



ΤΜΗΜΑ ΓΕΩΠΟΝΙΑΣ ΦΥΤΙΚΗΣ ΠΑΡΑΓΩΓΗΣ  
& ΑΓΡΟΤΙΚΟΥ ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝΤΟΣ  
Αριθμ. Πρωτοκ. 424  
28-6-2013

# ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΘΕΣΣΑΛΙΑΣ

ΣΧΟΛΗ ΓΕΩΠΟΝΙΚΩΝ ΕΠΙΣΤΗΜΩΝ

ΤΜΗΜΑ ΦΥΤΙΚΗΣ ΠΑΡΑΓΩΓΗΣ & ΑΓΡΟΤΙΚΟΥ  
ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝΤΟΣ



**Επίδραση διαφορετικών επιπέδων λίπανσης και άρδευσης στην  
αρχιτεκτονική του ενεργειακού φυτού "*Panicum virgatum* L." στον  
Παλαμά Καρδίτσας κατά το έτος 2011.**

**Αγραφιώτη Παρασκευή**

**Επιβλέπων καθηγητής: Νικόλαος Δαναλάτος**

Βόλος, Ιούνιος 2013



# ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΘΕΣΣΑΛΙΑΣ

ΣΧΟΛΗ ΓΕΩΠΟΝΙΚΩΝ ΕΠΙΣΤΗΜΩΝ

ΤΜΗΜΑ ΦΥΤΙΚΗΣ ΠΑΡΑΓΩΓΗΣ & ΑΓΡΟΤΙΚΟΥ  
ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝΤΟΣ



**Επίδραση διαφορετικών επιπέδων λίπανσης και άρδευσης στην αρχιτεκτονική του ενεργειακού φυτού “*Panicum virgatum* L.” στον Παλαμά Καρδίτσας κατά το έτος 2011.**

**Αγραφιώτη Παρασκευή**

**Επιβλέπων καθηγητής: Νικόλαος Δαναλάτος**

Βόλος, Ιούνιος 2013



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

Αριθ. Εισ.: 1193~~2~~/1  
Ημερ. Εισ.: 21/08/2013  
Δωρεά: Συγγραφέα  
Ταξιθετικός Κωδικός: ΠΤ-ΦΠΑΠ  
2013  
ΑΓΡ

## ΕΙΣΗΓΗΤΙΚΗ ΕΠΙΤΡΟΠΗ

Νικόλαος Δαναλάτος Καθηγητής, Επιβλέπων.

Ανθούλα Δημήρκου Καθηγήτρια, Μέλος.

Σπύρος Πετρόπουλος Λέκτορας, Μέλος.

## ΕΥΧΑΡΙΣΤΙΕΣ

Θα ήθελα μέσα από αυτές τις λιγοστές γραμμές να εκφράσω ευχαριστίες πρωτίστως στον καθηγητή κ. Δαναλάτο Νικόλαο για την πολύτιμη βοήθειά του για να έρθει εις πέρας το πείραμα αυτό.

Επίσης, θα ήθελα να ευχαριστήσω την καθηγήτρια κα. Δημήρκου και τον κ. Πετρόπουλο για το χρόνο που διέθεσαν για την διόρθωση και για τις παρατηρήσεις της πτυχιακής μου.

Επιπλέον, θα ήθελα να ευχαριστήσω τον υποψήφιο κ. διδάκτορα Γιαννούλη Κυριάκο για την πολύτιμη βοήθεια που μου πρόσφερε κατά την διάρκεια του πειράματος και κατά την συγγραφή της παρούσας πτυχιακής εργασίας.

Ένα μεγάλο ευχαριστώ στις φίλες μου Γεωργία και Ελένη που με βοήθησαν να ξεπεράσω κάθε δυσκολία και κάθε εμπόδιο για την ολοκλήρωση της παρούσας εργασίας.

Τέλος, θα ήθελα να ευχαριστήσω την οικογένεια μου για την ηθική και πρακτική τους στήριξη που με πρόσφερε αυτά τα 5 χρόνια σπουδών.

Αφιερώνεται στον μπαμπά μου

## Περίληψη

Το switchgrass (*Panicum virgatum*) είναι πολυετές, εαρινό αγρωστώδες φυτό το οποίο καλλιεργείται ως επί το πλείστο στις Η.Π.Α. Ως C4 φυτό, το switchgrass είναι αποδοτικό σε βιομάζα, η οποία είναι πλούσια σε κυτταρίνη, με αποτέλεσμα η συγκεκριμένη καλλιέργεια να είναι πολύ σημαντική για την παραγωγή αιθανόλης και γενικότερα για την παραγωγή ενέργειας. Η εγκατάσταση του γίνεται με σπόρους, μπορεί όμως να αναπαραχθεί και με ριζώματα. Το ριζικό του σύστημα μπορεί να ξεπεράσει τα 3 μέτρα και το μεγαλύτερο μέρος αναπτύσσεται κατά την χρονιά εγκατάστασης. Λειτουργεί ως αναπαραγωγικό όργανο για την αναβλάστηση του φυτού την επόμενη χρονιά. Η καλλιέργεια φτάνει στη μέγιστη δυνατή απόδοση στον τρίτο χρόνο και συνεχίζει να παράγει βιομάζα για χρονικό διάστημα μέχρι και δώδεκα χρόνων. Η εγκατάσταση της καλλιέργειας μπορεί να παρεμποδιστεί σοβαρά από την ύπαρξη ζιζανίων, ειδικά κατά τον πρώτο χρόνο εγκατάστασης και ενώ δεν έχει αναπτύξει βαθύ ριζικό σύστημα. (Skinner R.H and Adler P. R., 2010)

Στο πείραμα εξετάστηκε η αύξηση και η ανάπτυξη του φυτού κάτω από διαφορετικά επίπεδα άρδευσης και διαφορετικά επίπεδα λίπανσης. Κατά την διάρκεια του καλοκαιριού σημειώθηκαν υψηλές θερμοκρασίες, έντονη βροχόπτωση υπήρξε κατά τον μήνα Μάιο και τον μήνα Αύγουστο όπου και επηρέασαν τις αποδόσεις της καλλιέργειας. Πιο συγκεκριμένα δεν σημειώθηκαν σημαντικές αλλαγές στο ύψος των φυτών μεταξύ των επεμβάσεων λίπανσης και άρδευσης. Ο μέγιστος ρυθμός ανάπτυξης ήταν μεταξύ 1<sup>ο</sup>-3<sup>ο</sup> κοπής και σημειώθηκε στα 30 kg/day/στρέμμα λόγω της υψηλής θερμοκρασίας και της έντονης ξηρασίας. Τέλος, η ξερή βιομάζα των βλαστών είναι 70%, των ανθοταξιών είναι 12% και των φύλλων είναι 18%. Με την άνοδο της θερμοκρασίας και τις έντονες βροχοπτώσεις στην πρώτη κοπή η SLA έφτασε στο 15,21 m<sup>2</sup>/kg και στην τελευταία κοπή έφτασε στο 11 m<sup>2</sup>/kg λόγω της ξηρασίας των φύλλων. Η τιμή του LAI κυμάνθηκε στο 4,6, η μέγιστη τιμή σημειώθηκε στην πέμπτη κοπή με 7,3 λόγω της έντονης θερμοκρασίας κατά την διάρκεια της καλλιέργειας και στην τελευταία κοπή η τιμή του LAI ήταν 2,78 λόγω της ξήρανσης των φύλλων.

## Πίνακας περιεχομένων

Chapter 1: Εισαγωγή .....	3
1.1.1 Η βιομάζα στην χώρα μας .....	4
1.1.2 Πλεονεκτήματα ενεργειακής αξιοποίησης της βιομάζας .....	5
1.1.3 Μειονεκτήματα από τη χρήση βιομάζας .....	5
1.1.4 Ενεργειακή γεωργία .....	6
1.1.5 Ενεργειακές καλλιέργειες .....	7
1.1.6 Οικότυποι .....	9
1.1.7 Ποικιλίες .....	11
1.1.8 Η καλλιέργεια του Switchgrass .....	11
1.2 Βοτανικά χαρακτηριστικά .....	11
1.2.1 Ρίζα .....	11
1.2.2 Στελέχη .....	12
1.2.3 Ταξιανθία .....	14
1.2.4 Σταχύδιο .....	14
1.2.5 Αριθμός των αδελφιών .....	15
1.2.6 Άνθος .....	15
1.2.7 Καρπός .....	16
1.3 ΚΑΛΛΙΕΡΓΗΤΙΚΕΣ ΤΕΧΝΙΚΕΣ .....	17
1.3.1 Σπορά .....	17
1.3.2 Έδαφος .....	17
1.3.3 Άρδευση .....	18
1.3.4 Ζιζανιοκτονία .....	18
1.3.5 Αποδόσεις .....	19
1.3.7 Συγκομιδή .....	20
1.4 Περιβαλλοντικά και κοινωνικά οφέλη .....	21
1.4.1 Περιβαλλοντικά οφέλη .....	21
1.4.2 Κοινωνικό-οικονομικά οφέλη .....	21
1.5 Χρήσεις .....	22
1.5.1 Παραγωγή πελλέτας .....	22
1.5.2 Παραγωγή βιοαιθανόλης .....	22
1.5.3 Παραγωγή βιοαερίου .....	22
1.6 Σκοπός της διατριβής .....	23



Chapter 2 : Υλικά και Μέθοδοι.....	24
Πειραματικό σχέδιο .....	24
Σπορά.....	25
Λίπανση.....	25
Άρδευση .....	25
Έλεγχος ζιζανίων.....	26
Έλεγχος εχθρών και ασθενειών.....	26
Συλλογή πειραματικών δεδομένων .....	26
Εργαστηριακές μετρήσεις .....	27
Επεξεργασία φύλλων.....	27
Συλλογή μετεωρολογικών δεδομένων.....	29
Υπολογισμοί .....	30
Υπολογισμός θερμομονάδων (Accumulated Heat Units) .....	29
Υπολογισμός SLA (Specific Leaf Area) .....	30
Υπολογισμός LAI (Leaf Area Index) .....	31
Chapter 3: Αποτελέσματα και Συζήτηση.....	32
3.1Κλιματολογικές συνθήκες .....	32
3.2 Αύξηση και ανάπτυξη της καλλιέργειας .....	34
3.2.1 Ύψος Φυτών .....	34
3.2.2 Ξηρό Βάρος Φυτών.....	35
3.3 Ειδική Φυλλική Επιφάνεια και Δείκτης Φυλλικής Επιφάνειας.....	36
Chapter 4: Συμπεράσματα .....	39
Βιβλιογραφία .....	40

# Chapter 1: Εισαγωγή

## 1.1 Βιομάζα

Τα τελευταία χρόνια οι ασταθείς τιμές του πετρελαίου έχουν προκαλέσει μεγάλο ενδιαφέρον στην παραγωγή βιοκαυσίμων για τη μείωση της εξάρτησης από τα ορυκτά καύσιμα (Lynd et al., 1991). Τα βιοκαύσιμα θα μπορούσαν όχι μόνο να συνεισφέρουν στη μείωση της εξάρτησης από τα ορυκτά καύσιμα, αλλά και στην ενίσχυση της εθνικής ασφάλειας της ενέργειας, να δώσουν μια εναλλακτική λύση στην αυξημένη ζήτηση ενέργειας, αλλά και να μειώσουν την εκπομπή αερίων του θερμοκηπίου και την παροχή ευκαιριών για την αγροτική οικονομική ανάπτυξη. Ως βιομάζα ορίζεται η ύλη που έχει βιολογική (οργανική) προέλευση (Στοιμενίδης et al., 2005). Πρακτικά, στον όρο βιομάζα εμπεριέχεται οποιοδήποτε υλικό προέρχεται άμεσα ή έμμεσα από το φυτικό κόσμο. Πρόκειται για μία πηγή ενέργειας που ανανεώνεται συνεχώς λόγω της φωτοσυνθετικής ικανότητας των φυτικών οργανισμών. Η βιομάζα μπορεί να χρησιμοποιηθεί για την παραγωγή στερεών, υγρών, αερίων καυσίμων καθώς και άλλων βιομηχανικών προϊόντων.

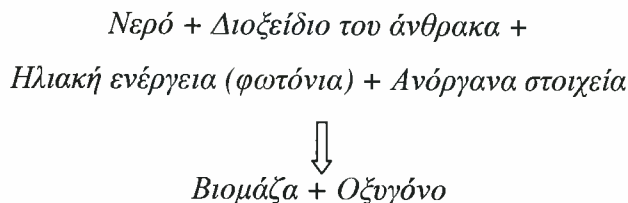
Η βιομάζα καλύπτει περίπου το 4% της συνολικής ενέργειας που καταναλώνεται στις ΗΠΑ και το 45% των ανανεώσιμων πηγών ενέργειας. Οι αντίστοιχες τιμές της ΕΕ είναι 3% και 68%, ενώ αυτές της Ελλάδας είναι 3,3% και 50%, αντίστοιχα για το έτος 2000 (ΚΑΠΕ, 2005).

Πιο συγκεκριμένα, σ' αυτήν περιλαμβάνονται:

- Οι φυτικές ύλες που προέρχονται είτε από φυσικά οικοσυστήματα, όπως π.χ. τα αυτοφυή φυτά και δάση, είτε από τις ενεργειακές καλλιέργειες γεωργικών και δασικών ειδών, όπως π.χ. το σόργο το σακχαρούχο, το καλάμι, ο ευκάλυπτος κ.ά.,
- Τα υποπροϊόντα και κατάλοιπα της φυτικής, ζωικής, δασικής και αλιευτικής παραγωγής, όπως π.χ. τα άχυρα, στελέχη αραβόσιτου, στελέχη βαμβακιάς, κλαδοδέματα, κλαδιά δένδρων, κτηνοτροφικά απόβλητα, οι κληματίδες κ.ά.,
- Τα υποπροϊόντα που προέρχονται από τη μεταποίηση ή επεξεργασία των υλικών αυτών, όπως π.χ. τα ελαιοπυρηνόξυλα, υπολείμματα εκκοκκισμού βαμβακιού, το πριονίδι κ.ά., καθώς και
- Το βιολογικής προέλευσης μέρος των αστικών λυμάτων και σκουπιδιών.

