου ξηρασίας. Από τα παραπάνω γίνεται αντιληπτό ότι τα επίπεδα άρδευσης για την καλλιέργεια τη συγκεκριμένη περίοδο ίσως να μην μπορέσουν να καθορίσουν αν η καλλιέργεια μπορεί να εγκατασταθεί και ως ξηρική.

## 6.2 ΑΥΞΗΣΗ ΚΑΙ ΑΝΑΠΤΥΞΗ ΤΗΣ ΚΑΛΛΙΕΡΓΕΙΑΣ

## 6.2.1 ΎΨΟΣ ΦΥΤΩΝ

Στο Διάγραμμα 3 δίνεται η μεταβολή του ύψους των φυτών κατά τη διάρκεια της καλλιεργητικής περιόδου 2010-2011, για τα δύο επίπεδα άρδευσης και τα τέσσερα επίπεδα αζωτούχου-λίπανσης ως προς τις Ιουλιανές Ημέρες (Πίνακας 2, ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ) στον Παλαμά.



Διάγραμμα 3. Ύψος των φυτών για τα δύο επίπεδα άρδευσης και τα τέσσερα επίπεδα αζωτούχου-λίπανσης (2011).

Στο παραπάνω διάγραμμα φαίνεται η μεταβολή του ύψους των φυτών κατά τη διάρκεια της καλλιεργητικής περιόδου 2011 για τα δύο επίπεδα άρδευσης και τα τέσσερα επίπεδα αζωτούχου-λίπανσης ως προς τις Ιουλιανές Ημέρες (Πίνακας 6, ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ) στον Παλαμά.

Το switchgrass βλάστησε (>50% των φυτών) στις 24/3/2011. Όπως φαίνεται και στο Διάγραμμα 3, οι διαφορετικοί παράγοντες (άρδευση και λίπανση) δεν επέφεραν σημαντική επίδραση στο ύψος των φυτών. Το μεγαλύτερο ύψος στην καλλιέργεια (2,14m) σημειώθηκε στις 29 Σεπτεμβρίου για την αρδευόμενη καλλιέργεια με λίπανση 0 μονάδων αζώτου ( $I_2N_1$ ).

Γενικά, δεν σημειώθηκαν σημαντικές διαφορές στο ύψος των φυτών για τις διαφορετικές επεμβάσεις άρδευσης και λίπανσης ούτε και για την αλληλεπίδραση άρδευσης-λίπανσης. Όπως προαναφέρθηκε στα κλιματολογικά δεδομένα η μη σημαντική αυτή διαφορά οφείλεται κατά το μεγαλύτερο ποσοστό στις κλιματολογικές συνθήκες και πιο συγκεκριμένα στη βροχόπτωση που σημειώθηκε κατά τη διάρκεια ανάπτυξης της καλλιέργειας.

### 6.3 ΕΙΔΙΚΗ ΦΥΛΛΙΚΗ ΕΠΙΦΑΝΕΙΑ ΚΑΙ ΔΕΙΚΤΗΣ ΦΥΛΛΙΚΗΣ ΕΠΙΦΑΝΕΙΑΣ

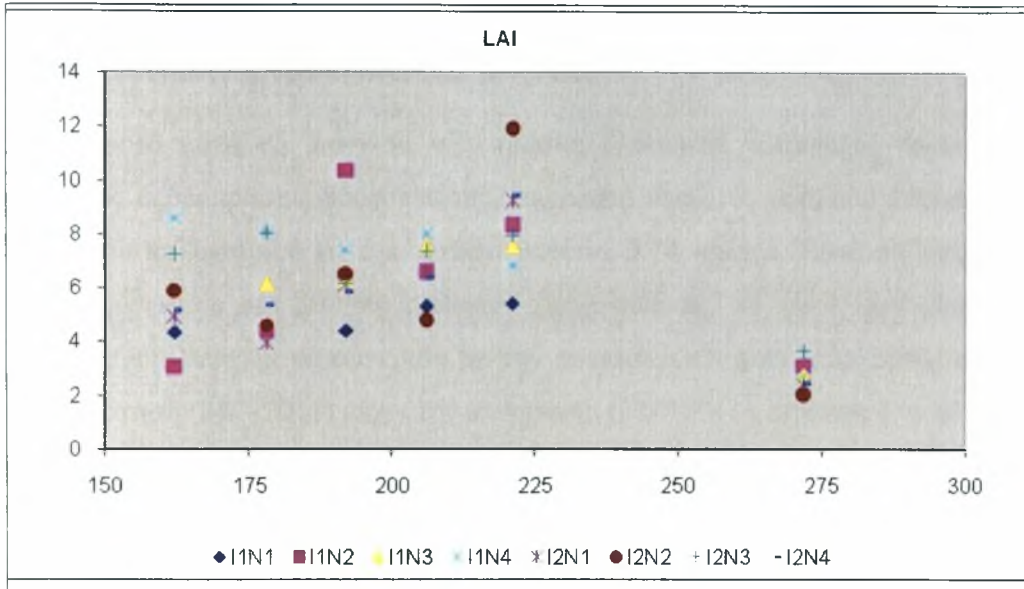
Η ανάπτυξη της φυλλοστοιβάδας είναι μεγάλης σημασίας για την δέσμευση της ηλιακής ακτινοβολίας και τη φωτοσύνθεση και εξαρτάται από το ποσό των φωτοσυνθετικών παραγώγων που επενδύονται για την ανάπτυξη των φύλλων και τον λόγο της παραγόμενης φυλλικής επιφάνειας ανά μονάδα ξηρού βάρους των φύλλων. Η Ειδική Φυλλική Επιφάνεια (SLA,  $m^2/kg$ ), ή το αντίθετό της, το Ειδικό Φυλλικό Βάρος ( $=1/SLA$ ) είναι ένα μορφολογικό χαρακτηριστικό που μεταβάλλεται σε συνάρτηση με τις περιβαλλοντικές συνθήκες και την ηλικία του φυτού. Οι Danalatos *et al.* (1994) έδειξαν ότι η συνολική SLA του καλαμποκιού μειώνεται κατά τη διάρκεια της καλλιεργητικής περιόδου.

