

Τμήμα Γεωπονίας Φυτικής Παραγωγής και Αγροτικού
Περιβάλλοντος, Πανεπιστήμιο Θεσσαλίας

Αριθμ. Πρωτοκ	452
Ημερομηνία	8-7-14

ΠΤΥΧΙΑΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ

**Μελέτη απορρόφησης μακροστοιχείων από την καλλιέργεια
του πολυετούς ενεργειακού φυτού *Switchgrass* σε
αμμοπηλώδες έδαφος**



Όνομα Φοιτήτριας: *Ελένη Τσιτσάνη*

Επιβλέπων Καθηγητής: *Νικόλαος Δαναλάτος*

ΒΟΛΟΣ 2014



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

Αριθ. Εισ.: 13101/1
Ημερ. Εισ.: 30/09/2014
Δωρεά: Συγγραφέα
Ταξιθετικός Κωδικός: ΠΤ-ΦΠΑΠ
2014
ΤΣΙ

Εισηγητική επιτροπή

Νικόλαος Δαναλάτος, Καθηγητής, Επιβλέπων.

Ανθούλα Δημήρκου, Καθηγήτρια, Μέλος.

Σπυρίδων Πετρόπουλος, Λέκτορας, Μέλος.

Περιεχόμενα

Περίληψη.....	σελ. 6
1. Εισαγωγή.	
1.1 Το switchgrass ως καλλιέργεια πολλών χρήσεων.....	σελ. 7
1.2 Οικολογία, Ποικιλίες και Εδαφικά.....	σελ. 10
1.3 Μορφολογία.....	σελ. 13
1.4 Βοτανικά χαρακτηριστικά.....	σελ. 16
1.5 Φαινολογία, σχέσεις θερμοκρασίας	σελ. 17
1.6 Βάθος σποράς και εκτιμήσεις για την σύσταση του έδαφος.....	σελ. 18
1.7 Διαχείριση του αζώτου στο switchgrass για παραγωγή βιομάζας.σελ.	19
1.8 Φώσφορο P, Κάλιο K και εκτιμήσεις του pH.....	σελ. 19
1.9 Απόκριση γονιμότητας.....	σελ. 21
1.10 Παράγοντες που Καθορίζουν τις Αποδόσεις Παραγωγής.....	σελ. 21
1.11 Ανάγκες σε Νερό.....	σελ. 22
1.12 Σκοπός.....	σελ. 22
2. ΥΛΙΚΑ ΚΑΙ ΜΕΘΟΔΟΙ	
2.1 Πειραματικός αγρός.....	σελ. 23
2.2 Πειραματικό σχέδιο.....	σελ. 23
2.3 Τρόπος δειγματοληψίας	σελ. 25
2.4 Αριθμός δειγμάτων.....	σελ.25
2.5 Φυλλοδιαγνωστική.....	σελ. 25
2.5.1 Προσδιορισμός ολικού αζώτου στον φυτικό ιστό.....	σελ. 26
2.5.2 Προσδιορισμός φωσφόρου στο φυτικό ιστό.....	σελ. 27

2.5.3 Προσδιορισμός καλίου στο φυτικό ιστό.....	σελ. 29
2.6 Στατιστική ανάλυση.....	σελ. 29
3. ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ	
3.1 Μετεωρολογικά δεδομένα.....	σελ. 30
3.2 Σχέση ξηρού βάρους και πρόσληψης αζώτου.....	σελ. 31
3.3 Σχέση ξηρού βάρους και πρόσληψης φωσφόρου.....	σελ. 34
3.4 Σχέση ξηρού βάρους και πρόσληψης καλίου.....	σελ. 36
3.5 Μεταβολή του βάρους των φυτικών οργάνων.....	σελ. 38
3.6 Χρονική κατανομή πρόσληψης των μακροστοιχείων αζώτου, φωσφόρου και καλίου	σελ. 41
3.7 Περιεκτικότητα σε άζωτο (N).....	σελ. 42
3.8 Περιεκτικότητα σε φώσφορο (P).....	σελ. 47
3.9 Περιεκτικότητα σε κάλιο (K).....	σελ. 51
Συμπεράσματα.....	σελ. 55
Βιβλιογραφία.....	σελ. 57
Παράρτημα.....	σελ. 66

ΕΥΧΑΡΙΣΤΙΕΣ

Θα ήθελα να ευχαριστήσω πρωτίστως, τον επιβλέποντα της πτυχιακής μου εργασίας, Καθηγητή Νικόλαο Δαναλάτο, που με εμπιστεύτηκε αναθέτοντάς μου αυτή τη μελέτη και την ευκαιρία που μου έδωσε να ασχοληθώ με το συγκεκριμένο θέμα, αλλά κυρίως για την πολύτιμη βοήθειά του ώστε να ολοκληρωθεί η εργασία αυτή.

Επίσης, θα ήθελα να ευχαριστήσω την καθηγήτρια Ανθούλα Δημήρκου και τον λέκτορα Σπυρίδωνα Πετρόπουλο, για την χρόνο που διέθεσαν ώστε να διορθώσουν και να εκφράσουν τις παρατηρήσεις τους για την πτυχιακή μου εργασία.

Ακόμα, θα ήθελα να ευχαριστήσω τον διδάκτορα, κύριο Κυριάκο Γιαννούλη για την αμέριστη βοήθειά του, τόσο στην διεξαγωγή του πειράματος όσο και στη συγγραφή της παρούσας πτυχιακής εργασίας που αποτελεί και μέρος από τη διδακτορική του διατριβή.

Τέλος, δε θα μπορούσα να μην ευχαριστήσω τους γονείς μου για τη συμπαράσταση που μου έδειξαν κατά την διάρκεια της εκπόνησης της εργασίας αυτής και τη δυνατότητα που μου πρόσφεραν να πραγματοποιήσω τις σπουδές μου με κάθε πολυτέλεια.

Περίληψη

Το Switchgrass (*Panicum virgatum* L.) – ένα πολυετές, ζεστού κλίματος, C₄ φυτό– αναπτύσσεται στη νότια Αμερική με πολλούς διαφορετικούς πληθυσμούς. Πιθανές χρήσεις αυτής της καλλιέργειας έχουν επεκταθεί πρόσφατα και στα βιοκαύσιμα. Για μια επιτυχημένη εγκατάσταση απαιτείται ιδιαίτερη προσοχή στο λήθαργο των σπόρων, στον έλεγχο των ζιζανίων, καθώς και στο σωστό βάθος και την ημερομηνία σποράς. Ο βαθμός ανάπτυξης του φυτού σχετίζεται στενά με την θερμοκρασία, αλλά ο συγχρονισμός της αναπαραγωγικής ανάπτυξης συνδέεται με τη φωτοπερίοδο. Επομένως, η περίοδος της βλαστικής ανάπτυξης μπορεί να παραταθεί με τη φύτευση ποικιλιών χαμηλότερου γεωγραφικού πλάτους σε ψηλότερα γεωγραφικά πλάτη. Φαίνεται ικανό να απορροφά άζωτο από πηγές που άλλες καλλιέργειες δε μπορούν να αξιοποιήσουν. Η ποσότητα που απομακρύνεται με τη συγκομιδή βιομάζας είναι συνήθως μεγαλύτερη από αυτή που εφαρμόζεται. Η συγκομιδή βιομάζας μια φορά τη σεζόν- αφού τα φυτά έχουν ωριμάσει αρκετά και έχουν μετατοπίσει το N σε πολυετείς ιστούς- φαίνεται ότι επιτρέπει στα φυτά να διατηρούν ένα εσωτερικό απόθεμα αζώτου.

Στην παρούσα μελέτη, εξετάζεται η απορρόφηση των μακροστοιχείων από την καλλιέργεια σε δυο διαφορετικά επίπεδα άρδευσης (0 mm και 250 mm) και σε τέσσερα διαφορετικά επίπεδα αζωτούχου λίπανσης (0, 8, 16 και 24 kg N/στρ.) στην περιοχή του Παλαμά στην Καρδίτσα, όπου το έδαφος χαρακτηρίζεται ως αμμοπηλώδες. Η πρόσληψη των στοιχείων του N, P και K προσδιορίστηκε σε δυο στάδια ανάπτυξης του φυτού τα οποία ήταν, πριν την ανθοφορία και κατά την τελική συγκομιδή.

Παρατηρήθηκε λοιπόν ότι η στρεμματική απομάκρυνση των στοιχείων N, P, K κατά την τελική συγκομιδή (5^η κοπή) της ξηρής βιομάζας ήταν μεγαλύτερη, ενώ η περιεκτικότητα των παραπάνω στοιχείων στο φυτικό βλαστό ήταν αντιστρόφως ανάλογη των σταδίων ανάπτυξης. Επομένως κατά τα πρώτα στάδια ανάπτυξης (1^η κοπή) η περιεκτικότητα ήταν μεγαλύτερη σε σύγκριση με το στάδιο της ωρίμανσης του σπόρου (5^η κοπή).

1. Εισαγωγή

1.1 Το switchgrass ως καλλιέργεια πολλών χρήσεων

Το switchgrass αποτελούσε μια κοινή ψηλή πόα λειμώνων και απαντιόταν σε μη-δασικές περιοχές στα 2/3 των ανατολικών Ηνωμένων Πολιτειών πριν την άφιξη των Ευρωπαίων (Hitchcock, 1935). Οι Ευρωπαίοι, αναμφίβολα, το χρησιμοποίησαν για πρώτη φορά στη φυσική αυτοφυή του μορφή, και μόνο στο πέρασμα του χρόνου χρησιμοποιήθηκε ως «καλλιέργεια». Ο αρχικός σκοπός της χρήσης του ήταν ως κτηνοτροφία. Τα είδη που είχαν αυτό το σκοπό, μαζί με άλλα είδη φυτών ζεστής περιόδου, αποτελούσαν τροφή για τα μηρυκαστικά ζώα για χιλιετίες, στα οικοσυστήματα του Great Plains (Anderson, 2000; Coppedge *et al.*, 1998). Πράγματι, η οικολογία του switchgrass είναι άρρηκτα συνδεδεμένη με τη βόσκηση, την καταπάτηση των ζώων (Eom *et al.*, 2001; Wallace, 1987), και των περιοδικών και έντονων πυρκαγιών (Cuomo *et al.*, 1998; Knapp, 1985; Rice and Parenti, 1978).

Πολλές από τις πρώτες επιστημονικές εκθέσεις πάνω στο φυτό ήταν για τη βοτανική περιγραφή του ή αξιολογήσεις των φαινοτυπικών διακυμάνσεων μεταξύ των νέων βελτιωμένων γονοτύπων (Cornelius and Johnston, 1941; Eberhart and Newell, 1959; Newell and Eberhart, 1961; Nielsen, 1947). Λιγοστή ήταν η έρευνα που πραγματοποιήθηκε σχετικά με το switchgrass ως καλλιεργούμενο είδος από μόνο του, μέχρι τα τέλη του 20^{ου} αιώνα. Το switchgrass εμφανίζεται σε παλαιότερες αγρονομικές μελέτες, συνήθως ως μία ιθαγενής, ζεστού κλίματος, άγρια πόα (*e.g.*, Cornelius, 1944). Το switchgrass συνεχίζει να μελετάται κατά καιρούς, σε μείγματα ή ως αντικαταστάτης των λιβαδικών οικοσυστημάτων, όπου μερικές από αυτές τις δουλειές μπορούν να είναι κατατοπιστικές για τη διαχείρισή του σε συστήματα μονοκαλλιέργειας (*e.g.*, Bentivenga and Hetrick, 1991; Berg, 1995; Cuomo *et al.*, 1998; Turner *et al.*, 1993).

Η μετάβαση του switchgrass από τη σχετική αφάνειά του ως ιθαγενής πόα στη μελέτη του ως μονοκαλλιέργεια ήρθε στη δεκαετία του '70 (*e.g.*, Balasko and Smith, 1971; Berg, 1971). Πρώιμες γεωπονικές εργασίες επικεντρώθηκαν σε μεγάλο βαθμό σε παράγοντες που σχετίζονται με την αξία και την απόδοσή

του για κτηνοτροφική χρήση και συνεχίζονται ακόμα και σήμερα (Anderson, 2000). Όταν χρησιμοποιείται ως τροφή ζώων συνήθως βόσκειται, αλλά μπορεί να χρησιμοποιηθεί και για την παραγωγή σανού και ενσίρωσης (Balasko and Burner, 1981; McLaughlin *et al.*, 2004; Sanderson, 2000).

Τα τελευταία 20 χρόνια το switchgrass έχει αρχίσει να μελετάται για μη κτηνοτροφικούς σκοπούς και ιδιαίτερα για την παραγωγή βιοενέργειας.

Εκτός της χρήσης του ως κτηνοτροφή ή πρώτη ύλη βιοκαυσίμων, μεγάλη είναι η σημασία του και κατά της διάβρωσης του εδάφους. Όπως και με άλλα ψηλά γρασίδια, και ίσως ειδικότερα όταν η διαχείρισή τους γίνεται για την παραγωγή βιομάζας, η φυτική κάλυψη του switchgrass και το εκτεταμένο δίκτυο ριζών του, μπορούν να μειώσουν τον αντίκτυπο που έχουν οι σταγόνες της βροχής, η απορροή και η διάβρωση (Ichizen *et al.*, 2001; Self-Davis *et al.*, 2003).

Το switchgrass χρησιμοποιούνταν εκτεταμένα για εκτάσεις που προορίζονταν για το ομοσπονδιακό 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 που έχει το switchgrass ως ρυθμιστής κεκλιμένων εκτάσεων, είναι εν μέρει λόγω της μορφολογίας του φυτού, του οποίου τα δύσκαμπτα στελέχη μπορούν να λειτουργήσουν ως εμπόδια ή φράχτες, για να επιβραδύνουν την απορροή, να προωθήσουν τη διήθηση και να παρακινήσουν την επιτόπια καθίζηση (Alberts *et al.*, 2001; Becker, 1992; Blanco-Canqui *et al.*, 2004; Kemper *et al.*, 1992; Lee *et al.*, 2003). Οι φυτεύσεις του φυτού στις άκρες των αγρών ή κατά μήκος των ρεμάτων μπορούν επίσης να μειώσουν τις απώλειες απορροής του αζώτου και φωσφόρου (Blanco-Canqui *et al.*, 2004; Eghball *et al.*, 2000; Lee *et al.*, 2003; Sanderson *et al.*, 2001).

Μερικές από τις διαδικασίες που παρατηρήθηκαν στα βλαστικά φίλτρα του switchgrass υποδηλώνουν ότι το είδος αυτό έχει, επίσης, εξεταστεί και για φυτοεξυγίανση και η καλλιέργεια θα μπορούσε να θεωρηθεί ως διπλού σκοπού, φυτοεξυγίανσης και δημιουργίας βιοκαυσίμων. Τα χαμηλά ποσοστά της κίνησης του νερού στην απορροή και τα μεγάλα ποσοστά διήθησης του νερού που παρατηρούνται στο φυτό και στις λωρίδες φιλτραρίσματος εμφανίζονται να αυξάνουν την απορρόφηση των φυτοφαρμάκων που μεταφέρονται κατά την απορροή (Blanche *et al.*, 2003; Mersie *et al.*, 1999a,

1999b, 2003, 2004; Reungsang *et al.*, 2001; Wu *et al.*, 2003). Επιπλέον, το switchgrass έχει δείξει πως μπορεί να διευκολύνει την απομάκρυνση ή την καλύτερη κατανομή των ρύπων του εδάφους, συμπεριλαμβανομένων και των ζιζανιοκτόνων, των πολυπύρηνων αρωματικών υδρογονανθράκων και του χρωμίου (Shahandeh and Hossner, 2000). Εξαιτίας της ευρείας προσαρμογής και της αντοχής του σε κάποιους δυσμενείς εδαφικούς παράγοντες, το switchgrass έχει μελετηθεί για τη χρησιμότητά του να βοηθά στην αναβλάστηση διαταραγμένων περιοχών και θέσεων με ψηλά ποσοστά φυτοτοξικών ουσιών (Zak, 1977).

Λόγω της μορφολογίας του και της σχετικής ακαμψίας του, το φυτό αυτό δεν έχει μόνο καλή αντοχή στο νερό, αλλά και στη ροή του αέρα κοντά στην επιφάνεια του εδάφους. Η αξία των φραγμάτων ανέμου που σχηματίζει το φυτό για τον έλεγχο της διάβρωσης και για την αλλαγή του μικροκλίματος έχει μελετηθεί από πολλούς ερευνητές (Bilbro and Fryrear, 1997; Kemper *et al.*, 1992; Retta *et al.*, 2000).

Μια επιπλέον οικολογική-περιβαλλοντική αξία που έχει αποδοθεί στο switchgrass είναι αυτή του ενδιστάτου άγριας ζωής, ιδίως για τα πουλιά. Ορισμένα είδη ασπόνδυλων όπως τα ερπετά, αμφίβια, θηλαστικά (Clark *et al.*, 1998; Clark *et al.*, 1989; Schwartz and Whitson, 1987), προτιμούν τη σκιά που δημιουργεί το φυτό και άλλου είδους ψηλές πόες. Ιδιαίτερα, όταν εκτάσεις ψηλών γρασιδιών μεγαλώνουν δίπλα σε άλλους τύπους οικοσυστημάτων, όπως λιβάδια, βοσκοτόπους ή δάση, τότε μπορούν να παρέχουν ποικίλους οικότυπους που ευνοούν ορισμένα είδη (Bock *et al.*, 1995; Clark *et al.*, 1998; Giuliano and Daves, 2002). Αντίθετα, επικρατεί η άποψη ότι η εντατική εκμετάλλευση και μετατροπή του switchgrass σε ενέργεια θα μπορούσε να έχει αρνητικές επιπτώσεις σε ορισμένα είδη πτηνών των οποίων τα ενδιστάτα μετατρέπονται σε ενεργειακές καλλιέργειες (McCoy *et al.*, 2001; Murray *et al.*, 2003). Ορισμένες όμως, μελέτες έδειξαν ότι το switchgrass μπορεί να ελαχιστοποιήσει τα ανωτέρω ανεπιθύμητα αποτελέσματα, όταν καλλιεργείται σε συστήματα παραγωγής ενέργειας, τουλάχιστον σε λιβάδια όπου κατοικούν πουλιά (Murray and Best, 2003).

Ορισμένες καλλιεργούμενες ποικιλίες του switchgrass έχουν αξία ως καλλωπιστικά φυτά (Davidson and Gobin, 1998) ή ως λουλούδια σε άγρια λιβάδια (Haynes *et al.*, 1997). Επιπλέον, το switchgrass παρέχει τη

δυνατότητα να χρησιμοποιηθεί ως πρώτη ύλη πολτού λόγω των ινών που περιέχει, αλλά όχι απαραίτητα λόγω της περιεκτικότητάς του σε λιγνίνη (Dinesh and Roy, 1999; Fox *et al.*, 1999; Goel *et al.*, 2000; Ververis *et al.*, 2004). Μερικοί μελετητές έχουν διερευνήσει τις δυνατότητες του φυτού να παράγουν φαρμακευτικά προϊόντα και χημικά διαφόρων τύπων (Lau *et al.*, 2004). Μεταξύ άλλων ασυνήθιστων παραδειγμάτων για τη χρησιμότητα της βιομάζας του switchgrass, έχει ερευνηθεί ο ψιλοκομμένος βλαστός ως υπόστρωμα για εμπορική παραγωγή μανιταριών (Royle *et al.*, 2004).

1.2 Οικολογία, Ποικιλίες και Εδαφικά

Η ευρεία προσαρμογή ήταν ένα βασικό κριτήριο σε έρευνα που έγινε για τις ενεργειακές καλλιέργειες ποωδών φυτών (McLaughlin and Walsh, 1998), και το switchgrass (*Panicum virgatum* L.) αποτέλεσε μια επιλογή ως ένα πρότυπο είδος. Το switchgrass είναι φυτό ευρέως προσαρμοζόμενο πιθανώς επειδή, μέσω του διασκορπισμού του από το κέντρο καταγωγής του σε όλη την Κεντρική και Βόρεια Αμερική, διακριτοί πληθυσμοί περιήλθαν σε γενετική-οικολογική ισορροπία σε πολλές θέσεις.

Οι πληθυσμοί του switchgrass απαντώνται ή απαντιόνταν φυσικά, από την Κεντρική Αμερική μέχρι το νότιο Καναδά, και από την ανατολική ακτή ως τη μακρινή δύση, ως την Αριζόνα και τη Νεβάδα των Ηνωμένων Πολιτειών (Hitchcock, 1935). Στις πεδιάδες της Βόρειας Αμερικής το βορεινό όριο προσαρμογής του φυτού είναι περίπου οι 51 °B (Jefferson *et al.*, 2002). Εξαιτίας του ήπιου χειμώνα σε σύγκριση με άλλα γεωγραφικά πλάτη, το βορειότερο όριο του switchgrass που καλλιεργείται σε ορισμένα τμήματα της Ευρώπης μπορεί να είναι σε λίγο ψηλότερα γεωγραφικά πλάτη (Elbersen *et al.*, 2001).

Έχουν παρατηρηθεί διαφορές στην καλλιέργεια του switchgrass (Casler and Boe, 2003; Hopkins *et al.*, 1995a, 1995b; Madakadze *et al.*, 1998c). Οι λόγοι γι' αυτές τις διαφορές δεν είναι σαφείς, αν και αναμφίβολα σχετίζονται με την καταλληλότητα του πληθυσμού σε ένα δεδομένο περιβάλλον. Παραδείγματος χάριν, οι ποικιλίες που προέρχονται από ανατολικούς πληθυσμούς δε μπορούν, όπως είναι φυσικό, να προσαρμόζονται το ίδιο εύκολα στα ξηρά κλίματα της δύσης.

Εκτός από την ευρεία γεωγραφική κατανομή του, το φυτό παρουσιάζει και μεγάλη προσαρμοστικότητα σε διαφορετικές εδαφικές συνθήκες. Ο Porter (1966) ομαδοποίησε τους πληθυσμούς του switchgrass σε δύο μεγάλες κατηγορίες με βάση –ετυμολογικά τουλάχιστον- τη συνήθη θέση τους στο επίπεδο. Οι «πεδινές» ποικιλίες συνδέονταν με χαμηλότερες και πιο ένυδρες περιοχές, ενώ οι «ορεινές» ποικιλίες ήταν πιο κοινές σε ψηλότερες τοποθεσίες. Γεωγραφικά, οι πληθυσμοί των ορεινών ποικιλιών έχουν την ικανότητα να προσαρμόζονται καλύτερα από τα μέσα προς τα βόρεια γεωγραφικά πλάτη, ενώ οι πεδινές ποικιλίες συνήθως, προσαρμόζονται καλύτερα (όπου και συχνά συναντώνται) σε χαμηλότερα γεωγραφικά πλάτη. Ωστόσο, μέσα στις μορφές (ορεινές ή πεδινές), 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).

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

Ενώ η υδρολογία μπορεί να παρουσιάσει μεγάλες διαφορές στους τύπους του εδάφους μεταξύ πεδινών και ορεινών περιοχών, ο τύπος του εδάφους καθ' εαυτό έχει, απροσδόκητα, μικρή επίδραση στη μορφολογία ή την ανάπτυξη του switchgrass (Sanderson *et al.*, 1999b). Η υφή του εδάφους, ειδικά όταν σχετίζεται με την ικανότητα συγκράτησης του νερού, είναι ένας σημαντικός παράγοντας για την ανάπτυξη και εγκατάσταση. Η ικανότητα συγκράτησης του νερού ενός εδάφους έχει επιπτώσεις στην παραγωγικότητα όπως επίσης και στην επιβίωση μιας καλλιέργειας (Stout *et al.*, 1988). Οι πεδινές ποικιλίες, ή τύποι, είναι γενικά πιο ευαίσθητοι στο υδατικό στρες απ' ό,τι οι ορεινές ποικιλίες (Porter, 1966; Stroup *et al.*, 2003), και οι ορεινοί τύποι του φυτού είναι πιο ευαίσθητοι στην έλλειψη υγρασίας σε σχέση με κάποια άλλα φυτά ζεστού κλίματος (Stout *et al.*, 1986). Ωστόσο, μεταξύ των συστατικών των ποωδών φυτών που έχουν ελεγχθεί για την παραγωγή βιοκαυσίμων (π.χ. *Miscanthus × giganteus* και *Phalaris arundinacea*), το switchgrass είναι πιθανώς, λιγότερο ευαίσθητο στην ξηρασία, λαμβάνοντας υπόψη τις διαφορές τόσο στο βάθος ριζοβολίας όσο και στην αρχιτεκτονική του φυτού (Riche and Christian, 2001).