Η βιομάζα αποτελεί μία δεσμευμένη και αποθηκευμένη μορφή της ηλιακής ενέργειας και είναι αποτέλεσμα της φωτοσυνθετικής δραστηριότητας των φυτικών οργανισμών. Κατ' αυτήν, η χλωροφύλλη των φυτών μετασχηματίζει την ηλιακή

ενέργεια με μια σειρά διεργασιών, χρησιμοποιώντας ως βασικές πρώτες ύλες διοξείδιο του άνθρακα από την ατμόσφαιρα καθώς και νερό και ανόργανα συστατικά από το έδαφος. Η διεργασία αυτή μπορεί να παρασταθεί σχηματικά ως εξής:



Από τη στιγμή που σχηματίζεται η βιομάζα, μπορεί πλέον κάλλιστα να χρησιμοποιηθεί ως πηγή ενέργειας. Η βιομάζα αποτελεί μια σημαντική, ανεξάντλητη και φιλική προς το περιβάλλον πηγή ενέργειας, η οποία είναι δυνατό να συμβάλλει σημαντικά στην ενεργειακή επάρκεια, αντικαθιστώντας τα εξαντλούμενα αποθέματα ορυκτών καυσίμων (πετρέλαιο, άνθρακας, φυσικό αέριο κ.ά.). Στη βιομάζα, συγκαταλέγονται τα καυσόξυλα και οι ξυλάνθρακες που, μέχρι το τέλος του περασμένου αιώνα, κάλυπταν το 97% των ενεργειακών αναγκών της χώρας.

### 1.1.1 Η βιομάζα στην χώρα μας

Η βιομάζα στη χώρα μας χρησιμοποιείται κυρίως για την παραγωγή, κατά τον παραδοσιακό τρόπο, θερμότητας στον οικιακό τομέα (μαγειρική, θέρμανση), για τη θέρμανση θερμοκηπίων, σε ελαιουργεία, καθώς και, με τη χρήση πιο εξελιγμένων τεχνολογιών, στη βιομηχανία (εκκοκκιστήρια βαμβακιού, παραγωγή προϊόντων ξυλείας, ασβεστοκάμινοι κ.ά.), σε περιορισμένη, όμως, κλίμακα. Ως πρώτη ύλη σε αυτές τις περιπτώσεις χρησιμοποιούνται υποπροϊόντα της βιομηχανίας ξύλου, ελαιοπυρήνας, κουκούτσια ροδάκινων και άλλων φρούτων, τσόφλια αμυγδάλων, βιομάζα δασικής προέλευσης, άχυρο σιτηρών, υπολείμματα εκκοκκισμού κ.ά.

Παρ' όλα αυτά, οι προοπτικές αξιοποίησης της βιομάζας στη χώρα μας είναι εξαιρετικά ευνοούμενες, καθώς υπάρχει σημαντικό δυναμικό, μεγάλο μέρος του οποίου είναι άμεσα διαθέσιμο. Παράλληλα, η ενέργεια που μπορεί να παραχθεί είναι, στις περισσότερες περιπτώσεις, οικονομικά ανταγωνιστική αυτής που παράγεται από τις συμβατικές πηγές ενέργειας. (Βασιλακάκης Μ., 2012)

### **1.1.2 Πλεονεκτήματα ενεργειακής αξιοποίησης της βιομάζας**

Τα κυριότερα πλεονεκτήματα που προκύπτουν από τη χρησιμοποίηση της βιομάζας για παραγωγή ενέργειας είναι τα ακόλουθα:

1. Η αποτροπή του φαινομένου του θερμοκηπίου, το οποίο οφείλεται σε μεγάλο βαθμό στο διοξείδιο του άνθρακα ( $\text{CO}_2$ ) που παράγεται από την καύση ορυκτών καυσίμων. Η βιομάζα δεν συνεισφέρει στην αύξηση της συγκέντρωσης του ρύπου αυτού στην ατμόσφαιρα γιατί, ενώ κατά την καύση της παράγεται  $\text{CO}_2$ , κατά την παραγωγή της και μέσω της φωτοσύνθεσης επαναδεσμεύονται σημαντικές ποσότητες αυτού του ρύπου
2. Η αποφυγή της επιβάρυνσης της ατμόσφαιρας με το διοξείδιο του θείου ( $\text{SO}_2$ ) που παράγεται κατά την καύση των ορυκτών καυσίμων και συντελεί στο φαινόμενο της “όξινης βροχής”. Η περιεκτικότητα της βιομάζας σε θείο είναι πρακτικά αμελητέα.
3. Η μείωση της ενεργειακής εξάρτησης, που είναι αποτέλεσμα της εισαγωγής καυσίμων από τρίτες χώρες, με αντίστοιχη εξοικονόμηση συναλλάγματος.
4. Η εξασφάλιση εργασίας και η συγκράτηση των αγροτικών πληθυσμών στις παραμεθόριες και τις άλλες γεωργικές περιοχές, συμβάλλει δηλαδή η βιομάζα στην περιφερειακή ανάπτυξη της χώρας. (Στοιμενίδης et al., 2005)

### **1.1.3 Μειονεκτήματα από τη χρήση βιομάζας**

Τα μειονεκτήματα από τη χρήση της βιομάζας, ως επί το πλείστον, αφορούν δυσκολίες στην εκμετάλλευσή της, είναι τα εξής:

1. Ο μεγάλος όγκος της και η μεγάλη περιεκτικότητά της σε υγρασία, ανά μονάδα παραγόμενης ενέργειας.
2. Η δυσκολία στη συλλογή, μεταποίηση, μεταφορά και αποθήκευσή της, έναντι των ορυκτών καυσίμων.
3. Οι δαπανηρότερες εγκαταστάσεις και εξοπλισμός που απαιτούνται για την αξιοποίηση της βιομάζας, σε σχέση με τις συμβατικές πηγές ενέργειας.
4. Η μεγάλη διασπορά και η εποχιακή παραγωγή της (Στοιμενίδης et al., 2005)

Εξ αιτίας των παραπάνω μειονεκτημάτων για την πλειοψηφία των εφαρμογών της, το κόστος της βιομάζας παραμένει, συγκριτικά προς το πετρέλαιο, υψηλό. Ήδη, όμως, υπάρχουν εφαρμογές στις οποίες η αξιοποίηση της βιομάζας παρουσιάζει οικονομικά οφέλη. Επιπλέον, το πρόβλημα αυτό βαθμιαία εξαλείφεται, αφ' ενός

λόγω της ανόδου των τιμών του πετρελαίου, αφ' ετέρου και σημαντικότερο, λόγω της βελτίωσης και ανάπτυξης των τεχνολογιών αξιοποίησης της βιομάζας. Τέλος, πρέπει κάθε φορά να συνυπολογίζεται το περιβαλλοντικό όφελος, το οποίο, αν και συχνά δεν μπορεί να αποτιμηθεί με οικονομικά μεγέθη, εντούτοις είναι ουσιαστικής σημασίας για την ποιότητα της ζωής και το μέλλον της ανθρωπότητας.

#### 1.1.4 Ενεργειακή γεωργία

Με την ανάπτυξη των ενεργειακών καλλιεργειών, πέρα από το περιβαλλοντικό όφελος, επιτυγχάνονται τα έξης (ΚΑΠΕ, 2005):

- ✚ **Προσφορά εναλλακτικών καλλιεργητικών λύσεων:** Οι ενεργειακές καλλιέργειες μπορούν να προσφέρουν εναλλακτικές λύσεις για τους αγρότες.
- ✚ **Ενδυνάμωση του γεωργικού χώρου:** Με την ανάπτυξη καλλιεργειών για ενέργεια, θα δημιουργηθεί ανάγκη για προμήθεια νέων ποικιλιών, βελτίωση καλλιεργητικών μεθόδων και εξοπλισμού, που θα υποστηρίξουν την παραγωγή και αποθήκευση των νέων φυτών. Αυτό θα δώσει ώθηση στη φθίνουσα γεωργική οικονομία και θα οδηγήσει στην ανάπτυξη της εγχώριας γεωργικής βιομηχανίας.
- ✚ **Αύξηση του αγροτικού εισοδήματος:** Η διείσδυση των ενεργειακών καλλιεργειών στην εσωτερική αγορά μπορεί να εξασφαλίσει ικανοποιητικό αγροτικό εισόδημα σε σχέση με ορισμένες συμβατικές καλλιέργειες και να ενισχύσει τη διαφοροποίηση των δραστηριοτήτων των γεωργών.
- ✚ **Μείωση των περιφερειακών ανισοτήτων και αναζωογόνηση των λιγότερο ανεπτυγμένων γεωργικών οικονομιών:** Η παραγωγή και εκμετάλλευση των ενεργειακών καλλιεργειών θα συντελεστεί στις αγροτικές περιοχές. Η εισροή, επομένως νέων εισοδημάτων θα βελτιώσει τη ζωή των τοπικών κοινωνιών και θα στηρίξει την ανάπτυξη σε λιγότερο ανεπτυγμένες περιοχές της χώρας.
- ✚ **Εξασφάλιση αιεφόρου περιφερειακής ανάπτυξης:** Η δημιουργία αγοράς για παραγωγή βιοκαυσίμων, θερμότητας και ηλεκτρισμού στην περιφέρεια, θα συμβάλει στην παραμονή του πληθυσμού στις αγροτικές περιοχές, με τη δημιουργία νέων θέσεων εργασίας και την εξασφάλιση πρόσθετων εισοδημάτων στην τοπική κοινωνία.
- ✚ **Ελλάτωση της εξάρτησης από το πετρέλαιο:** Η χρήση καλλιεργειών για ενεργειακούς σκοπούς οδηγεί στην ανάπτυξη στρατηγικών παραγωγής

εθνικών προϊόντων και ελαττώνει την εξάρτηση από τις εισαγωγές πετρελαίου.

Γενικά, τα ενεργειακά φυτά καλλιεργούνται για το σχετικά προβλέψιμο ποσό της βιομάζας που παράγεται από αυτά και ανάλογα με τον τρόπο εκμετάλλευσής της διακρίνονται σε (FAO, 1996):

- ✓ Καλλιέργεια ειδών με σκοπό την παραγωγή στερεής βιομάζας
- ✓ Καλλιέργεια ειδών πλούσια σε άμυλο και σάκχαρα με σκοπό την παραγωγή αιθανόλης
- ✓ Καλλιέργεια ειδών με μεγάλη περιεκτικότητα σε έλαια με σκοπό την παραγωγή βιοντίζελ
- ✓ Καλλιέργεια ειδών με σκοπό την παραγωγή βιοαερίου

### **1.1.5 Ενεργειακές καλλιέργειες**

Πρόκειται για καλλιεργούμενα ή αυτοφυή είδη, παραδοσιακά ή νέα, τα οποία παράγουν βιομάζα ως κύριο προϊόν, που μπορεί να χρησιμοποιηθεί για διάφορους ενεργειακούς σκοπούς, όπως η παραγωγή ηλεκτρισμού και θερμότητας και η παραγωγή υγρών βιοκαυσίμων και το τελικό προϊόν τους προορίζεται για την παραγωγή ενέργειας, είτε παραδοσιακές καλλιέργειες που μπορούν να χρησιμοποιηθούν για την παραγωγή βιοκαυσίμων.

Το κύριο πλεονέκτημα τους είναι ότι η σταθερή παραγωγή τους μπορεί να εξασφαλίσει μεγάλης κλίμακας, μακροπρόθεσμη προμήθεια πρώτης ύλης, με ομοιόμορφα ποιοτικά χαρακτηριστικά σε μονάδες παραγωγής βιοκαυσίμων και ενέργειας. Ειδικά οι νέες καλλιέργειες παρουσιάζουν σημαντικά υψηλότερες αποδόσεις ανά εδαφική μονάδα, σε σχέση με τις συμβατικές για την παραγωγή ενέργειας, θεωρούνται και αυτές ενεργειακές καλλιέργειες. (Χρήστου et al.,2006, ΚΑΠΕ, 2006)

#### 1) Ενεργειακές καλλιέργειες για την παραγωγή υγρών βιοκαυσίμων

Οι ενεργειακές καλλιέργειες που μπορούν να χρησιμοποιηθούν για την παραγωγή βιοντίζελ είναι ο ηλιάνθος και η ελαιοκράμβη και για την παραγωγή βιοαιθανόλης το σιτάρι, το κριθάρι, ο αραβόσιτος, τα τεύτλα και το γλυκό σόργο.

#### 2) Ενεργειακές καλλιέργειες για την παραγωγή στερεών βιοκαυσίμων

Ο ευκάλυπτος, η ψευδακακία, το καλάμι, ο μίσχανθος, η αγριαγκινάρα, το switchgrass, το κυτταρινούχο σόργο και το κενάφ είναι ενεργειακές καλλιέργειες που μπορούν να χρησιμοποιηθούν ως πρώτη ύλη για την παραγωγή στερεών βιοκαυσίμων.

Σημαντικότερες ενεργειακές καλλιέργειες που έχουν μελετηθεί και θα μπορούσαν να χρησιμοποιηθούν επιτυχώς χωρίζονται σε δύο κατηγορίες και είναι οι εξής: (Βασιλακάκης Μ., 2012)

#### *A. Ετήσιες*

1. Αιθίοπια (*Brassica carinata L. Braun*)
2. Ηλιάνθος (*Helianthus annuus L.*)
3. Γλυκό και κυτταρινούχο σόργο (*Sorghum bicolor L.*)
4. Κενάφ (*Hibiscus cannabinus L.*)
5. Ελαιοκράμβη (*Brassica napus, Brassica carinata*)
6. Σιτάρι (*Triticum aestivum L.*)
7. Ζαχαρότεύτλα (*Beta vulgaris L.*)
8. Αραβόσιτος (*Zea mays L.*)
9. Κριθάρι (*Hordeum sativum Nulgare*)

#### *B. Πολυετής:*

##### I. Γεωργικές:

1. Καλάμι (*Arundo donax L.*)
2. Μίσχανθος (*Miscanthus χ giganteus GREEF et DEU*)
3. Αγριαγκινάρα (*Cynara cardunculus L.*)
4. Switchgrass (*Panicum virgatum L.*)

##### II. Δασικές:

1. Ευκάλυπτος (*Eucalyptus camaldulensis Dehnh. & Eucalyptus globules Labill.*),
2. Ψευδακακία (*Robinia pseudoacacia L.*)

Υπάρχει τεράστιο ενδιαφέρον για αυτό το φυτό διότι μπορεί να καλλιεργηθεί το καλοκαίρι για βόσκηση σε βοσκότοπους αλλά γίνεται έρευνα ως πιθανή καλλιέργεια βιομάζας για παραγωγή ενέργειας (Ray Smith et al., 2009). Ανήκει στην

οικογένεια Poaceae στο γένος Panicum. Στον παρακάτω πίνακα βλέπουμε την επιστημονική κατάταξη του switchgrass.

