

ΤΜΗΜΑ ΓΕΩΠΟΝΙΑΣ ΦΥΤΙΚΗΣ ΠΑΡΑΓΩΓΗΣ
& ΑΓΡΟΤΙΚΟΥ ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝΤΟΣ
Αριθμ. Πρωτοκ. 357
Ημερομηνία 1-7-2011

ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΘΕΣΣΑΛΙΑΣ
ΣΧΟΛΗ ΓΕΩΠΟΝΙΚΩΝ ΕΠΙΣΤΗΜΩΝ
ΤΜΗΜΑ ΓΕΩΠΟΝΙΑΣ ΦΥΤΙΚΗΣ ΠΑΡΑΓΩΓΗΣ
ΚΑΙ
ΑΓΡΟΤΙΚΟΥ ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝΤΟΣ
ΕΡΓΑΣΤΗΡΙΟ ΓΕΩΡΓΙΑΣ ΚΑΙ ΕΦΑΡΜΟΣΜΕΝΗΣ ΦΥΣΙΟΛΟΓΙΑΣ
ΦΥΤΩΝ

ΠΤΥΧΙΑΚΗ ΔΙΑΤΡΙΒΗ

Η επίδραση της άρδευσης υπό ελεγχόμενες συνθήκες στην αύξηση και ανάπτυξη του κεχριού και η επίδραση της καλλιέργειας στην εδαφοβελτίωση.



Κασσαβέτη Πασχαλινή
Βόλος, 2011



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

Αριθ.Εισ: 9807/1
Ημερ.Εισ: 29-06-2011
Δωρεά Συγγραφέας
Ταξιθετικός Κωδικός ΠΤ - ΦΠΑΠ
2011
ΚΑΣ

Επιμέλεια: Κασσαβέτη Πασχαλινή, Α.Ε.Μ. 1048

**Επιβλέπων καθηγητής: Δαναάτος Νικόλαος, καθηγητής, Διευθυντής
Εργαστηρίου Γεωργίας και Εφαρμοσμένης Φυσιολογίας Φυτών**

Τριμελής Επιτροπή:

- **Δαναάτος Νικόλαος, καθηγητής Εργαστηρίου Γεωργίας και Εφαρμοσμένης Φυσιολογίας Φυτών, επιβλέπων**
- **Δημήρκου Ανθούλα, καθηγήτρια του Εργαστηρίου Εδαφολογίας, μέλος**
- **Μπαρτζιάλης Δημήτριος, μέλος Π.Δ. 407/80, μέλος**

ΕΥΧΑΡΙΣΤΙΕΣ

Για την ολοκλήρωση της παρούσας πτυχιακής διατριβής, θεωρώ υποχρέωση μου να ευχαριστήσω θερμά πρώτα απ' όλους τον επιβλέποντα καθηγητή του Εργαστηρίου Γεωργίας και Εφαρμοσμένης Φυσιολογίας Φυτών, κύριο Δαναλάτο Νικόλαο για την πολύτιμη βοήθεια και αμέριστη συμπαράσταση του κατά τη διάρκεια των σπουδών μου. Η συμβολή του υπήρξε καθοριστική στη συγγραφή και επιτυχή ολοκλήρωση της πτυχιακής μου διατριβής.

Επίσης θα ήθελα να εκφράσω την εκτίμηση και τις ευχαριστίες μου στην κυρία Δημήτρου Ανθούλα, καθηγήτρια του Εργαστηρίου Εδαφολογίας καθώς επίσης και στον κύριο Μπαρτζιάλη Δημήτριο, μέλος Π.Δ. 407/80 και στην κυρία Σκουφογιάννη Ελπινίκη, μέλος Ε.Ε.ΔΙ.Π. Η για τις πολύτιμες γνώσεις που μου παρείχαν, όπως και για την συμμετοχή τους στην συμβουλευτική επιτροπή.

Δεν θα μπορούσα να μην εκφράσω την απεριόριστη ευγνωμοσύνη μου στον υποψήφιο διδάκτορα, κύριο Γιαννούλη Κυριάκο που ήταν δίπλα μου σε όλη την διάρκεια των σπουδών μου, για την πολύτιμη βοήθεια και καθοδήγηση του σε όλα τα στάδια των πειραμάτων και κατά την επεξεργασία και συγγραφή της πτυχιακής μου διατριβής.

Τέλος ένα μεγάλο ευχαριστώ από καρδιάς στην οικογένεια και τους φίλους μου, για την κατανόηση και την στήριξη που μου προσέφεραν όλα αυτά τα χρόνια, καθώς και για την υπομονή που επέδειξαν μέχρι την ολοκλήρωση των σπουδών μου.

ΠΕΡΙΛΗΨΗ

Το switchgrass (*Panicum virgatum*) είναι ένα πολυετές, εαρινό αγρωστώδες, φωτοσυνθετικού τύπου C₄. Η εγκατάσταση του γίνεται με σπόρους, μπορεί όμως να αναπαραχθεί και με τα ριζώματα που δημιουργεί. Το ριζικό του σύστημα μπορεί να ξεπεράσει τα 3 μέτρα και αναπτύσσεται κυρίως κατά την πρώτη καλλιεργητική περίοδο, όπου και λειτουργεί ως αναπαραγωγικό όργανο για την αναβλάστηση του φυτού την επόμενη χρονιά.

Στην εργασία αυτή πραγματοποιήθηκαν δύο πειράματα. Το πρώτο πείραμα είχε ως σκοπό την μελέτη της επίδρασης της άρδευσης υπό ελεγχόμενες συνθήκες καθώς και την επίδραση του πληθυσμού στην αύξηση και ανάπτυξη του φυτού. Το δεύτερο πείραμα είχε ως σκοπό την μελέτη της περιεκτικότητας των φυτών σε NO₃-N καθώς και την επίδραση της καλλιέργειας στην απονιτροποίηση και τη βελτίωση της δομής του εδάφους.

Στο πρώτο πείραμα χρησιμοποιήθηκαν δύο επίπεδα άρδευσης (Επίπεδο I₁: 250ml/γλάστρα/ημέρα και Επίπεδο I₂: 125ml/γλάστρα/ημέρα) καθώς και δύο πληθυσμοί φυτών (P₁ : 0,1 gr σπόρου/γλάστρα και P₂ : 0,2 gr σπόρου/γλάστρα). Πραγματοποιήθηκαν 3 επαναλήψεις και κάθε επανάληψη αποτελούνταν από 10 γλάστρες. Οι γλάστρες σπάρθηκαν με σπόρο switchgrass ποικιλίας Alamo και σαν υπόστρωμα χρησιμοποιήθηκε τύρφη. Λίπανση δεν εφαρμόστηκε σε καμία από τις επαναλήψεις. Οι γλάστρες τοποθετήθηκαν σε θάλαμο ανάπτυξης (GRW-1500 CMP), σε διαδοχικές ημερομηνίες και παρέμειναν εκεί μέχρις ότου φτάσουν στον μέσο όρο των 30cm, που είχε τεθεί εξ' αρχής ως όριο της ανάπτυξης. Κατά την διάρκεια αυτή πραγματοποιούνταν οι απαιτούμενες αρδεύσεις, σε διαφορετικά επίπεδα για την κάθε επανάληψη (1^η Επανάληψη: Επίπεδο I: 250ml/γλάστρα/ημέρα, 2^η Επανάληψη: Επίπεδο II: 125ml/γλάστρα/ημέρα, 3^η Επανάληψη: Επίπεδο II: 125ml/γλάστρα/ημέρα) και λαμβάνονταν τα ύψη των φυτών. Το απαιτούμενο ύψος επετεύχθη στις 636, 660 και 763 °C-d (θερμομονάδες) για την 1^η, 2^η και 3^η επανάληψη αντίστοιχα. Μετά την ολοκλήρωση της ανάπτυξης τους, τα φυτά καθαρίστηκαν από τα υπολείμματα της τύρφης που υπήρχαν στις ρίζες και τοποθετήθηκαν στο ξηραντήριο, στους 70 °C για 7 ημέρες μέχρι να επιτευχθεί σταθεροποίηση των βαρών τους. Στην συνέχεια ζυγίστηκε σε ηλεκτρονικό ζυγό ακριβείας το ξηρό βάρος της βιομάζας και της ρίζας αντίστοιχα.

Στο δεύτερο πείραμα εφαρμόστηκε στα φυτά θρεπτικό διάλυμα αζώτου, με τη μορφή NH_4NO_3 , σε τρία επίπεδα (Επίπεδο N1: Μάρτυρας, Επίπεδο N2: 80 kg N/ha, Επίπεδο N3: 200 kg N/ha). Η περιεκτικότητα της τύρφης σε NO_3 μετρήθηκε πριν από τη σπορά. Χρησιμοποιήθηκαν συνολικά 12 γλάστρες, οι οποίες σπάρθηκαν με σπόρο switchgrass ποικιλίας Alamo και σαν υπόστρωμα χρησιμοποιήθηκε 1 Kg τύρφη. Η σπορά πραγματοποιήθηκε στις 28 Ιουνίου 2010 και το φύτευμα των σπόρων στις 4 Ιουλίου 2010. Κατά την διάρκεια διεξαγωγής του πειράματος η άρδευση εφαρμοζόταν κάθε δεύτερη ημέρα και το συνολικό ποσό του νερού που εφαρμόστηκε ήταν 4,5 lt/γλάστρα. Η καλλιεργητική περίοδος διήρκησε συνολικά 53 ημέρες και το switchgrass έφθασε στο ύψος των 58 cm. Η συγκομιδή πραγματοποιήθηκε στις 25 Αυγούστου 2010 και το νωπό βάρος της βιομάζας ανήλθε σε 36,74 gr, ενώ το μέσο βάρος των ριζών ήταν 40,45 gr. Η προσρόφηση των NO_3^- -N από τα φυτά ήταν υψηλή, ακόμα και όταν τα φυτά ήταν στα πρώτα στάδια ανάπτυξης, ενώ η τελική συγκέντρωση του εδάφους σε NO_3^- -N παρέμεινε σε χαμηλά επίπεδα (>16,8 mg NO_3^- -N/kg εδάφους).

ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ

ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ.....	6
1. Εισαγωγή	8
1.1 Ενέργεια και ενεργειακό πρόβλημα.....	8
1.2 Λευκή – Πράσινη Βίβλος - Πρωτόκολλο Kyoto	9
1.3 Ανανεώσιμες πηγές ενέργειας και Βιομάζα.....	11
1.4 Ενεργειακές καλλιέργειες	14
1.5 Switchgrass (<i>Panicum virgatum</i>)	15
1.5.1 Ταξινόμηση και γεωγραφική εξάπλωση.....	15
1.5.2 Βοτανική περιγραφή	16
1.5.3 Βιολογικός κύκλος.....	19
1.5.4 Οικότυποι και ποικιλίες	19
1.5.4.1 Οικότυποι.....	19
1.5.4.2 Ποικιλίες	20
1.5.5 Παράγοντες καθορισμού εμφάνισης-ανάπτυξης της ποικιλίας	23
1.5.5.1 Γεωγραφικό πλάτος	23
1.5.5.2 Βροχοπτώσεις και υγρασία	23
1.5.6 Καλλιεργητικές απαιτήσεις.....	24
1.5.6.1 Λίπανση	24
1.5.6.2 Άρδευση.....	25
1.5.6.3 Έδαφος.....	25
1.5.6.4 Κλίμα	26
1.5.7 Εγκατάσταση της καλλιέργειας	27
1.5.7.1 Προετοιμασία της σποροκλίνης.....	27
1.5.7.2 Σπορά	28
1.5.7.3 Συγκομιδή	29
1.5.7.4 Παραγωγικότητα και απόδοση	31
1.5.8 Εχθροί και ασθένειες	31
1.5.8.1 Έντομα	32
1.5.8.2 Πτηνά	34
1.5.8.3 Ιολογικές ασθένειες	35
1.5.8.4 Μυκητολογικές ασθένειες.....	36
1.5.9 Χρήσεις	38
1.5.9.1 Παραγωγή βιοενέργειας.....	38
1.5.9.2 Έλεγχος της διάβρωσης του εδάφους.....	39
1.5.9.3 Δέσμευση CO ₂ και αντιστάθμιση των αερίων του θερμοκηπίου	39
1.5.9.4 Παραγωγή βιοδιασπώμενων πλαστικών.....	39
1.5.9.5 Παραγωγή χαρτοπολτού	39
1.5.9.6 Κτηνοτροφία.....	40
1.5.9.7 Ενδαιτήματα της άγριας πανίδας	41
1.5.10 Οικονομικά, κοινωνικά και περιβαλλοντικά οφέλη της καλλιέργειας του switchgrass.....	41
2. Υλικά και μέθοδοι.....	44
Πείραμα Α.....	44
2.1 Πειραματικό σχέδιο	44
2.2 Εργασίες.....	44
2.2.1 Σπορά	44
2.2.2 Ρύθμιση θαλάμου ανάπτυξης.....	45
2.2.3 Λίπανση	45

2.2.4 Άρδευση.....	45
2.2.5 Έλεγχος ζιζανίων	45
2.2.6 Έλεγχος εχθρών και ασθενειών	45
2.3 Συλλογή πειραματικών δεδομένων.....	46
2.4 Εργαστηριακές μετρήσεις.....	46
2.5 Υπολογισμοί	46
2.5.1 Υπολογισμός θερμομονάδων.....	46
Πείραμα Β.....	47
2.1 Πειραματικό σχέδιο	47
2.2 Εργασίες.....	47
2.2.1 Σπορά	47
2.2.2 Λίπανση	48
2.2.3 Άρδευση.....	48
2.2.4 Έλεγχος ζιζανίων	48
2.2.5 Έλεγχος εχθρών και ασθενειών	49
2.3 Εργαστηριακές μετρήσεις.....	49
3. Αποτελέσματα.....	50
Πείραμα Α.....	50
3.1 Επίδραση της άρδευσης στην αύξηση του ύψους των φυτών	50
3.2 Επίδραση της άρδευσης στην απόδοση σε ξηρή βιομάζα καθώς και σε ξηρά ουσία της ρίζας.....	51
Πείραμα Β.....	53
3.1 Χαρακτηριστικά Ανάπτυξης.....	53
3.2 Περιεκτικότητα των φυτών σε NO ₃ -N και βελτίωση του εδάφους	54
4. Συμπεράσματα	55
Πείραμα Α.....	55
Πείραμα Β.....	56
Βιβλιογραφία	57
1. Ελληνική Βιβλιογραφία	57
2. Ξενόγλωσση Βιβλιογραφία.....	57
Παράρτημα εικόνων	64

1. Εισαγωγή

1.1 Ενέργεια και ενεργειακό πρόβλημα

Στις αρχές της δεκαετίας του '50 έκανε την εμφάνισή του, με μορφή φιλοσοφικού στοχασμού, το ενεργειακό πρόβλημα. Με την εμφάνιση της ενεργειακής κρίσης του 1973 άρχισε και η συνειδητοποίηση του ενεργειακού προβλήματος. Το ενεργειακό πρόβλημα, ανεξάρτητα από τη χρονική και την τοπική ιδιαιτερότητα που εμφανίζει, προσδιορίζεται κυρίως από τις εξής συνιστώσες:

- Την ανοδική τάση των τιμών της ενέργειας, η οποία δημιουργεί αύξηση του κόστους στο σύνολο των προϊόντων και των υπηρεσιών. Αξίζει να σημειωθεί ότι από την ενεργειακή κρίση μέχρι σήμερα οι τιμές του αργού πετρελαίου έχουν τετραπλασιασθεί, γεγονός που πιστοποιεί τη μονιμότητα του ενεργειακού προβλήματος ως προς την άνοδο των τιμών.

- Την αβεβαιότητα επάρκειας και σταθερότητας της ενεργειακής τροφοδοσίας. Το φαινόμενο της αβεβαιότητας συντηρείται από τοπικές και περιφερειακές συρράξεις, οι οποίες στις περισσότερες των περιπτώσεων δημιουργούνται από παρέμβαση τρίτων προκειμένου να αυξήσουν την επιρροή τους στο διεθνές κύκλωμα του πετρελαίου.

- Την εξάντληση των ενεργειακών πόρων, έστω και αν αυτή τοποθετείται σε μακρινούς χρονικούς ορίζοντες.

- Τη ρύπανση της ατμόσφαιρας και των υδάτινων αποδεκτών. Συγκεκριμένα η ενέργεια επιδρά δυσμενώς στο περιβάλλον σε κάθε φάση της ενεργειακής ροής, δηλαδή από την εξόρυξη των πρώτων υλών μέχρι την τελική χρήση τους. Με συνέπεια να συμβάλλει τα μέγιστα στη δημιουργία του φαινομένου του θερμοκηπίου (από τις εκπομπές των αερίων καύσης) και ταυτόχρονα να μειώνει τη διαθεσιμότητα του υδάτινου δυναμικού (από την ποιοτική υποβάθμιση των αποδεκτών). Έτσι το ενεργειακό σύστημα είναι κυρίως υπεύθυνο για την κλιματική αλλαγή και για την παγκόσμια κρίση του νερού.

- Το κύκλωμα διαχείρισης της ενεργειακής ροής χαρακτηρίζεται από μεγάλες απώλειες, που ανέρχονται στο 85% της πρωτογενούς ενέργειας. Διαπιστώνεται ως εκ τούτου ότι σημαντική συνιστώσα του ενεργειακού συστήματος είναι η μη ορθολογική διαχείρισή του ή, διαφορετικά, η χαμηλή αποδοτικότητά του.

Σήμερα το 80% της ενέργειας προέρχεται από ορυκτά καύσιμα, το 14% από ανανεώσιμες πηγές ενέργειας - ΑΠΕ, και το 6% από πυρηνικούς σταθμούς. Είναι

φανερό ότι για την επίλυση του ενεργειακού προβλήματος είναι απαραίτητο να ελαχιστοποιηθεί η χρήση ορυκτών καυσίμων [1].

1.2 Λευκή – Πράσινη Βίβλος - Πρωτόκολλο Kyoto

Μολονότι η χρήση των βιοκαυσίμων για τον τομέα των μεταφορών είναι γνωστή εδώ και πολλά χρόνια, η παραγωγή και χρήση των βιοκαυσίμων στην Ευρωπαϊκή Κοινότητα έχει αρχίσει να αναπτύσσεται μόνο τα τελευταία χρόνια. Αυτό οφείλεται κυρίως στη γενικότερη Ευρωπαϊκή αλλά και διεθνή ενεργειακή πολιτική που στοχεύει αφενός στην ελάττωση των εκπομπών CO₂ και αφετέρου στην εξασφάλιση των πηγών ενέργειας και ανεξάρτηση από το πετρέλαιο. Στα πλαίσια της ενεργειακής αυτής στρατηγικής η Ευρωπαϊκή Κοινότητα εξέδωσε τη Λευκή (1997) και Πράσινη (2000) Βίβλο περιγράφοντας την Ευρωπαϊκή στρατηγική για τις ανανεώσιμες πηγές ενέργειας και την διασφάλιση της διαθεσιμότητας της ενέργειας αντίστοιχα [2, 3, 4, 5, 6, 7, 8].

Η Λευκή Βίβλος (1997) προέβλεπε κατ' αρχήν την ανάγκη ύπαρξης μιας κοινοτικής στρατηγικής και ενός σχεδίου δράσης στην παραγωγή ενέργειας από ανανεώσιμες πηγές ενέργειας (ΑΠΕ), μέσω σημαντικών προγραμμάτων, όπως το JOULE - THERMIE, το INCO, το FAIR καθώς και τα σημαντικότερα όλων, το ALTENER και το ALTENER II. Η στρατηγική αυτή θα είχε ως στόχους της, την επίτευξη αυξημένης ανταγωνιστικότητας για την Ε.Ε., την ασφάλεια της παροχής ενέργειας και την προστασία του περιβάλλοντος. Η Ευρωπαϊκή Ένωση με την Πράσινη Βίβλο (2000) έθεσε σε πρώτο πλάνο τους προβληματισμούς της για τις ΑΠΕ και προσπάθησε να οδηγήσει τα κράτη – μέλη προς την ανεξάρτησή τους από τις συμβατικές και ρυπογόνες πηγές ενέργειας, που χρησιμοποιούσαν κατά κόρον και να τα στρέψει στη συστηματικότερη χρήση των φιλικών προς το περιβάλλον ανανεώσιμων πηγών ενέργειας. Οι στόχοι που έθετε και προωθούσε η Πράσινη Βίβλος συνοψίζονταν κυρίως στον διπλασιασμό του ποσοστού χρήσεως των ΑΠΕ στο ενεργειακό πλαίσιο της Ε.Ε. μέχρι το 2010 γύρω στο 12% [9].

Στο ίδιο πλαίσιο θεσπίστηκε τον Δεκέμβριο του 1997 Το Πρωτόκολλο του Κιότο, το οποίο καθορίστηκε στα πλαίσια της Σύμβασης - Πλαίσιο για τις κλιματικές αλλαγές που είχε υπογραφεί στη Διάσκεψη του Ρίο, τον Ιούνιο του 1992, από το σύνολο σχεδόν των κρατών (η Ελλάδα κύρωσε τη Σύμβαση αυτή, κάνοντάς την νόμο του Κράτους τον Απρίλιο του 1994). Στόχος της Σύμβασης ήταν “η σταθεροποίηση

των συγκεντρώσεων των αερίων του θερμοκηπίου στην ατμόσφαιρα, σε επίπεδα τέτοια ώστε να προληφθούν επικίνδυνες επιπτώσεις στο κλίμα από τις ανθρώπινες δραστηριότητες”. Το Πρωτόκολλο του Κιότο αποτέλεσε ένα σημαντικό νομικό εργαλείο για τον έλεγχο των εκπομπών, με κεντρικό άξονα τις νομικά κατοχυρωμένες δεσμεύσεις των βιομηχανικά αναπτυγμένων κρατών να μειώσουν τις εκπομπές έξι αερίων του θερμοκηπίου (διοξείδιο του άνθρακα, μεθάνιο, υποξείδιο του αζώτου, υδροφθοράνθρακες, πλήρως φθοριομένοι υδρογονάνθρακες και εξαφθοριούχο θείο) την περίοδο 2008-2012, σε ποσοστό 5,2% σε σχέση με τα επίπεδα του 1990. Το Πρωτόκολλο προβλέπει τον εξής καταμερισμό ευθυνών ανά χώρα (Πίνακας 1.) [10] :

Πίνακας 1. Πρωτόκολλο του Κιότο, προβλεπόμενη μείωση των εκπομπών για την περίοδο 2008-2012

ΠΡΩΤΟΚΟΛΛΟ ΤΟΥ ΚΙΟΤΟ ΠΡΟΒΛΕΠΟΜΕΝΗ ΜΕΙΩΣΗ ΤΩΝ ΕΚΠΟΜΠΩΝ ΓΙΑ ΤΗΝ ΠΕΡΙΟΔΟ 2008-2012	
Ευρωπαϊκή Ένωση (των 15), Βουλγαρία, Εσθονία, Λετονία, Λιθουανία, Ρουμανία, Σλοβακία, Σλοβενία, Τσεχία	-8%
ΗΠΑ	-7%
Καναδάς, Ιαπωνία, Ουγγαρία, Πολωνία	-6%
Κροατία	-5%
Νέα Ζηλανδία, Ουκρανία, Ρωσία	0%
Νορβηγία	+1%
Αυστραλία	+8%
Ισλανδία	+10%

Η Ελλάδα υπέγραψε το Πρωτόκολλο τον Απρίλιο του 1998, παράλληλα με τα υπόλοιπα κράτη μέλη της Ε.Ε. και την Ευρωπαϊκή Επιτροπή. Όλα τα κράτη μέλη της Ε.Ε. κύρωσαν το Πρωτόκολλο το Μάιο 2002. Η Ελλάδα το κύρωσε με το Νόμο 3017/2002 (ΦΕΚ Α'117).

