



ΤΜΗΜΑ ΓΕΩΠΟΝΙΑΣ ΦΥΤΙΚΗΣ ΠΑΡΑΓΩΓΗΣ & ΑΓΡΟΤΙΚΟΥ ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝΤΟΣ
Αριθμ. Πρωτοκ. 470
Ημερομηνία 9-10-14

Τμήμα Γεωπονίας Φυτικής Παραγωγής και Αγροτικού
Περιβάλλοντος Πανεπιστήμιο Θεσσαλίας

ΠΤΥΧΙΑΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ

Μελέτη απορρόφησης μακροστοιχείων από την καλλιέργεια του
πολυετούς ενεργειακού φυτού "*Panicum virgatum* L." σε
αργιλοπηλώδες έδαφος.



Όνομα φοιτήτριας: Σούκια Ευαγγελία

Επιβλέπων καθηγητής: Νικόλαος Δαναλάτος

ΒΟΛΟΣ, 2014



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

Αριθ. Εισ.: 13508/1
Ημερ. Εισ.: 22/01/2015
Δωρεά: Συγγραφέα
Ταξιθετικός Κωδικός: ΠΤ-ΦΠΑΠ
2014
ΣΟΥ

Εισηγητική επιτροπή

Νικόλαος Δαναλάτος, Καθηγητής, Επιβλέπων.

Ανθούλα Δημήρκου, Καθηγήτρια, Μέλος.

Αθανάσιος Σφουγγάρης, Αναπληρωτής Καθηγητής, Μέλος.

Περιεχόμενα

Ευχαριστίες.....	σελ. 5
Περίληψη.....	σελ. 6
1. Εισαγωγή.	
1.1 Κατανομή και Ποικιλίες του <i>Panicum virgatum</i> L.....	σελ. 8
1.2 Μορφολογικά χαρακτηριστικά.....	σελ. 9
1.3 Βοτανικά χαρακτηριστικά.....	σελ. 11
1.4 Έδαφος.....	σελ. 12
1.5 Λίπανση.....	σελ. 12
1.6 Άζωτο (N).....	σελ. 13
1.7 Φώσφορο (P) και κάλιο (K).....	σελ. 14
1.8 Απαιτήσεις σε νερό.....	σελ. 14
1.9 Σύσταση και Διαχείριση.....	σελ. 15
1.10 Το Switchgrass ως καλλιέργεια πολλαπλών ειδών.....	σελ. 16
1.11 Χρήσεις.....	σελ. 19
1.12 Διατήρηση του εδάφους.....	σελ. 20
1.13 Τροφή και βόσκηση.....	σελ. 20
1.14 Σκοπός.....	σελ. 21
2. ΠΕΙΡΑΜΑΤΙΚΟ ΜΕΡΟΣ.	
2.1 Πειραματικός αγρός.....	σελ. 22
2.2 Πειραματικό σχέδιο.....	σελ. 23
2.3 Τρόπος δειγματοληψίας.....	σελ. 24
2.4 Αριθμός δειγμάτων.....	σελ. 25

2.5 Φυλλοδιαγνωστική.....σελ.	25
2.6 Προσδιορισμός ολικού αζώτου (N) στο φυτικό ιστό.....σελ.	25
2.7 Προσδιορισμός φωσφόρου (P) στο φυτικό ιστό.....σελ.	26
2.8 Προσδιορισμός καλίου (K) στο φυτικό ιστό.....σελ.	27
2.9 Στατιστική ανάλυση.....σελ.	27
3. ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ	
3.1 Μετεωρολογικά δεδομένα.....σελ.	28
3.2 Εξαμυσοδιαπνοή.....σελ.	30
3.3 Ξηρό βάρος.....σελ.	31
3.4 Μεταβολή του βάρους των φυτικών οργάνων.....σελ.	34
3.5 Χρονική κατανομή πρόσληψης των μακροστοιχείων αζώτου, φωσφόρου και καλίου.....σελ.	37
3.6 Περικετικότητα σε άζωτο (N).....σελ.	38
3.7 Περικετικότητα σε φώσφορο (P).....σελ.	39
3.8 Περικετικότητα σε κάλιο (K).....σελ.	40
3.9 .1 Σχέση παραγωγής ξηρής βιομάζας και πρόσληψης αζώτου (N).....σελ.	41
3.9.2 Σχέση παραγωγής ξηρής βιομάζας και πρόσληψης φωσφόρου (P).....σελ.	42
3.9.2 Σχέση παραγωγής ξηρής βιομάζας και πρόσληψης καλίου (K).....σελ.	43
4. Συμπεράσματα.....σελ.	45
Βιβλιογραφία.....σελ.	47

ΕΥΧΑΡΙΣΤΙΕΣ

Πριν από όλα θα ήθελα να εκφράσω τις θερμές μου ευχαριστίες στον επιβλέποντα καθηγητή μου Νικόλαο Δαναλάτο που μου έδωσε τη δυνατότητα να ασχοληθώ με ένα τόσο ενδιαφέρον θέμα. Θα ήθελα επίσης να τον ευχαριστήσω για την πολύτιμη βοήθειά του, καθ' όλη τη διάρκεια εκπόνησης της διπλωματικής μου εργασίας.

Ιδιαίτερες ευχαριστίες θα ήθελα να απευθύνω στο διδάκτορα, κύριο Κυριάκο Γιαννούλη για το αμείωτο ενδιαφέρον, τις υποδείξεις, την καθοδήγηση, την προθυμία του και την συμπαράστασή του τόσο κατά την εκτέλεση του πειραματικού μέρους, όσο και κατά τη συγγραφή της εργασίας, η οποία αποτελεί και μέρος από τη διδακτορική του διατριβή.

Ακόμα, θα ήθελα να ευχαριστήσω την καθηγήτρια Ανθούλα Δημήρκου και τον αναπληρωτή καθηγητή Αθανάσιο Σφουγγάρη, για το χρόνο που διέθεσαν, έτσι ώστε να διορθώσουν και να εκφράσουν τις παρατηρήσεις τους για την διπλωματική μου εργασία.

Τέλος, θέλω να εκφράσω ένα τεράστιο ευχαριστώ στους γονείς μου για τα όσα έχουν κάνει για μένα, για τη στήριξη, τη συμπαράσταση, την κατανόηση και την εμπιστοσύνη που μου έδειξαν όλα αυτά τα χρόνια των σπουδών μου.

Περίληψη

Το *Panicum virgatum* L. γνωστό και ως Switchgrass είναι ένα πολυετές C4, αγροστώδες φυτό που αναπτυσσόταν στη Βόρεια Αμερική σε διάφορους πληθυσμούς. Το είδος έχει εξελιχθεί σε κτηνοτροφική και πρόσφατα σε ενεργειακή καλλιέργεια. Χρησιμοποιείται κυρίως για την προστασία του εδάφους, για την παραγωγή ζωοτροφών και φυτικών ινών, για τη βιολογική δέσμευση του ατμοσφαιρικού διοξειδίου του άνθρακα, για την παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας και θερμότητας, ως καλλωπιστικό φυτό και τέλος ως ενεργειακό φυτό για παραγωγή βιοαιθανόλης. Οι πιθανές χρήσεις της συγκεκριμένης καλλιέργειας έχουν επεκταθεί πρόσφατα για να περιλάβουν και τα βιολογικά καύσιμα. Η σωστή διαχείριση του switchgrass για τα βιολογικά καύσιμα γίνεται με την κατανόηση της βιολογίας του φυτού. Η επιτυχής εγκατάσταση απαιτεί την προσοχή, όσον αφορά τον λήθαργο των σπόρων, τον έλεγχο των ζιζανίων καθώς και το κατάλληλο βάθος και την ημερομηνία σποράς. Το ποσοστό αύξησης των φυτών εξαρτάται από τη θερμοκρασία, αλλά ο συγχρονισμός της αναπαραγωγικής ανάπτυξης συνδέεται με την περίοδο φωτός.

Στην παρούσα μελέτη, εξετάζεται η πρόσληψη των μακροστοιχείων από την καλλιέργεια σε δύο διαφορετικά επίπεδα άρδευσης (I1: 0 mm και I2: 250 mm) και σε τέσσερα διαφορετικά επίπεδα αζωτούχου λίπανσης (N1:0, N2:8, N3:16 και N4:24 kg/στρ.) στην περιοχή του Βελεστίνου. Το έδαφος είναι ασβεστούχο (pH = 8,1-8,3), αργιλοπηλώδες έως πηλώδες (άμμος 19-21%, πηλός 39-41%, 38-42%) και έχει χαρακτηριστεί ως Calcixerollic Xerochrept. Μελετήθηκε η αύξηση-απόδοση της καλλιέργειας για την παραγωγή ξηρής βιομάζας τόσο για στερεά καύσιμα όσο και για παραγωγή ζωοτροφής, ενώ προσδιορίστηκε η πρόληψη των στοιχείων αζώτου (N), φωσφόρου (P) και καλίου (K) σε δύο στάδια ανάπτυξης του φυτού, τα οποία ήταν, πριν την ανθοφορία και κατά την τελική συγκομιδή.

Παρατηρήθηκε ότι, ο κύριος περιοριστικός παράγοντας της αύξησης και της ανάπτυξης της καλλιέργειας δεν είναι η αζωτούχος λίπανση, αλλά η άρδευση. Ακόμη και σε περιορισμένη άρδευση (250 mm) παρέχεται η δυνατότητα αυξημένης παραγωγής σε περιοχές όπως το Βελεστίνο. Επίσης, στα

αποτελέσματα παρατηρήθηκε ότι η περιεκτικότητα του φυτού σε άζωτο (N), φώσφορο (P) και κάλιο (K) ήταν μεγαλύτερη κατά τα πρώτα στάδια ανάπτυξης (1^η κοπή) σε σύγκριση με το στάδιο ωρίμανσης (συγκομιδή).

1. Εισαγωγή

1.1 Κατανομή και Ποικιλίες του *Panicum virgatum* L.

Το switchgrass χαρακτηρίζεται από τη μεγάλη προσαρμοστικότητά του. Μπορεί να αναπτυχθεί και να ευδοκιμήσει σε διάφορες καιρικές συνθήκες, μήκη καλλιεργητικών περιόδων και τύπους εδάφους. Η διανομή του εκτείνεται νότια του 55° βόρειου γεωγραφικού πλάτους, έως το κέντρο του Μεξικού, ενώ συναντάται τόσο στη Ν. Αμερική όσο και στη Β. Αφρική. Παρουσιάζεται ως φυτό ζεστής εποχής, όπου το μεγαλύτερο μέρος της ανάπτυξής του λαμβάνει μέρος από τα τέλη της άνοιξης μέχρι τις αρχές του φθινοπώρου, ενώ κατά τη διάρκεια των κρύων μηνών είναι αδρανές και μη παραγωγικό. Έτσι, η παραγωγική σεζόν στο βόρειο βιότοπο μπορεί να είναι σύντομη και να διαρκέσει μέχρι τρεις μήνες, ενώ στο νότιο οικότοπό του η καλλιεργητική περίοδος μπορεί να διαρκέσει έως και οκτώ μήνες (Ball *et al.*, 2002).

Το Switchgrass είναι ένα είδος με πολλές ποικιλίες, με έντονες διαφορές μεταξύ τους. Αυτή η ποικιλομορφία, η οποία αντανακλά προφανώς την εξέλιξη και την προσαρμογή σε νέα περιβάλλοντα, προσφέρει μια σειρά από αξιολογικά χαρακτηριστικά για τα προγράμματα αναπαραγωγής. Το Switchgrass έχει δύο διαφορετικούς οικότυπους: α) των πεδινών περιοχών, με τάση παραγωγής περισσότερης βιομάζας και β) των ορεινών περιοχών, με αντοχή στο κρύο και προτίμηση συνήθως στις βόρειες περιοχές. Οι ορεινές ποικιλίες του switchgrass έχουν γενικά μικρότερο ύψος ($\leq 2,4\text{m}$) από τις πεδινές ποικιλίες. Και οι δύο οικότυποι έχουν βαθύ ριζικό σύστημα ($> 1,8\text{ m}$, σε ευνοϊκά εδάφη) και πολλά-μικρά ριζώματα. Ωστόσο, τα στελέχη που προέρχονται από ένα συγκεκριμένο γεωγραφικό πλάτος τείνουν να εμφανίζουν μεγαλύτερη παραγωγικότητα και ικανότητα επιβίωσης, όταν φυτευτούν κοντά σε εκείνο το γεωγραφικό πλάτος (Casler *et al.*, 2004).

Μερικές από τις ποικιλίες που χρησιμοποιήθηκαν στην Ευρώπη για πειράματα είναι οι εξής: Alamo (πεδινή ποικιλία), Cave-in-Rock (ενδιάμεση ποικιλία), Blackwell (ορεινή ποικιλία), Summer (ορεινή ποικιλία).



Εικόνα 1. Switchgrass (*Panicum virgatum* L.) for Biofuel Production - eXtension

(Michigan State University)

1.2 Μορφολογικά χαρακτηριστικά

Το switchgrass είναι ψηλό γρασίδι, με ύψος από 0,5 έως 3m, έχει πλούσιο ριζικό σύστημα που φτάνει σε βάθος έως και 3m (Moser and Vogel, 1995; Porter, 1966). Το ριζικό του σύστημα αποτελείται από υπόγειους βλαστούς (ριζώματα) και ινώδεις ρίζες, ενώ σχηματίζει υπέργειους έρποντες βλαστούς (στόλωνες) από τους κόμβους των οποίων εκφύονται νέοι βλαστοί. Τα φύλλα του είναι ακέραια και μπορεί να έχουν στόματα και στις δυο πλευρές τους (Awada *et al.*, 2002). Τα στελέχη του φυτού αποτελούνται από συμπαγείς κόμβους και μεσογονάτια, όπου στα πρώτα στάδια της αναπτυξής τους είναι μικρά και οι διαδοχικοί κολεοί των φύλλων σχηματίζουν έναν ψευδοβλαστό.

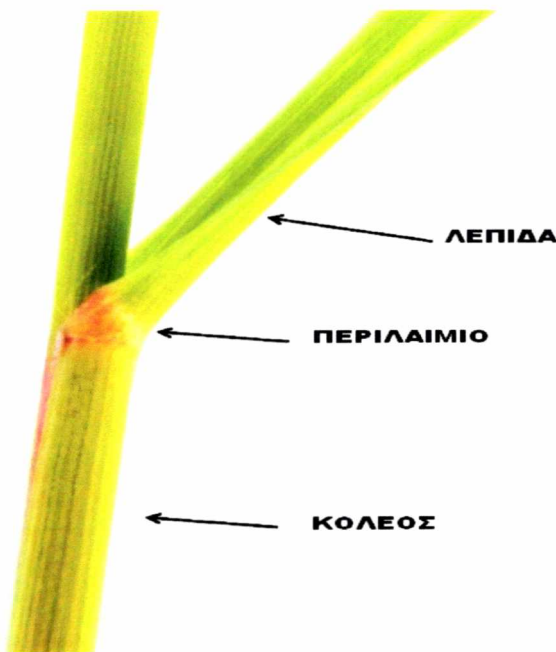
Η ταξιανθία του switchgrass είναι σύνθετος βότρυς μήκους 15-45 εκατοστών με κατάληξη σε σταχίδια στις άκρες των μακριών κλάδων.

Σύμφωνα με μέletes που έχουν γίνει αναφέρεται ότι το switchgrass εμφανίζει κληρονομικές διαφορές στο μέγεθος των σπόρων, που μπορεί να είναι περιορισμένης σημασίας για την εγκατάσταση. Γενικά, το μέγεθος των σπόρων είχε μικρή επίδραση όσον αφορά τα βασικά χαρακτηριστικά ανάπτυξης των φυτών, όμως αναφέρεται ότι αν μεγάλοι σπόροι τοποθετηθούν

σε μεγαλύτερο βάθος μπορεί να επιτρέψουν μεγαλύτερη επιβίωση των φυταρίων (Zhang and Maun, 1990).

Σημαντικές πτυχές της μορφολογίας του switchgrass αποτελούν η βλάστηση των σπόρων και του αδελφώματος. Διαπιστώθηκε ότι η θέση της στεφάνης (αναπτυσσόμενη άκρη του μίσχου) του φυταρίου επηρεάζει σημαντικά το σχηματισμό της ρίζας και την επιβίωσή του. Η θέση της στεφάνης, η οποία προκύπτει από την επέκταση του μεσοκοτυλίου είναι κάτω από γενετικό και περιβαλλοντικό έλεγχο (Elbersen *et al.*, 1999).

Η καλλιεργητική ανάπτυξη, η εξέλιξη και η σχετική μορφολογία των φύλλων μπορεί να επηρεάσει έντονα την απόδοση, όμως υπάρχουν σημαντικές γονοτυπικές και περιβαλλοντικές αλληλεπιδράσεις γι' αυτά τα χαρακτηριστικά.