<b>Switchgrass</b>
<b>Επιστημονική κατάταξη</b>
<b>Βασίλειο:</b> Plantae
<b>Τμήμα:</b> Magnoliophyta
<b>Κατηγορία:</b> Liliopsida
<b>Τάξη:</b> Poales
<b>Οικογένεια:</b> Poaceae
<b>Γένος:</b> Panicum
<b>Είδη:</b> virgatum
Panicum virgatum L.

**Πίνακας 1 :**Επιστημονική κατάταξη

### 1.1.6 Οικότυποι

Καθ 'όλη τη γεωγραφική ποικιλομορφία που καλύπτει το switchgrass υπάρχουν δύο γενότυποι-οικότυποι: το lowland που είναι στις πεδινές περιοχές, δηλαδή σε υγρά και νότια γεωγραφικά πλάτη και το upland που είναι σε ορεινές περιοχές, δηλαδή σε ξηρά και υψηλότερα γεωγραφικά πλάτη (Porter Jr., 1996) Η επιλογή των οικότυπων αφορά το γεωγραφικό πλάτος της προέλευσης των ποικιλιών (π.χ., χειμώνα-ανθεκτικότητα), αυτές οι ποικιλίες με χαμηλότερο γεωγραφικό πλάτος συνήθως παράγουν υψηλότερες αποδόσεις από ό, τι οι ορεινές ποικιλίες οι οποίες δεν έχουν ανθεκτικότητα στο κρύο του χειμώνα. (Parrish and Fike, 2005). Η απόδοση της βιομάζας σε γεωγραφικές περιοχές εξαρτάται από την ποικιλία και τον οικότυπο όπου φυτεύεται, από την διαχείριση των καλλιεργειών και από τον τύπο του εδάφους και από το κλίμα (Parrish and Fike, 2005).





**Εικόνα 1:** Lowland



**Εικόνα 2:** Upland

Πειράματα που έγιναν για 5 χρόνια στην Ελλάδα και την Ιταλία, είχαν σκοπό την αξιολόγηση 16 ποικιλιών του switchgrass. Ο κύριος σκοπός του πειράματος ήταν να δοκιμαστεί η προσαρμοστικότητα και παραγωγικότητα βιομάζας ορεινών αλλά και πεδινών switchgrass ποικιλιών στην περιοχή της Μεσογείου (Greece and Italy) (1998–2002).

Το Switchgrass είναι ένα πολυετές φυτό, κατάλληλο για την παραγωγή βιοκαυσίμων. Η επιλογή των ποικιλιών έχει σημαντικές επιπτώσεις στην τελική παραγωγικότητα, την επιμονή και την κερδοφορία της καλλιέργειας. Διαπιστώθηκε ότι όλες οι ποικιλίες είχαν υψηλές αποδόσεις και στις δύο περιοχές. Η μεγαλύτερη απόδοση σημειώθηκε για όλες τις ποικιλίες κατά την τρίτη καλλιεργητική περίοδο, με 17,9 και 12,3 τόνους ανά εκτάριο στην Ελλάδα στην Ιταλία, αντίστοιχα.

Σημαντικά υψηλότερες μέσες τιμές σε αποδόσεις καταγράφηκαν στον ελληνικό χώρο, εκτός από την πεδινή ποικιλία SL 93-3 όπου παρήγαγε 20,8 τόνους ανά εκτάριο στην Ιταλία και 18,1 τόνους ανά εκτάριο στην Ελλάδα. Η ποικιλία με τις καλύτερες επιδόσεις σε κάθε χώρο (μέσος όρος 1999-2002) ήταν η Kanlow, μια ποικιλία πεδινή, (17,1 τόνους ανά εκτάριο) στην Ελλάδα και η SL 93-3 (20 τόνους ανά εκτάριο) στην Ιταλία. Οι πεδινές ποικιλίες (Cathage, Kanlow, SL 93-2 και 93-3 SL) βρέθηκαν να είναι πιο παραγωγικές σε σχέση με τις ορεινές ποικιλίες. Οι ορεινές ποικιλίες switchgrass σταματούν την αύξηση-ανάπτυξη το φθινόπωρο και κατά συνέπεια, η απόδοση είναι κατά κανόνα χαμηλότερη από άλλες πεδινές ποικιλίες switchgrass κάτω από ευνοϊκές κλιματικές συνθήκες. (Saderson M.A. et al., 1996)

### 1.1.7 Ποικιλίες

Οι πιο σημαντικές καλλιεργούμενες ποικιλίες του switchgrass, που είναι διαθέσιμες σήμερα είναι : Kanlow, Alamo, Performer, BoMaster, Blackwell, Nebraska 28, Caddo, Summer, Pathfinder, Cave-in-Rock, Sunburst, Trailblazer, Shelter, Forestburg, Dacotah, Shawnee, Carthage, Rotstrahlbusch (Rinehart L., 2006, Elbersen H. W et al., 2001).

### 1.1.8 Η καλλιέργεια του Switchgrass

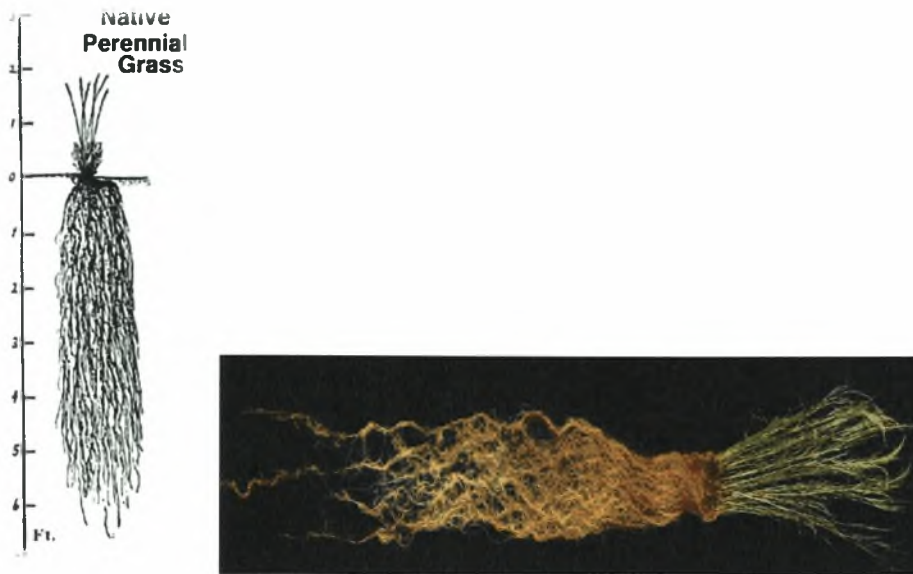
Το switchgrass θεωρείται ως μία καλλιέργεια βιομάζας για την παραγωγή ενέργειας και για την παραγωγή φυτικών ινών, όπως είναι:

- ❖ η υψηλή καθαρή παραγωγή ενέργειας ανά εκτάριο,
- ❖ το χαμηλό κόστος παραγωγής,
- ❖ οι χαμηλές απαιτήσεις σε θρεπτικά συστατικά,
- ❖ η χαμηλή περιεκτικότητα σε τέφρα,
- ❖ η υψηλή αποδοτικότητα της χρήσης του νερού,
- ❖ το μεγάλο εύρος της γεωγραφικής προσαρμογής,
- ❖ η ευκολία της εγκατάστασης από σπόρους,
- ❖ η προσαρμογή με τα εδάφη και
- ❖ οι δυνατότητες για την αποθήκευση του άνθρακα στο έδαφος.

## 1.2 Βοτανικά χαρακτηριστικά

### 1.2.1 Ρίζα

Είναι ένα πολυετές, αγροστώδες φυτό, με ριζικό σύστημα που μπορεί να ξεπεράσει τα τρία μέτρα βάθους. Υπό κατάλληλες συνθήκες μπορεί να φτάσει τα 2,5 μέτρα ύψος (Εικ. 3). Η ρίζα διακρίνεται στην πρωτογενή εμβρυακή ρίζα, στις δευτερογενείς που εμφανίζονται από το μεσοκοτύλιο και στις μόνιμες πού εμφανίζονται από το λαιμό (Silver and Tanya, 2000, Sector and Bob, 2006). Σχηματίζει λεπτά ριζώματα και από τους οφθαλμούς τους εκπτύσσονται, νωρίς την άνοιξη, αρκετά λεπτά στελέχη διαμέτρου 10 χιλιοστών (Alexoroulou, 2005).



Εικόνα 3: Το ριζικό σύστημα του switchgrass

### 1.2.2 Στελέχη

Τα στελέχη του switchgrass είναι ανοιχτού έως σκούρου πράσινου χρώματος, χωρίς τρίχες και φτάνουν σε ύψος περίπου τα 3 μέτρα. Αποτελούνται από συμπαγείς κόμβους και μεσογονάτια, τα οποία στα πρώτα στάδια ανάπτυξης είναι μικρά και οι διαδοχικοί κολεοί των φύλλων σχηματίζουν ένα ψευδοβλαστό. Τα νέα στελέχη σχηματίζονται από οφθαλμούς που βρίσκονται στους κόμβους του στελέχους, είναι παρόμοια με το αρχικό και ονομάζονται αδέρφια.

Το έλασμα του φύλλου φτάνει τα 15 χιλιοστά σε πλάτος και τα 50 εκατοστά σε μήκος, είναι συνήθως πράσινου χρώματος χωρίς τρίχες, με μεγάλο εύρος διασποράς. Ο κολεός του φύλλου είναι του ίδιου χρώματος με το έλασμα, ανοιχτός στον κόμβο. Στο σημείο συνένωσης κολεού και ελάσματος υπάρχει μια μεμβρανώδης εκβλάστηση που καλείται γλωσσίδιο. Στη βάση του γλωσσιδίου και από τις δύο πλευρές, υπάρχουν μεμβρανώδεις προεκτάσεις που καλούνται ωτίδια όπως φαίνεται στον πίνακα 4 (Silver and Tanya, 2000, Sectar and Bob, 2006) .



**Εικόνα 4:** Τα στελέχη του switchgrass και τα ωτίδια του.

Πειράματα που αφορούσαν την ίδια καλλιέργεια στην Ιταλία είχαν ως σκοπό να μετρήσουν το ύψος του στελέχους. Στη δεύτερη καλλιεργητική περίοδο, το ύψος των φυτών αυξήθηκε κατά μέση τιμή 64,4%, και συνέχισε να αυξάνεται κατά 15,15% στην διάρκεια του τρίτου έτος. Ο μέσος αριθμός των φυτών είχαν μέγιστο ύψος 173 cm στην τρίτη καλλιεργητική περίοδο, ενώ η τάση αυτή άλλαξε στην τέταρτη καλλιεργητική περίοδο, όπου καταγράφηκε μια μείωση. Στο τέλος της τρίτης καλλιεργητικής περιόδου, το ύψος των φυτών κυμαινόταν από 140 έως 210 εκατοστά. Η συνολική καταγραφή για τα τέσσερα χρόνια, δείχνει ότι το ύψος τείνει να σταθεροποιείται μετά από τα τρία χρόνια της καλλιέργειας. (N.Sharma, et al. 2003).

Ενώ στη Ελλάδα όλες οι ποικιλίες είχαν την ευκαιρία να αναπτύξουν υψηλότερα στελέχη σε σύγκριση με την ιταλική μελέτη. Τα υψηλότερα φυτά αναπτύχθηκαν στη δεύτερη καλλιεργητική περίοδο όμως υπήρξε μια πτώση του ύψους των φυτών κατά 33% και 30%, αντίστοιχα, στην Ελλάδα και την Ιταλία.

Στην Ελλάδα, ο αριθμός των αδελφιών ανά τετραγωνικό μέτρο αυξήθηκε από την σπορά στην δεύτερη καλλιεργητική περίοδο. Στην Ιταλία, ο αριθμός των αδελφιών αυξήθηκε μέχρι το τρίτο έτος, αλλά η πυκνότητα των αδελφιών δεν μετρήθηκε στην πρώτη καλλιεργητική περίοδο. Στην τέταρτη καλλιεργητική περίοδο, και στις δύο τοποθεσίες, η πυκνότητα των αδελφιών μειώθηκε σε όλες τις ποικιλίες και κυμαινόταν από 479 αδέρφια ανά  $m^2$  (καλοκαίρι) έως 1443 αδέρφια ανά  $m^2$  στην Ελλάδα, ενώ στην Ιταλία αυτό κυμαινόταν από 581 αδέρφια ανά  $m^2$  σε 1184 αδέρφια ανά  $m^2$ . (Alexoroulou et. al., 2008)

### 1.2.3 Ταξιανθία

Η ταξιανθία είναι φόβη (εικόνα 5), μήκους 20 έως 50 εκατοστών και πλάτους 10 έως 25 εκατοστών και αποτελείται από σταχύδια. Η ράχη της φόβης φέρει ομάδες διακλαδώσεων, πολύπλευρης διάταξης, που εκφύονται από ξεχωριστό κόμβο της ράχης και το μήκος τους μειώνεται προοδευτικά προς την κορυφή. Από κάθε διακλάδωση ξεκινούν διακλαδώσεις ανώτερης τάξης οι οποίες καταλήγουν σε ένα μικρό σταχύδιο, μήκους 4-5 χιλιοστών, ελλειψοειδούς ή ωοειδούς σχήματος. (Silver and Tanya, 2000, Sectar and Bob, 2006)



**Εικόνα 5:** Ταξιανθία του switchgrass

### 1.2.4 Σταχύδιο

Τα σταχύδια (εικόνα 6, 7) έχουν αρχικά κοκκινωπό (πορφυρό) χρώμα το οποίο στην συνέχεια γίνεται σκούρο μωβ. Κάθε σταχύδιο περιβάλλεται από ζεύγος βρακτείων φύλλων που ονομάζονται λέπυρα και αποτελείται από ένα ή περισσότερα άνθη που βρίσκονται τοποθετημένα εναλλάξ πάνω σε ένα μικρό άξονα που ονομάζεται ραχίδιο. Τα λέπυρα έχουν σχήμα λεμβοειδές ή επίμηκες και καταλήγουν σε μια αιχμή που ονομάζεται ακίδα. Κάτω από την ακίδα διακρίνεται μια αναδίπλωση τον κεντρικού νεύρου του λεπύρου σε όλο το μήκος του, που ονομάζεται τρόπιδα. (Sectar and Bob, 2006)