Σύμφωνα με το Πρωτόκολλο, η Ε.Ε. και τα κράτη μέλη της έχουν υποχρέωση μείωσης των εκπομπών κατά 8% κατά τη περίοδο 2008-2012 σε σύγκριση με τις εκπομπές του έτους βάσης (1990). Βάσει του άρθρου 4 του Πρωτοκόλλου που επιτρέπει την από κοινού ανταπόκριση στις υποχρεώσεις που αναλαμβάνονται από το Πρωτόκολλο, στο Συμβούλιο Υπουργών Περιβάλλοντος της Ε.Ε. της 4ης Μαρτίου 2002, επετεύχθη συμφωνία σε απόφαση του Συμβουλίου για την “έγκριση εξ ονόματος της Ευρωπαϊκής Κοινότητας του Πρωτοκόλλου του Κιότο της Σύμβασης Πλαίσιο των Ηνωμένων Εθνών για την αλλαγή του κλίματος και την από κοινού ανταπόκριση στις αντιστοίχως αναλαμβανόμενες υποχρεώσεις”. Η απόφαση αυτή κοινοποιήθηκε στη Γραμματεία της Σύμβασης στη Βόννη, την ίδια μέρα που έγινε η κατάθεση των πράξεων κύρωσης του Πρωτοκόλλου στο θεματοφύλακα (Νέα

Υόρκη). Η Ελλάδα σύμφωνα με την απόφαση αυτή, δεσμεύεται να περιορίσει την αύξηση των εκπομπών της στο +25% για το διάστημα 2008-2012, προκειμένου να συνεισφέρει στο κοινό στόχο της Ε.Ε. για 8% μείωση των εκπομπών της για το αυτό διάστημα. Για να ανταποκριθεί στη δέσμευσή της αυτή, η χώρα μας εκπόνησε το Εθνικό Πρόγραμμα μείωσης εκπομπών αερίων φαινόμενου θερμοκηπίου για την περίοδο 2000-2010 [11].

Με βάση την ευρύτερη Ευρωπαϊκή ενεργειακή στρατηγική η Ευρωπαϊκή Κοινότητα δημιούργησε επίσης και την κοινοτική οδηγία 2003/30/ΕΚ σύμφωνα με την οποία μέχρι το 2010 το 5,75% των καυσίμων στον τομέα των μεταφορών θα πρέπει να αντικαθίσταται από βιοκαύσιμα, και κυρίως βιοαιθανόλη και βιοντίζελ. Σύμφωνα με την κοινοτική αυτή οδηγία, αρκετές χώρες μέλη της Ευρωπαϊκής Κοινότητας θεσμοθέτησαν τη χρήση των βιοκαυσίμων, όπως έκανε και η χώρα μας με τον πρόσφατο νόμο για την εισαγωγή των βιοκαυσίμων στην Ελληνική αγορά (ν.3423/2005).

Πέραν της κοινοτικής οδηγίας, η χρήση των βιοκαυσίμων είναι επιτακτική τόσο για την ελάττωση της εξάρτησης από το πετρέλαιο και τις χώρες που το παράγουν, όσο και για την προστασία του περιβάλλοντος, αφού η χρήση βιοκαυσίμων έχει αποδειχθεί ότι μειώνει σημαντικά τους ρύπους. Παράλληλα, η χρήση των βιοκαυσίμων μπορεί να ενισχύσει σημαντικά την εθνική οικονομία. Συγκεκριμένα αναμένεται η ενίσχυση της αγροτικής οικονομίας με την προσθήκη “ενεργειακών καλλιεργειών” που θα αποτελέσουν την πρώτη ύλη (βιομάζα) για παραγωγή βιοκαυσίμων, ανεβάζοντας την συνολική οικονομία της χώρας μας που είναι μία κατ’ εξοχήν αγροτική χώρα. Θα αναπτυχθούν επίσης μονάδες παραγωγής βιοκαυσίμων (βιοντίζελ και βιοαιθανόλης) σε τοπικό επίπεδο, δημιουργώντας νέες θέσεις εργασίας. Επιπλέον, η παραγωγή βιοκαυσίμων θα ενισχύσει και ορισμένες υπάρχουσες βιομηχανίες αν συμπεριληφθούν μονάδες παραγωγής βιοκαυσίμων στις διεργασίες τους όπως πετρελαϊκή βιομηχανία, βιομηχανία ζαχαρώς, χαρτοβιομηχανία κτλ. [2, 3, 4, 5, 6, 7, 8].

1.3 Ανανεώσιμες πηγές ενέργειας και Βιομάζα

Η παγκόσμια επιτροπή για το περιβάλλον και την ανάπτυξη διατύπωσαν την εξής έννοια της βιώσιμης ή αειφόρου ανάπτυξης: “βιώσιμη είναι η ανάπτυξη η οποία ικανοποιεί τις ανάγκες της σημερινής γενιάς χωρίς να χειροτερεύει την ικανότητα των

μελλοντικών γενεών να ικανοποιήσουν τις δίκες τους ανάγκες”. Οι ανανεώσιμες πηγές ενέργειας είναι ένας από τους πιο αποτελεσματικούς τρόπους για την επίτευξη της αιφόρου ανάπτυξης σε όλο τον πλανήτη. Η αύξηση του μεριδίου τους για την κάλυψη των ενεργειακών αναγκών του ανθρώπου θα βοηθήσει στο να παρατείνει την ύπαρξη των αποθεμάτων των ορυκτών καυσίμων, στην αντιμετώπιση των απειλών που προέρχονται από την αλλαγή του κλίματος, και θα επιτρέψει τη βελτίωση της ασφάλειας του ενεργειακού εφοδιασμού σε παγκόσμια κλίμακα.

Ως ανανεώσιμες χαρακτηρίζονται οι πηγές που ανανεώνονται μέσω φυσικών φαινομένων μόνιμου κύκλου και που θα συνεχίζουν να παρέχουν ενέργεια σε βάθος χρόνου. Πρόκειται για καθαρές μορφές ενέργειας, φιλικές στο περιβάλλον, που δεν αποδεσμεύουν τοξικά και ραδιενεργά απόβλητα. Επιπλέον για την εκμετάλλευσή τους δεν απαιτείται κάποια ενεργητική παρέμβαση, όπως εξόρυξη ή άντληση αλλά απλώς η εκμετάλλευση της ήδη υπάρχουσας ροής ενέργειας στη φύση. Αυτές είναι [12]:

- Ο ήλιος (ηλιακή ενέργεια)
- Ο άνεμος (αιολική ενέργεια)
- Οι υδατοπτώσεις (υδροηλεκτρική ενέργεια)
- Η ενέργεια των κυμάτων, ρευμάτων, ωκεανών
- Η γεωθερμία
- Η βιομάζα

Η βιομάζα με την ευρύτερη έννοια του όρου περιλαμβάνει οποιοδήποτε υλικό προέρχεται από ζωντανούς οργανισμούς. Ειδικότερα, η βιομάζα για ενεργειακούς σκοπούς, περιλαμβάνει κάθε τύπο που μπορεί να χρησιμοποιηθεί για την παραγωγή στερεών, υγρών ή και αέριων καυσίμων. Στην πράξη υπάρχουν δύο τύποι βιομάζας: i) οι υπολειμματικές μορφές (τα κάθε είδους φυτικά υπολείμματα και ζωικά απόβλητα και τα απορρίμματα) και ii) η βιομάζα που παράγεται από ενεργειακές καλλιέργειες.

Η βιομάζα αποτελεί τη δεσμευμένη-αποθηκευμένη μορφή ηλιακής ενέργειας που προέρχεται από τη φωτοσυνθετική δραστηριότητα των φυτικών οργανισμών. Κατά αυτή, 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 βιομάζα αποτελεί μια σημαντική, ανεξάντλητη και φιλική προς το περιβάλλον πηγή ενέργειας, η οποία είναι δυνατό να συμβάλλει σημαντικά στην ενεργειακή επάρκεια,

αντικαθιστώντας τα συνεχώς εξαντλούμενα αποθέματα ορυκτών καυσίμων (πετρέλαιο, άνθρακας, φυσικό αέριο κ.ά.) [13].

Τα κυριότερα πλεονεκτήματα που προκύπτουν από τη χρησιμοποίηση της βιομάζας για παραγωγή ενέργειας είναι τα ακόλουθα [13, 14, 15, 16, 17]:

- Μη συμβολή στο φαινόμενο του θερμοκηπίου. Η καύση της βιομάζας έχει μηδενικό ισοζύγιο διοξειδίου του άνθρακα, μη συνεισφέροντας στην αύξηση της συγκέντρωσής του στην ατμόσφαιρα, γιατί κατά την καύση της παράγεται CO₂ το οποίο όμως έχει δεσμευτεί κατά την παραγωγή της μέσω της φωτοσύνθεσης.

- Αποφυγή επιβάρυνσης της ατμόσφαιρας με διοξείδιο του θείου (SO₂) που παράγεται κατά την καύση των ορυκτών καυσίμων και συντελεί στο φαινόμενο της “όξινης βροχής”. Η περιεκτικότητα της βιομάζας σε θείο είναι πρακτικά αμελητέα.

- Οικονομική ανεξαρτητοποίηση. Η βιομάζα ως εγχώρια πηγή ενέργειας συμβάλλει σημαντικά στη μείωση της εξάρτησης από εισαγόμενα καύσιμα, βελτίωση του εμπορικού ισοζυγίου, εξασφάλιση του ενεργειακού εφοδιασμού και εξοικονόμηση συναλλάγματος.

- Τοπική ανάπτυξη. Η ενεργειακή αξιοποίηση της βιομάζας σε μια περιοχή, αυξάνει την απασχόληση στις αγροτικές περιοχές με τη χρήση εναλλακτικών καλλιεργειών, τη δημιουργία εναλλακτικών αγορών για τις παραδοσιακές καλλιέργειες και τη συγκράτηση του πληθυσμού στις περιοχές τους, συμβάλλοντας έτσι στη κοινωνικο-οικονομική ανάπτυξη της περιοχής.

Τα μειονεκτήματα που συνδέονται με τη χρησιμοποίηση της βιομάζας και αφορούν, ως επί το πλείστον, δυσκολίες στην εκμετάλλευσή της, είναι τα εξής:

- Ο μεγάλος όγκος και η μεγάλη περιεκτικότητα σε υγρασία, ανά μονάδα παραγόμενης ενέργειας, σε σχέση με τα ορυκτά καύσιμα.

- Η μεγάλη διασπορά και η εποχιακή παραγωγή της βιομάζας δυσκολεύουν την συνεχή τροφοδοσία με πρώτη ύλη των μονάδων ενεργειακής αξιοποίησής της.

- Αύξηση του κόστους της ενεργειακής αξιοποίησης λόγω των δυσκολιών που αντιμετωπίζονται κατά τη συγκομιδή-συλλογή, μεταποίηση, μεταφορά και αποθήκευσή της.

- Δαπανηρότερες εγκαταστάσεις και εξοπλισμός που απαιτούνται για την αξιοποίηση της βιομάζας, σε σχέση με τις συμβατικές πηγές ενέργειας.

1.4 Ενεργειακές καλλιέργειες

Οι ενεργειακές καλλιέργειες είναι καλλιεργούμενα ή αυτοφυή είδη, παραδοσιακά ή νέα, τα οποία παράγουν βιομάζα, ως κύριο προϊόν, που μπορεί να χρησιμοποιηθεί για διάφορους ενεργειακούς σκοπούς όπως παραγωγή θερμότητας και ηλεκτρικής ενέργειας, παραγωγή υγρών βιοκαυσίμων κ.ά. Οι παραδοσιακές καλλιέργειες των οποίων το τελικό προϊόν ή τα υπολείμματα θα χρησιμοποιηθούν για την παραγωγή ενέργειας και βιοκαυσίμων θεωρούνται, επίσης ενεργειακές καλλιέργειες.

Η έρευνα σχετικά με τις ενεργειακές καλλιέργειες στην Ελλάδα ξεκίνησε πρόσφατα, στις αρχές της προηγούμενης δεκαετίας. Οι σημαντικότερες ενεργειακές καλλιέργειες που έχουν μελετηθεί και θα μπορούσαν να χρησιμοποιηθούν επιτυχώς στην Ελλάδα για παραγωγή υγρών και στερεών βιοκαυσίμων χωρίζονται σε δύο κατηγορίες και είναι οι εξής:

A. Ετήσιες:

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

B. Πολυετείς:

I. Γεωργικές:

1. Καλάμι (*Arundo donax* L.)
2. Μίσχανθος (*Miscanthus x 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.).

Άλλα είδη που χρησιμοποιούνται ή μελετώνται για χρήση ως ενεργειακά φυτά στην Ευρώπη και έχουν δώσει ενθαρρυντικά αποτελέσματα, είναι τα *Salix sp.* (Ιτιά),

Secale cereale (Σίκαλη), *Triticale sp.* (Τριτικάλε), *Phalaris arundinacea*, *Populus sp.* (Λεύκα), *Cannabis sativa* (Ημερη κάνναβη), *Alnus sp.* (Σκλήθρος), *Helianthus tuberosus* (Κολοκάσι) και *Camelina sativa* (Ψευδολινάρι).

Το κύριο πλεονέκτημά είναι η σταθερή παραγωγή που μπορεί να εξασφαλίσει μεγάλης κλίμακας, μακροπρόθεσμη προμήθεια πρώτης ύλης, με ομοιόμορφα ποιοτικά χαρακτηριστικά σε μονάδες παραγωγής βιοκαυσίμων και ενέργειας. Ειδικότερα οι νέες καλλιέργειες παρουσιάζουν υψηλότερες αποδόσεις ανά εδαφική μονάδα από τις συμβατικές. Οι υψηλότερες αυτές αποδόσεις, βελτιώνουν την οικονομικότητά τους και ελαχιστοποιούν τις απαιτήσεις σε έδαφος, αγροχημικά, μεταφορικά και άλλες αρνητικά περιβαλλοντικές επιδράσεις. Λαμβάνοντας υπόψη τα πολλαπλά οφέλη της ενεργειακής αξιοποίησης της βιομάζας, αλλά και τις ιδιαιτερότητες του ελληνικού αγροτικού τομέα, οι καλλιέργειες αυτές αντιπροσωπεύουν μια ελκυστική λύση τόσο για την παραγωγή ενέργειας και υγρών βιοκαυσίμων όσο και για την αύξηση της ανταγωνιστικότητας του αγροτικού χώρου, την ενίσχυση της απασχόλησης και την προστασία του περιβάλλοντος [15, 16, 17].

1.5 Switchgrass (*Panicum virgatum*)

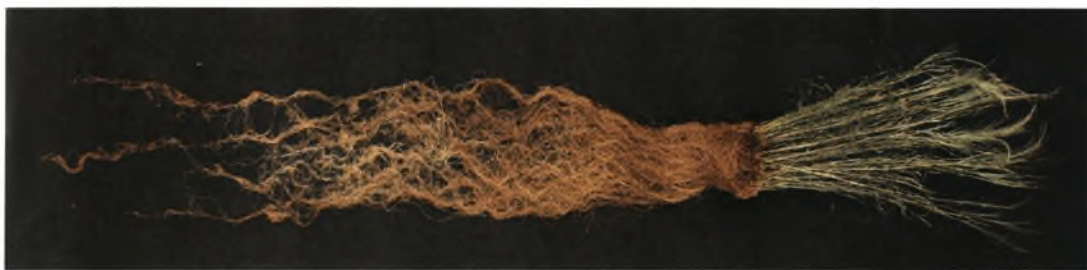
1.5.1 Ταξινόμηση και γεωγραφική εξάπλωση

Το είδος *Panicum virgatum*, γνωστό ως switchgrass, είναι ένα πολυετές, εαρινό φυτό που προέρχεται από την Βόρεια Αμερική, όπου εμφανίζεται αυτοφυές από τον Καναδά μέχρι τις Ηνωμένες Πολιτείες και το Μεξικό. Ανήκει στα Αγγειόσπερμα (*Magnoliophyta*), στην κλάση των Μονοκοτυλήδων (*Liliopsida*), στη τάξη των Κυπειρωδών (*Cyperales*) και στην οικογένεια των Ποών (*Poaceae*). Το γένος *Panicum* περιλαμβάνει περίπου 450 είδη αγρωστωδών τα οποία συναντώνται σε όλες τις τροπικές περιοχές του κόσμου, με μερικά είδη να επεκτείνονται μέχρι και την βόρεια εύκρατη ζώνη. Το switchgrass αποτελεί ένα από τα κυρίαρχα είδη των λειμώνων της Βόρειας Αμερικής και μπορεί να βρεθεί αυτοφυές σε ακαλλιέργητα εδάφη, σε βοσκοτόπια και κατά μήκος των δρόμων. Χρησιμοποιείται κυρίως για την προστασία του εδάφους, για την βιολογική δέσμευση του διοξειδίου του άνθρακα, ως εδαφοβελτιωτικό, για την παραγωγή ζωοτροφών και φυτικών ινών, για την παραγωγή βιοδιασπώμενων πλαστικών και χαρτοπολτού, ως καλλωπιστικό φυτό και τα τελευταία χρόνια, ως ενεργειακό φυτό για την παραγωγή βιοαιθανόλης, βιοαερίου και

πελλέτας από την βιομάζα του, για την παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας και θερμότητας [18, 19, 20].

1.5.2 Βοτανική περιγραφή

Το switchgrass έχει θυσανώδες ριζικό σύστημα, το οποίο φτάνει μέχρι και τα 3 μέτρα βάθος (Εικ.1). Η ρίζα διακρίνεται στην πρωτογενή εμβρυακή ρίζα, στις δευτερογενείς που εμφανίζονται από το μεσοκοτύλιο και στις μόνιμες που εμφανίζονται από το λαιμό. Οι εμβρυακές ρίζες είναι λεπτές με άφθονες πλευρικές διακλαδώσεις, οι οποίες άλλοτε είναι πρόσκαιρες και άλλοτε διατηρούνται ενεργές σε όλη τη διάρκεια της ζωής του φυτού. Το μόνιμο ριζικό σύστημα εμφανίζεται μετά τον κόμβο του στελέχους που λέγεται σταυρός και βρίσκεται λίγο πιο κάτω από την επιφάνεια του εδάφους. Οι μόνιμες ρίζες κατευθύνονται στην αρχή σχεδόν οριζόντια και κατόπιν προς όλες τις πλευρές. Συγκριτικά με τις εμβρυακές, οι μόνιμες ρίζες είναι παχύτερες και ισχυρότερες [21, 22, 23].



Εικόνα 1. Η ρίζα του φυτού (http://commons.wikimedia.org/wiki/Category:Panicum_virgatum)

Τα στελέχη του switchgrass είναι ανοιχτού έως σκούρου πράσινου χρώματος, χωρίς τρίχες και φτάνουν σε ύψος περίπου τα 3 μέτρα (Εικ.2). 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. Από κάθε κόμβο του στελέχους εκφύεται ένα φύλλο που αποτελείται από κολεό και έλασμα με παράλληλη νεύρωση. 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 (Εικ. 3). Στη βάση του

γλωσσιδίου και από τις δύο πλευρές, υπάρχουν μεμβρανώδεις προεκτάσεις που καλούνται ωτίδια [21, 22, 23].



Εικόνα 2. Το φυτό (<http://www.apriliani.com/switchgrass>)



Εικόνα 3. Γλωσσίδα

(<http://extension.missouri.edu/publications/DisplayPub.aspx?P=MP903-52>)

- ✓ Η ταξιανθία είναι φόβη (Εικ. 4) 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. Τα σταχύδια (Εικ. 5) 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 του κεντρικού νεύρου του λεπύρου σε όλο το μήκος του, που ονομάζεται τρόπιδα. Κάθε άνθος περιβάλλεται από δύο λεπυρίδια που ονομάζονται χιτώνας και λεπίδα και αποτελούνται από τρεις στήμονες, μονόχωρη ωοθήκη, βραχύ στύλο και δισχιδές στίγμα (Εικ. 6). 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 του καλοκαιριού και η επικονίαση γίνεται με τον άνεμο [21, 22, 23].



Εικόνα 4. Ταξιανθία φόβη (<http://www.bobklips.com/latejuly2010.html>)



Εικόνα 5. Σταχύδιο (<http://floridagrasses.org/Panicum%20virgatum.htm>)



Εικόνα 6. Άνθος (<http://www.bobklips.com/latejuly2010.html>)

- ✓ Ο καρπός (Εικ. 7) είναι καρύοψη, μήκους 2-3 χιλιοστών, κίτρινου έως καστανού χρώματος, επιμήκης, ωοειδούς σχήματος και κάπως πεπλατυσμένος στη μία πλευρά. Έχει διαφορετικό σχήμα, υφή, μέγεθος και χρώμα ανάλογα με την ποικιλία [21].



Εικόνα7. Καρπός (http://commons.wikimedia.org/wiki/Category:Panicum_virgatum)

1.5.3 Βιολογικός κύκλος

✓ Το switchgrass είναι ένα πολυετές, εαρινό αγρωστώδες, φωτοσυνθετικού τύπου C₄. Το ριζικό του σύστημα μπορεί να ξεπεράσει τα 3 μέτρα σε βάθος. Σχηματίζει λεπτά ριζώματα και από τους οφθαλμούς τους εκπύσσονται, νωρίς την άνοιξη, αρκετά λεπτά στελέχη διαμέτρου 10 χιλιοστών. Η εγκατάσταση του φυτού γίνεται με σπόρους, μπορεί όμως να αναπαραχθεί και με τα ριζώματα που δημιουργεί και επειδή είναι πολυετές δεν χρειάζεται επανασπορά την επόμενη άνοιξη. Στην Ελλάδα η εγκατάσταση του λαμβάνει χώρα το Μάιο όταν η θερμοκρασία εδάφους ξεπεράσει τους 10 με 15 °C. Η αναβλάστηση του φυτού γίνεται το δεύτερο δεκαπενθήμερο του Μαρτίου. Η αύξηση του φυτού αρχίζει από τα μέσα της άνοιξης, η ανθοφορία παρατηρείται από το τέλος της άνοιξης μέχρι τα μέσα του καλοκαιριού, και οι σπόροι ωριμάζουν στα τέλη του καλοκαιριού και το φθινόπωρο (Hoover et al, 1947, Atkins and Smith 1967, Wasser 1982). 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. 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 τέλος Νοεμβρίου ως και τον Ιανουάριο [15, 16, 17, 24, 25, 26, 27, 28, 29].