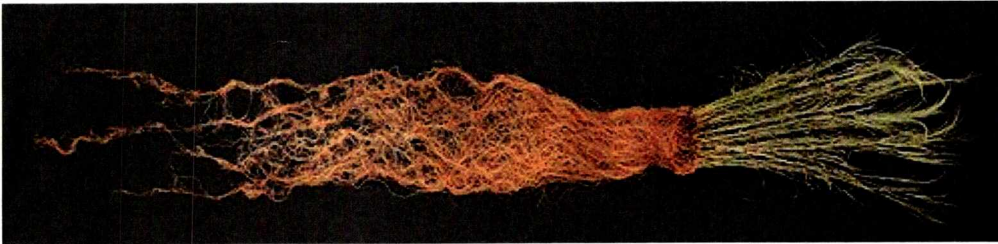


Εικόνα 2. Perennial Grass Growth and Development

(University of Nebraska-Lincoln)

1.3 Βοτανικά χαρακτηριστικά

Το Switchgrass είναι ένα ανθεκτικό, με βαθύ ριζικό σύστημα, πολυετές φυτό που ξεκινά την αναπτυξή του στα τέλη της άνοιξης. Μπορεί να φτάσει σε ύψος έως και 2,7m. Τα φύλλα του έχουν μήκος 30-90cm, με εμφανή κεντρική νεύρωση. Το Switchgrass είναι C4 φυτό, έχοντας ένα πλεονέκτημα σε συνθήκες ξηρασίας και υψηλών θερμοκρασιών έναντι των C3 (Silzer, Tanya 2000). Το ύψος του φυλλώματος των ώριμων φυτών είναι συνήθως από 0,9 – 1,5m, η επάνθηση, που είναι μια ανοιχτή ανθήλη 15-46cm, επεκτείνεται συχνά σε ύψος 1,5-2,1m. Τα άνθη του έχουν μια ανοιχτή ανθήλη, με μήκος μέχρι και 60cm όπου φέρει καλή συγκομιδή των σπόρων. Οι σπόροι έχουν μήκος 3-6mm και πλάτος έως 1,5mm. Το ριζικό του σύστημα μπορεί να ξεπεράσει τα 3 μέτρα σε βάθος.



Εικόνα 3. *Panicum virgatum* L.
(Wikipedia)



Εικόνα 4. Switchgrass Looks Promising/The Speculist
(By Phil Bowermaster / January 8, 2008)

1.4 Έδαφος

Το *Panicum virgatum* L. προτιμά βαθιά εδάφη όπου έχουν ικανοποιητική ικανότητα συγκράτησης του νερού, λόγω του πλούσιου ριζικού συστήματος. Αναπτύσσεται καλά σε εδάφη αβαθή, πετρώδη έως περιστασιακά κορεσμένα με νερό ενώ αποδίδει ικανοποιητικά και σε εδάφη με χαμηλό pH. Επίσης, δεν προσαρμόζεται στα πολύ βαριά αργιλώδη (Elbersen *et al.*, 2004). Ανέχεται σε μεγάλο βαθμό την ξηρασία και την αλατότητα, σε αντίθεση με τα υπόλοιπα εαρινά αγρωστώδη.

Για να είναι επιτυχής η εγκατάσταση της καλλιέργειας, ανεξάρτητα από τον τύπο του εδάφους, πρέπει η σπορά να γίνεται όταν η θερμοκρασία του εδάφους έχει αυξηθεί και υπάρχει διαθέσιμη υγρασία.

Ο περιορισμός της επιτυχίας της εγκατάστασης και των αποδόσεων σε βιομάζα, ενδεχομένως να οφείλεται στα αμμώδη εδάφη, διότι χάνουν γρήγορα την υγρασία. Ακόμη, η βιομάζα που χρησιμοποιείται για καύση πρέπει να είναι χαμηλής περιεκτικότητας σε ανόργανα άλατα συμπεριλαμβανομένου και του πυριτίου. Τα φυτά που καλλιεργούνται σε αμμώδη εδάφη έχουν περιεκτικότητα πυριτίου χαμηλότερη από εκείνη των φυτών που καλλιεργούνται σε αργιλώδη εδάφη, καθιστώντας έτσι πιο κατάλληλα για την παραγωγή βιομάζας τα αμμώδη εδάφη (Lawrence *et al.*, 2006; Guretzky *et al.*, 2009; Wolf *et al.*, 2009).

Το pH του εδάφους για βέλτιστη ανάπτυξη της καλλιέργειας κυμαίνεται από 4,5 και 7,6, διότι αν το pH του εδάφους είναι υψηλό μειώνεται σημαντικά η απόδοση της βιομάζας (Virgilio *et al.*, 2007).

1.5 Λίπανση

Σε κάθε καλλιέργεια οι απαιτήσεις σε λίπανση εξαρτώνται από τη γονιμότητα του εδάφους, τις κλιματικές συνθήκες, από την αναμενόμενη παραγωγή και φύση της καλλιέργειας (Lemus *et al.*, 2008). Πριν από την εγκατάσταση της καλλιέργειας είναι σημαντικό να γίνεται μια ανάλυση εδάφους και να εξετάζονται οι τιμές του pH και τα επίπεδα φωσφόρου (P) και καλίου (K).

Επίσης, είναι σημαντικό για το έδαφος να διατηρηθούν τα βέλτιστα επίπεδα φωσφόρου και καλίου, διότι αν παρατηρηθούν ελλείψεις σε φώσφορο (<10 ppm) και σε κάλιο (<90 ppm) τότε πρέπει πριν από τη σπορά να εφαρμοσθούν και να ενσωματωθούν στο έδαφος οι απαραίτητες ποσότητες. Το άζωτο δεν πρέπει να υπερβαίνει τα 4,5 kg/στρ., κατά τη διάρκεια της εγκατάστασης της καλλιέργειας. Η καθυστέρηση της ανάπτυξης των φυτών οφείλεται στην υπερβολική ποσότητα αζώτου από λιπάσματα, κοπριά ή άλλες οργανικές πηγές που ενθαρύνουν τον ανταγωνισμό με τα ζιζάνια. Κατά την περίοδο της άνοιξης μετά το έτος της εγκατάστασης της καλλιέργειας επιτρέπεται η αζωτούχος λίπανση για την επιτυχή εγκατάσταση της καλλιέργειας (Rinehart, 2006; Lawrence *et al.*, 2006; Nyoka *et al.*, 2007; Guretzky *et al.*, 2009; Vogel *et al.*, 2002).

1.6 Άζωτο (N)

Το άζωτο αποτελεί βασικό συντελεστή του κόστους παραγωγής και ταυτόχρονα παράγοντα περιβαλλοντικής επιβάρυνσης του περιβαλλοντικού κόστους (Nelson *et al.*, 2006), διότι αποτελεί εισροή υψηλής ενέργειας και μπορεί να ρυπάνει τους υπόγειους αβαθείς υδροφόρους ορίζοντες καθώς και τα επιφανειακά ύδατα.

Για τη μεταχείριση του switchgrass ως ενεργειακό φυτό οι βέλτιστες τιμές του αζώτου (N) ποικίλουν αναλόγως της γεωγραφικής περιοχής, τις περιβαλλοντικές-καιρικές συνθήκες, την ικανότητα διαθεσιμότητας εδαφικού αζώτου και τη συχνότητα συγκομιδής (Thomason *et al.*, 2004; Aravindhakshan *et al.*, 2011; Brejda, 2000; Lemus *et al.*, 2009; Mulkey *et al.*, 2006).

Μελέτες έδειξαν ότι για την ανάπτυξη του switchgrass η έλλειψη νερού αποτελεί περιοριστικό παράγοντα (Stout *et al.*, 1998; Thomason *et al.*, 2004) και κυρίως λόγω της μειωμένης κινητικότητας του αζώτου (N) σε συνθήκες χαμηλής υγρασίας.

1.7 Φώσφορο (P) και Κάλιο (K)

Οι απαιτήσεις του switchgrass σε φώσφορο και κάλιο είναι μικρές, η μόνη διαφορά είναι για το φώσφορο ότι το φυτό έχει αναπτύξει μηχανισμούς αξιοποίησης της συμβίωσης με μυκόρριζες (Elbersen *et al.*, 2001), και έτσι δεν δημιουργούνται προβλήματα έλλειψης τα επόμενα χρόνια.

Σύμφωνα με πειράματα που διεξήχθησαν για το switchgrass αναφέρεται από τη μια πλευρά ότι πρόσθεσαν μέχρι 180 kg N/ha σε συνδυασμό με 0 ή 40 kg P/ha και έτσι η μέγιστη απόδοση του φυτού ήρθε με το υψηλότερο ποσοστό του N συν το P, υποδηλώνοντας ότι ο φώσφορος μπορεί να αυξήσει την παραγωγή. Ενώ από την άλλη, ο Hall (1982) με τους συνεργάτες του, τονίζει ότι δε βρήκανε καμιά αντίδραση όταν εφάρμοσαν φώσφορο σε φτωχό έδαφος στην Αϊόβα.

Επίσης όπως αναφέρθηκε, το φυτό είναι καλλιέργεια χαμηλών εισροών με ιδιαιτερότητα στο κάλιο και συχνά δείχνει μικρή ή καθόλου ανταπόκριση σε προσθήκη του (Brejda, 2000; Hall *et al.*, 1982).

Τέλος, αναφέρεται ότι ο Smith (1979) εξέτασε διάφορες τιμές του K σε θερμοκηπιακή καλλιέργεια και δε βρήκε καμιά αντίδραση, ακόμα και σε επίπεδα N που προωθούσαν σημαντικά την αύξηση της βιομάζας.

1.8 Απαιτήσεις σε νερό

Οι ανάγκες σε νερό του switchgrass είναι χαμηλές αφού χαρακτηρίζεται για την αποδοτική χρήση του. Πειράματα έδειξαν ότι σε μη αρδευόμενες συνθήκες το φυτό παρουσιάζει ικανοποιητική παραγωγή σε περιοχές με ετήσια βροχόπτωση άνω των 400 mm. Κατά την εγκατάσταση της καλλιέργειας όταν πραγματοποιείται άρδευση, πρέπει να παρακολουθούνται οι πληθυσμοί των ζιζανίων, αλλά και τα ποσοστά ανάπτυξής του διότι υπερβαίνουν συχνά αυτά του switchgrass (Guretzky *et al.*, 2009).

Η λίπανση μπορεί να έχει σημαντική επίπτωση στην παραγωγή αφού η απόδοση καλλιεργειών που δε δέχθηκαν αζωτούχο λίπανση κυμάνθηκε περί τους 1,4 τόνους ξηρή βιομάζα/στρέμμα ενώ την ίδια περίοδο οι στρεμματικές

αποδόσεις καλλιέργειας όπου εφαρμόστηκε λίπανση 4 και 12 kg αζώτου ανά στρέμμα ήταν 2,1 και 2,5 τόνοι ξηρής βιομάζα/στρέμμα, αντίστοιχα.

Τέλος η άρδευση φαίνεται να έχει καθοριστικό ρόλο στις αποδόσεις του φυτού σε περιοχές όπου δεν παρατηρούνται βροχοπτώσεις κατά την περίοδο Ιουνίου – Αυγούστου.

1.9 Σύσταση και Διαχείριση

Το *Panicum virgatum* L. μπορεί καλλιεργηθεί σε εκτάσεις ακατάλληλες για την παραγωγή σειράς καλλιεργειών, συμπεριλαμβανομένων των εκτάσεων που έχουν υποστεί υψηλή διάβρωση από την καλλιέργεια του καλαμποκιού, καθώς και των αμμωδών και χαλικωδών εδαφών σε υγρές περιοχές που παράγουν συνήθως χαμηλές αποδόσεις σε σχέση με άλλες γεωργικές καλλιέργειες. Η εγκατάσταση της καλλιέργειας του switchgrass μπορεί να γίνει τόσο χωρίς όσο και με συμβατικό όργανο .

Οι βασικοί παράγοντες που μπορούν να αυξήσουν την επιτυχία εγκατάστασης του switchgrass είναι οι ακόλουθοι (Parrish *et al.*, 2008):

- Φύτευση του switchgrass αφού θερμανθεί καλά το έδαφος κατά τη διάρκεια της άνοιξης.
- Χρήση σπόρων με υψηλή βλαστικότητα και σπορά σε βάθος 0,6 έως 1,2 εκατοστά, ή σε βάθος μέχρι 2 εκατοστά σε αμμώδη εδάφη.
- Συμπύεση του εδάφους τόσο πριν, όσο και μετά τη σπορά.
- Μη παροχή λίπανσης στη φύτευση για την ελαχιστοποίηση του ανταγωνισμού με ζιζάνια.
- Έλεγχος των ζιζανίων με χημικές μεθόδους.

Το κόψιμο και τα κατάλληλα ζιζανιοκτόνα συνιστώνται για τον έλεγχο των ζιζανίων. Ο χημικός έλεγχος ζιζανίων μπορεί να πραγματοποιηθεί το φθινόπωρο. Τα ζιζάνια πρέπει να κόβονται ακριβώς πάνω από το ύψος του αναπτυσσόμενου switchgrass. Τα ζιζανιοκτόνα με ορμόνη, όπως το 2,4-D πρέπει να αποφεύγονται, καθώς είναι γνωστό ότι μειώνουν την ανάπτυξη του switchgrass όταν εφαρμόζονται στις αρχές της εγκατάστασης.

Η περίοδος από την εγκατάσταση του switchgrass μέχρι να εισέλθει στην πλήρη παραγωγική ανάπτυξή του μπορεί να διαρκέσει έως και τρία χρόνια (Samson R., 2007).

Μετά από την εγκατάσταση, η διαχείριση του switchgrass θα εξαρτηθεί από το αποτέλεσμα της σποράς. Ιδιαίτερη σημασία δίνεται στη διαχείριση του switchgrass ως ενεργειακό φυτό. Η καλλιέργεια απαιτεί μέτρια εφαρμογή λιπάσματος αζώτου. Η τυπική περιεκτικότητα σε άζωτο (N) το φθινόπωρο είναι 0,5% N. Εφαρμογές λιπάσματος αζώτου περί τα 5kgN/εκτάριο χρησιμοποιούνται για κάθε τόνο βιομάζας που απομακρύνεται και αποτελεί μία εκ των κατευθυντήριων γραμμών για την καλλιέργεια. Χημική καταπολέμηση για την αντιμετώπιση των ζιζανίων δεν χρησιμοποιείται συχνά στο switchgrass μετά το έτος σποράς, καθώς η καλλιέργεια είναι αρκετά ανταγωνιστική. Η συγκομιδή του Switchgrass μπορεί να γίνεται με τον ίδιο εξοπλισμό που χρησιμοποιείται για σανό παραγωγής, και είναι κατάλληλο για δεματοποίηση, ενώ δεν θα πρέπει να συγκομίζεται περισσότερες από δύο φορές το χρόνο και αποτελεί καλλιέργεια μεγάλων δυνατοτήτων για περαιτέρω χρήση του ως ενεργειακό φυτό (Parrish, *et al.*, 2008).

1.10 Το Switchgrass ως καλλιέργεια πολλαπλών ειδών

Το *Panicum virgatum* L. (Switchgrass) είναι ένα πολυετές C4, φωτοευαίσθητο αγροστώδες φυτό των εύκρατων ζωνών και αποτελεί ένα από τα κυρίαρχα είδη των λειμωνών της Βόρειας Αμερικής. Εμφανίστηκε όταν οι Ευρωπαίοι έφτασαν στην Κεντρική και Ανατολική Βόρεια Αμερική (Hitchcock, 1935). Οι Ευρωπαίοι χρησιμοποίησαν για πρώτη φορά το switchgrass ως αυτοφυές, ενώ με την πάροδο του χρόνου χρησιμοποιήθηκε ως καλλιεργούμενο φυτό. Σύμφωνα με έρευνα που έγινε αναφέρεται ότι ο σκοπός της αρχικής χρήσης του ήταν ως χορτονομή. Τα είδη που είχαν υπηρετήσει αυτό τον σκοπό, μαζί με άλλα είδη, αποτελούσαν για χιλιετίες τροφή των μηρυκαστικών ζώων στα οικοσυστήματα των «Great Plains» (Anderson, 2000; Coppedge *et al.*, 1998). Πράγματι, η οικολογία του switchgrass είναι άρρηκτα συνδεδεμένη με τη βόσκηση των ζώων (Eom *et al.*, 2001; Wallace, 1987) και τις περιοδικές και

έντονες πυρκαγιές (Cuomo *et al.*, 1998; Knapp, 1985; Rice and Parenti, 1978).