Η οξύτητα του εδάφους δεν είναι συχνά περιοριστικός παράγοντας. Το switchgrass είναι πολύ ανεκτικό σε όξινα εδάφη (Bona and Belesky, 1992; Hopkins and Taliaferro, 1997), και οι ρίζες του έχουν αναφερθεί ότι μπορούν να αναπτυχθούν ακόμη και σε εδάφη με τιμές pH 3.7 (Stucky *et al.*, 1980).

Ο Hetrick (*et al.*, 1988) έχει δηλώσει ότι το switchgrass και οι μυκόρριζες έχουν συν-εξελιχθεί καθώς έχουν μετακινηθεί από την τροπική αρχική τους προέλευση, όπου αεριζόμενα εδάφη είναι συνήθως αρκετά όξινα, με υψηλά επίπεδα ανταλλάξιμου αργιλίου και μπορούν εύκολα να ακινητοποιήσουν θρεπτικά όπως ο φώσφορος (P).

Η κοινοτυπία με τον μύκητα στο να σχηματίζει φλυκταινώδεις μυκόρριζες είναι πιθανόν, βασικός παράγοντας του φυτού για την προσαρμογή του σε πολύ περιοριστικές εδαφικές συνθήκες (Finlay, 2004). Η επαυξημένη πρόσληψη P είναι μία από τις πιο γνωστές επιδράσεις των μυκόρριζων. Οι μυκόρριζες παίζουν σημαντικό ρόλο στη ρύθμιση της ανάπτυξης του switchgrass σε περιβάλλοντα με περιορισμένο P, και μια πρόσφατη έρευνα πάνω στο σόργο (*Sorghum bicolor*) εισηγήθηκε ότι αυτή η δράση απορρόφησης φωσφόρου μπορεί να είναι μεγαλύτερη όταν η υγρασία είναι περιορισμένη (Neuman and George, 2004). Με την παρουσία μυκόρριζας, η απόκριση των περισσότερων φυτικών παραμέτρων στην αύξηση των επιπέδων του φωσφόρου ήταν τετραγωνική (Brejda *et al.*, 1993).

Πολλές από τις έρευνες σε αυτό το χώρο έχουν επικεντρωθεί στη σχέση οικολογίας του μύκητα- ξενιστή με λιβαδοπονικά φυτά και τις αλληλεπιδράσεις με άλλα φυτά (Bentivenga and Hetrick, 1991; Eom *et al.*, 2000; Eom *et al.*, 2001; Hartnett *et al.*, 1994; Smith *et al.*, 2000; Wallace, 1987; Wilson *et al.*, 2001). Ωστόσο, και τα πειράματα σε γλάστρες αλλά και οι μελέτες αγρού δείχνουν ότι η παρουσία των μυκόρριζων μπορεί να βελτιώσει την παραγωγικότητα και την αντοχή στο στρες του switchgrass (Al-Karaki *et al.*, 2004), καθώς και να μειώσει την εισροή λιπασμάτων για παραγωγή βιοκαυσίμων. Η διακλάδωση της ρίζας και το μήκος της φαίνεται να μειώνεται με την παρουσία της μυκόρριζας (Hetrick *et al.*, 1991). Αυτό μπορεί να επιτρέψει τη διατήρηση της ενέργειας των φυτών ή να μεταβληθεί η κατανομή του άνθρακα C μεταξύ του υπέργειου και του υπόγειου τμήματος του φυτού.

Τα πρόσθετα γνωρίσματα του φυτού που εξετάζονται από το πρότυπο ALMANAC (Kiniry *et al.*, 1996) κατά την εκτίμηση του δυναμικού απόδοσής

του, περιλαμβάνουν τους θόλους βιοενέργειας και τα χαρακτηριστικά ανάπτυξης, τις θρεπτικές απαιτήσεις στα διαφορετικά στάδια ανάπτυξης και τις συνεισφορές στην ποιότητα του εδάφους (εδαφική διάβρωση, θρεπτική κατάσταση του εδάφους και εδαφική κατάσταση του άνθρακα). Αυτά τα χαρακτηριστικά επηρεάζουν τη συνολική σταθεροποίηση του άνθρακα και τη δυνατότητα παραγωγής, τα οικονομικά οφέλη παραγωγής και τα πιθανά περιβαλλοντικά οφέλη από την παραγωγή του switchgrass ως βιοκαύσιμο.

Η υψηλή επένδυση από το switchgrass και άλλα πολυετή είδη φυτών στο σχεδιασμό της ρίζας για την αποθήκευση και αποκατάσταση των θρεπτικών ουσιών, που εκτρέπουν τον σταθερό άνθρακα από τη συγκομιζόμενη υπέργεια βιομάζα, αντιπροσωπεύει ένα σημαντικό αγρονομικό όφελος αυτών των ειδών. Οδηγεί σε χαμηλότερες απαιτήσεις για συμπληρωματικό νερό και θρεπτικές ουσίες και ως εκ τούτου πιο σταθερές και οικονομικώς αποδοτικές παραγωγές.

1.3 Μορφολογία

Η μελέτη της μορφολογίας έχει σημασία για τη μοντελοποίηση και την πρόβλεψη της ανάπτυξης και του προγραμματισμού της διαχείρισης του φυτού, όπως τη σπορά, τη συγκομιδή ή τη γονιμοποίηση. Η μορφολογία παίζει ρόλο στην εγκατάσταση, την παραγωγικότητα και τη μακροπρόθεσμη επιβίωση. Έχει γίνει μεγάλη προσπάθεια για την κατανόηση των μορφολογικών διαφορών στο εσωτερικό του switchgrass και τη διαχείριση των διαφορών αυτών (Sanderson *et al.*, 1996; Vogel, 2000).

Το switchgrass είναι ένα ψηλό γρασίδι που αποκτά από 0,5 έως 3 m ύψος, με βάθος ριζικού συστήματος έως και 3 m (Moser and Vogel, 1995; Porter, 1966). Το ριζικό σύστημα του φυτού 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 ριζώματα διαφέρουν στην έκταση που αυξάνονται. Τα φυτά που παρουσιάζουν μικρότερα ριζώματα σχηματίζουν σφιχτές δέσμες, ενώ φυτά με πιο ενεργά ριζώματα μπορούν να σχηματίσουν χλοοτάπητες (Beaty *et al.*, 1978).

Σε σύγκριση με τους ορεινούς πληθυσμούς, οι πεδινοί έχουν πιο παχείς και ψηλότερους βλαστούς, με παχύτερα στελέχη και μεγαλύτερες ανθήλες (Casler, 2005; Porter, 1966). Οι πεδινοί τύποι είναι πιθανό να είναι πιο ογκώδεις (Vogel, 2000). Ένα άλλο ιδιαίτερο χαρακτηριστικό μεταξύ των δυο αυτών τύπων είναι η προέλευση των βλαστών. Οι βλαστοί των πεδινών φυτών προέρχονται αποκλειστικά από τα ριζώματα ή τα βλαστοφόρους οφθαλμούς. Οι βλαστοί των ορεινών φυτών προέρχονται, από πιο ενεργά ριζώματα και από βασικούς κόμβους των καλαμιών που προέρχονται από το προηγούμενο έτος, με τον ίδιο τρόπο που σχηματίζονται στα σιτηρά και πολλά άλλα αγροστώδη (Porter, 1966).

Το switchgrass εμφανίζει κληρονομικές διαφορές στο μέγεθος των σπόρων, που μπορεί να είναι περιορισμένης σημασίας για την εγκατάσταση. Ο Smart (1999) ανέφερε ότι το μέγεθος του σπόρου είχε μικρή επίδραση σε βασικά χαρακτηριστικά ανάπτυξης των φυτών, αλλά μεγαλύτεροι σπόροι μπορεί να επιτρέψουν μεγαλύτερη επιβίωση των φυταρίων αν οι σπόροι φυτευτούν βαθιά (Zhang and Maun, 1990). Αρκετές καλλιέργειες που προέρχονται και από τις δυο ποικιλίες, εμφανίζουν αντίθετο φαινόμενο, δηλαδή κάτω από πίεση η καλλιέργεια μικρών φυταρίων παράγει μεγάλους σπόρους και το αντίθετο. Αυτό υποδηλώνει ότι το switchgrass μπορεί να έχει αναπτύξει διάφορες στρατηγικές ώστε να αντιμετωπίσει την ανάπλαση σε διάφορα περιβάλλοντα.

Η βλάστηση των σπόρων και του αδελφώματος είναι σημαντικές πτυχές της μορφολογίας. Διαπιστώθηκε ότι η θέση της στεφάνης (αναπτυσσομένη 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. Προσφάτως, το switchgrass επιλέχθηκε για πολλαπλές καλλιεργητικές σπορές και έχει γίνει εκτίμηση των συνεπειών στην εγκατάσταση και τις αποδόσεις (Das *et al.*, 2004; Smart *et al.*, 2003a).



Book: Warm-Season (C4) Grasses

p. 561-588
agronomy monograph 45.
Warm-Season (C4) Grasses

Lowell E. Moser, Byron L. Burson and Lynn E. Sollenberger (ed.)

ISBN: 978-0-89118-237-5

Published: 2004



Division of Agriculture
RESEWARCH & EXTENSION
University of Arkansas system
Switchgrass Leaf Base

1.4 Βοτανικά χαρακτηριστικά

Το Switchgrass είναι ένα ιθαγενές, ευθυτενές, τραχύ, θερμής εποχής, πολυετές φυτό. Το ύψος του φυλλώματος των ώριμων φυτών είναι συνήθως από 0,9 – 1,5 m, η επάνθηση, που είναι μια ανοιχτή ανθήλη 15- 46 cm, επεκτείνεται συχνά σε ύψος 1,5- 2,1 m. Το Switchgrass διαμορφώνεται και ως πόα στους διάφορους οικοτύπους. Οι δεσμίδες σχηματίζονται συνήθως στα υψίπεδα, ενώ η διαμόρφωση πόας εμφανίζεται στα πεδινά. Στα νοτιοανατολικά σημεία, όπου το φυτό διαμορφώνεται σε δεσμίδες έχουν απότομα, κάθετα προσανατολισμένα ριζώματα που υπολογίζονται στα 1,4 cm μήκος, ενώ στους οικοτύπους που διαμορφώνεται ως πόα τα ριζώματα είναι κοντά, απότομα, κάθετα προσανατολισμένα και μακριά, οριζόντια προσανατολισμένα (2 έως 4 φορές μακρύτερα από τα κάθετα ριζώματα). Οι ρίζες του Switchgrass μπορούν να φτάσουν σε βάθη 3 m ή και περισσότερο.



Wikipedia
Panicum Virgatum



Research & Extension Center Virtual Herbarium - Switchgrass (*Panicum virgatum*)

1.5 Φαινολογία, σχέσεις θερμοκρασίας

Η φαινολογία του switchgrass, δηλαδή, η χρονική στιγμή της ανάπτυξής του σε σχέση με το κλίμα, έχουν μεγάλο ιστορικό ενδιαφέρον και συνεχίζει να κινεί την περιέργεια των ερευνητών. Το switchgrass εμφανίζει ιδιαίτερα αναπτυξιακά πρότυπα που σχετίζονται με τη συσσωρευμένη θερμοκρασία και τη μεγάλη διάρκεια της ημέρας, αλλά αυτές οι σχέσεις επηρεάζουν σε μεγάλο βαθμό τις αλληλεπιδράσεις γονότυπου x περιβάλλοντος. Το switchgrass παράγει συνήθως μια καλλιεργητική δέσμη, όπου όλα τα αδέρφια γίνονται αναπαραγωγικά μετά από μια περίοδο βλαστικής ανάπτυξης και η συσσώρευση βιομάζας διακόπτεται μετά από την ολοκλήρωση της ανθικής ανάπτυξης (Van Esbroeck *et al.*, 2003). Οι οφθαλμοί του βλαστού αναπτύσσονται πάνω στα ριζώματα ή σε παλιά αδέρφια και μετά αναπτύσσονται ως νέα αδέρφια τη δεύτερη σεζόν, έτσι τα αδέρφια μερικές φορές περιγράφονται ως διετή (Beaty *et al.*, 1978).

Ο χαρακτήρας της φωτοπεριοδικότητας στο switchgrass έχει εξεταστεί την περασμένη μόλις δεκαετία από τον Van Esbroeck (2003) και τους συνεργάτες του, οι οποίοι δοκίμασαν την απόκριση μιας βόρειο-ορεινής και μιας νότιο-πεδινής ποικιλίας σε φωτοπερίοδο κάτω των 12 ή 16 ωρών. Και οι δυο ποικιλίες παράξαν ανθήλες και στα δυο περιβάλλοντα. Κάτω από την μακρά διάρκεια της ημέρας, η αρχική εμφάνιση της ανθήλης καθυστέρησε για την βόρεια ποικιλία, όχι όμως και για την πεδινή. Η διάρκεια της αναπαραγωγικής ανάπτυξης παρατάθηκε και για τις δυο ποικιλίες και λόγω της μεγάλης φωτοπεριόδου το μήκος της ανθήλης αυξήθηκε.

Οι διάφορες ποικιλίες του switchgrass διαφέρουν στην ανταπόκρισή τους στην υγρασία του εδάφους και την έλλειψη νερού. Οι Sanderson και Reed (2000) ανέφεραν ότι η φωτοσύνθεση και το ωσμωτικό δυναμικό στις πεδινές ποικιλίες μειώνονται όταν η τάση υγρασίας του εδάφους είναι κάτω από -45 kPa. Η δε δραστηριότητα της διαπνοής (η βιομάζα που παράγεται ανά διαπνεόμενη μάζα νερού) δεν επηρεάζεται από τη ξηρασία (Byrd and May, 2000). Διαφορές ανάμεσα στις ποικιλίες ανάλογα με τη χρήση νερού υπάρχουν, και αυτό μπορεί να είναι ένα χρήσιμο χαρακτηριστικό για την επιλογή της περιοχής που θα καλλιεργηθεί το φυτό.

1.6 Βάθος σποράς και εκτιμήσεις για την σύσταση του έδαφους

Το βάθος στο οποίο τοποθετούνται οι σπόροι (σπορά σε αυλάκι ή ενσωμάτωση μετά από χύδην σπορά) είναι κρίσιμο. Η ανησυχία για την τελική φάση είναι η αποφυγή βαθέων που υπερβαίνουν την ικανότητα του μίσχου του σπορόφυτου, συν της κολεοπτίλης να εκπτυχθούν. Μελέτες για το βάθος σποράς του switchgrass έχουν δείξει ότι η σύσταση και άλλες φυσικές ιδιότητες του εδάφους είναι σημαντικές (Aiken and Springer, 1995; Evers and Parsons, 2003). Σε μελέτες θερμοκηπίων με πολύ αμμώδες χώμα, το switchgrass αναδύθηκε από βάθη έως και 16 cm και εμφανίστηκε σταθερά καλά από βάθη 3 έως 10 cm (Zhang and Maun, 1990). Οι Newman και Moser (1988a) εξέτασαν την εμφάνιση του φυτού στο χωράφι σε ένα αργιλώδες χώμα και δεν βρήκαν καμιά διαφορά μεταξύ της σποράς του στο 1,5 και στα 3 cm. Η εμφάνισή του από βάθος σποράς 4,5 cm μειώθηκε κατά 30- 40 % σε σύγκριση με τα 3 cm, και η εμφάνιση του φυτού από τα 6 cm ήταν μισή έως ¼ από αυτό που ήταν στα δυο πιο ρηχά βάθη. Οι Moser και Vogel (1995) πρότειναν την τοποθέτηση του σπόρου στα 1 με 2 cm.

Ενώ είναι ουσιαστικό να μην τοποθετηθεί πολύ βαθιά ο σπόρος και να μην εμποδιστεί η εμφάνισή του στην πρώτη φάση, η εξασφάλιση ενός ελάχιστου βάθους σποράς είναι εξίσου σημαντική. Οι σπόροι που είναι διασπαρμένοι απλά ή τοποθετημένοι πολύ ρηχά είναι σε μειονεκτική θέση και η εδαφολογική σύσταση καθορίζει μερικώς την ανάπτυξή τους σε αυτό το βάθος. Οι Zhang και Maun (1990) βρήκαν λιγότερο σταθερή την εγκατάσταση των σπόρων σε βάθος <3 cm στα αμμώδη εδάφη. Οι Evers και Parsons (2003) είδαν μια πολύ χαμηλή ικανότητα επιβίωσης των σποροφύτων σε ένα αμμώδες έδαφος όταν σπάρθηκαν οι σπόροι σε βάθος 1 cm και έπειτα εκτέθηκαν σε υδατικό στρες. Από την άλλη, σπόροι που τοποθετήθηκαν στο ίδιο βάθος σε αργιλώδες έδαφος παρουσίασαν σπορόφυτα με μεγαλύτερη ικανότητα επιβίωσης και καλύτερη αντίδραση στην υδατική καταπόνηση. Η εγκατάσταση του switchgrass στις ξηρότερες περιοχές των νότιων μεγάλων πεδιάδων των Ηνωμένων Πολιτειών μπορεί να είναι ιδιαίτερα προβληματική εξαιτίας της συχνής ξηρασίας ή/και του ακατέργαστου εδάφους (Evers and Butler, 2000; Evers and Parsons, 2003).

1.7 Διαχείριση του αζώτου στο switchgrass για παραγωγή βιομάζας

Οι περισσότερες από τις μελέτες που έχουν γίνει για την αζωτούχο λίπανση του switchgrass επικεντρώθηκαν στην καλλιέργεια ως κτηνοτροφή. Τα περισσότερα αποτελέσματα έδειξαν ότι για ένα σύστημα παραγωγής βιοκαυσίμων, η ποσότητα N που απαιτείται είναι λιγότερη για την παραγωγή βιομάζας απ' ό,τι για την παραγωγή κτηνοτροφής.

Το N που αφαιρείται με το switchgrass όταν συγκομίζεται ως κτηνοτροφή, μπορεί να ανέλθει σε αρκετά κιλά N/στρ., ανά χρόνο όταν γίνουν πολλές κοπές. Η ανάκτηση του N μπορεί να κυμανθεί σε λιγότερο από 50% μέχρι και 100%. Το άζωτο που ανακτήθηκε από τη διαχείριση του switchgrass μετά από μια κοπή σε πειράματα στην Αλαμπάμα υπολογίστηκε στο 66% (Bransby *et al.*, 1998). Οι Stout και Jung (1995) εφήρμοσαν 84 κιλά N/ha, σε φυτά switchgrass που ήταν τοποθετημένα σε τέσσερις διαφορετικές περιοχές της Πενσυλβανία και ανέκτησαν περίπου του 40% του εφαρμοζόμενου αζώτου σε βιομάζα.

Ενώ η αναλογία N/πρωτεΐνες είναι ιδιαίτερα επιθυμητή στην τροφή των ζώων, η υψηλή περιεκτικότητα σε άζωτο είναι ένας αντί-ποιοτικός παράγοντας για την παραγωγή βιοκαυσίμων. Από ένα σύστημα μίας μόνο συγκομιδής του switchgrass που λαμβάνεται μετά την πλήρη ωρίμανση του φυτού –αφού έχει ολοκληρωθεί η υπέργεια ωρίμανση και επέρχεται μαρασμός- θα παραχθούν καλύτερης ποιότητας (λιγότερο N) βιοκαύσιμα και επίσης η μοναδική συγκομιδή προτιμάται για βιολογικούς/αγρονομικούς λόγους. Αυτό συμβαίνει γιατί το άζωτο ανακυκλώνεται από τους βλαστούς στα υπόγεια μέρη στο τέλος της σεζόν (Beatty *et al.*, 1978; Clark, 1977) ή κατά τη διάρκεια της ξήρανσης (Heckathorn and De Lucia, 1994). Πρέπει τέλος, να σημειωθεί ότι το switchgrass είναι ένα φυτό με χαμηλές απαιτήσεις σε άζωτο.

1.8 Φώσφορο P, Κάλιο K και εκτιμήσεις του pH

Το φυτό έχει μικρές απαιτήσεις σε φώσφορο (P). Συχνά μικρή ή καθόλου αντίδραση αναφέρεται για την προσθήκη P (Brejda, 2000). Ο Mc-Murphy (1975) και οι συνεργάτες του εξέτασαν τη λίπανση των «εγγενών ποών» ώστε να περιλαμβάνεται και το switchgrass. Πρόσθεσαν μέχρι 180 kg N/ha σε συνδυασμό με 0 ή 40 kg P/ha. Η μέγιστη απόδοση σε switchgrass ήρθε με το

υψηλότερο ποσοστό του N συν το P, υποδηλώνοντας ότι ο φώσφορος μπορεί να αυξήσει την παραγωγή. Ο Hall (1982) με τους συνεργάτες του, δε βρήκανε καμιά αντίδραση όταν εφήρμοσαν φώσφορο σε έδαφος φτωχό στο συγκεκριμένο στοιχείο όπου είχε καλλιέργεια switchgrass, στην Αϊόβα.

Το switchgrass, όπως και άλλες πόες θερμών κλιμάτων, είναι καλλιέργεια χαμηλών εισροών και ιδίως στο κάλιο και συχνά δείχνει μικρή ή καθόλου ανταπόκριση σε προσθήκη του (Brejda, 2000; Hall *et al.*, 1982). Ο Smith (1979) επίσης 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.

Εάν το N μπορεί να ανακυκλωθεί μέσω της δυνατότητας διακίνησης μέσα στο φυτό, σε ένα τρόπο διαμόρφωσης «κλειστού βρόγχου», η ανακύκλωση P, K και άλλων θρεπτικών ουσιών μπορούν να προκύψουν μέσω μιας μεθόδου «ανοιχτού βρόγχου» στην οποία τα μεταλλικά στοιχεία διηθούνται από μαραμένα-νεκρά φύλλα αλλά διατηρούνται μέσα στο οικοσύστημα. Μια τέτοια συντήρηση μέσα στο οικοσύστημα διηθούμενου P και K εμφανίζεται στα χειμερινής συγκομιδής συστήματα βιομάζας στη Σκανδιναβία (Burvall, 1997). Επιπλέον, κάποια χώματα μπορούν να παρέχουν μεταλλοποιημένο P ή K πιο εύκολα, μειώνοντας έτσι την ανάγκη, τουλάχιστον βραχυπρόθεσμα, για τέτοιες τροποποιήσεις.

Η επίδραση του pH του χώματος στην παραγωγικότητα του φυτού φαίνεται να ποικίλει με παράγοντες που συνδέονται με τις αλλαγές του pH, αλλά όχι πάντα καλά τεκμηριωμένα σε μελέτες ασβέστωσης, π.χ. αλλαγές στη διαθεσιμότητα τοξικών στοιχείων. Ο Jung (1988) με τους συνεργάτες του, χρησιμοποίησε ασβεστόλιθο σε εδάφη με pH 4,3–4,9 και βελτίωσε την παραγωγή κατά 5 έως 30 % στη διάρκεια μιας σειράς από τιμές N και χρόνων. Οι Bona και Belesky (1992) βρήκαν αναμφισβήτητες διαφορές ανάμεσα σε αρκετές σειρές (γονότυπους) switchgrass στην παραγωγή, από την αντίδρασή τους με την ασβέστωση, με μερικές να είναι αρκετά ανεκτικές σε χώματα με pH 5.