1.5.4 Οικότυποι και ποικιλίες

1.5.4.1 Οικότυποι

Λόγω της ευρείας εξάπλωσης του switchgrass σε όλη τη Βόρεια Αμερική προέκυψαν διάφοροι οικότυποι με γενετικά και μορφολογικά χαρακτηριστικά που παρέχουν καλή προσαρμογή σε ένα συγκεκριμένο περιβάλλον. Οι δύο κύριοι τύποι που προέκυψαν μέσω φυσικής επιλογής είναι οι ορεινοί (upland) και οι πεδινοί

(lowland). Οι ορεινοί τύποι συνήθως φτάνουν γύρω στο 1,5 μέτρο ύψος, τα στελέχη τους είναι λεπτότερα και ημι-κατακείμενα, αξιοποιούν καλύτερα τα άγονα και αβαθή εδάφη και προσαρμόζονται ευκολότερα σε ξηρά και άνυδρα κλίματα. Οι πεδινοί τύποι φτάνουν μέχρι τα 3,5 μέτρα ύψος, τα στελέχη τους είναι πιο χοντρά και αναπτύσσονται σε τύπο δέσμης, προτιμούν βαρύτερα και πιο βαθιά εδάφη και απαιτούν μεγαλύτερη διαθεσιμότητα νερού. Γενικά οι πεδινοί τύποι έχουν τη γενετική ικανότητα να αναπτύσσονται πιο γρήγορα και να παράγουν περισσότερη βιομάζα από τους ορεινούς τύπους (Moser and Vogel, 1995; Porter, 1966) [30, 31, 32, 33, 34].

Οι προσπάθειες τεχνητού υβριδισμού που έγιναν μεταξύ των πεδινών και των ορεινών ποικιλιών απέτυχαν (Taliaferro and Hopkins, 1997). Το switchgrass είναι ένα σταυρογονιμοποιούμενο είδος, αυτοασυμβίβαστο σε μεγάλο βαθμό, που εμφανίζει έντονο πολυμορφισμό (Talbert et al., 1983; Taliaferro and Hopkins, 1997). Ο βασικός αριθμός των χρωμοσωμάτων του switchgrass είναι $x = 9$ και τα επίπεδα πλοειδίας του (αριθμός ζευγών χρωμοσωμάτων) κυμαίνονται από διπλοειδή ($2n = 18$) έως δωδεκαπλοειδή ($2n = 108$) (Hulquist et al., 1996; McMillan, 1959; Nielsen, 1944; Riley and Vogel, 1982). Γενικά οι ορεινοί τύποι είναι συνήθως οκταπλοειδείς και οι πεδινοί τύποι συνήθως τετραπλοειδείς [31, 32, 35, 36, 37, 38, 39, 40].

1.5.4.2 Ποικιλίες

Οι καλλιεργούμενες ποικιλίες του switchgrass σήμερα είναι προϊόν γενετικής βελτίωσης. Βελτιωτές από ερευνητικούς σταθμούς της Αμερικής συνέλεξαν σπόρους από τους γηγενείς πληθυσμούς και τους αναπαρήγαγαν σε σχετικά ομοιόμορφα στελέχη προσαρμοσμένα στις ιδιαίτερες συνθήκες του περιβάλλοντος. Με αυτό το πρόγραμμα αναπαραγωγής, που βασίζεται στην διαδικασία της τεχνητής επιλογής και αφού επιτεύχθηκε ομοιομορφία τα στελέχη αυτά αποτέλεσαν τις βελτιωμένες καλλιεργούμενες ποικιλίες του switchgrass [30].

Κάποιες πρώιμες ποικιλίες, όπως η Blackwell και η Nebraska 28, αποτελούν άγριους, γηγενείς πληθυσμούς που παρουσίασαν με πολύ καλές αποδόσεις και χρησιμοποιήθηκαν χωρίς πρόσθετες αναπαραγωγικές διαδικασίες (Moser and Vogel, 1995). Παλαιότερες ποικιλίες, όπως η Alamo και η Dacotah, επιλέγονταν κυρίως για λόγους διατήρησης του εδάφους από την διάβρωση, ενώ οι πιο πρόσφατες ποικιλίες που έχουν αναπτυχθεί επιλέγονται για την εγκατάσταση, την απόδοση, την ποιότητα και ανθεκτικότητα τους στις ασθένειες (Moser and Vogel, 1995; Sanderson et al.,

1996). Οι νέες ορεινές και πεδινές ποικιλίες που δημιουργούνται αναπτύσσονται ειδικά για την παραγωγή βιομάζας για βιοκαύσιμα (Taliaferro and Hopkins, 1997) [31, 33, 35, 41].

✓ Οι καλλιεργούμενες ποικιλίες του switchgrass, που είναι διαθέσιμες σήμερα είναι οι παρακάτω [30, 31, 42, 43, 44]:

1. Kanlow: Ποικιλία μεγάλου ύψους, με αρκετά χοντρά στελέχη και πολύ παραγωγική. Είναι ειδικά προσαρμοσμένη για τις πεδινές περιοχές και ιδιαίτερα στα κακώς αποστραγγιζόμενα εδάφη που δεν αερίζονται επαρκώς. Αποδίδει όμως εξίσου καλά και σε ορεινά εδάφη.

2. Alamo: Ποικιλία με φύλλωμα πιο χοντρό από άλλες που συχνά φτάνει τα 3 μέτρα ύψος. Όψιμη ποικιλία, γεγονός που διασφαλίζει παραγωγή νωρίς το φθινόπωρο. Εμφανίζει υψηλότερο δυναμικό απόδοσης από την Blackwell όταν καλλιεργείται για κτηνοτροφή. Αναπτύσσεται σε όλους τους τύπους εδάφους αλλά αποδίδει καλύτερα όταν καλλιεργείται νοτιότερα από τις περιοχές που καλλιεργούνται η Blackwell και η Kanlow. Εμφανίζει μέτρια ανοχή στην αλατότητα.

3. Performer: Ποικιλία υψηλής θρεπτικής αξίας, γεγονός που την καθιστά εξαιρετική ως κτηνοτροφή. Έχει πολύ υψηλό δυναμικό παραγωγής βιομάζας όπως οι ποικιλίες Cave-In-Rock και Alamo.

4. BoMaster: Ποικιλία με πολύ υψηλό δυναμικό απόδοσης όταν καλλιεργείται για κτηνοτροφή, αλλά και μεγάλη παραγωγή βιομάζας. Έρευνες δείχνουν ότι έχει υψηλότερη παραγωγή βιομάζας από την Cave-In-Rock και την Alamo.

5. Blackwell: Ποικιλία πρώιμη, ιδιαίτερα εύρωστη που φτάνει το 1,5 μέτρο σε ύψος, με αρκετά μεγάλα στελέχη που παράγει πλούσιο φύλλωμα. Είναι πολύ ανθεκτική στις ασθένειες και ιδιαίτερα στις σκωριάσεις. Έχει βαθύ ριζικό σύστημα, το οποίο την καθιστά ιδανική για την προστασία του εδάφους από την διάβρωση. Καλλιεργείται για κτηνοτροφή και εμφανίζει υψηλό δυναμικό απόδοσης.

6. Nebraska 28: Πρώιμη ποικιλία, με λεπτά ημι-κατακείμενα στελέχη μέτριου ύψους. Είναι μια ποικιλία καλά προσαρμοσμένη στις ξηροθερμικές συνθήκες που αποδίδει πολύ ικανοποιητικά σε αμμώδη και άγονα εδάφη. Καλλιεργείται για κτηνοτροφή και για την προστασία του εδάφους από την διάβρωση.

7. Caddo: Ποικιλία με υψηλό δυναμικό απόδοσης είτε καλλιεργείται για κτηνοτροφή είτε καλλιεργείται για παραγωγή σπόρου. Όταν καλλιεργείται για κτηνοτροφή αποδίδει καλύτερα όταν αρδεύεται. Ανακάμπτει πιο γρήγορα μετά τον θερισμό, σε σχέση με άλλες ποικιλίες και περιέχει μεγάλα ποσοστά πρωτεϊνών.

8. Summer: Πρώιμη ποικιλία, με πλούσιο και χοντρό φύλλωμα, ιδιαίτερα ανθεκτική στις σκωριάσεις.

9. Pathfinder: Όψιμη, εύρωστη ποικιλία με ιδιαίτερη ανθεκτικότητα στις χαμηλές θερμοκρασίες του χειμώνα. Έχει υψηλό δυναμικό απόδοσης, είτε καλλιεργείται για κτηνοτροφή, είτε καλλιεργείται για παραγωγή σπόρου. Χρησιμοποιείται επίσης και ως καλλωπιστικό φυτό.

10. Cave-in-Rock: Θεωρείται από τις καλύτερες ποικιλίες του switchgrass λόγω της ιδιαίτερης ανθεκτικότητας της στις ασθένειες και της μεγάλης προσαρμοστικότητάς της στις συνθήκες του περιβάλλοντος και ιδιαίτερα στην υψηλή υγρασία. Είναι όψιμη ποικιλία, ιδιαίτερης ευρωστίας που φτάνει το 1,5 μέτρο σε ύψος. Προτιμά τα γόνιμα και καλά αποστραγγιζόμενα εδάφη και ευδοκimei καλύτερα σε περιοχές μέσης βροχόπτωσης και θερμοκρασίας. Έχει υψηλό δυναμικό απόδοσης όταν καλλιεργείται για παραγωγή σπόρου και μεγάλη παραγωγή βιομάζας.

11. Sunburst: Ιδιαίτερα εύρωστη ποικιλία που εγκαθίστανται εύκολα. Παρουσιάζει υψηλό δυναμικό απόδοσης και παραγωγής βιομάζας.

12. Trailblazer: Ποικιλία που προήλθε από βελτίωση της ποικιλίας Pathfinder και παρουσιάζει μεγαλύτερη ανοχή στις χαμηλές θερμοκρασίες του χειμώνα. Είναι κατάλληλη για καλλιέργεια σε περιοχές που επικρατούν γενικά χαμηλές θερμοκρασίες.

13. Shelter: Ποικιλία που αρχικά χρησιμοποιήθηκε ως καταφύγιο για την άγρια πανίδα και για φυτεύσεις παραπλεύρως του οδικού δικτύου. Έχει παχύτερα στελέχη και λιγότερα φύλλα σε σχέση με τις άλλες ποικιλίες, είναι ανθεκτικό και ιδιαίτερα εύρωστο. Το δυναμικό παραγωγής βιομάζας του είναι μικρότερο από πολλές άλλες ποικιλίες.

14. Forestburg: Πρώιμη ποικιλία με ιδιαίτερη ανθεκτικότητα στις χαμηλές θερμοκρασίες του χειμώνα. Έχει υψηλό δυναμικό απόδοσης όταν καλλιεργείται για παραγωγή σπόρου αλλά και όταν καλλιεργείται για κτηνοτροφή σε βόρειες περιοχές. Παρουσιάζει μεγάλη προσαρμοστικότητά στις συνθήκες του περιβάλλοντος.

15. Dacotah: Ποικιλία πρώιμη και ιδιαίτερα παραγωγική που φτάνει το 1,5 μέτρο σε ύψος. Έχει υψηλό δυναμικό απόδοσης όταν καλλιεργείται για παραγωγή σπόρου και εμφανίζει ιδιαίτερη ανθεκτικότητα στην ξηρασία. Χρησιμοποιείται ως καταφύγιο για την άγρια πανίδα και ιδιαίτερα για τα πουλιά, και παρέχει άριστο έλεγχο της διάβρωσης του εδάφους.

16. Shawnee: Ποικιλία που προήλθε από βελτίωση της ποικιλίας Cave-in-Rock για την παραγωγή κτηνοτροφής. Παράγει εξαιρετική ποιότητα κτηνοτροφών και υψηλό δυναμικό παραγωγής βιομάζας.

17. Carthage: Πρώιμη, ιδιαίτερα εύρωστη ποικιλία που αναπαράγεται εύκολα με ριζώματα. Έχει υψηλό δυναμικό απόδοσης και παραγωγής βιομάζας, μεγαλύτερο από τις υπόλοιπες δυτικές ποικιλίες.

18. Rotstrahlbusch: Ποικιλία που φτάνει το 1,5 μέτρο σε ύψος. Χρησιμοποιείται ως καλλωπιστικό φυτό και είναι επίσης γνωστό ως “κόκκινο switchgrass”.

1.5.5 Παράγοντες καθορισμού εμφάνισης-ανάπτυξης της ποικιλίας

1.5.5.1 Γεωγραφικό πλάτος

Ο κύριος παράγοντας που καθορίζει την προσαρμογή μιας ποικιλίας σε μια περιοχή είναι το γεωγραφικό πλάτος προέλευσης της ποικιλίας. Η επιλογή μιας ποικιλίας βάση της τοποθεσίας στην οποία θα καλλιεργηθεί αυξάνει την βιωσιμότητα και την παραγωγικότητα της ποικιλίας λόγω της ισχυρής συσχέτισης που υπάρχει μεταξύ του γεωγραφικού πλάτους προέλευσης της ποικιλίας και της απόδοσης της (Parrish and Fike, 2005). Οι ποικιλίες που καλλιεργούνται πολύ πιο βόρεια από την περιοχή προέλευσής τους αποτυγχάνουν να ωριμάσουν το φθινόπωρο και έχουν μειωμένη επιβίωση τον χειμώνα. Αυτό συμβαίνει λόγω της τροποποίησης της φωτοπερίόδου του φυτού από την αλλαγή της θερμοκρασίας και της διάρκειας της ημέρας. (Moser and Vogel, 1995). Η μείωση της φωτοπερίόδου προκαλεί άνθηση στις αρχές του καλοκαιριού. Έτσι όταν καλλιεργούνται στην ίδια περιοχή διαφορετικές ποικιλίες οι βόρειοι οικότυποι ανθίζουν και ωριμάζουν νωρίτερα από τους νότιους οικότυπους, αλλά παραμένουν πιο καχεκτικοί. Επίσης, η παραγωγή βιομάζας των βόρειων είναι σημαντικά μικρότερη σε σύγκριση με αυτή των νότιων (Jacobson et al., 1984) [30, 31, 33, 45, 46].

1.5.5.2 Βροχοπτώσεις και υγρασία

Άλλοι παράγοντες που καθορίζουν την προσαρμογή μιας ποικιλίας σε μια συγκεκριμένη περιοχή είναι οι βροχοπτώσεις και η υγρασία. Οι ποικιλίες που αναπτύσσονται σε ξηρές περιοχές θα είναι πιο ευαίσθητες σε μυκητολογικές προσβολές όταν καλλιεργηθούν σε υγρές συνθήκες. Γενικότερα οι πεδινές ποικιλίες

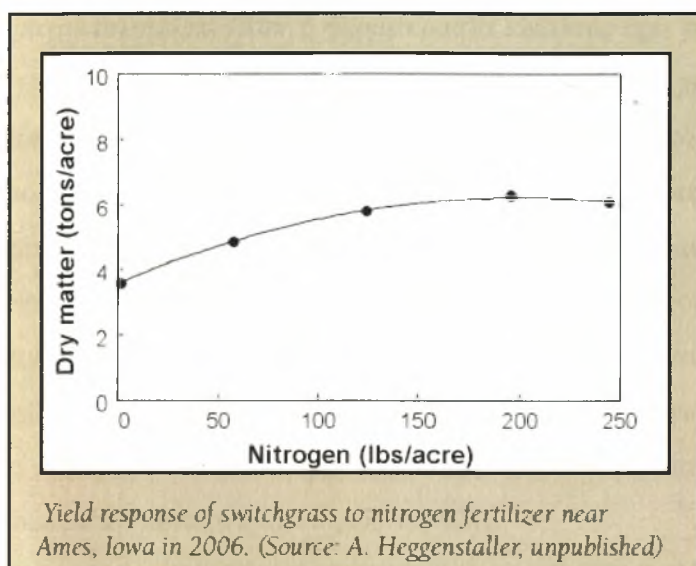
μπορούν να καλλιεργηθούν σε περιοχές που λαμβάνουν ετησίως πάνω από 650 χιλιοστά βροχής, ενώ οι ορεινές ποικιλίες είναι ευαίσθητες στην ξηρασία [31, 32].

1.5.6 Καλλιεργητικές απαιτήσεις

✓ 1.5.6.1 Λίπανση

Το switchgrass μπορεί εκ φύσεως να ανεχθεί χαμηλότερα επίπεδα γονιμότητας σε σχέση με άλλες αγρωστώδεις καλλιέργειες. Ωστόσο, οι καλύτερες αποδόσεις επιτυγχάνονται όταν υπάρχει επάρκεια θρεπτικών συστατικών στο έδαφος. Μια ανάλυση εδάφους είναι πολύ σημαντική πριν από την εγκατάσταση της καλλιέργειας. Τα εδάφη θα πρέπει να εξετάζονται για τις τιμές του pH και για τα επίπεδα του φωσφόρου (P) και του καλίου (K). Είναι σημαντικό να διατηρηθούν τα βέλτιστα επίπεδα φωσφόρου και καλίου στο έδαφος. Εάν παρατηρηθούν ελλείψεις σε φώσφορο (λιγότερο από 10 ppm) και σε κάλιο (λιγότερο από 90 ppm), τότε τα θρεπτικά αυτά συστατικά πρέπει να εφαρμοστούν και να ενσωματωθούν στο έδαφος πριν από τη σπορά. Προσθήκη ασβεστίου (Ca) συνήθως δεν απαιτείται εκτός αν το pH του εδάφους μειωθεί κάτω του 5. Τα επίπεδα του pH εδάφους θα πρέπει να είναι τουλάχιστον 5,5 και κατά προτίμηση κοντά στο 6,5. Κατά τη διάρκεια της εγκατάστασης της καλλιέργειας, η ποσότητα του αζώτου δεν πρέπει να υπερβαίνει τα 4,5 kg/ στρ. Υπερβολική ποσότητα αζώτου (N) από λιπάσματα, κοπριά ή άλλες οργανικές πηγές, ενθαρρύνει τον ανταγωνισμό των ζιζανίων με αποτέλεσμα την καθυστερημένη ανάπτυξη των φυτών. Μετά το έτος εγκατάστασης της καλλιέργειας, 25 με 35 kg N/ στρ. μπορούν να προστεθούν την άνοιξη, αφού το φυτό έχει φτάσει σε ύψος τα 10 με 15 εκατοστά. Αυτή η προσθήκη αζώτου βελτιώνει την απόδοση (Διάγραμμα 1) και τη μακροζωία της καλλιέργειας [30, 47, 48, 49, 50, 51].

Διάγραμμα 1. Μεταβολή της ξηρής βιομάζας του Switchgrass ως προς την αζωτούχο λίπανση [30].



✓ 1.5.6.2 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 [49].

✓ 1.5.6.3 Έδαφος

Το switchgrass προσαρμόζεται και αναπτύσσεται καλά σε ένα ευρύ φάσμα εδαφών. Σε αντίθεση με τα υπόλοιπα εαρινά αγρωστώδη, 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. Επιπλέον, η βιομάζα που προορίζεται για καύση πρέπει να είναι χαμηλής περιεκτικότητας σε ανόργανα άλατα, συμπεριλαμβανομένου και του πυριτίου. Η περιεκτικότητα σε πυρίτιο των φυτών που καλλιεργούνται σε αμμώδη εδάφη είναι χαμηλότερη από αυτή των φυτών που καλλιεργούνται σε αργιλώδη εδάφη, καθιστώντας έτσι τα αμμώδη εδάφη πιο κατάλληλα για την παραγωγή βιομάζας από τα αργιλώδη εδάφη. Το pH του εδάφους για τη βέλτιστη ανάπτυξη της καλλιέργειας κυμαίνεται μεταξύ 5 και 8 [47, 49, 52].

1.5.6.4 Κλίμα

Το switchgrass είναι εαρινό αγρωστώδες και χρειάζεται υψηλές θερμοκρασίες για την ανάπτυξη του. Ο κατάλληλος χρόνος σποράς του εξαρτάται από την θερμοκρασία εδάφους και αέρα. Για την καλή αύξηση και ανάπτυξη του φυτού, η καλλιέργεια πρέπει να εγκαθίστανται όταν η θερμοκρασία του εδάφους φτάνει στους 16-18 °C και η θερμοκρασία του αέρα είναι 25-30 °C. Στην Ελλάδα η εγκατάσταση του λαμβάνει χώρα το Μάιο όταν η θερμοκρασία εδάφους ξεπεράσει τους 10 με 15 °C. Επίσης είναι απαραίτητο να παρέχεται και η κατάλληλη υγρασία κατά τον πρώτο μήνα της εγκατάστασης. Όταν η υγρασία και οι θερμοκρασίες εδάφους και αέρα είναι οι κατάλληλες, ο μέσος όρος εμφάνισης των νεαρών φυταρίων είναι 10 με 21 ημέρες μετά τη φύτευση. Πρόωρη σπορά σε δροσερά εδάφη επιφέρει καθυστερημένη βλάστηση και μειωμένη ανάπτυξη του switchgrass, ενισχύοντας παράλληλα και την ανάπτυξη των ζιζανίων. Η αύξηση του φυτού αρχίζει από τα μέσα της άνοιξης με την άνοδο της θερμοκρασίας, η ανθοφορία παρατηρείται από το τέλος της άνοιξης μέχρι τα μέσα του καλοκαιριού, και οι σπόροι ωριμάζουν στα τέλη του καλοκαιριού και το φθινόπωρο (Hoover et al, 1947, Atkins and Smith 1967, Wasser 1982). 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. Κατάλληλη εποχή συγκομιδής είναι το χρονικό διάστημα από τέλη Νοεμβρίου ως και τον Ιανουάριο αφού έχει προηγηθεί πρώτα μείωση της υγρασίας

των φυτικών ιστών και αυτή έχει κατέλθει στο 25%, περίπου μέχρι τον Ιανουάριο [15, 16, 17, 24, 27, 28, 29, 48].

1.5.7 Εγκατάσταση της καλλιέργειας

1.5.7.1 Προετοιμασία της σποροκλίνης

Κατά την διαδικασία προετοιμασίας της σποροκλίνης οι πιο σημαντικοί παράμετροι που πρέπει να ληφθούν υπ' όψιν είναι η σωστή προετοιμασία του εδάφους και ο αποτελεσματικός έλεγχος των ζιζανίων.

Η προετοιμασία του εδάφους περιλαμβάνει όργωμα και κατεργασία με σβάρνα. Το όργωμα επιτρέπει τον καλύτερο αερισμό του εδάφους, την ευκολότερη διείσδυση του νερού και τον κατάλληλο θρυμματισμό του εδάφους ώστε να έρθουν οι σπόροι σε καλύτερη επαφή με το χώμα. Η κατεργασία με σβάρνα συντελεί στον τελικό θρυμματισμό και την ισοπέδωση του εδάφους, προετοιμάζοντας έτσι κατάλληλα το έδαφος για να δεχθεί τον σπόρο. Η εγκατάσταση του switchgrass μπορεί να γίνει και χωρίς να προηγηθεί όργωμα, αν η επιφάνεια του εδάφους είναι απαλλαγμένη από ζιζάνια και υπολείμματα της προηγούμενης καλλιέργειας. Η σπορά χωρίς όργωμα παρουσιάζει αρκετά πλεονεκτήματα, συμπεριλαμβανομένων της διατήρησης της γονιμότητας και της παραγωγικότητας του εδάφους, της διατήρησης της υγρασίας και της εξοικονόμησης καυσίμων, εργασίας και χρόνου. Επιπλέον, η μειωμένη κατεργασία του εδάφους μειώνει τη διάβρωση του καθώς και τον πληθυσμό των ζιζανίων.