Οι πρώτες επιστημονικές εκθέσεις για το φυτό επικεντρώθηκαν στη βοτανική περιγραφή του και στις αξιολογήσεις των φαινοτυπικών διακυμάνσεων μεταξύ των νέων βελτιωμένων γονοτύπων (Cornelius and Johnston, 1941; Eberhart and Newell, 1959; Newell and Eberhart, 1961; Nielsen, 1947). Μέχρι τα τέλη του 20^{ου} αιώνα πραγματοποιήθηκαν λίγες έρευνες για το *Panicum virgatum* L. ως καλλιεργούμενο είδος. Από προηγούμενες αγρονομικές μελέτες το φυτό αναφέρεται ως ένα «γηγενές» φυτό ζεστών περιοχών (Cornelius, 1944). Το Switchgrass συνεχίζει να μελετάται κατά καιρούς σε μείγματα ή ως αντικαταστάτης λιβαδικών οικοσυστημάτων, όπου και αναφέρεται ότι μπορεί να χρησιμοποιηθεί και σε σύστημα μονοκαλλιέργειας (Bentivenga and Hetrick, 1991; Berg, 1995; Cuomo *et al.*, 1998; Turner *et al.*, 1993).

Η μετάβαση του Switchgrass από τη σχετική αφάνεια της ύπαρξης του ως "χορτονομή" για να μελετηθεί και να αντιμετωπίζεται ως μονοκαλλιέργεια έλαβε μέρος τη δεκαετία του 1970 (Balasko and Smith, 1971; Berg, 1971). Η πρώιμη γεωπονική εργασία επικεντρώθηκε σε μεγάλο βαθμό σε παράγοντες που σχετίζονται με την αξία και την απόδοση της κτηνοτροφίας και συνεχίζονται και σήμερα (Anderson, 2000). Η πρόσληψη (Burns and Sollenberger, 2002), η θρεπτική αξία (Moore *et al.*, 2004) και η τοξικολογία (Lee *et al.*, 2001; Puoli *et al.*, 1992) του switchgrass σαν κτηνοτροφική καλλιέργεια εξακολουθούν να μελετούνται εκτενώς. Όταν χρησιμοποιείται ως χορτονομή συνήθως γίνεται για βόσκηση, αλλά μπορεί επίσης να χρησιμοποιηθεί και για την παραγωγή σανού και ενσίρωσης (Balasko and Burner, 1981; McLaughlin *et al.*, 2004; Sanderson, 2000).

Σύμφωνα με δημοσίευση που έγινε για τις εναλλακτικές χρήσεις για τα θερμής εποχής αγρωστώδη κτηνοτροφικά φυτά, συμπεριλαμβάνεται και το *Panicum virgatum* L. όπου τα τελευταία 20 χρόνια, έχει αρχίσει να μελετάται ευρέως για μη κτηνοτροφικούς σκοπούς και ειδικά για τη βιοενέργεια. Αυτή η αναθεώρηση θα επικεντρωθεί στις δυνατότητες του switchgrass ως πρώτη ύλη βιοενέργειας, αλλά είναι σημαντικό να αναφερθούν και οι υπόλοιπες χρήσεις του φυτού. Ορισμένες δημοσιεύσεις επικεντρώνονται στην οικολογία, τα οικονομικά ή ένα σύστημα παραγωγής βιοκαυσίμων (Goodman

et al., 1991; McLaughlin *et al.*, 2002; McLaughlin and Walsh, 1998; Sanderson *et al.*, 2004; Vaughan *et al.*, 1989). Το switchgrass εκτός από τη χρήση τους ως ζωοτροφή ή πρώτη ύλη βιοκαυσίμων, έχει μεγάλη αξία και για τον έλεγχο της διάβρωσης του εδάφους. Όπως και με άλλα χόρτα και ειδικά όταν χρησιμοποιούνται για την παραγωγή βιομάζας (Kort *et al.*, 1998; Vaughan *et al.*, 1989) το switchgrass αποτελείται από ένα εκτεταμένο δίκτυο ριζών το οποίο μπορεί να μειώσει τις επιπτώσεις από τις σταγόνες της βροχής, την απορροή και τη διάβρωση (Ichizen *et al.*, 2001; Self-Davis *et al.*, 2003).

Επίσης χρησιμοποιήθηκε εκτενώς σε εκτάσεις που προορίζονται για το πρόγραμμα “Διατήρησης και Εξασφάλισης για την ελαχιστοποίηση της διάβρωσης” (Jewett *et al.*, 1996; Mitchell and Britton, 2000; Moser and Vogel, 1995; Schacht *et al.*, 1998).

Η αξία του switchgrass ως ρυθμιστής κεκλιμένων εκτάσεων (Dillaha *et al.*, 1989), είναι συνέπεια της μορφολογίας του φυτού, όπου τα δύσκαμπτα στελέχη του μπορούν να δράσουν ως φράκτες, ώστε να επιβραδύνουν την απορροή και να προωθήσουν την διείσδυση (Alberts *et al.*, 2001; Becker, 1992; Blanco-Canqui *et al.*, 2004; Kemper *et al.*, 1992; Lee *et al.*, 2003). Το φυτό φυτεύεται στις άκρες των αγρών ή κατά μήκος των ρευμάτων όπου μπορούν να μειώσουν τις απώλειες απορροής N και P (Blanco-Canqui *et al.*, 2004; Ball *et al.*, 2000; Lee *et al.*, 2003; Sanderson *et al.*, 2001).

Επίσης, έχει αποδειχθεί ότι το switchgrass διευκολύνει τη διάσπαση ή την απομάκρυνση των ρύπων του εδάφους, συμπεριλαμβανομένων των ζιζανιοκτόνων (Belden and Coats, 2004; Belden *et al.*, 2004; Lin *et al.*, 2003), τα πολυχλωριωμένα διφαινύλια (Dzantor *et al.*, 2000), τους πολυπύρηνους αρωματικούς υδρογονάνθρακες (Pradhan *et al.*, 1998) και το χρώμιο (Shahandeh and Hossner, 2000).

Λόγω της μορφολογίας τους και της σχετικής ακαμψίας του, το switchgrass έχει όχι μόνο καλή αντίσταση στο νερό αλλά και στη ροή του αέρα κοντά στην επιφάνεια του εδάφους. Η αξία του φυτού που χρησιμοποιείται ως ανεμοφράκτης για τον έλεγχο της διάβρωσης και για την αλλαγή του μικροκλίματος έχει μελετηθεί από διάφορες ομάδες (Bilbro and Fryrear, 1997; Kemper *et al.*, 1992; Retta *et al.*, 2000).

Επιπλέον, μια άλλη οικολογική ή περιβαλλοντική αξία που έχει αποδοθεί στο φυτό είναι αυτή του ενδιαιτήματος της άγριας ζωής, ιδίως για τα πουλιά. Ορισμένα είδη ασπόνδυλων (Gottwald and Adam, 1998), καθώς και τα ερπετά, αμφίβια και θηλαστικά (Clark *et al.*, 1998; Clark *et al.*, 1989; Schwartz and Whitson, 1987), προτιμούν τη σκιά που δημιουργεί το φυτό. Ειδικά όταν μεγαλώνουν κοντά σε άλλους τύπους οικοσυστημάτων (π.χ. τα εύκρατα λιβάδια, δάση ή υγροτόπους), τότε μπορούν να παρέχουν ποικίλους οικότοπους που ευνοούν μερικά είδη (Bock *et al.*, 1995; Clark *et al.*, 1998; Giuliano and Daves, 2002). Από την άλλη πλευρά, η εντατική εκμετάλλευση του switchgrass θα μπορούσε να έχει αρνητικές επιπτώσεις σε ορισμένα είδη πτηνών των οποίων τα ενδιαιτήματα μετατρέπονται σε ενεργειακές καλλιέργειες (McCoy *et al.*, 2001; Murray *et al.*, 2003). Ορισμένες μελέτες έδειξαν ότι το switchgrass μπορεί να ελαχιστοποιήσει τις παραπάνω αρνητικές επιπτώσεις που παρουσιάζονται όταν καλλιεργείται σε συστήματα παραγωγής ενέργειας, κυρίως σε λιβάδια που κατοικούν πουλιά (Murray and Best, 2003).

Ορισμένες καλλιεργούμενες ποικιλίες του *Panicum virgatum* L. έχουν αυξημένη αξία ως καλλωπιστικά φυτά (Davidson and Gobin, 1998), ή ως λουλούδια σε άγρια λιβάδια (Haynes *et al.*, 1997). Επίσης, το φυτό έχει τη δυνατότητα να χρησιμοποιηθεί ως πρώτη ύλη πολτού λόγω των ινών, αλλά λόγω της περιεκτικότητας σε λιγνίνη (Dinesh and Roy, 1999; Fox *et al.*, 1999; Goel *et al.*, 2000; Ververis *et al.*, 2004). Ορισμένοι μελετητές έχουν διερευνήσει το δυναμικό του είδους για την παραγωγή φαρμακευτικών και χημικών διαφόρων τύπων (Lau *et al.*, 2004). Μερικά άλλα ασυνήθιστα παραδείγματα για τη χρησιμότητα της βιομάζας του switchgrass είναι ο φιλοκομμένος βλαστός του για υπόστρωμα στην εμπορική παραγωγή μανιταριών (Royle *et al.*, 2004).

1.11 Χρήσεις

Το Switchgrass μπορεί να χρησιμοποιηθεί ως πρώτη ύλη για παραγωγή ενέργειας από βιομάζα, ως κάλυψη του εδάφους για τη διατήρησή του και για τον έλεγχο της διάβρωσης, για ζωοτροφή και βόσκηση και ως πρώτη ύλη για τα βιοαποικοδομήσιμα πλαστικά.

Μπορεί να χρησιμοποιηθεί από τους εκτροφείς βοοειδών για σανό και ως υποκατάστατο του σανού του σιταριού σε πολλές εφαρμογές και ως υπόστρωμα για την καλλιέργεια μανιταριών.

1.12 Διατήρηση του εδάφους

Το Switchgrass είναι χρήσιμο για την διατήρηση του εδάφους, ιδιαίτερα στις Ηνωμένες Πολιτείες και τον Καναδά, όπου το switchgrass είναι ενδημικό. Η διάβρωση του εδάφους, από τον αέρα και το νερό, προκαλεί ανησυχία σε περιοχές όπου το switchgrass αναπτύσσεται. Λόγω του ύψους του, το φυτό μπορεί να σχηματίσει ένα αποτελεσματικό φράγμα κατά της διάβρωσης του ανέμου (USDA, 2008). Το ριζικό του σύστημα, επίσης, είναι εξαιρετικό για τη συγκράτηση του εδάφους, η οποία βοηθά στην πρόληψη της διάβρωσης από τις πλημμύρες και την απορροή.

1.13 Τροφή και βόσκηση

Το *Panicum virgatum* L. είναι μια εξαιρετική ζωοτροφή για τα βοοειδή, ωστόσο έχει αποδειχθεί τοξικό σε άλογα, πρόβατα και αίγες μέσω χημικών ενώσεων, οι οποίες προκαλούν φωτοευαισθησία και βλάβη του ήπατος σε αυτά τα ζώα (Lee, *et al.*, 2001, Johnson, *et al.*, 2006, Stegelmeier, *et al.*, 2007). Συνιστάται η βόσκηση να αρχίζει όταν τα φυτά έχουν ύψος περίπου 50cm και να διακόπτεται όταν τα φυτά έχουν φαγωθεί μέχρι ύψος περίπου 25cm. Για να ακολουθήσει η επόμενη βόσκηση απαιτείται χρονικό διάστημα 30 -45 ημέρες (Ball, *et al.*, 2006).

Κατά τη συγκομιδή του switchgrass για σανό, η πρώτη κοπή πραγματοποιείται γύρω στα μέσα Ιουνίου και αυτό θα επιτρέψει μια δεύτερη κοπή στα μέσα Αυγούστου, επιτρέποντάς το να επιβιώσει το χειμώνα (Wolf, *et al.*, 1995).

1.14 Σκοπός

Σκοπός της παρούσας εργασίας είναι η μελέτη πρόσληψης των μακροστοιχείων N, P, K, από το πολυετές ενεργειακό φυτό *Panicum virgatum* L. κοινώς «switchgrass» στην κεντρική Ελλάδα. Ο προσδιορισμός της σχέσης απόδοσης ξηρής βιομάζας προς άζωτο (N), φώσφορο (P) και κάλιο (K) που προσλαμβάνονται από το φυτό σε δύο διαφορετικά στάδια ανάπτυξης (1^ο πριν την ανθοφορία και 2^ο κατά την τελική συγκομιδή). Τέλος ο προσδιορισμός της κατανομής των μακροστοιχείων N-P-K στα διάφορα μέρη του φυτού στα δύο προαναφερθέντα στάδια ανάπτυξης, στο Θεσσαλικό κάμφο που αποτελεί τη μεγαλύτερη πεδιάδα και το κέντρο της γεωργικής παραγωγής της χώρας.

2. ΠΕΙΡΑΜΑΤΙΚΟ ΜΕΡΟΣ

ΥΛΙΚΑ ΚΑΙ ΜΕΘΟΔΟΙ

2.1 Πειραματικός αγρός

Το πείραμα πραγματοποιήθηκε στην περιοχή του Βελεστίνου στο αγρόκτημα του Πανεπιστημίου Θεσσαλίας, που βρίσκεται στα βόρειο-δυτικά της πόλης του Βόλου. Η εγκατάσταση του πειραματικού αγρού είχε πραγματοποιηθεί το 2010, έκτασης 2 στρεμμάτων και αποτελούσε μέρος διδακτορικής διατριβής. Η εγκατάσταση της καλλιέργειας στη συγκεκριμένη τοποθεσία έδωσε τη δυνατότητα να μελετηθεί η πρόσληψη των μακροστοιχείων από το φυτό σε αργιλοπηλώδες έδαφος.

Σύμφωνα με τις εδαφολογικές αναλύσεις, το χώμα στο Βελεστίνο είναι ασβεστούχο με pH= 8,1-8,3, αργιλοπηλώδες έως πηλώδες με σύσταση: άμμος 19-21%, πηλός 39-41% και άργιλος 38-42% και πλούσιο σε οργανική ουσία (Γιαννούλης, 2014). Το έδαφος στο Βελεστίνο χαρακτηρίζεται ως Calsixerollic Xerochrept (USDA, 1975).

Οι μετρήσεις της παρούσας έρευνας, αφορούν τις δειγματοληψίες που πραγματοποιήθηκαν το 2012. Στον Πίνακα 2.1.1, φαίνονται οι εδαφολογικές μετρήσεις που έγιναν στον πειραματικό αγρό πριν την εγκατάσταση της καλλιέργειας (Γιαννούλης, 2014).

Πίνακας 2.1.1: Χημικές ιδιότητες του υπό μελέτη εδάφους στον πειραματικό αγρό πριν την εγκατάσταση της καλλιέργειας το έτος 2010.

Βάθος Ιδιότητα	0 – 10 cm	10- 40 cm
Ολικό N (‰)	1,68	1,04
Οργανική ουσία (%)	2,7	2,3
Διαθέσιμος P(mg/kg)	8	4
Διαθέσιμο K (mg/kg)	254	178

2.2 Πειραματικό σχέδιο

Το σχέδιο που χρησιμοποιήθηκε για την διεξαγωγή του πειράματος ήταν των Υποδιαιρεμένων Τεμαχίων (split - plot design) 2x4 με 4 επαναλήψεις. Στα κύρια τεμάχια εφαρμόστηκαν δύο επίπεδα άρδευσης και στα υποτεμάχια εφαρμόστηκαν τέσσερα διαφορετικά επίπεδα αζωτούχου λίπανσης.

Ο πειραματικός αγρός που χρησιμοποιήθηκε είχε έκταση 1815 m² (33 m x 55 m). Οι επαναλήψεις είχαν διαστάσεις 7,5 m x 52 m= 390 m² και αποτελούνταν από 8 πειραματικά υποτεμάχια εμβαδού 48,75 m² (7,5 m x 6,5 m).

Στο πειραματικό σχέδιο εφαρμόστηκαν δύο επίπεδα άρδευσης εκ των οποίων το πρώτο επίπεδο ήταν μη αρδευόμενο με 0 mm νερού και το δεύτερο ήταν αρδευόμενο με 250 mm νερού.

Πιο συγκεκριμένα:

-Επίπεδο I₁ : 0 mm άρδευσης

-Επίπεδο I₂ : 250 mm άρδευσης

Ακόμη, εφαρμόστηκαν τέσσερα επίπεδα αζωτούχου λίπανσης (N) με ουρία (46-0-0) όταν το φυτό είχε φτάσει σε ύψος από 60-90 cm και οι αναλογίες σε κάθε επίπεδο ήταν οι εξής:

-N₁ : 0 kg/στρ.