1.9 Απόκριση νομιμότητας

Από τα πειράματα που πραγματοποιήθηκαν σε Αλαμπάμα, Τέξας και Βιρτζίνια καθορίζονται η βέλτιστη λίπανση καθώς και η ρύθμιση των αποστάσεων φύτευσης για την παραγωγή βιομάζας. Στο Τέξας και το Άλαμο το switchgrass ανταποκρίθηκε στην εισαγωγή λιπάσματος αζώτου μέχρι και 200 kg/ ha, αλλά όχι και στην προσθήκη φωσφόρου (Sanderson *et al.*, 1994), ενώ τα αρχικά επίπεδα N και P στο χώμα ήταν πολύ χαμηλά (<2-10 kg διαθέσιμο N και P/ha σύμφωνα με τις εδαφολογικές αναλύσεις). Μεγαλύτερο διάστημα μεταξύ των σειρών φύτευσης δεν αύξησε την παραγωγή βιομάζας σε καμία περιοχή του Τέξας. Στην Αλαμπάμα, ωστόσο, ο Sladden (1995) με τους συνεργάτες του ανέφερε ότι η παραγωγή βιομάζας στο switchgrass, ποικιλίας Alamo, αυξήθηκε με τα μεγαλύτερα διαστήματα μεταξύ των σειρών και η αυξανόμενη λίπανση με N αύξησε την απόκριση μεταξύ των αποστάσεων των σειρών.

1.10 Παράγοντες που καθορίζουν τις αποδόσεις παραγωγής

Η παραγωγή του switchgrass καθορίζεται κατά ένα μεγάλο βαθμό από τις γνώσεις για την ποιότητα του σπόρου, τη διάρκεια της εποχής της αύξησης, την ωριμότητα της ρίζας του βλαστού, την ποιότητα του εδάφους και τη διαθεσιμότητα του ύδατος και των θρεπτικών στοιχείων. Η παραγωγή των σπόρων του switchgrass σε εμπορικό επίπεδο, μπορεί να κυμαίνεται από 220 έως > 1000 kg/ha (Moser & Vogel, 1995). Ο Vogel (2000) πρότεινε ότι αυτές οι αποδόσεις είναι αρκετά ικανοποιητικές, αν αναλογιστεί κανείς ότι κάθε εκτάριο που παράγει σπόρο μπορεί να σπαρθεί σε 25 έως 90 εκτάρια λιβαδικής περιοχής. Όμως, οι κτηνοτρόφοι μπορούν να είναι σε θέση να συμβάλουν στην παραγωγή σπόρων προς σπορά. Οι Sanada και Matsuoka (1998) ερεύνησαν διάφορα είδη του *Panicum* sp. και κατέληξαν στο συμπέρασμα πως το switchgrass είναι λιγότερο εκτεθειμένο σε θραύση από τα περισσότερα φυτά του ίδιου γένους, υπάρχουν όμως διαφορές στις ποικιλίες, αυξάνοντας την πιθανότητα γενετικής βελτίωσης γι' αυτό το χαρακτηριστικό.

1.11 Ανάνκες σε Νερό

Η καλλιέργεια του switchgrass παρουσιάζει αρκετά πλεονεκτήματα αφού μπορούν να παραχθούν σημαντικές ποσότητες βιομάζας ακόμη και σε συνθήκες μειωμένων εισροών (λίπανση, ζιζανιοκτονία). Οι αρδευτικές ανάγκες του switchgrass είναι χαμηλές αφού χαρακτηρίζεται από αποδοτική χρήση του νερού. Πειράματα έδειξαν ότι αρδεύσεις συνολικού ύψους 400 mm είναι αρκετές για ικανοποιητική παραγωγή. 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/στρέμμα ενώ την ίδια περίοδο οι στρεμματικές αποδόσεις καλλιέργειας που εφαρμόστηκε λίπανση 4 και 12 kg αζώτου ανά στρέμμα ήταν 2,1 και 2,5 τόνοι ξηρής βιομάζας, αντίστοιχα. Τέλος η άρδευση φαίνεται να έχει σημαντικό ρόλο στις αποδόσεις του φυτού σε περιοχές όπου δεν παρατηρούνται βροχοπτώσεις κατά την περίοδο Ιουνίου – Αυγούστου.

1.12 Σκοπός

Κύριος σκοπός της παρούσας εργασίας είναι η μελέτη απορρόφησης των μακροστοιχείων N, P, K, από το πολυετές ενεργειακό φυτό switchgrass (*Panicum virgatum* L.), στην κεντρική Ελλάδα. Η μελέτη αυτή εστιάζεται περισσότερο στην πεδιάδα της Θεσσαλίας, συγκεκριμένα στην περιοχή του Παλαμά Καρδίτσας, η οποία αποτελεί μία από τις κυριότερες πεδιάδες της χώρας και το κέντρο της γεωργικής παραγωγής.

Επιπλέον σκοπός της έρευνας ήταν η μελέτη της πρόσληψης-κατανομής των μακροστοιχείων (N, P, K) στα διάφορα μέρη του φυτού σε δύο διαφορετικά στάδια ανάπτυξης (1^{ov} πριν την ανθοφορία και 2^{ov} κατά την τελική συγκομιδή). Τέλος, έγινε προσδιορισμός της σχέσης απόδοσης σε ξηρή βιομάζα ανάλογα με τα ποσοστά αζώτου, φωσφόρου και καλίου που προσλαμβάνονται από το φυτό στα δύο διαφορετικά στάδια ανάπτυξης.

2. ΥΛΙΚΑ ΚΑΙ ΜΕΘΟΔΟΙ

2.1 Πειραματικός αγρός

Το πείραμα πραγματοποιήθηκε στην περιοχή Καλυβάκια Παλαμά, όπου βρίσκεται στα βόρειο-ανατολικά της πόλης της Καρδίτσας. Η εγκατάσταση του πειραματικού αγρού που έγινε το 2009, είχε έκταση 3 στρέμματα και ήταν στα πλαίσια μιας διδακτορικής διατριβής. Η εγκατάσταση της καλλιέργειας στη συγκεκριμένη τοποθεσία έδωσε τη δυνατότητα να μελετηθεί η πρόσληψη των μακροστοιχείων από το φυτό σε έδαφος αμμωπηλώδες.

Το έδαφος του Παλαμά, όπως έδειξαν οι εδαφολογικές αναλύσεις, είναι αμμωπηλώδες έως πηλώδες με σύσταση: άμμος 37 % - 45 %, πηλός 51 % - 43% και άργιλο 12% (Γιαννούλης, 2014). Είναι αβαθές και ασβεστόχο με pH 8,3, ενώ είναι φτωχό σε οργανική ουσία. Χαρακτηρίζεται ως Aquic Xerofluent (USDA.,1975) και έχει υψηλό υπόγειο υδροφόρο ορίζοντα.

Οι μετρήσεις της παρούσας έρευνας, αφορούν τις δειγματοληψίες που πραγματοποιήθηκαν το 2012. Στον πίνακα 2.1.1, φαίνονται οι 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 2009.

Βάθος	0 – 10 cm	10- 40 cm
Ιδιότητα		
Ολικό N (‰)	0,7	0,5
Οργανική ουσία (%)	0,9	0,9
Διαθέσιμος P(mg/kg)	10	11
Διαθέσιμο K (mg/kg)	191	190

2.2 Πειραματικό σχέδιο

Το Σχέδιο Υποδιαιρεμένων Τεμαχίων (split- plot design) 2x4 με 4 επαναλήψεις ήταν το σχέδιο που χρησιμοποιήθηκε για τη διεξαγωγή του πειράματος. Στα κύρια τεμάχια εφαρμόστηκαν δύο επίπεδα άρδευσης και στα

τέσσερα υποτεμάχια εφαρμόστηκαν τέσσερα διαφορετικά επίπεδα αζωτούχου λίπανσης.

Ο πειραματικός αγρός που χρησιμοποιήθηκε είχε έκταση 3000 m² (15 m x 200 m συμπεριλαμβανομένων των διαδρόμων). Οι επαναλήψεις είχαν διαστάσεις 200 m x 3,2 m= 640 m² και αποτελούνταν από 8 πειραματικά υποτεμάχια εμβαδού 80 m² (25 m x 3,2 m).

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

-Επίπεδο I₁ : 0 mm άρδευσης

-Επίπεδο I₂ : 250 mm άρδευσης

Ακόμη, εφαρμόστηκαν τέσσερα επίπεδα αζωτούχου λίπανσης (N) όταν το φυτό είχε φτάσει σε ύψος από 60-90 cm με τη χρήση ουρίας (46-0-0) 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-0		N-24		N-16	
N-16		N-24		N-0		N-8	
N-24		N-16		N-8		N-0	
N-24		N-16		N-8		N-0	Μη αρδευόμενο
N-16		N-24		N-0		N-8	
N-8		N-0		N-24		N-16	
N-0		N-8		N-16		N-24	
ΕΠΑΝΑΛΗΨΗ I		ΕΠΑΝΑΛΗΨΗ II		ΕΠΑΝΑΛΗΨΗ III		ΕΠΑΝΑΛΗΨΗ IV	

2.3 Τρόπος δειγματοληψίας

Σε κάθε κοπή επιλέγονταν τυχαία όσα φυτά βρίσκονταν 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.

Πίνακας 2.3.1: Στάδιο ανάπτυξης του φυτού στο οποίο πραγματοποιήθηκε η κάθε κοπή.

	Ημερομηνία κοπής	Στάδιο ανάπτυξης
1 ^η κοπή	3/ 7/ 2012	Ύψος φυτού 1 m και δημιουργία 4 φύλλων (πριν την έκπτυξη ανθοταξίας)
5 ^η κοπή	29 /9/ 2012	Μέχρι την ωρίμανση σπόρου

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 70 °C μέχρι να αποκτήσουν σταθερά βάρη κα 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, έγινε αεροξήρανση και μικροθρυμματισμός. Έπειτα, έγινε ανάλυση των μακροστοιχείων N, P και K καθ' όλη τη διάρκεια του πειράματος, σε δύο στάδια ανάπτυξης. Ο αριθμός των δειγμάτων που χρησιμοποιήθηκαν ανά μεταχείριση για κάθε μακροστοιχείο ήταν τέσσερα.

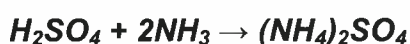
2.5.1 Προσδιορισμός Ολικού αζώτου στον φυτικό ιστό

Ο προσδιορισμός του αζώτου στον φυτικό ιστό γίνεται με τη μέθοδο Kjeldahl.

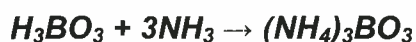
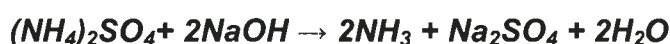
Υλικά που χρησιμοποιήθηκαν:

- Συσκευή αλκαλικής απόσταξης
- Συσκευή υγρής χώνευσης 20 θέσεων και
- Αναρροφητική συσκευή συλλογής ατμών καύσης

Κατά την υγρή καύση η οργανική ουσία οξειδώνεται μέσω βρασμού με πυκνό H_2SO_4 παρουσία καταλυτών (K_2SO_4 , $CuSO_4 \cdot 5H_2O$, Se) και το άζωτο, εκτός των νιτρικών, μετατρέπεται ποσοτικά σε ιόντα αμμωνίου τα οποία, παγιδεύονται ως $(NH_4)_2SO_4$, σύμφωνα με την αντίδραση:



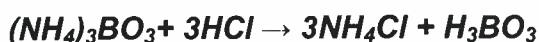
Για κάθε δείγμα ζυγίζονται περίπου 25 g φυτικού υλικού, τα οποία τοποθετήθηκαν σε σωλήνα Kjeldahl, μαζί με 3 g ομογενοποιημένου μίγματος καταλύτη (100 g K_2SO_4 , 10 g $CuSO_4 \cdot 5H_2O$ και 1,5 g Se) και 10 ml πυκνού H_2SO_4 (95,97 %). Ακολούθως, οι σωλήνες τοποθετήθηκαν στη συσκευή καύσης, όπου η χώνευση προγραμματίστηκε σε 2 κύκλους: 10 λεπτά σε ισχύ 30 % και 70 λεπτά σε ισχύ 45 %. Στη διαδικασία συμπεριλαμβάνεται και ένα λευκό δείγμα (blank). Στο τέλος του δευτέρου κύκλου το μείγμα πρέπει να έχει ανοιχτό πράσινο χρώμα. Πριν ακολουθήσει το επόμενο στάδιο, οι σωλήνες παρέμειναν για 15- 20 λεπτά σε θερμοκρασία περιβάλλοντος έως ότου κρυώσουν (Πασχαλίδης, 2005, Τσικαλάς, 1992). 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, κατά τις αντιδράσεις:



Κάθε σωλήνας Kjeldahl μεταφέρθηκε διαδοχικά στη θέση εισόδου της αποστακτικής συσκευής, ενώ στην έξοδο μεταφέρθηκε κωνική φιάλη με 30 ml H_3BO_3 (4 % w/w, 40 g H_3BO_3 σε 1L απιονισμένου νερού), του οποίου είχε μετρηθεί το pH. Η διαδικασία της απόσταξης περιλαμβάνει προσθήκη 50 ml

απιονισμένου νερού, προσθήκη 60 ml NaOH 40 % w/w και απόσταξη για 5 λεπτά.

Το ποσό αμμωνίας που έχει παγιδευτεί στο διάλυμα του βορικού οξέος προσδιορίζεται με τιτλοδότηση με πρότυπο διάλυμα HCl 0,1 N (Πασχαλίδης 2005, Τσικαλάς 1992).



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

$$N\% = (V_\delta - V_\lambda) \times NHCl \times 1,4007 / w$$

Όπου: V_δ = ο όγκος του HCl που καταναλώθηκε για την τιτλοδότηση του δείγματος (σε ml),

V_λ = ο όγκος του HCl που καταναλώθηκε για την τιτλοδότηση του λευκού (σε ml),

NHCl = η κανονικότητα του HCl (0,1 N),

w_δ = το βάρος του δείγματος (σε g), και

1,4007 = παράγοντας μετατροπής (λαμβάνει υπόψη το MB του αζώτου, το αποτέλεσμα του γινομένου $(V_\delta - V_\lambda) \times N$ σε milli-equivalent και τη μετατροπή σε %.

2.5.2 Προσδιορισμός Φωσφόρου στο φυτικό ιστό

Ο προσδιορισμός του φωσφόρου στον φυτικό ιστό γίνεται με τη μέθοδο της ξηρής καύσης. Λαμβάνεται ορισμένη ποσότητα από το stock διάλυμα (10 ml) το οποίο έχει προκύψει από την ξηρή καύση 0,5-1 gr φυτικού ιστού και προστίθεται H₂SO₄ και μολυβδαινικό αμμώνιο, οπότε σχηματίζεται φωσφόρο-μολυβδαινικό αμμώνιο. Στη συνέχεια προστίθεται χλωριούχος κασσίτερος, οπότε το φωσφόρο-μολυβδαινικό αμμώνιο ανάγεται προς μπλε του μολυβδαινίου. Το έγχρωμο διάλυμα αραιώνεται κατάλληλα (50 mL) και μετράται η απορρόφηση σε φασματοφωτόμετρο στα 470nm. Για τη μετατροπή της ένδειξης του οργάνου σε συγκέντρωση φωσφόρου (ppm) κατασκευάζεται καμπύλη αναφοράς. Στη συνέχεια υπολογίζεται η ποσότητα του φωσφόρου που περιέχεται ανά gr ξηρής ουσίας ή η εκατοστιαία

περιεκτικότητα σε φωσφόρο, πολλαπλασιάζοντας τις ενδείξεις του οργάνου (ppm) επί τον συντελεστή αραιώσης (500) (Πασχαλίδης, 2005).

Υλικά που χρησιμοποιήθηκαν:

- Διάλυμα H_2SO_4 10N (278 ml πυκνού H_2SO_4 95-97 % αραιώνεται σε 1L απιονισμένου νερού υπό ψύξη).
- Διάλυμα μολυβδαινικού αμμωνίου 8.3 % g $(NH_4)_6Mo_7O_{24} \cdot 4H_2O$ αραιώνεται με αποσταγμένο νερό στα 100 ml.
- Διάλυμα 0.2 % $SnCl_2$ (1 g $SnCl_2 \cdot 2H_2O$ αραιώνεται στα 100 ml με αποσταγμένο νερό. Επειδή το χλωρίδιο του κασσίτερου είναι δυσδιάλυτο στο νερό, η διάλυση γίνεται πρώτα σε 0.5 ml HCl και ακολουθεί η αραιώση με αποσταγμένο νερό στα 100 ml). Από το stock διάλυμα λαμβάνονται 10 ml και μεταφέρονται σε ογκομετρική φιάλη των 50 ml. Προσθέτονται 1,3 ml διαλύματος H_2SO_4 10N και 0,5 ml διαλύματος μολυβδαινικού αμμωνίου. Προσθέτεται αποσταγμένο νερό μέχρι περίπου το λαιμό της φιάλης των 0,5 ml διαλύματος $SnCl_2$ και συμπληρώνεται με αποσταγμένο νερό μέχρι τη χαραγή. Η φιάλη πωματίζεται, ανακινείται και στη συνέχεια αφήνεται για 20 λεπτά σε ηρεμία. Αναπτύσσεται χρώμα του οποίου μετράται η απορρόφηση σε φασματοφωτόμετρο σε μήκος κύματος 660 nm. Κατασκευάζεται καμπύλη αναφοράς για τη μετατροπή των ενδείξεων του οργάνου σε συγκέντρωση φωσφόρου. Από την επεξεργασία της καμπύλης προκύπτει η συγκέντρωση P στα εξεταζόμενα διαλύματα (Πασχαλίδης 2005, Τσικαλός 1992).

Η ποσότητα φωσφόρου που υπάρχει % ξηρού δείγματος δίνεται από τη σχέση:

$$P_{ολικό\%} = P_{ppm} \times V_{stock} / 2 \times B \times 1000$$

$P_{ολικό}$: ο ολικός φώσφορος επί % κατά βάρος επί του φυτικού ιστού

P_{ppm} : η συγκέντρωση του εξεταζόμενου διαλύματος από το Φασματοφωτόμετρο

V_{stock} : ποσότητα του stock διαλύματος σε ml.

B: το ξηρό βάρος του φυτικού ιστού που κήκε κατά την παρασκευή του stock διαλύματος σε gr.

2.5.3 Προσδιορισμός καλίου στο φυτικό ιστό

Ο προσδιορισμός του καλίου στον φυτικό ιστό γίνεται με την μέθοδο της ξηρής καύσης με τη χρήση φλογοφωτόμετρου. Από το φλογοφωτόμετρο σημειώνονται οι ενδείξεις για τα δείγματα και για τα standards και από την καμπύλη αναφοράς, που κατασκευάζεται με βάση τις ενδείξεις του οργάνου προς τις γνωστές συγκεντρώσεις καλίου των standards, προκύπτουν τα ppm καλίου του προς μέτρηση διαλύματος. Η τιμή που προκύπτει πολλαπλασιάζεται επί τον συντελεστή αραίωσης που είναι 1000 και στη συνέχεια, διαιρείται δια 10000. Η τελική τιμή είναι η περιεκτικότητα (%) καλίου στο δείγμα των φύλλων που αναλύθηκε (Jones & Case, 1990)

2.6 Στατιστική ανάλυση

Για τη στατιστική και τη μελέτη των αποτελεσμάτων χρησιμοποιήθηκε το στατιστικό πακέτο, GENSTAT 7th edition, και το λογιστικό Excel της Microsoft. Η ανάλυση παραλλακτικότητας έγινε για τον προσδιορισμό στατιστικά σημαντικών διαφορών μεταξύ των μεταχειρίσεων. Το κριτήριο της ελάχιστης σημαντικής διαφοράς (ΕΣΔ) μεταξύ των επιπέδων των μεταχειρίσεων αποτέλεσε αντικείμενο χρήσης.

Η επιλογή του πειραματικού σχεδίου των τυχαιοποιημένων ομάδων 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 στη προσρόφηση στοιχείων κ.ά. Το σχέδιο αυτό επιλέχθηκε για να είναι τα δείγματα αντιπροσωπευτικά.

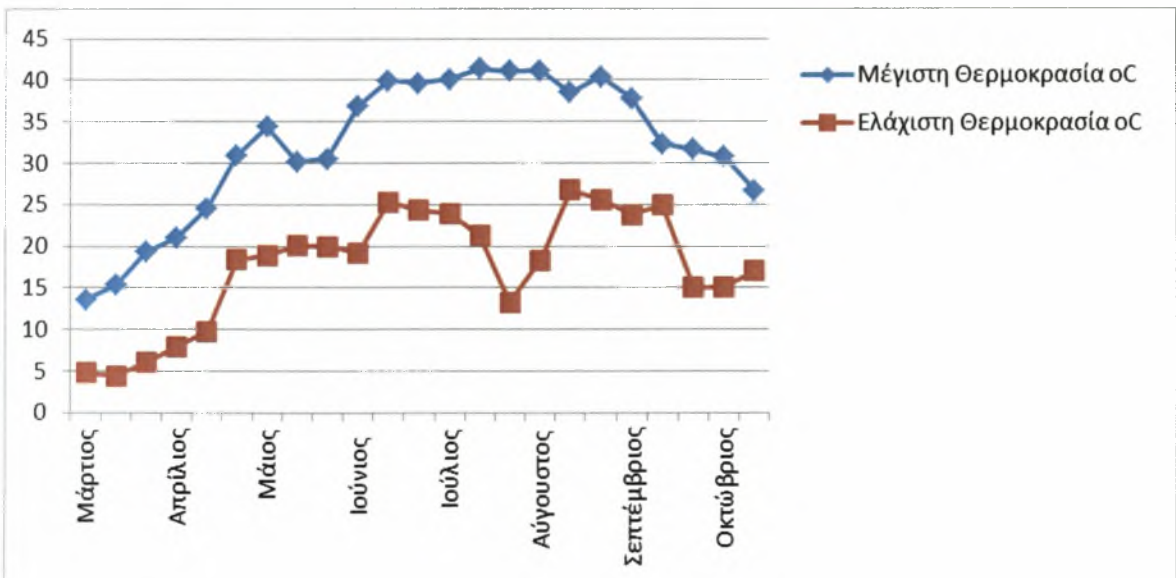
Για την εύρεση της σχέσης που συνδέει δύο μεταβλητές , υπολογίστηκε ο συντελεστής συσχέτισης, ο οποίος περιγράφει τη στατιστική σημαντικότητα της σχέσης δύο μεταβλητών.

3. ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ

3.1 Μετεωρολογικά δεδομένα

Στην περιοχή του Παλαμά το 2012 οι μετεωρολογικές μετρήσεις καταγράφονταν ανά δεκάλεπτο με τη βοήθεια αυτόματου μετεωρολογικού σταθμού που βρίσκεται εγκατεστημένος στον πειραματικό αγρό του Παλαμά Καρδίτσας που περιλαμβάνει καταγραφέα τύπου DATALOG2 SERIES της εταιρίας SKYE INSTRUMENTS LTD., ώστε να διαπιστωθούν οι συνθήκες που επικρατούσαν στον αγρό κατά τη διάρκεια που ήταν εγκατεστημένη η πειραματική καλλιέργεια.