Ο έλεγχος των ζιζανίων είναι ευκολότερος όταν η καλλιέργεια του switchgrass ακολουθεί κάποια ετήσια καλλιέργεια, η οποία καλλιεργούνταν στο ίδιο έδαφος επί σειρά ετών. Σε αυτή την περίπτωση το όργωμα του εδάφους δεν είναι απαραίτητο καθώς ο ανταγωνισμός των ζιζανίων δεν είναι έντονος εφ' όσον η προηγούμενη καλλιέργεια έχει μειώσει σημαντικά την τράπεζα σπόρων των ζιζανίων στο έδαφος. Εάν όμως το χωράφι στο οποίο θα εγκατασταθεί η καλλιέργεια έχει μια ιστορία ανεπαρκούς ελέγχου των ζιζανίων, τότε κρίνεται αναγκαίο να ληφθούν διορθωτικά μέτρα για τον περιορισμό των σπόρων ζιζανίων του εδάφους. Επίσης η εφαρμογή ζιζανιοκτόνων του προηγούμενου συστήματος καλλιέργειας θα πρέπει να λαμβάνεται υπ' όψιν ώστε να αποφευχθούν τυχόν επιπτώσεις στην καλλιέργεια. Στην περίπτωση που το χωράφι που θα χρησιμοποιηθεί για την εγκατάσταση του switchgrass δεν έχει καλλιεργηθεί για αρκετά χρόνια, τότε ενδέχεται να απαιτηθεί ένα επιπλέον έτος

προετοιμασίας για τον έλεγχο των υφιστάμενων ζιζανίων. Αυτό μπορεί να γίνει με χημική καταπολέμηση, με μηχανική κατεργασία του εδάφους ή με την καλλιέργεια ενός ανθεκτικού στα ζιζανιοκτόνα φυτού, όπως η σόγια με ανθεκτικότητα στο ζιζανιοκτόνο glyphosate (Glycine max). Σε κάθε περίπτωση πάντως, κρύα εδάφη στα οποία η θερμοκρασία δεν έχει αυξηθεί θα πρέπει να αποφεύγονται, διότι τα χειμερινά ζιζάνια φυτρώνουν νωρίτερα από το switchgrass καθιστώντας έτσι πολύ δύσκολο στην καλλιέργεια να τα ανταγωνιστεί [49, 53, 54].

1.5.7.2 Σπορά

Η σπορά του switchgrass μπορεί να γίνει είτε γραμμικά, είτε στα πεταχτά αρκεί η επιφάνεια του εδάφους να είναι ομαλή και απαλλαγμένη από ζιζάνια και υπολείμματα της προηγούμενης καλλιέργειας. Η γραμμική σπορά, όταν έχει προηγηθεί όργωμα του εδάφους, γίνεται σε αυλακίες χρησιμοποιώντας είτε μια σπαρτική σιτηρών και μικρών σπόρων, είτε μια σπαρτική ακριβείας (πνευματική σπαρτική). Όταν το έδαφος είναι ακαλλιέργητο, χρησιμοποιούνται σπαρτικές μηχανές απευθείας σποράς οι οποίες σπέρνουν γραμμικά, διαθέτοντας και πρόσθετα εξαρτήματα για τη διάνοιξη της αυλακιάς. Η σπορά στα πεταχτά γίνεται με διασκόρπιση του σπόρου στην επιφάνεια του εδάφους και σε τυχαίες θέσεις και αποστάσεις. Για τη σπορά στα πεταχτά συνήθως χρησιμοποιούνται λιπασματοδιανομείς κατάλληλα ρυθμισμένοι ή με πρόσθετα εξαρτήματα. Σε κάθε περίπτωση είναι σημαντικό μετά την σπορά να ακολουθεί κυλίνδρισμα ή σβάρνισμα, για τη συμπίεση των επιφανειακών στοιβάδων του εδάφους και τον ταυτόχρονο θρυμματισμό τους. Η συμπίεση και ο θρυμματισμός επιτρέπουν την καλύτερη επαφή του σπόρου με το χώμα, διευκολύνοντας έτσι τον εμποτισμό του σπόρου με νερό και το γρήγορο φύτεμα του.

Ανεξάρτητα από την μέθοδο σποράς που θα ακολουθηθεί, πρέπει να δοθεί ιδιαίτερη προσοχή στην ποιότητα του σπόρου. Ο σπόρος πρέπει να είναι πιστοποιημένος, υψηλής βλαστικής ικανότητας και να έχει σπάσει ο λήθαργος του, διαφορετικά η βλάστηση του μπορεί να καθυστερήσει ή και να αποτύχει τελείως. Λόγω του μικρού μεγέθους που έχουν οι σπόροι του switchgrass το βάθος σποράς τους δεν πρέπει να υπερβαίνει τα 6 – 12 mm. Η ποσότητα σπόρου που απαιτείται για την σπορά ενός στρέμματος κυμαίνεται από 0,75 έως 2 κιλά, αναλόγως της ποικιλίας. Η πυκνότητα σποράς διαμορφώνεται ανάλογα με το πλάτος των σειρών και κυμαίνεται περίπου στους 85 σπόρους/m σειράς για σειρές πλάτους 15cm, 100 σπόρους/m σειράς

για σειρές πλάτους 18cm, 120 σπόρους/m σειράς για σειρές πλάτους 20cm και 165 σπόρους/m σειράς για σειρές πλάτους 30cm. Μικρότερη πυκνότητα σποράς είναι επιθυμητή, όταν η κατάσταση της σποροκλίνης είναι άριστη και το επίπεδο του λήθαργου των σπόρων είναι χαμηλό. Σε αυτές τις συνθήκες τα φυτά εκμεταλλεύονται περισσότερο χώρο και εδαφικούς πόρους, επιτυγχάνουν μεγαλύτερο μέγεθος και αποδίδουν περισσότερο σε βιομάζα. Η πυκνότητα της σποράς αυξάνεται ανάλογα με την κατάσταση της σποροκλίνης και την αύξηση των επιπέδων του λήθαργου του σπόρου [49, 50, 53].

1.5.7.3 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 περίοδοι 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 (K, Ca) και σε συγκέντρωση νατρίου (Na) που μπορεί να προκαλέσουν την αποτυχία των συστημάτων άμεσης καύσης (Miles et al. 1996; Lewandowski and Kicherer 1997). Η μέθοδος αυτή διατηρεί τις θρεπτικές ουσίες στο έδαφος, μειώνοντας παράλληλα και την ποσότητα των θρεπτικών ουσιών που αφαιρούνται με την βιομάζα. Ωστόσο, η καθυστέρηση της συγκομιδής για μεγάλο χρονικό διάστημα μετά τον παγετό μπορεί να οδηγήσει σε σημαντική απώλεια βιομάζας. Αυτό οφείλεται στις καιρικές συνθήκες του χειμώνα, που προκαλούν απώλεια της ξηράς ουσίας (φυλλώδη ιστού), υποβάθμισης της βιομάζας και μείωση της απόδοσης (Adler et al. 2006).

Όταν κατά την περίοδο της συγκομιδής επικρατούν έντονες βροχοπτώσεις και τα εδάφη είναι υγρά, η συγκομιδή, η αποξήρανση και η δεματοποίηση της βιομάζας

δυσχεραίνονται (Cherney 2005). Η βιομάζα αλλοιώνεται και οι ανθοταξίες των φυτών καταστρέφονται. Η μόνη αξιόπιστη εναλλακτική λύση για τη συγκομιδή της βιομάζας στις πιο ψυχρές και υγρές περιοχές είναι ένα σύστημα δύο θερισμών. Με την μέθοδο αυτή η πρώτη συγκομιδή πραγματοποιείται στα μέσα με τέλη του καλοκαιριού και η δεύτερη το φθινόπωρο, καθώς ο καιρός το επιτρέπει. Η μέθοδος όμως αυτή παρουσιάζει κάποια μειονεκτήματα, καθώς η συγκέντρωση του αζώτου στην βιομάζα είναι σχετικά υψηλή κατά τη διάρκεια της πρώτης συγκομιδής το καλοκαίρι. Οι σωροί της βιομάζας θα πρέπει να παραμείνουν στον αγρό μέχρι τα θρεπτικά συστατικά και οι συγκεντρώσεις νατρίου να πληρούν τα επιθυμητά επίπεδα για τις διαδικασίες μετατροπής (Cherney 2005). Επιπλέον, λόγω της υψηλής απομάκρυνσης αζώτου από την βιομάζα κατά την πρώτη συγκομιδή, μπορεί να χρειαστεί να εφαρμοστεί επιπλέον αζωτούχους λίπανση.

Ανεξάρτητα από το σύστημα συγκομιδής, το switchgrass δεν πρέπει να θερίζεται σε ύψος μικρότερο των 10 cm, ώστε να διατηρούνται στις βάσεις των στελεχών τα θρεπτικά συστατικά και οι υδατάνθρακες που είναι αναγκαία για την αναβλάστηση της άνοιξης. Επιπλέον, το ύψος αυτό επιτρέπει τη διατήρηση της υγρασίας, τη μείωση της διάβρωσης του εδάφους και την συγκράτηση του χιονιού, η οποία παρέχει μόνωση και μειώνει την καταστροφή των κεφαλών (Garland 2008).

Η συγκομιδή του switchgrass κατά τον πρώτο και δεύτερο χρόνο της καλλιέργειας πραγματοποιείται με μια απλή θεριστική μηχανή. Ωστόσο, κατά τα επόμενα χρόνια, καθώς τα φυτά φτάνουν στην πλήρη ανάπτυξη τους, οι απλές θεριστικές μηχανές δεν είναι αποτελεσματικές, λόγω της μεγάλης διαμέτρου των στελεχών των φυτών και της αδυναμίας διατήρησης του ύψους κοπής των 15 cm. Θεριστικές μηχανές τύπου δίσκου ή με αρθρωτές ταλαντευόμενες λεπίδες είναι πιο αποτελεσματικές για τα ανεπτυγμένα φυτά.

Μετά την συγκομιδή της βιομάζας ακολουθεί η δεματοποίηση της. Η πιο σημαντική παράμετρος κατά δεματοποίηση της βιομάζας είναι η υγρασία. Υψηλή περιεκτικότητα σε υγρασία επηρεάζει την ποιότητα της πρώτης ύλης και αυξάνει το κόστος μεταφοράς της. Το switchgrass συνήθως δεματοποιείται με ποσοστά υγρασίας από 13% έως 15% (McLaughlin et al. 1996). Οι συνήθεις μέθοδοι μεταφοράς και αποθήκευσης της πρώτης ύλης είναι με στρογγυλά (1,5m x 1,2 m) ή τετράγωνα (1,2 m x 1,2 m x 2,4 m) δεμάτια (τις επονομαζόμενες μπάλες) τα οποία είναι και ευκολότερα στο χειρισμό (Garland 2008) [45, 49, 53, 55, 56, 57, 58, 59, 60, 61, 62].

1.5.7.4 Παραγωγικότητα και απόδοση

Ανάλογα με το είδος του εδάφους, η βέλτιστη παραγωγικότητα της καλλιέργειας του switchgrass επιτυγχάνεται σε 2 με 3 χρόνια στα ελαφρά εδάφη και σε 4 με 5 χρόνια στα βαριά εδάφη. Η απόδοση της καλλιέργειας κατά το πρώτο έτος είναι χαμηλή και στα βόρεια γεωγραφικά πλάτη η συγκομιδή μπορεί να μην είναι οικονομικά συμφέρουσα. Κατά το δεύτερο έτος, οι αποδόσεις φτάνουν τους 0,8 με 1,2 τόνους ξηρής βιομάζας ανά στρέμμα και αυξάνονται περαιτέρω κατά το τρίτο έτος μέχρι τους 1,4 με 2,5 τόνους ξηρής βιομάζας ανά στρέμμα. Ωστόσο, η παραγωγικότητα και η απόδοση της καλλιέργειας είναι συνάρτηση της ποικιλίας, με τις πεδινές ποικιλίες να εμφανίζουν υψηλότερες αποδόσεις από τις ορεινές κάτω από τις ίδιες συνθήκες. Επιπλέον, η άρδευση φαίνεται να έχει σημαντικό ρόλο στις αποδόσεις της καλλιέργειας σε περιοχές όπου δεν παρατηρούνται βροχοπτώσεις κατά την περίοδο Ιουνίου – Αυγούστου. Σε περιοχές όπου οι βροχοπτώσεις αυτή την περίοδο είναι σπάνιες οι αποδόσεις κυμαίνονται από 1,7 τόνους ξηρής βιομάζας για τα μη αρδευόμενα φυτά έως τους 2,1 τόνους για την αρδευόμενη καλλιέργεια. Τέλος η λίπανση μπορεί να έχει σημαντική επίπτωση στην παραγωγή αφού η απόδοση καλλιεργειών που δε δέχθηκαν αζωτούχο λίπανση κυμάνθηκε περί τους 1,4 τόνους ξηρής βιομάζας το στρέμμα, ενώ την ίδια περίοδο οι στρεμματικές αποδόσεις καλλιέργειας που εφαρμόστηκε λίπανση 4 και 12 kg αζώτου το στρέμμα ήταν 2,1 και 2,5 τόνοι ξηρής βιομάζας, αντίστοιχα [15, 16, 17, 26, 63].

1.5.8 Εχθροί και ασθένειες

Μέχρι σήμερα, λίγα παράσιτα που έχουν οικονομική σημασία έχουν καταγραφεί στην καλλιέργεια του switchgrass. Ωστόσο, αυτό δεν σημαίνει ότι η καλλιέργεια είναι απαλλαγμένη από εχθρούς και ασθένειες. Δεδομένου της αύξησης της καλλιέργειας του switchgrass ανά τον κόσμο, μια αντίστοιχη αύξηση των εχθρών και των ασθενειών είναι πιθανή. Οι ασθένειες που έχουν διαπιστωθεί στην καλλιέργεια του switchgrass είναι λίγες και προς το παρόν δεν έχουν τεκμηριωθεί να έχουν μεγάλη οικονομική σημασία. Ορισμένες όμως από αυτές ενδέχεται μελλοντικά να επηρεάσουν δυσμενώς την παραγωγή βιομάζας και σπόρου.

1.5.8.1 Έντομα

Τα έντομα που έχουν αναγνωριστεί ως πιθανοί εχθροί της καλλιέργειας του switchgrass είναι λίγα και μπορούν να αποτελέσουν πρόβλημα ιδιαίτερα κατά την εγκατάσταση της καλλιέργειας, όταν επικρατούν ξηρές συνθήκες. Ένα από αυτά είναι οι ακρίδες (Εικ. 8), οι οποίες τρέφονται με το switchgrass, αλλά η έκταση της ζημιάς που προκαλούν δεν έχει υπολογιστεί ακόμα ποσοτικά. Ένα έντομο υπεύθυνο για μεγάλες απώλειες της παραγωγής σπόρου είναι ο *Blastobasis repartella* (Εικ. 9, 10, 11), ένα λεπιδόπτερο το οποίο ενδέχεται μελλοντικά να επηρεάσει σε μεγάλο βαθμό την παραγωγικότητα της καλλιέργειας. Πρόσφατα ερευνητές του πανεπιστημίου της Ντακότα ανακάλυψαν άλλα δύο έντομα που προσβάλλουν την καλλιέργεια του switchgrass, ένα λεπιδόπτερο (Εικ. 12) και ένα δίπτερο (Εικ. 13). Τα έντομα αυτά δεν έχουν προσδιοριστεί προς το παρόν, το λεπιδόπτερο όμως πιθανώς ανήκει στην οικογένεια των *Crambidae* και το δίπτερο στην οικογένεια των *Cecidomyiidae*. Και τα δύο αναπτύσσονται στο εσωτερικό του φυτού, όπου τρέφονται από τους βλαστούς και τις ταξιανθίες του προκαλώντας εκτεταμένες ζημιές, οι οποίες μπορούν να οδηγήσουν μέχρι και σε ολοκληρωτική απώλεια της παραγωγής σπόρου. Επιπλέον υπάρχουν και κάποια λεπιδόπτερα τα οποία τρέφονται με τα φύλλα του switchgrass, χωρίς όμως να προκαλούν σημαντικές ζημιές στην καλλιέργεια. Αυτά είναι τα: *Atrytone logan*, *Hesperia leonardus*, *Hesperia sassacus*, *Poanes hobomok*, *Polites themistocles*, *Wallengrenia egremet* και *Cycloplasis panicifoliella* [21, 53, 50, 64].



Εικόνα 8. Ακρίδες που τρέφονται σε φυτά Switchgrass

([http://article.wn.com/view/2010/11/21/Locusts take to the skies and state braces for damage bill](http://article.wn.com/view/2010/11/21/Locusts+take+to+the+skies+and+state+braces+for+damage+bill)

)



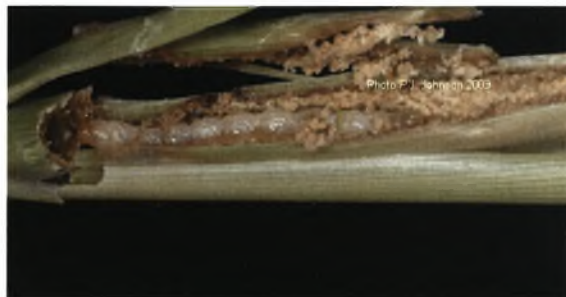
Εικόνα 9. Ενήλικο του *Blastobasis repartella*



Εικόνα 10. Προνύμφη του *Blastobasis repartella* στην στεφάνη του φυτού



Εικόνα 11. Προνύμφη του *Blastobasis repartella* στο στέλεχος του φυτού



Εικόνα 12. Η προνύμφη του λεπιδόπτερου *Crambidae*



Εικόνα 13. Η προνύμφη του δίπτερου *Cecidomyiidae*

1.5.8.2 Πτηνά

Ως εχθροί της καλλιέργειας του switchgrass μπορούν να χαρακτηριστούν και ορισμένα πτηνά που χρησιμοποιούν τους σπόρους του ως τροφή. Τα πτηνά αυτά είναι τα: *Porzana carolina*, *Branta canadensis*, *Phasianus colchicus*, *Meleagris gallopavo*, *Colinus virginianus*, *Zenaida macroura*, *Agelaius phoeniceus*, *Dolichonyx oryzivorus*, *Molothrus ater*, *Spiza americana*, *Passerina caerulea*, *Passerina ciris*, *Junco hyemalis* (Εικ. 14), *Eremophila alpestris*, *Spizella arborea*, *Spizella pallida*, *Spizella passerina*, *Spizella pusilla*, *Ammodramus henslowii*, *Ammodramus savannarum*, *Melospiza georgiana*, *Melospiza lincolni*, *Melospiza melodia*, *Chondestes grammacus*, *Passerculus sandwichensis*, *Poocetes gramineus*, *Zonotrichia albicollis*, *Zonotrichia leucophrys*, *Calcarius lapponicus* και *Calcarius pictu*. Οι ζημιές που προκαλούνται από τα πτηνά, ωστόσο, θεωρούνται πολύ μικρής οικονομικής σημασίας [21].



Εικόνα 14. *Junco hyemalis* τρέφεται με σπόρους του switchgrass
(<http://www.ourhabitatgarden.org/habitat/seeds.html>)

1.5.8.3 Ιολογικές ασθένειες

Το switchgrass έχει βρεθεί ότι είναι ευαίσθητο σε ορισμένα στελέχη του ιού Barley yellow dwarf virus (BYDV), που μεταδίδεται με τις αφίδες και προκαλεί τον κίτρινο νανισμό του κριθαριού, καθώς και στον ιό Panicum mosaic virus (PMV) που προκαλεί το μωσαϊκό των αγρωστωδών. Πρόσφατα, ερευνητές του πανεπιστήμιου του Ιλινόις επιβεβαίωσαν την ύπαρξη και ενός νέου ιού του switchgrass, που ανήκει στο γένος Marafivirus (Εικ. 15). Ο ιός αυτός συνδέεται με τα συμπτώματα του μωσαϊκού και των κίτρινων ραβδώσεων στα φύλλα και έχει τη δυνατότητα μείωσης της φωτοσύνθεσης και συνεπώς μείωσης της απόδοσης σε βιομάζα [50, 65].



Εικόνα 15. Μη αναγνωρισμένος ιός του γένους Marafivirus

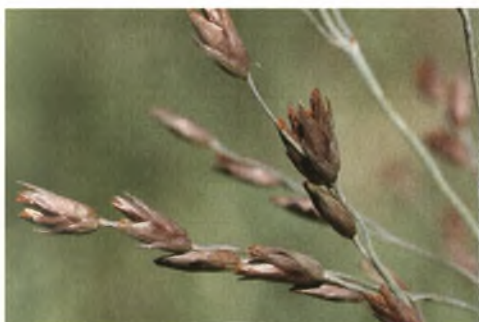
1.5.8.4 Μυκητολογικές ασθένειες

Το switchgrass προσβάλλεται σε μεγάλο βαθμό από τον μύκητα *Puccinia emaculata* (Εικ. 16) που προκαλεί την σκωρίαση. Τα σπόρια του μύκητα αυτού μεταφέρονται με τον αέρα και όταν οι συνθήκες του περιβάλλοντος είναι κατάλληλες, βλαστάνουν και μολύνουν το φυτό. Τα συμπτώματα της ασθένειας περιλαμβάνουν τον σχηματισμό σκουρόχρωμων φλυκταινών και είναι πιο σοβαρά στις ποικιλίες βόρειας προέλευσης (Gustafson et al. 2003). Επιπλέον το switchgrass προσβάλλεται από τον μύκητα *Tilletia maclaganii* (Εικ. 17) που προκαλεί τον δαυλίτη. Ο μύκητας αυτός επιβιώνει σε μολυσμένα εδάφη και προσβάλλει τα άνθη, προκαλώντας πολύ σημαντική μείωση των αποδόσεων σε σπόρο αλλά και βιομάζα (Moser and Vogel 1995, Gravert et al, 2000.). Ένας άλλος μύκητας που προσβάλλει το switchgrass είναι ο *Bipolaris sorokiniana* (τέλεια μορφή *Cochliobolus sativus*) (Εικ. 18) ο οποίος προκαλεί κηλιδώσεις στα φύλλα και επηρεάζει σε μεγάλο βαθμό την ποιότητα του φυτού. Κάποιες ποικιλίες, κυρίως οι νότιες και οι πεδινές, εμφανίζουν μεγαλύτερη ανθεκτικότητα στις ασθένειες αυτές, σε σχέση με τις βόρειες και ορεινές ποικιλίες [32, 33, 48, 50, 53, 66, 67].