-N₂ : 8 kg/στρ.

-N₃ : 16 kg/στρ.

-N₄ : 24 kg/στρ.

N-0		N-8		N-16		N-24	Αρδευόμενο
N-8		N-16		N-24		N-0	
N-16		N-24		N-0		N-8	
N-24		N-0		N-8		N-16	
							Μη αρδευόμενο
N-24		N-0		N-8		N-16	
N-16		N-24		N-0		N-8	
N-8		N-16		N-24		N-0	
N-0		N-8		N-16		N-24	
ΕΠΑΝΑΛΗΨΗ I		ΕΠΑΝΑΛΗΨΗ II		ΕΠΑΝΑΛΗΨΗ III		ΕΠΑΝΑΛΗΨΗ IV	

Σχήμα 2.1. Πειραματικό σχέδιο της καλλιέργειας *Panicum virgatum* L. στην περιοχή του Βελεστίνου το 2012.

2.3 Τρόπος δειγματοληψίας

Σε κάθε κοπή επιλέγονταν τυχαία όσα φυτά βρισκόνταν σε πλαίσιο 1 m² από το κάθε πειραματικό υποτεμάχιο. Η επιλογή των φυτών γινόταν συνήθως από το κέντρο του υποτεμαχίου. Αυτό έγινε επειδή παράγοντες όπως η λίπανση, απαιτούν μεγάλα τεμάχια γιατί η επίδρασή τους επεκτείνεται και στα άλλα τεμάχια, ώστε μεταξύ τεμαχίων πρέπει να υπάρχουν περιθωριακές γραμμές, που θα εξομαλύνουν την επίδραση του περιθωρίου – border effect – ενώ οι μετρήσεις θα γίνονται στο κεντρικό τμήμα του τεμαχίου δηλαδή στις πειραματικές γραμμές.

2.4 Αριθμός δειγμάτων

Σε κάθε κοπή ελήφθησαν 32 δείγματα [8 ανά επανάληψη (2 αρδεύσεις × 4 Ν-λιπάνσεις) × 4 επαναλήψεις]. Κατόπιν, 32 υποδείγματα μεταφέρονταν στο εργαστήριο όπου γινόταν περαιτέρω επεξεργασία. Τα επιμέρους φυτικά μέρη (βλαστοί, φύλλα, κτλ) τοποθετούνταν σε χάρτινες σακούλες για ξήρανση σε αεροξηραντήριο στους 65°C μέχρι να αποκτήσουν σταθερά βάρη και να γίνει περαιτέρω ανάλυση φυλλοδιαγνωστικής.

2.5 Φυλλοδιαγνωστική

Στα βλαστικά μέρη του φυτού, που είναι τα φύλλα, ο βλαστός, τα ξερά (καφέ) φύλλα και η ανθοταξία, κατόπιν της αεροξήρανσης έλαβε μέρος ο μικροθρυματισμός. Έπειτα έγινε ανάλυση των μακροστοιχείων Ν, Ρ και Κ σε δύο στάδια ανάπτυξης. Ο αριθμός των δειγμάτων που χρησιμοποιήθηκαν ανά μεταχείριση για κάθε μακροστοιχείο ήταν τέσσερα.

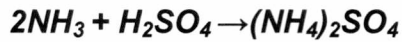
2.6 Προσδιορισμός ολικού αζώτου (N) στο φυτικό ιστό

Ο προσδιορισμός του ολικού αζώτου στον φυτικό ιστό γίνεται με τη μέθοδο Kjeldahl (Bremner & Mulvaney, 1982). Η συγκεκριμένη μέθοδος περιλαμβάνει:

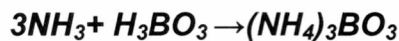
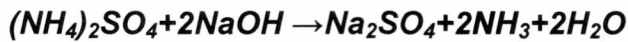
A) Την καύση του δείγματος πιο συγκεκριμένα μετατροπή του οργανικού Ν σε $\text{NH}_4^+\text{-N}$ με την παρουσία πυκνού H_2SO_4 και καταλυτών.

B) Τον προσδιορισμό του $\text{NH}_4^+\text{-N}$, όπου ο προσδιορισμός του γίνεται μέσω της συλλογής της NH_3 που απελευθερώνεται από την απόσταξη και μέσω της τιτλοδότησης που γίνεται ανάλυση του αποστάγματος για $\text{NH}_4^+\text{-N}$.

Σύμφωνα με τη μέθοδο Kjeldahl ορισμένη ποσότητα ξηρού δείγματος του φυτικού ιστού τοποθετείται στον πυθμένα σωλήνα καύσης. Κατά την υγρή καύση, η οργανική ουσία οξειδώνεται μέσω βρασμού με θειικό οξύ (H_2SO_4) παρουσία καταλύτη και το άζωτο, εκτός του νιτρικού, μετατρέπεται σε αμμωνία και αυτή σε θειικό αμμώνιο:



Κατά την απόσταξη το θειικό αμμώνιο σε θερμό αλκαλικό περιβάλλον (προσθήκη περίσσειας NaOH) διασπάται και παράγεται αμμωνία, η οποία στη συνέχεια υγροποιείται και διαβιβάζεται σε διάλυμα βορικού οξέος, όπου δεσμεύεται με τη μορφή βορικού αμμωνίου. Έπειτα ακολουθεί ογκομέτρηση με υδροχλωρικό οξύ και δείκτη μίγμα ερυθρού του μεθυλίου και πράσινου της βρωμοκρεσόλης. Τέλος, ο όγκος του πρότυπου διαλύματος HCl που καταναλώθηκε μετατρέπεται σε ποσότητα αζώτου. Οι αντιδράσεις παραγωγής και δέσμευσης της αμμωνίας έχουν ως εξής:



Ο υπολογισμός της περιεκτικότητας σε N (% ξηρού βάρους) των δειγμάτων έγινε με τη βοήθεια της σχέσης:

$$\text{Ολικό άζωτο N\%} = (\alpha * 0,14) / \beta.$$

Όπου: α = ml διαλύματος H_2SO_4 που καταναλώθηκαν κατά την ογκομέτρηση και β = τα γραμμάρια του εδαφικού δείγματος.

2.7 Προσδιορισμός φωσφόρου (P) στο φυτικό ιστό

Ο προσδιορισμός του φωσφόρου στο φυτικό ιστό γίνεται με τη μέθοδο της ξηρής καύσης με τη χρήση φασματοφωτόμετρου. Στη συγκεκριμένη μέθοδο χρησιμοποιήθηκαν τα διαλύματα μολυβδαινικού αμμωνίου και μεταβαναδικού αμμωνίου και πυκνό νιτρικό οξύ. Η μέτρηση έγινε σε φασματοφωτόμετρο, σε μήκος κύματος 470 nm. Οι ενδείξεις του οργάνου σε ppm πολλαπλασιάζονται επί το συντελεστή αραίωσης (500) και στη συνέχεια διαιρούνται με το 10.000. Η τιμή που προκύπτει δίνει την % περιεκτικότητα του φυτικού δείγματος σε φώσφορο (P) (Jones & Case, 1990).

2.8 Προσδιορισμός καλίου (Κ) στο φυτικό ιστό

Ο προσδιορισμός του καλίου στον φυτικό ιστό γίνεται με τη μέθοδο της ξηρής καύσης με τη χρήση φλογοφωτόμετρου. Σημειώνονται με τη βοήθεια του φλογοφωτόμετρου οι ενδείξεις για τα δείγματα και για τα standards.

Από την καμπύλη αναφοράς που κατασκευάζεται με βάση τις ενδείξεις του οργάνου προς τις γνωστές συγκεντρώσεις καλίου των standards, προκύπτει πόσα ppm καλίου περιέχει το προς μέτρηση διάλυμα. Έτσι, η τιμή που προκύπτει πολλαπλασιάζεται επί τον συντελεστή αραιώσης που είναι 1000 και στη συνέχεια, διαιρείται διά 10.000. Η τελική τιμή είναι η περιεκτικότητα (%) καλίου στο δείγμα των φύλλων που αναλύθηκε (Jones & Case, 1990).

2.9 Στατιστική ανάλυση

Η στατιστική ανάλυση και μελέτη των αποτελεσμάτων έγινε με τη βοήθεια του στατιστικού πακέτου GENSTAT 7th edition, και το λογιστικό Excel της Microsoft.

Η επιλογή του πειραματικού σχεδίου των υποδιαιρεμένων τεμαχίων με κύρια τεμάχια και υποτεμάχια (split – plot design) επιλέχθηκε για τη διερεύνηση της επίδρασης των δύο παραγόντων (επίπεδα άρδευσης, επίπεδα αζωτούχου λίπανσης) καθώς και την αλληλεπίδραση αυτών στην πρόσληψη στοιχείων κ.ά.

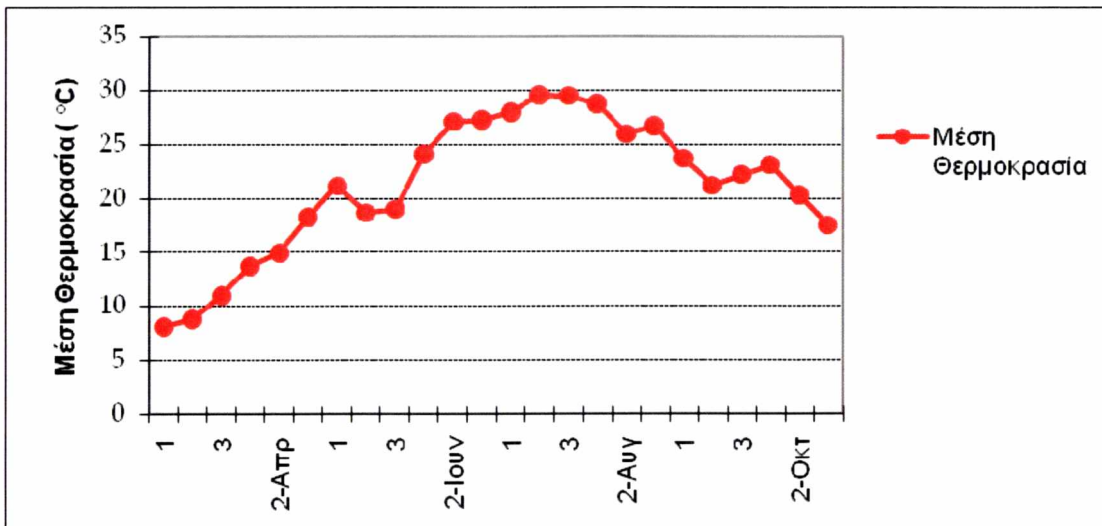
Για την εύρεση της σχέσης που συνδέει δύο μεταβλητές, υπολογίστηκε ο συντελεστής συσχέτισης, ο οποίος περιγράφει τη στατιστική σημαντικότητα της σχέσης δύο μεταβλητών.

3. ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ

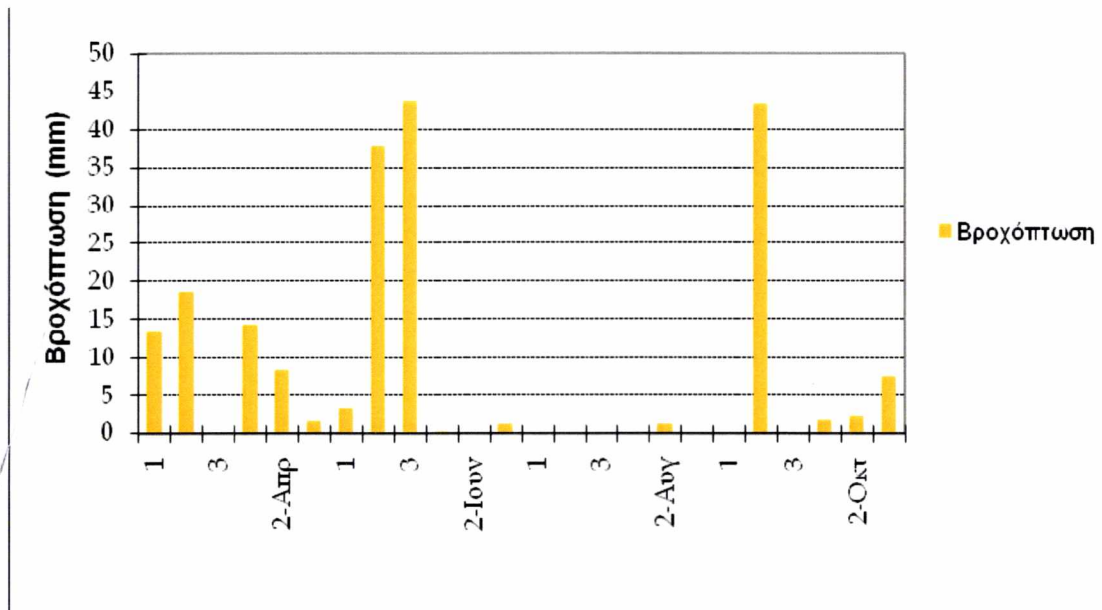
3.1 Μετεωρολογικά δεδομένα

Τα μετεωρολογικά δεδομένα για την περιοχή του Βελεσίνου το έτος 2012 προέρχονταν από το μετεωρολογικό σταθμό του Εργαστηρίου Γεωργικής Υδραυλικής. Οι μετεωρολογικές μετρήσεις καταγράφονταν ανά δεκάλεπτο από το σταθμό που ήταν εγκατεστημένος στον πειραματικό αγρό του Βελεσίνου, ώστε να διαπιστωθούν οι συνθήκες που επικρατούσαν στον αγρό κατά τη διάρκεια που ήταν εγκατεστημένη η πειραματική καλλιέργεια.

Η περιοχή του Βελεσίνου όπου πραγματοποιήθηκε το πείραμα χαρακτηρίζεται από μεσογειακό κλίμα, με ξηροθερμικά καλοκαίρια και ψυχρούς και υγρούς χειμώνες.



καλοκαιρινούς μήνες (Ιούνιο – Αύγουστο) η μέση θερμοκρασία αέρος έφτασε τους 27,5 °C.



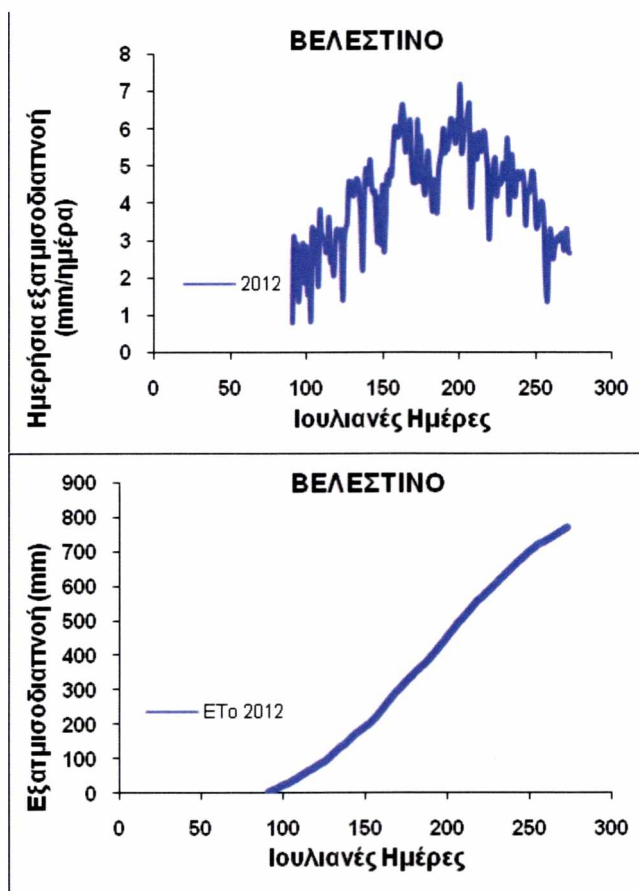
Σχήμα 3.1.2. Μέση βροχόπτωση ανά 10ήμερο κατά το έτος 2012 στην περιοχή του Βελεστίνου (Μαγνησίας).

Όπως φαίνεται στο Σχήμα 3.1.2, τους ανοιξιότικους μήνες (Μάρτιο – Μάιο) υπήρξαν αρκετές βροχοπτώσεις, ενώ κατά τη διάρκεια του καλοκαιριού (Ιούνιο – Αύγουστο) ήταν σχεδόν ανύπαρκτες. Πιο συγκεκριμένα για την περίοδο ανάπτυξης (Απρίλιο – Οκτώβριο) η σημειωθείσα βροχόπτωση ήταν 164,2 mm, ενώ το καλοκαίρι όπου η βροχόπτωση ήταν ανύπαρκτη το ύψος του υετού που σημειώθηκε ήταν 2,6 mm.