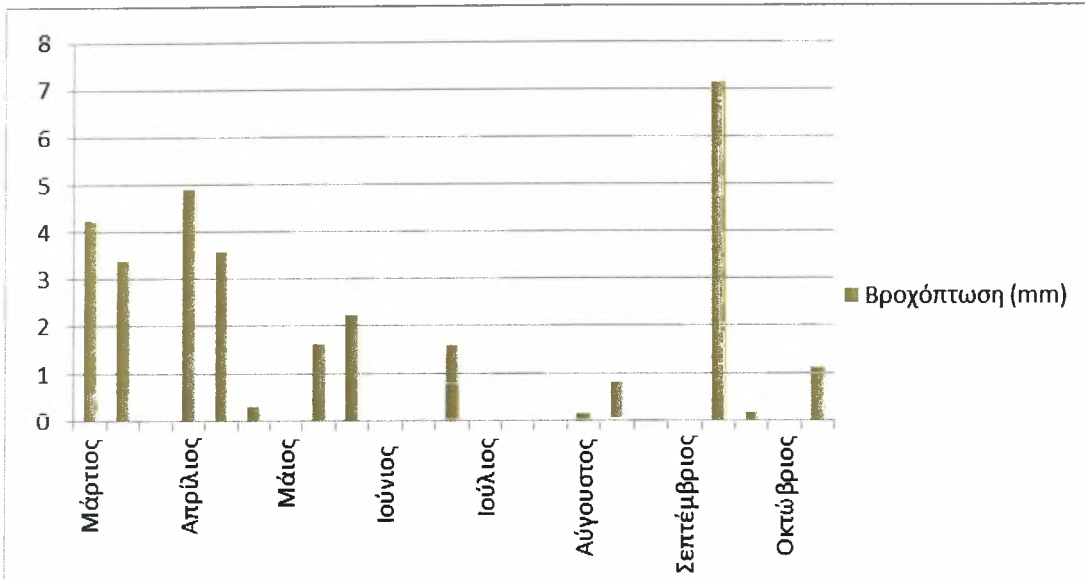
Η περιοχή του Παλαμά της Καρδίτσας όπου πραγματοποιήθηκε το πείραμα, χαρακτηρίζεται από κλίμα μεσογειακό, με καλοκαίρια ζεστά και ξηρά και χειμώνες ήπιους και υγρούς.



Σχήμα 3.1.1 Μέση θερμοκρασία αέρα ανά 10ήμερο κατά το έτος 2012 στην περιοχή του Παλαμά.

Όπως φαίνεται στο σχήμα 3.1.1, οι θερμοκρασίες που επικράτησαν κατά τη διάρκεια του πειράματος το έτος 2012 ήταν υψηλές. Η μέση θερμοκρασία κατά τη διάρκεια της άνοιξης (Μάρτιο - Μάιο) ήταν 18,3 °C, ενώ κατά τους

καλοκαιρινούς μήνες (Ιούνιο – Αύγουστο) η μέση θερμοκρασία έφτασε τους 30,9 °C.

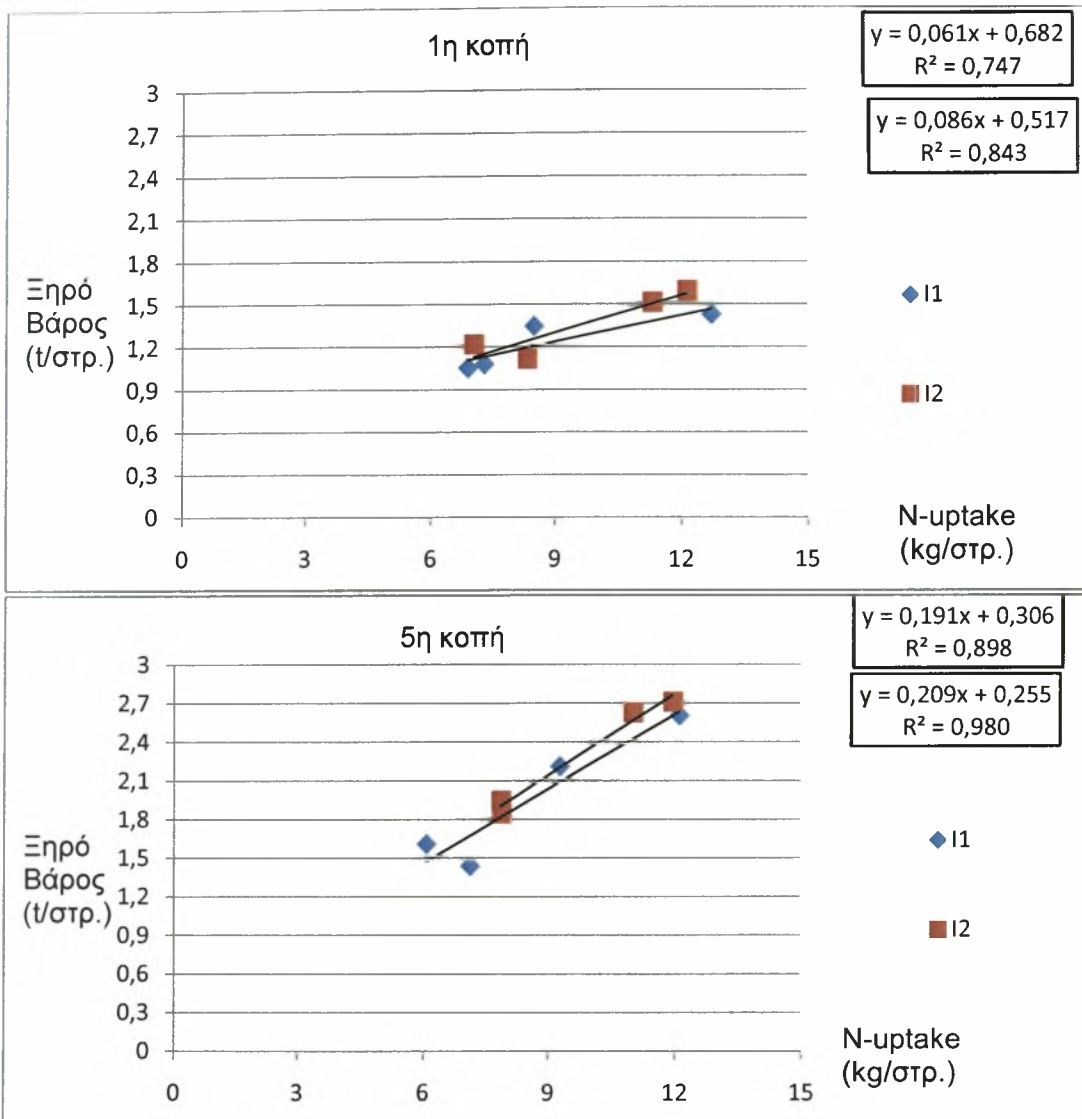


Σχήμα 3.1.2. Μέση βροχόπτωση ανά 10ήμερο κατά το έτος 2012 στην περιοχή του Παλαμά.

Όπως φαίνεται στο σχήμα 3.1.2, τους ανοιξιάτικους μήνες (Μάρτιο – Μάιο) υπήρξαν αρκετές βροχοπτώσεις, ενώ κατά τη διάρκεια του καλοκαιριού (Ιούνιο – Αύγουστο) ήταν σχεδόν ελάχιστες. Κατά μέσο όρο, το ύψος της βροχής που έπεσε την άνοιξη ήταν 2,26 mm, σε αντίθεση με το καλοκαίρι που ο μέσος όρος ύψους του υετού που σημειώθηκε ήταν 0,3 mm. Να σημειωθεί ότι και το μήνα Σεπτέμβριο υπήρξαν βροχοπτώσεις που έφτασαν τα 72 mm βροχής.

3.2 Σχέση ξηρού βάρους και πρόσληψης αζώτου

Η πρόσληψη του αζώτου και η απόδοση σε ξηρό βάρος του φυτού στα 4 διαφορετικά επίπεδα αζωτούχου λίπανσης σε δυο διαφορετικές χρονικές στιγμές παρουσιάζονται στο σχήμα 3.2.1.

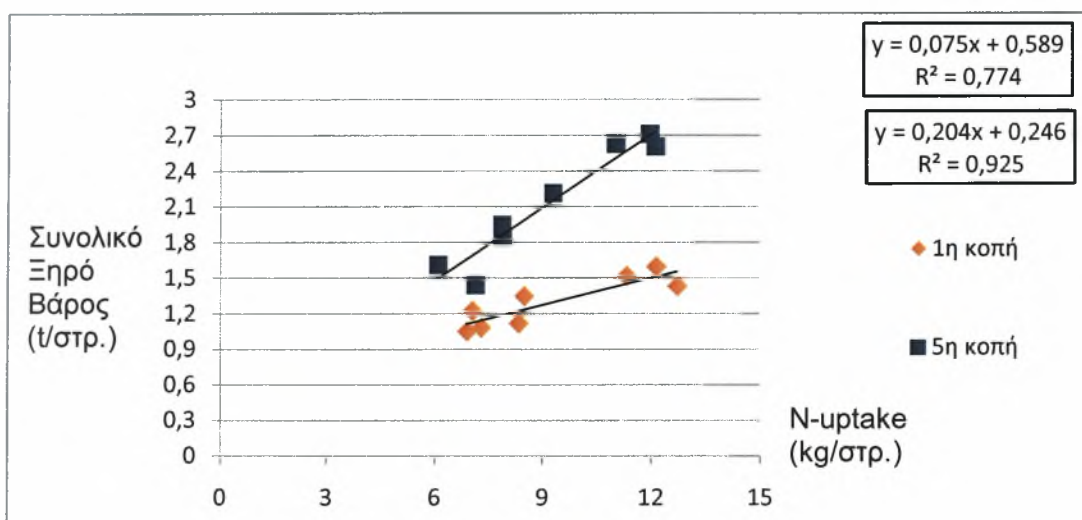


Σχήμα 3.2.1. Πρόσληψη αζώτου (N-uptake) και απόδοση σε ξηρό βάρος των φυτών switchgrass στα 4 διαφορετικά επίπεδα αζωτούχου λίπανσης σε 2 διαφορετικές χρονικές στιγμές ανάπτυξης (♦ I1: μη αρδευόμενα ■ I2: αρδευόμενα) το 2012.

Όπως φαίνεται από τα διαγράμματα (σχήμα 3.2.1), μεγαλύτερη ποσότητα ξηρής βιομάζας παράγεται κατά την τελική κοπή, δηλαδή την 5^η. Για την 1^η κοπή, η πρόσληψη 1 kg N μπορεί να αποδώσει βιομάζα ίση με 129 kg/στρ. για τα μη αρδευόμενα τεμάχια, ενώ για τα αρδευόμενα τεμάχια η καλλιέργεια όταν προσλαμβάνει 1 kg N έχει τη δυνατότητα να παράξει βιομάζα ίση με 139 kg/στρ., ανεξαρτήτως λιπάνσεως. Αντιστοίχως, για την τελική συγκομιδή, η πρόσληψη 1 kg N από την καλλιέργεια μπορεί να παράξει βιομάζα ίση με 222 kg/στρ. για τα μη αρδευόμενα τεμάχια ενώ για τα αρδευόμενα αποδίδει βιομάζα περί τα 235 kg/στρ. ανεξαρτήτως λίπανσης. Παρατηρείται λοιπόν ότι,

η άρδευση για την περιοχή του Παλαμά είναι ικανή να αυξήσει την ξηρή βιομάζα περί τα 10 kg/kg N καθ' όλη τη διάρκεια ανάπτυξης.

Οι τυπικές αποκλίσεις για τα φύλλα 1^{ης} και 5^{ης} κοπής κυμαίνονται στο 20 % και 12 % αντίστοιχα, ενώ στους βλαστούς, για την 1^η κοπή στο 10 % και για την 5^η κοπή στο 2 %. Ακόμα, για τα καφέ φύλλα και την ανθοταξία που εμφανίζονται κατά την 5^η κοπή οι τυπικές αποκλίσεις είναι 7 % και 26 %, αντίστοιχα.



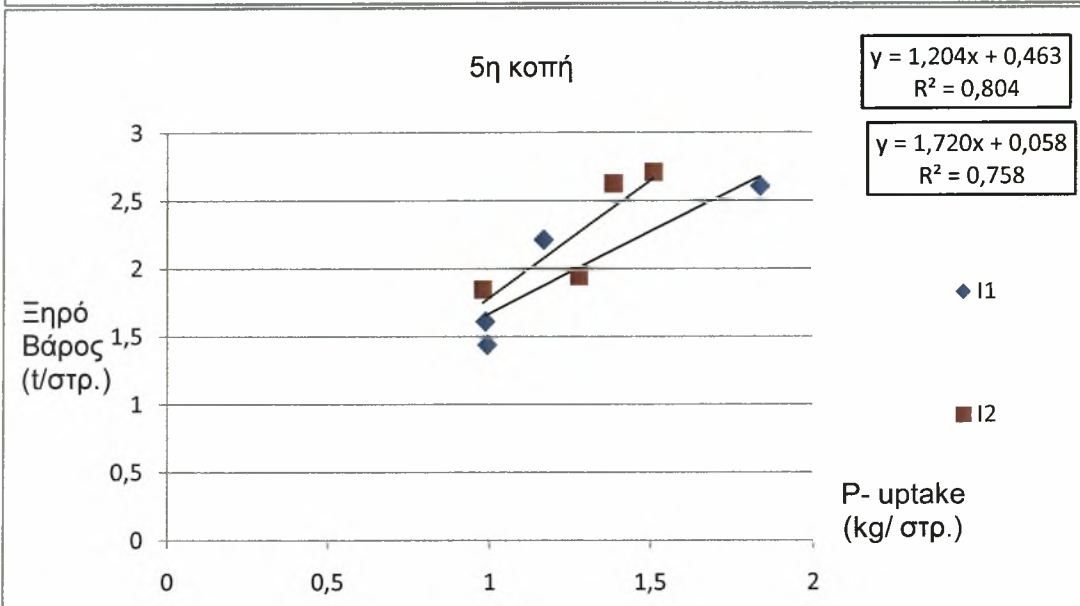
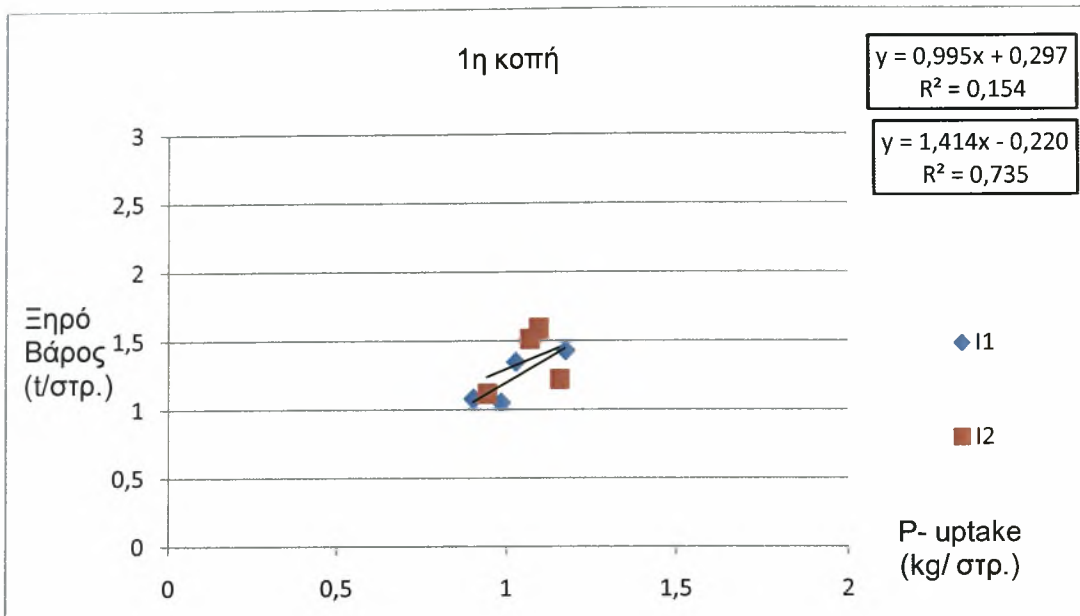
Σχήμα 3.2.2. Συνολική πρόσληψη αζώτου (N-uptake) και απόδοση σε ξηρό βάρος των φυτών switchgrass στα δυο διαφορετικά επίπεδα άρδευσης και τα 4 διαφορετικά επίπεδα αζωτούχου λίπανσης σε 2 διαφορετικές χρονικές στιγμές ανάπτυξης (♦ 1^η κοπή ■ 5^η κοπή) το 2012.

Σύμφωνα με το σχήμα 3.2.2, το φυτό χρειάζεται μόλις 1 kg N για να καταφέρει να παράξει ξηρή βιομάζα ίση με 135 kg/στρ. κατά την 1^η κοπή, σε αντίθεση με την τελική κοπή, στην οποία η πρόσληψη 1 kg N καταφέρνει να παράξει βιομάζα ίση με 229 kg/στρ., ανεξαρτήτου άρδευσης και λίπανσης.

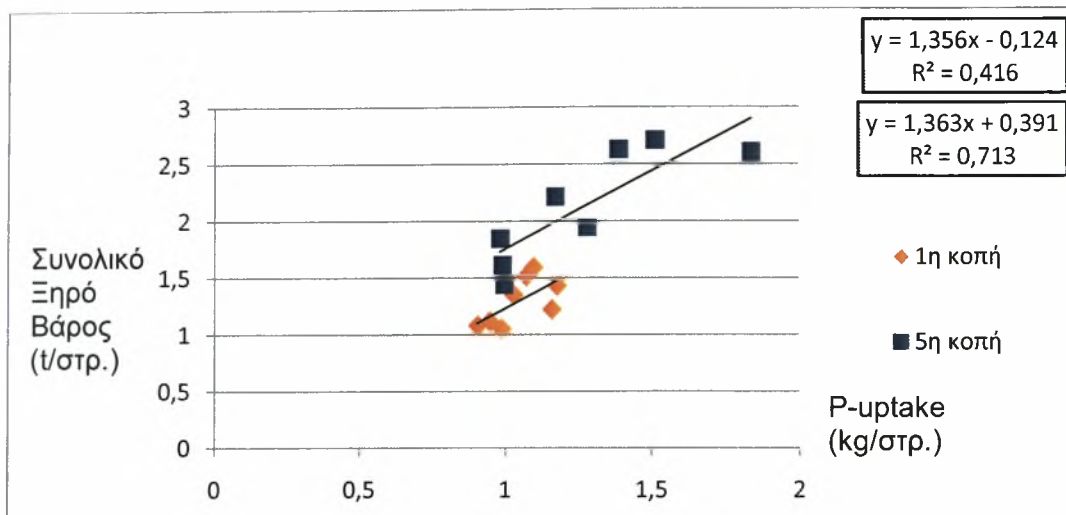
3.3 Σχέση ξηρού βάρους και πρόσληψης φωσφόρου

Από το σχήμα 3.3.1, παρατηρείται ότι κατά την αρχική κοπή, προσλαμβάνοντας η καλλιέργεια 1 kg P καταφέρει να παράξει βιομάζα ίση με 1026 kg/στρ., ανεξαρτήτως λίπανσης, για τα μη αρδευόμενα τεμάχια, σε αντίθεση με τα αρδευόμενα που καταφέρνουν να παράξουν ξηρή βιομάζα ίση με 1392 kg/στρ. Στην 5^η κοπή, τα μη αρδευόμενα τεμάχια, με την πρόσληψη 1 kg P αποδίδουν σε βιομάζα ίση με 1250 kg/στρ., εν αντιθέσει με τα αρδευόμενα που αποδίδουν ίση με 1727 kg/στρ., ανεξαρτήτως λίπανσης. Συμπεραίνεται ότι κατά την 1^η κοπή η άρδευση είναι ικανή να αυξήσει την ξηρή βιομάζα περί τα 366 kg/kg P, ενώ κατά την τελική κοπή η βιομάζα αυξάνεται στα 477 kg/kg P.

Οι τυπικές αποκλίσεις που υπολογίζονται για τα φύλλα, είναι στο 1% και στο 2,4% για την 1^η και την 5^η κοπή, αντίστοιχα. Για τους βλαστούς είναι 0,8% για την 1^η κοπή και για την τελική κοπή είναι 0,4%. Για τα καφέ φύλλα και την ανθοταξία οι τυπικές αποκλίσεις κυμαίνονται στο 1,9% και 1,4%, αντιστοίχως.



Σχήμα 3.3.1. Πρόσληψη φωσφόρου (P-uptake) και απόδοση σε ξηρό βάρος των φυτών switchgrass για τα 4 διαφορετικά επίπεδα αζωτούχου λίπανσης σε 2 διαφορετικές χρονικές στιγμές ανάπτυξης (◆ I1: μη αρδευόμενα ■ I2: αρδευόμενα) το 2012.



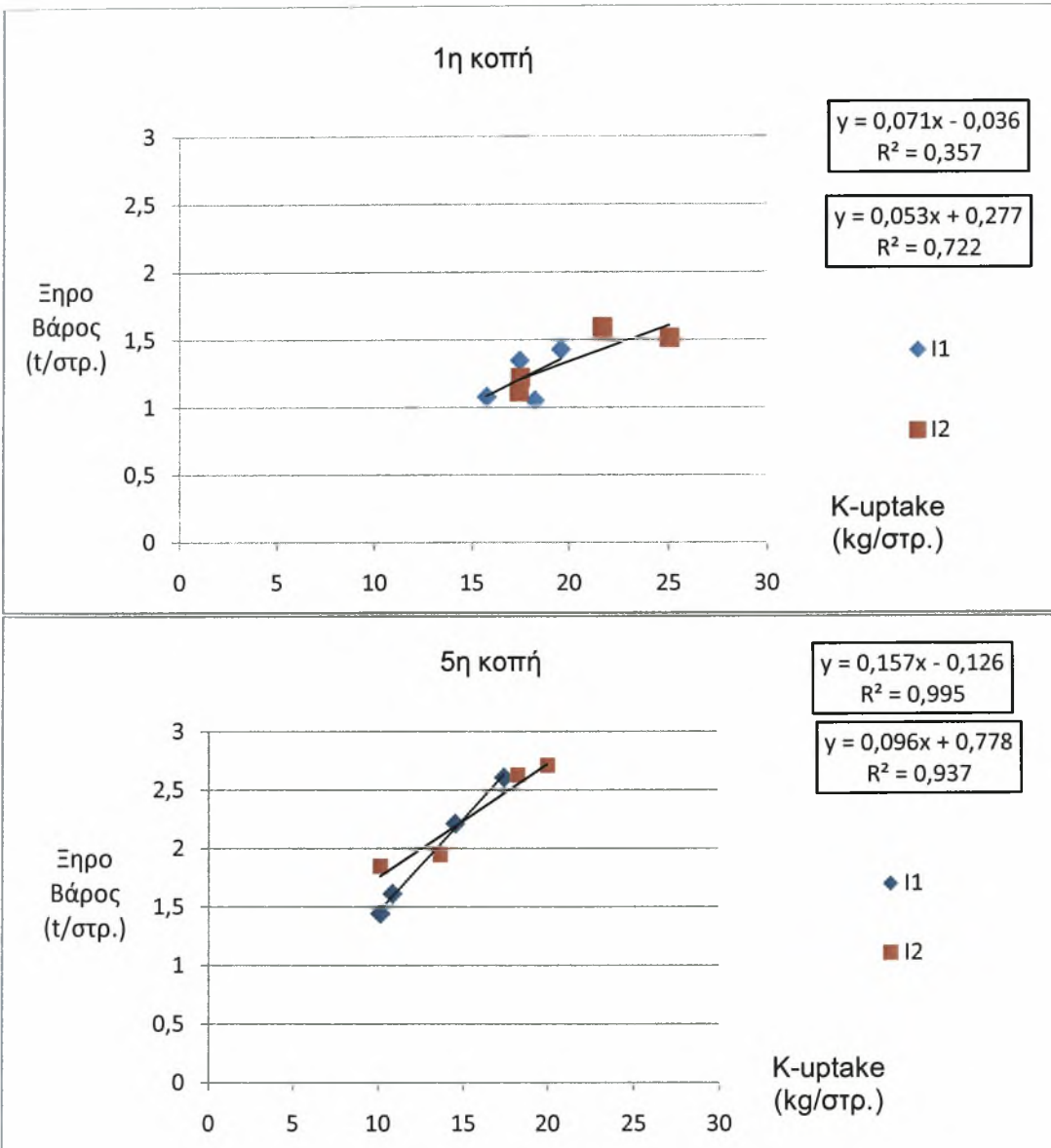
Σχήμα 3.3.2. Συνολική πρόσληψη φωσφόρου (P-uptake) και απόδοση σε ξηρό βάρος των φυτών switchgrass στα δυο διαφορετικά επίπεδα άρδευσης και τα 4 διαφορετικά επίπεδα αζωτούχου λίπανσης σε 2 διαφορετικές χρονικές στιγμές ανάπτυξης (♦ 1^η κοπή ■ 5^η κοπή) το 2012.