Εικόνα 16. Φυτό προσβεβλημένο από τον μύκητα *Puccinia emaculata*
(<http://www.forestrvimages.org/browse/detail.cfm?imgnum=5383145>)



Εικόνα 17. Αριστερά φυτό προσβεβλημένο από τον μύκητα *Tilletia maclaganii* λίγο μετά την ανθοφορία και δεξιά φυτό προσβεβλημένο από τον μύκητα *Tilletia maclaganii* αρκετές εβδομάδες μετά την ανθοφορία

(<http://www.plantmanagementnetwork.org/pub/php/research/2008/smut>)



Εικόνα 18. Φυτό προσβεβλημένο από τον μύκητα *Bipolaris sorokiniana*
(<http://www.dirceugassen.com/>)

1.5.9 Χρήσεις

1.5.9.1 Παραγωγή βιοενέργειας

Το switchgrass ξεκίνησε να ερευνάται ως ενεργειακή καλλιέργεια από τα μέσα της δεκαετίας του 1980, λόγω των υψηλών αποδόσεων που παρουσίαζε ακόμα και όταν καλλιεργούνταν σε άγονες εκτάσεις. Τα τελευταία χρόνια εξετάζεται πλέον για χρήση σε διάφορες διεργασίες μετατροπής της βιοενέργειας, συμπεριλαμβανομένων της κυτταρινικής παραγωγής αιθανόλης, του βιοαερίου, καθώς και της απευθείας καύσης για εφαρμογές θερμικής ενέργειας.

i) Παραγωγή βιοαιθανόλης

Η βιοαιθανόλη είναι μία αλκοόλη που παράγεται μέσω αλκοολικής ζύμωσης και απόσταξης. Είναι βιοαποικοδομήσιμη, χαμηλής τοξικότητας και προκαλεί πολύ μικρή περιβαλλοντική μόλυνση αν χυθεί στο περιβάλλον. Είναι ένα καύσιμο υψηλού αριθμού οκτανίων (113 οκτάνια) και χρησιμοποιείται για την αύξηση του αριθμού οκτανίων της βενζίνης και για τη βελτίωση της ποιότητάς της, δηλαδή ως βελτιωτικό καυσίμου (πχ ETBE, METBE) [32].

ii) Παραγωγή βιοαερίου

Το βιοαέριο παράγεται από την αναερόβια ζύμωση της βιομάζας. Αποτελείται τυπικά από 65% μεθάνιο και 35% διοξείδιο του άνθρακα και μπορεί να χρησιμοποιηθεί για την παραγωγή θερμότητας και ηλεκτρικής ενέργειας και ως καύσιμο για μηχανές εσωτερικής καύσης. Το switchgrass ως ενεργειακή καλλιέργεια παράγει μεγάλες ποσότητες βιομάζας η οποία χρησιμοποιείται ως πρώτη ύλη για την παραγωγή βιοαερίου [68].

ii) Παραγωγή πελλέτας

Το switchgrass δεδομένου ότι παράγει πολύ υψηλά ποσοστά απόδοσης σε ξηρή βιομάζα και απαιτεί λιγότερη ενέργεια για την ξήρανση των φυτών από ότι το ξύλο είναι μια πολλά υποσχόμενη πρώτη ύλη για την παραγωγή πελλέτας. Το συνολικό ενεργειακό ισοζύγιο των πελλετών του switchgrass είναι 14,6:1, το οποίο περιλαμβάνει την ενέργεια για την παραγωγή του switchgrass, τη μεταφορά στην εγκατάσταση επεξεργασίας, την προεπεξεργασία, την πελλετοποίηση, και το μάρκετινγκ [32, 68].

1.5.9.2 Έλεγχος της διάβρωσης του εδάφους

Το switchgrass συμβάλλει σε μεγάλο βαθμό στην προστασία του εδάφους από την διάβρωση και στην αποικοδόμησή του. Η εγκατάσταση του σε μία περιοχή μειώνει έντονα την διάβρωση του εδάφους, σε σχέση με άλλες ετήσιες καλλιέργειες που καλλιεργούνται σε σειρά, λόγω του ότι το switchgrass ως πολυετής καλλιέργεια παρέχει κάλυψη της επιφάνειας του εδάφους και συνοχή με το πλούσιο ριζικό σύστημα που διαθέτει, από τη διαβρωτική δύναμη του ανέμου και της βροχής όλο το χρόνο. Το βαθύ και ινώδες ριζικό του σύστημα, που συχνά φτάνει σε βάθος αντίστοιχο με το ύψος του, εμπλουτίζει το έδαφος με οργανική ουσία σε μεγάλο βάθος, καθιστώντας έτσι ακόμα και τα πιο άγονα εδάφη παραγωγικά [32, 69].

1.5.9.3 Δέσμευση CO₂ και αντιστάθμιση των αερίων του θερμοκηπίου

Η περιεκτικότητα των καλλιεργούμενων εδαφών σε άνθρακα έχει μειωθεί σημαντικά λόγω της μακρόχρονης καλλιέργειας τους. Οι μέθοδοι εντατικής καλλιέργειας ενισχύουν τον αερισμό του εδάφους και επιταχύνουν την διάσπαση της οργανικής ουσίας του, που είναι και η κύρια πηγή του εδαφικού άνθρακα. Η καλλιέργεια του switchgrass επιτρέπει την δέσμευση του άνθρακα στο έδαφος, λόγω της πολυετούς παρουσίας του στον αγρό χωρίς τις επαναλαμβανόμενες ετήσιες καλλιεργητικές φροντίδες και προετοιμασίες εγκατάστασης. Η δέσμευση του άνθρακα στο έδαφος απομακρύνει το CO₂ από την ατμόσφαιρα. Επιπλέον, ένα μεγάλο μέρος της απομάκρυνσης γίνεται μέσω της χρήσης της βιοαιθανόλης που παράγεται, έναντι των ορυκτών καυσίμων που χρησιμοποιούνται σήμερα [32].

1.5.9.4 Παραγωγή βιοδιασπώμενων πλαστικών

Τα βιοδιασπώμενα πλαστικά είναι πλαστικά τα οποία δημιουργούνται από βιολογικά πολυμερή, όπως το PHA και το PHB και τα οποία έχουν την δυνατότητα να αποικοδομούνται από τους μικροοργανισμούς του εδάφους. Αμερικανοί επιστήμονες, σε μια προσπάθεια παραγωγής βιοδιασπώμενων πλαστικών, τροποποίησαν γενετικώς το switchgrass με σκοπό να προκαλέσουν την παραγωγή πολυυδροξυαλκανοϊκών οξέων (PHB), τα οποία συσσωρεύονται με την μορφή κόκκων μέσα στα κύτταρα του φυτού [70, 71].

1.5.9.5 Παραγωγή χαρτοπολτού

Τα τελευταία χρόνια η χρησιμοποίηση ινών που δεν προέρχονται από το ξύλο, για την παραγωγή χαρτοπολτού και χαρτιού, παρουσιάζει αυξητικές τάσεις ως αποτέλεσμα των περιβαλλοντικών προβλημάτων που προκύπτουν λόγω της

αυξανόμενης υλοτομίας των δασών. Σύμφωνα με πρόσφατες μελέτες, το switchgrass αποτελεί μία εναλλακτική πηγή ινών για την παραγωγή χαρτοπολτού (Girouard, and Samson, 2000; Goel, et al., 1998; de Jong et al., 1998; Law et al., 2001; Madakadze et al., 1999; Radiotis et al., 1999; Ruzinsky and Kockta, 2000). Ο χαρτοπολτός του είναι συγκρίσιμος με αυτόν του σκληρού ξύλου και λόγω της μεγάλης περιεκτικότητας του σε ίνες, είναι καταλληλότερος για την παραγωγή σκληρών χαρτιών και χαρτονιών. Επιπλέον, η μηχανική πολτοποίηση του switchgrass χρειάζεται πολύ λιγότερη ενέργεια σε σχέση με την μηχανική πολτοποίηση των σκληρών ξύλων. Έρευνες δείχνουν ότι η καλλιέργεια του switchgrass είναι χαμηλή σε εισροές και σχετικά ανέξοδη (Fox et al., 1999). Αυτό σε συνδυασμό με την υψηλή του παραγωγικότητα έχει ως αποτέλεσμα το χαμηλό κόστος ανά τόνο βιομάζας, κάνοντας έτσι την αντικατάσταση του σκληρού ξύλου από το switchgrass μια οικονομικά αποδοτική προοπτική [72, 73, 74, 75, 76, 77, 78, 79, 80, 81].

1.5.9.6 Κτηνοτροφία

Το switchgrass αποτελεί μια θρεπτική και γευστική τροφή για τα περισσότερα ζώα και κυρίως τα βοοειδή. Χρησιμοποιείται κυρίως για βοσκή, αλλά και για παραγωγή σανού. Η ποιότητα του ως κτηνοτροφή είναι παρόμοια με αυτή των περισσότερων αγρωστωδών και εξαρτάται κυρίως από την ωριμότητα του. Κατά τη διάρκεια της άνοιξης το switchgrass έχει σχεδόν 15% περιεκτικότητα σε ακατέργαστες πρωτεΐνες και πάνω από 70% περιεκτικότητα σε εύπεπτες ξηρές ουσίες. Μέχρι τα μέσα του καλοκαιριού όμως, η περιεκτικότητα του σε ακατέργαστες πρωτεΐνες και σε εύπεπτες ξηρές ουσίες πέφτει περίπου στο 8% και 60% αντίστοιχα. Κατά την διάρκεια του καλοκαιριού, επειδή συντελείται η ωρίμανση του, αυξάνει επίσης και η περιεκτικότητά του σε ίνες, κάτι που το καθιστά λιγότερο κατάλληλο. Κατάλληλη εποχή για συγκομιδή ή βόσκηση είναι η περίοδος από τον Ιούνιο μέχρι τις αρχές Ιουλίου, όταν τα φυτά έχουν φτάσει τουλάχιστον τα 20 με 30 cm ύψος και η περιεκτικότητά τους σε θρεπτικά συστατικά είναι η μεγαλύτερη. Ωστόσο το switchgrass δεν είναι κατάλληλο για ζώα όπως τα άλογα, οι κασίκες και τα πρόβατα διότι περιέχει τοξικές χημικές ενώσεις, που ονομάζονται σαπωνίνες, οι οποίες προκαλούν φωτοευαισθησία και επηρεάζουν τα εσωτερικά όργανα και την ηπατική λειτουργία (USDA NRCS 2001/2002) [25, 49, 82].

1.5.9.7 Ενδιαίτηματα της άγριας πανίδας

Το switchgrass συμβάλλει στην διατήρηση της βιοποικιλότητας καθώς αποτελεί ενδιαίτημα και τροφή για πολλά είδη της άγριας πανίδας. Το μεγάλο ύψος των φυτών προσφέρει κάλυψη αλλά και θέσεις ωοτοκίας σε πολλά άγρια πτηνά όπως οι φασιανοί, τα ορτύκια, οι πέρδικες, και οι άγριες γαλοπούλες, καθώς επίσης και σε ωδικά πτηνά αλλά και σε μικρά θηλαστικά. Επίσης οι σπόροι του αποτελούν ιδανική κτηνοτροφή, συμβάλλοντας έτσι στην διατήρηση της άγριας πανίδας [32, 83, 84].

1.5.10 Οικονομικά, κοινωνικά και περιβαλλοντικά οφέλη της καλλιέργειας του switchgrass

Τα τελευταία χρόνια τα προβλήματα στην ελληνική γεωργία έχουν γίνει πολύ έντονα. Συνεχώς αναφέρονται προβλήματα διάθεσης της πλειοψηφίας των παραγόμενων προϊόντων, ενώ το γεωργικό εισόδημα σε μεγάλο βαθμό στηρίζεται στις επιδοτήσεις, οι οποίες όμως, σύμφωνα με την ευρωπαϊκή Κοινή Αγροτική Πολιτική (ΚΑΠ), πρόκειται να μειωθούν σημαντικά. Η εντατικοποίηση της γεωργίας έχει προκαλέσει αξιοσημείωτη εξάντληση των υδατικών πόρων και υποβάθμιση των εδαφών. Επιπλέον, η χρήση των φυτοφαρμάκων και λιπασμάτων συντελεί στην ρύπανση του περιβάλλοντος καθώς επίσης και στη μείωση του αγροτικού εισοδήματος.

Τα περιβαλλοντικά οφέλη της καλλιέργειας του switchgrass συνοψίζονται στα εξής:

- Προστασία έναντι της διάβρωσης του εδάφους. Το πλούσιο υπέργειο τμήμα και το ριζικό σύστημα του switchgrass, ως πολυετής καλλιέργεια, ελαχιστοποιεί τις δυσμενείς επιπτώσεις της διάβρωσης του εδάφους και βελτιώνει τη δομή του.
- Θετική συνεισφορά σχετικά με το φαινόμενο του θερμοκηπίου. Η αντικατάσταση των ορυκτών καυσίμων με βιομάζα προερχόμενη από το switchgrass, η οποία είναι ουδέτερη σε εκπομπές CO₂, καθώς και η ποσότητα του CO₂ που απελευθερώνεται στην ατμόσφαιρα μετά την καύση της, αφομοιώνεται ξανά από το φυτό κατά την διαδικασία της φωτοσύνθεσης.
- Εκμετάλλευση εδαφών χαμηλής γονιμότητας. Η καλλιέργεια του switchgrass μπορεί να αποτελέσει εναλλακτική λύση σε εγκαταλελειμμένες περιοχές χαμηλής γονιμότητας καθώς προσαρμόζεται εύκολα και αποδίδει ικανοποιητικά σε μεγάλο εύρος εδαφών.

- Οικονομικότερη διαχείριση του νερού. Η καλλιέργεια του switchgrass, στο πλαίσιο της ενεργειακής γεωργίας, δίνει την ευκαιρία της αποδοτικής αξιοποίησης του νερού, καθώς αναπτύσσεται ικανοποιητικά χωρίς άρδευση, αν και όταν αρδεύεται η παραγωγή του σε βιομάζα είναι υψηλότερη. Πειράματα έδειξαν ότι αρδεύσεις συνολικού ύψους 400mm είναι αρκετές για ικανοποιητική παραγωγή (Elbersen, 2000a, b). Σε περιοχή της κεντρικής Ελλάδας όπου οι βροχοπτώσεις την περίοδο Ιουνίου - Αυγούστου είναι σπάνιες, οι αποδόσεις κυμάνθηκαν από 1,7 τόνους ξηρής βιομάζας για τα μη αρδευόμενα φυτά έως τους 2.1 τόνους για την αρδευόμενη καλλιέργεια.

- Χαμηλές εισροές σε λιπάσματα. Η καλλιέργεια του switchgrass απαιτεί χαμηλότερα επίπεδα λίπανσης σε σχέση με τα ετήσια φυτά που προορίζονται για τροφή και μπορεί να συντελέσει στην προστασία του περιβάλλοντος με μείωση της χρήσης λιπασμάτων. Οι αποδόσεις του σε βιομάζα είναι ικανοποιητικές σε συνθήκες μειωμένων εισροών, αν και όταν λιπαίνεται η παραγωγή του είναι υψηλότερη. Πειράματα έδειξαν ότι η απόδοση καλλιεργειών που δε δέχθηκαν αζωτούχο λίπανση κυμάνθηκε περί τους 1.4 τόνους ξηρής βιομάζας/στρέμμα, ενώ την ίδια περίοδο οι στρεμματικές αποδόσεις καλλιέργειας, στην οποία εφαρμόστηκε λίπανση 4 και 12 kg N/στρέμμα, ήταν 2,1 και 2.5 τόνοι ξηρής βιομάζας αντίστοιχα.

- Μείωση της χρήσης φυτοφαρμάκων. Η καλλιέργεια του switchgrass παρουσιάζει υψηλή φυτοκάλυψη και με την εγκατάστασή της στον αγρό περιορίζει την ανάπτυξη ζιζανίων. Επιπροσθέτως, δεν προσβάλλεται από σοβαρές ασθένειες και έντομα, και ως εκ τούτου, η χρήση μυκητοκτόνων και εντομοκτόνων είναι πολύ μικρή.

Τα κοινωνικό-οικονομικά οφέλη της καλλιέργειας του switchgrass συνοψίζονται στα εξής:

- Μείωση της εξάρτησης από το πετρέλαιο. Η χρήση της καλλιέργειας του switchgrass για ενεργειακούς σκοπούς οδηγεί στην ανάπτυξη στρατηγικών εθνικών προϊόντων και ελαττώνει την εξάρτηση από τις εισαγωγές πετρελαίου.

- Προσφορά εναλλακτικών καλλιεργητικών λύσεων. Η καλλιέργεια του switchgrass μπορεί να προσφέρει εναλλακτικές λύσεις για τους αγρότες, λαμβάνοντας υπόψη ότι υπάρχουν κάποια είδη επιδοτήσεων.

- Αύξηση του αγροτικού εισοδήματος. Η διεύθυνση της καλλιέργειας του switchgrass στην εσωτερική αγορά μπορεί να εξασφαλίσει ικανοποιητικό αγροτικό

εισόδημα σε σχέση με ορισμένες συμβατικές καλλιέργειες και να ενισχύσει τη διαφοροποίηση των δραστηριοτήτων των γεωργών.

- 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.

- Ενδυνάμωση του γεωργικού χώρου. Με την ανάπτυξη της καλλιέργειας του switchgrass για ενέργεια, θα δημιουργηθεί ανάγκη για προμήθεια νέων ποικιλιών, βελτίωση των καλλιεργητικών μεθόδων και του εξοπλισμού, που θα υποστηρίζουν την παραγωγή και αποθήκευση των νέων φυτών. Αυτό θα δώσει ώθηση στη φθίνουσα γεωργική οικονομία και θα οδηγήσει στην ανάπτυξη της εγχώριας γεωργικής βιομηχανίας.

- Μείωση των περιφερειακών ανισοτήτων και αναζωογόνηση των λιγότερο ανεπτυγμένων γεωργικών οικονομιών. Η παραγωγή και εκμετάλλευση της ενεργειακής καλλιέργειας του switchgrass 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 [13, 14, 15, 16, 17, 85, 86].

2. Υλικά και μέθοδοι

Πείραμα A

2.1 Πειραματικό σχέδιο

Για τους σκοπούς της μελέτης πραγματοποιήθηκε πείραμα θαλάμου ανάπτυξης (Μοντέλο GRW 1500 CMP) στο Εργαστήριο Γεωργίας του Πανεπιστημίου Θεσσαλίας, κατά την περίοδο 2010 – 2011.

Στο πείραμα μελετήθηκε η επίδραση της άρδευσης υπό ελεγχόμενες συνθήκες καθώς και η επίδραση του πληθυσμού στην αύξηση και ανάπτυξη του φυτού. Τα επίπεδα άρδευσης και οι πληθυσμοί των φυτών δίνονται παρακάτω:

Άρδευση

- Επίπεδο I1: 250ml/γλάστρα/ημέρα
- Επίπεδο I2: 125ml/γλάστρα/ημέρα

Πληθυσμός

- P₁ : 0,1 gr σπόρου/γλάστρα (≈ 90 σπόροι/γλάστρα)
- P₂ : 0,2 gr σπόρου/γλάστρα (≈ 180 σπόροι/γλάστρα)

Κάθε επανάληψη αποτελούνταν από 10 γλάστρες εμβαδού $2 * 3,14 * 0,085 \text{ m} \approx 0,53 \text{ m}^2$.

2.2 Εργασίες

2.2.1 Σπορά

Για την διεξαγωγή του πειράματος χρησιμοποιήθηκε σπόρος switchgrass (*Panicum virgatum*) ποικιλίας Alamo. Οι σπόροι φυτεύτηκαν σε γλάστρες, σε βάθος 1mm και τοποθετήθηκαν σε θάλαμο ανάπτυξης (GRW-1500 CMP) με σκοπό να ελεγχθεί η ανάπτυξη τους. Οι γλάστρες που χρησιμοποιήθηκαν για το πείραμα ήταν χωρητικότητας $0,09 \text{ m}^3$ και σαν υπόστρωμα χρησιμοποιήθηκε τύρφη. Η ποσότητα του σπόρου που χρησιμοποιήθηκε ήταν ανάλογη με τις απαιτήσεις του πειράματος, όπου και προβλέπονταν δύο επίπεδα πληθυσμού, P₁ και P₂. Σε 2 επαναλήψεις εφαρμόστηκε κανονικός πληθυσμός φυτών (P₁), με 0,1 gr σπόρου/γλάστρα, ενώ σε 1 επανάληψη εφαρμόστηκε διπλάσιος πληθυσμός φυτών (P₂), με 0,2 gr σπόρου/γλάστρα. Οι ημερομηνίες σποράς της κάθε επανάληψης ήταν οι ακόλουθες:

- 1^η Σπορά: 30/10/2010
- 2^η Σπορά: 26/12/2010

- 3^η Σπορά: 03/03/2011

2.2.2 Ρύθμιση θαλάμου ανάπτυξης

Ο θάλαμος ανάπτυξης ρυθμίστηκε ώστε να έχει σταθερή θερμοκρασία 26,5 °C και όλες τις λάμπες, αλογόνου και φθορισμού, ανοιχτές.

2.2.3 Λίπανση

Κατά την διάρκεια διεξαγωγής του πειράματος δεν εφαρμόστηκε καθόλου λίπανση στις γλάστρες.

2.2.4 Άρδευση

Κατά την διάρκεια διεξαγωγής του πειράματος πραγματοποιούνταν καθημερινές αρδεύσεις στις γλάστρες αφού σκοπός του πειράματος ήταν και η μελέτη της αύξησης και ανάπτυξης του switchgrass σε συνάρτηση με τα διαφορετικά επίπεδα άρδευσης. Τα διαφορετικά επίπεδα άρδευσης εφαρμόστηκαν στις τρεις επαναλήψεις ως εξής:

- 1^η Επανάληψη: Επίπεδο I (250ml/γλάστρα/ημέρα)
- 2^η Επανάληψη: Επίπεδο II (125ml/γλάστρα/ημέρα)
- 3^η Επανάληψη: Επίπεδο II (125ml/γλάστρα/ημέρα)

Η συνολική ποσότητα νερού που χρησιμοποιήθηκε για την κάθε επανάληψη ήταν:

- 1^η Επανάληψη: 30 ημέρες x 0,25 lt/γλάστρα x 10 γλάστρες = 75 lt
- 2^η Επανάληψη: 50 ημέρες x 0,125 lt/γλάστρα x 10 γλάστρες = 62,5 lt
- 3^η Επανάληψη: 48 ημέρες x 0,125 lt/γλάστρα x 10 γλάστρες = 60 lt

2.2.5 Έλεγχος ζιζανίων

Κατά την διάρκεια ανάπτυξης των φυτών του switchgrass παρατηρήθηκε παράλληλα και ανάπτυξη φυτών κολλιτσίδας (*Galium spurium*), λόγω της ύπαρξης σπόρων ζιζανίων στο χώμα. Έτσι πραγματοποιήθηκαν τα απαραίτητα βοτανίσματα σε κάθε επανάληψη.

2.2.6 Έλεγχος εχθρών και ασθενειών

Κατά την διάρκεια διεξαγωγής του πειράματος δεν παρατηρήθηκε καμία προσβολή των φυτών από εχθρούς ή ασθένειες και κατά συνέπεια δεν έγινε καμία εφαρμογή φυτοπροστατευτικών σκευασμάτων.

2.3 Συλλογή πειραματικών δεδομένων

Οι παρατηρήσεις σχετικά με την αύξηση του ύψους των φυτών λαμβάνονταν τις ημερομηνίες όπου πραγματοποιούνταν και οι αντίστοιχες αρδεύσεις των φυτών. Οι αρδεύσεις, καθώς και η λήψη παρατηρήσεων σχετικά με την αύξηση του ύψους των φυτών, πραγματοποιούνταν καθημερινά για την 1^η επανάληψη και ανά δύο ημέρες για την 2^η και 3^η επανάληψη. Οι παρατηρήσεις λαμβάνονταν μέχρις ότου το ύψος των φυτών ανά γλάστρα να φτάσει στον μέσο όρο των 30cm, που είχαμε θέσει εξ' αρχής ως όριο της ανάπτυξης. Οι θερμομονάδες που συμπληρώθηκαν έως εκείνη τη στιγμή κυμάνθηκαν αναλόγως της επανάληψης από 636, 660 και 763 °C-d (1^η, 2^η και 3^η επανάληψη αντίστοιχα).

Οι τελικές παρατηρήσεις του ξηρού βάρους της βιομάζας καθώς και της ρίζας του φυτού ελήφθησαν 7 ημέρες μετά την ολοκλήρωση της ανάπτυξης των φυτών και εφόσον αυτά είχαν τοποθετηθεί στο ξηραντήριο.