Τέλος προκύπτει ότι, στην περιοχή του Βελεστίνου το έτος 2012 οι συνθήκες θερμοκρασίας και υγρασίας που επικρατούσαν ήταν ιδανικές κατά την περίοδο επαναβλάστησης της καλλιέργειας του *Panicum virgatum* L. (Απρίλιο-Μάιο), ενώ το καλοκαίρι ήταν θερμό και ιδιαίτερα ξηρό, αφού η βροχόπτωση ήταν ανύπαρκτη (2,6 mm).

3.2 Εξατμισοδιαπνοή

Στην περιοχή του Βελεστίνου η εξατμισοδιαπνοή κυμάνθηκε για το έτος 2012 περί τα 770 mm, τιμή τριπλάσια της μέσης βροχόπτωσης (Σχ. 3.2.1) για τις περιόδους ανάπτυξης (Απρίλιο-Σεπτέμβριο 2012).

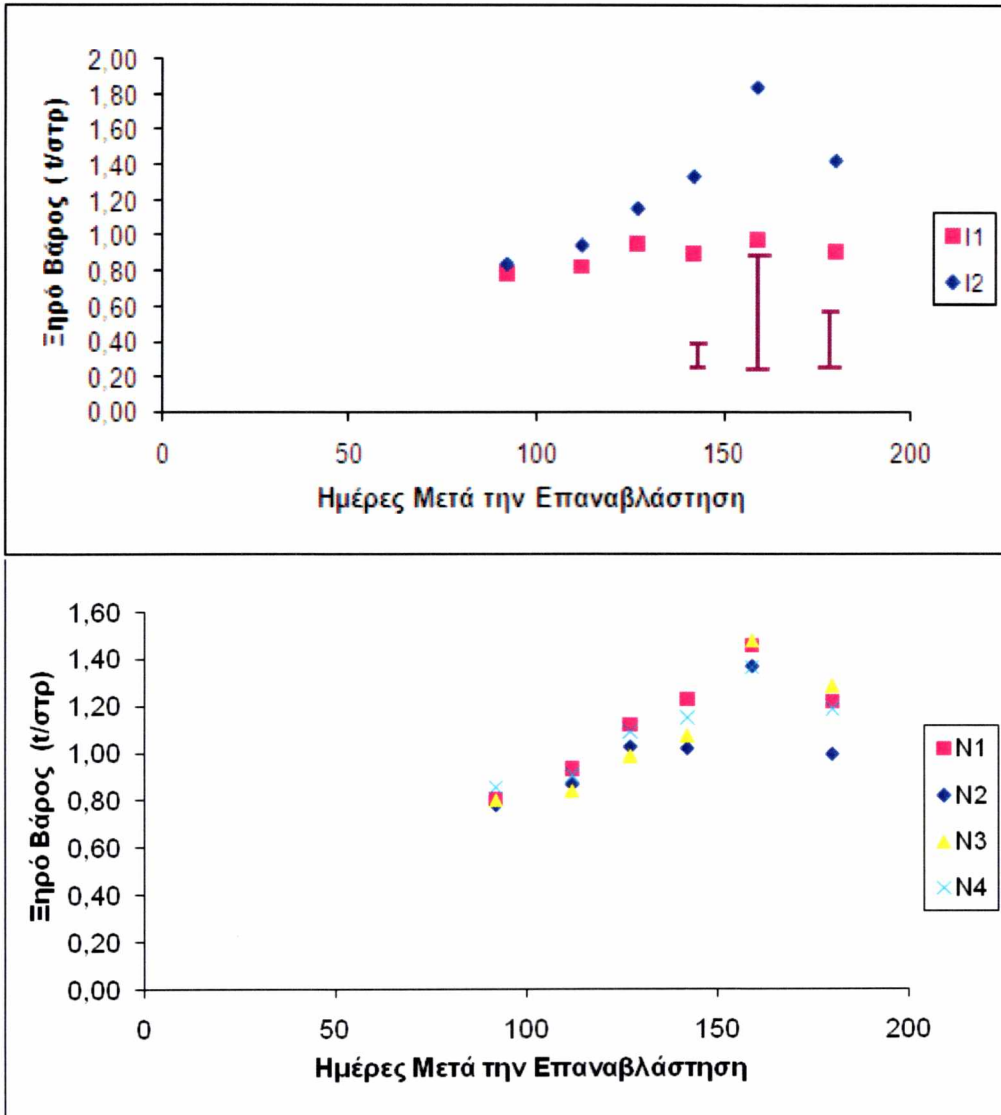


Σχήμα 3.2.1. Ημερήσια (πάνω διάγραμμα) και συνολική (κάτω διάγραμμα) εξατμισοδιαπνοή το έτος 2012 στο Βελεστίνου (Μαγνησίας).

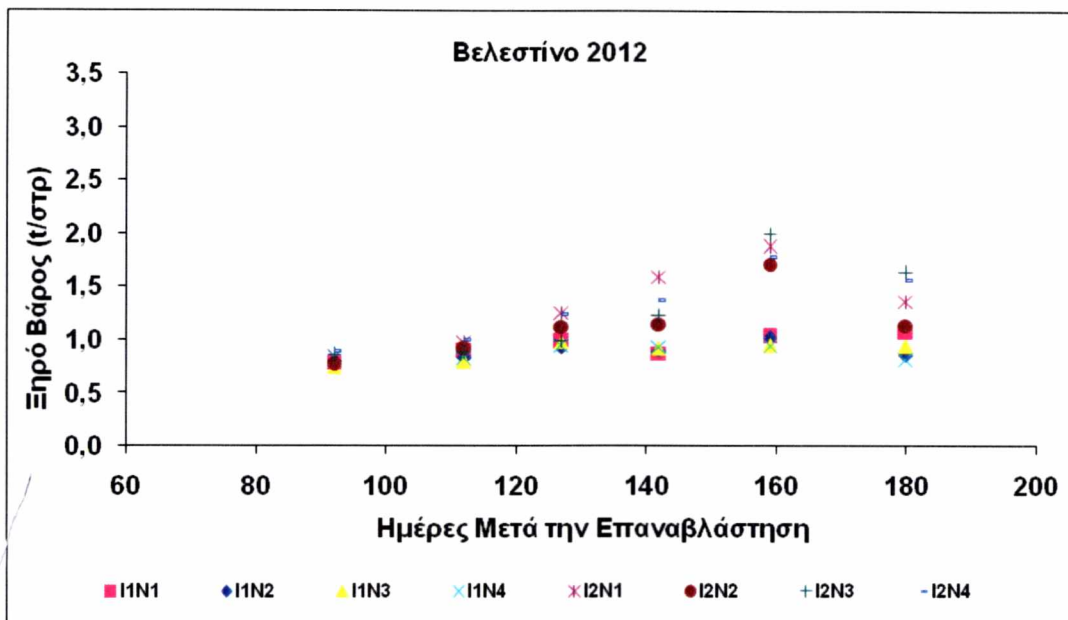
Συμπεραίνουμε λοιπόν ότι στην περιοχή του Βελεστίνου η συνολική ποσότητα άρδευσης και η βροχόπτωση καλύπτουν το 60% της σημειωθείσας εξατμισοδιαπνοής.

3.3 Ξηρό βάρος

Η μεταβολή του ξηρού βάρους για τους παράγοντες μελέτης άρδευσης και N-ούχου λίπανσης παρουσιάζεται στα παρακάτω Σχήματα 3.3.1. και 3.3.2.



Σχήμα 3.3.1. Η μεταβολή του ξηρού βάρους των φυτών του switchgrass στο Βελεστίνο του έτους 2012 για τα 2 διαφορετικά επίπεδα άρδευσης (πάνω διάγραμμα) και τα 4 διαφορετικά επίπεδα N-ούχου λίπανσης (κάτω διάγραμμα) τις ημέρες μετά την επαναβλάστηση.



Σχήμα 3.3.2. Συνολική μεταβολή του ξηρού βάρους των φυτών του switchgrass για τα 2 διαφορετικά επίπεδα άρδευσης και τα 4 διαφορετικά επίπεδα N-ούχου λίπανσης ως προς τις ημέρες μετά την επαναβλάστηση.

Στην παρούσα μελέτη παρατηρήθηκε ότι η ξηρή βιομάζα του switchgrass (ποικιλία Alamo) επηρεάστηκε στατιστικώς σημαντικά (Πίνακας 1) από τα επίπεδα άρδευσης και κυρίως στην ξηρή περιοχή του Βελεστίνου. Αντιθέτως, σε έρευνα που πραγματοποιήθηκε στο κεντρικό Τέξας, οι Stroup *et al* (2003) αναφέρουν ότι ο παράγοντας της άρδευσης για την ποικιλία Alamo δεν επέφερε καμία στατιστικώς σημαντική διαφορά. Αυτό ίσως να οφείλεται στη βροχόπτωση. Πιο συγκεκριμένα το switchgrass ευδοκμεί ως ξηρική καλλιέργεια σε περιοχές με μέση βροχόπτωση τα 550 mm. Στο Βελεστίνο όπου η βροχόπτωση κυμαίνεται στα 150 mm, η άρδευση αποτελεί σημαντικό παράγοντα ανάπτυξης.

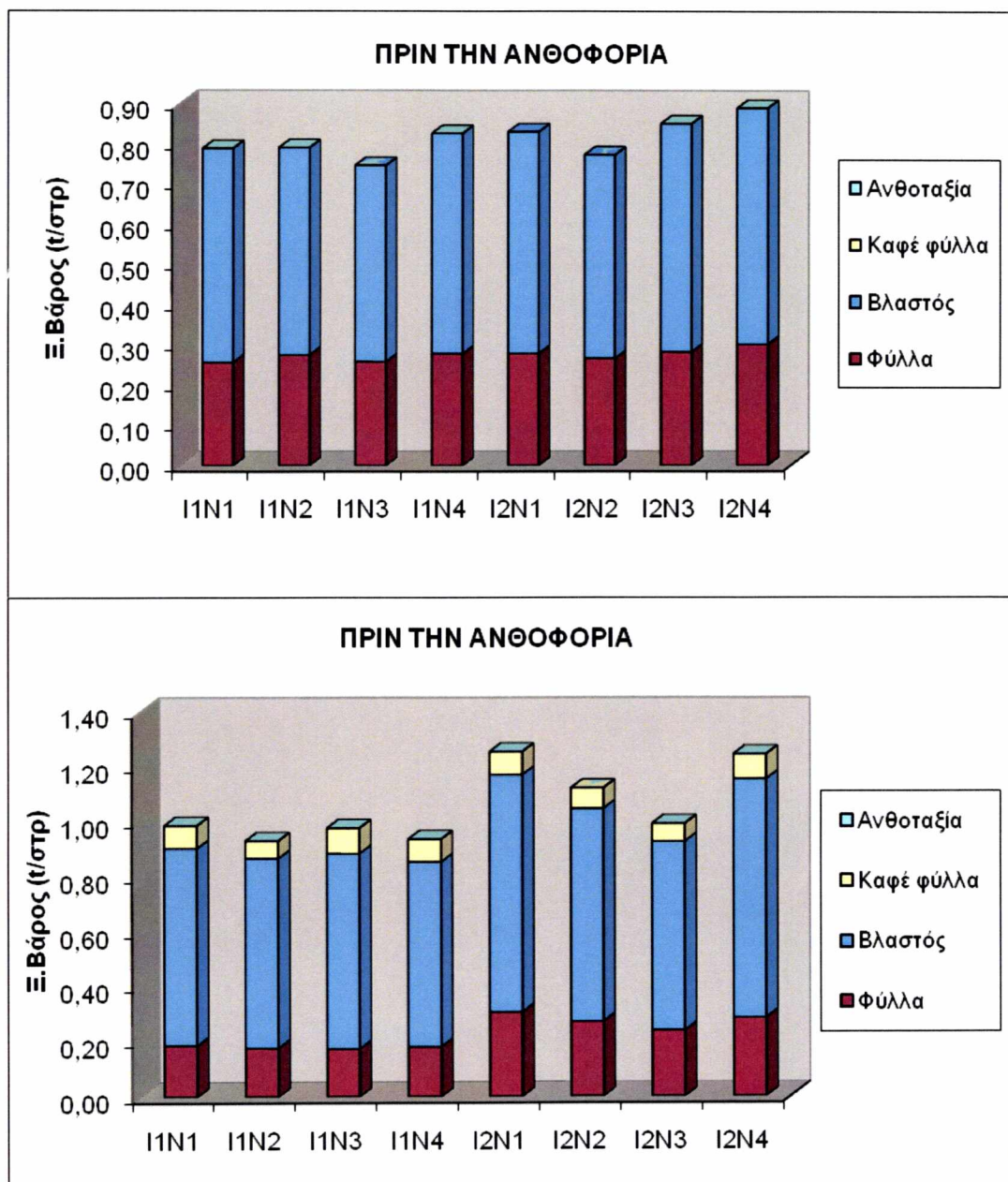
Σύμφωνα με το Σχήμα 3.3.1. στην περιοχή του Βελεστίνου το έτος 2012 για τα επίπεδα άρδευσης I1 και I2, η καλλιέργεια αυξάνοταν από την επαναβλάστηση μέχρι τα μέσα Αυγούστου. Επίσης, παρατηρείται ότι για το διάστημα από τις αρχές Ιουλίου μέχρι μέσα Αυγούστου οι ρυθμοί αύξησης για την ξηρική καλλιέργεια μειώθηκαν, ενώ για την αρδευόμενη διατηρήθηκε.

Πίνακας 1. Ξηρό βάρος του switchgrass (t/στρ.) για 2 επίπεδα άρδευσης (I1,I2) και 4 επίπεδα N-ούχου λίπανσης (N1,N2,N3,N4) στον πειραματικό αγρό του Βελεσίνου το έτος 2012. (I1:0mm, I2:250mm, N1:0kg/στρ., N2:8kg/στρ., N3:16kg/στρ., N4:24kg/στρ.).

Ξηρό βάρος (t/στρ)						
	1 ^η	2 ^η	3 ^η	4 ^η	5 ^η	6 ^η
	κοπή	κοπή	κοπή	κοπή	κοπή	Κοπή
Επίπεδα άρδευσης						
Ξηρικό (I1:0mm)	0,79	0,83	0,96	0,90	0,95	0,92
Γιοτιστικό (I2:250mm)	0,84	0,94	1,15	1,34	1,95	1,43
LSD _{0,05}	ns	ns	ns	ns	ns	ns
Επίπεδα N-λίπανσης						
N1= 0kg/στρ	0,81	0,94	1,12	1,23	1,40	1,22
N2= 8kg/στρ	0,78	0,87	1,03	1,02	1,30	1,00
N3= 16kg/στρ	0,80	0,84	0,99	1,07	1,50	1,29
N4= 24kg/στρ	0,86	0,91	1,09	1,15	1,40	1,19
LSD _{0,05}	ns	ns	ns	ns	ns	ns
CV%	17,7	11,2	17,2	22,8	26,1	17,0

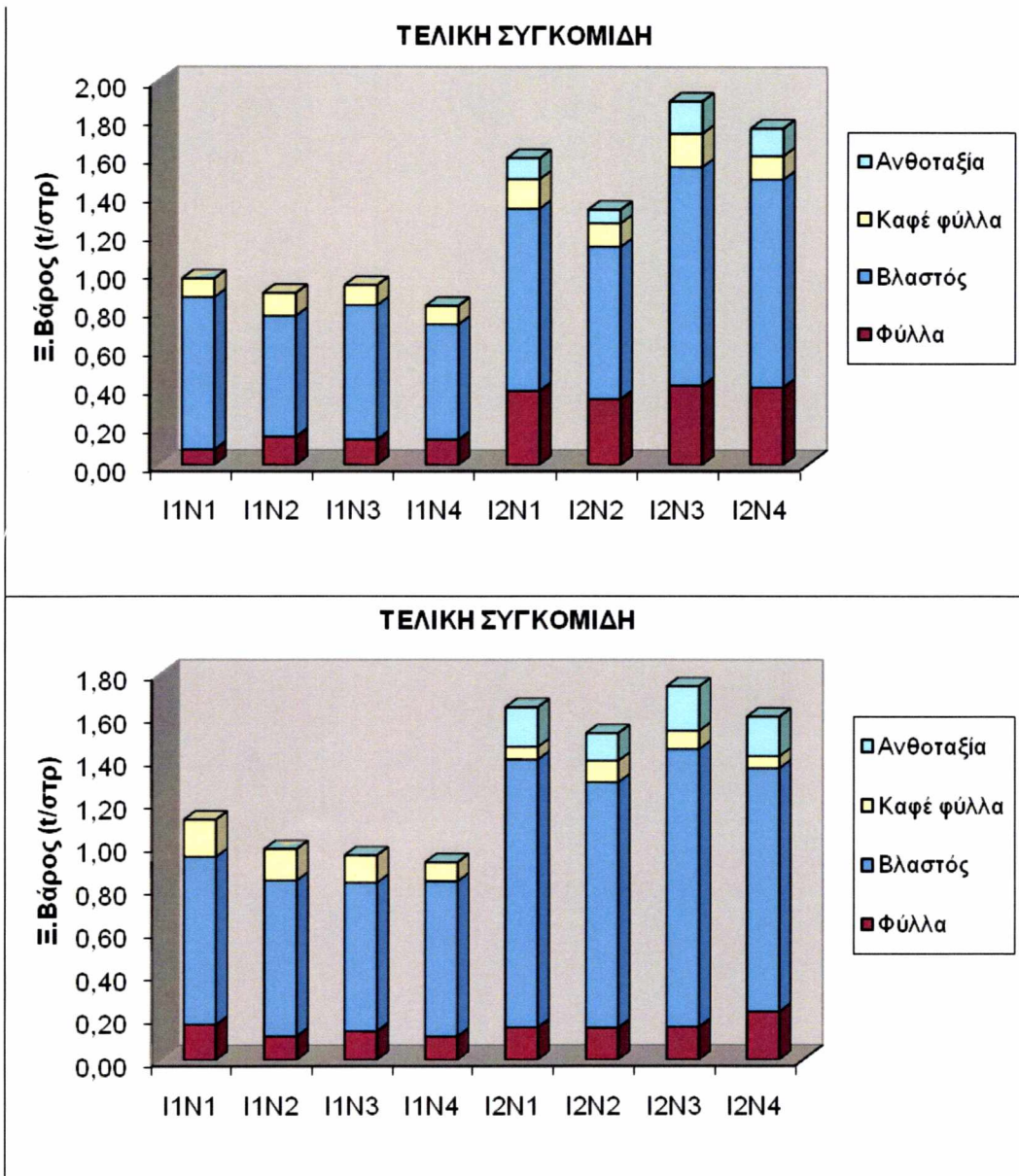
3.4 Μεταβολή του βάρους των φυτικών οργάνων

Το switchgrass έχει τη δυνατότητα να παράγει μέχρι και το 1/3 του δυναμικού της παραγωγής του κατά το πρώτο έτος εγκατάστασης και τα 2/3 του δυναμικού του κατά το έτος μετά τη σπορά (Bransdy, 2008).