Η καλλιέργεια, όπως φαίνεται από το σχήμα 3.3.2, χρειάζεται να προσλάβει μόλις 1 kg P για να καταφέρει να παράξει ξηρή βιομάζα ίση με 1344 kg/στρ. κατά την 1^η κοπή, σε αντίθεση με την τελική συγκομιδή, στην οποία η πρόσληψη 1 kg P καταφέρνει να παράξει βιομάζα ίση με 1403 kg/στρ., ανεξαρτήτου άρδευσης και λίπανσης.

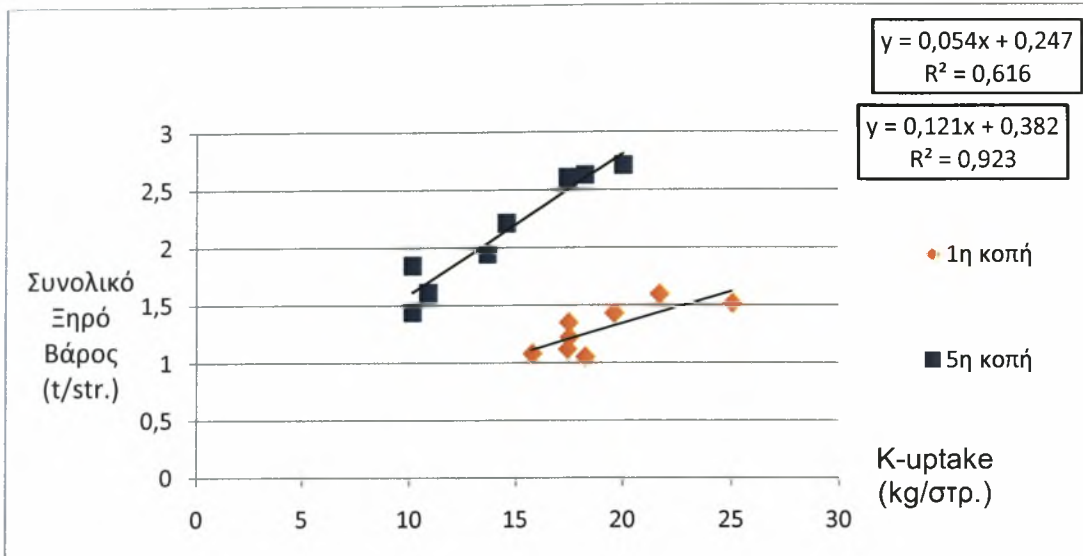
3.4 Σχέση ξηρού βάρους και πρόσληψης καλίου

Με βάσει το σχήμα 3.4.1, η καλλιέργεια προσλαμβάνοντας 1 kg K μπορεί να αποδώσει βιομάζα ίση με 67 kg/στρ. για τα μη αρδευόμενα τεμάχια, ανεξαρτήτως λίπανσης και για τα αρδευόμενα τεμάχια αποδίδει 80 kg/στρ. ανεξαρτήτως λίπανσης. Στην 5^η κοπή, η καλλιέργεια προσλαμβάνοντας 1 kg K είναι ικανή να αποδώσει βιομάζα ίση με 145 kg/στρ., για τα μη αρδευόμενα τεμάχια, ενώ για τα αρδευόμενα η απόδοση βιομάζα μπορεί να ανέλθει στα 175 kg/στρ., ανεξαρτήτως λίπανσης. Συνοψίζοντας λοιπόν, η άρδευση για την περιοχή του Παλαμά φαίνεται ότι προσασυξάνει την ξηρή βιομάζα περί τα 13 kg/kg K κατά την 1^η κοπή, ενώ στη 5^η κοπή η βιομάζα μπορεί να αυξηθεί κατά 30 kg/kg K.

Οι τυπικές αποκλίσεις που προκύπτουν για τα φύλλα της 1^{ης} κοπής κυμαίνονται στο 40% και για τα φύλλα της 5^{ης} κοπής στο 10%. Από την άλλη, οι τυπικές αποκλίσεις των βλαστών της 1^{ης} και της 5^{ης} κοπής είναι 19% και 3% αντίστοιχα, ενώ για τα καφέ φύλλα και την ανθοταξία είναι 8% και 10%, αντίστοιχα



Σχήμα 3.4.1. Πρόσληψη καλίου (K-uptake) και απόδοση σε ξηρό βάρος των φυτών switchgrass για τα 4 διαφορετικά επίπεδα αζωτούχου λίπανσης σε 2 διαφορετικές χρονικές στιγμές ανάπτυξης (♦ I1: μη αρδευόμενα ■ I2: αρδευόμενα) το 2012.

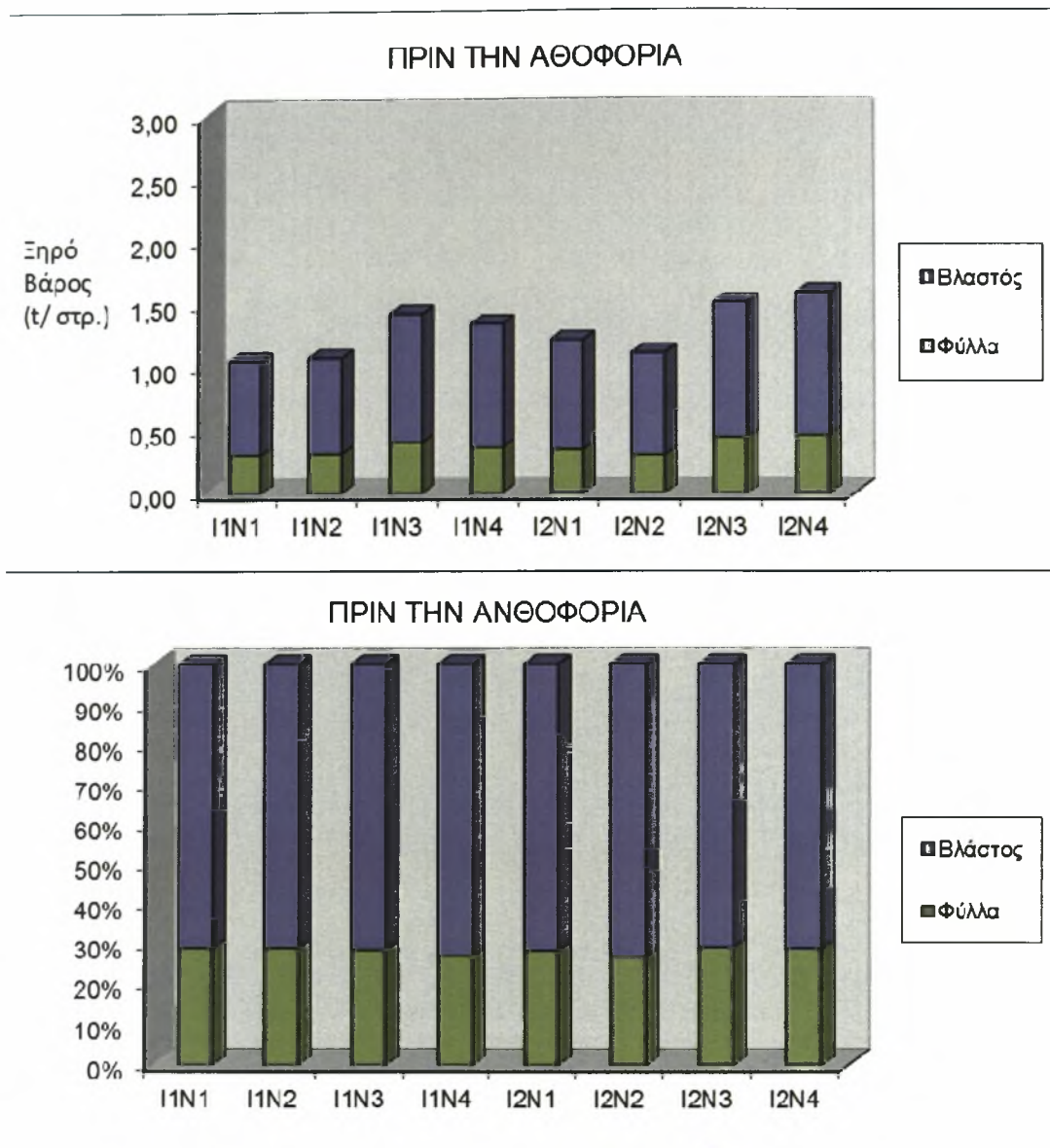


Σχήμα 3.4.2. Συνολική πρόσληψη καλίου (K-uptake) και απόδοση σε ξηρό βάρος των φυτών switchgrass στα δυο διαφορετικά επίπεδα άρδευσης και τα 4 διαφορετικά επίπεδα αζωτούχου λίπανσης σε 2 διαφορετικές χρονικές στιγμές ανάπτυξης (♦ 1^η κοπή ■ 5^η κοπή) το 2012.

Όπως φαίνεται στο σχήμα 3.4.2, η καλλιέργεια χρειάζεται μόλις 1 kg K για να παράξει ξηρή βιομάζα ίση με 79 kg/στρ. κατά την 1^η κοπή, σε αντίθεση με την 5^η κοπή, στην οποία πρόσληψη 1 kg P οδηγεί σε παραγωγή βιομάζας περί τα 159 kg/στρ., ανεξαρτήτως άρδευσης και λίπανσης.

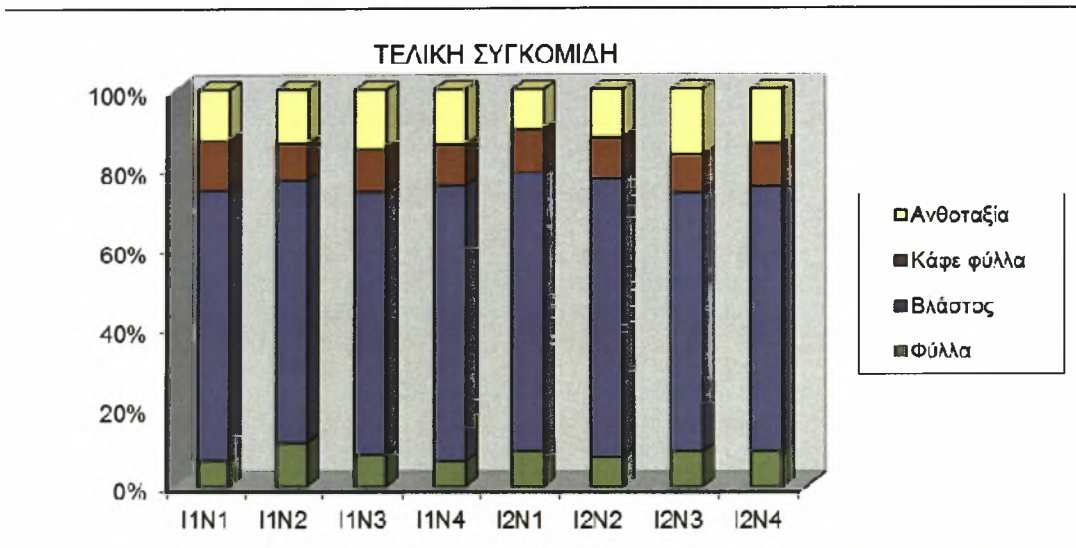
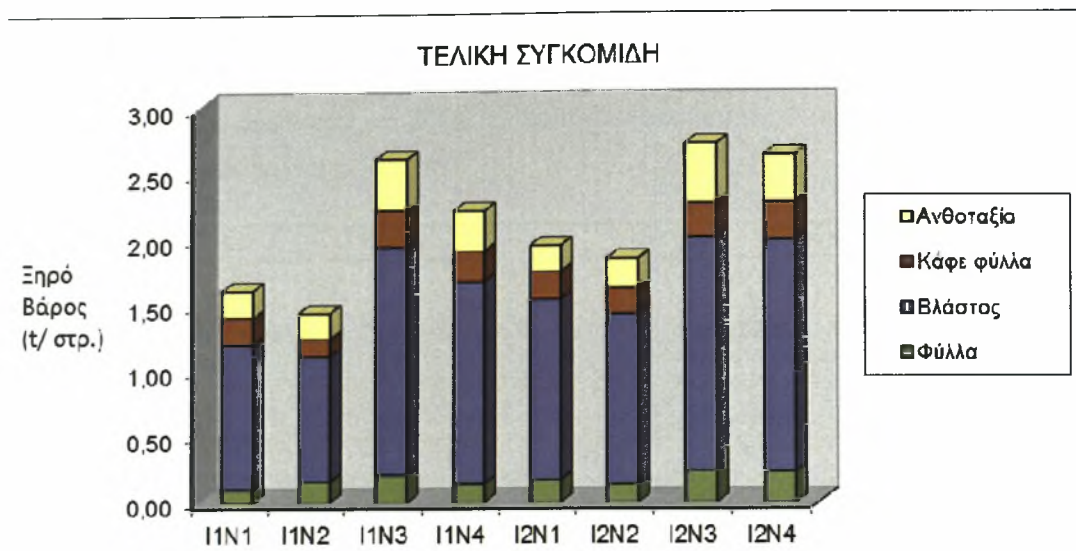
3.5 Μεταβολή του βάρους των φυτικών οργάνων

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 το αμέσως επόμενο έτος μετά τη σπορά (Bransdy, 2008).



Σχήμα 3.5.1. Διαχωρισμός του φυτού switchgrass (□ 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.

Από το σχήμα 3.5.1, φαίνεται πως μέχρι την ανθοφορία του φυτού οι διαφορετικές μεταχειρίσεις αζωτούχου λίπανσης δε φέρουν μεγάλες αλλαγές στην παραγωγή του συνολικού ξηρού βάρους. Οι διαφορές είναι μικρές και δεν είναι στατιστικά σημαντικά υπολογίσιμες (Πίνακας 1). Μέχρι την ανθοφορία τα φύλλα καταλάμβαναν το 30 % του φυτού, ενώ το 70 % αποτελούνταν από το βλαστό.



Σχήμα 3.5.2. Διαχωρισμός του switchgrass (Φύλλα, Βλαστός, καφέ φύλλα, ανθοταξία) όπως επηρεάστηκε από δυο διαφορετικά επίπεδα άρδευσης (I1, I2) και από τέσσερα διαφορετικά επίπεδα αζωτούχου λιπάνσεως στην ανάπτυξη του φυτού κατά την τελική συγκομιδή.

Κατά την τελική συγκομιδή, όπως δείχνει το σχήμα 3.5.2, υπάρχει στατιστικά σημαντική διαφορά (Πίνακας 1) λόγω του μεγάλου ποσοστού που κατέχει ο βλαστός, καταλήγοντας έτσι το φυτό να αποτελείται από 12 % φύλλα/συνολική βιομάζα, 68 % περίπου βλαστό/συνολική βιομάζα, 10 % καφέ φύλλα/συνολική βιομάζα και 10 % ανθοταξία/συνολική βιομάζα.

Πίνακας 1. Μεταβολή ξηρής βιομάζας (kg/στρ) των φυτικών οργάνων του switchgrass για τα 2 επίπεδα άρδευσης (I1, I2) και τα 4 επίπεδα N-ούχου λιπάνσεως (N1, N2, N3, N4) σε δύο διαφορετικά στάδια ανάπτυξης το 2012 (1^η Κοπή, Συγκομιδή) (I₁: 0 mm, I₂: 250 mm, N₁:0, N₂:8, N₃:16 και N₄:24 kg N/στρ.).

	1 ^η Κοπή		Συγκομιδή			
	ΦΥΛΛΑ	ΒΛΑΣΤΟΙ	ΦΥΛΛΑ	ΒΛΑΣΤΟΙ	ΚΑΦΕ ΦΥΛΛΑ	ΑΝΘΟΤΑΞΙΑ
Επίπεδα Άρδευσης						
Ξηρικό (I1: 0 mm)	0.349	0.877	0.153a	1.330a	0.211	0.273
Ποτιστικό (I2: 250 mm)	0.390	0.970	0.196b	1.545b	0.236	0.305
LSD _{0.05}	ns	ns	0.0271	0.1654	ns	ns
Επίπεδα N-λίπανσης						
N1 = 0 kg/στρ.	0.328ab	0.807	0.139	1.232a	0.206ab	0.201a
N2 = 8 kg/στρ.	0.309a	0.788	0.148	1.124a	0.163a	0.208a
N3 = 16 kg/στρ.	0.428c	1.042	0.225	1.750b	0.268b	0.415b
N4 = 24 kg/στρ.	0.415bc	1.055	0.187	1.644b	0.258b	0.330b
LSD _{0.05}	0.0991	ns	ns	0.3153	0.0746	0.0898
CV %	25.5	21.1	49.5	29.9	31.7	29.6

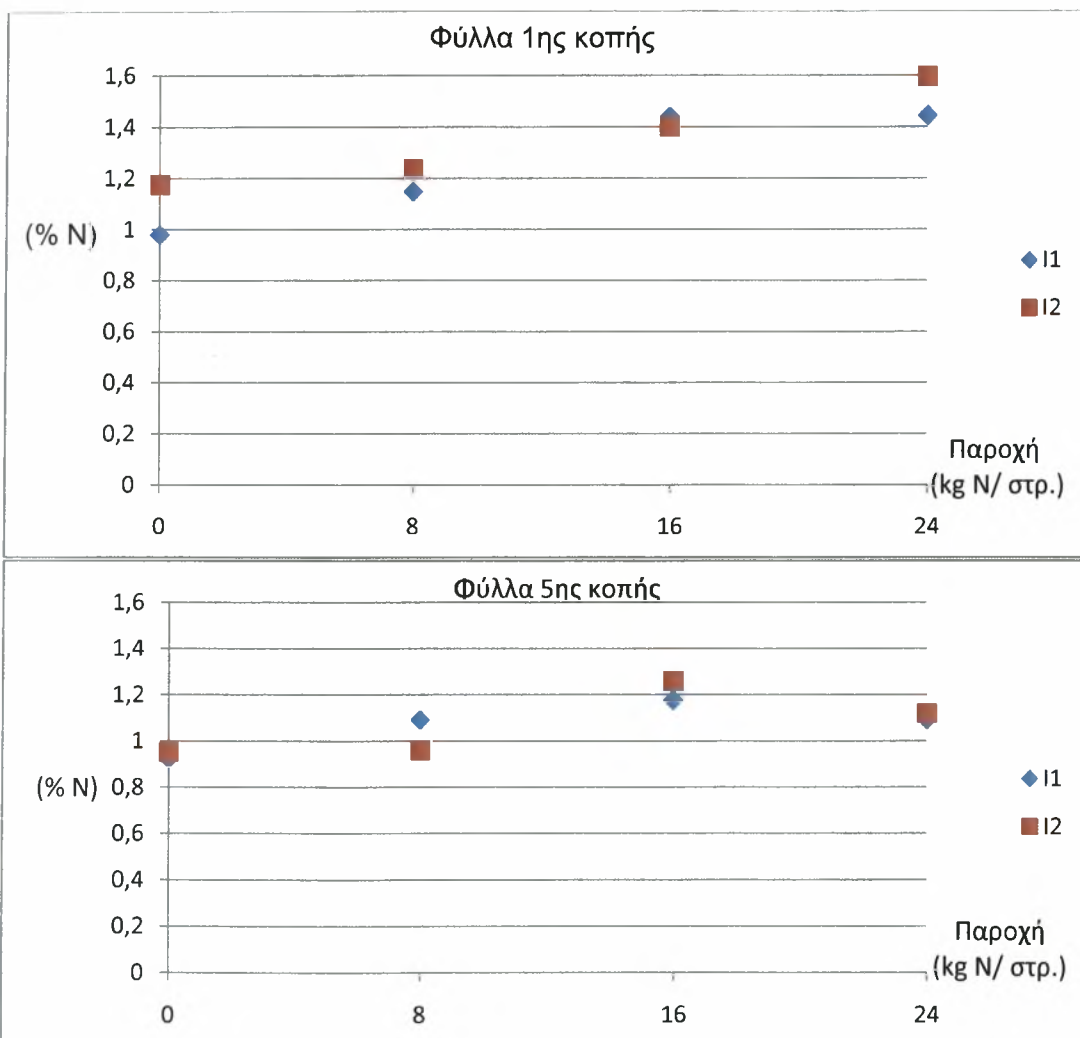
*Duncan criterion: a,b,c

3.6 Χρονική κατανομή πρόσληψης των μακροστοιχείων αζώτου, φωσφόρου και καλίου

Αν και 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. 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), δεν υπάρχουν όμως αναφορές για την πρόσληψη και απομάκρυνση των στοιχείων του φωσφόρου και του καλίου από τη βιομάζα του φυτού.

3.7 Περιεκτικότητα σε άζωτο (N)

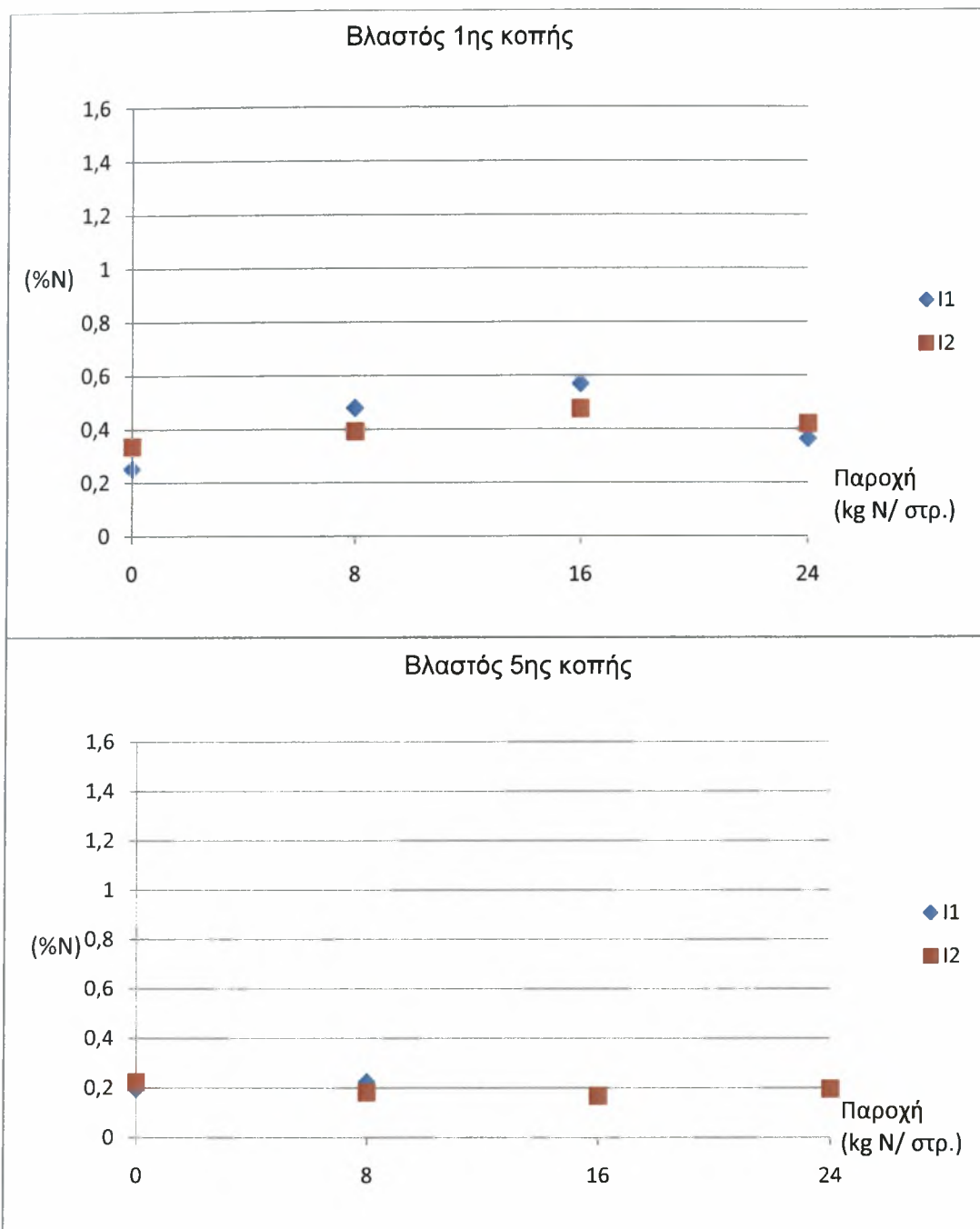
Ο φυτικός ιστός φαίνεται πως έχει μεγαλύτερη περιεκτικότητα αζώτου, όταν η κοπή του φυτού γίνεται στα μέσα της καλλιεργητικής περιόδου (πριν την ανθοφορία), μειώνεται όμως, όταν επέρχεται γήρανση και μετά από τον πρώτο παγετό (Sanderson & Wolf, 1995). Μετά από μετρήσεις που έγιναν στον συνολικό φυτικό ιστό, παρατηρήθηκε ότι το N μετατοπίζεται από τον ιστό της ρίζας στα αρχικά στάδια της ανάπτυξης και επιστρέφει πάλι στη ρίζα κατά το τελικό στάδιο της ωρίμανσης (Parrish *et al*, 2003).



