

**«ΤΟ SWITCHGRASS ΩΣ ΕΝΕΡΓΕΙΑΚΟ ΦΥΤΟ:
ΠΡΟΣΑΡΜΟΣΤΙΚΟΤΗΤΑ ΣΤΗΝ ΚΕΝΤΡΙΚΗ ΕΛΛΑΔΑ»**



ΚΥΡΙΑΚΟΣ Δ. ΓΙΑΝΝΟΥΛΗΣ
Γεωπόνος Π.Θ., ΜΔΕ Π.Θ., MSc WUR

ΔΙΔΑΚΤΟΡΙΚΗ ΔΙΑΤΡΙΒΗ

ΕΠΙΒΛΕΠΩΝ: ΝΙΚΟΛΑΟΣ ΔΑΝΑΛΑΤΟΣ, ΚΑΘΗΓΗΤΗΣ

ΒΟΛΟΣ, 2014

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

ΔΙΔΑΚΤΟΡΙΚΗ ΔΙΑΤΡΙΒΗ

«ΤΟ SWITCHGRASS ΩΣ ΕΝΕΡΓΕΙΑΚΟ ΦΥΤΟ: ΠΡΟΣΑΡΜΟΣΤΙΚΟΤΗΤΑ ΣΤΗΝ
ΚΕΝΤΡΙΚΗ ΕΛΛΑΔΑ»

ΚΥΡΙΑΚΟΣ Δ. ΓΙΑΝΝΟΥΛΗΣ

Τριμελής Συμβουλευτική Επιτροπή

Νικόλαος Δαναλάτος, Καθηγητής, Τμήμα ΓΦΠΑΠ, Εργαστήριο Γεωργίας & Εφαρμοσμένης
Φυσιολογίας Φυτών, Π.Θ (Επιβλέπων)
Μαρία Σακελλαρίου – Μακραντωνάκη, Καθηγήτρια, Τμήμα ΓΦΠΑΠ, Εργαστήριο Γεωργικής
Υδραυλικής, Π.Θ.
Θεόδωρος Καρυώτης, Ερευνητής, Ι.ΧΤ.Ε.Λ

Επταμελής Εξεταστική Επιτροπή

Νικόλαος Δαναλάτος, Καθηγητής, Τμήμα ΓΦΠΑΠ, Εργαστήριο Γεωργίας & Εφαρμοσμένης
Φυσιολογίας Φυτών, Π.Θ (Επιβλέπων)
Μαρία Σακελλαρίου – Μακραντωνάκη, Καθηγήτρια, Τμήμα ΓΦΠΑΠ, Εργαστήριο Γεωργικής
Υδραυλικής, Π.Θ.
Θεόδωρος Καρυώτης, Ερευνητής, ΕΛΓΟ-ΔΗΜΗΤΡΑ, ΙΧΤ.Ε.Λ
Δημήτριος Γούσιος, Καθηγητής, Τμήμα ΜΧΠΠΑ, Εργ. Χωροταξίας Αγροτικού Χώρου, Π.Θ.
Σπυρίδων Κουτρούμπας, Καθηγητής, Τμήμα ΑΑ, Εργαστήριο Γεωργίας, Δ.Π.Θ.
Δημήτριος Μπιλάλης, Αν. Καθηγητής, Τμήμα ΕΦΠ, Εργαστήριο Γεωργίας, Γ.Π.Α
Γεώργιος Βλόντζος, Λέκτορας Τμήμα ΓΦΠΑΠ, Π.Θ.

ΒΟΛΟΣ, 2014

**ΤΟ SWITCHGRASS ΩΣ ΕΝΕΡΓΕΙΑΚΟ ΦΥΤΟ: ΠΡΟΣΑΡΜΟΣΤΙΚΟΤΗΤΑ
ΣΤΗΝ ΚΕΝΤΡΙΚΗ ΕΛΛΑΔΑ**

Διατριβή

Για την απόκτηση του τίτλου του
Διδάκτορος των Γεωπονικών Επιστημών
Του Τμήματος Γεωπονίας Φυτικής Παραγωγής και
Αγροτικού Περιβάλλοντος της Σχολής
Γεωπονικών Επιστημών του
Πανεπιστημίου Θεσσαλίας
Υποστηρίχθηκε την

ΠΕΡΙΛΗΨΗ

Γιαννούλης, Δ. Κ., 2014. Το Switchgrass ως ενεργειακό φυτό: Προσαρμοστικότητα στην Κεντρική Ελλάδα. Διδακτορική Διατριβή, Πανεπιστήμιο Θεσσαλίας, Βόλος. xxiii + 210 σελ., 40 Πίνακες, 44 Σχήματα, 226 βιβλιογραφικές παραπομπές, Abstract.

Το switchgrass (*Panicum virgatum* L.) είναι ένα πολυετές C₄, φωτοευαίσθητο, αγροστώδες φυτό των εύκρατων ζωνών, με υψηλή προσαρμοστικότητα σε ευρύ γεωγραφικό φάσμα και τύπους εδαφών, που έχει εξελιχθεί σε κτηνοτροφική και πρόσφατα σε ενεργειακή καλλιέργεια. Το switchgrass ταξινομείται σε ορεινούς και πεδινούς οικοτύπους που σχετίζονται με την προέλευση και το γεωγραφικό πλάτος. Παρουσιάζει υψηλή παραλλακτικότητα σε φυσιολογικά χαρακτηριστικά, τα οποία και επηρεάζουν το δυναμικό παραγωγής των καλλιεργειών.

Αποτελεί ένα από τα κυρίαρχα είδη των λειμώνων της Βόρειας Αμερικής και μπορεί να βρεθεί αυτοφυές σε ακαλλιέργητα εδάφη, σε βοσκοτόπια και κατά μήκος των δρόμων. Χρησιμοποιείται κυρίως για την προστασία του εδάφους από τη διάβρωση, για τη βιολογική δέσμευση του ατμοσφαιρικού διοξειδίου του άνθρακα, ως εδαφοβελτιωτικό για τα άγονα εδάφη, για την παραγωγή ζωοτροφών και φυτικών ινών, για την παραγωγή βιοδιασπώμενων πλαστικών και χαρτοπολυτού, ως καλλωπιστικό φυτό και τα τελευταία χρόνια, ως ενεργειακό φυτό για παραγωγή βιοαιθανόλης, βιοαερίου και πελλέτας, καθώς και για παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας και θερμότητας. Μετά την εγκατάστασή του, η παραγωγική διάρκεια του switchgrass ξεπερνά τα δέκα χρόνια.

Στην παρούσα διατριβή διερευνήθηκε η προσαρμοστικότητα της καλλιέργειας του πολυετούς φυτού switchgrass (*Panicum virgatum* L., cv Alamo) στην Ελλάδα, υπό το καθεστώς μειωμένων εισροών. Η μελέτη εστιάζεται σε συστήματα χρήσης γης, καθώς η Θεσσαλία αποτελεί τη μεγαλύτερη πεδιάδα και το κέντρο της γεωργικής παραγωγής της χώρας. Πιο συγκεκριμένα, η εγκατάσταση σε δύο διαφορετικές περιοχές της Ανατολικής (Βελεστίνο) και της Δυτικής (Παλαμάς) Θεσσαλίας έδωσε τη δυνατότητα να μελετηθεί η προσαρμοστικότητα κάτω από διαφορετικές μικροκλιματικές και εδαφικές συνθήκες.

Το έδαφος στα πειράματα του Παλαμά είναι βαθύ, ασβεστούχο (pH = 8.3), αμμοπηλώδες έως πηλώδες (άμμος 37-45%, πηλός 51-43%, άργιλος 12%) και φτωχό σε οργανική

ουσία (περιεκτικότητα 0,9% σε προφίλ εδάφους βάθους 40 cm). Από την άλλη πλευρά, το έδαφος στο Βελεστίνο είναι ασβεστούχο (pH = 8.1-8.3), αργιλοπηλώδες έως πηλώδες (άμμος 19-21%, πηλός 39-41%, άργιλος 38-42%) και πλούσιο σε οργανική ουσία (με περιεκτικότητα 2,3-2,7% σε προφίλ εδάφους βάθους 40 cm). Το έδαφος στην περιοχή Παλαμά χαρακτηρίζεται από έναν αβαθή υπόγειο υδροφόρο ορίζοντα και έχει χαρακτηριστεί ως Aquic Xerofluent, ενώ το έδαφος στο Βελεστίνο ταξινομήθηκε ως Calcixerollic Xerochrept σύμφωνα με το USDA (1999).

Η καλλιέργεια του switchgrass μελετήθηκε υπό το καθεστώς μειωμένων εισροών και πιο συγκεκριμένα εφαρμόστηκαν δύο διαφορετικά επίπεδα άρδευσης (I1 – 0 mm: ξηρική καλλιέργεια, και I2 – 250 mm: περιορισμένη άρδευση) και 4 διαφορετικά επίπεδα αζωτούχου λίπανσης (N1: 0, N2: 8, N3: 16 και N4: 24 kg/στρ.). Μέσω των παραπάνω παραγόντων διερευνήθηκαν η αύξηση και η απόδοση της καλλιέργειας για την παραγωγή ξηρής βιομάζας τόσο για στερεά καύσιμα όσο και για παραγωγή ζωοτροφής για βοειδή. Επίσης, προσδιορίστηκε η πρόσληψη αζώτου-φωσφόρου-καλίου από την καλλιέργεια αναλόγως του συγκομιζόμενου σταδίου με βάση πάντοτε το επιθυμητό τελικό προϊόν (ζωτροφή ή στερεά καύσιμα). Στην περίπτωση των στερεών καυσίμων προσδιορίστηκε η θερμογόνος δύναμη και η περιεκτικότητα σε στάχτη της ξηρής βιομάζας σε διαφορετικά στάδια ανάπτυξης ώστε να προσδιοριστεί η καταλληλότερη εποχή συγκομιδής (των διαφορετικών μερών του φυτού και του τελικού συγκομισθέντος προϊόντος).

Προσδιορίστηκε η επίδραση της καλλιέργειας στη μεταβολή της οργανικής ουσίας και του οργανικού άνθρακα του εδάφους ενώ τέλος, πραγματοποιήθηκε οικονομική ανάλυση της καλλιέργειας για τις διαφορετικές χρήσεις της, υπό διαφορετικά συστήματα συγκομιδής και υπό διαφορετικά σενάρια. Εκτιμήθηκε η οικονομική αποδοτικότητα της καλλιέργειας για τον Έλληνα παραγωγό και η ανάλογη πρόταση για την ένταξη ή μη της καλλιέργειας σε μελλοντικά συστήματα αξιοποίησης γης αναλόγως της χρήσης της.

Πρωτοτυπία της παρούσας έρευνας αποτελεί η διερεύνηση της πορείας ανάπτυξης της καλλιέργειας του switchgrass όσον αφορά στην απόδοση υπό περιορισμένη άρδευση σε διαφορετικά επίπεδα αζώτου σε δύο τύπους εδαφών (ενός Aquic Xerofluent, και ενός Calcixerollic Xerochrept) στη Θεσσαλία (αντιπροσωπευτικότερα εδάφη της περιοχής αλλά και της Μεσογείου). Επίσης, διερευνήθηκε η πιθανή εδαφοβελτίωση, η επίδραση στη θερμογόνο δύναμη και η περιεκτικότητα σε στάχτη της συγκομισθείσας βιομάζας για

κάθε στάδιο ανάπτυξης. Πρωτοτυπία επιπλέον, αποτελεί η οικονομική μελέτη και ανάλυση της καλλιέργειας για τις ελληνικές συνθήκες και πιο συγκεκριμένα για τη Θεσσαλία..

Η διερεύνηση της βιβλιογραφίας έδειξε ότι, τα δεδομένα που αφορούν στην καλλιέργεια για την Ελλάδα και πιο συγκεκριμένα για το μικροκλίμα της Θεσσαλίας είναι ελλιπή. Επομένως, η διατριβή αυτή συνεισφέρει στην απόκτηση νέων στοιχείων απαραίτητων για την καλλιέργεια στις ελληνικές συνθήκες και ιδίως για μια παραγωγική ποικιλία πεδινών οικοτόπων, όπως η Alamo.

Για τους σκοπούς της έρευνας, εγκαταστάθηκαν δύο πειραματικοί αγροί στα δύο υπό μελέτη διαφορετικά εδαφο-κλιματικά περιβάλλοντα, την περίοδο 2009-2012. Το πειραματικό σχέδιο που εφαρμόστηκε ήταν των υποδιαιρεμένων τεμαχίων (split-plot design) 4x2x4, όπου ο κύριος παράγοντας ήταν η άρδευση (2 επίπεδα) και ο δευτερεύων η αζωτούχος λίπανση (4 επίπεδα), σε τέσσερις επαναλήψεις.

Τα αποτελέσματα έδειξαν ότι ο κύριος περιοριστικός παράγοντας της αύξησης και ανάπτυξης της καλλιέργειας είναι η άρδευση και όχι η N-ούχος λίπανση. Ακόμη και η περιορισμένη άρδευση (250 mm), παρέχει τη δυνατότητα αυξημένης παραγωγής σε περιοχές όπως το Βελεστίνο (xeric soil), η οποία είναι 40-45% χαμηλότερη της παραγωγής του Παλαμά (aquic soil). Αζωτούχος λίπανση 8-16 kg N/στρ. αποτελεί την απαιτούμενη λίπανση για περαιτέρω αύξηση της παραγωγής ενώ αύξηση της δόσης λίπανσης οδηγεί σε δυσμενή αποτελέσματα λόγω πλαγιάσματος των φυτών.

Το δυναμικό παραγωγής βιομάζας μπορεί να είναι 2,7-3,0 t/στρ. με διακυμάνσεις από έτος σε έτος. Η απόδοση αυτή είναι εφικτή μόνο υπό συμπληρωματική άρδευση (250 mm) και μόνο σε ύφυγρα εδάφη, τα οποία όμως μπορεί να αντιπροσωπεύουν μεγάλες περιοχές όπως στα κεντρικά πεδινά της Ελλάδος (πεδιάδα Καρδίτσας). Σε τέτοιου τύπου εδάφη, το switchgrass μπορεί να αυξηθεί και χωρίς άρδευση, σημειώνοντας μάλλον καλές αποδόσεις βιομάζας από 1,9 έως 2,4 t/στρ. Αντιθέτως, στα τυπικά ημίξηρα ή ξηρά εδάφη, απόδοση 1,4-1,5 t/στρ. μπορεί να επιτευχθεί μόνο με συμπληρωματική άρδευση. Επιπλέον, στη σύνθεση της βιομάζας βρέθηκε ότι οι βλαστοί αποτελούν το 70% (w/w) καθόλη τη διάρκεια ανάπτυξης του φυτού ανεξαρτήτως της περιοχής μελέτης.

Βρέθηκε ότι, υπάρχει σημαντική γραμμική συσχέτιση μεταξύ της πρόσληψης θρεπτικών και ειδικότερα για το N και το K και της απόδοσης σε βιομάζα του switchgrass με πολύ υψηλό συντελεστή συσχέτισης (R^2) και για τις δύο χρήσεις (παραγωγή ζωοτροφής ή στερεών βιοκαυσίμων). Στην περίπτωση της παραγωγής ζωοτροφής, το R^2 είναι 0,90 και 0,80, για το N και το K αντίστοιχα, υποδηλώνοντας μία Nitrogen Use Efficiency (NUE)= 144 kg kg⁻¹ και μία Potassium Use Efficiency (KUE) = 72 kg kg⁻¹. Από την άλλη πλευρά, στην περίπτωση της παραγωγής στερεών βιοκαυσίμων το R^2 είναι 0,84 και 0,90 για το N και το K αντίστοιχα, φανερώνοντας μία NUE = 240 kg kg⁻¹ και μία KUE = 160 kg kg⁻¹. Οι τιμές αυτές είναι αρκετά υψηλές σε σύγκριση με πολλές άλλες παραδοσιακές καλλιέργειες ή καλλιέργειες βιομάζας και συνεπώς, το switchgrass θα μπορούσε να δώσει αποδεκτές αποδόσεις βιομάζας ακόμη και σε υποβαθμισμένα εδάφη, χωρίς ή με ελάχιστη χρήση λιπασμάτων, δεδομένου ότι η διαθεσιμότητα του νερού δεν περιορίζεται.