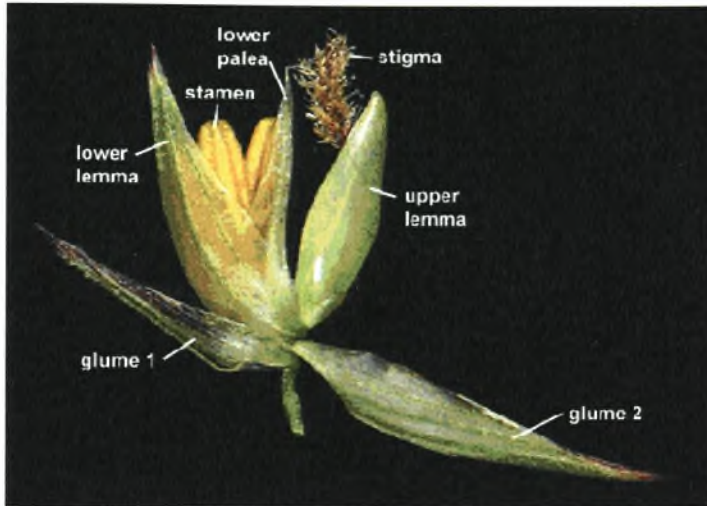
**Εικόνα 6:** Τα σταχύδια του switchgrass

### 1.2.5 Αριθμός των αδελφιών

Ο αριθμός των αδελφών ανά τετραγωνικό μέτρο αυξήθηκε από την εγκατάσταση έως τη δεύτερη καλλιεργητική περίοδο, και συνέχισε να αυξάνεται μέχρι το τέλος του τρίτου έτους της καλλιέργειας. Αναλυτικότερα, ο αριθμός των αδελφιών ανά τετραγωνικό μέτρο κυμαίνεται από 1034 σε 2868 ενώ υπήρξε συνολική μείωση στον αριθμό των αδελφιών σχεδόν σε όλες τις ποικιλίες, στην τέταρτη εποχή αυξάνεται με τα αντίστοιχα δεδομένα να κυμαίνονται από 581 σε 1295. Όσον αφορά τον αριθμό των αδελφιών ανά φυτό, το 2000 κυμαινόταν από 18,1 σε 59, αλλά το 2001, ο αριθμός παρατηρήθηκε να έχει μειωθεί σε σχέση με τα προηγούμενα έτη, τα οποία κυμαίνονταν από 11,8 έως 25,5. (N.Sharma et al., 2003)

### 1.2.6 Άνθος

Κάθε άνθος περιβάλλεται από δύο λεπυρίδια (εικόνα 8) που ονομάζονται χιτώνας και λεπίδα και αποτελούνται από τρεις στήμονες, μονόχωρη ωοθήκη, βραχύ στύλο και δισχιδές στίγμα. Ο χιτώνας και η λεπίδα παρέχουν μια προστατευτική κάλυψη για το αναπτυσσόμενο άνθος καθώς και για το σπόρο, μετά την ωρίμανση. Σε πολλά είδη και ποικιλίες ο χιτώνας προεκτείνεται στο άκρο του και σχηματίζει μια αιχμηρή προεξοχή που ονομάζεται άγανο. Η περίοδος ανθοφορίας εμφανίζεται κατά τα μέσα τον καλοκαιριού και η επικονίαση γίνεται με τον άνεμο. (Secter and Bob, 2006)



**Εικόνα 7:** Το άνθος του switchgrass

### 1.2.7 Καρπός

Ο καρπός είναι καρύοψη (εικόνα 9), μήκους 2-3 χιλιοστών, κίτρινου έως καστανού χρώματος, επιμήκης, ωοειδούς σχήματος και κάπως πεπλατυσμένος στη μία πλευρά. Έχει διαφορετικό σχήμα, μέγεθος και χρώμα ανάλογα με την ποικιλία (Secter and Bob, 2006)



**Εικόνα 8:** Ο καρπός του switchgrass

## 1.3 ΚΑΛΛΙΕΡΓΗΤΙΚΕΣ ΤΕΧΝΙΚΕΣ

### 1.3.1 Σπορά

Η εγκατάσταση της καλλιέργειας γίνεται με σπόρους και στην Ελλάδα λαμβάνει χώρα το Μάιο όταν η θερμοκρασία εδάφους ξεπεράσει τους 10-15°C. Η αναβλάστηση του φυτού γίνεται το δεύτερο δεκαπενθήμερο του Μαρτίου. Οι νεαροί βλαστοί είναι ευαίσθητοι στους παγετούς αλλά το φυτό έχει την ικανότητα να αναβλαστάνει ακόμα και μετά από σημαντικές νεκρώσεις βλαστών λόγω χαμηλών θερμοκρασιών. Παράγει πολύ μικρούς σπόρους με βάρος 1000 σπόρων μεταξύ 0,7 έως 2,0 g αναλόγως της ποικιλίας. Στη συνέχεια επιτελείται μείωση της υγρασίας των φυτικών ιστών και μέχρι τον Ιανουάριο έχει κατέλθει στο 25%, περίπου. Επομένως κατάλληλη εποχή συγκομιδής είναι το χρονικό διάστημα από τέλη Νοεμβρίου ως και τον Ιανουάριο. (Χρήστου et al., 2006)

### 1.3.2 Έδαφος

Το switchgrass προσαρμόζεται και αναπτύσσεται σε ευρύ φάσμα εδαφών. Ανέχεται σε μεγάλο βαθμό την ξηρασία και την αλατότητα και αποδίδει καλά σε αβαθή, βραχώδη εδάφη. Προτιμά τα λιγότερο βαριά, καλά αποστραγγισμένα, αμμώδη και γόνιμα εδάφη. Τα γόνιμα και αμμώδη εδάφη επιτρέπουν στις ρίζες να αναπτυχθούν πιο εύκολα απ' ό,τι τα πιο βαριά και αργιλώδη εδάφη. Ανεξάρτητα από το είδος του εδάφους που θα χρησιμοποιηθεί, η επιτυχής εγκατάσταση της καλλιέργειας απαιτεί η σπορά να πραγματοποιείται όταν η θερμοκρασία εδάφους έχει αυξηθεί και υπάρχει διαθέσιμη υγρασία. Τα αμμώδη εδάφη έχουν την τάση να χάνουν υγρασία πιο γρήγορα, περιορίζοντας ενδεχομένως, την επιτυχία της εγκατάστασης και τις αποδόσεις σε βιομάζα. Το pH των εδαφών για τη βέλτιστη ανάπτυξη της καλλιέργειας κυμαίνεται μεταξύ 5 και 8. (Guretzky et al., 2009, Lawrence, et al. 2006, Wolf and Fiske, 2009)



### 1.3.3 Άρδευση

Το switchgrass μετά την εγκατάσταση του μπορεί να ανεχθεί ακραίες περιόδους ξηρασίας, η απόδοση του όμως σε βιομάζα θα είναι μειωμένη. Η άρδευση που πραγματοποιείται την άνοιξη, καθώς αρχίζει η ανάπτυξη του φυτού, αυξάνει περισσότερο την απόδοση σε βιομάζα, σε σχέση με την άρδευση που πραγματοποιείται στο τέλος της καλλιεργητικής περιόδου.

Σε μη αρδευόμενες συνθήκες, το switchgrass αποδίδει καλά σε περιοχές με μέση ετήσια βροχόπτωση άνω των 400 χιλιοστών. Όταν υπάρχει δυνατότητα άρδευσης επιτυγχάνεται καλύτερη εγκατάσταση της καλλιέργειας και μεγιστοποίηση των αποδόσεων σε βιομάζα. Όταν όμως πραγματοποιείται άρδευση κατά την εγκατάσταση της καλλιέργειας, είναι σημαντικό να παρακολουθούνται οι πληθυσμοί των ζιζανίων, καθώς τα ποσοστά ανάπτυξής τους συχνά υπερβαίνουν αυτά του switchgrass. (Guretzky et al., 2009)

### 1.3.4 Ζιζανιοκτονία

Πρέπει να γίνεται έλεγχος των ζιζανίων κατά την περίοδο εγκατάστασης. Υπάρχουν δύο τρόποι, η μηχανική κατεργασία ή ζιζανιοκτονία. Επειδή ο σπόρος του switchgrass είναι μικρός, τα φυτά αναπτύσσονται αργά και είναι ευαίσθητα στον ανταγωνισμό των ζιζανίων. Τα ζιζάνια μπορούν να προκαλέσουν σημαντικά προβλήματα στα πρώτα στάδια της καλλιέργειας. Δυστυχώς όμως δεν υπάρχει κανένα μετεφυτρωτικό ζιζανιοκτόνο αποτελεσματικό για τον έλεγχο των ζιζανίων στα αρχικά στάδια ανάπτυξης του φυτού. (Χρήστου et al., 2006).

Ο ανταγωνισμός των ζιζανίων είναι ιδιαίτερα επιβλαβής για το πρώτο έτος της καλλιέργειας, για το δεύτερο έτος ο έλεγχος γίνεται λίγο δύσκολος και πιο οικονομικός. Το switchgrass επωφελείται με το κάψιμο των υπολειμάτων της καλλιέργειας πριν την έναρξη της ανάπτυξης, την άνοιξη καίγοντας τους αγρούς μια φορά ανά 3-5 έτη. Με τον τρόπο αυτό μειώνεται ο ανταγωνισμός των ζιζανίων και υποκινείται η αύξηση των κομμένων φυτών.

Ο καλύτερος έλεγχος των ζιζανίων έγινε με την χρήση του μεταφυτρωτικού ζιζανιοκτόνου picosulfuran που εφαρμόστηκε με μειωμένες δόσεις σύμφωνα με έρευνα προφυτρωτικά και μεταφυτρωτικά ζιζανιοκτόνα σε συνδιασμό με άλλες καλλιεργητικές πρακτικές σε καλλιέργεια 1 έτους switchgrass.

Συστήνεται:

1.Εφαρμογή glyphosate (Round-up)

2.Κοπή ζιζανίων 2-3 φορές κατά την διάρκεια της πρώτης καλλιεργητικής περιόδου, η κοπή είναι πιο αποτελεσματική για τα ετήσια ζιζάνια όταν γίνει στο στάδιο ωρίμανσης αλλά πριν δώσουν σπόρο, με αυτή την μέθοδο

μειώνονται και τα πολυετή ζιζάνια.( Alexoroulou et al., 2008)

### 1.3.5 Αποδόσεις

Σε πειράματα που διεξήχθησαν χρησιμοποιώντας συμβατικές μεθόδους γεωργικής παραγωγής σε τέσσερα διαφορετικά είδη ενεργειακών καλλιεργειών έδειξαν ότι οι αποδόσεις της καλλιέργειας ποικίλλει σημαντικά ανάλογα με την περιοχή και το κλίμα και αυξάνεται δραματικά από το έτος ίδρυσης στο δεύτερο. Το *P.virgatum* έχει την καλύτερη απόδοση. Υπάρχει μια γενική τάση για υψηλότερες αποδόσεις σε περιοχές όπου το νερό δεν αποτελεί περιοριστικό παράγοντα. (Christou et al., 2005)

Οι αποδόσεις βιομάζας για όλες τις ποικιλίες αυξήθηκαν από την φύτευση έως τη δεύτερη καλλιεργητική περίοδο. Η αύξηση κατά μέσο όρο πάνω από όλες τις ποικιλίες ανήλθε σε 226% για το δεύτερο έτος και 73% από το δεύτερο στο τρίτο έτος. Μεταξύ του τρίτου και του τέταρτου έτους, οι αποδόσεις βιομάζας άρχισαν να σταθεροποιούνται και καταγράφηκε μια μείωση έως 17%.

Το εύρος των αποδόσεων μεταξύ των μελετημένων ποικιλιών της ξηράς ουσίας όλα τα χρόνια ήταν αρκετά μεγάλο. Πιο συγκεκριμένα, κατά το έτος εγκατάστασης, οι αποδόσεις της βιομάζας κυμαίνονταν από 0,87 t / ha (Sunburst) σε 3 t / ha (SU 94-1). Κατά το επόμενο έτος, κυμαινόταν από 1,71 t / ha (9.005.439) σε 14,62 t / ha (SL 93-3), το 2000, από 5,63 t / ha (9.005.439) σε 26,08 t / ha (SL 93-3) και 2001, από τις 3.30 το 9.005.439 με 21,83 στην SL 93-3 (Πίνακας 4). Θα πρέπει να σημειωθεί ότι κατά την περίοδο 1999-2001 οι ίδιες ποικιλίες έδωσαν τις χαμηλότερες και τις υψηλότερες αποδόσεις βιομάζας κάθε χρόνο. (N.Sharma, et al. 2003)

Variation in the dry matter content (t/ha) recorded for all the tested varieties during the years 1998-2001

Genotypes	First year	Second year	Third year	Fourth year
Caddo	2.31	7.59	10.10	8.12
Cathage	2.51	7.60	9.42	9.69
Cave-in-Rock	2.53	7.11	11.37	7.55
Kanlow	1.37	4.71	15.30	12.12
N11 94-2	2.99	8.33	10.83	11.89
Pangburn	2.42	8.50	11.91	12.85
SL 93-2	2.04	8.50	20.16	13.40
SL 93-3	2.05	14.62	26.08	21.83
SL 94-1	2.39	9.96	14.90	17.00
SU 94-1	3.00	10.35	15.76	12.98
Summer	1.31	6.28	7.79	7.84
Sunburst	0.87	3.45	8.20	5.49
Trailblazer	2.84	5.78	10.67	6.11
9005439	-	1.71	5.63	3.30
9005438	-	2.59	7.28	3.89
Mean	2.19	7.14	12.36	10.27

Π

Πίνακας 2: Οι αποδόσεις του switchgrass κάθε έτος

### 1.3.7 Συγκομιδή

Οι παράγοντες που καθορίζουν την εποχή για την βελτιστοποίηση της παραγωγής βιομάζας, είναι οι καιρικές συνθήκες, οι συνθήκες του εδάφους καθώς και η ποιότητα της πρώτης ύλης (Lewandowski and Kicherer 1997, Boateng, Hicks, and Vogel 2006). Η συγκομιδή του switchgrass μία φορά το χρόνο φαίνεται να είναι το πιο οικονομικό σύστημα συγκομιδής για την παραγωγή βιομάζας. Η εποχή της συγκομιδής θα πρέπει να είναι περίπου ένα μήνα μετά τον πρώτο φθινοπωρινό παγετό (McLaughlin and Kszos 2005, Parrish and Fike 2005). Ωστόσο, μπορεί να χρειαστούν και περισσότερες περιόδους με παγετό πριν το φυτό εισέλθει πλήρως σε λήθαργο. Η καθυστέρηση της συγκομιδής αρκετές εβδομάδες μετά τον παγετό επιτρέπει την μετατόπιση των θρεπτικών ουσιών στα στελέχη και το ριζικό σύστημα για χειμερινή αποθήκευση. Επίσης, βελτιώνει την ποιότητα της πρώτης ύλης λόγω της χαμηλής περιεκτικότητας σε υγρασία στην υπέργεια βιομάζα, καθώς και της μείωσης της περιεκτικότητας σε άζωτο (N), σε άλλα μεταλλικά στοιχεία και σε συγκέντρωση νατρίου (Na) που μπορεί να προκαλέσουν την αποτυχία των συστημάτων άμεσης καύσης (Miles et al., 1996, Lewandowski and Kicherer 1997).