Στα παρακάτω Διαγράμματα παρουσιάζεται η μεταβολή του δείκτη φυλλικής επιφάνειας και της ειδικής φυλλικής επιφάνειας (αντίστοιχα) των φυτών κατά τη διάρκεια της καλλιεργητικής περιόδου για τα δύο επίπεδα άρδευσης και τέσσερα επίπεδα αζωτούχου-λίπανσης ως προς τις Ιουλιανές Ημέρες (J.D).

#### 6.3.1 ΔΕΙΚΤΗΣ ΦΥΛΛΙΚΗΣ ΕΠΙΦΑΝΕΙΑΣ (LAI)

Ο δείκτης φυλλικής επιφάνειας (LAI) στις αρχές Ιουνίου κυμάνθηκε από 3,1 έως 8,62 και στις αρχές Αυγούστου (9/8/2011) έφτασε περί το 11,9. Η ταχεία αυτή αύξηση της φυλλοστοιβάδας οφείλεται στον υψηλό νετό που σημειώθηκε και τις αυξημένες θερμοκρασίες αέρα καθόλη τη διάρκεια ανάπτυξης της καλλιέργειας. Κατά τη διάρκεια ωρίμανσης της καλλιέργειας ο LAI κυμάνθηκε σε τιμές 2-3,5 λόγω της ξήρανσης-πτώσης των φύλλων. Τιμή που αποδεικνύει ότι η καλλιέργεια κατά την τελευταία κοπή δεν βρισκόταν στην πλήρη ωρίμανσή της. (Πίνακας 3, ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ)

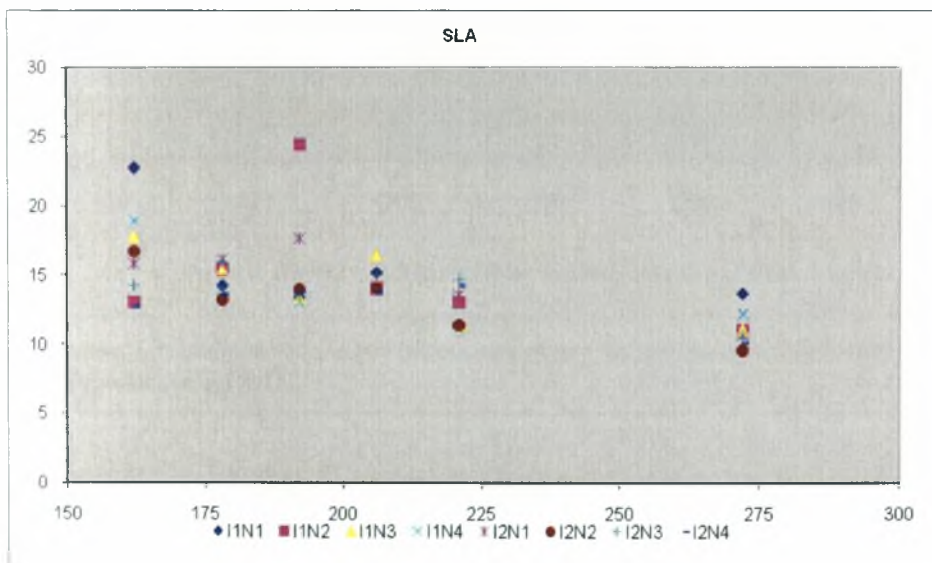




**Διάγραμμα 3.** Μεταβολή του LAI των φυτών για τα δύο επίπεδα άρδευσης και τα τέσσερα επίπεδα αζωτούχου-λίπανσης (2011).

### 6.3.2 ΔΕΙΚΤΗΣ ΕΙΔΙΚΗΣ ΦΥΛΛΙΚΗΣ ΕΠΙΦΑΝΕΙΑΣ (SLA)

Όπως φαίνεται στο παραπάνω διάγραμμα ο SLA με την άνοδο της θερμοκρασίας και λόγω των βροχοπτώσεων όταν δείκτης φυλλικής επιφάνειας είχε φτάσει στην μέγιστη τιμή τότε η ειδική φυλλική επιφάνεια έφτασε περί τα  $15 \text{ m}^2/\text{kg}$ . Τέλος στα τέλη Σεπτεμβρίου, λόγω της ξήρανσης-πτώσης των φύλλων κατά την τελευταία κοπή, ο SLA πήρε τιμές γύρω στο  $12 \text{ m}^2/\text{kg}$ .

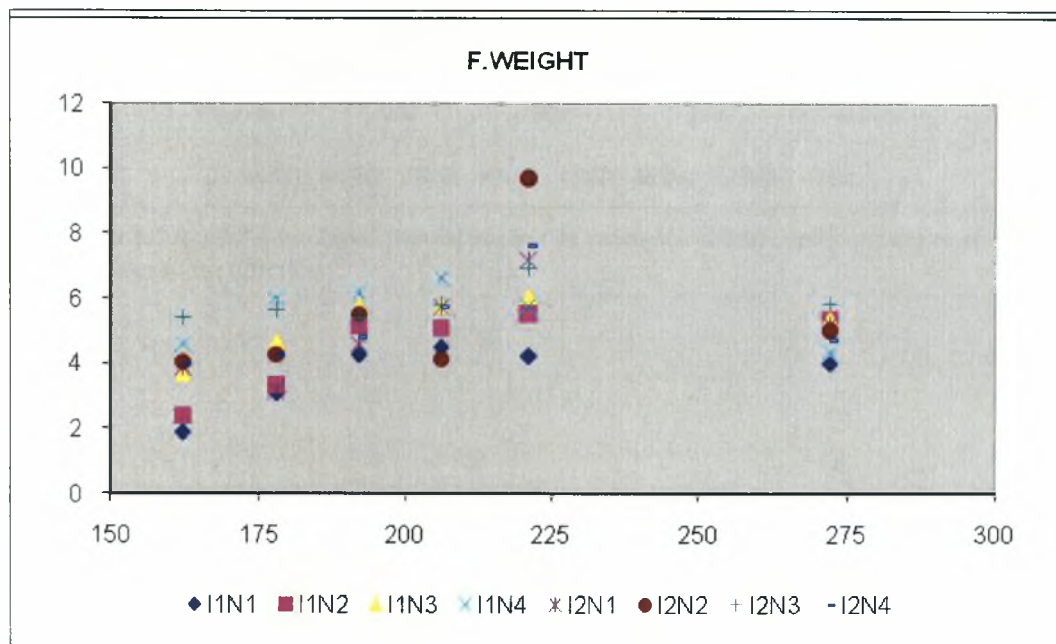


**Διάγραμμα 4.** Μεταβολή της ειδικής φυλλικής επιφάνειας (SLA) των φυτών για τα δύο επίπεδα άρδευσης και τα τέσσερα επίπεδα αζωτούχου-λίπανσης (2011).