Η βασική πρόσληψη N από την καλλιέργεια του switchgrass εξαρτάται από τον τύπο εδάφους. Στο έδαφος του Παλαμά (aquic), η βασική πρόσληψη κυμάνθηκε 4,5-6,5 και 6,1-8,6 kg N/στρ. για την παραγωγή ζωοτροφής και στερεών καυσίμων αντίστοιχα, ανεξαρτήτως της μεταχείρισης της άρδευσης. Στο ξηρό έδαφος (Βελεστίνο), η βασική πρόσληψη N ήταν περί τα 4 kg N/στρ. και για τα δύο επίπεδα άρδευσης για την παραγωγή ζωοτροφής, ενώ για την παραγωγή στερεών καυσίμων η τιμή αυτή μεταβλήθηκε σε 6 kg N/στρ. στην περίπτωση της αρδευόμενης καλλιέργειας. Όπως η βασική πρόσληψη έτσι και το κλάσμα ανάκτησης N (Recovery Fraction) επηρεάζεται πολύ από τον τύπο του εδάφους αλλά και τη μεταχείριση της άρδευσης. Στο ξηρό έδαφος (Βελεστίνο) το κλάσμα ανάκτησης στην περίπτωση της παραγωγής ζωοτροφής ήταν σχεδόν μηδενικό, ανεξαρτήτως επιπέδου άρδευσης, ενώ στην περίπτωση παραγωγής στερεών καυσίμων, μόνο στην αρδευόμενη καλλιέργεια έφτασε την τιμή του 16%, επισημαίνοντας τις μάταιες προσπάθειες της προσθήκης οποιασδήποτε ποσότητας N-ούχου λιπάσματος υπό ξηρικές συνθήκες. Αντιθέτως, στο (aquic) έδαφος του Παλαμά με μεγαλύτερη ικανότητα συγκράτησης υγρασίας (water holding capacity) το κλάσμα ανάκτησης (RF) ήταν σημαντικά μεγαλύτερο, φτάνοντας το 30% σε όλες τις περιπτώσεις.

Βρέθηκε ότι, η μέση θερμοδική αξία της καλλιέργειας με ποσοστό υγρασίας 8% είναι ίση με 17,26 MJ/kg (Παλαμάς) και 16,95 MJ/kg (Βελεστίνο), ενώ οι τιμές αυτές ήταν

παρόμοιες καθόλη τη διάρκεια αύξησης-ανάπτυξης του φυτού (αρχικά στάδια ανάπτυξης: 16,9 – 17 MJ/kg). Επιπλέον, η μέση περιεκτικότητα σε στάχτη της καλλιέργειας μειωνόταν με την ωρίμανση του φυτού. Συγκεκριμένα, κατά τα πρώτα στάδια ανάπτυξης η μέση περιεκτικότητα σε στάχτη ήταν περί το 5,25% ενώ κατά το στάδιο της ωρίμανσης η μέση περιεκτικότητα σε στάχτη μειώθηκε στο 4,36%.

Αντιστοιχίζοντας τη θερμογόνο δύναμη και την περιεκτικότητα σε στάχτη με τη στρεμματική απόδοση της καλλιέργειας του switchgrass, φαίνεται ότι από 1 στρέμμα switchgrass, στην περίπτωση του ύφυγρου εδάφους (Παλαμάς) παράγεται 1 ΤΠΠ (τόνος ισοδύναμου πετρελαίου) και 100 kg στάχτης, ενώ στο ξηρό έδαφος (Βελεστίνο) παράγεται 0,55 ΤΠΠ και 60 kg στάχτης.

Τέλος, βρέθηκε ότι η χρήση του switchgrass ως ζωοτροφή μπορεί να επιφέρει υψηλό εισόδημα στον παραγωγό (περί τα 170 €/στρ., καθαρό κέρδος), ενώ στην περίπτωση που θα καλλιεργηθεί για την παραγωγή στερεών καυσίμων, για να σημειωθεί κέρδος θα πρέπει να επέλθει κάθετη παραγωγή και επομένως ο γεωργός να είναι παραγωγός-μεταποιητής στερεών καυσίμων ώστε να κατορθώσει να αυξήσει το εισόδημά του στα 200 €/στρ. (καθαρό κέρδος).

Φαίνεται λοιπόν ότι, το switchgrass δεν απαιτεί υψηλές ποσότητες Ν-ούχου λίπανσης για να αυξήσει την παραγωγικότητά του και ότι η υψηλότερη παραγωγή μπορεί να επιτευχθεί σε περιοχές με υψηλό υδροφόρο ορίζοντα. Επομένως, η ένταξη της καλλιέργειας του switchgrass στον γεωργικό σχεδιασμό, θα οδηγήσει σε ικανοποιητικό αγροτικό εισόδημα, καθώς και σε περιβαλλοντική προστασία του αγροτικού χώρου λόγω των χαμηλών απαιτήσεων σε εισροές. Το switchgrass μπορεί να προταθεί ανεπιφύλακτα στο θεσσαλικό κάμπο, σε περιοχές με υψηλή εδαφική υγρασία, ή δυνατότητα άρδευσης, ή περιοχές υψηλών βροχοπτώσεων.

ΕΥΧΑΡΙΣΤΙΕΣ

Η παρούσα διατριβή εκπονήθηκε στο Εργαστήριο Γεωργίας και Εφαρμοσμένης Φυσιολογίας Φυτών. Κατά την πενταετή ερευνητική μου διαδρομή πολλοί ήταν αυτοί που στάθηκαν πολύτιμοι αρωγοί μου.

Ο Καθηγητής μου Νίκος Δαναλάτος, όλα τα χρόνια της συνεργασίας μας, από την εκπόνηση της πτυχιακής μου μελέτης (2002) έως και σήμερα, μου πρόσφερε την πείρα και τη γνώση από την πολυετή πρωτοποριακή ερευνητική του δραστηριότητα σε θέματα γεωργίας, αλλά και την ευκαιρία αναλαμβάνοντας την επίβλεψη της εργασίας. Με επιμονή και υπομονή, κρατώντας πάντοτε ψηλά τον πήχυ των επιστημονικών απαιτήσεων που επέβαλε η διεκπεραίωσή της συνέβαλε καθοριστικά στην ολοκλήρωσή της.

Θα ήθελα επίσης να ευχαριστήσω τη Γενική Συνέλευση του Τμήματος Γεωπονίας Φυτικής Παραγωγής και Αγροτικού Περιβάλλοντος που ενέκρινε την εκπόνηση της διατριβής.

Ευχαριστίες οφείλω στην Καθηγήτρια κ. Μαρία Σακελλαρίου-Μακραντωνάκη και τον Ερευνητή του Ι.ΧΤ.Ε.Α. κ. Θεόδωρο Καρυώτη για την πολύτιμη συνδρομή, το ενδιαφέρον, την υποστήριξη, την καθοδήγηση και τις υποδείξεις τους καθόλη τη διάρκεια εκπόνησης της διατριβής.

Επί πλέον, ευχαριστώ τα μέλη της Εξεταστικής Επιτροπής, τον Καθηγητή κ. Δημήτρη Γούσιο, τον Καθηγητή κ. Σπυρίδωνα Κουτρούμπα, τον Αν. Καθηγητή κ. Δημήτρη Μπιλάλη και το Λέκτορα κ. Γεώργιο Βλόντζο για την υποστήριξη, τις υποδείξεις και το χρόνο που διέθεσαν για τη διόρθωση της παρούσας διατριβής.

Θα ήθελα επίσης, να εκφράσω τις ευχαριστίες μου στην ομάδα του Εργαστηρίου Γεωργίας και Εφαρμοσμένης Φυσιολογίας Φυτών: τον Δρα κ. Δημήτρη Μπαρτζιάλη, τη Δρα κ. Ελπινίκη Σκουφογιάννη και τον υποψήφιο διδάκτορα κ. Ιππόλυτο Γκιντσιούδη για τη συμπαράσταση και συνεργασία τους καθόλη τη διάρκεια των πειραμάτων μου.

Τέλος, ευχαριστώ την οικογένειά μου, τους γονείς μου, τον αδερφό μου και τους παππούδες μου για τη συμπαράσταση τόσο την οικονομική αλλά πάνω απ' όλα την ηθική και την κατανόηση καθόλη τη διάρκεια της διεξαγωγής της διατριβής.

Ας μου επιτραπεί να κλείσω τις ευχαριστίες, με μία φράση που έχω κορνιζαρισμένη στον τοίχο του δωματίου μου ώστε να μου υπενθυμίζει καθημερινά σε όλη τη διαδρομή του ταξιδιού που αποφάσισα να ακολουθήσω πως...

«Και αν είναι η μέρα βροχερή, φέρνει πιο πλούσιο φως» Άγγελος Σικελιανός

Κυριάκος Δ. Γιαννούλης

Βόλος, 2014

ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ

ΠΕΡΙΛΗΨΗ	iii
ΕΥΧΑΡΙΣΤΙΕΣ	viii
ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ.....	ix
ΚΑΤΑΛΟΓΟΣ ΠΙΝΑΚΩΝ	xiv
ΚΑΤΑΛΟΓΟΣ ΣΧΗΜΑΤΩΝ	xix
ΕΙΣΑΓΩΓΗ	1
1. ΕΙΣΑΓΩΓΗ	2
1.1 Βιομάζα	2
1.1.1 Η βιομάζα και η χρήση της για παραγωγή ενέργειας	2
1.1.2 Μέθοδοι επεξεργασίας της βιομάζας.....	3
1.1.3 Είδη Βιοκαυσίμων	4
1.1.4 Πλεονεκτήματα και μειονεκτήματα της ενεργειακής αξιοποίησης της βιομάζας.....	5
1.1.5 Υφιστάμενη κατάσταση	6
1.2 Ενεργειακές καλλιέργειες	7
1.2.1 Ορισμός και κατηγορίες.....	7
1.2.2 Κατηγορίες των ενεργειακών καλλιεργειών.....	7
1.3. Switchgrass “ <i>Panicum virgatum</i> L.”	9
1.3.1 Ιστορία του Switchgrass	9
1.3.2 Προέλευση του Switchgrass και κατανομή του στη Βόρεια Αμερική	9
1.3.3 Το Switchgrass ως ενεργειακή καλλιέργεια	9
1.3.4 Το Switchgrass στην Ευρώπη	10
1.3.5 Περιγραφή.....	10
1.3.6 Η εξέλιξη του switchgrass	11
1.3.7 Βοτανική ταξινόμηση	12
1.3.8 Οικότυποι.....	12
1.3.9 Διασπορά του Switchgrass.....	13
1.3.10 Ποικιλίες	13
1.3.11 Μορφολογικά χαρακτηριστικά	14
1.3.12 Φαινολογικά στάδια και περιοριστικοί παράγοντες ανάπτυξης	15
1.3.13 Υπόγειο τμήμα	16
1.3.14 Καλλιεργητικές απαιτήσεις.....	17
1.3.14.1 Έδαφος.....	17

1.3.14.2 Γονιμότητα εδάφους	18
1.3.14.3 Λίπανση	18
1.3.14.3.1 Άζωτο.....	19
1.3.14.3.2 Φώσφορος και Κάλιο.....	20
1.3.14.4 Απαιτήσεις σε νερό.....	20
1.3.14.5 Ζιζάνια	21
1.3.14.6 Πτηνά	23
1.3.15 Εγκατάσταση της καλλιέργειας του switchgrass	23
1.3.15.1 Προετοιμασία σποροκλίνης	23
1.3.15.2 Σπορά	24
1.3.15.3 Ποσότητα σπόρου	25
1.3.15.4 Λήθαργος του σπόρου.....	25
1.3.15.5 Αποστάσεις σποράς	26
1.3.16 Συγκομιδή	26
1.3.17 Αποθήκευση.....	29
1.4 Χρήσεις του switchgrass	31
1.4.1 Ζωοτροφή.....	32
1.4.2 Ενέργεια από βιομάζα κεχριού	32
1.4.2.1 Παραγωγή βιοαιθανόλης.....	33
1.4.2.2 Καύση	34
1.4.3 Παραγωγή πρωτεϊνών	35
1.4.4 Έλεγχος διάβρωσης.....	35
1.4.5 Βιοδιασπώμενα πλαστικά	36
1.4.6 Χαρτοπολτός.....	36
1.4.7 Διατήρηση βιοποικιλότητας.....	36
1.5 Περιβαλλοντικά οφέλη	37
1.5.1 Μετακίνηση θρεπτικών στοιχείων	39
1.5.2 Άζωτο.....	39
1.5.3 Εδαφικός άνθρακας.....	40
1.6 Οικονομική ανάλυση	42
1.6.1 Έξοδα καλλιέργειας	43
1.7 Σκοπός της εργασίας.....	44
2. ΥΛΙΚΑ ΚΑΙ ΜΕΘΟΔΟΙ.....	46
2.1 Πειράματα αγρού	46

2.1.1	Επιλογή πειραματικών αγρών.....	46
2.1.2	Πειραματικό σχέδιο	49
2.2	Πειραματικές εργασίες υπαίθρου.....	52
2.2.1	Προετοιμασία αγρών	52
2.2.2	Εγκατάσταση καλλιεργειών – Καλλιεργητικές φροντίδες	52
2.2.2.1	Σπορά	52
2.2.2.2	Λίπανση	54
2.2.2.3	Έλεγχος ζιζανίων, καταπολέμηση εχθρών.....	54
2.2.2.4	Άρδευση.....	55
2.2.2.5	Συγκομιδή	56
2.3	Μετρήσεις	57
2.3.1.	Μετρήσεις αύξησης - ανάπτυξης	57
2.3.2	Φαινολογία.....	59
2.3.3	Αρχιτεκτονική της βλάστησης	59
2.3.3.1	Ύψος	59
2.3.3.2	Δείκτης φυλλικής επιφάνειας (LAI – Leaf area index)	60
2.3.3.3	Ειδική φυλλική επιφάνεια (SLA-Specific leaf area)	61
2.3.4	Χαρακτηριστικά του εδάφους.....	62
2.3.4.1	Φυσικές ιδιότητες του εδάφους.....	62
2.3.4.2	Χημικές ιδιότητες του εδάφους	64
2.3.5	Φυλλοδιαγνωστική.....	67
2.4	Μετεωρολογικά δεδομένα και στατιστική ανάλυση.....	69
2.5	Θερμογόνος Δύναμη και περιεκτικότητα σε στάχτη	71
2.6	Δεδομένα οικονομικής ανάλυσης	74
2.7	Πειράματα σε γλαστράκια	77
2.7.1	Έλεγχος της ανάπτυξης του υπέργειου αλλά και του υπόγειου τμήματος του φυτού σε συγκεκριμένες συνθήκες και διαφορετικά επίπεδα άρδευσης	77
2.7.2	Έλεγχος χρήσης της καλλιέργειας του Switchgrass ως εδαφοβελτιωτικό	78
3.	ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ ΚΑΙ ΣΥΖΗΤΗΣΗ	81
3.1	Κλιματικές συνθήκες	81
3.2	Αύξηση ανάπτυξη	85
3.2.1	Ύψος φυτού	85
3.2.2	Χαρακτηριστικά φυλλοστοιβάδας	90
3.2.2.1	Δείκτης Φυλλικής Επιφάνειας (LAI – Leaf Area Index).....	90