## 1.4 Περιβαλλοντικά και κοινωνικά οφέλη

### 1.4.1 Περιβαλλοντικά οφέλη

- Θετική συνεισφορά στο φαινόμενο του θερμοκηπίου, αφού η βιομάζα είναι ουδέτερη σε εκπομπές CO<sub>2</sub>, καθότι η ποσότητα αυτού που απελευθερώνεται στην ατμόσφαιρα με την καύση της, αφομοιώνεται από το φυτό με τη φωτοσύνθεση
- Δίνεται η ευκαιρία να επιλεγούν είδη που αξιοποιούν το νερό αποδοτικός ή ακόμα είδη που δεν απαιτούν επιπλέον άρδευση, αφού αξιοποιούν τις χειμερινές βροχοπτώσεις
- Χαμηλές εισροές σε λίπασμα διότι απαιτούν χαμηλότερα επίπεδα λίπανσης, σε σχέση με τα ετήσια φυτά που προορίζονται για τροφή
- Μείωση της χρήσης φυτοφαρμάκων, καθότι οι ενεργειακές καλλιέργειες παρουσιάζουν υψηλή φυτοκάλυψη και με την εγκατάστασή τους περιορίζουν τα ζιζάνια
- Εκμετάλλευση εδαφών χαμηλής γονιμότητας αφού οι ενεργειακές καλλιέργειες μπορούν να αποτελέσουν εναλλακτικές λύσεις σε εγκαταλελειμμένες περιοχές, διότι προσαρμόζονται εύκολα και έχουν ικανοποιητική απόδοση σε μεγάλο εύρος εδαφών (Parrish and Fike, 2005.)

### 1.4.2 Κοινωνικό-οικονομικά οφέλη

- Προσφορά εναλλακτικών καλλιεργητικών λύσεων
- Ενδυνάμωση της γεωργίας διότι με την ανάπτυξη ενεργειακών καλλιεργειών θα δημιουργηθεί ανάγκη για προμήθεια νέων ποικιλιών, βελτίωση καλλιεργητικών μεθόδων και εξοπλισμού
- Αύξηση του αγροτικού εισοδήματος καθότι η διεύρυνση των ενεργειακών καλλιεργειών, στην εσωτερική αγορά, μπορεί να εξασφαλίσει ικανοποιητικό αγροτικό εισόδημα σε σχέση με ορισμένες συμβατικές καλλιέργειες. (Parrish and Fike, 2005.)

## 1.5 Χρήσεις

### 1.5.1 Παραγωγή πελλέτας

Το switchgrass παράγει υψηλά ποσοστά απόδοσης σε ξηρή βιομάζα και απαιτεί λιγότερη ενέργεια για την ξήρανση των φυτών από ότι το ξύλο είναι μια καλλιέργεια υποσχόμενη.

Η χαμηλή πυκνότητα των πρώτων υλών βιομάζας και η σχετική διαχείριση, η μεταφορά, η αποθήκευση και το κόστος είναι σημαντικά εμπόδια για την αξιοποίηση της βιομάζας για την παραγωγή βιοκαυσίμων. Η συμπύκνωση της βιομάζας σε πελλέτες θα μπορούσαν να είναι ένας τρόπος για τη μείωση αυτών των προκλήσεων. Η πελλετοποίηση αυξάνει την πυκνότητα βιομάζας σχεδόν δέκα φορές (Tumuluru et al., 2011) και την θερμική επεξεργασία, (Larsson et al., 2008) διευκολύνοντας έτσι τον εύκολο χειρισμό και την μείωση του κόστους μεταφοράς και αποθήκευσης (Hess et al., 2007).

Οι υψηλές θερμοκρασίες που δημιουργούνται στη πελλετοποίηση είναι μια διαδικασία όπου μαλακώνεται η λιγνίνη και της επιτρέπουν να δρα σαν ένα συνδετικό υλικό για να σχηματίσει ανθεκτικά δισκία (σφαιρίδια) (Kaliyan Morey, 2010).

### 1.5.2 Παραγωγή βιοαιθανόλης

Το switchgrass είναι μία υποσχόμενη πρώτη ύλη για την παραγωγή βιοαιθανόλης (Va Hu et al., 2010, Isci et al., 2008), λόγω της υψηλής παραγωγικότητας του, της καταλληλότητας του για την ανάπτυξη σε περιθωριακά εδάφη. (McLaughlin et al., 1999). Η βιοαιθανόλη είναι ένα καύσιμο υψηλού αριθμού οκτανίων και χρησιμοποιείται για την αύξηση του αριθμού οκτανίων της βενζίνης και για την βελτίωση της ποιότητας της, δηλαδή ως βελτιωτικό καυσίμου.

### 1.5.3 Παραγωγή βιοαερίου

Το βιοαέριο, ένα αέριο μίγμα με 65% μεθάνιο, το υπόλοιπο CO<sub>2</sub> και ίχνη άλλων αερίων, το οποίο χρησιμοποιείται ως καύσιμο σε μηχανές εσωτερικής καύσης για την παραγωγή ηλεκτρισμού και θερμότητας. Παράγεται από την αναερόβια χώνευση κτηνοτροφικών κυρίως αποβλήτων, όπως είναι τα λύματα των χοιροστασίων, πτηνοτροφίων, βουστασίων, καθώς και βιομηχανικών και αστικών οργανικών απορριμμάτων. Το switchgrass ως μια ενεργειακή καλλιέργεια παράγει

μεγάλες ποσότητες βιομάζας η οποία χρησιμοποιείται ως πρώτη ύλη για την παραγωγή βιοαερίου. (Κακάτσιος, 2005)

## 1.6 Σκοπός της διατριβής

Στόχος του πειράματος είναι η διερεύνηση της αύξησης και ανάπτυξης της καλλιέργειας του switchgrass "*Panicum virgratum* L.", σε συνθήκες μειωμένων εισροών. Πιο συγκεκριμένα ήταν ο προσδιορισμός των χαρακτηριστικών ανάπτυξης (ύψος, δείκτης φυλλικής επιφάνειας, αριθμός αδελφιών κτλ.) και της τελικής απόδοσης (ξηρής βιομάζας) κάτω από τέσσερα διαφορετικά επίπεδα N-λιπάνσεως (0, 8, 16, 24 κιλά N ανά στρέμμα) και δύο διαφορετικά επίπεδα άρδευσης (ξηρικό και μειωμένη άρδευση 250 mm). Το παραπάνω πείραμα εκπονήθηκε στον Παλαμά Καρδίτσας που αποτελεί αντιπροσωπευτικό αγρό της δυτικής θεσσαλικής πεδιάδας με στόχο της εκτίμησης των οφελών στον θεσσαλικό κάμπο.

## Chapter 2 : Υλικά και Μέθοδοι

### Πειραματικό σχέδιο

Στην περιοχή του Παλαμά Καρδίτσας πραγματοποιήθηκε πείραμα αγρού κατά την καλλιεργητική περίοδο 2011. Το πειραματικό σχέδιο ήταν παραγοντικό 2x4 (split-plot), με 2 παράγοντες και 4 επαναλήψεις. Οι παράγοντες ήταν:

A) Δύο διαφορετικά επίπεδα άρδευσης

- ◆ Επίπεδο I<sub>1</sub>: 0 mm άρδευσης
- ◆ Επίπεδο I<sub>2</sub>: 250 mm άρδευσης

B) Αζωτούχος λίπανση (N)

- ◆ 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	

Σχήμα 1: Πειραματικό σχέδιο

Κάθε επανάληψη (block) είχε διαστάσεις 200 m x 3,2 m (εμβαδόν 640 m<sup>2</sup>) και αποτελούνταν από 8 πειραματικά υπο-τεμάχια εμβαδού 25 m x 3,2 m = 80 m<sup>2</sup>. Το

σύνολο της έκτασης του πειραματικού αγρού ήταν  $15 \times 200 = 3000 \text{ m}^2$  (συμπεριλαμβανομένων και των διαδρόμων). Όπως φαίνεται και στο παραπάνω πειραματικό σχέδιο (Σχήμα 1).

## Εργασίες στον αγρό

### Σπορά

Χρησιμοποιήσαμε φυτεία όπου είχε εγκατασταθεί στον αγρό το έτος 2009 και βρισκόταν στο τρίτο έτος εγκατάστασης. Για την εγκατάσταση της συγκεκριμένης φυτείας χρησιμοποιήθηκε σπόρος Switchgrass (ποικιλία Alamo). Η σπορά των τεμαχίων έγινε με σπαρτική μηχανή σιτηρών και ο απαιτούμενος σπόρος που χρειάστηκε για την σπορά του αγρού ήτανε 800 γραμμάρια ανά στρέμμα.

### Λίπανση

Η λίπανση πραγματοποιήθηκε σύμφωνα με το πειραματικό σχέδιο, στο οποίο προβλέπονται τέσσερα διαφορετικά επίπεδα λίπανσης αζώτου ( $N_1=0$ ,  $N_2=8$ ,  $N_3=16$  και  $N_4=24$  μονάδες N). Για τη λίπανση των υποτεμαχίων χρησιμοποιήθηκε ουρία (46-0-0). Η λίπανση πραγματοποιήθηκε στις 11/6/2011.

ΛΙΠΑΝΣΗ 3ου ΕΤΟΥΣ
N-0 =0kg
N-8 =1.39kg
N-16 =2.78kg
N-24 =4.17kg
Σύνολο: 66.72kg

Πίνακας 1: Η λίπανση του switchgrass

### Αρδευση

Για την διεξαγωγή του πειράματος πραγματοποιήθηκαν 5 αρδεύσεις στο αρδευόμενο τεμάχιο  $I_2$  όπου έγινε με καταιονισμό, αφού ένας από τους σκοπούς του πειράματος ήταν και η μελέτη της αύξησης και ανάπτυξης του switchgrass σε όλες τις συνθήκες, ξηρικές ( $I_1$ ) αλλά και αρδευόμενες ( $I_2$ ). Έτσι τα φυτά στο τεμάχιο  $I_1$  είχαν στη διάθεση τους το νερό των βροχοπτώσεων και για το αρδευόμενο τεμάχιο επιπλέον άρδευση ίση με  $I_2$  250mm.



<b>ΑΡΔΕΥΣΗ Switchgrass</b>	
1η	4/7/2011
2η	14/7/2011
3η	25/7/2011
4η	3/8/2011
5η	14/8/2011

**Πίνακας 2:** Άρδευση του switchgrass

### **Έλεγχος ζιζανίων**

Η ζιζανιοκτονία που πραγματοποιήθηκε ήταν μηχανική επειδή η καλλιέργεια βρισκόταν στο τρίτο έτος της εγκατάστασης. Πραγματοποιήθηκε με σκαλιστήρι μόνο ανάμεσα στους διαδρόμους.

### **Έλεγχος εχθρών και ασθενειών**

Δεν υπήρξε καμία σοβαρή προσβολή κατά την διάρκεια του πειράματος από ασθένειες ή εχθρούς. Όμως κρίνεται σκόπιμο να αναφερθεί η ύπαρξη μεγάλης βιοποικιλότητας στην καλλιέργεια όπως βατράχια, αράχνες, διάφορα είδη πουλιών κ.α.

### **Συλλογή πειραματικών δεδομένων**

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 19/9/2011

Σε κάθε κοπή επιλεγόταν τυχαία μέσα στο κάθε πειραματικό υποτεμάχιο πλαίσιο 1 m<sup>2</sup> και κοβόντουσαν όλα τα φυτά που βρισκόντουσαν μέσα σε αυτό. Η επιλογή των φυτών γινόταν συνήθως από το κέντρο του υποτεμαχίου. Αυτό έγινε γιατί παράγοντες όπως η λίπανση απαιτούν μεγάλα τεμάχια γιατί η επίδραση τους επεκτείνεται και στα άλλα 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 20 φυτά από κάθε πειραματικό τεμάχιο τοποθετούνταν μέσα σε πλαστική σακούλα πάνω στην οποία αναγραφόταν ο αριθμός του τεμαχίου από το οποίο λήφθηκε το δείγμα.

### **Εργαστηριακές μετρήσεις**

Μετά από κάθε κοπή τα επιλεγόμενα φυτά μεταφέρονταν στο Εργαστήριο Γεωργίας. Εκεί με τη βοήθεια ηλεκτρονικού ζυγού μετριόταν το χλωρό βάρος του υποδείγματος, και έπειτα γινόταν διαχωρισμός του βλαστού, των φύλλων (χλωρά και ξερά) και των ταξιανθιών (μετά την έκπτυξη). Κατόπιν τα επιμέρους μέρη των φυτών και εφόσον είχε πραγματοποιηθεί η μέτρηση του χλωρού τους βάρους, τοποθετούνταν μέσα σε χάρτινες σακούλες για ξήρανση μέσα σε κλίβανο σε θερμοκρασία 70 °C μέχρι να αποκτήσουν σταθερά βάρη. Επισημαίνεται ότι τα φυτά είχαν αναπτύξει ανθικό στέλεχος από την 4<sup>η</sup> κοπή (25/7/2011) και έπειτα. Μετά την ξήρανση (περί τις 6-7 ημέρες), μετριόταν το ξηρό τους βάρος με τη βοήθεια ηλεκτρονικού ζυγού ακριβείας.