#### 6.4 ΣΥΝΟΛΙΚΟ ΧΛΩΡΟ ΒΑΡΟΣ ΦΥΤΩΝ

Το φυτό κατά τη διάρκεια της πρώτης βλαστικής ανάπτυξης όπου επικράτησαν ευνοϊκές συνθήκες θερμοκρασίας-βροχόπτωσης, σημείωσε υψηλούς ρυθμούς αύξησης έτσι ώστε μέχρι τις αρχές του καλοκαιριού να έχει φτάσει περί τα 3.74 kg/στρ. Κατά τη διάρκεια τέλους Ιουνίου – Ιουλίου λόγω του ότι δεν σημειώθηκαν βροχοπτώσεις, το φυτό έχει μειωμένη αύξηση για την απότιστη καλλιέργεια σε σύγκριση με την ποτιστική. Οι ρυθμοί αύξησης του χλωρού βάρους από την βλάστηση (24/3/2011) μέχρι την ανθοφορία (22/7/2011), είναι περί τα 40 kg/ημέρα/στρ. Κατόπιν της ανθοφορίας η ρυθμοί αύξησης της βιομάζας μειώνονται.

Το υψηλότερο ποσοστό βιομάζας παρατηρείται κατά την πέμπτη κοπή δηλαδή στις αρχές Αυγούστου (9/8/2011) Η απόδοση της καλλιέργειας θεωρείται ικανοποιητική, η καλλιέργεια βρισκόταν στο 3<sup>ο</sup> έτος της εγκατάστασής της και έχει πλέον μπει στην πλήρη παραγωγή.(Πίνακας 5, ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ).



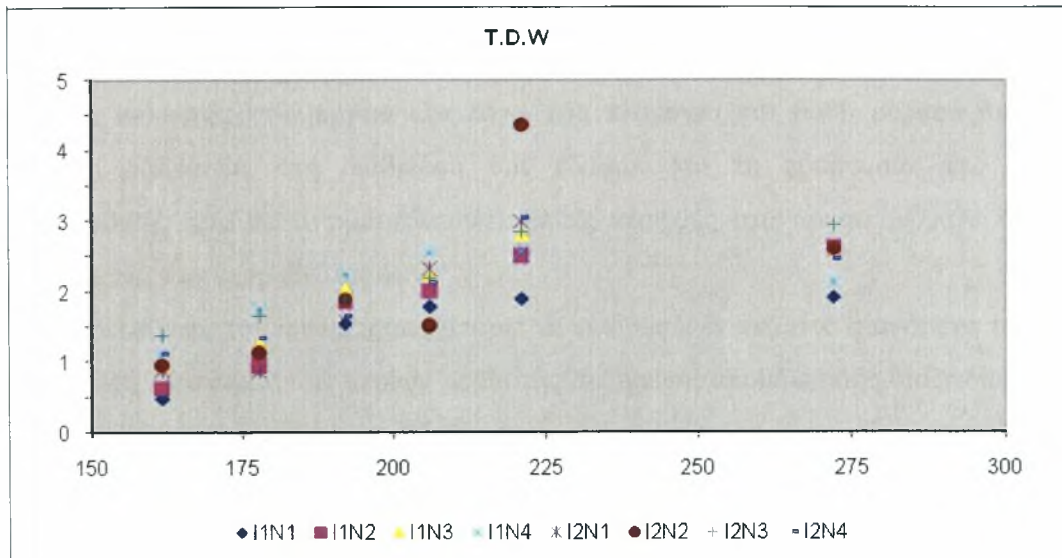
Διάγραμμα 5. Μεταβολή του χλωρού βάρους των φυτών για τα δύο επίπεδα άρδευσης και τα τέσσερα επίπεδα αζωτούχου-λίπανσης (2011).

#### 6.5 ΣΥΝΟΛΙΚΟ ΞΗΡΟ ΒΑΡΟΣ ΦΥΤΩΝ

Όπως έχει προαναφερθεί, το φυτό κατά τη διάρκεια της πρώτης βλαστικής ανάπτυξης όπου επικράτησαν ευνοϊκές συνθήκες θερμοκρασίας-βροχόπτωσης, σημείωσε υψηλούς ρυθμούς αύξησης. Το ξηρό βάρος του φυτού μεταβλήθηκε κατά τη διάρκεια της ανάπτυξης με αυξανόμενη παραγωγή

## ΤΜΗΜΑ ΦΥΤΙΚΗΣ ΠΑΡΑΓΩΓΗΣ ΚΑΙ ΑΓΡΟΤΙΚΟΥ ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝΤΟΣ

μέχρι και τα μέσα Αυγούστου. Οι ρυθμοί αύξησης του ξηρού βάρους μέχρι τις αρχές Ιουλίου όπου και ξεκίνησαν οι αρδεύσεις είναι περί τα 30 kg/ημέρα/στρ. Η παραγωγή του ξηρού βάρους του ποτιστικού είναι υψηλότερη για το διάστημα του Ιουλίου λόγω των συνθηκών ξηρασίας που επικρατούν. Κατά τη διάρκεια όμως του Αυγούστου και έπειτα από ισχυρή βροχόπτωση η ξηρική καλλιέργεια ανακάμπτει και δίνει και παραγωγή ίση με την ποτιστική, πράγμα που αποδεικνύει ότι το φυτό έχει μηχανισμούς ανοχής της ξηρασίας. (Πίνακας 8, ΠΑΡΑΤΗΜΑ)



Διάγραμμα 6. Μεταβολή του ξηρού βάρους των φυτών για τα δύο επίπεδα άρδευσης και τα τέσσερα επίπεδα αζωτούχου-λίπανσης (2011).