Σχήμα 3.4.1. Διαχωρισμός του φυτού switchgrass (ανθοταξία, καφέ φύλλα, φύλλα, βλαστός), όπως επηρεάστηκε από δυο διαφορετικά επίπεδα άρδευσης (I1, I2) και από τέσσερα διαφορετικά επίπεδα αζωτούχου λίπανσης (N1, N2, N3, N4) στην ανάπτυξη του φυτού πριν την ανθοφορία κατά την 1^η κοπή (πάνω διάγραμμα) και την 3^η κοπή (κάτω διάγραμμα).

Από το Σχήμα 3.4.1, φαίνεται ότι η ξηρική καλλιέργεια στην περιοχή του Βελεσίνου δεν κατόρθωσε να εισέλθει στο στάδιο της ανθοφορίας. Πιο συγκεκριμένα, το βάρος των φύλλων (0,30 t/στρ) άρχισε να μειώνεται (0,20 t/στρ) με την αύξηση του βάρους των καφέ φύλλων κατά τη διάρκεια του καλοκαιριού, λόγω των δυσμενών θερμών και ξηρών συνθηκών που επικρατούσαν. Τέλος, παρατηρήθηκε ότι μέχρι την ανθοφορία του φυτού οι διαφορετικές μεταχειρίσεις N-ούχου λίπανσης δε φέρουν μεγάλες αλλαγές στην παραγωγή του συνολικού ξηρού βάρους.



Σχήμα 3.4.2. Διαχωρισμός του switchgrass (ανθοταξία, καφέ φύλλα, φύλλα, βλαστός) όπως επηρεάστηκε από δύο διαφορετικά επίπεδα άρδευσης (I1, I2) και από τέσσερα διαφορετικά επίπεδα αζωτούχου λιπάνσεως (N1,N2,N3,N4) στην ανάπτυξη του φυτού κατά την τελική συγκομιδή κατά την 4^η κοπή (πάνω διάγραμμα) και την 6^η κοπή (κάτω διάγραμμα).

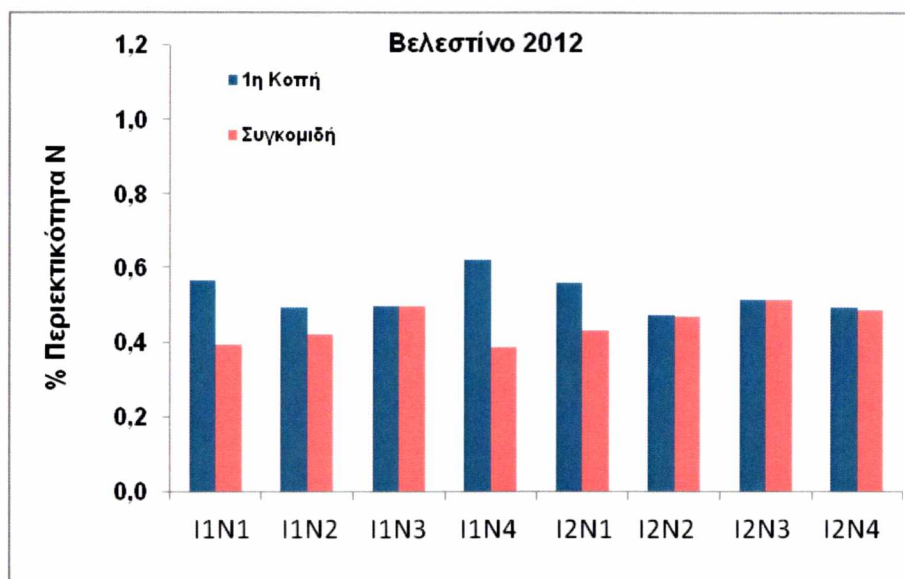
Προηγούμενες μελέτες (Frank *et al.*, 2004; Perry *et al.*, 1979) αναφέρουν ότι ο λόγος βλαστοί/φύλλα για την καλλιέργεια του *Panicum virgatum* L. στο στάδιο της ωρίμανσης-τελικής συγκομιδής είναι της τάξης 7:1.

3.5 Χρονική κατανομή πρόσληψης των μακροστοιχείων αζώτου, φωσφόρου και καλίου.

Η χρονική κατανομή πρόσληψης των μακροστοιχείων είναι σημαντική για τον προσδιορισμό της εποχής λίπανσης του φυτού αλλά και την ποσότητα των στοιχείων που απομακρύνεται από τη βιομάζα, τέτοιες πληροφορίες δεν υπάρχουν προς το παρόν για την καλλιέργεια. Βέβαια, υπάρχουν αρκετές αναφορές για διάφορα επίπεδα αζωτούχου λίπανσης του φυτού που κυμαίνονται από 7,5-18 kg N/στρ. και οι ποσότητες αζώτου που απομακρύνονται φτάνουν τα 11,5 kg N/στρ. (Bransby *et al.*, 1989; Collins, 1994; Stout *et al.*, 1991), όμως δεν υπάρχουν πληροφορίες για την πρόσληψη και απομάκρυνση των στοιχείων του φωσφόρου (P) και του καλίου (K) από τη βιομάζα του φυτού.

3.6 Περιεκτικότητα σε άζωτο (N)

Η περιεκτικότητα του φυτικού ιστού σε άζωτο (N) φαίνεται ότι είναι μεγαλύτερη όταν η κοπή του φυτού γίνεται στα μέσα της καλλιεργητικής περιόδου, όμως μειώνεται μετά τον πρώτο παγετό και την γήρανση (ωρίμανση) (Sanderson & Wolf, 1995). Μετά από μετρήσεις που έγιναν στο συνολικό φυτικό ιστό, παρατηρήθηκε ότι το N μετατοπίζεται από τον ιστό της ρίζας στον υπέργειο φυτικό ιστό στα αρχικά στάδια της ανάπτυξης, και επιστρέφει πάλι στη ρίζα κατά το τελικό στάδιο της ωρίμανσης (Parrish *et al*, 2003).

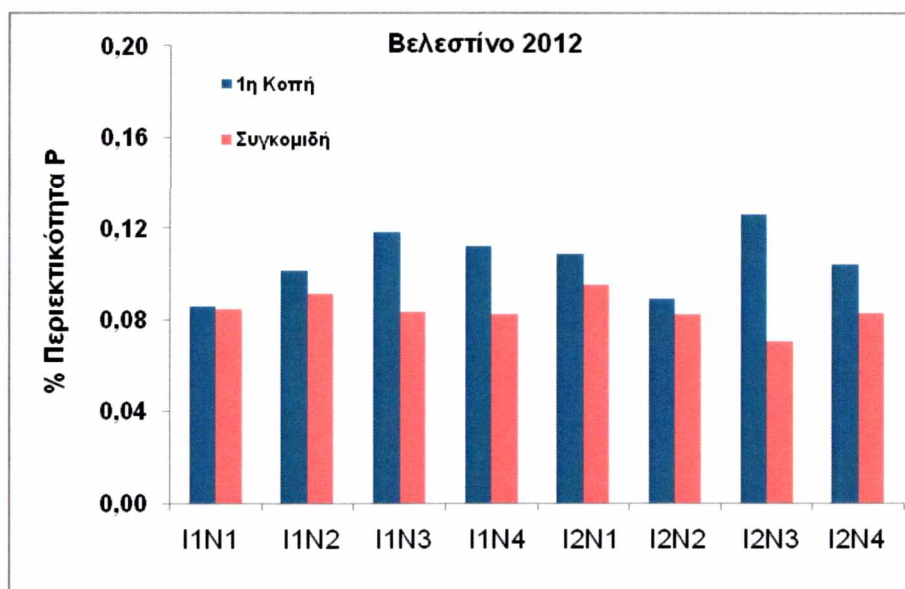


Σχήμα 3.6.1. Περιεκτικότητα της % N στην ξηρή βιομάζα για 2 επίπεδα άρδευσης (I1, I2) και 4 επίπεδα N-ούχου λίπανσης (N1, N2, N3, N4) σε δύο διαφορετικά στάδια ανάπτυξης (■ 1^η Κοπή, ■ Συγκομιδή).

Σύμφωνα με το Σχήμα 3.6.1. παρατηρείται μια πολύ μικρή μείωση της % περιεκτικότητας του φυτικού ιστού σε άζωτο (N) για τις αρδευόμενες μεταχειρίσεις και είναι περίπου της τάξεως του 0,12%. Ίσως, οφείλεται στο γεγονός ότι στις μεταχειρίσεις αυτές η καλλιέργεια δεν είχε εισέλθει στο στάδιο ωρίμανσης.

3.7 Περιεκτικότητα σε φώσφορο (P)

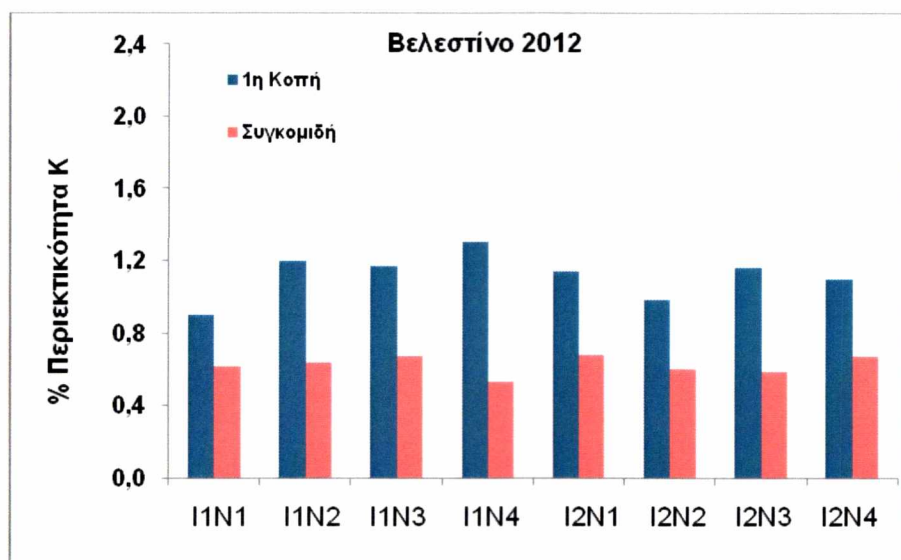
Σύμφωνα με πειράματα που πραγματοποιήθηκαν στην Αμερική, δεν υπήρξε ανταπόκριση στην εφαρμογή φωσφόρου (P) (Muir *et al.*, 2001), ενώ βρέθηκε ότι τα επίπεδα του φωσφόρου στο switchgrass μειώνονται με την ωριμότητα (Griffin *et al.*, 1983). Στα επιμέρους μέρη των φυτών οι συγκεντρώσεις του φωσφόρου διαφέρουν, με την ταξιανθία να συσσωρεύει την υψηλότερη συγκέντρωση (Smith *et al.*, 1979).



Σχήμα 3.7.1. Περιεκτικότητα της % P στην ξηρή βιομάζα για 2 επίπεδα άρδευσης (I1, I2) και 4 επίπεδα N-ούχου λίπανσης (N1, N2, N3, N4) σε δύο διαφορετικά στάδια ανάπτυξης (■ 1^η Κοπή: ζωοτροφή, ■ Συγκομιδή: στερεά καύσιμα).

Στο παραπάνω Σχήμα 3.7.1 απεικονίζεται το % ποσοστό περιεκτικότητας του φωσφόρου (P) για 2 διαφορετικά στάδια ανάπτυξης του φυτού. Είναι εμφανής η διαφορά της πρόσληψης από τα φυτά μεταξύ των σταδίων ανάπτυξης. Με το πέρασμα του χρόνου και με την εισαγωγή της καλλιέργειας στο στάδιο ωρίμανσης η % περιεκτικότητα του φυτικού ιστού σε φώσφορο (P) μειώνεται όπως συμβαίνει και με το άζωτο (N). Η μείωση αυτή είναι πολύ μικρότερη περίπου της τάξεως του 0.03 % και λιγότερο σταθερή σε σύγκριση με του αζώτου (N).

3.8 Περιεκτικότητα σε κάλιο (Κ)

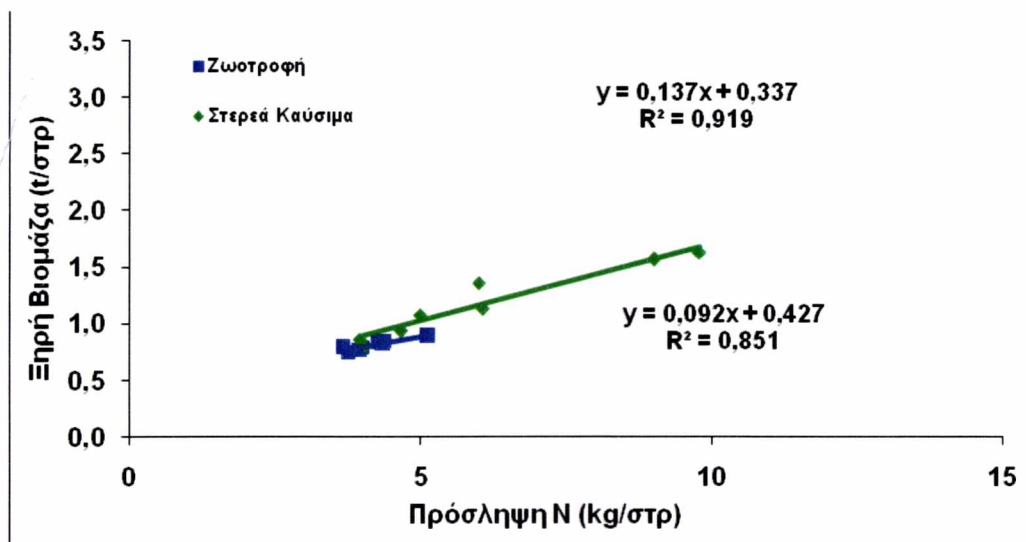


Σχήμα 3.8.1. Περιεκτικότητα της % Κ στην ξηρή βιομάζα για 2 επίπεδα άρδευσης (I1, I2) και 4 επίπεδα N-ούχου λίπανσης (N1, N2, N3, N4) σε δύο διαφορετικά στάδια ανάπτυξης (■¹ Κοπή: ζωοτροφή, ■ Συγκομιδή: στερεά καύσιμα).