3.2.2.2 Εδική Φυλλική Επιφάνεια (SLA – Specific Leaf Area)	94
3.2.3 Χλωρό Βάρος.....	97
3.2.4 Ξηρό Βάρος.....	101
3.2.5 Μεταβολή του βάρους των φυτικών οργάνων.....	108
3.2.6 Επίδραση της άρδευσης στην αύξηση του ύψους των φυτών σε πείραμα κλειστού θαλάμου με γλαστράκια.....	115
3.3 Χρονική κατανομή της πρόσληψης του αζώτου, του φωσφόρου και του καλίου από την καλλιέργεια του switchgrass	118
3.3.1 Πρόσληψη και Απομάκρυνση Αζώτου (N)	118
3.3.2 Σχέση παραγωγής βιομάζας και Νούχου λίπανσης	123
3.3.3 Σχέση Νούχου λίπανσης – πρόσληψης N, βασικής πρόσληψης και ποσοστού ανάκτησης	125
3.3.4 Πρόσληψη και Απομάκρυνση Φωσφόρου.....	131
3.3.5 Πρόσληψη και Απομάκρυνση Καλίου	135
3.4 Χημικές ιδιότητες των εδαφών	138
3.4.1 Ολικό άζωτο και οργανικός C	139
3.4.2 Οργανική ουσία.....	144
3.4.3 Εκχυλίσσιμος φώσφορος και ανταλλάξιμο κάλιο	145
3.5 Η καλλιέργεια του switchgrass ως εδαφοβελτιωτικό	148
3.6 Θερμογόνος Δύναμη και % Περιεκτικότητα Στάχτης	152
3.6.1 Θερμογόνος Δύναμη.....	152
3.6.2 Περιεκτικότητα σε στάχτη	156
3.6.3 Απόδοση Θερμογόνου και Στάχτης ανά καλλιεργήσιμο στρέμμα switchgrass.....	161
3.7 Οικονομική μελέτη	163
3.7.1 Οικονομικότητα της καλλιέργειας του switchgrass για την παραγωγή ζωοτροφής	164
3.7.1.1 Οικονομικότητα του switchgrass ως νέα εγκατάσταση - αγροτική επιχείρηση	164
3.7.1.2 Οικονομικότητα του switchgrass για αντικατάσταση παραδοσιακών καλλιεργειών	172
3.7.2 Οικονομικότητα της καλλιέργειας του switchgrass για την παραγωγή στερεών καυσίμων (πελλέτας)	174
3.7.2.1 Οικονομικότητα του switchgrass ως νέα εγκατάσταση - αγροτική επιχείρηση	174
3.7.2.2 Οικονομικότητα του switchgrass για αντικατάσταση παραδοσιακών καλλιεργειών	181
3.7.2.3 Οικονομικότητα του switchgrass στην κατηγορία «καλλιεργώ το καύσιμό μου», δηλαδή παραγωγός-μεταποιητής	182
4. ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ	185

ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ	190
ABSTRACT.....	207

ΚΑΤΑΛΟΓΟΣ ΠΙΝΑΚΩΝ

Πίνακας 2.1	Φυσικές και χημικές ιδιότητες των υπό μελέτη εδαφών στους πειραματικούς αγρούς (Μάρτιος 2009 και Απρίλιος 2010 για Παλαμά και Βελεστίνο αντίστοιχα)	48
Πίνακας 2.2	Ημερομηνίες σποράς, φυτρώματος, λιπάνσεων, και άνθησης για το switchgrass στις δύο υπό μελέτη περιοχές τα έτη 2009-2012	54
Πίνακας 2.3	Ημερομηνίες και ποσότητες άρδευσης (mm) για το switchgrass στις δύο υπό μελέτη περιοχές την περίοδο 2009-2012	55
Πίνακας 2.4	Ημερομηνίες δειγματοληψίας (J.D.=Ιουλιανές ημέρες, G.D.D=βαθμο-ημέρες – °C-d, D.A.E=ημέρες μετά το φύτευμα) και για τις δύο περιοχές μελέτης	58
Πίνακας 2.5	Κόστη προετοιμασίας αγρού	75
Πίνακας 2.6	Σημαντικές πειραματικές ημερομηνίες κατά τα έτη 2010-2011	79
Πίνακας 3.2.3	Ύψος φυτών (m) για 2 επίπεδα άρδευσης και 4 επίπεδα N-χου λίπανσης στους πειραματικούς αγρούς Παλαμά και Βελεστίνου (2010, 2011, 2012), (I ₁ : 0 mm, I ₂ : 250 mm, N ₁ :0, N ₂ :8, N ₃ :16 και N ₄ :24 kg N/στρ.)	88
Πίνακας 3.2.2	Ο δείκτης Φυλλικής Επιφάνειας (LAI) των φυτών (m ² m ⁻²) για 2 επίπεδα άρδευσης και 4 επίπεδα N-χου λίπανσης στους πειραματικούς αγρούς Παλαμά και Βελεστίνου (2010, 2011, 12), (I ₁ : 0 mm, I ₂ : 250 mm, N ₁ :0, N ₂ :8, N ₃ :16 και N ₄ :24 kg N/στρ.)	93
Πίνακας 3.2.3	Ειδική Φυλλική Επιφάνεια των φυτών (m ² /kg) για 2 επίπεδα άρδευσης και 4 επίπεδα N-χου λίπανσης στους πειραματικούς αγρούς Παλαμά και Βελεστίνου (2010, 2011, 12), (I ₁ : 0 mm, I ₂ : 250 mm, N ₁ :0, N ₂ :8, N ₃ :16 και N ₄ :24 kg N/στρ.)	96
Πίνακας 3.2.4	Χλωρά Βάρη των φυτών (t/στρ.) για 2 επίπεδα άρδευσης και 4 επίπεδα N-χου λίπανσης στους πειραματικούς αγρούς Παλαμά και Βελεστίνου (2010, 2011, 12), (I ₁ : 0 mm, I ₂ : 250 mm, N ₁ :0, N ₂ :8, N ₃ :16 και N ₄ :24 kg N/στρ.)	99
Πίνακας 3.2.5	Ξηρό Βάρος των φυτών (t/στρ.) για 2 επίπεδα άρδευσης και 4 επίπεδα N-χου λίπανσης στους πειραματικούς αγρούς Παλαμά και Βελεστίνου (2010, 2011, 12). [I ₁ : 0 mm, I ₂ : 250 mm, N ₁ :0, N ₂ :8, N ₃ :16 και N ₄ :24 kg N/στρ.)	106
Πίνακας 3.3.1	Περιεκτικότητα % N στη ξηρή βιομάζα των φυτικών οργάνων του switchgrass για τα 2 επίπεδα άρδευσης (I ₁ , I ₂) και τα 4 επίπεδα N-ούχου λιπάνσεως (N ₁ , N ₂ , N ₃ , N ₄) σε δύο διαφορετικά στάδια	122

	ανάπτυξης (1 ^η Κοπή, Συγκομιδή), στις 2 περιοχές μελέτης (Παλαμάς, Βελεστίνο), (I ₁ : 0 mm, I ₂ : 250 mm, N ₁ :0, N ₂ :8, N ₃ :16 και N ₄ :24 kg N/στρ.)	
Πίνακας 3.3.2	Περιεκτικότητα % P στη ξηρή βιομάζα των οργάνων των φυτών 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: ζωοτροφή, Συγκομιδή: στερά καύσιμα), στις 2 περιοχές μελέτης (Παλαμάς, Βελεστίνο). [I ₁ : 0 mm, I ₂ : 250 mm, N ₁ :0, N ₂ :8, N ₃ :16 και N ₄ :24 kg N/στρ.)	133
Πίνακας 3.3.3	Περιεκτικότητα % K στη ξηρή βιομάζα των οργάνων των φυτών 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), στις 2 περιοχές μελέτης (Παλαμάς, Βελεστίνο). [I ₁ : 0 mm, I ₂ : 250 mm, N ₁ :0, N ₂ :8, N ₃ :16 και N ₄ :24 kg N/στρ.)	137
Πίνακας 3.4.1	Αποτελέσματα μέσω όρων των παραμέτρων του ολικού N (%), του οργ. C (%), της οργ. ουσίας (O.Y., %), του P (mg/kg) και του K+ (mg/kg), πριν την εγκατάσταση της καλλιέργειας του switchgrass και των τελικών συνθηκών (μετά το πέρας των πειραμάτων; 3-έτη) για τα 2 επίπεδα άρδευσης (I1, I2) και τα 4 επίπεδα N-ούχου λιπάνσεως (N1, N2, N3, N4), για την περιοχή του Βελεστίνου	138
Πίνακας 3.4.2	Αποτελέσματα μέσω όρων των παραμέτρων του ολικού N (%), του οργ. C (%), της οργ. ουσίας (O.Y. %), του P (mg/kg) και του K+ (mg/kg), πριν την εγκατάσταση της καλλιέργειας του switchgrass και των τελικών συνθηκών (μετά το πέρας των πειραμάτων; 4-έτη) για τα 2 επίπεδα άρδευσης (I1, I2) και τα 4 επίπεδα N-ούχου λιπάνσεως (N1, N2, N3, N4), για την περιοχή του Παλαμά	139
Πίνακας 3.4.3	Ολικό άζωτο N (%) του εδάφους (μετά το πέρας των πειραμάτων;) για 2 επίπεδα άρδευσης και 4 επίπεδα N-ούχου λίπανσης στους πειραματικούς αγρούς Παλαμά και Βελεστίνο σε 2 στρώματα (0-10 και 10-40 cm). [I ₁ : 0 mm, I ₂ : 250 mm, N ₁ :0, N ₂ :8, N ₃ :16 και N ₄ :24 kg N/στρ.)	140
Πίνακας 3.4.4	Οργανικός άνθρακας C (%) του εδάφους (μετά το πέρας των πειραμάτων) για 2 επίπεδα άρδευσης και 4 επίπεδα N-ούχου λίπανσης στους πειραματικούς αγρούς Παλαμά και Βελεστίνο σε 2	141

	στρώματα (0-10 και 10-40 cm). [I ₁ : 0 mm, I ₂ : 250 mm, N ₁ :0, N ₂ :8, N ₃ :16 και N ₄ :24 kg N/στρ.)	
Πίνακας 3.4.5	Οργανική ουσία (O.Y.) (%) του εδάφους (μετά το πέρας των πειραμάτων;) για 2 επίπεδα άρδευσης και 4 επίπεδα N-ούχου λίπανσης στους πειραματικούς αγρούς Παλαμά και Βελεστίνου σε 2 στρώματα (0-10 και 10-40 cm). [I ₁ : 0 mm, I ₂ : 250 mm, N ₁ :0, N ₂ :8, N ₃ :16 και N ₄ :24 kg N/στρ.)	144
Πίνακας 3.4.6	Φώσφορος P (mg/Kg) του εδάφους (μετά το πέρας των πειραμάτων) για 2 επίπεδα άρδευσης και 4 επίπεδα N-ούχου λίπανσης στους πειραματικούς αγρούς Παλαμά και Βελεστίνου, σε 2 στρώματα (0-10 και 10-40 cm). [I ₁ : 0 mm, I ₂ : 250 mm, N ₁ :0, N ₂ :8, N ₃ :16 και N ₄ :24 kg N/στρ.)	146
Πίνακας 3.4.7	Κάλιο K (mg/Kg) του εδάφους (μετά το πέρας των πειραμάτων) για 2 επίπεδα άρδευσης και 4 επίπεδα N-ούχου λίπανσης στους πειραματικούς αγρούς Παλαμά και Βελεστίνου, σε 2 στρώματα (0-10 και 10-40 cm). [I ₁ : 0 mm, I ₂ : 250 mm, N ₁ :0, N ₂ :8, N ₃ :16 και N ₄ :24 kg N/στρ.)	147
Πίνακας 3.6.1	Θερμογόνος δύναμη (J/gr) των οργάνων του φυτού της καλλιέργειας του switchgrass για 2 στάδια ανάπτυξης (1 ^η Κοπή, Συγκομιδή), για 2 επίπεδα άρδευσης και 4 επίπεδα N-ούχου λίπανσης στους πειραματικούς αγρούς Παλαμά και Βελεστίνου. [I ₁ : 0 mm, I ₂ : 250 mm, N ₁ :0, N ₂ :8, N ₃ :16 και N ₄ :24 kg N/στρ.)	153
Πίνακας 3.6.2	Θερμογόνος δύναμη (MJ/kg) των φυτών της καλλιέργειας του switchgrass κατά τη συγκομιδή για 2 επίπεδα άρδευσης και 4 επίπεδα N-ούχου λίπανσης στις πειραματικές περιοχές Παλαμά και Βελεστίνου κατά την 1 ^η κοπή και τη συγκομιδή. [I ₁ : 0 mm, I ₂ : 250 mm, N ₁ :0, N ₂ :8, N ₃ :16 και N ₄ :24 kg N/στρ.)	155
Πίνακας 3.6.3	Περιεκτικότητα % στάχτης των επιμέρους φυτικών μερών της καλλιέργειας του switchgrass για 2 στάδια ανάπτυξης (1 ^η Κοπή, Συγκομιδή), 2 επίπεδα άρδευσης (I ₁ , I ₂) και 4 επίπεδα N-ούχου λιπάνσεως (N ₁ , N ₂ , N ₃ , N ₄) σε 2 περιοχές (Παλαμάς, Βελεστίνου). [I ₁ : 0 mm, I ₂ : 250 mm, N ₁ :0, N ₂ :8, N ₃ :16 και N ₄ :24 kg N/στρ.)	158
Πίνακας 3.6.4	Περιεκτικότητα στάχτης (%) των φυτών της καλλιέργειας του switchgrass, για 2 επίπεδα άρδευσης (I ₁ , I ₂) και 4 επίπεδα N-ούχου λιπάνσεως (N ₁ , N ₂ , N ₃ , N ₄) σε 2 περιοχές (Παλαμάς, Βελεστίνου), κατά την 1 ^η κοπή και τη συγκομιδή. [I ₁ : 0 mm, I ₂ : 250 mm, N ₁ :0,	159

	N ₂ :8, N ₃ :16 και N ₄ :24 kg N/στρ.)	
Πίνακας 3.6.5	Θερμογόνος δύναμη (J/g) και περιεκτικότητα % σε στάχτη των επιμέρους φυτικών μερών της καλλιέργειας του switchgrass για 3 διαφορετικές χρονικές στιγμές συγκομιδής (1 ^η Κοπή, Συγκομιδή, και Ανοιξιάτικη κοπή μετά από χειμερινές χαμηλές θερμοκρασίες), 2 επίπεδα άρδευσης (I1, I2) και 2 επίπεδα N-ούχου λιπάνσεως (N1, N4) σε 2 περιοχές (Παλαμάς, Βελεστίνο)	160
Πίνακας 3.6.6	Θερμογόνος δύναμη (GJ/στρ.) και στάχτη (kg/στρ.) που παράγονται από την καλλιέργεια του switchgrass σε 2 στάδια ανάπτυξης (1 ^η Κοπή, Συγκομιδή), 2 επίπεδα άρδευσης (I1, I2) και 4 επίπεδα N-ούχου λιπάνσεως (N1, N2, N3, N4) σε 2 περιοχές (Παλαμάς, Βελεστίνο)	161
Πίνακας 3.7.1	Έξοδα της καλλιέργειας του switchgrass για ζωοτροφή	164
Πίνακας 3.7.2	Επίδραση των επιπέδων άρδευσης και N-ούχου λιπάνσεως στην απόδοση του switchgrass (t/στρ.) για την παραγωγή ζωοτροφών (ενσίρωμα)	165
Πίνακας 3.7.3	Επίδραση των επιπέδων άρδευσης και N-ούχου λιπάνσεως στην απόδοση του switchgrass (t/στρ.) για την παραγωγή ζωοτροφών (δέματα σανού)	165
Πίνακας 3.7.4	Διακύμανση του κόστους καλλιέργειας (€/στρ.) του switchgrass για παραγωγή ζωοτροφής λόγω της περιοχής, των μεταχειρήσεων και της ετήσιας απόδοσης	166
Πίνακας 3.7.5	Περιγραφικά στατιστικά	169
Πίνακας 3.7.6	Αποδοτικότητα μέσω για τα διαφορετικά επίπεδα N-ούχου λιπάνσεως	170
Πίνακας 3.7.7	Αποδοτικότητα μέσω για τα διαφορετικά επίπεδα N-ούχου λιπάνσεως	170
Πίνακας 3.7.8	Έξοδα (€/στρ.) της καλλιέργειας του switchgrass για πελλέτα	174
Πίνακας 3.7.9	Επίδραση των επιπέδων άρδευσης και N-ούχου λιπάνσεως στην απόδοση του switchgrass (t/στρ.) για την παραγωγή πελλέτας	175
Πίνακας 3.7.10	Διακύμανση του κόστους καλλιέργειας (€/στρ.) του switchgrass για παραγωγή στερεών καυσίμων λόγω της περιοχής, των μεταχειρήσεων και της ετήσιας απόδοσης	176
Πίνακας 3.7.11	Περιγραφικά στατιστικά	179
Πίνακας 3.7.12	Αποδοτικότητα μέσω για τα διαφορετικά επίπεδα N-ούχου λιπάνσεως	180