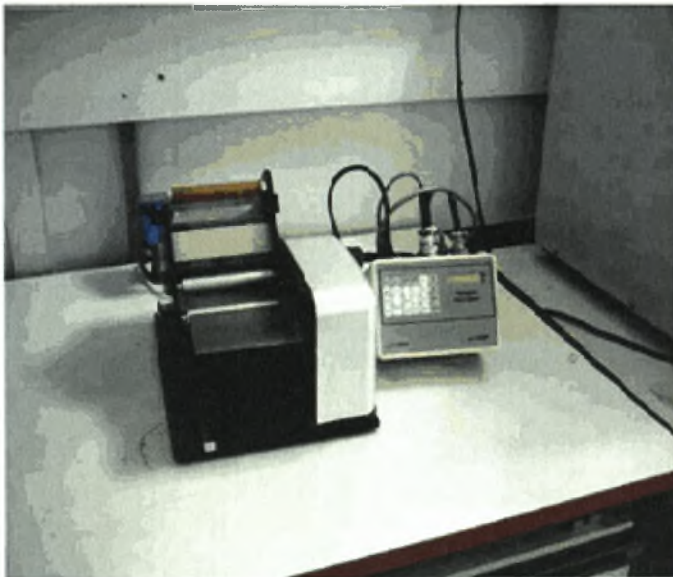
### **Επεξεργασία φύλλων**

Μετριόταν από το κάθε δείγμα 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). Έπειτα τοποθετήθηκαν τα φύλλα σε χάρτινες σακούλες στις οποίες αναγραφόταν ο αριθμός του κάθε υποτεμαχίου κάθε φορά και μπαίνανε σε κλίβανο για ξήρανση στους 70 °C μέχρι να αποκτήσουν σταθερό βάρος.

Το μηχανήμα 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.



**Εικόνα 1:** Το σύστημα LICOR

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 μην επισκιάζονται. Οι μεμβράνες πάνω στις οποίες τοποθετούνται τα φύλλα 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 η ίδια για να μην υπάρχει μεγάλη απόκλιση των αποτελεσμάτων που λαμβάνουμε.

## Συλλογή μετεωρολογικών δεδομένων

Στον πειραματικό αγρό του Παλαμά Καρδίτσας πραγματοποιήθηκε συλλογή των μετεωρολογικών στοιχείων με την βοήθεια ενός αυτόματου μετεωρολογικού σταθμού. 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)

## Υπολογισμοί

### **Υπολογισμός θερμομονάδων (Accumulated Heat Units)**

Σύμφωνα με τη μέθοδο των προστιθέμενων θερμομονάδων (Accumulated Heat Units, A.H.U.), οι απαιτούμενες θερμομονάδες από το φύτρωμα 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:

$$A.H.U. = \sum \left[ \frac{T_{\max} + T_{\min}}{2} - T_0 \right]$$

Όπου,  $T_{\max}$  και  $T_{\min}$  είναι η μέγιστη και η ελάχιστη ημερήσια θερμοκρασία αέρα αντίστοιχα και  $T_0$  είναι η βασική θερμοκρασία ( $^{\circ}\text{C}$ ). Στην περίπτωση του Switchgrass χρησιμοποιήθηκε ως βασική θερμοκρασία η τιμή των  $10^{\circ}\text{C}$ .

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

DATES	JD*	GDD**
(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	1031
9/8/2011(5η κοπή)	221	1556
19/9/2011(6η κοπή)	272	2326

Πίνακας 3 : \*JD=Julian days, \*\*GDD=Θερμομονάδες

### Υπολογισμός 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:

$$SLA = \text{Φυλλική Επιφάνεια} / \text{Ξηρό Βάρος Φύλλων}$$

Ο υπολογισμός του SLA έγινε με βάση την παραπάνω εξίσωση και η τιμή του SLA εκφράζεται σε  $\text{m}^2$  φύλλων/kg ξηρών φύλλων.

### Υπολογισμός 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,

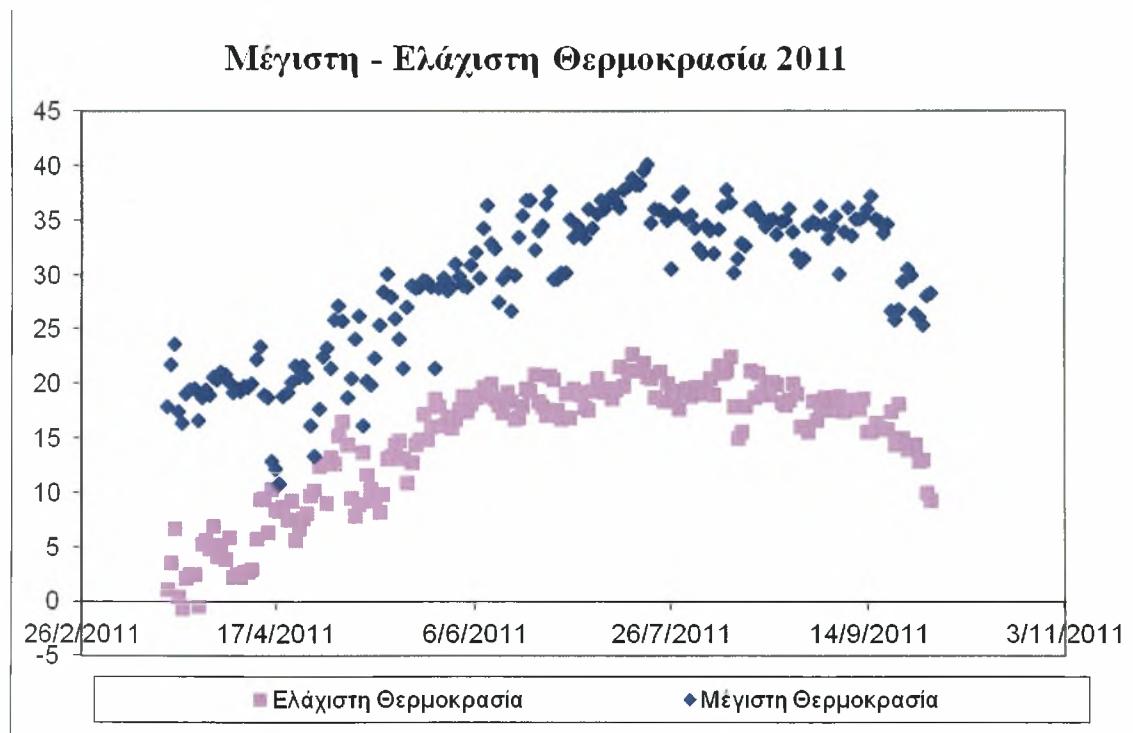
SL = το ξηρό βάρος των (πράσινων) φύλλων (kg/στρέμμα) (Δαναλάτος, 1999).

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

## Chapter 3: Αποτελέσματα και Συζήτηση

### 3.1 Κλιματολογικές συνθήκες

Στο διάγραμμα 1 παρουσιάζονται η μέγιστη και η ελάχιστη θερμοκρασία που παρατηρήθηκαν στην περιοχή του Παλαμά Καρδίτσας κατά την διάρκεια της καλλιεργητικής περιόδου 2011.

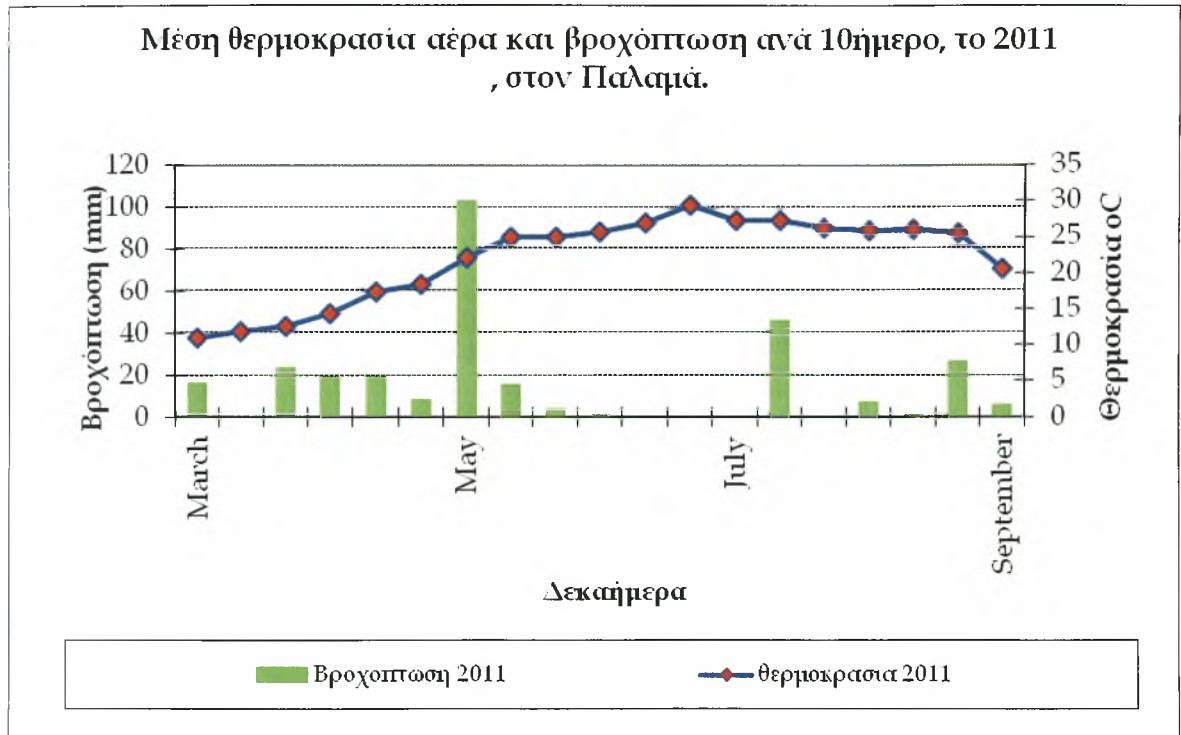


**Διάγραμμα 1:** Μέγιστη και ελάχιστη θερμοκρασία κατά την καλλιεργητική περίοδο 2011.

Το πείραμα όπως προαναφέρθηκε πραγματοποιήθηκε στην περιοχή της Καρδίτσας πιο συγκεκριμένα στον Παλαμά. Η περιοχή χαρακτηρίζεται από μεσογειακό κλίμα με ζεστά, ξηρά καλοκαίρια και ήπιους υγρούς χειμώνες. Όπως φαίνεται στο διάγραμμα 1, κατά την διάρκεια του καλοκαιριού σημειώθηκαν υψηλές θερμοκρασίες μεταξύ 35 - 40°C και οι ελάχιστες θερμοκρασίες του καλοκαιριού ήταν μεταξύ 15 - 23 °C (πίνακας 6, ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ). Πιο συγκεκριμένα υψηλές θερμοκρασίες σημειώθηκαν στις εξής ημερομηνίες: 8-9, 18-20, 24-25 & 30 Ιουνίου, 5-8, 11-20, 22-23, 27-29 & 31 Ιουλίου και 8-10, 15-18 & 25 Αυγούστου είχαν επικρατήσει θερμοκρασίες μεγαλύτερες από 35 °C. Ακόμη όμως και το Σεπτέμβριο και συγκεκριμένα κατά τις ημερομηνίες: 2, 9, 11-15 Σεπτεμβρη οι θερμοκρασίες

που επικρατούσαν ήταν υψηλές (πίνακας 7, ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ).

Στο διάγραμμα 2 παρουσιάζονται η μέση θερμοκρασία αέρα και η βροχόπτωση που παρατηρήθηκαν στην περιοχή του Παλαμά Καρδίτσας κατά την διάρκεια της καλλιεργητικής περιόδου 2011.



**Διάγραμμα 2 :** Μέση θερμοκρασία αέρα και βροχόπτωση ανά 10ήμερο κατά την καλλιεργητική περίοδο 2011.

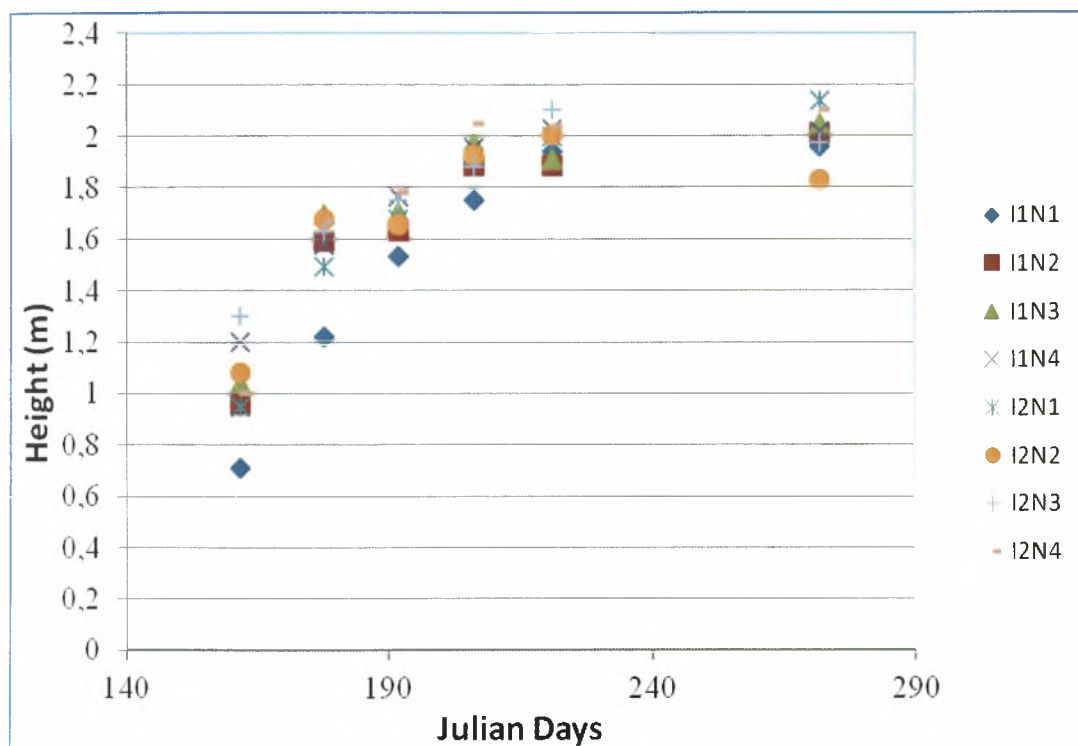
Στο διάγραμμα 2 δίνεται η μέση βροχόπτωση και θερμοκρασία αέρα ανά 10ήμερο για την καλλιεργητική περίοδο 2011 στην περιοχή του Παλαμά. Από το διάγραμμα φαίνεται ότι κατά την περίοδο ανάπτυξης της καλλιέργειας σημειώθηκε βροχόπτωση ίση με 296mm (πίνακας 6, ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ). Πιο συγκεκριμένα κατά τον μήνα Μάρτιο σημειώθηκε νετός κάτω από 20mm, τον Απρίλιο στο πρώτο 10ήμερο δεν υπήρξε βροχόπτωση, ενώ στο δεύτερο και τρίτο ξεπέρασε κυμάνθηκε στα 20mm. Επιπλέον φαίνεται από το γράφημα ότι ο μήνας Μάιος ήταν ο μήνας με την υψηλότερη βροχόπτωση, και μάλιστα στο τρίτο 10ήμερο σημειώθηκε νετός περί τα 100mm. Κατά τον μήνα Ιούλιο δεν υπήρξε καθόλου βροχόπτωση με αποτέλεσμα να επηρεαστεί και η ανάπτυξη της καλλιέργειας. Κατά τον μήνα Αύγουστο το πρώτο 10ήμερο η βροχόπτωση ξεπέρασε τα 40 mm και τον μήνα Σεπτέμβρη στο δεύτερο 10ήμερο η βροχόπτωση ξεπέρασε τα 20 mm.