## ΚΕΦΑΛΑΙΟ 7 - ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ

Η καλλιέργεια του Switchgrass «*Panicum virgatum* L» παρουσιάζει ιδιαίτερο ενδιαφέρον ως μια εναλλακτική καλλιέργεια που έχει πρωταρχικό ρόλο στην παραγωγή βιομάζας. Οι απαιτήσεις του φυτού σε νερό είναι χαμηλές, όπως και οι ανάγκες του σε άζωτο. Έχει χαμηλές ανάγκες σε αγροχημικά εκτός από τη χρονιά της εγκατάστασης που χρειάζεται υψηλή φροντίδα ώστε να καταστεί ανταγωνιστικό των ζιζανίων.

Είναι πολυετής καλλιέργεια και λόγω του πλούσιου και βαθύ ριζικού συστήματος του έχει ευνοϊκές επιδράσεις στη διάβρωση των εδαφών και τη προστασία από το φαινόμενο της ερημοποίησης που θα αντιμετωπίσουν πολλές περιοχές στο άμεσο μέλλον λόγω της εντατικής γεωργίας και των υψηλών εισροών.

Η καλλιέργεια του switchgrass μπορεί να επιδράσει θετικά στο φαινόμενο του θερμοκηπίου και στη μείωση εκπομπών των αερίων μέσω της αυξημένης αποθήκευσης διοξειδίου του άνθρακα στις ρίζες και στην οργανική ύλη του εδάφους.

Τέλος, το switchgrass συμβάλλει στη διατήρηση του φυσικού περιβάλλοντος και των άγριων ειδών αφού αποτελεί ενδιαίτημα για την άγρια πανίδα, αλλά και καταφύγιο διαφορετικών ειδών πουλιών. Συνοψίζοντας, καταλαβαίνουμε το πόσο σημαντική είναι η καλλιέργεια του Switchgrass και πόσο μπορεί να συμβάλει θετικά σε ένα μεγάλο εύρος τομέων (ενέργεια, ερημοποίηση, προστασία περιβάλλοντος, χαμηλές εισροές). Κρίνεται σκόπιμο όμως να διεξαχθεί περαιτέρω διεξοδική έρευνα για αυτή την καλλιέργεια ώστε να μελετηθούν όσο το δυνατόν περισσότεροι παράγοντες που επηρεάζουν την απόδοση.

## ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

1. **Ball D.M., Hoveland C.S., and Lacefield G.D. (2002)**, «Southern Forages, 3rd edition», International Plant Nutrition Institute, p. 26.
2. **Elbersen H.W., Christian D.G., Yates N. E., El Bassem N., and Sauerbeck G., (2001)**, «Switchgrass in NW Europe». European Commission Final Report FAIR 5-CT97-3701.
3. **Eldersen H., Cristian D., Bassam N., Sauerbeck G., Alexopoulou E., Sharma N., Piscioneri I., (2004)**, «A management guide for planting and production switchgrass as a biomass crop in Europe», 2nd Conference on Biomass for Energy Industry and Climate Protection, 10-14 May 2004, Rome Italy.
4. **Fike J.H., David P.J., Wolf D.D., Balasko J.A., Green J.T., Rasnake M. and Reynolds J.H., (2006)**, «Long-term yield potential of switchgrass for biofuel systems», Biomass and Bioenergy, Vol.30, pages 198-206.
5. **Frank A.B., Berdahl J.D., Hanson J.D., Liebig M.A. and Johnson H.A., (2004)**, «Biomass and carbon partitioning in switchgrass», Crop Science, Vol.44, pages 1391-1396.
6. **Frank A.B., Liebig M.A. and Hanson J.D., (2002)**, «Soil carbon dioxide fluxes in northern semiarid grasslands», Soil Biology & Biochemistry Vol. 34, pages 1235-1241.
7. **Hamelinck C.N., Hooijdonk van G. and Faaij A.P.C, (2005)**, «Ethanol from ligno-cellulosic biomass: techno-economic performance in short-, middle-, and long-term», Biomass & Bioenergy, Vol. 28, pages 384-410.
8. **Kiniry J.R., Cassida KA., Hussey M.A., Muir J.P., Ocumpaugh W.R., Read J.C., Reed R.L., Sanderson M.A., Venuto B.C., Williams J.R., (2005)**, «Switchgrass simulations by the ALMANAC model at diverse sites in the southern US», Biomass and Bioenergy, Vol. 29, Pages 419-425.
9. **Lemus R., Bnnmer E.C, Moore K. J., Molstad N. E., Burras C.L., and Barker M. F. (2002)** “Biomass yield and quality of 20 switchgrass populations in southern Iowa, USA”, Biomass and Bioenergy, Volume 23, Pages 433-442.
10. **Lemus R., Brummer E. C., Lee Burras C., Moore K. J., Barker Michael F., Molstad Neil E. (2008)**, “Effects of nitrogen fertilization on biomass yield and quality in large fields of established switchgrass in southern Iowa, USA”, Biomass and Bio-energy, Volume 32, Issue 12, Pages 1187-1194
11. **Lewandowski I., Scurlock J.O., Lindvall E. and Christou M. (2003)**, “The development and current status of perennial rhizomatous grasses as energy crops in the US and Europe”, Biomass and Bioenergy, Volume 25, Pages, 335-361.
12. **Liebig M.A., Johnson H.A., Hanson J.D. and Frank A.B., (2005)**, “Soil carbon under switchgrass stands and cultivated cropland”, Biomass and Bioenergy, Vol. 28, Pages 347-354.