Πίνακας 3.7.13	Αποδοτικότητα μέσων για τα διαφορετικά επίπεδα Ν-ούχου λιπάνσεως	180
-----------------------	---	-----

ΚΑΤΑΛΟΓΟΣ ΣΧΗΜΑΤΩΝ

Σχήμα 2.1	Πειραματικό σχέδιο που εφαρμόστηκε για τη μελέτη της καλλιέργειας του Switchgrass στην περιοχή του Παλαμά τα έτη 2009-2012	50
Σχήμα 2.2	Πειραματικό σχέδιο που εφαρμόστηκε για τη μελέτη της καλλιέργειας του Switchgrass στην περιοχή του Βελεστίνου τα έτη 2010-2012	51
Σχήμα 3.1.1	Μέση θερμοκρασία αέρα και βροχόπτωση ανά 10-ήμερο τα έτη 2010, 2011 και 2012 στον Παλαμά Καρδίτσας	81
Σχήμα 3.1.2	Μέση θερμοκρασία αέρα και βροχόπτωση ανά 10-ήμερο τα έτη 2010, 2011 και 2012 στο Βελεστίνο (Μαγνησίας)	82
Σχήμα 3.1.3	Ημερήσια (αριστερά) και συνολική (δεξιά) εξατμισοδιαπνοή τα έτη 2010, 2011 και 2012 στον Παλαμά (Καρδίτσας)	83
Σχήμα 3.1.4	Ημερήσια (αριστερά) και συνολική (δεξιά) εξατμισοδιαπνοή τα έτη 2010, 2011 και 2012 στο Βελεστίνο (Μαγνησίας)	84
Σχήμα 3.2.1	Η μεταβολή του ύψους των φυτών του switchgrass στο Βελεστίνο για τα 2 διαφορετικά επίπεδα άρδευσης (αριστερά διαγράμματα) και τα 4 διαφορεικά επίπεδα N-χου λίπανσης (δεξιά διαγράμματα) ως προς τις θερμοημέρες (Growing Degree Days – °C-d)	86
Σχήμα 3.2.2	Η μεταβολή του ύψους των φυτών του switchgrass στον Παλαμά για τα 2 διαφορετικά επίπεδα άρδευσης (αριστερά διαγράμματα) και τα 4 διαφορεικά επίπεδα N-χου λίπανσης (δεξιά διαγράμματα) ως προς τις θερμοημέρες (Growing Degree Days – °C-d)	87
Σχήμα 3.2.3	Ύψη των φυτών του switchgrass στο Βελεστίνο και στον Παλαμά κατά την περίοδο της συγκομιδής για τα έτη 2010, 2011, 2012	89
Σχήμα 3.2.4	Η μεταβολή του δείκτη φυλλικής επιφάνειας των φυτών του switchgrass στο Βελεστίνο για τα 2 διαφορετικά επίπεδα άρδευσης (αριστερά διαγράμματα) και τα 4 διαφορεικά επίπεδα N-χου λίπανσης (δεξιά διαγράμματα) ως προς τις θερμοημέρες (Growing Degree Days – °C-d)	91
Σχήμα 3.2.5	Η μεταβολή του δείκτη φυλλικής επιφάνειας των φυτών του switchgrass στον Παλαμά για τα 2 διαφορετικά επίπεδα άρδευσης (αριστερά) και τα 4 διαφορεικά επίπεδα N-χου	92

	λίπανσης (δεξιά) ως προς τις θερμοημέρες (Growing Degree Days – °C-d)	
Σχήμα 3.2.6	Η μεταβολή του χλωρού βάρους των φυτών του switchgrass στο Βελεστίνο για τα 2 διαφορετικά επίπεδα άρδευσης (αριστερά διαγράμματα) και τα 4 διαφορεικά επίπεδα N-χου λίπανσης (δεξιά διαγράμματα) ως προς τις θερμοημέρες (Growing Degree Days – °C-d)	94
Σχήμα 3.2.7	Η μεταβολή του ύψους των φυτών του switchgrass στον Παλαμά για τα 2 διαφορετικά επίπεδα άρδευσης (αριστερά) και τα 4 διαφορεικά επίπεδα N-χου λίπανσης (δεξιά) ως προς τις θερμοημέρες (Growing Degree Days – °C-d)	95
Σχήμα 3.2.8	Η μεταβολή του χλωρού βάρους των φυτών του switchgrass στο Βελεστίνο για τα 2 διαφορετικά επίπεδα άρδευσης (αριστερά διαγράμματα) και τα 4 διαφορεικά επίπεδα N-χου λίπανσης (δεξιά διαγράμματα) ως προς τις θερμοημέρες (Growing Degree Days – °C-d)	97
Σχήμα 3.2.9	Η μεταβολή του χλωρού βάρους των φυτών του switchgrass στον Παλαμά για τα 2 διαφορετικά επίπεδα άρδευσης (αριστερά) και τα 4 διαφορεικά επίπεδα N-χου λίπανσης (δεξιά) ως προς τις θερμοημέρες (Growing Degree Days – °C-d)	98
Σχήμα 3.2.10	Χλωρό Βάρος των φυτών του switchgrass στο Βελεστίνο και στον Παλαμά κατά την περίοδο της συγκομιδής για τα έτη 2010, 2011, 2012	100
Σχήμα 3.2.11	Η μεταβολή του ξηρού βάρους των φυτών του switchgrass στο Βελεστίνο για τα 2 διαφορετικά επίπεδα άρδευσης (αριστερά διαγράμματα) και τα 4 διαφορεικά επίπεδα N-χου λίπανσης (δεξιά διαγράμματα) τις θερμοημέρες (Growing Degree Days – °C-d)	102
Σχήμα 3.2.12	Η μεταβολή του ξηρού βάρους των φυτών του switchgrass στον Παλαμά για τα 2 διαφορετικά επίπεδα άρδευσης (αριστερά) και τα 4 διαφορεικά επίπεδα N-χου λίπανσης (δεξιά) ως προς τις θερμοημέρες (Growing Degree Days – °C-d)	103
Σχήμα 3.2.13	Ξηρά βάρη των φυτών του switchgrass στο Βελεστίνο και στον Παλαμά κατά την περίοδο της συγκομιδής για τα έτη 2010, 2011, 2012	105
Σχήμα 3.2.14	Μεταβολή των θερμοημερών (Growing Degree Days – GDD)	108

	για τις περιοχές μελέτης κατά τη διάρκεια των ετών 2011 και 2012 (--- Παλαμάς 2011, ... Παλαμάς 2012, — Βελεστίνο 2011, — Βελεστίνο 2012). Σημείο έναρξης ανθοφορίας στον Παλαμά: A1 το 2011, A4 το 2012 και στο Βελεστίνο: A2 το 2011, A3 το 2012. Ανθοφορία: η πρώτη οριζόντια γραμμή (1500 °C-ημέρα), ωρίμανση: η δεύτερη οριζόντια γραμμή (2200°C-ημέρα)	
Σχήμα 3.2.15	Εξέλιξη των ξηρών βαρών των φυτικών οργάνων του switchgrass υπό την επίδραση των 2 επιπέδων άρδευσης (I1: αριστερά, I2: δεξιά γραφήματα) και των 4 επιπέδων N-ούχου λίπανσης (N1: 1 ^η , N2: 2 ^η , N3: 3 ^η , N4: 4 ^η σειρά) στην περιοχή Παλαμά	110
Σχήμα 3.2.16	Εξέλιξη των ξηρών βαρών των φυτικών οργάνων του switchgrass υπό την επίδραση των 2 επιπέδων άρδευσης (I1: αριστερά, I2: δεξιά γραφήματα) και των 4 επιπέδων N-ούχου λίπανσης (N1: 1 ^η , N2: 2 ^η , N3: 3 ^η , N4: 4 ^η σειρά) στην περιοχή Βελεστίνο	111
Σχήμα 3.2.17	Μέση μεταβολή της ξηρής βιομάζας των φυτικών οργάνων του switchgrass για την περιοχή του Παλαμά (αριστερά) και του Βελεστίνο (δεξιά)	112
Σχήμα 3.2.18	Διαχωρισμός του switchgrass (■ φύλλα, ■ βλαστοί, ■ ανθοταξίες) όπως επηρεάστηκε από 2 επίπεδα άρδευσης (I1, I2) και 4 επίπεδα N-ούχου λίπανσης (N1, N2, N3, N4) σε 2 στάδια ανάπτυξης του φυτού (Πρίν την ανθοφορία και κατά την τελική συγκομιδή) για 2 χρόνια (επάνω γραφήματα: 2011, κάτω γραφήματα: 2012) στην περιοχή του Παλαμά	113
Σχήμα 3.2.19	Διαχωρισμός του switchgrass (■ φύλλα, ■ βλαστοί, ■ ανθοταξίες) όπως επηρεάστηκε από 2 επίπεδα άρδευσης (I1, I2) και 4 επίπεδα N-ούχου λίπανσης (N1, N2, N3, N4) σε 2 στάδια ανάπτυξης του φυτού (Πρίν την ανθοφορία και κατά την τελική συγκομιδή) για 2 χρόνια (επάνω γραφήματα: 2011, κάτω γραφήματα: 2012) στην περιοχή του Βελεστίνο	114
Σχήμα 3.2.20	Η απόδοση της ξηρής υπόγειας και υπέργειας βιομάζας (g) των τριών επαναλήψεων	115
Σχήμα 3.2.21	Χαρακτηριστικά ανάπτυξης Switchgrass i) ύψος, ii) υπέργεια βιομάζα, και iii) υπόγεια βιομάζα, κάτω από τρία επίπεδα θρεπτικών (0, 8 και 20 kg N/στρ.) και δύο είδη εδαφών (τύρφη,	117

	αμμώδες έδαφος)	
Σχήμα 3.3.1	Περιεκτικότητα % N στη ξηρή βιομάζα του switchgrass για 2 επίπεδα άρδευσης (I1, I2) και 4 επίπεδα N-ούχου λίπανσης (N1, N2, N3, N4) σε δύο διαφορετικά στάδια ανάπτυξης (■ ¹ Κοπή, ■ Συγκομιδή), στον Παλαμά και το Βελεστίνο	120
Σχήμα 3.3.2	Συνολική πρόσληψη αζώτου (N-uptake, kg/στρ.) και τελική απόδοση σε ξηρή βιομάζα (t/στρ.) για τα 2 επίπεδα άρδευσης (I1, I2) και τα 3 επίπεδα αζωτούχου λίπανσης (N1, N2, N3) για τις 2 περιοχές σε 2 διαφορετικές χρονικές στιγμές ανάπτυξης (■: συγκομιδή για ζωοτροφή, και ♦: συγκομιδή για στερεά καύσιμα), τα έτη 2011 και 2012	124
Σχήμα 3.3.3	Πρόσληψη N (kg/στρ.) της καλλιέργειας του switchgrass για παραγωγή ζωοτροφής (στάδιο ανάπτυξης: ύψος 1 m και 4 φύλλα) για τα τρία επίπεδα λίπανσης (0, 8 και 16 kg/στρ.) στον Παλαμά (aquic soil; επάνω) και στο Βελεστίνο (dry soil; κάτω) τα έτη 2011 και 2012 (I1: 0 και I2: 250 mm άρδευσης)	126
Σχήμα 3.3.4	Πρόσληψη N (kg/στρ.) της καλλιέργειας του switchgrass για παραγωγή στερεών καυσίμων (στάδιο ανάπτυξης: ωρίμανση σπόρου και έπειτα) για τα τρία επίπεδα λίπανσης (0, 8 και 16 kg/στρ.) στον Παλαμά (aquic soil; επάνω) και στο Βελεστίνο (dry soil; κάτω) τα έτη 2011 και 2012 (I1: 0 και I2: 250 mm άρδευσης)	128
Σχήμα 3.3.5	Περιεκτικότητα % P στη ξηρή βιομάζα του switchgrass για τα 2 επίπεδα άρδευσης (I1, I2) και τα 4 επίπεδα N-ούχου λίπανσεως (N1, N2, N3, N4) σε δύο διαφορετικά στάδια ανάπτυξης (■ ¹ Κοπή: ζωοτροφή, ■ Συγκομιδή: στερεά καύσιμα)	131
Σχήμα 3.3.6	Συνολική πρόσληψη φωσφόρου (P-uptake, kg/στρ.) και τελική απόδοση σε ξηρή βιομάζα (t/στρ.) για τα 2 επίπεδα άρδευσης (I1, I2) και τα 3 επίπεδα αζωτούχου λίπανσης (N1, N2, N3) για τις 2 περιοχές σε 2 διαφορετικές χρονικές στιγμές ανάπτυξης (■ ¹ Κοπή: ζωοτροφή, και ♦ συγκομιδή: στερεά καύσιμα), τα έτη 2011 και 2012	134
Σχήμα 3.3.7	Περιεκτικότητα % K στη ξηρή βιομάζα του switchgrass για τα 2 επίπεδα άρδευσης (I1, I2) και τα 4 επίπεδα N-ούχου λίπανσεως (N1, N2, N3, N4) σε δύο διαφορετικά στάδια ανάπτυξης (■ ¹	135

	Κοπή: ζωοτροφή, ■ Συγκομιδή: στερεά καύσιμα)	
Σχήμα 3.3.8	Συνολική πρόσληψη καλίου (K-uptake, kg/στρ.) και τελική απόδοση σε ξηρή βιομάζα (t/στρ.) για τα 2 επίπεδα άρδευσης (I1, I2) και τα 3 επίπεδα αζωτούχου λίπανσης (N1, N2, N3) για τις 2 περιοχές σε 2 διαφορετικές χρονικές στιγμές ανάπτυξης (■ ¹ Κοπή: ζωοτροφή, και ♦ συγκομιδή: στερεά καύσιμα), τα έτη 2011 και 2012	136
Σχήμα 3.5.1	i) NO ₃ ⁻ -N πρόσληψη από τα φυτά (σε gr) ii) τελική συγκέντρωση NO ₃ ⁻ -N του εδάφους κάτω από 3 διαφορετικά επίπεδα λίπανσης (0, 8 και 20 kg/στρ.) και δύο τύπους εδάφους (τύρφη, και αμμώδες έδαφος)	150
Σχήμα 3.5.2	Πρόσληψη NO ₃ ⁻ -N (mg/kg βιομάζας) από την καλλιέργεια switchgrass (αριστερά) και τελική συγκέντρωση NO ₃ ⁻ -N (mg/kg) στο έδαφος κάτω από 3 διαφορετικά επίπεδα λίπανσης (0, 8 και 20 kg/στρ.)	151
Σχήμα 3.7.1	Κέρδος παραγωγού (€/στρ.) από την καλλιέργεια switchgrass, όπως παρατηρείται για τις περιοχές μελέτης (Παλαμάς και Βελεστίνο) κατά τη διάρκεια του 2 ^{ου} και 3 ^{ου} έτους ανάπτυξης, υπό την επίδραση 2 επιπέδων άρδευσης και 4 επιπέδων N-ούχου λίπανσης, για 4 διαφορετικές μεθόδους συγκομιδής (νέα εγκατάσταση για ζωοτροφή).	167
Σχήμα 3.7.2	Επίδραση της μεταβολής των τιμών της χορτονομής (σανού) στο κέρδος του παραγωγού για την περίπτωση των 250 kg δεματιών για τον Παλαμά κατά το 3 ^ο έτος, στην αρδευόμενη καλλιέργεια με N-ούχο λίπανση 16kg/στρ.	168
Σχήμα 3.7.3	Κέρδος παραγωγού (€/στρ.) από την καλλιέργεια switchgrass, όπως παρατηρείται για τις περιοχές μελέτης (Παλαμάς και Βελεστίνο) κατά τη διάρκεια του 2 ^{ου} και 3 ^{ου} έτους ανάπτυξης, υπό την επίδραση 2 επιπέδων άρδευσης και 4 επιπέδων N-ούχου λίπανσης, για 4 διαφορετικές μεθόδους συγκομιδής (αντικατάσταση παραδοσιακών καλλιεργειών για ζωοτροφή)	173
Σχήμα 3.7.4	Κέρδος παραγωγού (€/στρ.) από την καλλιέργεια switchgrass, όπως παρατηρείται για τις περιοχές μελέτης (Παλαμάς και Βελεστίνο) κατά τη διάρκεια του 2 ^{ου} και 3 ^{ου} έτους ανάπτυξης, υπό την επίδραση 2 επιπέδων άρδευσης και 4 επιπέδων N-ούχου λίπανσης, για 4 διαφορετικές μεθόδους συγκομιδής (νέα	177