2.4 Εργαστηριακές μετρήσεις

Μετά την ολοκλήρωση της ανάπτυξης τους, τα φυτά καθαρίστηκαν από τα υπολείμματα της τύρφης που υπήρχαν στις ρίζες και τοποθετήθηκαν στο ξηραντήριο του εργαστηρίου για την μείωση της περιεχομένης υγρασίας του φυτικού ιστού κάτω από 15%. Τα φυτά παρέμειναν στο ξηραντήριο, στους 70 °C, για 7 ημέρες μέχρι να επιτευχθεί σταθεροποίηση των βαρών τους. Στην συνέχεια ζυγίστηκε σε ηλεκτρονικό ζυγό ακριβείας το ξηρό βάρος της βιομάζας και της ρίζας αντίστοιχα.

2.5 Υπολογισμοί

2.5.1 Υπολογισμός θερμομονάδων

Για την εκτίμηση του ρυθμού φυσιολογικής ωρίμανσης μιας καλλιέργειας συνήθως χρησιμοποιείται η μέθοδος των προστιθέμενων θερμομονάδων (Accumulated Heat Units, A.H.U.), που υπερτερεί έναντι της ημερολογιακής μεθόδου (Ritchie and Nesmith, 1991).

Σύμφωνα με τη μέθοδο αυτή, 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:

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

όπου T_{\max} και T_{\min} είναι η μέγιστη και η ελάχιστη ημερήσια θερμοκρασία αέρα αντίστοιχα και T_o είναι η βασική θερμοκρασία ($^{\circ}\text{C}$). Στην περίπτωση του switchgrass χρησιμοποιήθηκε ως βασική θερμοκρασία η τιμή των 10°C [87].

Πείραμα Β

2.1 Πειραματικό σχέδιο

Για τους σκοπούς της μελέτης πραγματοποιήθηκε πείραμα θερμοκηπίου με γλάστρες, το οποίο εγκαταστάθηκε στο Πανεπιστήμιο Θεσσαλίας κατά την περίοδο 2010.

Στο πείραμα μελετήθηκε η περιεκτικότητα των φυτών σε $\text{NO}_3\text{-N}$ καθώς και η επίδραση της καλλιέργειας στην απονιτροποίηση και τη βελτίωση της δομής του εδάφους. Για τις ανάγκες του πειράματος χρησιμοποιήθηκαν συνολικά 12 γλάστρες εμβαδού $2 * 3,14 * 0,085 \text{ m} \approx 0,53 \text{ m}^2$.

2.2 Εργασίες

2.2.1 Σπορά

Για την διεξαγωγή του πειράματος χρησιμοποιήθηκε σπόρος switchgrass (*Panicum virgatum*) ποικιλίας Alamo. Οι σπόροι φυτεύτηκαν σε γλάστρες, σε βάθος 1mm και τοποθετήθηκαν στο θερμοκήπιο. Οι γλάστρες που χρησιμοποιήθηκαν για το πείραμα ήταν χωρητικότητας $0,09 \text{ m}^3$ και σαν υπόστρωμα χρησιμοποιήθηκε 1 Kg τύρφη. Η ποσότητα του σπόρου που χρησιμοποιήθηκε ήταν περίπου 0,1 gr σπόρου/γλάστρα και η σπορά πραγματοποιήθηκε στις 28 Ιουνίου 2010. Το φύτευμα των σπόρων του switchgrass έγινε στις 4 Ιουλίου 2010.

2.2.2 Λίπανση

Κατά την διάρκεια διεξαγωγής του πειράματος εφαρμόστηκε στα φυτά θρεπτικό διάλυμα αζώτου, με τη μορφή NH_4NO_3 , σε τρία επίπεδα. Τα επίπεδα λίπανσης ήταν τα εξής:

- Επίπεδο N_1 : Μάρτυρας
- Επίπεδο N_2 : 80 kg N/ha
- Επίπεδο N_3 : 200 kg N/ha.

Η περιεκτικότητα της τύρφης σε NO_3 μετρήθηκε πριν από τη σπορά.

2.2.3 Άρδευση

Κατά την διάρκεια διεξαγωγής του πειράματος η άρδευση εφαρμοζόταν κάθε δεύτερη ημέρα και το συνολικό ποσό του νερού που εφαρμόστηκε ήταν 4,5 lt/γλάστρα. Η καλλιεργητική περίοδος διήρκησε συνολικά 53 ημέρες και το switchgrass έφθασε στο ύψος των 58 cm. Ο Πίνακας 2 παρέχει σημαντικές πληροφορίες σχετικά με τις εισροές της καλλιέργειας, καθώς και φαινολογικές ημερομηνίες.

Πίνακας 2 Ημερομηνίες σημαντικότερων διαχειρήσεων του φυτού

Ημερομηνία σποράς	28/06/2010
Ημερομηνία φυτρώματος	04/07/2010
Προετοιμασία μεταχείρισης	27/06/2010
Μέση θερμοκρασία (°C) ¹	27,4
Συνολική ποσότητα νερού άρδευσης (lt/γλάστρα)	4,5
Ημερομηνία συγκομιδής	25/08/2010

¹ Από το φυτρώμα μέχρι την συγκομιδή

2.2.4 Έλεγχος ζιζανίων

Κατά την διάρκεια ανάπτυξης των φυτών του switchgrass παρατηρήθηκε παράλληλα και ανάπτυξη φυτών κολλιτσίδας (*Galium spurium*), λόγω της ύπαρξης σπόρων ζιζανίων στο χώμα. Έτσι πραγματοποιήθηκαν τα απαραίτητα βοτανίσματα σε κάθε γλάστρα.

2.2.5 Έλεγχος εχθρών και ασθενειών

Κατά την διάρκεια διεξαγωγής του πειράματος δεν παρατηρήθηκε καμία προσβολή των φυτών από εχθρούς ή ασθένειες και κατά συνέπεια δεν έγινε καμία εφαρμογή φυτοπροστατευτικών σκευασμάτων.

2.3 Εργαστηριακές μετρήσεις

Η περιεκτικότητα του εδάφους και των φυτών σε $\text{NO}_3\text{-N}$ μετρήθηκε χρησιμοποιώντας τη μέθοδο χρωματογραφίας της στήλης καδμίου (Copperized Cadmium Reduction Method). Σε ογκομετρικούς σωλήνες των 50ml προστέθηκαν 4 gr από το κάθε δείγμα εδάφους και αναμειχθήκαν με 40 ml KCl 2M. Το διάλυμα ανακινήθηκε για 1 ώρα στις 180 rpm/min και κατόπιν φιλτραρίστηκε. Στη συνέχεια 1ml συμπυκνωμένου διαλύματος NH_4Cl , που προήλθε από το διάλυμα 2ml του κάθε εκχυλίσματος με 75ml αραιωμένου διαλύματος NH_4Cl , πέρασε μέσα από τη στήλη με ρυθμό 110ml/min. Τέλος κάθε δείγμα επεξεργάστηκε με αντιδραστήριο diazotizing (σουφανιλαμίνη) σε HCl και μια σύζευξη του αντιδραστηρίου [N-(1-ναφθυλο)-αιθυλενοδιαμίνη] [88].

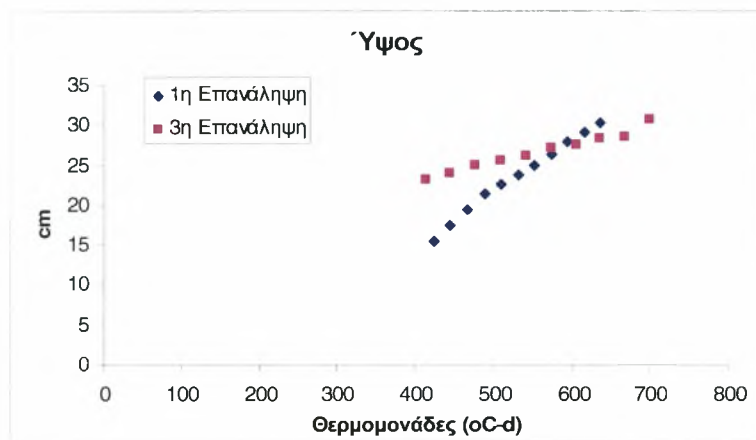
Η περιεκτικότητα σε $\text{NO}_3\text{-N}$ στον φυτικό ιστό προσδιορίστηκε με τη μέθοδο του ταχέως χρωματομετρικού προσδιορισμού των νιτρικών ιόντων στον φυτικό ιστό με νίτρωση του σαλικυλικού οξέος. Οι φυτικοί ιστοί καθαρίστηκαν με απιονισμένο νερό, αποξηράνθηκαν, τοποθετήθηκαν σε πλαστικές σακούλες και αποθηκεύθηκαν στους $-20\text{ }^\circ\text{C}$ για περαιτέρω ανάλυση. Πριν από την ανάλυση, κάθε δείγμα πολτοποιήθηκε, ομογενοποιήθηκε με απιονισμένο νερό (5 gr νωπού ιστού/50 ml νερού), και τέλος κάθε δείγμα φιλτραρίστηκε. Στην συνέχεια, 0,2 ml του ομογενοποιημένου δείγματος μεταφέρθηκε με τη βοήθεια πιπέτας στα σε 50 ml σωλήνα Falcon και αναμειχθηκε προσεκτικά με 0,8 ml σαλικυλικού οξέος 5% (w/v) σε συμπυκνωμένη μορφή H_2SO_4 (SA- H_2SO_4). Με την πάροδο 20 λεπτών και σε θερμοκρασία δωματίου, 19 ml NaOH 2N προστέθηκαν σιγά-σιγά. Ο προσδιορισμός έγινε με φασματοφωτόμετρο κυψελίδων ταχείας δειγματοληψίας και σε συνθήκες θερμοκρασίας δωματίου και απορρόφησης 410nm. Επίσης ένας μάρτυρας ήταν απαραίτητος για κάθε δείγμα, ο οποίος αποτελούνταν από το εκχύλισμα, 0,8 ml πυκνού H_2SO_4 (χωρίς σαλικυλικό οξύ) και 19ml NaOH 2N. Τα πρότυπα διαλύματα περιείχαν 5 έως 100 mg $\text{NO}_3\text{-N}$. Οι συγκεντρώσεις των νιτρικών αλάτων εκφράζονται ως mg $\text{NO}_3\text{-N}$ ανά gr νωπού βάρους (ppm) [89].

3. Αποτελέσματα

Πείραμα Α

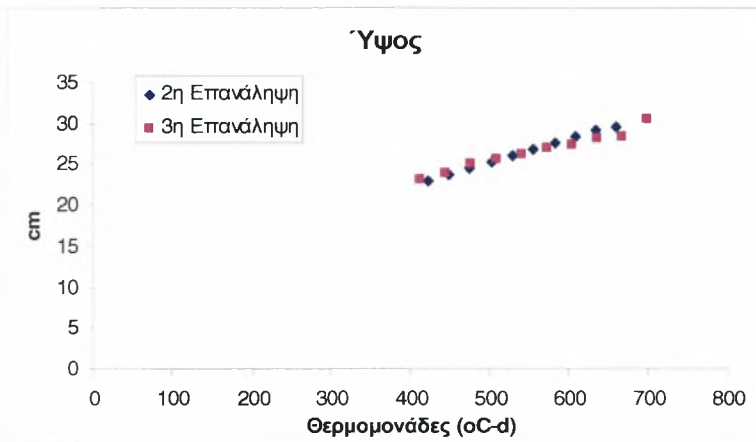
3.1 Επίδραση της άρδευσης στην αύξηση του ύψους των φυτών

Το ύψος των 30cm που είχε τεθεί ως όριο της ανάπτυξης των φυτών επετεύχθη γύρω στα 600 GDD για την 1^η επανάληψη, ενώ επετεύχθη στα 700 GDD για την 3^η επανάληψη, όπως φαίνεται κ από το Σχήμα 1. Αυτό δηλώνει ότι η άρδευση αποτέλεσε περιοριστικό παράγοντα για την αύξηση και ανάπτυξη των φυτών της 3^{ης} επανάληψης, καθώς η έλλειψη νερού έκανε τα φυτά να αυξάνονται με μικρότερους ρυθμούς και να χρειαστούν περισσότερες θερμοημέρες για να φτάσουν στο επιθυμητό ύψος. Τα φυτά της 1^{ης} επανάληψης, παρόλο που φυτρώσανε με μία μικρή καθυστέρηση σε σχέση με τα φυτά της 3^{ης} επανάληψης, έχοντας την διπλάσια ποσότητα νερού στην διάθεση τους, αυξήθηκαν σε ύψος με μεγαλύτερους ρυθμούς .



Σχήμα 1. Αύξηση των φυτών της 1^{ης} και 3^{ης} επανάληψης (σε cm) σε σχέση με τις απαιτούμενες θερμομονάδες

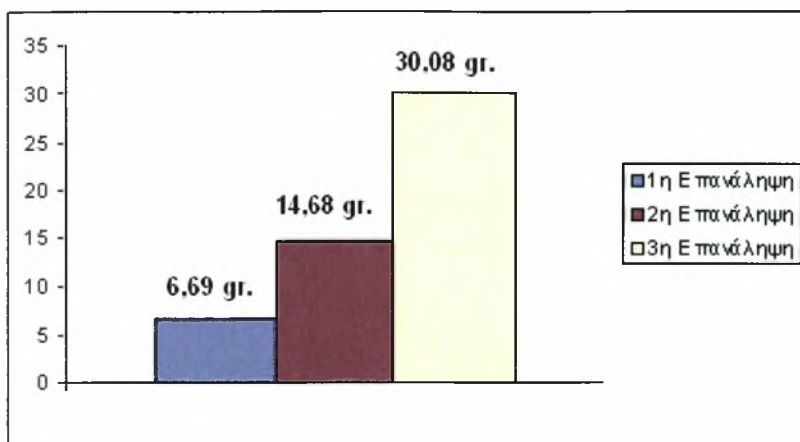
Στα φυτά της 2^{ης} και 3^{ης} επανάληψης το επιθυμητό ύψος των 30cm επετεύχθη στα 700 GDD για το καθένα αντίστοιχα, όπως φαίνεται κ από το Σχήμα 2. Αυτό δηλώνει ότι για την συγκεκριμένη δόση άρδευσης (125ml/γλάστρα/ημέρα) ο διπλάσιος πληθυσμός της 2^{ης} επανάληψης δεν επηρέασε την αύξηση και ανάπτυξη των φυτών. Η άρδευση στην περίπτωση των φυτών της 2^{ης} επανάληψης δεν αποτέλεσε περιοριστικό παράγοντα για την ανάπτυξη, καθώς η ποσότητα νερού που είχαν στην διάθεση τους ήταν αρκετή ώστε να αναπτυχθούν.



Σχήμα 2. Αύξηση των φυτών της 2ης και 3ης επανάληψης (σε cm) σε σχέση με τις απαιτούμενες θερμομονάδες

3.2 Επίδραση της άρδευσης στην απόδοση σε ξηρή βιομάζα καθώς και σε ξηρά ουσία της ρίζας

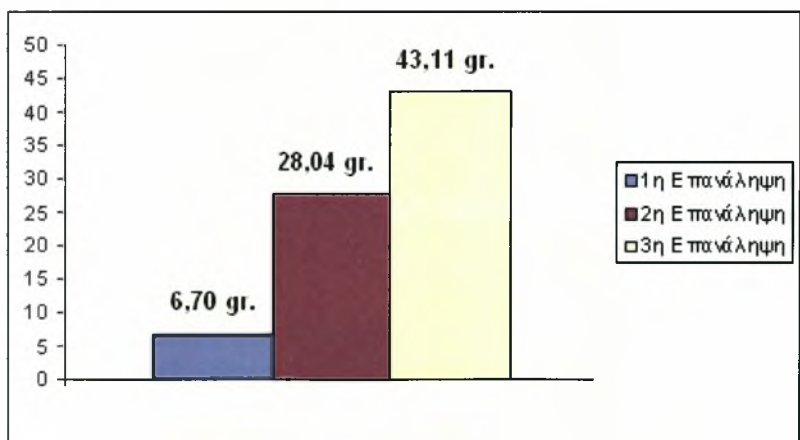
Όπως φαίνεται από το Σχήμα 3 την μεγαλύτερη απόδοση σε ξηρή βιομάζα έδωσαν τα φυτά της 3^{ης} επανάληψης (30,08 gr.). Αν και ήταν αναμενόμενο η μεγαλύτερη απόδοση να προκύψει από τα φυτά της 2^{ης} επανάληψης, λόγω της ύπαρξης διπλάσιου πληθυσμού, παρόλα αυτά παρατηρούμε ότι κάτι τέτοιο δεν συνέβη. Αυτό οφείλεται στο γεγονός ότι τα φυτά της 3^{ης} επανάληψης, έχοντας φυτρώσει νωρίτερα, είχαν περισσότερο χρόνο στην διάθεση τους ώστε να αναπτυχθούν και μέχρι το τέλος της πειραματικής διαδικασίας είχαν φτάσει στο στάδιο του καλαμώματος. Επίσης, στα φυτά της 2^{ης} επανάληψης, λόγω της ύπαρξης διπλάσιου πληθυσμού, αναπτύχθηκε έντονος ανταγωνισμός μεταξύ των φυτών, γεγονός που δεν τους επέτρεψε να αναπτυχθούν επαρκώς. Τα φυτά της 1^{ης} επανάληψης, όπως αναφέρθηκε και παραπάνω, αυξήθηκαν σε ύψος με πολύ μεγάλο ρυθμό με αποτέλεσμα οι βλαστοί τους να υστερούν σε πάχος και βάρος και η απόδοσή τους σε βιομάζα να είναι μικρή.



Σχήμα 3. Η απόδοση σε ξηρή βιομάζα (σε gr.) των τριών επαναλήψεων

Όπως φαίνεται από το Σχήμα 4 το μεγαλύτερο βάρος σε ξηρά ουσία της ρίζας έδωσαν τα φυτά της 3ης επανάληψης (43,11 gr.). Αυτό συμβαίνει για τους ίδιους λόγους που αναφέρθηκαν παραπάνω.

Αξίζει επίσης να σημειωθεί ότι σε κάθε περίπτωση παρατηρείται ότι ο λόγος του ξηρού βάρους της ρίζας προς το συνολικό ξηρό βάρος του φυτού είναι μικρότερος του 1. Το παραπάνω επιβεβαιώνει για ακόμη μια φορά ότι το switchgrass αναπτύσσει μεγάλο ριζικό σύστημα κατά την πρώτη καλλιεργητική περίοδο, το οποίο και λειτουργεί ως αναπαραγωγικό όργανο για την αναβλάστηση του φυτού την επόμενη χρονιά.



Σχήμα 4. Η απόδοση σε ξηρά ουσία της ρίζας (σε gr.) των τριών επαναλήψεων

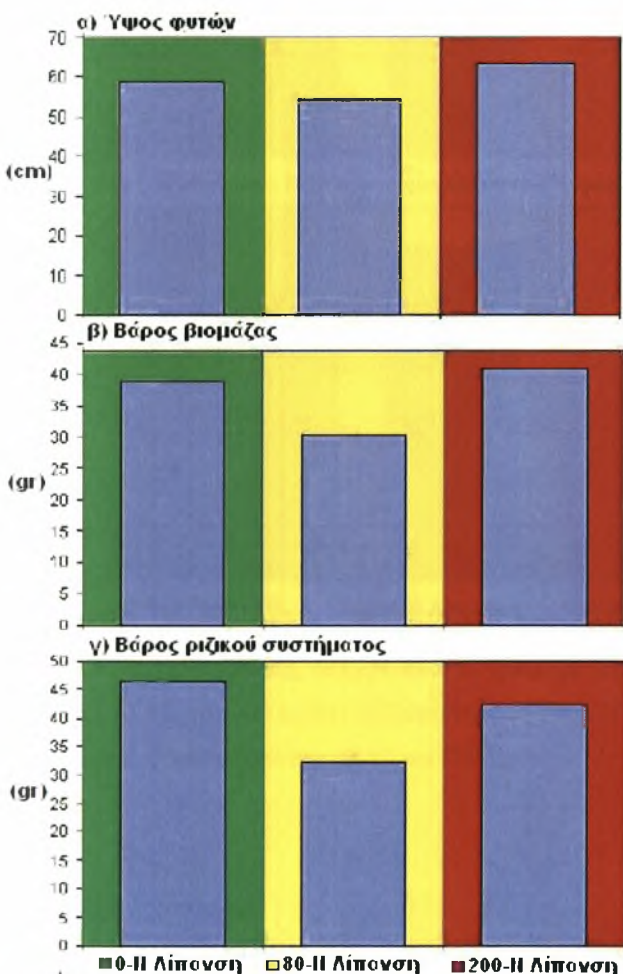
Πείραμα Β

3.1 Χαρακτηριστικά Ανάπτυξης

Το ύψος των φυτών αυξήθηκε με μέσο ρυθμό 1,11 cm/ημέρα. Το switchgrass όπως έχει ήδη αναφερθεί είναι πολυετής καλλιέργεια, συνεπώς παράγει μεγάλο ριζικό σύστημα κατά τη διάρκεια του έτους εγκατάστασης, ώστε να είναι σε θέση να αναπτυχθεί εκ νέου στο μέλλον.

Η μέση συγκομιδή ανήλθε σε 36,74 gr βιομάζας και το μέσο βάρος των ριζών ήταν 40,45 gr. Το παραπάνω αποδεικνύει για ακόμη μια φορά ότι το switchgrass παράγει μεγάλο ριζικό σύστημα και κατά την πρώτη καλλιεργητική περίοδο ο λόγος του βάρους της υπέργειας βιομάζας προς το βάρος των ριζών είναι μικρότερος από 1.

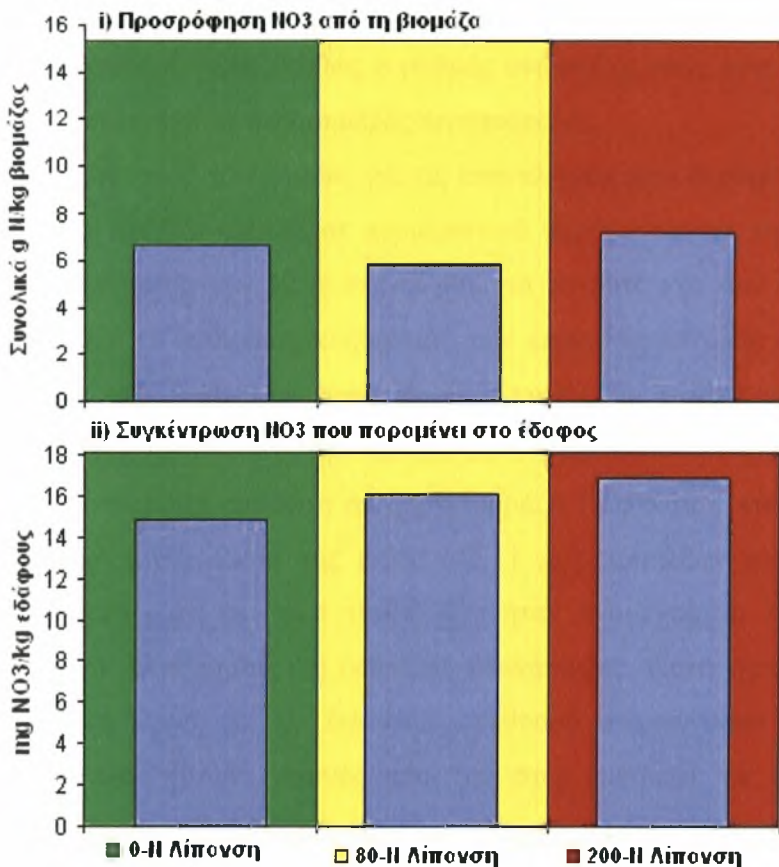
Το μεγαλύτερο βάρος των φυτών (40,84 gr) λήφθηκε από την μεταχείριση με την υψηλότερη παροχή θρεπτικών συστατικών [90].