Στο Σχήμα 3.8.1 απεικονίζεται το % ποσοστό περιεκτικότητας του καλίου (Κ) για 2 διαφορετικά στάδια ανάπτυξης του φυτού. Η διαφορά μεταξύ των σταδίων ανάπτυξης είναι εμφανής. Με το πέρασμα του χρόνου και με την εισαγωγή της καλλιέργειας στο στάδιο ωρίμανσης η % περιεκτικότητα του φυτικού ιστού σε κάλιο (Κ) μειώνεται όπως συμβαίνει και με το άζωτο (N). Η μείωση αυτή του καλίου (Κ) ήταν περίπου της τάξεως του 0,50 %.

3.9.1 Σχέση παραγωγής ξηρής βιομάζας και πρόσληψης αζώτου (N)

Η γραμμική συσχέτιση μεταξύ της πρόσληψης αζώτου και της τελικής απόδοσης σε βιομάζα της καλλιέργειας του switchgrass, δεν είναι στατιστικά σημαντική (Πίνακας 2), τουλάχιστον στο μεγαλύτερο εύρος τιμών της απορρόφησης αζώτου (N).

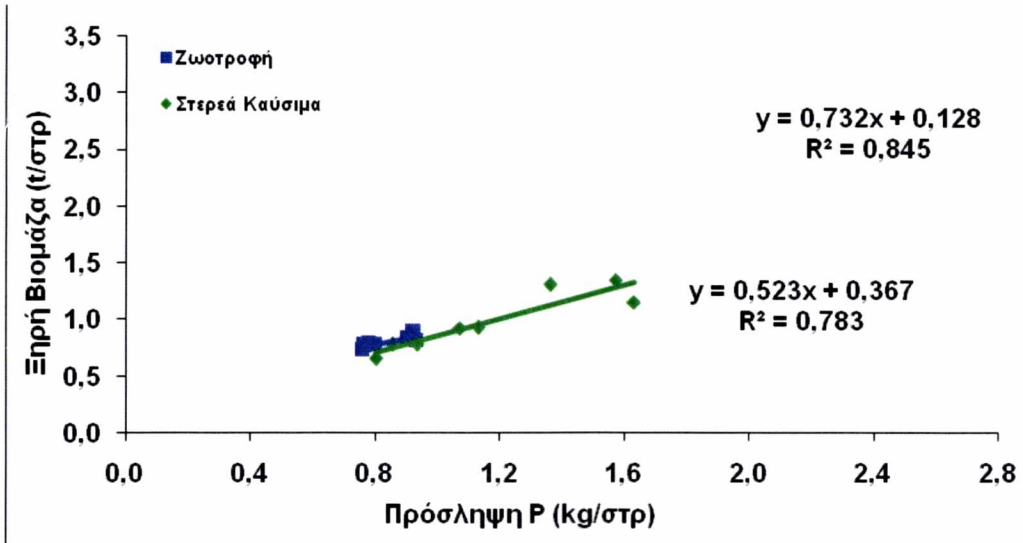


Σχήμα 3.9.1.1. Συνολική πρόσληψη αζώτου (N-uptake) και τελική απόδοση σε ξηρή βιομάζα (t/στρ) των φυτών switchgrass στα δυο διαφορετικά επίπεδα άρδευσης (I1,I2) και τα 4 διαφορετικά επίπεδα αζωτούχου λίπανσης (N1,N2,N3,N4) σε 2 διαφορετικές χρονικές στιγμές ανάπτυξης (■ συγκομιδή για ζωοτροφή, ♦ συγκομιδή για στερεά καύσιμα) το έτος 2012.

Στο Σχήμα 3.9.1.1. η κλίση της καμπύλης αντιπροσωπεύει την αποδοτικότητα πρόσληψης του αζώτου από το φυτό, η οποία στην περίπτωσή μας εκφράζεται με παραγωγή 519 kg ανά 1 kg προσλαμβανομένου αζώτου (N) για το στάδιο ανάπτυξης της συγκομιδής (1^ηκοπή) για παραγωγή ζωοτροφής ($R^2=85,1\%$) και 474 kg βιομάζας ανά 1 kg προσλαμβανομένου αζώτου (N) στο στάδιο της συγκομιδής για παραγωγή στερεών καυσίμων ($R^2=92\%$).

3.9.2 Σχέση παραγωγής ξηρής βιομάζας και πρόσληψης φωσφόρου (P)

Η γραμμική συσχέτιση μεταξύ της πρόσληψης φωσφόρου και της τελικής απόδοσης σε βιομάζα της καλλιέργειας του switchgrass, είναι στατιστικώς σημαντική (Πίνακας 2), τουλάχιστον στο μεγαλύτερο εύρος τιμών της πρόσληψης φωσφόρου (P).

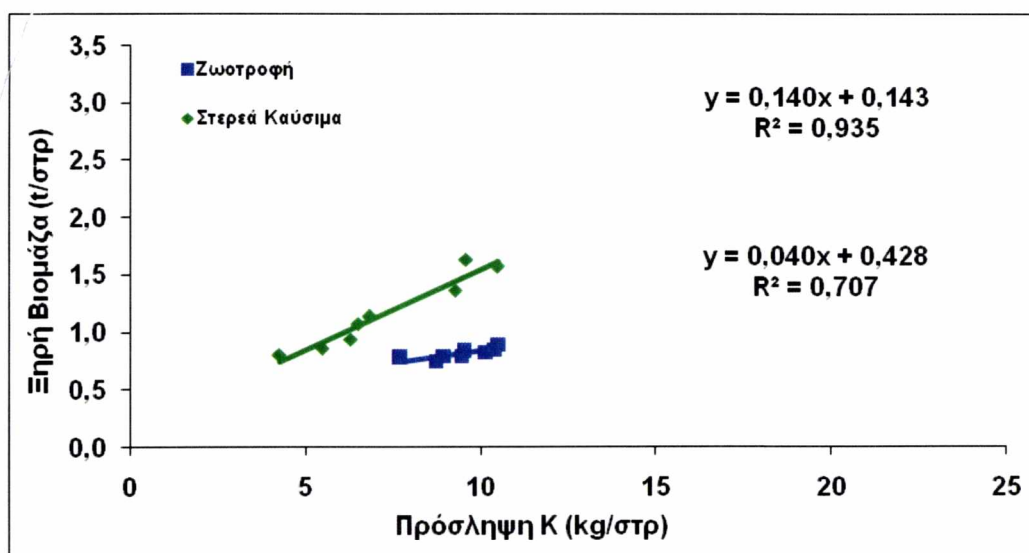


Σχήμα 3.9.2.1. Συνολική πρόσληψη φωσφόρου (P-uptake) και τελική απόδοση σε ξηρή βιομάζα(t/στρ) των φυτών switchgrass στα δυο διαφορετικά επίπεδα άρδευσης (I1,I2) και τα 4 διαφορετικά επίπεδα αζωτούχου λίπανσης (N1,N2,N3,N4) σε 2 διαφορετικές χρονικές στιγμές ανάπτυξης (■ 1^η κοπή: ζωοτροφή, ♦ συγκομιδή: στερεά καύσιμα) το έτος 2012.

Στο παραπάνω Σχήμα 3.9.2.1, η κλίση της καμπύλης αντιπροσωπεύει την αποδοτικότητα πρόσληψης του φωσφόρου από το φυτό, η οποία εκφράζεται με παραγωγή 860 kg ανά 1 kg προσλαμβανομένου φωσφόρου (P) για το στάδιο ανάπτυξης της συγκομιδής (1^ηκοπή) για παραγωγή ζωοτροφής ($R^2=84,5\%$) και 890 kg βιομάζας ανά 1 kg προσλαμβανομένου φωσφόρου (P) στο στάδιο της συγκομιδής για παραγωγή στερεών καυσίμων ($R^2=78,3\%$).

3.9.3 Σχέση παραγωγής ξηρής βιομάζας και πρόσληψης καλίου (Κ)

Η γραμμική συσχέτιση μεταξύ της πρόσληψης καλίου και της τελικής απόδοσης σε βιομάζα της καλλιέργειας του switchgrass, δεν είναι στατιστικά σημαντική (Πίνακας 2), τουλάχιστον στο μεγαλύτερο εύρος τιμών της απορρόφησης καλίου (Κ).



Σχήμα 3.9.3.1. Συνολική πρόσληψη καλίου (K-uptake) και τελική απόδοση σε ξηρή βιομάζα (t/στρ) των φυτών switchgrass στα δυο διαφορετικά επίπεδα άρδευσης (I1,I2) και τα 4 διαφορετικά επίπεδα αζωτούχου λίπανσης (N1,N2,N3,N4) σε 2 διαφορετικές χρονικές στιγμές ανάπτυξης (■ 1^η κοπή: ζωοτροφή, ♦ συγκομιδή: στερεά καύσιμα) το έτος 2012.

Όπως παρατηρείται στο Σχήμα 3.9.3.1. η κλίση της καμπύλης αντιπροσωπεύει την αποδοτικότητα πρόσληψης του καλίου (Κ) από το φυτό, η οποία εκφράζεται με παραγωγή 468 kg ανά 1 kg προσλαμβανομένου καλίου (Κ) για το στάδιο ανάπτυξης της 1^{ης} κοπής για παραγωγή ζωοτροφής ($R^2=71\%$) και 283 kg βιομάζας ανά 1 kg προσλαμβανομένου καλίου (Κ) στο στάδιο της συγκομιδής για παραγωγή στερεών καυσίμων ($R^2=93,5\%$).

Πίνακας 2. Περιεκτικότητα % N-P-K στη ξηρή βιόμαζα του *Panicum virgatum* L. για τα 2 επίπεδα άρδευσης (I1,I2) και τα 4 επίπεδα N-ούχου λιπάνσεως (N1,N2,N3,N4) σε δύο διαφορετικά στάδια ανάπτυξης (1^ηκοπή: ζωοτροφή, Συγκομιδή: στερεά καύσιμα), στην περιοχή του Βελεσίνου το έτος 2012 (I1:0mm, I2:250mm, N1:0kg/στρ., N2:8kg/στρ., N3:16kg/στρ., N4:24 kg/στρ.)

	1 ^η Κοπή			Συγκομιδή		
	N	P	K	N	P	K
Επίπεδα άρδευσης						
Ξηρικό (I1:0mm)	0,543	0,104	1,141	0,425	0,086	0,614
Ποτιστικό (I2:250mm)	0,510	0,107	1,097	0,476	0,083	0,635
LSD _{0,05}	ns	ns	ns	Ns	ns	ns
Επίπεδα N-λίπανσης						
N1= 0kg/στρ.	0,562	0,097	1,020	0,413	0,090	0,648
N2= 8kg/στρ.	0,482	0,095	1,089	0,445	0,087	0,620
N3= 16kg/στρ.	0,506	0,122	1,164	0,506	0,077	0,630
N4= 24kg/στρ.	0,557	0,108	1,202	0,437	0,083	0,600
LSD _{0,005}	ns	ns	ns	Ns	ns	ns
CV%	8,5	10,7	5,3	7,9	9,0	11,5

4. Συμπεράσματα

Το πολυετές φυτό *Panicum virgatum* L. "switchgrass", στο Θεσσαλικό κάμφο μπορεί να προσαρμοστεί και να αποδώσει ικανοποιητική παραγωγή εφόσον υπάρχει η δυνατότητα άρδευσης (έστω και μειωμένης). Κύριος περιοριστικός παράγοντας της καλλιέργειας είναι η άρδευση και όχι η αζωτούχος λίπανση. Ακόμη και η περιορισμένη άρδευση (250 mm) που χρησιμοποιήθηκε, παρέχει τη δυνατότητα αυξημένης παραγωγής σε περιοχές όπως το Βελεστίνο.

Η καλλιέργεια του *Panicum virgatum* L. έχει αυξημένη περιεκτικότητα (%) σε N-P-K στους φυτικούς ιστούς κατά τα πρώτα στάδια ανάπτυξης, η οποία και μειώνεται καθώς το φυτό πλησιάζει στο τελικό στάδιο ωρίμανης. Με την πάροδο του χρόνου, η μεγαλύτερη μείωση των θρεπτικών παρατηρείται για το στοιχείο κάλιο (K).

Η κλίση της καμπύλης που αποτελεί τη γραμμική συσχέτιση μεταξύ της πρόσληψης του αζώτου και της απόδοσης σε ξηρή βιομάζα, αντιπροσωπεύει την αποδοτικότητα χρήσης αζώτου. Συνολικά, για την 1^η κοπή (παραγωγή ζωοτροφής), 1 kg αζώτου είναι ικανό να παράγει 519 kg ξηρής βιομάζας ($R^2=85,1\%$), ενώ κατά το στάδιο συγκομιδής για την παραγωγή στερεών καυσίμων, 474 kg ξηρής βιομάζας μπορούν να παραχθούν από 1 kg N ($R^2=92\%$), ανεξαρτήτως άρδευσεως και λίπανσης.

Ομοίως, προσλαμβάνοντας 1 kg P, η καλλιέργεια είναι ικανή να παράξει 860 kg ξηρής βιομάζας ($R^2=84,5\%$), ενώ κατά το στάδιο της συγκομιδής για παραγωγή στερεών καυσίμων 890 kg ξηρής βιομάζας μπορούν να παραχθούν από 1 kg P ($R^2=78,3\%$), ανεξαρτήτως άρδευσης και λίπανσης.

Η γραμμική συσχέτιση μεταξύ καλίου και απόδοσης ξηρής βιομάζας είναι σημαντική κατά το στάδιο συγκομιδής. Ξηρή βιομάζα περί τα 468 kg μπορεί να παραχθεί από 1 kg K ($R^2=71\%$) στην 1^η κοπή (παραγωγή ζωοτροφής), ενώ στο στάδιο συγκομιδής για την παραγωγή στερεών καυσίμων, 283 kg ξηρής βιομάζας είναι ικανά να αποδοθούν από 1 kg K ($R^2=93,5\%$), ανεξαρτήτως άρδευσης και λίπανσης.

Επομένως, φαίνεται ότι το switchgrass δύναται να αποτελέσει μία πολλά υποσχόμενη καλλιέργεια χαμηλών εισροών που θα μπορέσει να οδηγήσει τους Έλληνες γεωργούς μακριά από το αδιέξοδο στο οποίο έχουν οδηγηθεί τα τελευταία χρόνια από τα υπάρχοντα επιβαρυμένα (οικονομικά και περιβαλλοντικά) συστήματα καλλιεργειών.

ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

Ελληνική βιβλιογραφία

- Γιαννούλης, Κυριάκος, 2014. Το switchgrass ως ενεργειακό φυτό: Προσαρμοστικότητα στην Κεντρική Ελλάδα. Διδακτορική διατριβή. Βόλος, 2014.

Ξένα βιβλιογραφία

- Alberts, E. E., Kramer, L. A., and Ghidey, F. 2001. Sediment deposition within a watershed with stiff-stemmed grass hedges. In: Soil Erosion Research for the 21st Century. Proc. Int. Symposium. pp. 167–170. Honolulu, HI. 3–5 January, 2001. ASAE, St. Joseph, MI.
- Anderson, B. E. 2000. Use of warm-season grasses by grazing livestock. In: Native Warm-Season Grasses: Research Trends and Issues. pp. 147–158.
- Aravidhakshan, Epplin FM, Taliafero CM (2011). Switchgrass, bermudagrass, flaccidgrass and lovegrass biomass yield response to nitrogen for single and double harvest. Biomass and Bioenergy 35: 308-319.
- Awada, T., Moser, L. E., Schacht, W. H., and Reece, P. E. 2002. Stomatal variability of native warm-season grasses from the Nebraska Sandhills. Can. J. Plant Sci. 82: 349–355.
- Balasko, J. A., and Burner, D.M. 1981. Effects of cutting management on yield, quality, and vigor of switchgrass grown without fertilization. Agron. Abstr. Madison, WI.
- Ball, D.M.; Hoveland, C.S.; Lacefield, G.D. (2002). *Southern Forages* (3rd ed.). International Plant Nutrition Institute. p. 26. ISBN 978-0-9629598-3-7.
- Ball, D.M. Hoveland, C.S. Lacefield, G.D. (2006). "Table 33b. Total Digestible Nutrients (TDN) and Relative Feed Value (RFV) Ranges for Various Forage Crops". *Forage Crop Pocket Guide*. International Plant Nutrition Institute.
- Becker, H. 1992. Hedging against erosion. Agric. Res. (Washington) 40: 8–10.
- Bentivenga, S. P., and Hetrick, B. A. D. 1991. Relationship between mycorrhizal activity, burning, and plant productivity in tallgrass prairie. Can. J. Botany 69: 2597–2602.
- Berg, W. A. 1995. Response of a mixed native warm-season grass planting to nitrogen fertilization. J. Range Manage. 48: 64–67.