13. **Ma Z., Wood C.W. and Bransdy D.I. (2001)** “Impact of row spacing, nitrogen rate, and time on carbon partitioning of switchgrass”, *Biomass and Bioenergy*, Volume 20, Pages 413-419.
14. **Madakadze I.C., Stewart K., Peterson P.R., Coulman B.E., Samson R. and Smith D.L., (1998)**, “Light interception, use-efficiency and energy yield of switchgrass (*Panicum virgatum* L.) grown in a short season area”. *Biomass and Bioenergy*, Volume 15, Pages 475-482.
15. **McLaughlin S., Samson B. R., Bransby D., Wiselogel A. (1996)**, “Evaluating Physical, Chemical, And Energetic Properties Of Perennial Grasses As Biofuels”, *The Seventh National Bioenergy Conference* September 15-20, 1996, Nashville, Tennessee.
16. **McLaughlin S. B., Kszos L. A., (2005)**, “Development of switchgrass (*Panicum virgatum*) as a bioenergy feedstock in the United States”, *Biomass and Bioenergy* Vol. 28 pages 515-535.
17. **McLaughlin S. B., Kiniry J. R., Taliaferro C. M. and Ugarte De La Torre D. (2006)**, “Projecting Yield and Utilization Potential of Switchgrass as an Energy Crop”, *Advances in Agronomy*, Vol. 90, pages 267-297.
18. **Monti A., Fazio S., Lychnaras V., Soldatos P. and Venturia G., (2007)**, “A full economic analysis of switchgrass under different scenarios in Italy estimated by BEE model”, *Biomass and Bioenergy*, Vol. 31, pages 177-185.
19. **Nelson R. G., Ascough J. C. and Langemeier M. R., (2006)**, “Environmental and economic analysis of switchgrass production for water quality improvement in north-east Kansas”, *Journal of Environmental Management*, Vol. 79, pages 336-347.
20. **Piscioneri L, Pignatelli V., Palazzo S. and Sharma N. (2001)**, “Switchgrass production and establishment in the Southern Italy climatic conditions”, *Energy Conversion and Management*, Vol. 42, pages 2071-2082.
21. **Raich J. W. and Tufekcioglu A., (2000)**, “Vegetation and soil respiration: correlations and controls”, *Biogeochemistry*, Vol. 48, pages 71-90.
22. **Roger S., Sudhagar M., Robert B., Shahab S., Diego Q., Segundo U., Veronica R., Claudia L. H.,(2005)**, “The Potential of C4 Perennial Grasses for Developing a Global BIOHEAT Industry *Critical Reviews in Plant Sciences*”, Vol. 24, pages 461-495.
23. **Samson R., (2007)**, “Switchgrass Production in Ontario: A Management Guide”, *Resource Efficient Agricultural Production, (REAP) – Canada*.
24. **Schlesinger W.H. and Andrews J.A., (2000)**, “Soil respiration and the global carbon cycle”, *Biogeochemistry*, Vol. 48, pages 7-20.
25. **Skinner R. H. and Adler P.R., (2010)**, «Carbon dioxide and water fluxes from switchgrass managed for bioenergy production», *Agriculture, Ecosystems & Environment*, Vol. 138, Iss.3-4, 15 August 2010, Pages 257-264.

26. **Stroup J.A., Sanderson M.A., Muir J.P., McFarland M.J. and Reed R.L., (2003)**, “Comparison of growth and performance in upland and lowland switchgrass types to water and nitrogen stress”, *Bioresource technology*, Vol.86, pages 65-72.
27. **Varvel G.E., Vogel K.P., Mitchell R.B., Follett R.F. and J.M. Kimble, January (2008)**, “Comparison of corn and switchgrass on marginal soils for bio energy”, *Biomass and Bioenergy*, Volume 32, Issue 1, Pages 18-21.
28. **Virgilio N., Monti A. and Venturi G., (2007)**, “Spatial variability of switchgrass”, (*Panicum virgatum L.*) yield as related to soil parameters in a small field. *Field Crops Research*, Vol.101, pages 232-239.
29. **Wright L. , (2007)**, «Historical Perspective on How and Why Switchgrass was Selected as a “Model” High-Potential Energy Crop», Environmental Sciences Division, Oak Ridge National Laboratory.

## ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ

Πίνακας 1 Μετεωρολογικά 2011 Παλαμάς

Date	Rain	Rain sum	Air Temp deg C	Air Temp deg C
	mm	mm	minimum	maximum
15/3/2011	0	0	4,68	13,4
16/3/2011	0	0	2,03	13,57
17/3/2011	0	0	3,86	15,39
18/3/2011	0	0	5,03	15,93
19/3/2011	0	0	4,26	18,01
20/3/2011	0	0	1,03	17,89
21/3/2011	0	0	3,47	21,76
22/3/2011	0	0	6,61	23,63
23/3/2011	13,6	13,6	0,38	17,4
24/3/2011	2	15,6	-0,65	16,37
25/3/2011	0	15,6	2,06	19,08
26/3/2011	0	15,6	2,40	19,42
27/3/2011	0	15,6	2,47	19,49
28/3/2011	0	15,6	-0,47	16,55
29/3/2011	0	15,6	5,23	18,65
30/3/2011	0	15,6	5,64	19,35
31/3/2011	0	15,6	4,82	18,92
1/4/2011	0	15,6	6,84	20,56
2/4/2011	0	15,6	4,13	20,31
3/4/2011	0	15,6	5,14	21,03
4/4/2011	0	15,6	3,82	20,84
5/4/2011	0	15,6	5,89	20,12
6/4/2011	0	15,6	2,19	19,21
7/4/2011	0	15,6	2,48	19,5
8/4/2011	0	15,6	2,28	19,3
9/4/2011	0	15,6	2,70	19,72
10/4/2011	0	15,6	2,64	19,66
11/4/2011	0	15,6	2,97	19,99
12/4/2011	0	15,6	5,68	22,21
13/4/2011	0	15,6	9,38	23,34
14/4/2011	0,2	15,8	9,43	18,98
15/4/2011	0	15,8	6,3	18,7
16/4/2011	5,6	21,4	10,29	12,88
17/4/2011	14	35,4	8,36	12,11
18/4/2011	1,8	37,2	8,24	10,78
19/4/2011	1,8	39	8,62	18,84
20/4/2011	0	39	7,5	19,14
21/4/2011	0	39	9,19	20,12
22/4/2011	0	39	5,66	21,57