Σχήμα 5. Χαρακτηριστικά της ανάπτυξης του switchgrass. α) Ύψος φυτών, β) Βάρος βιομάζας και γ) Βάρους ριζικού συστήματος όπως επηρεάζονται από τρία επίπεδα θρεπτικών στοιχείων (0, 80 και 200 kg N/ha).

3.2 Περιεκτικότητα των φυτών σε $\text{NO}_3\text{-N}$ και βελτίωση του εδάφους

Όπως φαίνεται στο Σχήμα 6 i), η προσρόφηση των $\text{NO}_3\text{-N}$ από το φυτό ήταν υψηλή, ακόμα και όταν τα φυτά ήταν στα πρώτα στάδια ανάπτυξης. Αυτό επιβεβαιώνεται και από το Σχήμα 6 ii) όπου φαίνεται ότι η τελική συγκέντρωση του εδάφους σε $\text{NO}_3\text{-N}$ παραμένει σε χαμηλά επίπεδα. Ακόμη και αν η συγκέντρωση του εδάφους σε $\text{NO}_3\text{-N}$ αυξηθεί λόγω της προσρόφησης του αζώτου από το φυτό, η τελική συγκέντρωση του εδάφους δεν θα αυξηθεί σημαντικά [89].



Σχήμα 6. i) Προσρόφηση $\text{NO}_3\text{-N}$ από τη βιομάζα (σε gr), κάτω από τρία διαφορετικά επίπεδα λίπανσης (0, 80 και 200 kg/ha) ii) Συγκέντρωση $\text{NO}_3\text{-N}$ που παρέμεινε στο έδαφος, κάτω από τρία διαφορετικά επίπεδα λίπανσης (0, 80 και 200 kg/ha)

4. Συμπεράσματα

Πείραμα Α

Η μεγαλύτερη δόση άρδευσης επηρέασε θετικά την αύξηση και ανάπτυξη των φυτών. Τα φυτά που δέχθηκαν ποσότητα νερού ίση με 250ml/γλάστρα/ημέρα αναπτύχθηκαν με μεγαλύτερους ρυθμούς και χρειάστηκαν λιγότερες θερμοημέρες για να φτάσουν στο επιθυμητό ύψος, σε σχέση με τα φυτά που δέχθηκαν την μισή ποσότητα νερού. Αυτό δηλώνει ότι η παρεχόμενη δόση άρδευσης αποτέλεσε περιοριστικό παράγοντα για την αύξηση και ανάπτυξη των φυτών που δέχθηκαν την μισή ποσότητα νερού, καθώς ο ρυθμός ανάπτυξης τους ήταν σημαντικά μικρότερος και οι απαιτούμενες θερμοημέρες περισσότερες.

Ο πληθυσμός των φυτών, για τις επαναλήψεις που δέχθηκαν την δόση άρδευσης, φαίνεται ότι δεν αποτέλεσε περιοριστικό παράγοντα για την ανάπτυξη, καθώς το επιθυμητό ύψος των 30cm επετεύχθη, για τα φυτά και των δύο επαναλήψεων, στα 700 GDD. Ο διπλάσιος πληθυσμός των επαναλήψεων δεν επηρέασε καθόλου την αύξηση και ανάπτυξη των φυτών, καθώς η συγκεκριμένη δόση άρδευσης (125ml/γλάστρα/ημέρα) ήταν αρκετή για την ομαλή ανάπτυξη των φυτών.

Η μεγαλύτερη απόδοση σε ξηρή βιομάζα (30,08 gr.), καθώς και το μεγαλύτερο βάρος σε ξηρά ουσία της ρίζας (43,11 gr.) προήλθαν από τα φυτά της τρίτης επανάληψης, αν και κάτι τέτοιο δεν ήταν αναμενόμενο λόγω της ύπαρξης του διπλάσιου πληθυσμού της δεύτερης επανάληψης. Αυτό οφείλεται στο γεγονός ότι στην επανάληψη με τον διπλάσιο πληθυσμό αναπτύχθηκε έντονος ανταγωνισμός μεταξύ των φυτών, γεγονός που δεν τους επέτρεψε να αναπτυχθούν επαρκώς. Επιπλέον, τα φυτά της τρίτης επανάληψης, έχοντας φυτρώσει νωρίτερα, είχαν περισσότερο χρόνο στην διάθεση τους ώστε να αναπτυχθούν και μέχρι το τέλος της πειραματικής διαδικασίας είχαν φτάσει στο στάδιο του καλαμώματος. Σε αντίθεση, τα φυτά της πρώτης επανάληψης φυτρώσανε με μία μικρή καθυστέρηση, εκμεταλλεύτηκαν όμως την διαθέσιμη ποσότητα νερού και αυξήθηκαν σε ύψος, με πολύ μεγάλο ρυθμό, με αποτέλεσμα οι βλαστοί τους να υστερούν σε πάχος και βάρος και η απόδοσή τους σε βιομάζα να είναι μικρή.

Σε κάθε επανάληψη ο λόγος του ξηρού βάρους της ρίζας προς το συνολικό ξηρό βάρος του φυτού ήταν μικρότερος του 1. Από το παραπάνω επιβεβαιώνεται για ακόμη μια φορά ότι το switchgrass αναπτύσσει μεγάλο ριζικό σύστημα κατά την

πρώτη καλλιεργητική περίοδο, το οποίο και λειτουργεί ως αναπαραγωγικό όργανο για την αναβλάστηση του φυτού την επόμενη χρονιά.

Πείραμα Β

Η εφαρμογή θρεπτικού διαλύματος αζώτου (NH_4NO_3) επηρέασε θετικά την αύξηση και ανάπτυξη των φυτών. Τα φυτά αυξήθηκαν σε ύψος με μέσο ρυθμό 1,11 cm/ημέρα, με την μεγαλύτερη αύξηση σε ύψος να προέρχεται από τις μεταχειρίσεις με την υψηλότερη παροχή θρεπτικών συστατικών. Η απόδοση σε βιομάζα, καθώς και το βάρος των ριζών ήταν και αυτά ανάλογα της αζωτούχου λίπανσης που εφαρμόστηκε στα φυτά, με το μεγαλύτερο βάρος των φυτών (40,84 gr) να προέρχεται επίσης από την μεταχείριση με την υψηλότερη παροχή θρεπτικών συστατικών

Από το πείραμα που διεξάχθηκε επιβεβαιώνεται για ακόμη μια φορά ότι το switchgrass, ως πολυετής καλλιέργεια, κατά το έτος εγκατάστασης (πρώτη καλλιεργητική περίοδος) παράγει μεγάλο ριζικό σύστημα, αφού το μέσο βάρος των ριζών ήταν 40,45 gr, ενώ η αντίστοιχη παραγωγή σε βιομάζα ανήλθε σε 36,74 gr. Επιπλέον, κατά την πρώτη καλλιεργητική περίοδο ο λόγος του βάρους της υπέργειας βιομάζας προς το βάρος των ριζών παρουσιάστηκε μικρότερος από 1.

Επιπρόσθετα από το πείραμα αποδεικνύεται ότι η καλλιέργεια του switchgrass συμβάλει σε μεγάλο βαθμό στην απονιτροποίηση του εδάφους, βελτιώνοντας έτσι την δομή του. Η προσρόφηση των $\text{NO}_3^- \text{N}$ από τα φυτά ήταν υψηλή, ακόμα και στα πρώτα στάδια ανάπτυξης τους, ενώ η αντίστοιχη συγκέντρωση του εδάφους σε $\text{NO}_3^- \text{N}$ παρέμεινε σε χαμηλά επίπεδα. Ακόμη και αν η συγκέντρωση του εδάφους σε $\text{NO}_3^- \text{N}$ αυξάνονταν λόγω της προσρόφησης του αζώτου από το φυτό, η τελική συγκέντρωση του εδάφους δεν θα παρουσίαζε σημαντική αύξηση.

Βιβλιογραφία

1. Ελληνική Βιβλιογραφία

Άρθρα

- [13] Κ. Αποστολάκης, Σ. Κυρίτσης και Χ. Σούτερ. Το ενεργειακό δυναμικό της βιομάζας γεωργικών και δασικών υποπροϊόντων. ΕΛΚΕΠΑ-ΙΤΕ, Αθήνα, 1987.
- [15] Χρήστου, Μ., Αλεξοπούλου, Ε., Μαρδίκης, Μ. και Ε. Νάματοβ. 2005. Προοπτικές διείσδυσης των ενεργειακών καλλιέργειών στην ελληνική γεωργία. Πρακτικά 3ου Εθνικού Συνεδρίου για τις Ανανεώσιμες Πηγές Ενέργειας, Αθήνα, 23-25 Φεβρουαρίου 2005.
- [68] Κακάτσιος Ξ., 2005. Παραγωγή βιοαερίου από γεωργικές καλλιέργειες με χρήση της σύγχρονης τεχνολογίας της αναερόβιας ζύμωσης. Νέες τεχνολογίες στη γεωργική παραγωγή και την αγροτική ανάπτυξη, ΤΕΕ.

Βιβλία

- [1] Δ. Μαρίνος-Κουρής, 1999, Ανάγκες σε ενέργεια και συμβατικές μορφές ενέργειας, στο Εισαγωγή στο Φυσικό και Ανθρωπογενές Περιβάλλον Τόμος Β, Εκδόσεις Ελληνικό Ανοικτό Πανεπιστήμιο, Πάτρα
- [14] Κοδοσάκης Ε. Δημήτρης, Διαχείριση φυσικών πόρων και ενέργεια, σελ. 233-240, εκδ. Α. Σταμούλη, Αθήνα, 1994

2. Ξενόγλωσση Βιβλιογραφία

Άρθρα

- [2] Boerrigter, H., Galis, H.P., Slort, D.J., and Bodestaff, H., Gas Cleaning for Integrated Biomass Gasification (BG) and Fischer-Tropsch (FT) Systems; Experimental Demonstration of Two BG-FT Systems, Presented at the 2nd World Conference and Technology Exhibition on Biomass for Energy, Industry and Climate Protection, Rome, Italy, May 2004.
- [3] Kim, H-J., Kang, B-S., Kim, M-J., Park, Y.M., Kim, D-K, Lee, J-S., Lee, K-Y., Transesterification of vegetable oil to biodiesel using heterogeneous base catalyst, Catalysis Today, 93-95, 315-320, 2004
- [4] Thuijl, van E., Roos, C.J., Beurskens, L.W.M., An Overview of Biofuel Technologies, Markets and Policies in Europe, ECN-C—03-008, 2003
- [5] Lang, X., MacDonald, D.G., and Hill, G.A., Recycle Bioreactor for Bioethanol Production from Wheat Starch II. Fermentation and Economics, Energy Sources, 23, p.427-436, 2001

- [6] Machado Filho, H., Steps taken in the Brazilian Energy and Transportation Sectors that Contribute to the Ultimate Objective of the UNFCCC. Ministry of Science and Technology of Brazil, 2000
- [7] Lee, J., Biological Conversion of Lignocellulosic Biomass to Ethanol, *J. Biotechnology*, 56, p.1-24, 1997
- [8] Bagby, M.O. Vegetable oils for diesel fuel: opportunities for development, *Am Soc Agric Eng (Microfiche Collection)*, fiche no. 87-1588, p.7, 1987
- [12] REN21 (2010). Renewables 2010 Global Status Report p. 15-16.
- [16] Christou, M., Fernandez, J., Gosse G., Venturi, G., Bridgewater A., Scherlen, K., Obernberger, I., Van de Beld, B., Soldatos, P. and G. Reinhart. 2005. Bio-energy chains from perennial crops in South Europe. Proceedings of the 14th European Biomass Conference. ETA-Florence, pp 182-185
- [17] Vanedaal, R., Jorgensen, U. and C. A Foster. 1999. European Energy Crops: A synthesis. *Biomass and Bio energy*, Vol. 13. No 3. pp 147-185. Elsevier Science Ltd.
- [24] Wasser C. H., Dittberner P. L. and Mitchell W. A., 1986. Switchgrass (*Panicum virgatum*) Section 7.1.2, US Army Corps of Engineers Wildlife Resources Management Manual. Technical Report EL-86-27.
- [27] Hoover, M. M., J. E. Smith, Jr., A. E. Ferber, and D. R. Cornelius. 1947. Seed for regrassing Great Plains areas. U. S. Dep. Agric. Farmers Bull. 1985. Washington, D. C. 37 pp.
- [28] Atkins, M. D., and J. E. Smith. 1967. Grass seed production and harvest in the Great Plains. U. S. Dep. Agric. Farmers Bull. 2226. 30 pp.
- [29] Wasser, C. H. 1982. Ecology and culture of selected species useful in revegetating disturbed lands in the West. U. S. Fish and Wildl. Serv. FWS/OBS-82/56. 347 pp.
- [31] Elbersen H. W., Christian D. G., Bassem N. El, Yates N. E., Bacher W., Sauerbeck G., Alexopoulou E., Sharma N., Piscioneri I., De Visser P. and Van Den Berg D., 2001. Switchgrass (*Panicum virgatum* L.) as an alternative energy crop in Europe, Initiation of a productivity network. FAIR 5-CT97-3701: 33-39.
- [33] Moser, L.E. and K.P.Vogel. 1995. Switchgrass, Big Bluestem, and Indiangrass. In: An introduction to grassland agriculture. R. F. Barnes, D. A. Miller and C. J. Nelson (eds.). Forages, 5th ed. Vol.1, Ames, IA: Iowa University Press, pp. 409-420.
- [34] Porter C.L. 1966. An analysis of variation between upland and lowland switchgrass, *Panicum virgatum* L., in central Oklahoma. *Ecology*, 47:980-992.
- [35] Taliaferro, C.M. and A.A. Hopkins. 1997. Breeding and selecting of new switchgrass varieties for increased biomass production. Five year summary report. Oak Ridge National Laboratory, Oak Ridge, TN. contact #19XSL127C.

- [36] Talbert, L.E., D.H. Timothy, J.C. Burns, J.O. Rawlings and R.H. Moll. 1983. Estimates of genetic parameters in switchgrass. *Crop Sci.* 23: 725-728.
- [37] Hultquist, S.J., K.P. Vogel, D.J. Lee, K. Arumuganathan and S. Kaeppler. 1996. Chloroplast DNA and nuclear DNA content variations among cultivars of switchgrass, *Panicum virgatum* L. *Crop Sci.* 36: 1049-1052.
- [38] McMillan, C. 1959. The role of ecotypic variation in the distribution of the central grasslands of North America. *Ecol. Monogr.* 29: 285-308.
- [39] Nielsen, E.L. 1944. Analysis of variation in *Panicum virgatum*. *J. Agric. Res.* 69: 327-353.
- [40] Riley, R.D. and K.P. Vogel. 1982. Chromosome numbers of released cultivars of switchgrass, indiagrass, big bluestem, and sand bluestem. *Crop Sci.* 22: 1082-1083.
- [41] Sanderson, M.A., R.L. Reed, S.B. McLaughlin, S.D. Wullschleger, B.V. Conger, D.J. Parrish, D.D. Wolf, C. Taliaferro, A.A. Hopkins, W.R. Ocumpaugh, M.A. Hussey, J.C. Read and C.R. Tischler. 1996. Switchgrass as a sustainable bioenergy crop. *Bioresource Technology.* 56: 83-93.
- [45] Parrish, D.J. and J.H. Fike. 2005. The Biology and Agronomy of Switchgrass for Biofuels, in *Critical Reviews in Plant Sciences*, 24:423-459.
- [46] Jacobson, N. S., Follette, W. C., & Revenstorf, D. (1984). Toward a standard definition of clinically significant change. *Behavior Therapy*, 17, 308–311.
- [51] Vogel, K.P., J.J. Brejda, D.T. Walters, and D.R. Buxton. 2002. Switchgrass biomass production in the Midwest USA: harvest and nitrogen management. *Agron J* 94: 413-420.
- [53] Douglas J., Lemunyon J., Wynia R. and Salon P., 2009. Planting and Managing Switchgrass as a Biomass Energy Crop. Technical Note No. 3. United States Department of Agriculture (USDA), Natural Resources Conservation Service (NRCS), Plant Materials Program.
- [54] Fike, J.H., D.J. Parrish, D.D. Wolfe, J.A. Balasko, J.T. Green, Jr., M. Rasnake, and J.H. Reynolds. 2006. Long-term yield potential of switchgrass—for biofuel systems. *Biomass and Bioenergy* 30:198–206.
- [55] Lewandowski, I., and A. Kicherer. 1997. Combustion quality of biomass: Practical relevance and experiments to modify the biomass quality of *Miscanthus x giganteus*. *Eur. J. Agron.* 6:163–177.
- [56] Boateng, A.A., K.B. Hicks, and K.P. Vogel. 2006. Pyrolysis of switchgrass (*Panicum virgatum*) harvested at several stages of maturity. *J. Anal. Appl. Pyrolysis.* 75:55–64.
- [57] McLaughlin, S.B., and L.A. Kszos. 2005. Development of switchgrass (*Panicum virgatum*) as a bioenergy feedstock in the United States. *Biomass and Bioenergy* 28:515–535.
- [58] Miles, T.R., T.R. Miles, Jr., L.L. Baxter, R.W. Bryers, B.M. Jenkins, and L.L. Oden. 1996. Boiler deposits from firing biomass fuels. *Biomass Bioenergy* 10:125–138.

- [59] Adler, P.R., M.A. Sanderson, A.A. Boateng, P.J. Weimer, and Hans-Joachim G. Jung. 2006. Biomass yield and biofuel quality of switchgrass harvested in fall or spring. *Agron. J.* 98:1518–1525.
- [60] Cherney, J.H. 2005. Management of grasses for biofuel. Bioenergy Info. Sheet #4. Cornell Univ. Coop. Ext. (http://grassbioenergy.org/downloads/Bioenergy_Info_Sheet_4.pdf) Accessed July 31, 2009.
- [61] Garland, C.D. 2008. Growing and harvesting switchgrass for ethanol production in Tennessee. *Ext. Bull. SP701–A.* (<http://utextension.tennessee.edu/publications/spfiles/SP701-A.pdf>) Accessed July 31, 2009.
- [62] McLaughlin, S.B., R. Samoson, D. Bransby, and A. Wiselogel. 1996. Evaluating physical, chemical and energetic properties of perennial grasses and biofuels. *Proc., BIOENERGY '96—The Seventh National Bioenergy Conference: Partnerships to Develop and Apply Biomass Technologies, September 15–20, 1996. Nashville, TN.* (<http://bioenergy.ornl.gov/papers/bioen96/mclaugh.html>) Accessed July 31, 2009.
- [63] Elbersen H. W., Christian D. G., Bassam N. El, Sauerbeck G., Alexopoulou E., Sharma N. and Piscioneri I., 2004. A Management Guide for Planting and Production of Switchgrass as a Biomass Crop in Europe. 2nd World Conference on Biomass for Energy, Industry and Climate Protection.
- [66] Gustafson, D.M., A. Boe, and Y. Jin. 2003. Genetic variation for *Puccinia emaculata* infection in switchgrass. *Crop Sci* 43: 755-759.
- [67] Gravert, C.E., L.H. Tiffany, and G.P. Munkvold. 2000. Outbreak of smut caused by *Tilletia maclagani* on cultivated switchgrass in Iowa. *Plant Disease* 84: 596.
- [72] Lips S. and Elbersen H. W., 2001. Switchgrass (*Panicum virgatum* L.) as an alternative energy crop in Europe, Initiation of a productivity network. FAIR 5-CT97-3701: 51-53.
- [73] Keshwani D. R. and Cheng J. J., 2009. Switchgrass for Bioethanol and Other Value-Added Applications: A Review. *Biological Systems Engineering: Papers and Publications.* University of Nebraska - Lincoln
- [74] Girouard, P. and R. Samson, The potential role of perennial grasses in the pulp and paper industry. Making a case for agri-fibres. *Pulp and Paper Canada*, 2000. 101:10: p. 53-55.
- [75] Goel, K., et al., Switchgrass: A potential pulp fibre source, in *Proceedings of the 84th Annual Meeting of the Technical section of the Canadian Pulp and Paper Association.* January 1998. 1998: Montreal. p. 109-114.
- [76] Jong, E.D., R.O.d. Kamp, and E. Keijzers, APXP Switchgrass, . 1998, ATO-DLO: Wageningen.
- [77] Law, K.N., B.V. Kokta, and C.B. Mao, Fibre morphology and soda-sulphite pulping of switchgrass. *Bioresource Technology*, 2001. 77: p. 1-7.

- [78] Madakadze, I.C., et al., Kraft pulping characteristics and pulp properties of warm season grasses. *Bioresource Technology*, 1999. 69: p. 75-85.
- [79] Radiotis, T., et al., Fiber characteristics, pulpability, and bleachability studies of switchgrass. *TAPPI Journal*, 1999. 82(7): p. 100-105.
- [80] Ruzinsky, F. and B.V. Kokta, High-yield pulping of switchgrass using the Na₂SO₃-NaHCO₃ system. *Cellulose Chemistry and Technology*, 2000. 34(3-4): p. 299-315.
- [81] Fox, G., P. Girouard, and Y. Syaukat, 1999. An economic analysis of the financial viability of switchgrass as a raw material for pulp production in eastern Ontario. *Biomass and Bioenergy*, 16: p. 1-12.
- [82] USDA NRCS 2001/2002. Switchgrass toxicity/photosensitivity in horses, sheep, and goats. In: *Northland News*. p. 6.
- [83] Hipple P. C., Duffy M. D., 2002. Farmers' Motivations for Adoption of Switchgrass. Reprinted from Janick J. and Whipkey A., 2002. *Trends in New Crops and New Uses*. Fifth National Symposium, New Crops and New Uses, Strength in Diversity. Alexandria, Virginia: American Society for Horticultural Science. pp.252-266. ISBN 978-0-09-707565-5. Retrieved 2008-05-23.
- [85] Elbersen, H. W., et al, 2000: "Switchgrass variety choice in Europe". In Kyritsis, S., Beenackers, A.A.C.M, Helm, P., Grassi, A. and D. Chiaramonti, D. (Eds.). In Kyritsis, S., Beenackers, A.A.C.M, Helm, P., Grassi, A. and D. Chiaramonti, D. (Eds.), *Proceedings of the 1st World Conference on Biomass for Energy and Industry*, Seville, Spain, 5-9/6/2000. James & James Ltd.
- [86] Elbersen, H. W., et al 2000: "The European switchgrass project". In Kyritsis, S., Beenackers, A.A.C.M, Helm, P., Grassi, A. and D. Chiaramonti, D. (Eds.), *Proceedings of the 1st World Conference on Biomass for Energy and Industry*, Seville, Spain, 5-9/6/2000. James & James Ltd.
- [87] Ritchie, J.T. and D.S. NeSmith, 1991. Temperature and Crop Development. In: *Modeling Plant and Soil Systems*, Hanks and Ritchie (Eds.). ASA, CSSSA, SSSA, Madison, WI.
- [88] Page A.L., Miller R.H. and Keeney D.R., *Methods of soil analysis, Part 2-Chemical and Microbiological Properties*.
- [89] Cataldo D.A., Haroom M., Schrader L.E., and Youngs V.L., 1975. Rapid colorimetric determination of nitrate in plant tissue by nitration of salicylic acid. *Commun. Soil Science and Plant Analysis* 1975; 6(1): 71-80.
- [90] Giannoulis K.D., Molla A., Dimirkou A., Danalatos N.G., 2011. Switchgrass as a promising biomass crop with soil improvement characteristics, 19th European Biomass Conference & Exhibition, 6-10 June, Berlin, Germany.