## 3.2 Αύξηση και ανάπτυξη της καλλιέργειας

### 3.2.1 Ύψος Φυτών

Στο διάγραμμα 3 δίνεται η μεταβολή του ύψους των φυτών κατά την διάρκεια της καλλιεργητικής περιόδου 2010-2011 στον κάμπο της Θεσσαλίας στην περιοχή του Παλαμά – Καρδίτσας, για τα τέσσερα επίπεδα αζωτούχου λίπανσης και τα δύο επίπεδα άρδευσης προς τις Ιουλιανές μέρες (πίνακας 1, ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ)

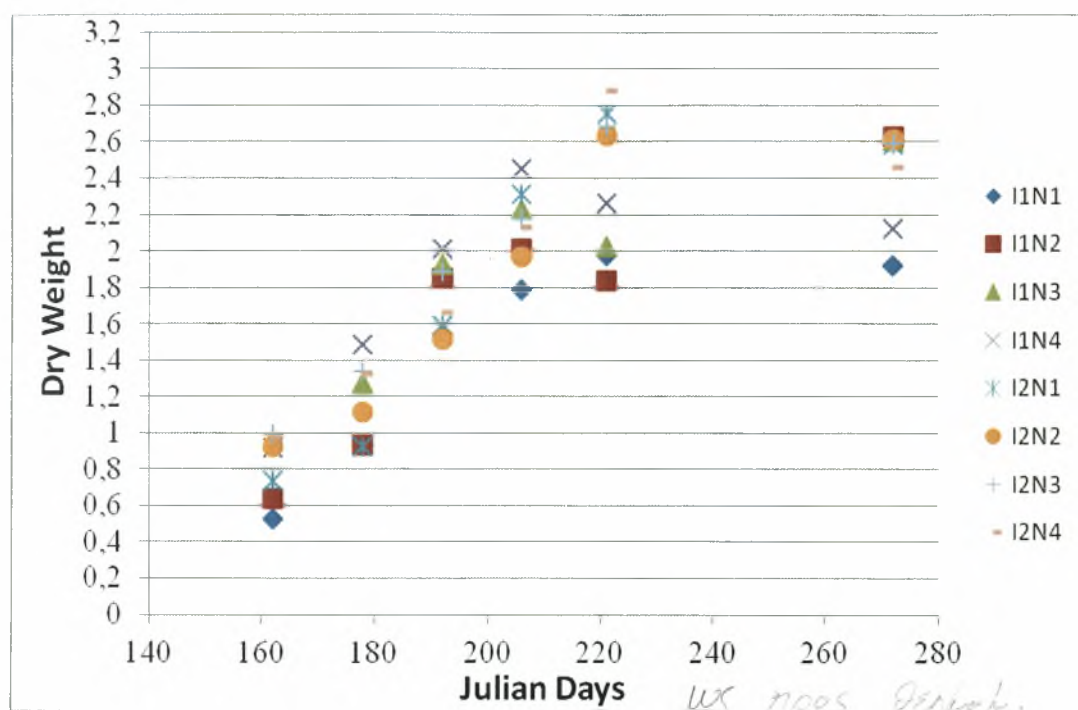


Διάγραμμα 3: Ύψος των φυτών για τα δύο επίπεδα άρδευσης και τα τέσσερα επίπεδα λίπανσης.

Όπως φαίνεται και από το διάγραμμα 3, η άρδευση και η λίπανση δεν επέφεραν σημαντική επίδραση στο ύψος των φυτών. Το μεγαλύτερο ύψος για την καλλιέργεια σημειώθηκε στις 29 Σεπτεμβρίου με ύψος 2,14 m για την αρδευόμενη καλλιέργεια με μηδέν μονάδες αζώτου (πίνακας 2, ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ). Δεν σημειώθηκαν στατιστικώς σημαντικές αλλαγές στο ύψος των φυτών μεταξύ των επεμβάσεων λίπανσης και άρδευσης. Αυτό οφείλεται λόγω των κλιματικών συνθηκών της περιοχής, πιο συγκεκριμένα της έντονης βροχόπτωσης κατά την ανάπτυξη της καλλιέργειας. Οι ρυθμοί αύξησης μέχρι την πρώτη διγματοληψία ήταν 3 cm/ημέρα, ενώ κατόπιν οι ρυθμοί αυτοί μειώθηκαν στο 1,25 cm/ημέρα.

### 3.2.2 Ξηρό Βάρος Φυτών

Στο διάγραμμα 4 δίνεται η μεταβολή του ξηρού βάρους των φυτών κατά την διάρκεια της καλλιεργητικής περιόδου 2010-2011 στον κάμπο της Θεσσαλίας στην περιοχή του Παλαμά – Καρδίτσας, για τα τέσσερα επίπεδα αζωτούχου λίπανσης και τα δύο επίπεδα άρδευσης ως προς τις Ιουλιανές ημέρες (πίνακας 1, ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ).



**Διάγραμμα 4:** Μεταβολή του ξηρού βάρους των φυτών για τα δύο επίπεδα άρδευσης και τα τέσσερα επίπεδα λίπανσης.

Στο διάγραμμα 4 φαίνεται πως οι μέγιστες τιμές του ξηρού βάρους σημειώθηκαν στο πρώτο δεκαήμερο του Αυγούστου για το αρδευόμενο κομμάτι με τη μεγαλύτερη αζωτούχο λίπανση (I2N4). Η διαφορά αυτή οφείλεται της έντονης ξηρασίας και των υψηλών θερμοκρασιών που επικρατούσαν κατά τον Ιούλιο. Κατόπιν και λόγω των βροχοπτώσεων που επικράτησαν κατά τον Αύγουστο και Σεπτέμβριο παρατηρήθηκε η ανάκαμψη της καλλιέργειας με αποτέλεσμα να σημειωθούν σχεδόν ίδιες αποδόσεις του αρδευόμενου κομματιού με το ξηρικό. Φαίνεται λοιπόν πως ένα από τα χαρακτηριστικά της καλλιέργειας αποτελεί και η αντοχή στην ξηρασία και η επαναπτυξή της όταν οι συνθήκες την ευνοούν.

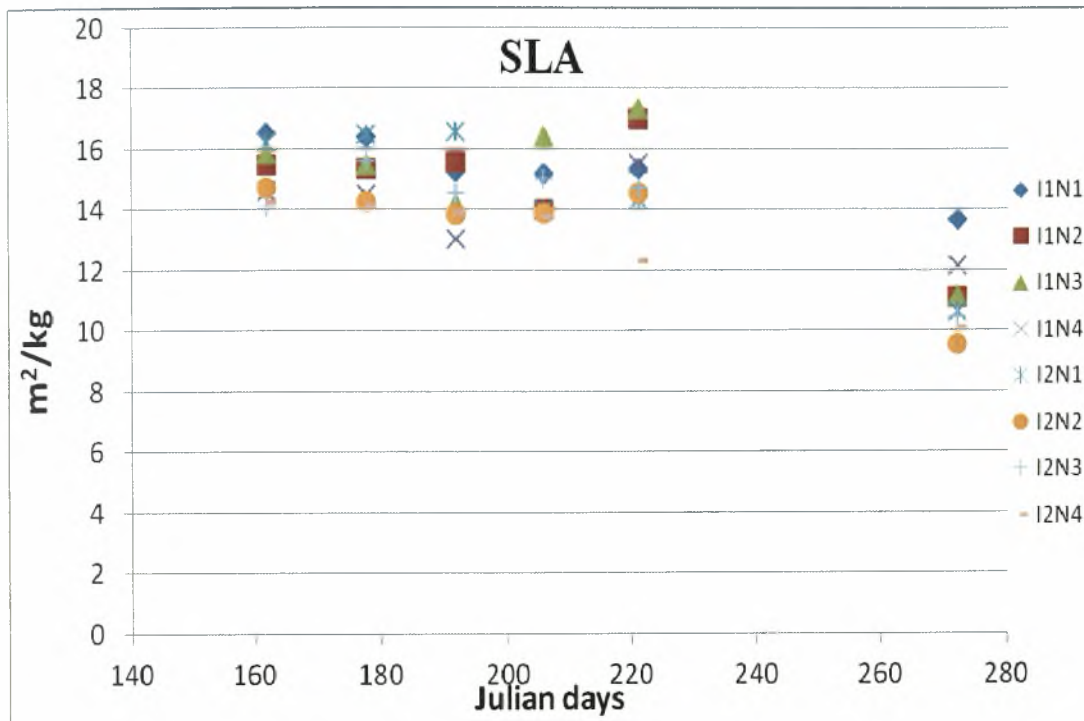
Ο ρυθμός ανάπτυξης από την βλάστηση μέχρι την πρώτη δειγματοληψία ήταν ίσος με 11 κιλά/ημέρα/στρέμμα. Ο μεγαλύτερος ρυθμός ανάπτυξης σημειώθηκε για το

διάστημα από την πρώτη μέχρι την τρίτη δειγματοληψία και ήταν ίσος με 30 κιλά/ημέρα/στρέμμα. Τέλος όπως ήταν και αναμενόμενο ο ρυθμός ανάπτυξης μέχρι την τελική δειγματοληψία επήλθε σε χαμηλότερα επίπεδα και πιο συγκεκριμένα μειώθηκε στα 21 κιλά/ημέρα/στρέμμα (πίνακας 3, ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ). Οι ρυθμοί ανάπτυξης δεν είναι τίποτα άλλο παρά οι κλίσεις στο διάγραμμα μεταξύ των δειγματοληψιών. Επιπλέον κρίνεται σκόπιμο να αναφερθεί ότι ο καταμερισμός της βιομάζας στα επιμέρους βλαστικά όργανα είχε ως εξής: 70% βλαστοί, 12% ανθοταξίες και 18% φύλλα.

### **3.3 Ειδική Φυλλική Επιφάνεια και Δείκτης Φυλλικής Επιφάνειας**

Η μελέτη της ανάπτυξης της φυλλοστοιβάδας αποτελεί ένα στοιχείο μεγάλης σημασίας για τη κατανόηση της παραγωγής της καλλιέργειας μιας και τα φύλλα αποτελούν το κύριο όργανο δέσμευση της ηλιακής ακτινοβολίας για τη διαδικασία της φωτοσύνθεσης. Η ειδική φυλλική επιφάνεια (SLA) είναι ένα χαρακτηριστικό μορφολογικό που μεταβάλλεται σε συνάρτηση με τις περιβαλλοντικές συνθήκες και την ηλικία του φυτού. Ο *Danalatos et al. (1993)* βρήκε ότι η SLA του σίτου της ποικιλίας «Μεξικάλι» μειώνεται ανάλογα με την ηλικία του φυτού.

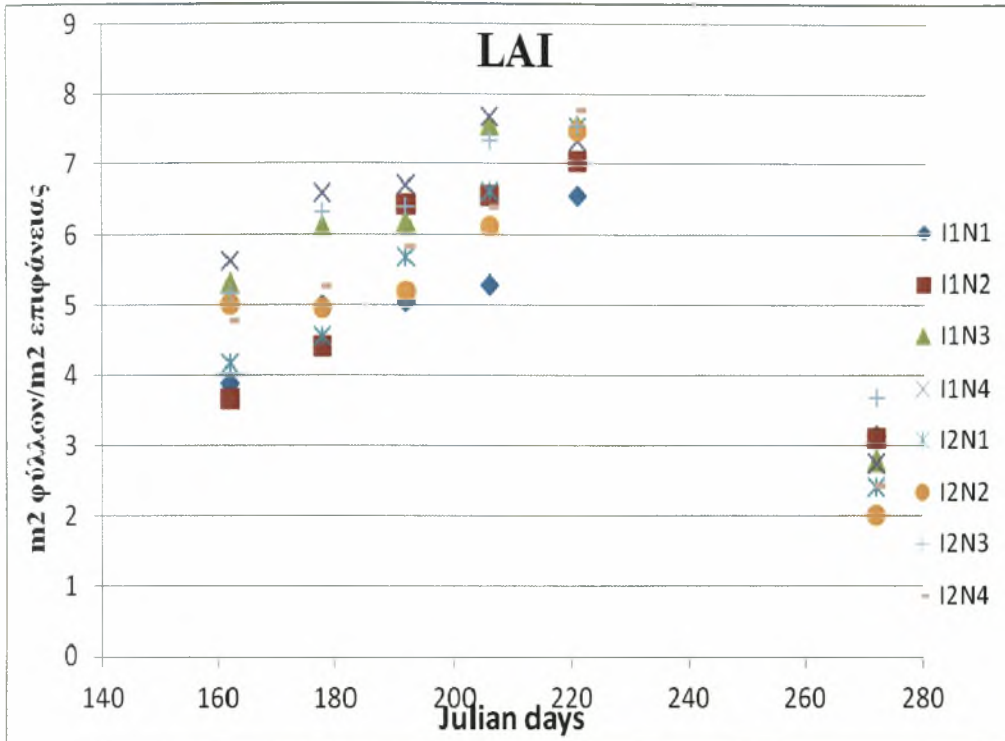
Στο διάγραμμα 5 φαίνεται η μεταβολή του δείκτη ειδικής φυλλικής επιφάνειας (SLA) των φυτών κατά την διάρκεια της καλλιεργητικής περιόδου 2011 στον κάμπο της Θεσσαλίας στην περιοχή του Παλαμά – Καρδίτσας, για τα τέσσερα επίπεδα αζωτούχου λίπανσης και τα δύο επίπεδα άρδευσης προς τις Ιουλιανές μέρες (πίνακας 1, ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ).