## ΤΜΗΜΑ ΦΥΤΙΚΗΣ ΠΑΡΑΓΩΓΗΣ ΚΑΙ ΑΓΡΟΤΙΚΟΥ ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝΤΟΣ

23/4/2011	0	39	6,69	20,61
24/4/2011	0	39	7,55	21,65
25/4/2011	0	39	8,1	20,5
26/4/2011	2,2	41,2	9,65	16,12
27/4/2011	14,2	55,4	10,28	13,27
28/4/2011	1,6	57	12,39	17,59
29/4/2011	0,4	57,4	12,67	22,37
30/4/2011	0,8	58,2	8,98	23,24
1/5/2011	4,8	63	13,22	21,34
2/5/2011	0	63	12,56	25,86
3/5/2011	0	63	15,24	27,05
4/5/2011	3,8	66,8	16,43	25,65
5/5/2011	10	76,8	14,32	18,69
6/5/2011	0	76,8	9,52	20,42
7/5/2011	0	76,8	7,82	24,09
8/5/2011	0	76,8	8,92	26,2
9/5/2011	0,6	77,4	13,66	16,13
10/5/2011	0	77,4	11,66	20,19
11/5/2011	2,8	80,2	10,25	19,81
12/5/2011	5,2	85,4	9,28	22,34
13/5/2011	0	85,4	8,23	25,3
14/5/2011	0	85,4	9,81	28,4
15/5/2011	0	85,4	13,11	29,96
16/5/2011	0	85,4	13,34	27,93
17/5/2011	0	85,4	14,33	25,87
18/5/2011	0,2	85,6	14,76	24,02
19/5/2011	0	85,6	13,11	21,4
20/5/2011	0	85,6	10,9	26,92
21/5/2011	0	85,6	12,79	28,92
22/5/2011	0	85,6	14,32	28,77
23/5/2011	0	85,6	14,88	28,87
24/5/2011	0	85,6	17,19	29,45
25/5/2011	0	85,6	14,81	29,27
26/5/2011	0	85,6	15,95	28,81
27/5/2011	7,4	93	18,52	21,42
28/5/2011	0	93	17,82	28,73
29/5/2011	91,2	184,2	16,08	29,7
30/5/2011	1	185,2	16,88	28,49
31/5/2011	3,4	188,6	15,92	28,87
1/6/2011	0	188,6	16,67	30,91
2/6/2011	0,8	189,4	17,68	29,8
3/6/2011	14,4	203,8	18,8	29,02
4/6/2011	0,2	204	17,4	28,85
5/6/2011	0	204	18,06	30,83
6/6/2011	0	204	18,68	32,04
7/6/2011	0	204	18,92	29,67
8/6/2011	0	204	19,59	34,24
9/6/2011	0	204	18,79	36,35
10/6/2011	0	204	19,96	32,78
11/6/2011	0,2	204,2	18,54	32,39
12/6/2011	1,6	205,8	17,96	27,47



## ΤΜΗΜΑ ΦΥΤΙΚΗΣ ΠΑΡΑΓΩΓΗΣ ΚΑΙ ΑΓΡΟΤΙΚΟΥ ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝΤΟΣ

13/6/2011	0,2	206	17,25	29,52
14/6/2011	0	206	19,16	30,17
15/6/2011	1,4	207,4	18,33	26,65
16/6/2011	0,2	207,6	16,7	29,88
17/6/2011	0	207,6	16,77	33,45
18/6/2011	0	207,6	17,83	35,44
19/6/2011	0	207,6	19,49	36,78
20/6/2011	0	207,6	19,31	36,8
21/6/2011	0	207,6	20,75	32,29
22/6/2011	0	207,6	18,34	33,94
23/6/2011	0	207,6	17,83	34,43
24/6/2011	0	207,6	17,04	36,41
25/6/2011	0,2	207,8	20,7	37,6
26/6/2011	0	207,8	20,31	29,57
27/6/2011	0	207,8	17,48	29,53
28/6/2011	0	207,8	16,73	30,14
29/6/2011	0	207,8	19,03	30,15
30/6/2011	0	207,8	16,82	35,04
1/7/2011	0	207,8	19,56	33,44
2/7/2011	0	207,8	19,16	34,48
3/7/2011	0	207,8	18,91	33,85
4/7/2011	0	207,8	17,7	33,3
5/7/2011	0	207,8	17,52	35,92
6/7/2011	0	207,8	19,23	34,24
7/7/2011	0	207,8	20,4	35,53
8/7/2011	0	207,8	19,23	36,74
9/7/2011	0	207,8	19,11	35,96
10/7/2011	0	207,8	19,46	36,82
11/7/2011	0	207,8	18,62	37,27
12/7/2011	0	207,8	19,44	36,69
13/7/2011	0	207,8	21,49	36,09
14/7/2011	0	207,8	19,78	37,67
15/7/2011	0	207,8	21,09	38,11
16/7/2011	0	207,8	22,69	38,79
17/7/2011	0	207,8	21,12	38,2
18/7/2011	0	207,8	21,19	38,2
19/7/2011	0	207,8	21,85	39,42
20/7/2011	0	207,8	20,61	40
21/7/2011	0	207,8	20,49	34,73
22/7/2011	0	207,8	18,7	36,02
23/7/2011	0	207,8	21,02	35,91
24/7/2011	0	207,8	18,36	35,6
25/7/2011	0	207,8	20,01	34,97
26/7/2011	0	207,8	19,24	30,53
27/7/2011	0	207,8	18,41	35,55
28/7/2011	0	207,8	17,6	37,14
29/7/2011	0	207,8	19,13	37,53
30/7/2011	0	207,8	19,52	35
31/7/2011	0	207,8	18,84	35,44
1/8/2011	36,6	244,4	19,63	34,22
2/8/2011	0,6	245	19,09	32,36