Βιβλία

[19] Grasses of the Tweed Valley of NSW: An introductory field guide to locally common grasses: native and introduced, Compiled by Penny Watsford, Nullum Publications, 2004

[25] Sedivec K. K., Tober D. A., Duckwitz W. L., Dewald D. D., Printz J. L. and Craig D. J., 2009. Grasses for the Northern Plains. Growth Patterns, Forage Characteristics and Wildlife Values. Volume II – Warm-season. NDSU Extension Service R-1390. Fargo, N.D. 59-66 p.

[30] Rinehart L., 2006. Switchgrass as a Bioenergy Crop. National Center for Appropriate Technology (NCAT). A Publication of ATTRA-National Sustainable Agriculture Information Service.

[49] Guretzky J., Butler T., Bouton J., Owens V. and Boe A., 2009. Planting and Managing Switchgrass as a Dedicated Energy Crop. Blade Energy Crops.

[71] Maria N. Somleva, Kristi D. Snell, Julie J. Beaulieu, Oliver P. Peoples, Bradley R. Garrison, Nii A. Patterson, 2008. Plant Biotechnology Journal. Volume 6, Issue 7, pages 663–678. Blackwell Publishing Ltd.

[84] Bies, Laura (2006-11-01). The Biofuels Explosion: Is Green Energy Good for Wildlife?. Wildlife Society Bulletin 34 (4): 1203–1205.

Πανεπιστήμια

[22] Silzer, Tanya, 2000. Panicum virgatum L., Switchgrass, prairie switchgrass, tall panic grass. Rangeland Ecosystems & Plants Fact Sheets. University of Saskatchewan Department of Plant Sciences. Retrieved 2007-12-08.

[26] Gibson L., Barnhart S., Hartzler B., Liebman M. and Moore K., 2007. Switchgrass. Iowa State University, Department of Agronomy.

[32] Caddel J., Kakani G., Porter D., Redfearn D., Walker N., Warren J., Wu Y. and Zhang H., 1914. Switchgrass production guide for Oklahoma. Oklahoma Cooperative Extension Service, E-1012. Division of Agricultural Sciences and Natural Resources. Oklahoma State University.

[44] Oregon State University. 2006. Forage Information System. Accessed May 24, 2006, <http://forages.oregonstate.edu/index.cfm>

[47] 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.

[48] Bonos S., Hesel Z. R. and Hlubik W. T.. Switchgrass Production and Use in New Jersey. Fact Sheet 1075. Rutgers, The State University of New Jersey.

[50] Nyoka B., Jeranyama P., Owens V., Boe A. and Moechnig M., 2007. Management Guide for Biomass Feedstock Production from Switchgrass in the Northern Great Plains. Sun Grant Initiative, North Central Center. South Dakota State University.

[52] Wolf D. D. and Fiske D. A., 2009. Planting and Managing Switchgrass for Forage, Wildlife, and Conservation. Virginia Cooperative Extension, Virginia Tech and Virginia State University. Publication 418-013 (www.ext.vt.edu)

[64] <http://www.sdstate.edu/ps/Severin-McDaniel/biomass/switchgrass/index.cfm>

[65] <http://web.extension.illinois.edu/state/newsdetail.cfm?NewsID=19336>

Λοιπά

[18] Ernst Seed Catalog, 2007. Switchgrass and Warm Season Grass Planting Guide. Ernst Conservation Seeds. Archived from the original on 2007-08-03. Retrieved 2007-12-08.

[23] Selter, Bob, 2006. Plentiful switch grass emerges as breakthrough biofuel. The San Diego Union-Tribune. Retrieved 2008-05-24.

[43] Healy K. S., Greeley C.O. and Clinton M. O., 1997. Switchgrass, Fact Sheet. Sharp Bros. Seed Co.

[69] Carter J., 2011. Plant Fact Sheet, Switchgrass (*Panicum virgatum* L). United States Department of Agriculture (USDA), Natural Resources Conservation Service (NRCS), Plant Materials Program.

[70] Biomass Combo, Chemical & Engineering News, 86, 33, 18 Aug. 2008, p. 13

Διαδίκτυο

[9] http://www.ecocrete.gr/index.php?option=com_content&task=view&id=683&Itemid=0

[10] <http://www.greenpeace.org/raw/content/greece/press/118523/32551.pdf>

[11] <http://www.minenv.gr/4/41/g4127.html>

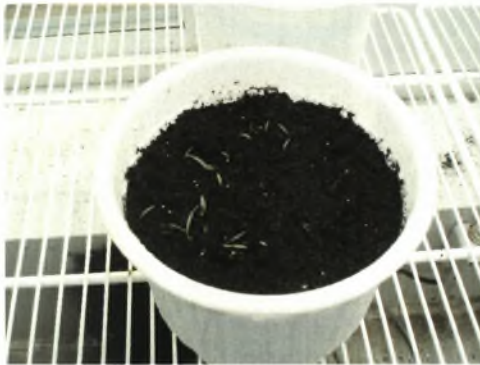
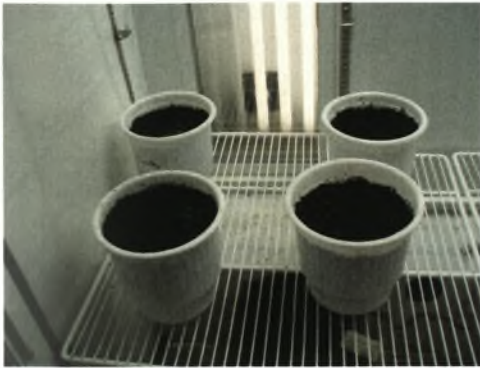
[20] PLANTS Profile for *Panicum virgatum* (switchgrass). United States Department of Agriculture, Natural Resources Conservation Service. <http://plants.usda.gov/java/profile?symbol=PAVI2>. Retrieved 2008-05-21.

[21] <http://www.illinoiswildflowers.info/grasses/plants/switchgrass.htm>

[42] <http://www.ernstseed.com/biomass/switchgrass-variety-zone-map-key/>

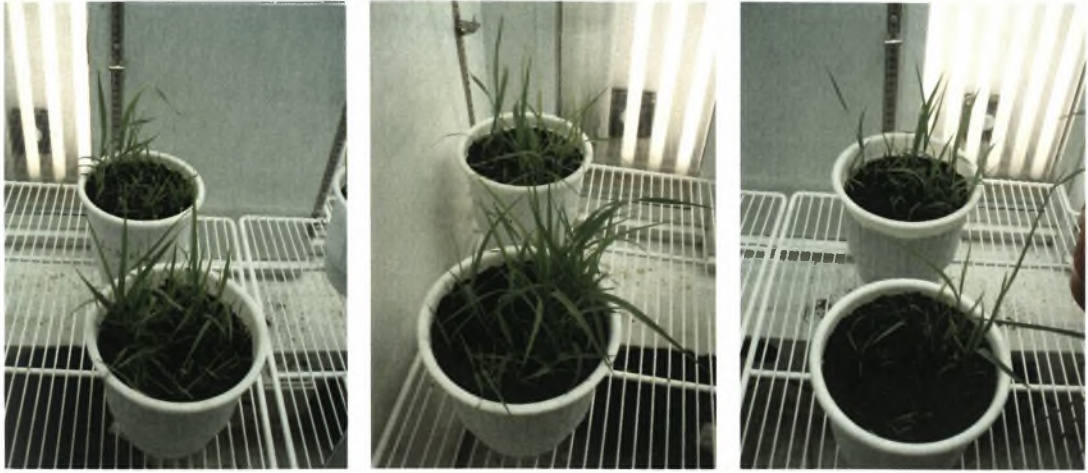
Παράρτημα εικόνων

1^η Επανάληψη: Φύτρωμα σπόρων

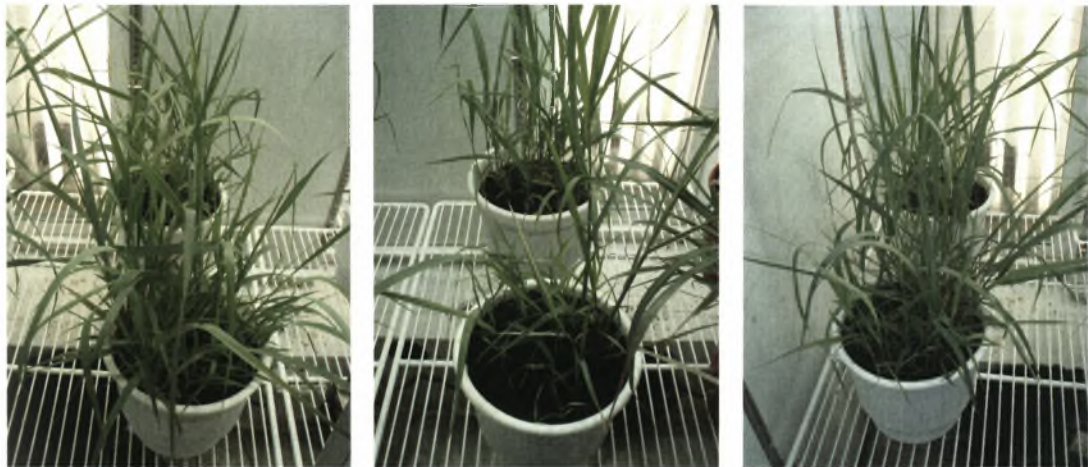


1^η Επανάληψη: Αρχικά στάδια ανάπτυξης





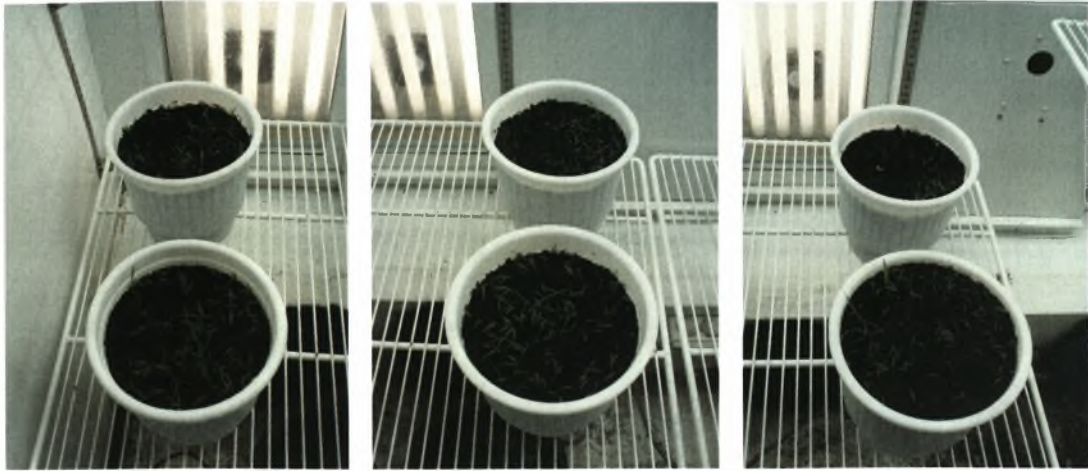
1^η Επανάληψη: Μετέπειτα στάδια ανάπτυξης



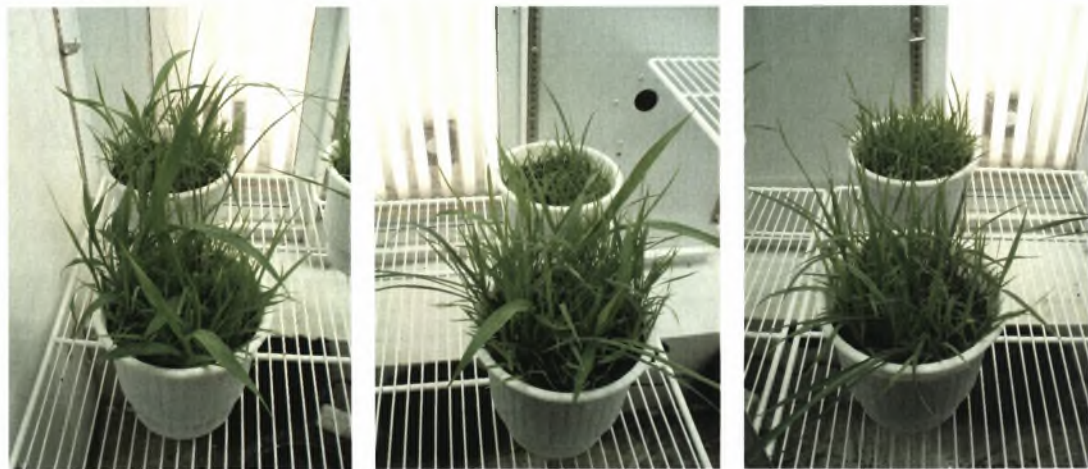
1^η Επανάληψη: Ολοκλήρωση ανάπτυξης (30cm)



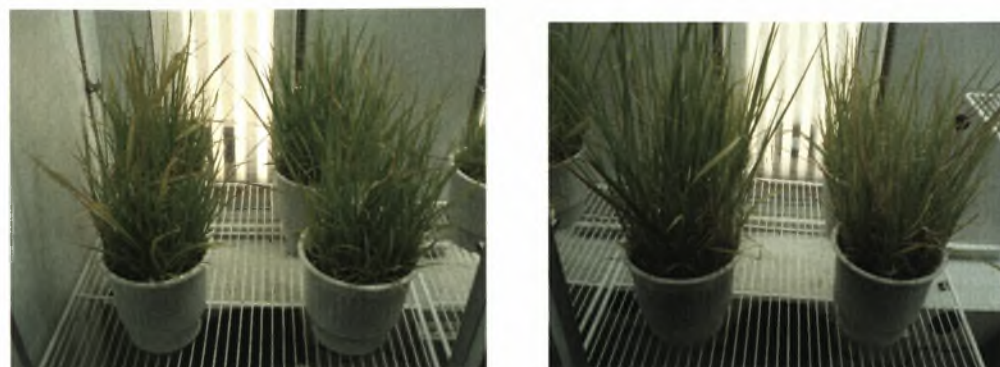
2^η Επανάληψη: Φύτρωμα σπόρων

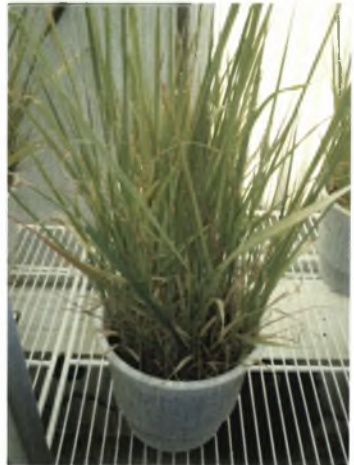
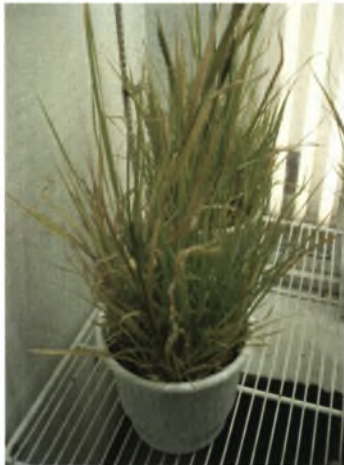
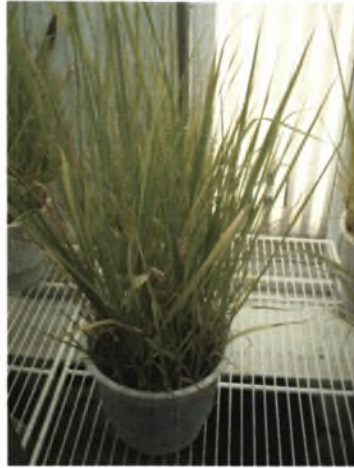
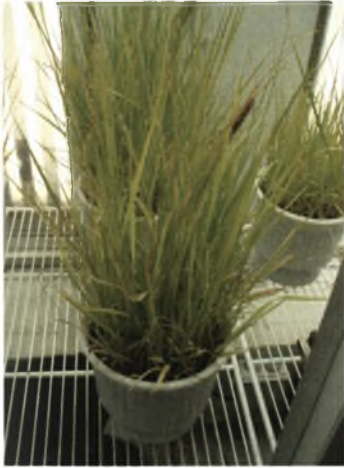
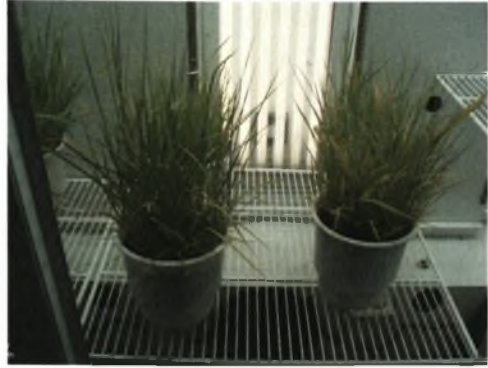
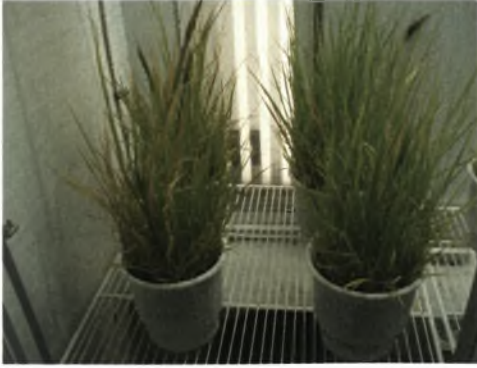


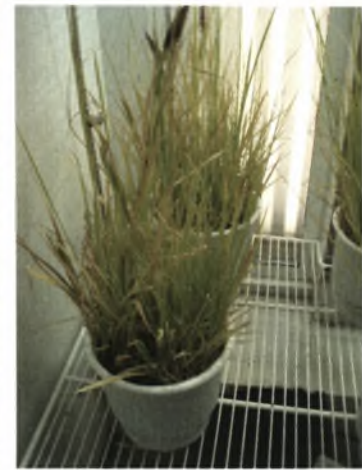
2^η Επανάληψη: Μετέπειτα στάδια ανάπτυξης



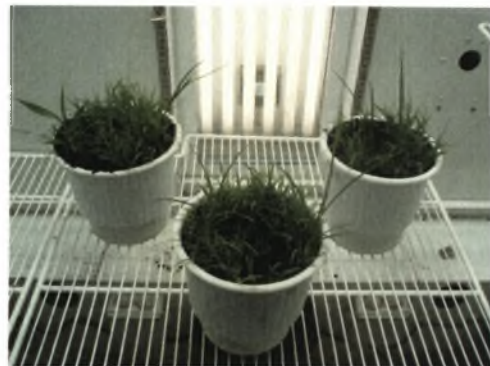
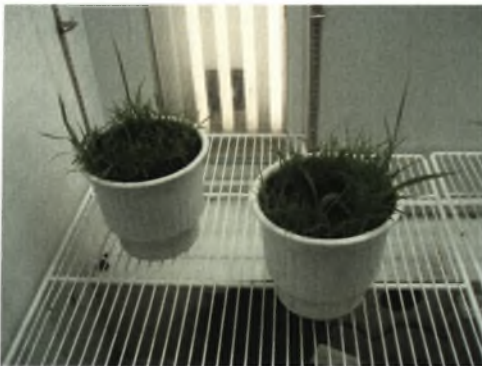
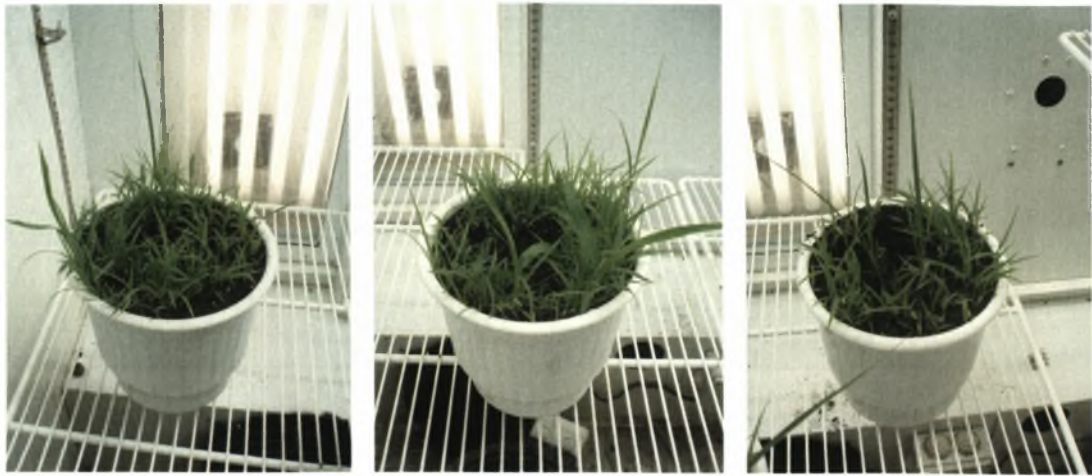
2^η Επανάληψη: Ολοκλήρωση ανάπτυξης (30cm)



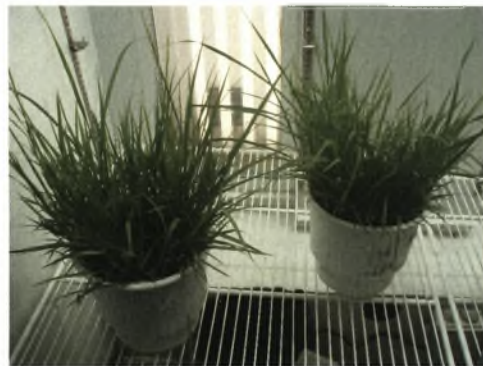
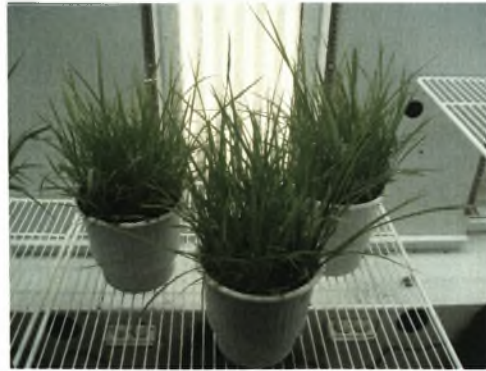
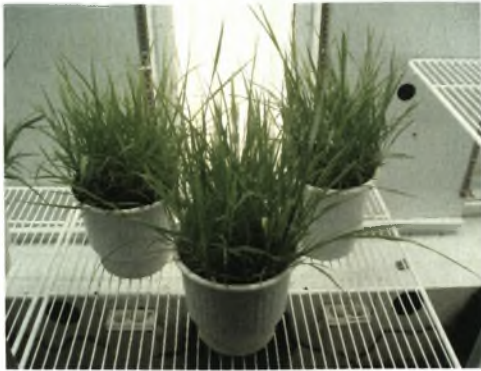




3^η Επανάληψη: Αρχικά στάδια ανάπτυξης



3^η Επανάληψη: Μετέπειτα στάδια ανάπτυξης



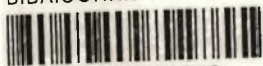
3^η Επανάληψη: Ολοκλήρωση ανάπτυξης (30cm)







ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΘΕΣΣΑΛΙΑΣ
ΒΙΒΛΙΟΘΗΚΗ



004000106749