**Διάγραμμα 5:** Μεταβολή του SLA για τα δύο επίπεδα άρδευσης και τα τέσσερα επίπεδα λίπανσης.

Όπως φαίνεται στο διάγραμμα 5 η ειδική φυλλική επιφάνεια είχε υψηλές τιμές μέχρι και τις αρχές Αυγούστου. Με την άνοδο της θερμοκρασίας και τις έντονες βροχοπτώσεις στην πρώτη κοπή (11/6/2011) η SLA έφτασε στο 15,21 m<sup>2</sup>/kg και διατηρήθηκε μέχρι και τηνπέμπτη κοπή στις αρχές Αυγούστου. Στην τελευταία κοπή (29/9/2011) μειώθηκε στο 11 m<sup>2</sup>/kg λόγω της ξηρασίας των φύλλων (πίνακας 4, ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ).

Στο διάγραμμα 6 φαίνεται η μεταβολή του δείκτη φυλλικής επιφάνειας (LAI) των φυτών κατά την διάρκεια της καλλιεργητικής περιόδου 2011 στον κάμπο της Θεσσαλίας στην περιοχή του Παλαμά – Καρδίτσας, για τα τέσσερα επίπεδα αζωτούχου λίπανσης και τα δύο επίπεδα άρδευσης προς τις Ιουλιανές μέρες (πίνακας 1, ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ).



**Διάγραμμα 6:** Μεταβολή του LAI για τα δύο επίπεδα άρδευσης και τα τέσσερα επίπεδα λίπανσης.

Όπως φαίνεται στο διάγραμμα 6 οι υψηλότερες τιμές της φυλλικής επιφάνειας σημειώθηκαν στις αρχές Αυγούστου στο αρδευόμενο κομμάτι της καλλιέργειας (I2N4). Στην πρώτη κοπή (11/6/2011) η τιμή του LAI κυμάνθηκε στο 4,6, ενώ η μέγιστη τιμή που σημειώθηκε στην πέμπτη κοπή (9/8/2011) ήταν ίση με 7,3 λόγω της έντονης θερμοκρασίας κατά την διάρκεια της καλλιέργειας (πίνακας 5, ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ). Στην τελευταία κοπή (29/9/2011) η τιμή του LAI ήταν 2,78 λόγω της ξήρανσης και πτώσης των φύλλων, ένδειξη της ωριμότητας του φυτού.

## Chapter 4: Συμπεράσματα

Η καλλιέργεια του switchgrass “*Panicum virgratum L*” παρουσιάζει ένα ιδιαίτερο ενδιαφέρον ως μια εναλλακτική καλλιέργεια όπου έχει πρωταρχικό ρόλο την παραγωγή βιομάζας για την χρησιμοποίηση της ως πρώτη ύλη για τη δημιουργία πελλετ. Είναι μία πολυετής καλλιέργεια και λόγω του πλούσιου και βαθύ ριζικού συστήματος, έχει ευνοϊκές επιδράσεις στην διάβρωση των εδαφών. Επίσης η καλλιέργεια μπορεί να επηρεάσει θετικά στο φαινόμενο του θερμοκηπίου διότι η καύση της βιομάζας έχει μηδενικό ισοζύγιο CO<sub>2</sub>.

Το switchgrass συμβάλει στην ενδυνάμωση της γεωργία διότι με την ανάπτυξη ενεργειακών καλλιεργειών θα δημιουργηθεί ανάγκη για προμήθεια νέων ποικιλιών, βελτίωση καλλιεργητικών μεθόδων. Έχει χαμηλές ανάγκες σε εισροές σε λίπανση και χαμηλές σε άρδευση.

Συνοψίζοντας καταλαβαίνουμε το πόσο σημαντική είναι η καλλιέργεια και πόσο σημαντικά μπορεί να συμβάλει σε ένα εύρος τομέων. Κρίνεται σκόπιμο να διεξαχθεί περαιτέρω διεξοδική έρευνα για αυτή την καλλιέργεια ώστε να μελετηθούν όσο τον δυνατόν περισσότερη παράγοντες που επηρεάζουν την απόδοση της καλλιέργειας.

# Βιβλιογραφία

## Ελληνική βιβλιογραφία

- Βασιλακάκης Μ. (2012). Αρωματικά - Φαρμακευτικά Φυτά. Εργαστήριο Τοπικής Εμβέλειας Γεωτεχνικών στην Καλλιέργεια Ελληνικών Αρωματικών Φαρμακευτικών Ειδών. ΓΕΩΤΕΕ Παράρτημα Ανατολικής Μακεδονίας.
- Κακάτσιος, (2005). Παραγωγή Βιοαερίου από Γεωργικές Καλλιέργειες με Χρήση της Σύγχρονης Τεχνολογίας της Αναερόβιας Ζύμωσης. Τομέας Θερμότητας, Σχολή Μηχανολόγων Μηχανικών, Ε.Μ.Π., Αθήνα.
- Στοϊμενίδης Α. Κωτσόπουλος Θ. και Μαρτζόπουλος Γ. (2005). Βιομάζα: Εναλλακτική πηγή ενέργειας για την μείωση κόστους παραγωγής αγροτικών προϊόντων. Εργαστήριο Εναλλακτικών Πόρων στη Γεωργία. Πρακτικά του συνεδρίου 'Νέες τεχνολογίες και καινοτομίες στη γεωργική παραγωγή και την αγροτική ανάπτυξη', Λάρισα.
- Χρήστου Μ., Αλεξοπούλου Ε., Μαρδίκης Μ. (2006). Ενεργειακές καλλιέργειες Προοπτικές διείσδυσης στην γεωργία, Τμήμα βιομάζας Κέντρο Ανανεώσιμων Πηγών Ενέργειας, Αθήνα.
- Χρήστου Μ., Αλεξοπούλου Ε., Μαρδίκης Μ., Ναματόβ Ε. (2005). Προοπτικές διείσδυσης των ενεργειακών καλλιεργειών στην ελληνική γεωργία. Πρακτικά 3ου εθνικού συνεδρίου για τις ανανεώσιμες πηγές ενέργειας, Αθήνα.

## Ξένη βιβλιογραφία

- Alexopoulou E. and Sharma N., Papatheohari Y., (2008). Biomass yields for upland and lowland switchgrass varieties grown in the mediterranean region. *Biomass and Bioenergy*, 32:926-930.
- Alexopoulou E., Sharma N., Papatheohari Y., Christou M., Piscioneri I., Panoutsou C., Pignatelli V., (2008) Biomass yields for upland and lowland switchgrass varieties grown in the Mediterranean region, 32:926-930.
- Boateng A.A., Hicks K.B., Vogel K.P. (2006)., Pyrolysis of switchgrass (*Panicum virgatum*) harvested at several stages of maturity. *J. Anal. Pyrolysis.*, 75:55-64.
- Christou M., Fernandez J., Gosse G., Venturi G., Bridgwater A., Scheurlen K., Obernberger I., Van be Beld B., Soldatos P, Reinhardt G., (2005). Bioenergy chains from perennial crops in South Europe. *Proceedings of the Proceedings of the 12<sup>th</sup> European Biomass Conference*, 1:338.
- Elbersen H. W., Christian D. G., Bassem N. E., Yates N. E., Bacher W., Sauerbeck G., Alexopoulou E., Sharma N., Piscioneri I., Visser P., Van Den Berg D., (2001). Switchgrass (*Panicum virgatum* L.) as an alternative energy crop in Europe, Research project.
- Guretzky J., Butler T., Bouton J., Owens V. and Boe A., (2009). Planting and Managing Switchgrass as a Dedicated Energy Crop. *Blade Energy Crops*, 6: 515-535.
- Hess J.R., Wright C.T., Kenney K.L., (2007). Cellulosic biomass feedstocks and logistics for ethanol production. *Biofuels Bioproducts Biorefining*, 1: 181-190.

- Isci A., Himmelsbach J.N., Pometto A.L., Raman D.R., Anex R.P. (2008)., Aqueous ammonia soaking of switchgrass followed by simultaneous saccharification and fermentation. *Application of Biochemistry and Biotechnology*, 144:69-77.
- Kaliyan N., Morey R.V., (2010). Natural binders and solid bridge type binding mechanisms in briquettes and pellets made from corn stover and switchgrass. *Bioresource Technology*, 101:1082–1090.
- Larsson S.H., Thyrel M., Geladi P., Lestander T.A., (2008). High quality biofuel pellet production from pre-compacted low density raw materials. *Bioresource Technology*, 99:7176–7182.
- Lawrence J., Cherney J., Barney P. and Ketterings Q., (2006). Establishment and Management of Switchgrass. *Agronomy Fact Sheet Series. Fact Sheet 20. Cornell University Cooperative Extension.*
- Lewandowski I. and Kicherer A. (1997)., Combustion quality of biomass: Practical relevance and experiments to modify the biomass quality of *Miscanthus x giganteus*. *European Journal of Agronomy*, 6:163-177.
- Lynd L. R., Cushman J.H., Nichols R. J., Wyman C.E., (1991). Fuel ethanol from cellulosic biomass. *Elsevier Science* 251: 1318-1323.
- McLaughlin S.B., Bouton J., Bransby D., Conger B.V., Ocumpaugh W.R., Parrish D.J., Taliaferro C., Vogel K.P., Wullschleger S.D., (1999). Developing switchgrass as a bioenergy crop. *Perspectives on New Crops and New Uses*, 282-299.
- McLaughlin S.B., Kszos L.A. (2005)., Development of switchgrass (*Panicum virgatum*) as a bioenergy feedstock in the United States. *Biomass and Bioenergy*, 25:515-535.
- McLaughlin, S.B., De La Torre Ugarte D.G., Garten C.T., Lynd L.R., Sanderson M.A., Tolbert, V.R., Wolf, D.D., (2002). High-value renewable energy from prairie grasses. *Environmental Science and Technology*, 36:2122-2129.
- Miles T.R., Miles Jr., Baxter L.L., Bryers R.W., Jenkins B.M, Oden L.L. (1996)., Boiler deposits from firing biomass fuels. *Biomass Bioenergy*, 10:125-138.
- Parrish D., Fike J., (2005). The biology and agronomy of switchgrass for biofuels. *Critical Reviews in Plant Sciences*, 24: 423–459.
- Porter J.C.L., (1966). An analysis of variation between upland and lowland switchgrass, *Panicum virgatum* L., in Central Oklahoma. *Ecology*, 47: 980–992.
- Rinehart L., (2006). Switchgrass as a Bioenergy Crop. National Center for Appropriate Technology (NCAT). A Publication of ATTRA-National Sustainable Agriculture Information Service.
- Ritchie and Nesmith, (1991). Temperature and crop development. *American Society of Agronomy, Field Crops Research*, 36: 6-29
- Saderson M.A., Reed R.L., McLaughlin S.B., Wullschleger S.D., Conger B.V., Parrish D.J, (1996). Switchgrass as a sustainable bioenergy crop. *Bioenergy Technology*, 56:83–93.
- Sector, Bob, (2006). Plentiful switchgrass emerges as breakthrough biofuel. *The San Diego Union-Tribune*. Retrieved 2008-05-24.



- Sharma N., Piscioneri I., Pignatelli V. (2003)., An evaluation of biomass yield stability of switchgrass (*Panicum virgatum* L.) cultivars. *Energy Conversion and Management*, 44: 2953-2958.
- Silver, Tanya, (2000). *Panicum virgatum* L., Switchgrass, prairie switchgrass, tall panic grass. *Rangeland Ecosystems & Plants Fact Sheets*. University of Saskatchewan Department of Plant Sciences, 27:12-28.
- Tumuluru J.S., Wright C.T., Hess J.R., Kenney K.L., (2011). A review of biomass densification systems to develop uniform feedstock commodities for bioenergy application. *Biofuels Bioproducts Biorefining*, 6:683–707.
- Va Hu Z., Sykes R., Davis M.F., Brummer E.C., Ragauskas A.J. (2010)., Chemical profiles of switchgrass. *Bioresource Technology*, 101: 3253–3257.
- VanLoocke A., Twine T.E, Zeri M., Bernacchi C.J. (2012)., A regional comparison of water use efficiency for miscanthus, switchgrass and maize *Agricultural and Forest Meteorology*, 164:82-95.
- Wolf D. D. and Fiske D. A., (2009). *Planting and Managing Switchgrass for Forage, Wildlife, and Conservation*. Virginia Cooperative Extension, Virginia Tech and State University. Publication 35:418-423.

#### Λοιπές πηγές

- FAO Food and Agriculture Organization of USA, (1996)
- Ray Smith S., Schwer L., Keene T., Sena K., (2013). Switchgrass for biomass. *Production in Kentucky*. Department of Plant and Soil Sciences. Cooperative extension service. University of Kentucky-college of agriculture.
- ΚΑΠΕ (2006). Εγχειρίδιο: Ενεργειακές καλλιέργειες για την παραγωγή υγρών και στερεών βιοκαυσίμων στην Ελλάδα. Διαθέσιμο στο: <http://www.cres.gr>
- ΚΑΠΕ, (2005). Βιομάζα. Τομέας βιομάζας. Διαθέσιμο στο: <http://www.cres.gr>.

## ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ

Πίνακας 1: Ιουλιανές μέρες

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 2:** 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 3:** 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

**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:** 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 6:** Θερμοκρασία αέρα και βροχόπτωση ανά 10ήμερο (2011)

	10ημερα	θερμοκρασία	Βροχόπτωση
		Μέση	συνολική
	1		
	2		
Μάρτιος	3	11,03	15,6
	1	11,92	0
	2	12,69	23,4
Απρίλιος	3	14,41	19,2
	1	17,45	19,2
	2	18,45	8,2
Μάιος	3	22,11	103
	1	24,95	15,4
	2	24,99	3,6
Ιούνιος	3	25,71	0,2
	1	27,03	0
	2	29,42	0
Ιούλιος	3	27,26	0
	1	27,32	45,4
	2	26,19	0
Αύγουστος	3	25,97	6,8
	1	26,12	0,2
	2	25,51	26
Σεπτέμβρης	3	20,54	5,4

**Πίνακας 7:** Μετεωρολογικά 2011 Παλαμάς

Date	Rain	Rain	Air Temp	Air Temp
		sum	deg C	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
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
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
<b>12/7/2011</b>	<b>0</b>	<b>207,8</b>	<b>19,44</b>	<b>36,69</b>
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
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
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



ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΘΕΣΣΑΛΙΑΣ  
ΒΙΒΛΙΟΘΗΚΗ



004000114897