Σχήμα 3.7.1. Περιεκτικότητα % N στα φύλλα του φυτού switchgrass για δυο επίπεδα άρδευσης και 4 διαφορετικά επίπεδα αζωτούχου λιπάνσεως σε δυο διαφορετικά στάδια ανάπτυξης (♦ I1: μη αρδευόμενα ■ I2: αρδευόμενα).

Όπως φαίνεται από το σχήμα 3.7.1, η περιεκτικότητα αζώτου στα φύλλα και στις δυο κοπές δεν έχει μεγάλες διαφορές τόσο για την ξερική καλλιέργεια όσο και για την αρδευόμενη καλλιέργεια. Στην τελική συγκομιδή βέβαια, το ποσοστό που βρέθηκε στον ιστό των φύλλων ήταν λίγο μεγαλύτερο με διακύμανση 0,92-1,26 %.

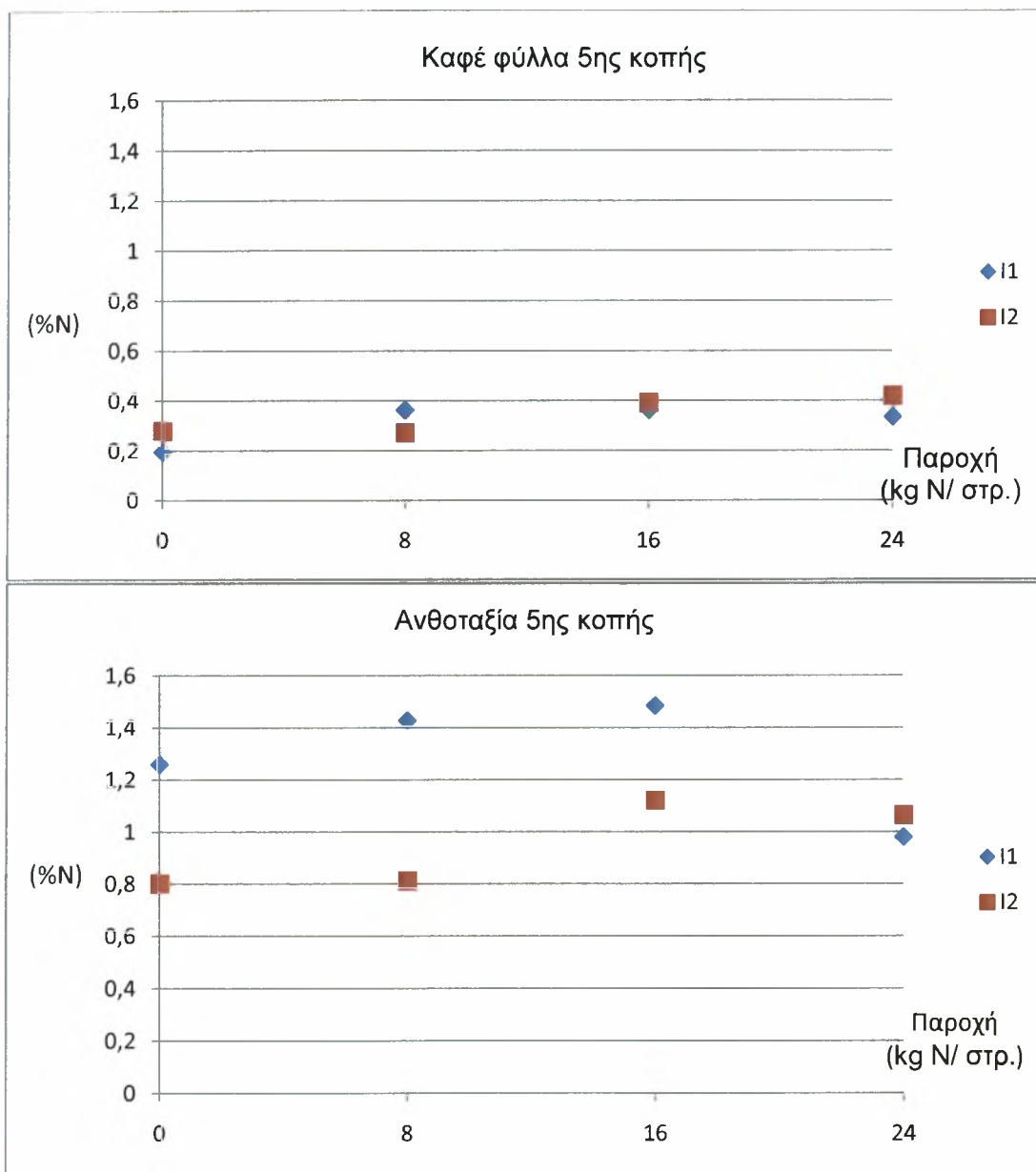
Από το σχήμα 3.7.2, φαίνεται ότι κατά την τελική κοπή η περιεκτικότητα του αζώτου στον ιστό του βλαστού του φυτού μειώνεται σημαντικά για όλα τα - αρδευόμενα και μη- τεμάχια. Κατά την πρώτη κοπή η περιεκτικότητα N κυμαινόταν από 0,25 έως 0,57 %, ενώ στην τελική κοπή το ποσοστό κυμάνθηκε από 0,17 έως 0,22 %.



Σχήμα 3.7.2. Περιεκτικότητα % N στο βλαστό του φυτού switchgrass για δυο επίπεδα άρδευσης και 4 διαφορετικά επίπεδα αζωτούχου λιπάνσεως σε δυο διαφορετικά στάδια ανάπτυξης (♦ I1: μη αρδευόμενα ■ I2: αρδευόμενα).

Τα ξέρα φύλλα (καφέ) τα οποία εμφανίζονται στο φυτό μετά τη 1^η κοπή, έχουν χαμηλή περιεκτικότητα αζώτου, όπως φαίνεται στο σχήμα 3.7.3, τόσο για τα αρδευόμενα τεμάχια όσο και για τα ξερικά και το ποσοστό αζώτου κυμαίνεται από 0,20 έως 0,42 %. Όσο για την ανθοταξία η οποία φαίνεται στο ίδιο σχήμα

και ξεκινά κι αυτή μετά την 1^η κοπή, η περιεκτικότητα σε άζωτο είναι υψηλή και κυμαίνεται σε ποσοστό 0,82- 1,48 %.



Σχήμα 3.7.3. Περιεκτικότητα % N στα καφέ φύλλα και στην ανθοταξία του φυτού switchgrass για δυο επίπεδα άρδευσης και 4 διαφορετικά επίπεδα αζωτούχου λιπάνσεως στο στάδιο της τελικής συγκομιδής (♦ I1: μη αρδευόμενα ■ I2: αρδευόμενα).

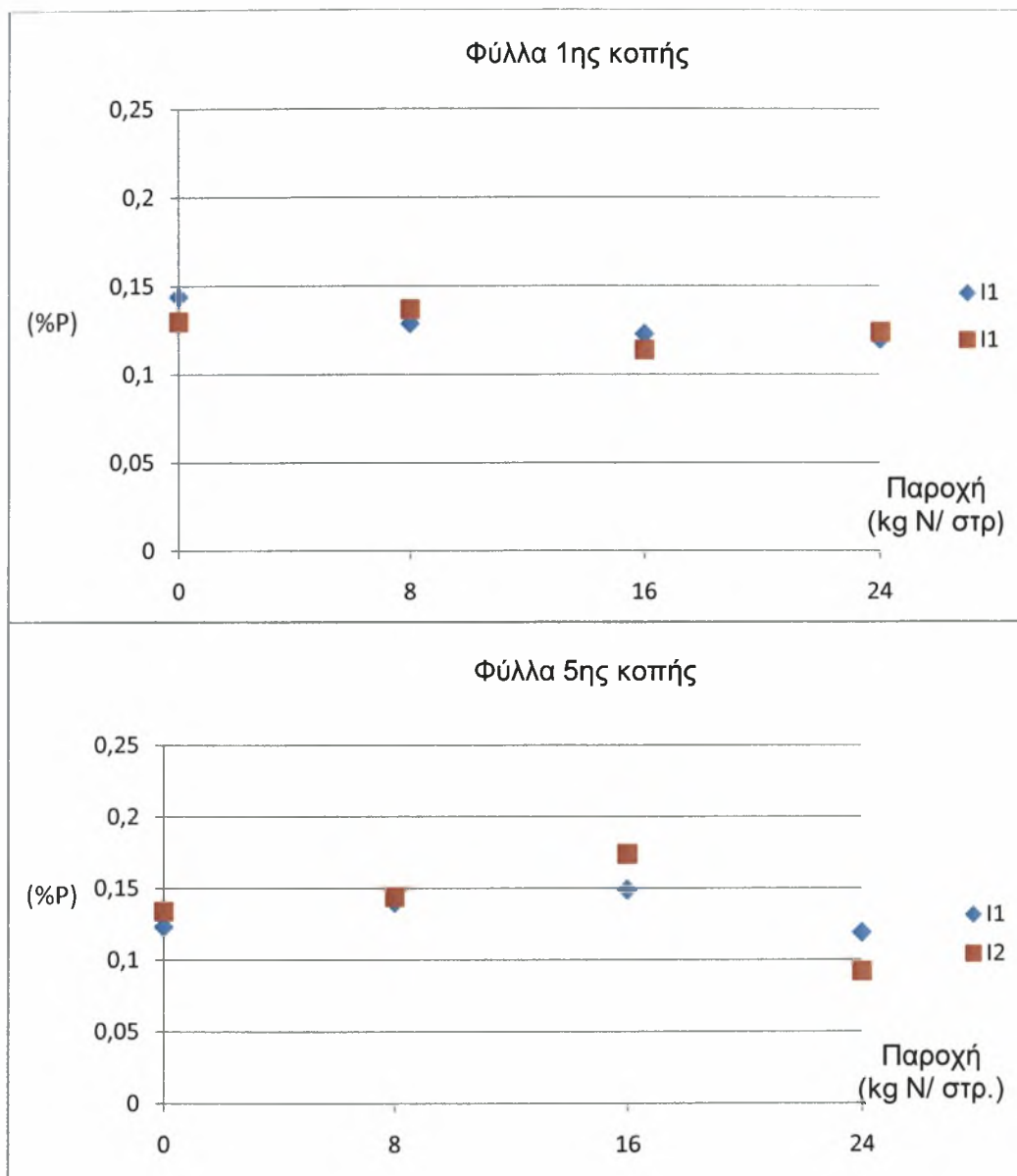
Στο κεφάλαιο 3.5, όπως φάνηκε από τα σχήματα 3.5.1 και 3.5.2, το μεγαλύτερο ποσοστό για τη σύνθεση βιομάζας κατείχε ο βλαστός και στις δυο κοπές, 1^η κοπή και 5^η κοπή αντίστοιχα. Είναι φανερό λοιπόν, ότι ο βλαστός είναι το κύριο όργανο για την πρόσληψη από τον αγρό, αφού έχει και τη

μεγαλύτερη διακύμανση σε περιεκτικότητα κατά τα δυο στάδια ανάπτυξης και τη μεγαλύτερη αναλογία/ βιομάζα.

Πίνακας 2. Περιεκτικότητα % N στη ξηρή βιομάζα των φυτικών οργάνων του switchgrass για τα 2 επίπεδα άρδευσης (I1, I2) και τα 4 επίπεδα N-ούχου λιπάνσεως (N1, N2, N3, N4) σε δύο διαφορετικά στάδια ανάπτυξης το 2012 (1^η Κοπή, Συγκομιδή) (I₁: 0 mm, I₂: 250 mm, N₁:0, N₂:8, N₃:16 και N₄:24 kg N/στρ.).

	1 ^η Κοπή		Συγκομιδή			
	ΦΥΛΛΑ	ΒΛΑΣΤΟΙ	ΦΥΛΛΑ	ΒΛΑΣΤΟΙ	ΚΑΦΕ ΦΥΛΛΑ	ΑΝΘΟΤΑΞΙΑ
Επίπεδα Άρδευσης						
Ξηρικό (I1: 0 mm)	1,23	0,42	1,07	0,20	0,32	1,29
Ποτιστικό (I2: 250 mm)	1,30	0,41	1,04	0,18	0,34	0,95
LSD _{0,05}	ns	ns	ns	ns	ns	ns
Επίπεδα N-λίπανσης						
N1 = 0 kg/στρ.	1,08	0,30	0,94	0,21	0,24	1,03
N2 = 8 kg/στρ.	1,09	0,43	0,97	0,17	0,31	1,12
N3 = 16 kg/στρ.	1,42	0,52	1,22	0,17	0,38	1,30
N4 = 24 kg/στρ.	1,47	0,39	1,11	0,20	0,38	1,02
LSD _{0,05}	ns	ns	ns	ns	ns	ns
CV %	9,9	16,1	10,1	23,7	20,1	19,0

3.8 Περιεκτικότητα σε φώσφορο (P)

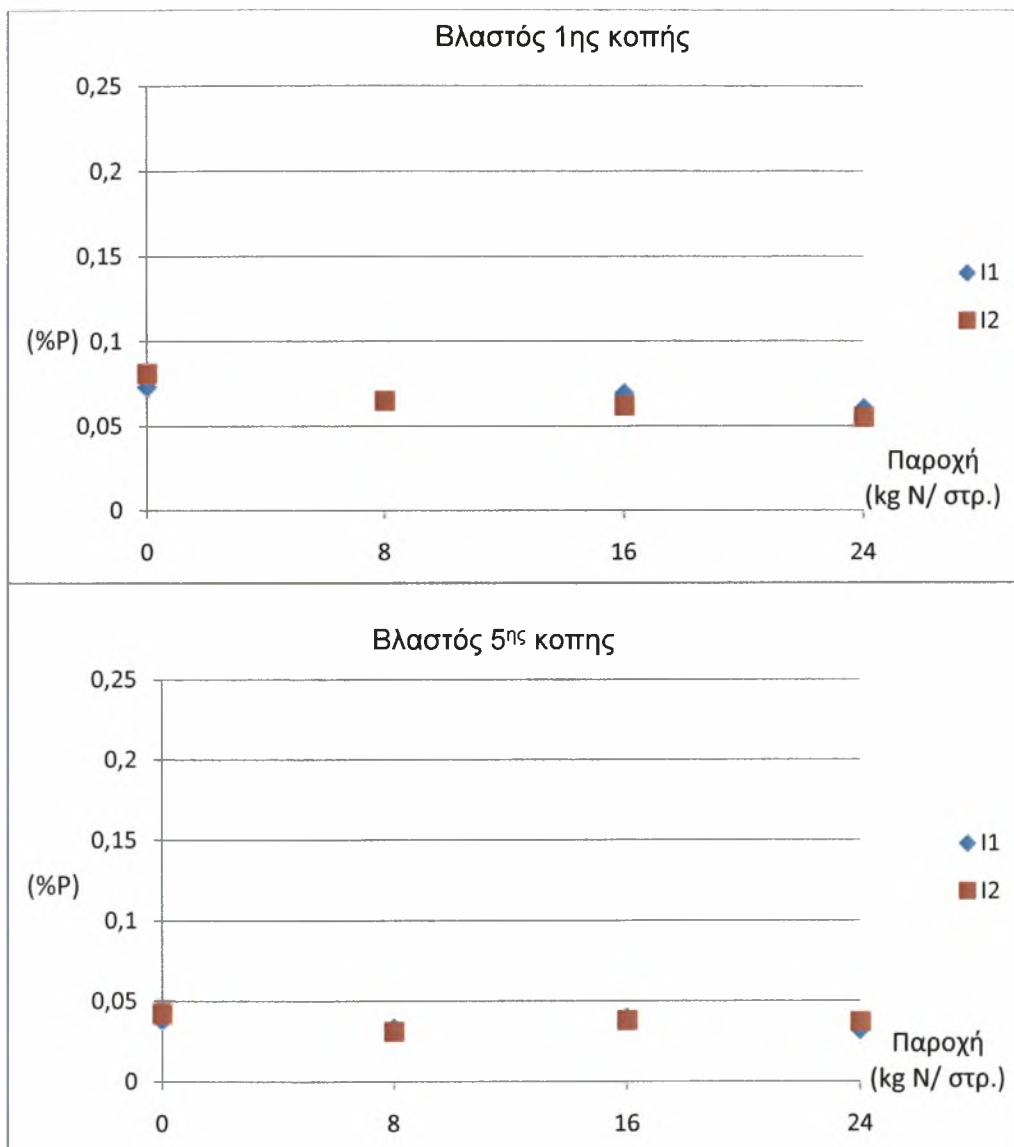


Σχήμα 3.8.1. Περιεκτικότητα % P στα φύλλα του φυτού switchgrass για δυο επίπεδα άρδευσης και 4 διαφορετικά επίπεδα αζωτούχου λιπάνσεως σε δυο διαφορετικά στάδια ανάπτυξης (♦ I1: μη αρδευόμενα ■ I2: αρδευόμενα).

Στα σχήμα 3.8.1, φαίνεται η περιεκτικότητα των φύλλων στα δυο επίπεδα άρδευσης και στα τέσσερα επίπεδα αζωτούχου λίπανσης στον ιστό των φύλλων κατά τις 2 κοπές. Κατά την 5^η κοπή φαίνεται ότι υπάρχει μια άνοδος στην περιεκτικότητα του φωσφόρου σε σχέση με την 1^η κοπή, όπου τα

ποσοστά κυμαίνονται από 0,09 έως 0,17 %, σε αντίθεση με την 1^η κοπή όπου το ποσοστό φωσφόρου φτάνει μέχρι το 0,14 %.

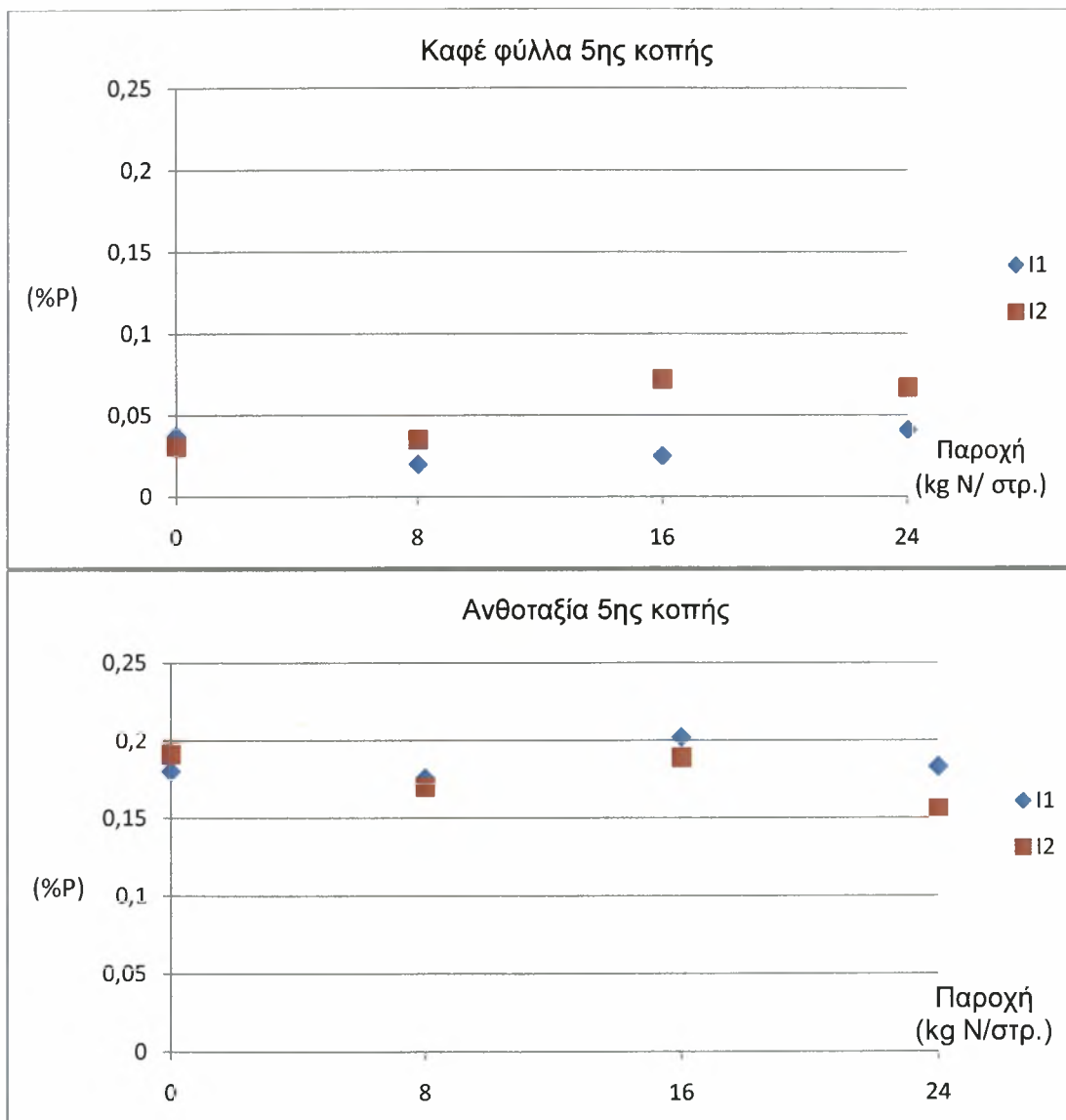
Η περιεκτικότητα του αζώτου στα φύλλα, είναι σαφώς μεγαλύτερη, όπως είδαμε παραπάνω, σε σχέση με την περιεκτικότητα σε φώσφορο.



Σχήμα 3.8.2. Περιεκτικότητα % P στο βλαστό του φυτού switchgrass για δυο επίπεδα άρδευσης και 4 διαφορετικά επίπεδα αζωτούχου λιπάνσεως σε δυο διαφορετικά στάδια ανάπτυξης (♦ I1: μη αρδευόμενα ■ I2: αρδευόμενα).

Η περιεκτικότητα του βλαστού σε φώσφορο, σύμφωνα με το σχήμα 3.8.2, έχει μεγάλες διακυμάνσεις κατά τις δυο κοπές. Στην 5^η κοπή το ποσοστό φωσφόρου έχει μεγάλη πτώση έως και 70 %. Κατά την 1^η κοπή, η μέγιστη

τιμή φωσφόρου στον ιστό του βλαστού έφτανε το 0,08 %, σε αντίθεση με την 5^η της οποίας το μέγιστο ποσοστό έφτανε μέχρι και 0,04 %.