## ΤΜΗΜΑ ΦΥΤΙΚΗΣ ΠΑΡΑΓΩΓΗΣ ΚΑΙ ΑΓΡΟΤΙΚΟΥ ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝΤΟΣ

3/8/2011	1	246	19,55	31,93
4/8/2011	0	246	19,15	34,47
5/8/2011	7,2	253,2	20,44	33,98
6/8/2011	0	253,2	18,95	31,93
7/8/2011	0	253,2	21,63	34,1
8/8/2011	0	253,2	20,95	36,17
9/8/2011	0	253,2	21,13	37,68
10/8/2011	0	253,2	22,44	36,6
11/8/2011	0	253,2	17,92	30,15
12/8/2011	0	253,2	14,97	31,36
13/8/2011	0	253,2	15,52	32,83
14/8/2011	0	253,2	17,82	32,56
15/8/2011	0	253,2	21,1	35,83
16/8/2011	0	253,2	18,74	36,09
17/8/2011	0	253,2	20,92	35,54
18/8/2011	0	253,2	19,29	35,02
19/8/2011	0	253,2	19,97	34,3
20/8/2011	0	253,2	18,91	34,96
21/8/2011	0	253,2	20,13	35,09
22/8/2011	0	253,2	19,84	33,62
23/8/2011	0	253,2	18,25	34,77
24/8/2011	0	253,2	18,01	34,96
25/8/2011	0	253,2	18,41	35,97
26/8/2011	0	253,2	19,99	33,82
27/8/2011	0	253,2	19,02	31,76
28/8/2011	0	253,2	16,06	31,05
29/8/2011	0	253,2	16,01	31,42
30/8/2011	0	253,2	15,57	34,43
31/8/2011	6,8	260	18,37	34,84
1/9/2011	0,2	260,2	16,54	34,57
2/9/2011	0	260,2	17,66	36,24
3/9/2011	0	260,2	18,71	34,58
4/9/2011	0	260,2	18,68	33,3
5/9/2011	0	260,2	17,49	34,31
6/9/2011	0	260,2	18,48	35,3
7/9/2011	0	260,2	18,76	30
8/9/2011	0	260,2	17,41	33,85
9/9/2011	0	260,2	18,47	36,13
10/9/2011	0	260,2	18,49	33,5
11/9/2011	0	260,2	18,35	35,08
12/9/2011	0	260,2	17,63	35,09
13/9/2011	0	260,2	18,62	35,24
14/9/2011	0	260,2	15,5	35,97
15/9/2011	0	260,2	15,51	37,14
16/9/2011	0	260,2	16,37	34,98
17/9/2011	0	260,2	15,9	34,81
18/9/2011	0	260,2	15,76	33,76
19/9/2011	0	260,2	15,79	34,61
20/9/2011	26	286,2	17,45	26,61
21/9/2011	5,4	291,6	14,34	25,82
22/9/2011	0	291,6	18,06	26,76

## ΤΜΗΜΑ ΦΥΤΙΚΗΣ ΠΑΡΑΓΩΓΗΣ ΚΑΙ ΑΓΡΟΤΙΚΟΥ ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝΤΟΣ

23/9/2011	0	291,6	14,93	29,27
24/9/2011	0	291,6	13,9	30,43
25/9/2011	0	291,6	14,01	29,91
26/9/2011	0	291,6	14,31	26,44
27/9/2011	0	291,6	12,86	26,04
28/9/2011	0	291,6	12,95	25,36
29/9/2011	0	291,6	9,9	28,02
30/9/2011	0	291,6	9,27	28,26
1/10/2011	0	291,6	14,46	24,89
2/10/2011	0	291,6	12,21	28,36
3/10/2011	0	291,6	14,25	25,95
4/10/2011	0	291,6	11,05	27,92
5/10/2011	0	291,6	11,55	28,48
6/10/2011	0	291,6	10,04	29,73
7/10/2011	0	291,6	11,49	29,65
8/10/2011	6	297,6	13,89	25,23
9/10/2011	7	304,6	13,13	22,37
10/10/2011	15,4	320	10	15,81
11/10/2011	0	320	11,47	18,85
12/10/2011	0	320	9,67	26,11
13/10/2011	0	320	10,29	28,27
14/10/2011	7,2	327,2	12,68	19,4
15/10/2011	41,4	368,6	11,11	12,41
16/10/2011	5,4	374	9,42	12,04
17/10/2011	0	374	5,69	14,95
18/10/2011	0	374	2,44	17,92
19/10/2011	0	374	2,27	20,6
20/10/2011	0	374	3,61	22,65
21/10/2011	0	374	4,97	22,35
22/10/2011	0	374	7,11	21,85
23/10/2011	0	374	10,32	17,52

Πίνακας 2 Ιουλιανές ημέρες (JD)

DATE	JAN	FEB	MAR	APR	MAY	JUN	JUL	AUG	SEP	OCT	NOV	DEC
1	1	32	60	91	121	152	182	213	244	274	305	335
2	2	33	61	92	122	153	183	214	245	275	306	336
3	3	34	62	93	123	154	184	215	246	276	307	337
4	4	35	63	94	124	155	185	216	247	277	308	338
5	5	36	64	95	125	156	186	217	248	278	309	339
6	6	37	65	96	126	157	187	218	249	279	310	340
7	7	38	66	97	127	158	188	219	250	280	311	341
8	8	39	67	98	128	159	189	220	251	281	312	342
9	9	40	68	99	129	160	190	221	252	282	313	343
10	10	41	69	100	130	161	191	222	253	283	314	344
11	11	42	70	101	131	162	192	223	254	284	315	345
12	12	43	71	102	132	163	193	224	255	285	316	346
13	13	44	72	103	133	164	194	225	256	286	317	347
14	14	45	73	104	134	165	195	226	257	287	318	348
15	15	46	74	105	135	166	196	227	258	288	319	349
16	16	47	75	106	136	167	197	228	259	289	320	350
17	17	48	76	107	137	168	198	229	260	290	321	351
18	18	49	77	108	138	169	199	230	261	291	322	352
19	19	50	78	109	139	170	200	231	262	292	323	353
20	20	51	79	110	140	171	201	232	263	293	324	354
21	21	52	80	111	141	172	202	233	264	294	325	355
22	22	53	81	112	142	173	203	234	265	295	326	356
23	23	54	82	113	143	174	204	235	266	296	327	357
24	24	55	83	114	144	175	205	236	267	297	328	358
25	25	56	84	115	145	176	206	237	268	298	329	359
26	26	57	85	116	146	177	207	238	269	299	330	360
27	27	58	86	117	147	178	208	239	270	300	331	361
28	28	59	87	118	148	179	209	240	271	301	332	362
29	29		88	119	149	180	210	241	272	302	333	363
30	30		89	120	150	181	211	242	273	303	334	364
31	31		90		151		212	243		304		365