- Bilbro, J. D., and Fryrear, D. W. 1997. Comparative performance of forage sorghum, grain sorghum, kenaf, switchgrass, and slant-fence wind barriers in reducing wind velocity. *J. Soil Water Conserv.* 52: 447–452.
- Blanco-Canqui, H., Gantzer, C. J., Anderson, S. H., Alberts, E. E., and Thompson, A. L. 2004. Grass barrier and vegetative filter strip effectiveness in reducing runoff, sediment, nitrogen, and phosphorus loss. *Soil Sci. Soc. America J.* 68: 1670–1678.
- Bransby DI, Ward CY, Rose PA, Sladden SE, Kee DD (1989). Biomass production from selected herbaceous species in the Southern USA. *Biomass* 20: 187- 197.
- Brejda JJ (2000). Fertilization of native warm-season grasses: research trends and issues. *CSSA Spec Publ* 30. CSSA, Madison, WI.
- Casler, M. D., Vogel, K. P., Taliaferro, C. M., Wynia, R. L. 2004. Latitudinal adaptation of switchgrass populations. *Crop Sci.* 44: 293–303.
- Clark, B. K., Clark, B. S., Homerding, T. R., and Munsterman, W. E. 1998. Communities of small mammals in six grass-dominated habitats of southeastern Oklahoma. *Amer. Midland Naturalist* 139: 262–268.
- Clark, B. K., Kaufman, D. W., Finck, E. J., and Kaufman, G. A. 1989. Small mammals in tall-grass prairie: Patterns associated with grazing and burning. *Prairie Naturalist* 21: 177–184.
- Collins M (1994). Biomass production by fescue and switchgrass alone and in mixed swards with legumes. Final Report to Oak Ridge National Laboratory ORNL= Sub = 88-SC617, 86.
- Coppedge, B. R., Engle, D. M., Toepfer, C. S., and Shaw, J. H. 1998. Effects of seasonal fire, bison grazing and climatic variation on tallgrass prairie vegetation. *Plant Ecology* 139: 235–246.
- Cornelius, D. R., and Johnston, C. O. 1941. Differences in plant type and reaction to rust among several collections of *Panicumvirgatum* L. *J. Am. Soc. Agron.* 33: 115–124.
- Cornelius, D. R. 1944. Revegetation in the tall grass prairie region. *J. Amer. Soc. Agron.* 36: 393–400.
- Cuomo, G. J., Anderson, B. E., and Young, L. J. 1998. Harvest frequency and burning effects on vigor of native grasses. *J. Range Manage.* 51: 32–36.
- David J. Parrish, John H. Fike, David I. Bransby, Roger Samson. *Establishing and Managing Switchgrass as an Energy Crop. Forage and Grazinglands* 2008.

- Davidson, C. G., and Gobin, S. M. 1998. Evaluation of ornamental grasses for the northern Great Plains. *J. Environ. Hort.* 16: 218–229.
- Eberhart, S. A., and Newell, L. C. 1959. Variation in domestic collections of switchgrass, *Panicumvirgatum* L. *Agron. J.* 51: 613–616.
- Elbersen, H. W., Christian, D. G., El-Bassem, N., Bacher, W., Sauerbeck, G., Alexopoulou, E., Sharma, N., Piscioneri, I., Visser, P. d., and Berg, D. v. d. 2001. Switchgrass variety choice in Europe. *Aspects Appl. Biol.* 65: 21–28.
- Elersen H, Cristian D, Bassam N, Sauerbeck G, Alexopoulou E, Sharma N, Piscioneri (2004). “A management guide for planting and production switchgrass as a biomass crop in Europe”. 2nd Conference on Biomass for Energy Industry and Climate Protection, 10-14 May 2004, Rome Italy.
- Eom, A. H., Wilson, G. W. T., and Hartnett, D. C. 2001. Effects of ungulate grazers on arbuscularmycorrhizal symbiosis and fungal community structure in tallgrass prairie. *Mycologia* 93: 233–242.
- Fox, G., Girouard, P., and Syaukat, Y. 1999. An economic analysis of the financial viability of switchgrass as a raw material for pulp production in eastern Ontario. *Biomass Bioenergy* 16: 1–12.
- Frank AB, Berdahl JD, Liebig MA, Johnson HA (2004). Biomass and carbon partitioning in switchgrass. *Crop Science* 44:1391-1396.
- Giuliano, W. M., and Daves, S. E. 2002. Avian response to warm-season grass use in pasture and hayfield management. *Biological Conservation* 106: 1–9.
- Goel, K., Radiotis, T., Eisner, R., Sherson, G., and Li, J. 2000. Switchgrass: A potential pulp fibre source. *Pulp Paper Canada* 101: 41–45.
- Griffin JL, Jung GA (1983). Leaf and stem forage quality for big bluestem and switchgrass. *Agronomy Journal* 75: 723-726.
- Guretzky, Butter T, Bouton J, Owens V and Boe A (2009). Planting and Managing Switchgrass as a Dedicated Energy Crop. *Blade Energy Crops*.
- Hall, K. E., George, J. R., and Riedl, R. R. 1982. Hbage dry matter yields of switchgrass, big bluestem and indiagrass with N fertilization. *Agron. J.* 74: 47–51.
- Haynes, J. G., Pill, W. G., and Evans, T. A. 1997. Seed treatments improve the germination and seedling emergence of switchgrass (*Panicumvirgatum* L.). *HortSci.* 32: 1222–1226.
- Hitchcock, A. S. 1935. *Manual of the Grasses of the United States*. United States Department of Agriculture, Washington, DC.

- Ichizen, N., Nishio, T., Liu, G., Li, D., and Huang, J. 2001. Relation between management systems and soil erosion and screening of perennial gramineous plants for vegetation recovery in hilly land in loess plateau. *J. Weed Sci. and Tech.* 46: 97–103.
- Jewett, J. G., Sheaffer, C. C., Moon, R. D., Martin, N. P., Barnes, D. K., Breitbach, D. D., and Jordan, N. R. 1996. A survey of CRP land in Minnesota. 1. Legume and grass persistence. *J. Prod. Agric.* 9: 528–534.
- Jones JB and Case VW (1990). Soil testing and plant analysis. Soil Science Society of America. 3rd edition. Chapter 15. SSSA.
- Johnson, A.L. Divers, T.J. Freckleton, M.L. McKenzie, H.C. Mitchell, E. Cullen, J.M. McDonough, S.P. (2006). "Fall *Panicum virgatum* L. *Journal of Veterinary Internal Medicine* 20 (6): 1414–1421.
- Kemper, D., Dabney, S., Kramer, L., Dominick, D., and Keep, T. 1992. Hedging against erosion. *J. Soil Water Conserv.* 47: 284–288.
- Knapp, A. K. 1985. Effect of fire and drought on the ecophysiology of *Andropogon gerardii* and *Panicum virgatum* in a tallgrass prairie. *Ecology* 66: 1309–1320.
- Lau, C. S., Carrier, D. J., Howard, L. R., Lay, J. O., Archambault, J. A., and Clausen, E. C. 2004. Extraction of antioxidant compounds from energy crops. *Appl. Biochem. Biotech.* 113–116: 569–583.
- Lawrence J, Cherney J, Barney P and Katterring Q (2006). Establishment and Management of Switchgrass. Agronomy Fact Sheet Series. Fact Sheet 20. Cornell University Cooperative Extension.
- Lee, S.T.; Stegelmeier, B.L.; Gardner, D.R.; Vogel, K.P. (2001). "The isolation and identification of steroidal saponin in switchgrass". *J Nat Toxins* 10 (4): 273–81. PMID 11695816. Retrieved 2008-05-24.
- Lee, K. H., Isenhardt, T. M., and Schultz, R. C. 2003. Sediment and nutrient removal in an established multi-species riparian buffer. *J. Soil Water Conserv.* 58: 1–8.
- Lemus R, Parrish DJ, Abaye O (2008). Nitrogen-use dynamics in switchgrass grown for biomass. *Bioenergy Resource* 1:153-162.
- Lemus R, Parrish DJ, Wolf DD (2009). Nutrient uptake by 'Alamo' switchgrass used as an energy crop. *Bioenergy Resource* 2:37-50.
- McCoy, T. D., Ryan, M. R., Burger, L.W., and Kurzejeski, E.W. 2001. Grassland bird conservation: CP1 vs. CP2 plantings in Conservation Reserve Program fields in Missouri. *Amer. Midland Naturalist* 145: 1–17.

- McLaughlin, M. R., Fairbrother, T. E., and Rowe, D. E. 2004. Nutrient uptake by warm-season perennial grasses in a swine effluent spray field. *Agron. J.* 96: 484–493.
- McLaughlin, S. B., and Walsh, M. E. 1998. Evaluating environmental consequences of producing herbaceous crops for bioenergy. *Biomass Bioenergy* 14: 317–324.
- Moser, L. E., and Vogel, K. P. 1995. Switchgrass, big bluestem, and indiagrass. In: *Forages. Vol. 1. An Introduction to Grassland Agriculture.* 5th Ed., pp. 409–420. Barnes, R. F., Miller, D. A. and Nelson, C. J., Eds. Iowa State Univ. Press, Ames.
- Mulkey VR, Owens VN, Lee DK (2006). Management of switchgrass-dominated conservation reserve program lands for biomass production in South Dakota. *Crop Science* 46: 712-720.
- Muir JP, Sanderson MA, Ocumpaugh WR, Jones RM, Reed RL (2001). Biomass production of “Alamo” switchgrass in response to nitrogen, phosphorus and row spacing. *Agronomy Journal* 93:896-901.
- Murray, L. D., Best, L. B., Jacobsen, T. J., and Braster, M. L. 2003. Potential effects on grassland birds of converting marginal cropland to switchgrass biomass production. *Biomass Bioenergy* 25: 167–175.
- Nelson RG, Ascough DJ and Langemeier MR (2006). “Environmental and economic analysis of switchgrass production for water quality improvement in northeast Kansas”, *Journal of Environmental Management* 79: 336-347.
- Newell, L. C., and Eberhart, S. A. 1961. Clone and progeny evaluation in the improvement of switchgrass. *Crop Sci.* 1: 370–373.
- Nielsen, E. L. 1947. Polyploidy and winter survival in *Panicumvirgatum* L. *J. Amer. Soc. Agron.* 39: 822–827.
- 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.
- Parrish DJ, Wolf DD, Fike JH, Daniels WL (2003). Switchgrass as a biofuels crop for the upper southeast: variety trials and cultural improvements. Final Report for 1997 to 2001, ORNL/SUB-03-19SY 163C/01, Oak Ridge National Laboratory, OakRidge, TN.
- Porter, C. L., Jr. 1966. An analysis of variation between upland and lowland switchgrass *Panicumvirgatum* L. in central Oklahoma. *Ecology* 47: 980–992.

Letta, A., Armbrust, D.V., Hagen, L. J., and Skidmore, E. L. 2000. Leaf and stem area relationships to masses and their height distributions in native grasses. *Agron. J.* 92: 225–230.

- Rice, E. L., and Parenti, R. L. 1978. Causes of decreases in productivity in undisturbed tall grass prairie. *Amer. J. Botany* 65: 1091–1097.
- Rinehart L (2006). *Switchgrass as a Bioenergy Crop*. National Center for Appropriate Technology (NCAT). A Publication of ATTRA-National Sustainable Agriculture Information Service.
- Royse, D. J., Rhodes, T.W., Ohga, S., and Sanchez, J. E. 2004. Yield, mushroom size and time to production of *Pleurotus cornucopiae* (oyster mushroom) grown on switchgrass substrate spawned and supplemented at various rates. *Bioresource Tech.* 91: 85–91.
- Samson, R. (2007). "Switchgrass Production in Ontario: A Management Guide" (PDF). Resource Efficient Agricultural Production (REAP) - Canada. Retrieved 2008-05-24.
- Sanderson, M. A. 2000. Cutting management of native warm-season perennial grasses: Morphological and physiological responses. In: *Native Warm-Season Grasses: Research Trends and Issues.*, pp. 133-146. Anderson, B. E. and Moore, K. J., Eds., CSSA Special Pub. No. 30. Crop Science Society of America, Madison, WI.
- Sanderson MA, Wolf DD (1995). Switchgrass biomass composition during morphological development in diverse environments. *Crop Science* 35: 1432-8.
- Schacht, W. H., Smart, A. J., Anderson, B. E., Moser, L. E., and Rasby, R. 1998. Growth responses of warm-season tallgrasses to dormant-season management. *J. Range Manage.* 51: 442–446.
- Schwartz, O. A., and Whitson, P. D. 1987. A 12-year study of vegetation and mammal succession on a reconstructed tallgrass prairie in Iowa. *Amer. Midland Naturalist* 117: 240–249.
- Self-Davis, M. L., Moore, P. A., Daniel, T. C., Nichols, D. J., Sauer, T. J., West, C. P., Aiken, G. E., and Edwards, D. R. 2003. Forage species and canopy cover effects on runoff from small plots. *J. Soil Water Conserv.* 58: 349–359.
- Shahandeh, H., and Hossner, L. R. 2000. Plant screening for chromium phytoremediation. *Int. J. Phytoremediation* 2: 31–51.
- Silzer, Tanya (January 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.

- Smith D, Greenfield SB (1979). Distribution of chemical constituents among shoot parts of timothy and switchgrass at anthesis. *Journal of Plant Nutrition* 1: 81-99.
- Smith, M. D., Hartnett, D. C., and Rice, C.W. 2000. Effects of long-term fungicide applications on microbial properties in tallgrass prairie soil. *Soil Biology Biochemistry* 32: 935–946.
- Stegelmeier, B.L. Elmore, S.A. Lee, S.T.; James, L.F. Gardner, D.R. Panter, K.E. Ralphs, M.H. Pfister, J.A. (2007). "Switchgrass (*Panicum Virgatum*) Toxicity In Rodents, Sheep, Goats And Horses". *Poisonous Plant Global Research and Solutions* 19: 113–117. Retrieved 2008-05-24.
- Stout WL, Staley TE, Shaer JA, Jung GA (1991). Quantitative effects of soil depth and soil fertilizer nitrogen on nitrogen uptake by tall fescue and switchgrass. *Communications in Soil Science and Plant Analysis* 22: 1647-60.
- Stout WL, Jung GA AND Shaffer JA (1998). Effects of soil and nitrogen on water use efficiency of tall fescue and switchgrass under humid conditions. *Soil Science American Journal* 52: 429-434.
- Stroup, J. A., Sanderson, M. A., Muir, J. P., McFarland, M. J., and Reed, R. L. 2003. Comparison of growth and performance in upland and lowland switchgrass types to water and nitrogen stress. *Bioresource Tech.* 86: 65–72.
- Thomason WE, Raun WR, Johnson GV, Taliaferro CM, Freeman KW, Wynn KJ, Mullen RW, (2004). Switchgrass response to harvest frequency and time and rate of applied nitrogen. *Journal of Plant Nutrition* 27: 1199-1266.
- Turner, C. L., Seastedt, T. R., and Dyer, M. I. 1993. Maximization of aboveground grassland production: The role of defoliation frequency, intensity, and history. *Ecological Applications* 3: 175–186.
- USDA, United States Department of Agriculture (2008). "Plant Fact Sheet, *Panicum virgatum*". Natural Resources Conservation Service, Plant Materials Program.
- Ververis, C., Georghiou, K., Christodoulakis, N., Santas, P., and Santas, R. 2004. Fiber dimensions, lignin and cellulose content of various plant materials and their suitability for paper production. *Industrial Crops Products* 19: 245–254.

- Virgilio N, Monti A and Venturi G (2007). "Spatial variability of switchgrass", (*Panicum virgatum* L.) yield as related to soil parameters in a small field. *Field Crops Research* 101: 232-239.
- Vogel KP, Brejda JJ, Walters DT, Buxton DR (2002). Switchgrass biomass production in the Midwest USA: harvest and nitrogen management. *Agronomy Journal* 194: 413-420.
- Wallace, L. L. 1987. Mycorrhizas in grasslands: Interactions of ungulates, fungi and drought. *New Phytologist* 105: 619–632.
- Wolf, D.D. Fiske, D.A. (1995). "Planting and managing switchgrass for forage, wildlife, and conservation" (PDF). *Virginia Cooperative Extension Publication*: 418–013. Retrieved 2008-05-24.
- Wolf DD, and Fiske DA (2009). *Planting and Managing Switchgrass for Forage, Wildlife and Conservation*. Virginia Cooperative Extension, Virginia Tech and Virginia State University. Publication 418-013.
- Zhang, J., and Maun, M. A. 1990. Sand burial effect on seed germination, seedling emergence and establishment of *Panicumvirgatum*. *Holarctic Ecology* 13: 56–61.



ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΘΕΣΣΑΛΙΑΣ
ΒΙΒΛΙΟΘΗΚΗ



004000123106