	εγκατάσταση για παραγωγή στερεών καυσίμων).	
Σχήμα 3.7.5	Επίδραση της μεταβολής των τιμών της ξηρής βιομάζας στο κέρδος του παραγωγού για την περίπτωση των 22 kg δεματιών στον Παλαμά για την αρδευόμενη καλλιέργεια με N-ούχο λίπανση 16 kg/στρ.	178
Σχήμα 3.7.6	Κέρδος παραγωγού (€/στρ.) από την καλλιέργεια switchgrass, όπως παρατηρείται για τις περιοχές μελέτης (Παλαμάς και Βελεστίνο) κατά τη διάρκεια του 2 ^{ου} και 3 ^{ου} έτους ανάπτυξης, υπό την επίδραση 2 επιπέδων άρδευσης και 4 επιπέδων N-ούχου λίπανσης, για 4 διαφορετικές μεθόδους συγκομιδής (αντικατάσταση παραδοσιακών καλλιεργειών για παραγωγή στερεών καυσίμων).	182
Σχήμα 3.7.7	Κέρδος παραγωγού (€/στρ.) από την καλλιέργεια και μεταποίηση του switchgrass σε αγρο-πέλλετ, όπως παρατηρείται για τις περιοχές μελέτης (Παλαμάς και Βελεστίνο) κατά τη διάρκεια του 2 ^{ου} και 3 ^{ου} έτους ανάπτυξης, υπό την επίδραση 2 επιπέδων άρδευσης και 4 επιπέδων N-ούχου λίπανσης, για 4 διαφορετικές μεθόδους συγκομιδής.	183

ΕΙΣΑΓΩΓΗ



Βιομάζα

Ενεργειακές Καλλιέργειες

Switchgrass "*Panicum virgatum* L"

Χρήσεις του Switchgrass

Περιβαλλοντικά οφέλη

Οικονομική ανάλυση

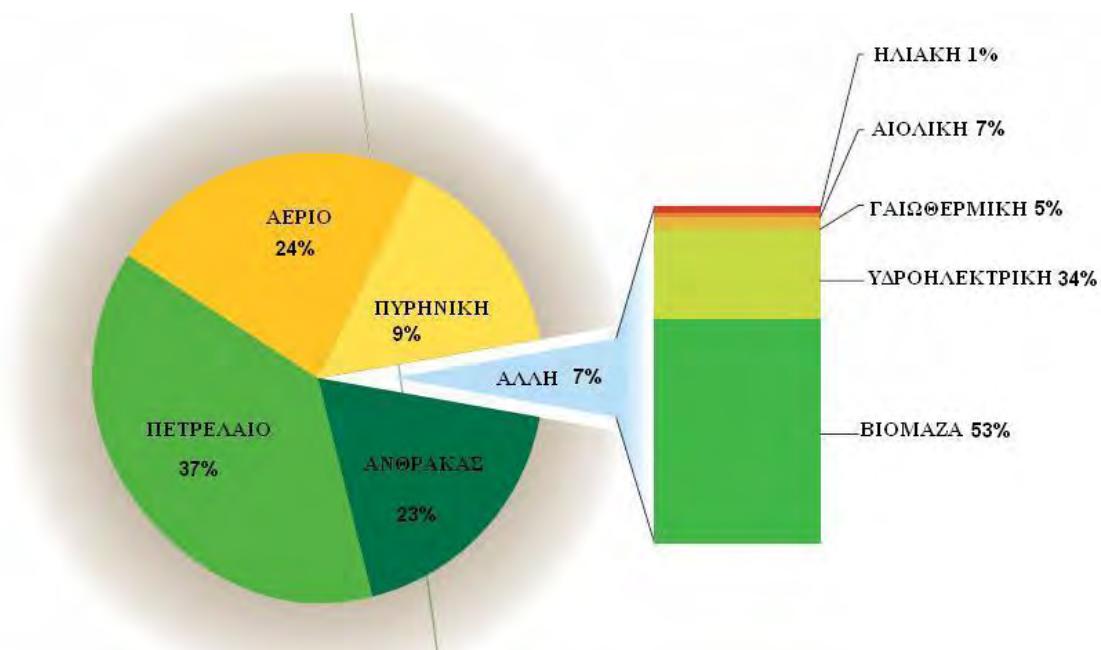
Σκοπός της εργασίας

1. ΕΙΣΑΓΩΓΗ

1.1 Βιομάζα

1.1.1 Η βιομάζα και η χρήση της για παραγωγή ενέργειας

Τις τελευταίες δεκαετίες σημαντικό μεγάλο είναι το ενδιαφέρον της παγκόσμιας επιστημονικής και ερευνητικής κοινότητας για την αξιοποίηση ανανεώσιμων πηγών ενέργειας, σημαντικότερη εκ των οποίων αποτελεί η βιομάζα.



Εικόνα 1. ΑΠΕ και Βιομάζα (53-60%)

(http://cgge.aag.org/GlobalClimateChange1e/cs-3/cs-3_print.html)

Η παραγόμενη ενέργεια από τη βιομάζα πολυετών ενεργειακών καλλιεργειών μπορεί να αντισταθμίσει ή και να μειώσει τις εκπομπές των αερίων του θερμοκηπίου (Lychnaras & Schneider, 2007).

Η βιομάζα από την καλλιέργεια φυτών για ενεργειακούς σκοπούς μπορεί να χρησιμοποιηθεί για την παραγωγή στερεών, υγρών και αέριων καυσίμων. Η βιομάζα αυτή διαχωρίζεται στα εξής:

- προϊόντα καθώς και υπολείμματα της γεωργικής και δασικής παραγωγής, που παραμένουν στον αγρό ή το δάσος μετά τη συγκομιδή του κυρίου προϊόντος.

Κεφάλαιο: Εισαγωγή - Βιομάζα

- υποπροϊόντα που προέρχονται από τη βιομηχανική επεξεργασία αγροτικών προϊόντων, όπως ελαιοπυρήνες, υπολείμματα εκκοκκισμού, πριονίδια, κ.ά.
- φυσικές ύλες που προέρχονται είτε από φυσικά οικοσυστήματα, όπως αυτοφυή φυτά και δάση, είτε από τις λεγόμενες ενεργειακές καλλιέργειες γεωργικών και δασικών ειδών (Σούτερ, 1996).

Η βιομάζα κατά το πλείστον συνίσταται από νερό, κυτταρίνη, ημικυτταρίνη και λιγνίνη σε διάφορες αναλογίες. Η τυπική σύνθεση της βιομάζας είναι 50% άνθρακας, 43% οξυγόνο και 6% υδρογόνο. Η τιμή της θερμογόνου δυνάμεως της ξηρής βιομάζας κυμαίνεται από 15-21 MJ/kg αναλόγως του είδους και των συγκομισθέντων μερών (Scurlock, 2001; Klass, 2004).

Ως ενεργειακή πηγή μπορεί να χρησιμοποιηθεί για την παραγωγή ηλεκτρισμού, θερμότητας και βιοκαυσίμων. Η πιο διαδεδομένη χρήση της βιομάζας ανά τον κόσμο είναι η παραγωγή θερμότητας και καλύπτει στη Σουηδία το 13%, στον Καναδά το 8%, πάνω από 6% στην Ευρωπαϊκή Ένωση και στις ΗΠΑ περίπου το 4% των πρωτογενών αναγκών τους σε ενέργεια. Τα ποσοστά αυτά συνεχώς αυξάνονται όσο η τεχνολογία βελτιώνεται για την καλύτερη αξιοποίηση των πόρων βιομάζας, αλλά και όσο οι τιμές των υπολοίπων καυσίμων αυξάνουν.

1.1.2 Μέθοδοι επεξεργασίας της βιομάζας

Η παλαιότερη και πιο γνωστή χρήση της βιομάζας είναι η καύση. Η καύση χρησιμοποιείται για την παραγωγή θερμότητας, αλλά ο βαθμός απόδοσης της διεργασίας αυτή είναι συνήθως κάτω του 40%. Οι μέθοδοι επεξεργασίας της βιομάζας για παραγωγή ενέργειας, συνοψίζονται στις παρακάτω τρεις κατηγορίες (Alemanno *et al.*, 2004):

Θερμοχημική επεξεργασία

- ✓ Καύση
- ✓ Πυρόλυση
- ✓ Αεριοποίηση

Βιολογική επεξεργασία

- ✓ Αναερόβια ζύμωση (π.χ. παραγωγή βιοαερίου).
- ✓ Υδρόλυση-Αναερόβια ζύμωση (π.χ. παραγωγή αιθανόλης).

Χημική επεξεργασία

- ✓ Εκχύλιση ελαίων και εστεροποίηση των τριγλυκεριδίων.

Εδώ κρίνεται σκόπιμο να αναφερθεί ότι η επιλογή της μεθόδου μετατροπής της βιομάζας σε ενέργεια προσδιορίζεται από τη σχέση C/N και την περιεχόμενη υγρασία της. Επιπλέον, κύριος παράγοντας καθορισμού της βέλτιστης διεργασίας παραγωγής ενέργειας για τους διαφορετικούς τύπους βιομάζας αποτελεί η σχετική αναλογία κυτταρίνης / ημικυτταρίνης / λιγνίνης (McKendry, 2002).

1.1.3 Είδη Βιοκαυσίμων

Τα είδη των βιοκαυσίμων χωρίζονται σε τρεις κατηγορίες:

- Στερεά καύσιμα
 - Pellets (πέλλετ)
 - Briquettes (μπρικέτες)
- Υγρά καύσιμα
 - Biodiesel (βιοντίζελ)
 - Bio-ethanol (βιοαιθανόλη)
- Αέρια καύσιμα
 - Bio gas (βιοαέριο)

Η βιοαιθανόλη αποτελεί ένα ευρέως παραγόμενο βιοκαύσιμο με περισσότερους από 20 εκατομμύρια τόνους παγκόσμιας παραγωγής ετησίως (κυρίως σε χώρες Βραζιλία και ΗΠΑ). Την πρώτη ύλη για την παραγωγή βιοαιθανόλης αποτελούν σακχαρούχα, κυτταρινούχα κι αμυλούχα φυτά (όπως σιτάρι, καλαμπόκι, σόργο, τεύτλα, switchgrass κ.ά.).

Το βιοντίζελ είναι μεθυλεστέρας, ο οποίος παράγεται κυρίως από φυτικά έλαια με μετεστεροποίηση και μπορεί να χρησιμοποιηθεί είτε μόνο του ή σε μείγμα στους πετρελαιοκινητήρες (προέρχονται από καλαμπόκι, ηλίανθο, ελαιοκράμβη κ.ά.).

Η στερεή βιομάζα μπορεί να καεί ως έχει (π.χ. καυσόξυλα, κλαδέματα, πυρηνόξυλο κ.ά.) ή μετά από μηχανική τροποποίηση (θρυμματισμό ή παραγωγή συσσωματωμάτων τα επονομαζόμενα “pellets”). Η μηχανική τροποποίηση μετατρέπει τη βιομάζα σε καύσιμο με τυποποιημένα χαρακτηριστικά για λόγους διαχείρισης (ευκολότερη και οικονομικότερη μεταφορά και τροφοδοσία). Σύγχρονα ερευνητικά αποτελέσματα έχουν

Κεφάλαιο: Εισαγωγή - Βιομάζα

αποδεικνύει την χαμηλή επιβάρυνση του περιβάλλοντος σε σχέση με το πετρέλαιο και το φυσικό αέριο. Πιο συγκεκριμένα, σε καυστήρες στερεών καυσίμων (pellets) 400 KW οι εκπομπές σε CO, CO₂ και SO₂ είναι εξαιρετικά χαμηλές και αυτό θέτει τη στερεή βιομάζα ξανά ως ένα υποσχόμενο μελλοντικό καύσιμο (Danalatos *et al.*, 2006).

1.1.4 Πλεονεκτήματα και μειονεκτήματα της ενεργειακής αξιοποίησης της βιομάζας

Οι χαμηλών εισροών απαιτήσεις (αγροχημικά-λιπάσματα, κ.ά.) της ενεργειακής γεωργίας συγκρινόμενες με εκείνες της συμβατικής γεωργίας καθώς και η διαφύλαξη από τη διάβρωση των εδαφών και των υδατικών πόρων (Gherbin *et al.*, 2004), την καθιστούν ως μία εναλλακτική λύση διαφοροποίησης της γεωργικής χρήσης με απώτερο σκοπό τη μείωση των περιβαλλοντικών συνεπειών (Grigatti *et al.*, 2004).

Μερικά από τα κύρια πλεονεκτήματα της ενεργειακής χρήσης της βιομάζας είναι (Groscurth *et al.*, 2000):

1. Η άμβλυνση των αρνητικών επιπτώσεων του φαινομένου του θερμοκηπίου από την καύση ορυκτών καυσίμων. Η καύση της βιομάζας έχει μηδενικό ή αρνητικό ισοζύγιο CO₂, γιατί ενώ κατά την καύση της παράγεται CO₂, κατά την παραγωγή της και μέσω της φωτοσύνθεσης επαναδεσμεύονται σημαντικές ποσότητες αυτού του ρύπου.
2. Η αποφυγή της επιβάρυνσης της ατμόσφαιρας με διοξείδιο του θείου (SO₂) από την καύση των ορυκτών καυσίμων. Η περιεκτικότητα της βιομάζας σε θείο είναι πρακτικά αμελητέα.
3. Συνεχής παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας που δεν εξαρτάται από τις καιρικές συνθήκες, όπως συμβαίνει με άλλες ανανεώσιμες πηγές όπως η ηλιακή, αιολική και υδροδυναμική ενέργεια.
4. Η μείωση της ενεργειακής εξάρτησης από τρίτες χώρες.

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

1. Ο αυξημένος όγκος και η μεγάλη περιεκτικότητα σε υγρασία, σε σχέση με τα ορυκτά καύσιμα δυσχεραίνουν την ενεργειακή αξιοποίηση της βιομάζας.

Κεφάλαιο: Εισαγωγή - Βιομάζα

2. Η μεγάλη διασπορά και η εποχιακή παραγωγή της βιομάζας δυσκολεύουν την συνεχή τροφοδοσία με πρώτη ύλη των μονάδων ενεργειακής αξιοποίησής της.
3. Δυσκολίες κατά τη συλλογή, μεταφορά, και αποθήκευση της βιομάζας αυξάνουν το κόστος της ενεργειακής αξιοποίησής της.
4. Οι σύγχρονες και βελτιωμένες τεχνολογίες μετατροπής της βιομάζας απαιτούν υψηλό κόστος εξοπλισμού, συγκρινόμενες με αυτό των συμβατικών καυσίμων.