Πίνακας 3: Ο δείκτης LAI των φυτών για τις διαφορετικές μεταχειρήσεις

JD	LAI							
	I1N1	I1N2	I1N3	I1N4	I2N1	I2N2	I2N3	I2N4
162	4.36	3.1	5.95	8.62	4.91	5.91	7.23	5.18
178	4.56	4.41	6.12	8.07	3.97	4.58	8.01	5.33
192	4.4	10.36	6.28	7.41	6.07	6.52	6.13	5.82
206	5.29	6.55	7.54	8.04	6.61	4.77	7.33	6.39
221	5.42	8.29	7.55	6.81	9.22	11.87	7.91	9.43
272	3.14	3.1	2.79	2.75	2.42	2.0	3.68	2.44

Πίνακας 4: SLA φυτών για τις διαφορετικές μεταχειρήσεις

JD	SLA							
	I1N1	I1N2	I1N3	I1N4	I2N1	I2N2	I2N3	I2N4
162	22,72	13,05	17,73	18,95	15,83	16,74	14,25	12,74
178	14,21	15,34	15,46	13,91	16,15	13,19	15,89	13,59
192	13,34	24,45	13,39	13,02	17,68	13,88	13,58	13,85
206	15,19	13,98	16,38	14,01	13,98	14,12	15,00	13,74
221	11,47	13,07	11,32	11,04	13,48	11,38	14,60	14,24
272	13,67	11,07	11,11	12,13	10,64	9,53	10,47	10,07

Πίνακας 5: Χλωρό βάρος φυτών για τις διαφορετικές μεταχειρίσεις.

JD	F.WEIGHT							
	I1N1	I1N2	I1N3	I1N4	I2N1	I2N2	I2N3	I2N4
162	1,88	2,40	3,68	4,60	3,84	4,04	5,44	4,00
178	3,09	3,30	4,69	6,03	3,11	4,28	5,66	4,25
192	4,26	5,16	5,78	6,14	4,59	5,53	5,40	4,81
206	4,48	5,12	5,80	6,59	5,76	4,15	5,78	5,73
221	4,21	5,50	6,06	5,72	7,14	9,67	6,92	7,63
272	4,02	5,38	5,43	4,30	5,18	4,99	5,84	4,71

Πίνακας 6. Ύψος φυτών για τις διαφορετικές μεταχειρήσεις (2 διαφορετικά επίπεδα άρδευσης και 4 διαφορετικά επίπεδα αζωτούχου λίπανσης) κατά τη διάρκεια της καλλιεργητικής περιόδου 2011

J.D	I1N1	I1N2	I1N3	I1N4	I2N1	I2N2	I2N3	I2N4
162	0.71	0.96	1.04	1.2	0.95	1.08	1.3	1.0
178	1.22	1.59	1.7	1.58	1.5	1.68	1.63	1.67
192	1.53	1.63	1.71	1.77	1.68	1.65	1.75	1.78
206	1.75	1.89	1.98	1.95	1.92	1.82	1.88	2.05
221	1.84	1.89	1.91	2.03	2.0	2.0	2.1	2.0
272	1.96	2.01	2.05	2.02	2.14	1.83	1.97	2.1

Πίνακας 7: Θερμοκρασία αέρα και βροχόπτωση ανά 10ήμερο (2011)

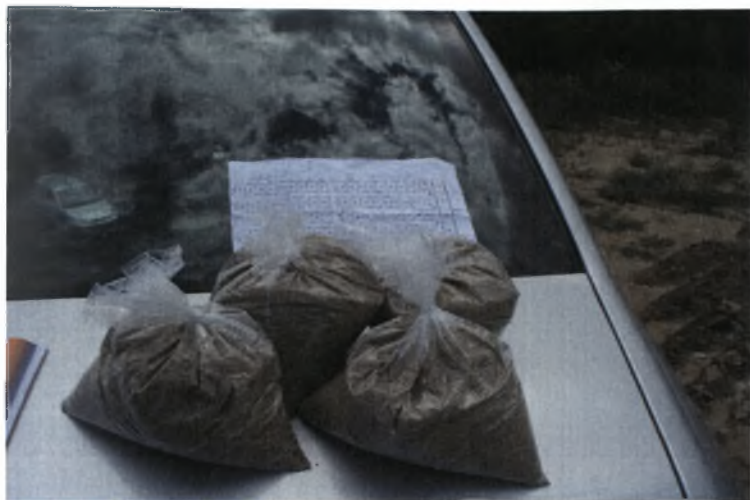
	10ημερα	temp	rain
		mean	sum
	1		
	2		
March	3	11,03	15,6
	1	11,92	0
	2	12,69	23,4
April	3	14,41	19,2
	1	17,45	19,2
	2	18,45	8,2
May	3	22,11	103
	1	24,95	15,4
	2	24,99	3,6
June	3	25,71	0,2
	1	27,03	0
	2	29,42	0
July	3	27,26	0
	1	27,32	45,4
	2	26,19	0
August	3	25,97	6,8
	1	26,12	0,2
	2	25,51	26
September	3	20,54	5,4

Πίνακας 8: Συνολικό ξηρό βάρος φυτών για τις διαφορετικές μεταχειρίσεις.

JD	T.D.W.							
	I1N1	I1N2	I1N3	I1N4	I2N1	I2N2	I2N3	I2N4
162	0,48	0,63	0,96	1,09	0,89	0,96	1,37	1,13
178	0,93	0,93	1,28	1,75	0,87	1,11	1,65	1,35
192	1,54	1,85	2,03	2,22	1,59	1,87	1,89	1,66
206	1,79	2,01	2,23	2,56	2,31	1,50	2,18	2,13
221	1,90	2,49	2,82	2,54	2,99	4,37	2,84	3,04
272	1,92	2,63	2,61	2,12	2,58	2,61	2,94	2,46



Φωτογραφίες







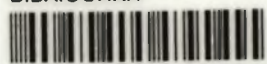








ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΘΕΣΣΑΛΙΑΣ  
ΒΙΒΛΙΟΘΗΚΗ



004000114804