Σχήμα 3.8.3. Περιεκτικότητα % P στα καφέ φύλλα και στην ανθοταξία του φυτού switchgrass για δυο επίπεδα άρδευσης και 4 διαφορετικά επίπεδα αζωτούχου λιπάνσεως στο στάδιο της 5^{ης} (τελικής) κοπής (♦ I1: μη αρδευόμενα ■ I2: αρδευόμενα).

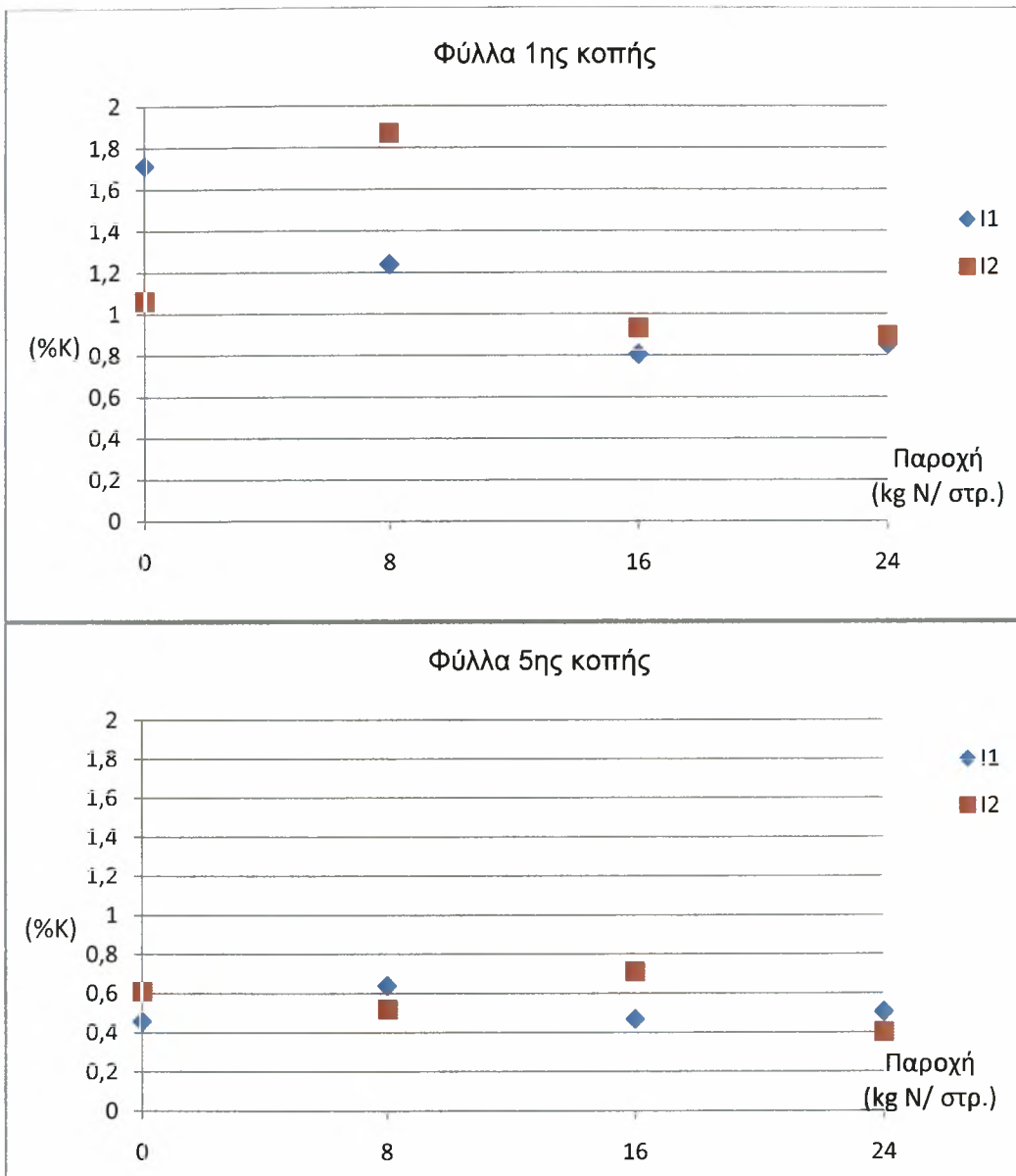
Όπως ειπώθηκε και παραπάνω, τα καφέ φύλλα και η ανθοταξία εμφανίζονται μετά την 1^η κοπή. Από το σχήμα 3.8.3, φαίνεται ότι η περιεκτικότητα φωσφόρου στα καφέ φύλλα, για την ξερική και την αρδευόμενη καλλιέργεια, δεν έχει μεγάλη διαφορά και τα ποσοστά κυμανθήκαν από 0,02 έως 0,07 %, με μεγαλύτερο το ποσοστό των αρδευόμενων τεμαχίων. Στην ανθοταξία τα

ποσοστά είναι αρκετά κοντά και για τις δυο καλλιέργειες και κυμαίνονται από 0,16 μέχρι 0,2 %.

Πίνακας 3. Περιεκτικότητα % P στη ξηρή βιομάζα των φυτικών οργάνων του switchgrass για τα 2 επίπεδα άρδευσης (I1, I2) και τα 4 επίπεδα N-ούχου λιπάνσεως (N1, N2, N3, N4) σε δύο διαφορετικά στάδια ανάπτυξης (1^η Κοπή, Συγκομιδή) το 2012 (I₁: 0 mm, I₂: 250 mm, N₁:0, N₂:8, N₃:16 και N₄:24 kg N/στρ.).

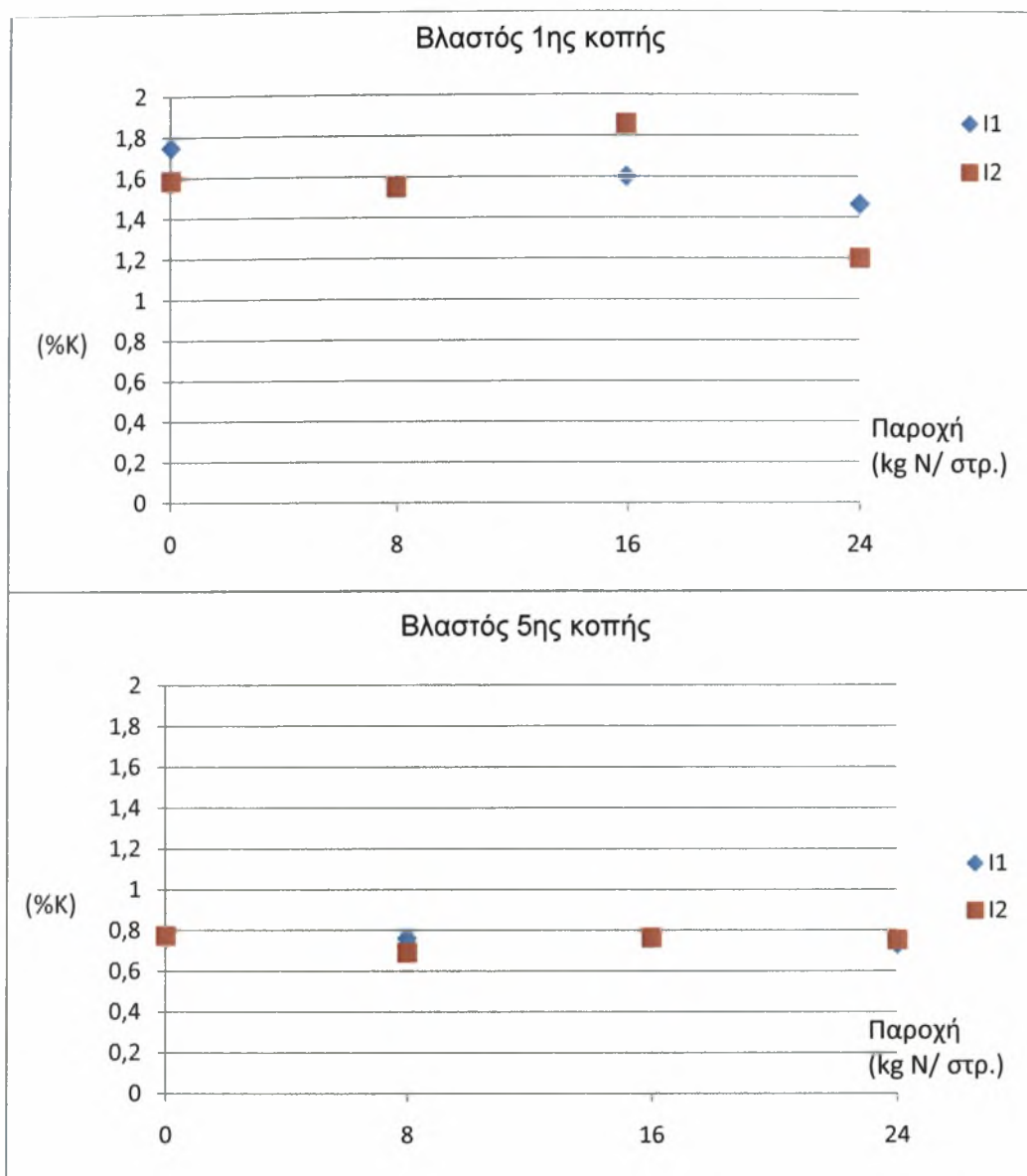
	1 ^η Κοπή		Συγκομιδή			
	ΦΥΛΛΑ	ΒΛΑΣΤΟΙ	ΦΥΛΛΑ	ΒΛΑΣΤΟΙ	ΚΑΦΕ ΦΥΛΛΑ	ΑΝΘΟΤΑΞΙΑ
Επίπεδα Άρδευσης						
Ξηρικό (I1: 0 mm)	0,13	0,07	0,13	0,03	0,03	0,19
Ποτιστικό (I2: 250 mm)	0,13	0,07	0,12	0,04	0,05	0,16
LSD _{0.05}	ns	ns	ns	ns	ns	ns
Επίπεδα N-λίπανσης						
N1 = 0 kg/στρ.	0,14	0,08	0,13	0,05	0,03	0,19
N2 = 8 kg/στρ.	0,13	0,07	0,12	0,03	0,03	0,17
N3 = 16 kg/στρ.	0,12	0,07	0,16	0,04	0,05	0,20
N4 = 24 kg/στρ.	0,12	0,06	0,10	0,03	0,05	0,14
LSD _{0.05}	ns	ns	ns	ns	ns	ns
CV %	5,8	7,1	22,4	17,4	38,1	19,8

3.9 Περιεκτικότητα σε κάλιο (Κ)



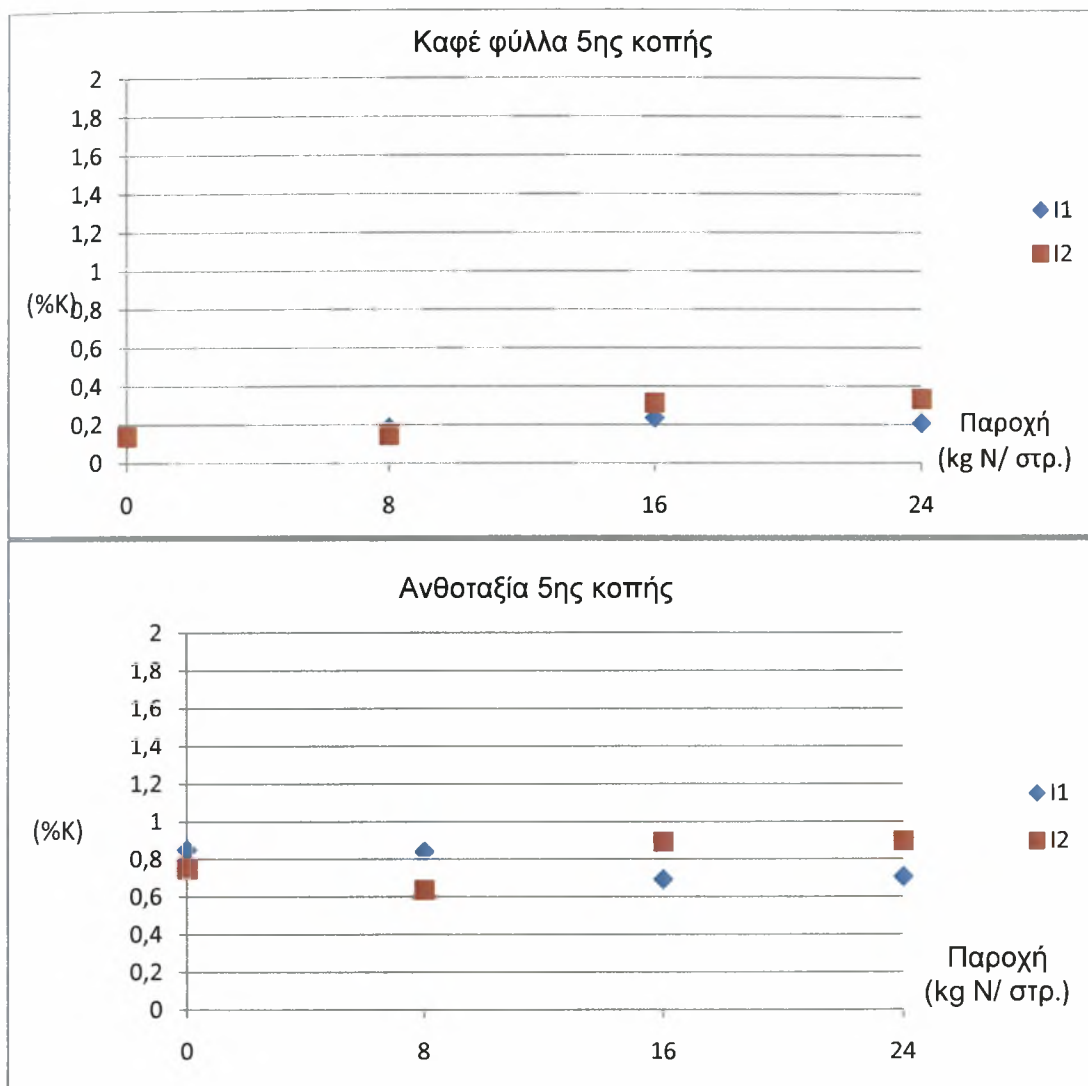
Σχήμα 3.8.1. Περιεκτικότητα % K στα φύλλα του φυτού switchgrass για δυο επίπεδα άρδευσης και 4 διαφορετικά επίπεδα αζωτούχου λιπάνσεως σε δυο διαφορετικά στάδια ανάπτυξης (♦ I1: μη αρδευόμενα ■ I2: αρδευόμενα).

Σύμφωνα με το σχήμα 3.9.1, το ποσοστό του καλίου που περιέχεται στα φύλλα κατά τις δυο κοπές, 1^η κοπή και 5^η κοπή, έχει μεγάλες διακυμάνσεις. Κατά τη συγκομιδή η περιεκτικότητα σε K μειώθηκε μέχρι και 46 %. Κατά την 1^η κοπή το ποσοστό καλίου κυμάνθηκε σε τιμές μέχρι και 1,87 % και στην τελική συγκομιδή το ποσοστό στον ιστό των φύλλων έφτασε μέχρι και 0,7 %.



Σχήμα 3.8.2. Περιεκτικότητα % K στο βλαστό του φυτού switchgrass για δυο επίπεδα άρδευσης και 4 διαφορετικά επίπεδα αζωτούχου λιπάνσεως σε δυο διαφορετικά στάδια ανάπτυξης (♦ I1: μη αρδευόμενα ■ I2: αρδευόμενα).

Η περιεκτικότητα καλίου στο βλαστό του switchgrass έχει πολύ μεγάλες διακυμάνσεις τόσο κατά την 1^η κοπή όσο και κατά την 5^η κοπή. Οι διαφορές είναι στατιστικά σημαντικές, αφού κατά την 5^η κοπή η περιεκτικότητα καλίου μειώνεται έως και 53 %. Τα ποσοστά κυμάνθηκαν από 1,2 έως και 1,86 % κατά την 1^η κοπή, ενώ κατά την 5^η κοπή από 0,7 μέχρι 0,8 %.



Σχήμα 3.9.3. Περιεκτικότητα % K στα καφέ φύλλα και στην ανθοταξία του φυτού switchgrass για δυο επίπεδα άρδευσης και 4 διαφορετικά επίπεδα αζωτούχου λιπάνσεως στο στάδιο της 5^{ης} (τελικής) κοπής (♦ I1: μη αρδευόμενα ■ I2: αρδευόμενα).

Τέλος, τα ποσοστά καλίου στα ξερά φύλλα κυμάνθηκαν από 0,13 έως 0,33 % και στην ανθοταξία από 0,63 έως 0,89 %.

Πίνακας 4. Περιεκτικότητα % Κ στη ξηρή βιομάζα των φυτικών οργάνων του switchgrass για τα 2 επίπεδα άρδευσης (I1, I2) και τα 4 επίπεδα Ν-ούχου λιπάνσεως (N1, N2, N3, N4) σε δύο διαφορετικά στάδια ανάπτυξης (1^η Κοπή, Συγκομιδή) το 2012 (I₁: 0 mm, I₂: 250 mm, N₁:0, N₂:8, N₃:16 και N₄:24 kg N/στρ.).

	1 ^η Κοπή		Συγκομιδή			
	ΦΥΛΛΑ	ΒΛΑΣΤΟΙ	ΦΥΛΛΑ	ΒΛΑΣΤΟΙ	ΚΑΦΕ ΦΥΛΛΑ	ΑΝΘΟΤΑΞΙΑ
Επίπεδα Άρδευσης						
Ξηρικό (I1: 0 mm)	1,15	1,59	0,52	0,75	0,19	0,77
Ποτιστικό (I2: 250 mm)	1,19	1,55	0,60	0,72	0,24	0,79
LSD _{0,05}	ns	ns	ns	ns	ns	ns
Επίπεδα Ν-λίπανσης						
N1 = 0 kg/στρ.	1,39	1,67	0,61	0,77	0,14	0,80
N2 = 8 kg/στρ.	1,55	1,50	0,58	0,68	0,15	0,74
N3 = 16 kg/στρ.	0,87	1,78	0,59	0,76	0,29	0,79
N4 = 24 kg/στρ.	0,87	1,33	0,45	0,74	0,28	0,80
LSD _{0,05}	ns	ns	ns	ns	ns	ns
CV %	31,8	12,4	28,4	8,2	31,2	18,5

4. Συμπεράσματα

Κατά τα πρώτα στάδια ανάπτυξης (1^η κοπή), φαίνεται πως η σύνθεση της βιομάζας κυμαίνεται για τα φύλλα στο 30 %, ενώ για τον βλαστό φτάνει μέχρι και 70 %. Σε αντίθεση με την 1^η κοπή, κατά την 5^η κοπή τα ποσοστά της σύνθεσης βιομάζας φτάνουν για τα φύλλα μέχρι και 12 %, για το βλαστό το 68 % και για τα καφέ φύλλα και την ανθοταξία από 10 % αντίστοιχα. Φαίνεται λοιπόν, από τα ποσοστά αυτά πως ο βλαστός έχει σταθερά μεγάλο ποσοστό στη συνολική ξηρή βιομάζα και έτσι, συμπεραίνεται πως αποτελεί το κυριότερο όργανο του φυτού που μπορεί να καθορίσει τα χαρακτηριστικά της καλλιέργειας.

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, 1 kg αζώτου είναι ικανό να παράγει 134,8 kg ξηρής βιομάζας ($R^2= 0,78$ %), ενώ κατά την 5^η κοπή, 229 kg ξηρής βιομάζας μπορούν να παραχθούν από 1 kg N ($R^2= 0,93$ %), ανεξαρτήτως αρδεύσεως και λίπανσης.

Ομοίως, προσλαμβάνοντας 1 kg P, η καλλιέργεια είναι ικανή να παράξει 1344 kg ξηρής βιομάζας ($R^2= 0,42$ %), ενώ κατά την 5^η κοπή 1403 kg ξηρής βιομάζας μπορούν να παραχθούν από 1 kg P ($R^2= 0,71$ %), ανεξαρτήτως άρδευσης και λίπανσης.

Η γραμμική συσχέτιση μεταξύ καλίου και απόδοσης ξηρής βιομάζας είναι σημαντική κατά την 5^η κοπή. Ξηρή βιομάζα περί τα 79 kg μπορεί να παραχθεί από 1 kg K ($R^2= 0,62$ %) στην 1^η κοπή, ενώ στην 5^η κοπή, 159 kg ξηρής βιομάζας είναι ικανά να αποδοθούν από 1 kg K ($R^2 = 0,93$ %), ανεξαρτήτως άρδευσης και λίπανσης.

Τέλος, η πρόσληψη των μακροστοιχείων N, P και K από τα διάφορα μέρη του φυτού μειώνεται με την ωρίμανση της καλλιέργειας.

Συμπερασματικά, η καλλιέργεια του switchgrass φαίνεται να αποτελεί μια οικονομική, χαμηλών εισροών καλλιέργεια επιτυγχάνοντας μεγάλες αποδόσεις σε ύφυγρα εδάφη όπως είναι το έδαφος του Παλαμά. Το switchgrass λοιπόν

φαίνεται να αποτελεί μία πολλά υποσχόμενη καλλιέργεια τόσο για το αδιέξοδο των γεωργών στην Ελλάδα όσο και στην προστασία του περιβάλλοντος λόγω της πολυετούς φύσης του.

ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

Ελληνική Βιβλιογραφία

- Γιαννούλης, Κυριάκος, 2014. Το switchgrass ως ενεργειακό φυτό: Προσαρμοστικότητα στην Κεντρική Ελλάδα. Διδακτορική διατριβή. Βόλος, 2014.
- Πασχαλίδης, Χ., 2005. Λιπασματολογία- Εργαστηριακές Ασκήσεις. Εκδόσεις Έμβρυο, Αθηνά.
- Τσικαλάς, Πλ., 1992. Σημειώσεις Εργαστηριακών Φυλλοδιαγνωστικής. Ηράκλειο.

Ξένη Βιβλιογραφία

- Al-Karaki, G., McMichael, B., and Zak, J. 2004. Field response of wheat to arbuscular mycorrhizal fungi and drought stress. *Mycorrhiza* 14: 263– 269.
- Aiken, G. E., and Springer, T. L. 1995. Seed size distribution, germination, and emergence of 6 switchgrass cultivars. *J. Range Manage.* 48: 455–458.
- Alexopoulou, E, Sharma N, Papatheohari Y, Christou M, Piscioneri I, Panoutsou C, Pignatelli V (2008). Biomass yields for upland and lowland switchgrass varieties grown in the Mediterranean region. *Biomass and Bioenergy* 32: 926 – 933.
- Alberts, E. E., Kramer, L. A., and Ghidry, 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.
- 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.
- Beaty, E. R., Engel, J. L., and Powell, J. D. 1978. Tiller development and growth in switchgrass. *J. Range Manage.* 31: 361–365.