1.1.5 Υφισταμένη κατάσταση

Η ενεργειακή γεωργία είναι ένας τομέας που εξελίσσεται ταχύτατα τα τελευταία χρόνια, λόγω της ιδιαίτερας ρυπογόνου επίδρασης των ορυκτών καυσίμων στον πλανήτη και στο περιβάλλον, της εξάντλησης των αποθεμάτων πετρελαιοειδών και φυσικού αερίου, του εξελισσόμενου αδιεξόδου της γεωργικής υπερπαραγωγής στις αναπτυγμένες χώρες, και της αυξημένης τιμής του πετρελαίου θέρμανσης.

Στις μέρες μας, η βιομάζα καλύπτει το 14-15% της συνολικά χρησιμοποιούμενης ενέργειας παγκοσμίως και είναι ο τέταρτος ενεργειακός πόρος (Venturi & Venturi, 2003). Οι ΗΠΑ και η Βραζιλία έχουν τα μεγαλύτερα προγράμματα προώθησης της χρήσης βιοκαυσίμων παγκοσμίως, με την Ε.Ε. να ακολουθεί στην τρίτη θέση της παγκόσμιας παραγωγής βιοκαυσίμων (Demirbas & Balat, 2006). Στην Ε.Ε., η βιομάζα αντιπροσωπεύει τα δύο τρίτα (65%) των ανανεώσιμων πηγών ενέργειας και το 5,61% της συνολικά χρησιμοποιούμενης ενέργειας (EurObservER, 2005).

1.2 Ενεργειακές καλλιέργειες

1.2.1 Ορισμός και κατηγορίες

Ενεργειακή καλλιέργεια, όπως καθορίζεται από την ελληνική νομοθεσία (Ν3423/05), είναι «η καλλιέργεια φυτικών ειδών εντός της Ελληνικής Επικράτειας, για την παραγωγή κυρίως προϊόντων που θεωρούνται βιοκαύσιμα ή πρώτες ύλες για την παραγωγή βιοκαυσίμων». Ως τέτοιοι τύποι καλλιεργειών, για ενεργειακή αποκλειστικά χρήση, οι ενεργειακές καλλιέργειες αποτελούν μία πολλά υποσχόμενη λύση για το πρόβλημα της διασφάλισης της διαθέσιμης βιομάζας.

Οι καλλιέργειες ενεργειακών φυτών για παραγωγή βιομάζας διακρίνονται σε:

- ❖ Καλλιέργεια ειδών που παράγουν άμυλο ή/και σάκχαρα για παραγωγή αιθανόλης.
- ❖ Καλλιέργεια ειδών που παράγουν φυτικά έλαια για παραγωγή βιοντίζελ.
- ❖ Καλλιέργεια ειδών παραγωγής βιομάζας για παραγωγή βιοαερίου.
- ❖ Καλλιέργεια ειδών για παραγωγή στερεών καυσίμων.

1.2.2 Κατηγορίες των ενεργειακών καλλιεργειών

Οι νέες ενεργειακές καλλιέργειες είναι είδη με υψηλή παραγωγικότητα σε βιομάζα και διακρίνονται σε δύο κατηγορίες, τις γεωργικές και τις δασικές:

- **Δασικές ενεργειακές καλλιέργειες**
 - Είδη Ιτιάς (*Salix* L.)
 - Είδη Λεύκας (*Populus* L.)
 - Ψευδακακία (*Robinia pseudoacacia* L.) και
 - Ευκάλυπτος (κυρίως *Eucalyptus globulus* Labill. και *Eucalyptus camaldulensis* Dehnh.)
- **Πολυετείς γεωργικές ενεργειακές καλλιέργειες**
 - Αγριαγκινάρα (*Cynara cardunculus* L.)
 - Switchgrass (*Panicum virgatum* L.)
 - Μίσχανθος (*Miscanthus x giganteus* Greef et Deu.)
 - Καλάμι (*Arundo donax* L.)
 - Jojoba (*Simmondsia chinensis* (Link) C.K. Schneid.)

Κεφάλαιο: Εισαγωγή - Ενεργειακές καλλιέργειες

➤ **Ετήσιες γεωργικές ενεργειακές καλλιέργειες**

Αραβόσιτος (*Zea mays* L.)

Σιτάρι (*Triticum aestivum* L.)

Κριθάρι (*Hordeum vulgare* L.)

Ζαχαρότευτλα (*Beta vulgaris* L.)

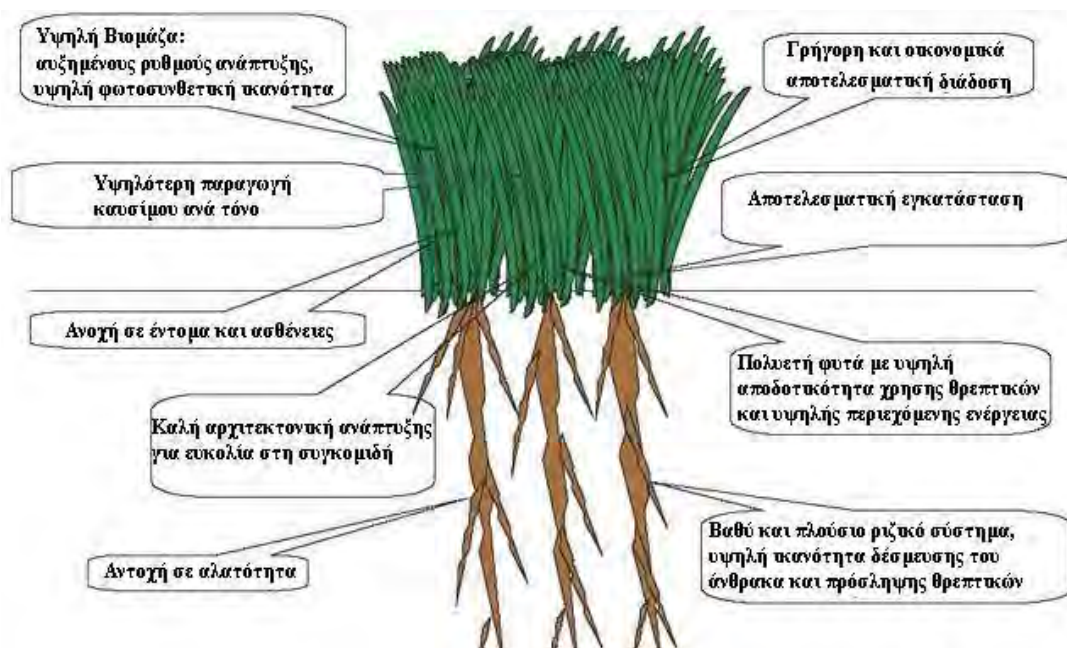
Ηλιάνθος (*Helianthus annuus* L.)

Ελαιοκράμβη (*Brassica napus* L., *Brassica carinata* A. Braun.)

Σόγια (*Glycine max* (L.) Merr.)

Γλυκό και ιώδες σόργο (*Sorghum bicolor* (L.) Moench.)

Κενάφ (*Hibiscus cannabinus* L.)



Εικόνα 2. Χαρακτηριστικά ιδανικής ενεργειακής καλλιέργειας

(http://news.mongabay.com/bioenergy/2007_09_23_archive.html)

1.3. Switchgrass “*Panicum virgatum* L.”

1.3.1 Ιστορία του Switchgrass

Η καλλιέργεια του *Panicum virgatum* έχει αρχίσει να αναπτύσσεται στην Ευρώπη μετά την πετρελαϊκή κρίση το 1973 και να προσαρμόζεται στις ανθρώπινες ανάγκες. Ο όγκος των εργασιών για το switchgrass εξακολουθεί να είναι πολύ μικρός σε σύγκριση με πολλές άλλες καλλιέργειες, σημειώνοντας όμως σημαντική αύξηση. Η πρώτη δημοσίευση παρουσιάζεται το 1914 (Cadel), ενώ η επόμενη εμφάνιση της καλλιέργειας σε επιστημονικό άρθρο, γίνεται το 1931 (Weaver), όπου το switchgrass αναφέρεται να καταλαμβάνει τα λιγότερο επιθυμητά πεδινά εδάφη ενώ το 1932, γίνεται η πρώτη δημοσίευση με το switchgrass να αποτελεί το κύριο αντικείμενο μελέτης (Eaton).

Περί τα τέλη της δεκαετίας του '80 συγγράφεται το πρώτο άρθρο που αναφέρει το switchgrass ως ενεργειακή καλλιέργεια (Lowenberg-DeBoer *et al.*, 1989). Από τη δεκαετία του '90 μέχρι και σήμερα, το ενδιαφέρον για το switchgrass αυξάνεται. Μόνο κατά τη διάρκεια του δεύτερου μισού του εικοστού αιώνα ξεκίνησε ο διαχωρισμός της καλλιέργειας ως μονοκαλλιέργεια. Τέλος, το σύνολο των δημοσιεύσεων έως σήμερα ξεπερνά τις 3.276 με μόλις 385 στον τομέα της βιομάζας και ενέργειας.

1.3.2 Προέλευση του Switchgrass και κατανομή του στη Βόρεια Αμερική

Το Switchgrass εμφανίστηκε όταν οι Ευρωπαίοι έφτασαν στην Κεντρική και Ανατολική Βόρεια Αμερική (Hitchcock, 1935). Θα μπορούσε να βρεθεί σε ένα ευρύ φάσμα οικοτόπων, σχεδόν οπουδήποτε.

Ο McMillan αναφέρει ότι το switchgrass (όπως και άλλα είδη) υποχώρησε σε καταφύγια κατά τη διάρκεια της εποχής των παγετώνων και στη συνέχεια μετακόμισε και πάλι προς τους πόλους, με την άνοδο των θερμοκρασιών (McMillan, 1959).

1.3.3 Το Switchgrass ως ενεργειακή καλλιέργεια

Μερικά δημοσιευμένα άρθρα έχουν συζητήσει τη συνοπτική ιστορία του switchgrass ως ενεργειακή καλλιέργεια. Σε ένα από τα πιο πρόσφατα περιστατικά, την «ενεργειακή κρίση», μετά τον αποκλεισμό που επιβλήθηκε από τις πετρέλαιο-παραγωγούς και εξαγωγικές χώρες (ΟΠΕΚ) το 1973, αυξήθηκε το ενδιαφέρον για τις ενεργειακές

Κεφάλαιο: Εισαγωγή - Switchgrass “*Panicum virgatum* L.”

(Keshwani, 2009) και τη βιομάζα ως αέριο πετροχημικής βιομηχανίας στις ΗΠΑ, την ΕΚ (Hall, 1979), και τα Η.Ε (El-Hinnawi, 1981).

1.3.4 Το Switchgrass στην Ευρώπη

Οι πρώτες ευρωπαϊκές μελέτες για την καλλιέργεια του switchgrass για ενέργεια έγιναν το 1993 στο ερευνητικό ίδρυμα καλλιεργούμενων φυτών (Institute of Arable Crops Research) (Christian *et al.*, 2001; 2002).

Στο πλήθος των δημοσιεύσεων για την καλλιέργεια, άλλες έλαβαν μέρος για τις οικονομικές και άλλες για τις περιβαλλοντικές επιδράσεις του switchgrass (Gosselink, 2001; Siemons, 2001; Monti *et al.*, 2006; Monti *et al.*, 2009; Smeets *et al.*, 2009; Fazio *et al.*, 2011), την επιλογή ποικιλίας (Elbersen *et al.*, 2001; Lemus *et al.*, 2002; Sharma *et al.*, 2003), τη θρεπτική σύνθεση (Elbersen *et al.*, 2001-a), την απόδοση του φυτού (McLaughlin *et al.*, 2005; Alexoroulou *et al.*, 2008), την παραγωγή αιθανόλης, βιοαερίου και pellet (Gosselink *et al.*, 2001; Van den Berg, 2001; Moutsoглу, 2012), τη θερμογόνο δύναμη (Mani *et al.*, 2006; Vamvuka *et al.*, 2010).

1.3.5 Περιγραφή

Το *Panicum virgatum* L., (switchgrass), είναι ένα πολυετές C4, αγροστώδες φυτό των εύκρατων ζωνών, που έχει εξελιχθεί σε κτηνοτροφική και πρόσφατα σε ενεργειακή καλλιέργεια. Το είδος προέρχεται από τις κεντρικές πεδιάδες της Βόρειας Αμερικής (Parrish *et al.*, 2005). Απαντάται νότια του 55° βόρειου γεωγραφικού πλάτους έως το κέντρο του Μεξικού (Moser *et al.*, 1995). Συναντάται επίσης, τόσο στη Ν. Αμερική όσο και στη Β. Αφρική. Αποτελεί ένα από τα κυρίαρχα είδη των λιμώνων της Βόρειας Αμερικής και μπορεί να βρεθεί αυτοφυές σε ακαλλιέργητα εδάφη, σε βοσκοτόπια και κατά μήκος των δρόμων. Χρησιμοποιείται κυρίως για την προστασία του εδάφους, για τη βιολογική δέσμευση του ατμοσφαιρικού διοξειδίου του άνθρακα, ως εδαφοβελτιωτικό για τα άγονα εδάφη, για την παραγωγή ζωοτροφών και φυτικών ινών, για την παραγωγή βιοδιασπώμενων πλαστικών και χαρτοπολυτού, ως καλλωπιστικό φυτό και τα τελευταία χρόνια, ως ενεργειακό φυτό για παραγωγή βιοαιθανόλης, βιοαερίου και πελλέτας, για παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας και θερμότητας. Μετά την εγκατάστασή του, το switchgrass μπορεί να επιβιώσει για δέκα χρόνια ή και περισσότερα.

Κεφάλαιο: Εισαγωγή - Switchgrass “*Panicum virgatum* L.”

Είναι ένα φωτοευαίσθητο φυτό, με υψηλή προσαρμοστικότητα σε ευρύ γεωγραφικό φάσμα και τύπους εδάφους. Το switchgrass ταξινομείται σε ορεινούς και πεδινούς οικοτύπους (Casler *et al.*, 2004) που σχετίζονται με την προέλευση και το γεωγραφικό πλάτος. Παρουσιάζει υψηλή παραλλακτικότητα και προσαρμοστικότητα σε φυσιολογικά χαρακτηριστικά, τα οποία και επηρεάζουν το δυναμικό παραγωγής των καλλιεργειών.

Αποτελεί σημαντική ενεργειακή καλλιέργεια με δυνατότητα παροχής αξιόπιστης ενέργειας, ενώ επίσης δεσμεύει τον C στο έδαφος (Ma, 2000; Liebig, 2005; Skinner *et al.*, 2010). Επίσης, συμβάλλει στη διατήρηση του φυσικού περιβάλλοντος και της άγριας φύσης αφού αποτελεί καταφύγιο διαφόρων ειδών της πανίδας. Ανάλογα με την πυκνότητα φύτευσης το switchgrass μπορεί να προσφέρει άριστη χορτονομή και να καλύψει ανάγκες σε μια ευρεία ποικιλία της άγριας πανίδας.

1.3.6 Η εξέλιξη του switchgrass

Το γένος *Panicum* περιλαμβάνει περισσότερα από 450 μάλλον ετερογενή είδη. Για το λόγο αυτό κάποιοι επιστήμονες «συστηματικοί» υποδιαιρούν το γένος *Panicum* σε 6 ή περισσότερα υπογένη (Aliscioni *et al.*, 2003).

Περί τα τέλη της δεκαετίας του '90 μια κοινοπραξία συστηματικών ίδρυσαν το “Grass Phylogeny Working Group” (GPWG 2001), οι οποίοι και εξέτασαν 62 είδη της οικογένειας. Στα είδη αυτά συμπεριλαμβανόταν και το switchgrass, το οποίο και κατατάχτηκε ως κοντινός συγγενής του μαργαριταρώδους κεχριού.

Κεφάλαιο: Εισαγωγή - Switchgrass “*Panicum virgatum* L.”

1.3.7 Βοτανική ταξινόμηση

Ανήκει στα Αγγειόσπερμα (Magnoliophyta), στην κλάση των Μονοκοτυλήδων (Liliopsida), στη τάξη των Κυπειρωδών (Cyperales) και στην οικογένεια των Ποωειδών (Poaceae) και συγκεκριμένα στο γένος *Panicum*. Η βοτανική του ταξινόμηση σύμφωνα με την κατάταξη του USDA έχει ως εξής:

Βασίλειο:	Φυτά
Υποβασίλειο:	Tracheobionta
Υποδιαίρεση:	Spermatophyta
Διαίρεση:	Magnoliophyta
Κλάση:	Liliopsida
Υποκλάση:	Commelinidae
Τάξη:	Cyperales
Οικογένεια:	Poaceae
Γένος:	<i>Panicum</i> L.
Είδος:	<i>Panicum virgatum</i> L.- Switchgrass

1.3.8 Οικότυποι

Υπάρχουν δύο γενότυποι-οικότυποι, των πεδινών και ορεινών περιοχών (lowland και upland). Ο οικότυπος των πεδινών περιοχών (lowland) είναι τετραπλοειδής ενώ των ορεινών (upland) είναι εξαπλοειδής ή οχταπλοειδής (όπως υποδηλώνει και το όνομα, ο δεύτερος απαντάται σε μεγαλύτερα υψόμετρα).

Όλες οι ποικιλίες του switchgrass κατηγοριοποιούνται σε έναν εκ των δύο οικότυπων. Οι οικότυποι, μερικές φορές περιγράφονται ως υποείδος, και συνήθως διαφέρουν στη μορφολογία ή στη φυσιολογία, αλλά παράλληλα είναι σε θέση να διασταυρωθούν και να παράγουν γόνιμους απογόνους.

Εντός του είδους *Panicum virgatum*, οι γονότυποι που ανήκουν στους ορεινούς οικότυπους έχουν συνήθως λεπτότερα στελέχη και μικρότερο ύψος σε σύγκριση με αυτούς που ανήκουν στους πεδινούς.

1.3.9 Διασπορά του Switchgrass

Οι περισσότεροι επιστήμονες προτείνουν τη μετακίνηση του switchgrass το πολύ μέχρι και μία ζώνη ανθεκτικότητας, βόρεια ή νότια της καταγωγής του, για την αποφυγή σημαντικών απωλειών. Βορειότερες ποικιλίες είναι αρκετά ανθεκτικές στη θερμοκρασία και την πρόωρη ανθοφορία ώστε να είναι παραγωγικές και σε νότιες περιοχές, ενώ οι νότιες μπορεί να μην έχουν επαρκή αντοχή στο κρύο ώστε να επιβιώσουν σε βορειότερες περιοχές (Casler *et al.*, 2007; Casler *et al.*, 2004; Sanderson *et al.*, 1999).

1.3.10 Ποικιλίες

Οι καλλιεργούμενες ποικιλίες του switchgrass που είναι διαθέσιμες σήμερα είναι προϊόντα γενετικής βελτίωσης ως προς ορισμένα χαρακτηριστικά. Ο μεγαλύτερος όγκος παραγωγής των σπόρων του βρίσκεται στις ΗΠΑ, ενώ κάποιες εκ των ποικιλιών του παράγονται και στην Ευρώπη. Τον καθοριστικό παράγοντα της προσαρμογής μιας ποικιλίας αποτελεί το γεωγραφικό πλάτος προέλευσης.

Η επιλογή μιας ποικιλίας βάσει της τοποθεσίας στην οποία θα καλλιεργηθεί αυξάνει την βιωσιμότητα και την παραγωγικότητά της. Οι ποικιλίες που μετακινούνται πολύ πιο βόρεια από την περιοχή προέλευσής τους αποτυγχάνουν να ωριμάσουν το φθινόπωρο και έχουν μειωμένη επιβίωση τον χειμώνα. Αυτό συμβαίνει λόγω της τροποποίησης της φωτοπεριόδου του φυτού από την αλλαγή της διάρκειας της ημέρας και της θερμοκρασίας (Moser & Vogel, 1995). Η μείωση της φωτοπεριόδου προκαλεί άνθηση στις αρχές του καλοκαιριού. Οι νότιες ποικιλίες υπερισχύουν των βορείων σε αποδόσεις (Lemus *et al.*, 2002). Αν οι ποικιλίες καλλιεργηθούν σε βορειότερες περιοχές από τη περιοχή προέλευσης θα αποτύχουν να ωριμάσουν το φθινόπωρο με αποτέλεσμα να μειώνεται η ποιότητα της βιομάζας τους.

Ενδεικτικά αναφέρονται μερικές ποικιλίες, οι οποίες χρησιμοποιήθηκαν σε πειράματα στην Ευρώπη: Alamo (πεδινή – τετραπλοειδής), Cave-in-Rock (ενδιάμεση – οχταπλοειδής), Kanlow (πεδινή – τετραπλοειδής), Caddo (ορεινή – οχταπλοειδής), Forestburg (ορεινή – τετραπλοειδής), Blackwell (ορεινή – οχταπλοειδής), SL 93-3 (πεδινή – τετραπλοειδής), Summer (ορεινή – τετραπλοειδής) και Pathfinder (ορεινή – οχταπλοειδής) (Elbersen *et al.*, 2001; Alexopoulou *et al.*, 2008).

Κεφάλαιο: Εισαγωγή - Switchgrass “Panicum virgatum L.”

Είναι απαραίτητο να αναφερθεί ότι ο καθορισμός της προσαρμογής μιας ποικιλίας σε μια συγκεκριμένη περιοχή εξαρτάται από πολλούς παράγοντες, οι σπουδαιότεροι εκ των οποίων είναι το έδαφος και το κλίμα (οργανική ουσία, περιεχόμενα θρεπτικά, pH, θερμοκρασία, βροχοπτώσεις, υγρασία κ.ά.) (Elbersen *et al.*, 2001; Caddel, 1914).

1.3.11 Μορφολογικά χαρακτηριστικά

Το Switchgrass είναι μια πολυετής πόα με ύψος από 1,5 μέχρι και 2,5 μέτρα σε ευνοϊκά περιβάλλοντα στον Ευρωπαϊκό χώρο (Piscioneri *et al.*, 2001; Lemus *et al.*, 2002; Alexoroulou *et al.*, 2008). Το ριζικό του σύστημα είναι πλούσιο και φθάνει σε βάθος περί τα 3 μέτρα (Liebig *et al.*, 2005), ενώ παράγει κάθε χρόνο πολλά νέα ριζίδια, τα οποία όταν αποσυντίθενται αυξάνουν την οργανική ουσία του εδάφους (Ma *et al.*, 2000). Μάλιστα η υποεπιφανειακή παραγωγή βιομάζας στην πλήρη ανάπτυξη καλλιέργειας, είναι ίση ή και μεγαλύτερη με την υπέργεια (Ma *et al.*, 2001; Frank *et al.*, 2004).

Τα στελέχη του switchgrass αποτελούνται από συμπαγείς κόμβους και μεσογονάτια, τα οποία στα πρώτα στάδια ανάπτυξης είναι μικρά και οι διαδοχικοί κολεοί των φύλλων σχηματίζουν ένα ψευδοβλαστό. Από τους οφθαλμούς που βρίσκονται στους κόμβους του στελέχους σχηματίζονται νέα στελέχη παρόμοια με το αρχικό που ονομάζονται «αδέλφια». Τα φύλλα του είναι λογχοειδή με ευδιάκριτη νεύρωση και με παρουσία τριχιδίων στην πάνω επιφάνεια, χαρακτηριστικό που βοηθάει στη μείωση της εξατμισοδιαπνοής.

Η ταξιανθία του είναι σύνθετος βότρυς μήκους 15-45 εκατοστών, με κατάληξη σε σταχίδια στις άκρες των μακριών κλάδων. Τα σταχίδια έχουν αρχικά κοκκινωπό (πορφυρό) χρώμα το οποίο στην συνέχεια γίνεται σκούρο μωβ και τα οποία είναι ανθισμένα ανά δύο, ένα γόνιμο και ένα στείρο, μήκους 3-5,5 χιλιοστών. Η περίοδος ανθοφορίας εμφανίζεται κατά τα μέσα του καλοκαιριού και η επικονίαση γίνεται με τον άνεμο. Ο καρπός του, είναι μικρός και ωοειδής. Η καλλιέργεια του switchgrass για σπόρο μπορεί να παράγει 33-56 κιλά σπόρου ανά στρέμμα.

1.3.12 Φαινολογικά στάδια και περιοριστικοί παράγοντες ανάπτυξης

Το σύστημα που χρησιμοποιείται για τη μελέτη των φαινοτυπικών σταδίων ανάπτυξης του switchgrass (Sanderson, 1992) περιλαμβάνει τα παρακάτω πέντε φαινολογικά στάδια:

- (α) Φύτρωμα,
- (β) Βλαστική περίοδος / ανάπτυξη φύλλου,
- (γ) Επιμήκυνση στελέχους,
- (δ) Αναπαραγωγή/ανθοφορία και
- (ε) Αναπαραγωγή σπόρων (ανάπτυξη – ωρίμανση).

Η θερμοκρασία αποτελεί περιοριστικό παράγοντα της βλαστικής ανάπτυξης του switchgrass (Madakadze *et al.*, 1998). Η βασική θερμοκρασία ανάπτυξης του φυτού είναι 10 °C και οι απαιτούμενες βαθμο-ημέρες (GDD) για την ολοκλήρωση της επιμήκυνσης του στελέχους είναι περί τις 1.020 για τις ποικιλίες Alamo και Cave-in-Rock (Sanderson *et al.*, 1995). Όπως όμως έχει προαναφερθεί, το switchgrass αποτελεί φυτό μικρής ημέρας και επομένως τα στάδια ανάπτυξής του επηρεάζονται κυρίως από το μήκος της ημέρας (Van Esbroeck *et al.*, 2003) και λιγότερο έως ελάχιστα από τη θερμοκρασία και τη διαθέσιμη υγρασία.

Σε σύγκριση μεταξύ πολλών ποικιλιών, βρέθηκε ότι, ο τελικός αριθμός των φύλλων στα αδελφώματα που φύτεψαν την άνοιξη και το καλοκαίρι κυμάνθηκε από 9-11 και 6-8, αντίστοιχα (Van Esbroeck *et al.*, 1997). Από πειράματα που διεξήχθησαν (Alexorouliou *et al.*, 2008), παρατηρήθηκε ότι η τελική πυκνότητα των αδελφωμάτων είναι μεταβλητή ως προς τον αριθμό και εξαρτάται κατά κύριο λόγο από την ποικιλία του switchgrass, ενώ επηρεάζεται σημαντικά από τις περιβαλλοντικές συνθήκες και πιθανώς από την ηλικία εγκατάστασης της καλλιέργειας. Η αζωτούχος λίπανση και η απόσταση των σειρών έχουν άμεση επίδραση επί του αριθμού των παραγωγικών αδελφωμάτων (Muir *et al.*, 2001), και παίζουν σημαντικό ρόλο στην αύξηση της παραγωγικότητας. Η απόδοση όμως της βιομάζας εξαρτάται περισσότερο από τη μάζα των αδελφωμάτων και όχι από τον αριθμό τους.

1.3.13 Υπόγειο τμήμα

Το switchgrass έχει θυσανώδες ριζικό σύστημα. Η ρίζα του διακρίνεται στην πρωτογενή εμβρυακή ρίζα, στις δευτερογενείς εμβρυακές που εμφανίζονται από το μεσοκοτύλιο και στις μόνιμες που εμφανίζονται από το λαιμό. Οι εμβρυακές ρίζες είναι λεπτές με άφθονες πλευρικές διακλαδώσεις, οι οποίες άλλοτε μεν είναι πρόσκαιρες και άλλοτε διατηρούνται ενεργές σε όλη τη διάρκεια της ζωής του φυτού. Το μόνιμο ριζικό σύστημα εμφανίζεται αργότερα από ένα κόμβο του στελέχους που λέγεται σταυρός και ο οποίος βρίσκεται λίγο πιο κάτω από την επιφάνεια του εδάφους. Συγκριτικά με τις εμβρυακές, οι μόνιμες ρίζες είναι παχύτερες και ισχυρότερες.

Η αύξηση της ρίζας του switchgrass είναι ταχεία, ειδικά κατά τις πρώτες 3 εβδομάδες μετά τη σπορά. Η ρίζα του, αποτελεί την κύρια δεξαμενή υδατάνθρακα τουλάχιστον κατά τη διάρκεια των 15 πρώτων εβδομάδων ανάπτυξης μετά τη σπορά (Dalrymple *et al.*, 1967).

Ως C4 φυτό, το switchgrass αναπτύσσει ένα μεγάλο και καλά δομημένο ριζικό σύστημα, το οποίο θα του εξασφαλίζει μια πιο ενεργή και αποτελεσματική απόκτηση των θρεπτικών στοιχείων, του νερού αλλά και την αύξηση της δεξαμενής αποθήκευσης των θρεπτικών συστατικών, ιδίως κατά τη διάρκεια μετά την ωρίμανση. Πειράματα έδειξαν ότι, μετά από 5 χρόνια εγκατάσταση η βιομάζα της ρίζας ήταν περί τους 1,45 τόνους ανά στρέμμα σε βάθος εδάφους 90 εκατοστών, η οποία αυξήθηκε με την πάροδο 10 ετών και έφθασε την τιμή του 1,12 τόνων σε βάθος μόλις 30 εκατοστών από την επιφάνεια (Parish *et al.*, 2003).

Ο λόγος της ρίζας προς το υπέργειο μέρος σε εγκατεστημένη καλλιέργεια switchgrass 4 χρόνων και για περισσότερες από τέσσερις ποικιλίες, άλλαξε κατά μέσο όρο από 5,8 που ήταν στην έναρξη της καλλιεργητικής περιόδου (Απρίλιο) σε 0,77 στο τέλος της σεζόν (Οκτώβριος) (Garten *et al.*, 2010).

Διάφορες έρευνες έδειξαν ότι, η μισή περίπου ποσότητα από τους υδατάνθρακες που περιέχει η βιομάζα των φυτών κατά τη διάρκεια μιας καλλιεργητικής περιόδου χάνονται μέσω της αναπνοής του εδάφους (Frank *et al.*, 2004).

Η καλλιέργεια του switchgrass έχει χαμηλές απαιτήσεις σε θρεπτικά συστατικά, επειδή μια ομάδα θρεπτικών συστατικών ανακυκλώνεται/διατηρείται σε ετήσια βάση μέσω της

Κεφάλαιο: Εισαγωγή - Switchgrass “Panicum virgatum L.”

μετακίνησής τους από το υπέργειο μέρος στη ρίζα κατά τη διάρκεια του χειμώνα και αντιστρόφως κατά τη διάρκεια του καλοκαιριού. Τα ριζώματα ενεργούν ως χώροι αποθήκευσης του αζώτου και του διοξειδίου του άνθρακα (Tufekcioglu *et al.*, 2003). Οι ποσότητες του αζώτου στο ριζικό σύστημα μειώνονται λόγω αυτής της μετακίνησης αυτής κατά τη διάρκεια της ανάπτυξης του φυλλώματος, ενώ περίπου το 50% του αζώτου που προσλαμβάνεται στην υπέργεια βιομάζα μετακινείται και πάλι στις ρίζες από τη στιγμή που τα φυτά γίνονται αδρανή (Garten *et al.*, 2010). Το συνολικό ποσό του αζώτου που μεταναστεύει πάλι από τις ρίζες στους βλαστούς και αντιστρόφως μπορεί να κυμαίνεται από 4 έως 10 kg N ανά στρέμμα (Lemus *et al.*, 2008).

1.3.14 Καλλιεργητικές απαιτήσεις

Η διαχείριση της καλλιέργειας εξαρτάται κύρια από τις εδαφικές και τις κλιματικές συνθήκες της περιοχής, οι οποίες καθορίζουν την επιλογή του γενοτύπου και της ποικιλίας (Fike *et al.*, 2006).