- 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.
- Bock, C. E., Bock, J. H., and Bennett, B. C. 1995. The avifauna of remnant tallgrass prairie near Boulder, Colorado. *Prairie Naturalist* 27: 147–157.
- Bona, L., and Belesky, D. P. 1992. Evaluation of switchgrass entries for acid soil tolerance. *Commun. Soil Sci. Plant Anal.* 23: 1827–1841
- Bransby, D. I., McLaughlin, S. B., and Parrish, D. J. 1998. A review of carbon and nitrogen balances in switchgrass grown for energy. *Biomass Bioenergy* 14: 379–384.
- 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, J. J., Yocom, D. H., Moser, L. E., and Waller, S. S. 1993. Dependence of 3 Nebraska Sandhills warm-season grasses on vesicular-arbuscular mycorrhizae. *J. Range Manage.* 46: 14–20.
- Byrd, G. T., and May, P. A., II 2000. Physiological comparisons of switchgrass cultivars differing in transpiration efficiency. *Crop Sci.* 40: 1271–1277.
- Brejda, J. J. 2000. Fertilization of native warm-season grasses. In: *Native Warm- Season Grasses: Research Trends and Issues.* pp. 177–200.
- Casler, M. D., and Boe, A. R. 2003. Cultivar x environment interactions in switchgrass. *Crop Sci.* 43: 2226–2233.
- Casler, M. D., Vogel, K. P., Taliaferro, C. M., and 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 *Panicum virgatum* 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.
- Davidson, C. G., and Gobin, S. M. 1998. Evaluation of ornamental grasses for the northern Great Plains. *J. Environ. Hort.* 16: 218–229.
- Das, M. K., Fuentes, R. G., and Taliaferro, C. M. 2004. Genetic variability and trait relationships in switchgrass. *Crop Sci.* 44: 443–448.
- Dinesh, M., and Roy, D. N. 1999. Forests, fiber, and the environment—in view of the fiber supply to the pulp and paper industry. *Forestry Chronicle* 75: 247–255.
- Eberhart, S. A., and Newell, L. C. 1959. Variation in domestic collections of switchgrass, *Panicum virgatum* 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.
- Eom, A. H., Wilson, G. W. T., and Hartnett, D. C. 2001. Effects of ungulate grazers on arbuscular mycorrhizal symbiosis and fungal community structure in tallgrass prairie. *Mycologia* 93: 233–242.

- Epstein HC, Lauenroth WK, Burke IC, Coffin DP (1996). Ecological responses of dominant grasses along two climate gradients in the Great Plains of the United States. *Journal of Vegetation Science* 777-778.
- Evers, G.W., and Parsons, M. J. 2003. Soil type and moisture level influence on Alamo switchgrass emergence and seedling growth. *Crop Sci.* 43: 288–294.
- Evers, G.W., and Butler, T.W. 2000. Switchgrass establishment on coastal plain soil. In: *Proc. Amer. Forage Grassl. Council.* pp. 150–154. Madison, WI, July 16–19, 2000. Georgetown, TX.
- Finlay, R.D. 2004. Mycorrhizal fungi and their multifunctional roles. *Mycologist* 18: 91–96.
- 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.
- 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.
- Hall, K. E., George, J. R., and Riedl, R. R. 1982. Herbage dry matter yields of switchgrass, big bluestem and indiangrass 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 (*Panicum virgatum* L.). *HortSci.* 32: 1222–1226.
- Heckathorn, S. A., and De Lucia, E. H. 1994. Drought-induced nitrogen retranslocation in perennial C4 grasses of tallgrass prairie. *Ecology* 75: 1877–1886.
- Hitchcock, A. S. 1935. *Manual of the Grasses of the United States.* United States Department of Agriculture, Washington, DC.
- Hopkins, A. A., and Taliaferro, C. M. 1997. Genetic variation within switchgrass populations for acid soil tolerance. *Crop Sci.* 37: 1719–1722.
- 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.

- Jefferson, P. G., McCaughey, W. P., May, K., Woosaree, J., MacFarlane, L., and Wright, S. M. B. 2002. Performance of American native grass cultivars in the Canadian prairie provinces. *Native Plants J.* 3: 24–33.
- 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.
- 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.
- Lee, K. H., Isenhardt, T. M., and Schultz, R. C. 2003. Sediment and nutrient removal in an established multi-species riparian buffer. *J. SoilWater Conserv.* 58: 1–8.
- Madakadze, I., Coulman, B. E., Stewart, K., Peterson, P., Samson, R., and Smith, D. L. 1998c. Phenology and tiller characteristics of big bluestem and switchgrass cultivars in a short growing season area. *Agron. J.* 90: 489–495.
- 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.
- Murray, L. D., and Best, L. B. 2003. Short-term bird response to harvesting switchgrass for biomass in Iowa. *J. Wildlife Manage.* 67: 611–621.
- 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.
- 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.
 - Newell, L. C., and Eberhart, S. A. 1961. Clone and progeny evaluation in the improvement of switchgrass. *Crop Sci.* 1: 370–373.
 - Neuman, E., and George, E. 2004. Colonisation with the arbuscular mycorrhizal fungus *Glomus mosseae* (Nicol. & Gerd.) enhanced phosphorus uptake from dry soil in *Sorghum bicolor* (L.). *Plant and Soil* 261: 245–255.
 - Nielsen, E. L. 1947. Polyploidy and winter survival in *Panicum virgatum* L. *J. Amer. Soc. Agron.* 39: 822–827.
 - 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 *Panicum virgatum* L. in central Oklahoma. *Ecology* 47: 980–992.
 - Retta, 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.
 - Riche, A. B., and Christian, D. G. 2001. Estimates of rhizome weight of *Miscanthus* with time and rooting depth compared to switchgrass. *Aspects Appl. Biol.* 65: 147–152.
 - 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.
 - Sanada, Y., and Matsuoka, H. 1998. Varietal difference of shattering habit and seed productivity in guineagrass (*Panicum maximum* Jacq.) and *Panicum* spp. *Grassl. Sci.* 44: 272–277.
 - 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, M. A., Jones, R. M., McFarland, M. J., Stroup, J., Reed, R. L., and Muir, J. P. 2001. Nutrient movement and removal in a switchgrass biomassfilter strip system treated with dairy manure. *J. Environ. Qual.* 30: 210–216.
- Sanderson, M. A., Reed, R. L., Ocumpaugh, W. R., Hussey, M. A., Van Esbroeck, G., Read, J. C., Tischler, C., and Hons, F. M. 1999b. Switchgrass cultivars and germplasm for biomass feedstock production in Texas. *Bioresource Tech.* 67: 209–219.
- Sanderson, M. A., Ocumpaugh, W. R., & Reed, R. L. (1994). Biomass production and stand dynamics of 'Alamo' switchgrass in response to N, P, and row spacing. *Agronomy Abstracts. Am. Sot. Agron., Madison, WI*, p. 165.
- 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.
- Sladden, S. E., Bransbv. D. I. & Neoal, P. (199.5). The effects of row spacing and nitrogen 'fertilizaion dn biomass production of switchgrass in Alabama. In *Proc. Am. Forage and Grassl. Conj*, 12-14 March 1995, Lexington, KY. ed. G. A. Pederson,. Am. Forage and Grassland Council, Georgetown. TX, pp. 45-8.
- Smart, A. J., Moser, L. E., and Vogel, K. P. 2003a. Establishment and seedling growth of big bluestem and switchgrass populations divergently selected for seedling tiller number. *Crop Sci.* 43: 1434–1440.

- 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.
- Stout, W. L., Jung, G. A., and Shaffer, J. A. 1988. Effects of soil and nitrogen on water use efficiency of tall fescue and switchgrass under humid conditions. *Soil Sci. Soc. America J.* 52: 429–434.
- Stout, W. L., Jung, G. A., Shaffer, J. A., and Estepp, R. 1986. Soil water conditions and yield of tall fescue, switchgrass, and Caucasian bluestem in the Appalachian Northeast. *J. Soil Water Conserv.* 41: 184–186.
- 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.
- 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.
- Stucky, D. J., Bauer, J. H., and Lindsey, T. C. 1980. Restoration of acidic mine spoils with sewage sludge: I. Revegetation. *Reclamation Review* 3: 129–139.
- 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.
- Van Esbroeck, G. A., Hussey, M. A., and Sanderson, M. A. 2003. Variation between Alamo and Cave-in-Rock switchgrass in response to photoperiod extension. *Crop Sci.* 43: 639–643.
- 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.
- Vogel, K. P. 2000. Improving warm-season forage grasses using selection, breeding, and biotechnology. In: *Native Warm-Season Grasses: Research Trends and Issues*, pp. 83-106. Anderson, B. E. and Moore, K. J., Eds., CSSA Special Pub. No. 30. Crop Science Society of America, Madison, WI.
- Wallace, L. L. 1987. Mycorrhizas in grasslands: Interactions of ungulates, fungi and drought. *New Phytologist* 105: 619–632.

- Wilson, G.W. T., Hartnett, D. C., Smith, M. D., and Kobbeman, K. 2001. Effects of mycorrhizae on growth and demography of tallgrass prairie forbs. *Amer. J. Botany* 88: 1452–1457.
- Zak, J. M. 1977. Direct seeding of grass species for sand dune stabilization on the mid-Atlantic sea coast. *Int. J. Biometeorology* 21: 238–244.
- Zhang, J., and Maun, M. A. 1990. Sand burial effect on seed germination, seedling emergence and establishment of *Panicum virgatum*. *Holarctic Ecology* 13: 56–61.

Παράρτημα

Στατιστική ανάλυση

GenStat Release 7.1 (PC/Windows XP) 22 May 2014
16:16:49
Copyright 2003, Lawes Agricultural Trust (Rothamsted Experimental Station)

GenStat Seventh Edition
GenStat Procedure Library Release PL15

```
1 %CD 'C:/Documents and Settings/Kyriakos G/My Documents'  
2 "Data taken from File: \  
-3 C:/Documents and Settings/Kyriakos G/Desktop/Thesis Responsible  
2/eleni tsitsani/Palamas 2012.xls\  
-4 "  
5 DELETE [Redefine=yes] _stitle_: TEXT _stitle_  
6 READ [print=*;SETNVALUES=yes] _stitle_  
10 PRINT [IPrint=*_stitle_; Just=Left
```

Data imported from Excel file: C:\Documents and Settings\Kyriakos
G\Desktop\The
sis Responsible 2\eleni tsitsani\Palamas 2012.xls
on: 22-May-2014 16:17:10

taken from sheet "Sheet1", cells A2:G33

```
11 DELETE [redefine=yes]  
Blocks, IRRIGATION, FERTILIZATION, DW_Stems, DW_Stems_last\  
12 , DW_Br_Leaves_last, DW_Flower_last  
13 UNITS [NVALUES=*]  
14 FACTOR [modify=yes; nvalues=32; levels=4; reference=1] Blocks  
15 READ Blocks; frepresentation=ordinal
```

Identifier	Values	Missing	Levels
Blocks	32	0	4

```
17 FACTOR [modify=yes; nvalues=32; levels=2; reference=1] IRRIGATION  
18 READ IRRIGATION; frepresentation=ordinal
```

Identifier	Values	Missing	Levels
IRRIGATION	32	0	2

```
20 FACTOR [modify=yes; nvalues=32; levels=4; reference=1]  
FERTILIZATION  
21 READ FERTILIZATION; frepresentation=ordinal
```

Identifier	Values	Missing	Levels
FERTILIZATION	32	0	4

```
23 VARIATE [nvalues=32] DW_Stems  
24 READ DW_Stems
```

Identifier	Minimum	Mean	Maximum	Values	Missing
DW_Stems	0.2973	0.9233	1.272	32	0

33 VARIATE [nvalues=32] DW_Stems_last
 34 READ DW_Stems_last

Identifier	Minimum	Mean	Maximum	Values	Missing
DW_Stems_last	0.3154	1.438	2.095	32	0

43 VARIATE [nvalues=32] DW_Br_Leaves_la_st
 44 READ DW_Br_Leaves_la_st

Identifier	Minimum	Mean	Maximum	Values	Missing
DW_Br_Leaves_la_st	0.03521	0.2236	0.4623	32	0

53 VARIATE [nvalues=32] DW_Flower_last
 54 READ DW_Flower_last

Identifier	Minimum	Mean	Maximum	Values	Missing
DW_Flower_last	0.07354	0.2886	0.5130	32	0

63
 64 "Split-Plot Design."
 65 BLOCK Blocks/IRRIGATION/FERTILIZATION
 66 TREATMENTS IRRIGATION*FERTILIZATION
 67 COVARIATE "No Covariate"
 68 ANOVA [PRINT=aovtable,information,means,%cv; FACT=32;
 FPROB=yes; PSE=diff,lsd,means;\n
 69 LSDLEVEL=5] DW_Stems

69.....

***** Analysis of variance *****

Variate: DW_Stems

Source of variation	d.f.	s.s.	m.s.	v.r.	F pr.
Blocks stratum	3	0.21493	0.07164	2.42	
Blocks.IRRIGATION stratum					
IRRIGATION	1	0.06945	0.06945	2.35	0.223
Residual	3	0.08879	0.02960	0.78	
Blocks.IRRIGATION.FERTILIZATION stratum					
FERTILIZATION	3	0.50673	0.16891	4.44	0.017
IRRIGATION.FERTILIZATION					
	3	0.01632	0.00544	0.14	0.933
Residual	18	0.68524	0.03807		
Total	31	1.58147			

* MESSAGE: the following units have large residuals.

Blocks 1	IRRIGATION 1	FERTILIZATION 1	-0.308	s.e.
0.146				
Blocks 4	IRRIGATION 1	FERTILIZATION 1	0.309	s.e.
0.146				

***** Tables of means *****

Variate: DW_Stems

Grand mean 0.923

IRRIGATION	1	2
	0.877	0.970

FERTILIZATION	1	2	3	4
	0.807	0.788	1.042	1.055

IRRIGATION	FERTILIZATION			
	1	2	3	4
1		0.744	0.764	1.018
2		0.870	0.812	1.067
				0.981
				1.130

*** Standard errors of means ***

Table	IRRIGATION	FERTILIZATION	IRRIGATION FERTILIZATION
rep.	16	8	4
e.s.e.	0.0430	0.0690	0.0948
d.f.	3	18	20.34
Except when comparing means with the same level(s) of			
IRRIGATION			0.0976
d.f.			18

*** Standard errors of differences of means ***

Table	IRRIGATION	FERTILIZATION	IRRIGATION FERTILIZATION
rep.	16	8	4
s.e.d.	0.0608	0.0976	0.1341
d.f.	3	18	20.34
Except when comparing means with the same level(s) of			
IRRIGATION			0.1380
d.f.			18

*** Least significant differences of means (5% level) ***

Table	IRRIGATION	FERTILIZATION	IRRIGATION FERTILIZATION
rep.	16	8	4
l.s.d.	0.1936	0.2050	0.2794
d.f.	3	18	20.34
Except when comparing means with the same level(s) of			
IRRIGATION			0.2899
d.f.			18

***** Stratum standard errors and coefficients of variation *****

Variate: DW_Stems

Stratum	d.f.	s.e.	cv%
Blocks	3	0.0946	10.2
Blocks.IRRIGATION	3	0.0860	9.3
Blocks.IRRIGATION.FERTILIZATION	18	0.1951	21.1

```

70 "Split-Plot Design."
71 BLOCK Blocks/IRRIGATION/FERTILIZATION
72 TREATMENTS IRRIGATION*FERTILIZATION
73 COVARIATE "No Covariate"
74 ANOVA [PRINT=aovtable,information,means,%cv; FACT=32;
FPROB=yes; PSE=diff,lsd,means;\
75 LSDLEVEL=5] DW_Stems_last

```

75.....

***** Analysis of variance *****

Variate: DW_Stems_last

Source of variation	d.f.	s.s.	m.s.	v.r.	F pr.
Blocks stratum	3	0.47558	0.15853	7.33	
Blocks.IRRIGATION stratum					
IRRIGATION	1	0.36799	0.36799	17.02	0.026
Residual	3	0.06486	0.02162	0.24	
Blocks.IRRIGATION.FERTILIZATION stratum					
FERTILIZATION	3	2.24112	0.74704	8.29	0.001
IRRIGATION.FERTILIZATION	3	0.09924	0.03308	0.37	0.778
Residual	18	1.62203	0.09011		
Total	31	4.87082			

* MESSAGE: the following units have large residuals.

Blocks 1	IRRIGATION 1	FERTILIZATION 2	-0.484	s.e.
0.225				
Blocks 1	IRRIGATION 1	FERTILIZATION 3	0.520	s.e.
0.225				
Blocks 3	IRRIGATION 1	FERTILIZATION 2	0.567	s.e.
0.225				
Blocks 3	IRRIGATION 1	FERTILIZATION 3	-0.543	s.e.
0.225				

***** Tables of means *****

Variate: DW_Stems_last

Grand mean 1.438

IRRIGATION	1	2
	1.330	1.545

FERTILIZATION	1	2	3	4
	1.232	1.124	1.750	1.644

IRRIGATION FERTILIZATION	1	2	3	4
1		1.099	0.954	1.730
2		1.365	1.295	1.769
				1.538
				1.751

*** Standard errors of means ***

Table	IRRIGATION	FERTILIZATION	IRRIGATION FERTILIZATION
rep.	16	8	4
e.s.e.	0.0368	0.1061	0.1351
d.f.	3	18	20.22

Except when comparing means with the same level(s) of
 IRRIGATION 0.1501
 d.f. 18

*** Standard errors of differences of means ***

Table	IRRIGATION	FERTILIZATION	IRRIGATION FERTILIZATION
rep.	16	8	4
s.e.d.	0.0520	0.1501	0.1910
d.f.	3	18	20.22

Except when comparing means with the same level(s) of
 IRRIGATION 0.2123
 d.f. 18

*** Least significant differences of means (5% level) ***

Table	IRRIGATION	FERTILIZATION	IRRIGATION FERTILIZATION
rep.	16	8	4
l.s.d.	0.1654	0.3153	0.3982
d.f.	3	18	20.22

Except when comparing means with the same level(s) of
 IRRIGATION 0.4460
 d.f. 18

***** Stratum standard errors and coefficients of variation *****

Variate: DW_Stems_last

Stratum	d.f.	s.e.	cv%
Blocks	3	0.1408	9.8
Blocks.IRRIGATION	3	0.0735	5.1
Blocks.IRRIGATION.FERTILIZATION	18	0.3002	20.9

```

76 "Split-Plot Design."
77 BLOCK Blocks/IRRIGATION/FERTILIZATION
78 TREATMENTS IRRIGATION*FERTILIZATION
79 COVARIATE "No Covariate"
80 ANOVA [PRINT=aovtable,information,means,%cv; FACT=32;
FPROB=yes; PSE=diff,lsd,means;\
81 LSDLEVEL=5] DW_Br_Leaves_la_st

```


81.....

***** Analysis of variance *****

Variate: DW_Br_Leaves_la_st

Source of variation	d.f.	s.s.	m.s.	v.r.	F pr.
Blocks stratum	3	0.014512	0.004837	1.79	
Blocks.IRRIGATION stratum					
IRRIGATION	1	0.005225	0.005225	1.93	0.259
Residual	3	0.008120	0.002707	0.54	
Blocks.IRRIGATION.FERTILIZATION stratum					
FERTILIZATION	3	0.057382	0.019127	3.79	0.029
IRRIGATION.FERTILIZATION					
	3	0.009278	0.003093	0.61	0.615
Residual	18	0.090735	0.005041		
Total	31	0.185252			

* MESSAGE: the following units have large residuals.

Blocks 2 IRRIGATION 2 FERTILIZATION 4 0.134 s.e.
 0.053

***** Tables of means *****

Variate: DW_Br_Leaves_la_st

Grand mean 0.224

IRRIGATION	1	2			
	0.211	0.236			
FERTILIZATION	1	2	3	4	
	0.206	0.163	0.268	0.258	
IRRIGATION FERTILIZATION		1	2	3	4
1		0.202	0.133	0.279	0.230
2		0.210	0.193	0.258	0.286

*** Standard errors of means ***

Table	IRRIGATION	FERTILIZATION	IRRIGATION FERTILIZATION
rep.	16	8	4
e.s.e.	0.0130	0.0251	0.0334
d.f.	3	18	20.99
Except when comparing means with the same level(s) of			
IRRIGATION			0.0355
d.f.			18

*** Standard errors of differences of means ***

Table	IRRIGATION	FERTILIZATION	IRRIGATION FERTILIZATION
rep.	16	8	4
s.e.d.	0.0184	0.0355	0.0472
d.f.	3	18	20.99
Except when comparing means with the same level(s) of			
IRRIGATION			0.0502
d.f.			18

*** Least significant differences of means (5% level) ***

Table	IRRIGATION	FERTILIZATION	IRRIGATION FERTILIZATION
rep.	16	8	4
l.s.d.	0.0585	0.0746	0.0982
d.f.	3	18	20.99
Except when comparing means with the same level(s) of			
IRRIGATION			0.1055
d.f.			18

***** Stratum standard errors and coefficients of variation *****

Variate: DW_Br_Leaves_la_st

Stratum	d.f.	s.e.	cv%
Blocks	3	0.0246	11.0
Blocks.IRRIGATION	3	0.0260	11.6
Blocks.IRRIGATION.FERTILIZATION	18	0.0710	31.7

```

82 "Split-Plot Design."
83 BLOCK Blocks/IRRIGATION/FERTILIZATION
84 TREATMENTS IRRIGATION*FERTILIZATION
85 COVARIATE "No Covariate"
86 ANOVA [PRINT=aovtable,information,means,%cv; FACT=32;
FPROB=yes; PSE=diff,lsd,means;\
87 LSDLEVEL=5] DW_Flower_last

```

87.....

***** Analysis of variance *****

Variate: DW_Flower_last

Source of variation	d.f.	s.s.	m.s.	v.r.	F pr.
Blocks stratum	3	0.006229	0.002076	1.07	
Blocks.IRRIGATION stratum					
IRRIGATION	1	0.008054	0.008054	4.16	0.134
Residual	3	0.005814	0.001938	0.27	
Blocks.IRRIGATION.FERTILIZATION stratum					
FERTILIZATION	3	0.255387	0.085129	11.64	<.001
IRRIGATION.FERTILIZATION	3	0.005269	0.001756	0.24	0.867
Residual	18	0.131592	0.007311		
Total	31	0.412345			

* MESSAGE: the following units have large residuals.

Blocks 1	IRRIGATION 1	FERTILIZATION 4	0.137	s.e.
0.064				
Blocks 3	IRRIGATION 1	FERTILIZATION 2	0.183	s.e.
0.064				

***** Tables of means *****

Variate: DW_Flower_last

Grand mean 0.289

IRRIGATION	1	2
	0.273	0.305

FERTILIZATION	1	2	3	4
	0.201	0.208	0.415	0.330

IRRIGATION FERTILIZATION	1	2	3	4
1		0.205	0.194	0.387
2		0.197	0.222	0.443
				0.305
				0.356

*** Standard errors of means ***

Table	IRRIGATION	FERTILIZATION	IRRIGATION FERTILIZATION
rep.	16	8	4
e.s.e.	0.0110	0.0302	0.0386
d.f.	3	18	20.37
Except when comparing means with the same level(s) of			
IRRIGATION			0.0428
d.f.			18

*** Standard errors of differences of means ***

Table	IRRIGATION	FERTILIZATION	IRRIGATION FERTILIZATION
rep.	16	8	4
s.e.d.	0.0156	0.0428	0.0546
d.f.	3	18	20.37
Except when comparing means with the same level(s) of IRRIGATION			0.0605
d.f.			18

*** Least significant differences of means (5% level) ***

Table	IRRIGATION	FERTILIZATION	IRRIGATION FERTILIZATION
rep.	16	8	4
l.s.d.	0.0495	0.0898	0.1138
d.f.	3	18	20.37
Except when comparing means with the same level(s) of IRRIGATION			0.1270
d.f.			18

***** Stratum standard errors and coefficients of variation *****

Variate: DW_Flower_last

Stratum	d.f.	s.e.	cv%
Blocks	3	0.0161	5.6
Blocks.IRRIGATION	3	0.0220	7.6
Blocks.IRRIGATION.FERTILIZATION	18	0.0855	29.6

N - 0	N - 8	N - 16	N - 24
N - 8	N - 0	N - 24	N - 16
N - 16	N - 24	N - 0	N - 8
N - 24	N - 16	N - 8	N - 0
N - 24	N - 16	N - 8	N - 0
N - 16	N - 24	N - 0	N - 8
N - 8	N - 0	N - 24	N - 16
N - 0	N - 8	N - 16	N - 24

ΤΜΗΜΑ I

ΤΜΗΜΑ II

ΤΜΗΜΑ III

ΤΜΗΜΑ IV

ΑΡΔΕΥΟΜΕΝΟ

ΜΗ ΑΡΔΕΥΟΜΕΝΟ



ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΘΕΣΣΑΛΙΑΣ
ΒΙΒΛΙΟΘΗΚΗ



004000118583