Για να μπορέσουμε να ελέγξουμε αν η συγκεκριμένη καλλιέργεια θα μπορούσε να αποτελέσει μια ικανοποιητική πρόταση για την αντικατάσταση παραδοσιακών καλλιεργειών θα πρέπει να ελεγχθούν κατά κύριο λόγο οι κλιματικές συνθήκες και τα εδαφολογικά χαρακτηριστικά της ευρύτερης περιοχής εγκατάστασης. Κάτι τέτοιο επιβάλλεται, δεδομένου ότι η προσαρμογή του γενοτύπου και ειδικότερα της ποικιλίας σε συγκεκριμένο περιβάλλον καθορίζει τελικά το μέγεθος της παραγωγής και την ανταπόκριση στις καλλιεργητικές τεχνικές που εφαρμόζονται.

1.3.14.1 Έδαφος

Το switchgrass προσαρμόζεται και αναπτύσσεται καλά σε ένα ευρύ φάσμα εδαφών: από αβαθή, πετρώδη έως περιστασιακά κορεσμένα με νερό ενώ αποδίδει ικανοποιητικά και σε εδάφη με χαμηλό pH ή χαμηλής γονιμότητας. Αντίθετα, δεν προσαρμόζεται στα πολύ βαριά αργιλώδη (Elbersen *et al.*, 2004). Σε αντίθεση με τα υπόλοιπα εαρινά αγρωστώδη, ανέχεται σε μεγάλο βαθμό την ξηρασία και την αλατότητα. Προτιμά τα βαθιά εδάφη τα οποία έχουν ικανοποιητική ικανότητα συγκράτησης νερού, εξαιτίας του πλούσιου ριζικού του συστήματος.

Ανεξάρτητα από το είδος του εδάφους που θα χρησιμοποιηθεί, η επιτυχής εγκατάσταση της καλλιέργειας απαιτεί η σπορά να πραγματοποιείται όταν η θερμοκρασία εδάφους

Κεφάλαιο: Εισαγωγή - Switchgrass “Panicum virgatum L.”

έχει αυξηθεί και υπάρχει διαθέσιμη υγρασία. Τα αμμώδη εδάφη έχουν την τάση να χάνουν υγρασία πιο γρήγορα, περιορίζοντας ενδεχομένως, την επιτυχία της εγκατάστασης και τις αποδόσεις σε βιομάζα. Επιπλέον, η βιομάζα που προορίζεται για καύση πρέπει να είναι χαμηλής περιεκτικότητας σε ανόργανα άλατα, συμπεριλαμβανομένου και του πυριτίου. Η περιεκτικότητα σε πυρίτιο των φυτών που καλλιεργούνται σε αμμώδη εδάφη είναι χαμηλότερη από αυτή των φυτών που καλλιεργούνται σε αργιλώδη εδάφη, καθιστώντας έτσι τα αμμώδη εδάφη πιο κατάλληλα για την παραγωγή βιομάζας (Lawrence *et al.*, 2006; Guretzky *et al.*, 2009; Wolf *et al.*, 2009).

Σε εδάφη με υψηλό pH η απόδοση σε βιομάζα μειώνεται σημαντικά ενώ το pH του εδάφους για τη βέλτιστη ανάπτυξη της καλλιέργειας κυμαίνεται μεταξύ 4,5 και 7,6 (Virgilio *et al.*, 2007). Οι επικρατούσες εδαφικές συνθήκες σε μια καλλιέργεια switchgrass, παίζουν σημαντικό ρόλο τόσο στο ύψος της παραγωγής όσο και στην ποιότητα της παραγόμενης βιομάζας.

1.3.14.2 Γονιμότητα εδάφους

Οι απαιτήσεις σε θρεπτικά στοιχεία εξαρτώνται από το ύψος της αναμενόμενης απόδοσης, την παραγωγικότητα του εδάφους, τις πρακτικές διαχείρισης, και τις κλιματικές συνθήκες. Οι περισσότερες έρευνες λίπανσης του switchgrass έχουν επικεντρωθεί στην αζωτούχο, επειδή συνήθως αποτελεί τον κύριο περιοριστικό παράγοντα στη θρέψη (Madakadze *et al.*, 1999; Muir *et al.*, 2001; Thomason *et al.*, 2004) και επιπλέον οι εδαφικές διεργασίες του αζώτου είναι πολύπλοκες.

1.3.14.3 Λίπανση

Οι απαιτήσεις σε λίπανση κάθε καλλιέργειας, εξαρτώνται κυρίως από την γονιμότητα του εδάφους, τις κλιματικές συνθήκες, από την αναμενόμενη παραγωγή και από την φύση της ίδιας της καλλιέργειας (Lemus *et al.*, 2008). Το switchgrass μπορεί εκ φύσεως να προσαρμοσθεί σε εδάφη με χαμηλά επίπεδα γονιμότητας σε σχέση με άλλες αγρωστώδεις καλλιέργειες. Μια ανάλυση εδάφους είναι πολύ σημαντική πριν από την εγκατάσταση της καλλιέργειας. Τα εδάφη θα πρέπει να εξετάζονται για τις τιμές του pH και για τα επίπεδα φωσφόρου (P) και καλίου (K). Είναι σημαντικό να διατηρηθούν τα βέλτιστα επίπεδα φωσφόρου και καλίου στο έδαφος. Εάν παρατηρηθούν ελλείψεις σε

Κεφάλαιο: Εισαγωγή - Switchgrass “*Panicum virgatum* L.”

φώσφορο (<10 ppm) και σε κάλιο (<90 ppm), τότε πρέπει να εφαρμοστούν και να ενσωματωθούν στο έδαφος πριν από τη σπορά οι απαραίτητες ποσότητες των παραπάνω θρεπτικών. Προσθήκη ασβεστίου (Ca) συνήθως δεν απαιτείται εκτός αν το pH του εδάφους μειωθεί κάτω του 5, όπου υπάρχει συνήθως σημαντική έλλειψη ανταλλαξιμών κατιόντων και κυρίως ασβεστίου και μαγνησίου. Κατά τη διάρκεια της εγκατάστασης της καλλιέργειας, η ποσότητα του αζώτου δεν πρέπει να υπερβαίνει τα 4,5 kg/στρ. Υπερβολική ποσότητα αζώτου από λιπάσματα, κοπριά ή άλλες οργανικές πηγές, ενθαρρύνει τον ανταγωνισμό με τα ζιζάνια με αποτέλεσμα την καθυστερημένη ανάπτυξη των φυτών. Η αζωτούχος λίπανση για την βέλτιστη εγκατάσταση της καλλιέργειας επιτρέπεται μετά το έτος εγκατάστασης της καλλιέργειας κατά την περίοδο της άνοιξης (Rinehart, 2006; Lawrence *et al.*, 2006; Nyoka *et al.*, 2007; Guretzky *et al.*, 2009; Vogel *et al.*, 2002).

1.3.14.3.1 Αζωτο

Η διαχείριση του αζώτου είναι μία πολύ σημαντική παράμετρος διότι αποτελεί βασικό συντελεστή του κόστους παραγωγής ενώ ταυτόχρονα επιβαρύνει σημαντικά και το λεγόμενο περιβαλλοντικό κόστος (Nelson *et al.*, 2006) καθώς αποτελεί εισροή υψηλής ενέργειας και μπορεί να ρυπάνει τους υπόγειους αβαθείς υδροφόρους ορίζοντες και τα επιφανειακά ύδατα.

Σε πείραμα που διεξήχθη μεταξύ των δύο οικοτύπων σε συνθήκες έλλειψης νερού και αζώτου αποδείχθηκε ότι ενώ η αντίδραση, στην έλλειψη νερού ήταν η ίδια, η έλλειψη αζώτου επηρέασε περισσότερο τον οικότυπο ορεινών περιοχών (upland), αν και παρατηρήθηκε υψηλότερη απόδοση σε ξηρή ουσία στον οικότυπο πεδινών περιοχών (lowland), η οποία αποδόθηκε στη χρονικά μεγαλύτερη βλαστική περίοδο.

Στις ΗΠΑ μελετήθηκαν οι διαφοροποιήσεις, στην απόδοση με άζωτο, κάλιο, φώσφορο και ασβέστιο και βρέθηκαν σταθερά θετικές αντιδράσεις μόνο στο άζωτο (McLaughlin *et al.*, 2005). Οι βέλτιστες τιμές N για τις μεταχειρίσεις του switchgrass ως ενεργειακό φυτό διαφέρουν ανάλογα με τη γεωγραφική περιοχή, τις περιβαλλοντικές και καιρικές συνθήκες, την ικανότητα διαθεσιμότητας εδαφικού αζώτου, καθώς και τη συχνότητα συγκομιδής (Thomason *et al.*, 2004; Aravindhakshan *et al.*, 2011; Brejda, 2000; Lemus *et al.*, 2009; Mulkey *et al.*, 2006).

Κεφάλαιο: Εισαγωγή - Switchgrass “*Panicum virgatum* L.”

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

Η καλλιέργεια του switchgrass όταν καλλιεργείται για παραγωγή βιομάζας (ενέργεια), συγκομίζεται κατόπιν ενός φθινοπωρινού-χειμερινού παγετού (αναλόγως της τοποθεσίας εγκατάστασης) και όταν ορισμένες θρεπτικές ουσίες και κυρίως το άζωτο θα έχουν μετατοπιστεί στη ρίζα (Vogel *et al.*, 2002). Η αποτελεσματικότητα της χρήσης του αζώτου (NUE) εξαρτάται από πολλούς παράγοντες, συμπεριλαμβανομένης της διαθεσιμότητας αζώτου του εδάφους, την πρόσληψη και την αφομοίωση, και του λόγου άνθρακα-αζώτου (C/N). Παρά το γεγονός ότι ο ορισμός της NUE είναι απλός, αν και η απόδοση βιομάζας στην εφαρμογή αζώτου έχει επανειλημμένα μελετηθεί, απαιτείται η εγκατάσταση μακροχρόνιων πειραμάτων αζωτούχου λιπαντικής αγωγής για τους κύριους εδαφικούς τύπους και τον προσδιορισμό της.

1.3.14.3.2 Φώσφορος και Κάλιο

Όσον αφορά στο κάλιο οι απαιτήσεις είναι μικρές και μόνο σε μεγάλη εδαφική έλλειψη γίνεται εφαρμογή, ενώ για τον φώσφορο ισχύουν τα ίδια με την διαφορά ότι το φυτό έχει αναπτύξει μηχανισμούς αξιοποίησης της συμβίωσης με μυκόρριζες (Elbersen *et al.*, 2001) και επομένως τα επόμενα χρόνια, δε δημιουργείται πρόβλημα έλλειψης.

Σε πολυετή πειράματα που διεξήχθησαν στην Αμερική, δεν υπήρξε καμία ανταπόκριση από την εφαρμογή P (Muir *et al.*, 2001), ενώ τα επίπεδα του φωσφόρου στο switchgrass μειώνονται με την ωριμότητα (Griffin *et al.*, 1983). Οι συγκεντρώσεις φωσφόρου στα επιμέρους μέρη των φυτών διαφέρουν, με την ταξιανθία να συσσωρεύει την υψηλότερη συγκέντρωση (Smith *et al.*, 1979).

1.3.14.4 Απαιτήσεις σε νερό

Το switchgrass μετά την εγκατάσταση του μπορεί να ανταπεξέλθει σε ακραίες περιόδους ξηρασίας, λόγω του μεγάλου βάθους των ριζών του και του C4 μεταβολισμού του, η απόδοσή του όμως σε βιομάζα θα είναι μειωμένη. Όπως προαναφέρθηκε, το ριζικό σύστημα των πολυετών φυτών, ειδικά των C4 γρασιδιών, μπορεί να έχει πρόσβαση σε αποθηκευμένο νερό βαθιά στο προφίλ του εδάφους και έτσι να εκμεταλλευτεί

Κεφάλαιο: Εισαγωγή - Switchgrass “Panicum virgatum L.”

περισσότερο νερό σε βάθος, σε σύγκριση με αυτή των ετήσιων καλλιεργειών (Hall, 2003).

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

Σε έρευνα όπου και μελετήθηκαν 4 διαφορετικές ποικιλίες (2 ορεινών οικοτύπων και 2 πεδινών) ως προς τις αντιδράσεις και τον βαθμό επηρεασμού τους σε συνθήκες στρες νερού αλλά και αζώτου, βρέθηκε ότι το επίπεδο και η διαθεσιμότητα των υπολοίπων παραγόντων που επηρεάζουν την παραγωγή, καθορίζει και τις ελάχιστες ανάγκες σε νερό (Stroup *et al.*, 2003). Στα χαμηλά επίπεδα αζώτου, η έλλειψη νερού επηρέασε την παραγωγή σε πολύ μικρότερο ποσοστό από ότι στα υψηλά επίπεδα αζωτούχου λίπανσης.

Επιπλέον, παρατηρήθηκε καλύτερη αντίδραση των οικοτύπων πεδινών περιοχών από ότι των ορεινών. Για το λόγο αυτό η απάντηση στο ερώτημα ποιες είναι οι ανάγκες σε νερό της καλλιέργειας είναι δύσκολη, διότι εξαρτάται από την διαθεσιμότητα του πόρου, την επιλογή ποικιλίας, τις εισροές σε λίπασμα και το ύψος της αναμενόμενης παραγωγής.

1.3.14.5 Ζιζάνια

Ο ανταγωνισμός των ζιζανίων με την καλλιέργεια μπορεί να επιφέρει σημαντική καθυστέρηση στην αποδεκτή απόδοση για ένα ή περισσότερα χρόνια (Schmer *et al.*, 2006). Τα ζιζάνια μπορούν να προκαλέσουν πρόβλημα στην καλλιέργεια κατά τον χρόνο εγκατάστασης, οπότε και κρίνεται απαραίτητος ο χημικός ή μηχανικός έλεγχός τους. Συχνά ο ανταγωνισμός με τα ζιζάνια είναι τόσο έντονος, που πολλές φορές επιφέρει την αποτυχία εγκατάστασης ικανοποιητικού αριθμού φυτών. Συνιστάται χρήση ζιζανιοκτόνου, πχ. Atrazine (2-chloro-N-ethyl-N'-(1-methylethyl)-1, 3, 5-triazine-2, 4-diamine) (Vassey *et al.*, 1985; Martin *et al.*, 1982) ή Quinclorac (3, 7-dichloro-8-quinolinecarboxylic acid) (Curran *et al.*, 2011). Στα επόμενα χρόνια και εφόσον έχει επιτευχθεί καλή εγκατάσταση της καλλιέργειας, η κάλυψη του χωραφιού είναι πλήρης

Κεφάλαιο: Εισαγωγή - Switchgrass “*Panicum virgatum* L.”

και σε συνδυασμό με την αναβλάστηση των φυτών δεν χρειάζεται ζιζανιοκτονία (Piscioneri *et al.*, 2001).

Σε εγκατεστημένη καλλιέργεια switchgrass, ο ανταγωνισμός με τα ζιζάνια κατά τη διάρκεια της δεύτερης καλλιεργητικής περιόδου είναι σε πολλές περιπτώσεις πολύ σημαντικός, αν και εφόσον υπήρχε φτωχή κατάληψη θέσεως από τα φυτά του switchgrass κατά τη διάρκεια του έτους σποράς. Με τον κατάλληλο έλεγχο των ζιζανίων κατά τη διάρκεια των δύο πρώτων ετών, μετέπειτα προβλήματα από τον ανταγωνισμό περιορίζονται ή εξαλείφονται.

Τα ανοιξιάτικα πολυετή ζιζάνια είναι σχετικά εύκολο να ελεγχθούν στην καλλιέργεια του switchgrass επειδή η περίοδος ανάπτυξής τους διαφέρει από εκείνη του switchgrass. Σε αδρανή περίοδο, για την αντιμετώπισή τους μπορεί να πραγματοποιηθεί εφαρμογή glyphosate. Η αντοχή της καλλιέργειας στο glyphosate στις αρχές της καλλιεργητικής περιόδου είναι μέτρια (Sanderson *et al.*, 2004). Τα χαμηλής ανάπτυξης εαρινά πολυετή ζιζάνια συχνά δεν είναι σε θέση να ανταγωνιστούν το switchgrass.

Στις περιπτώσεις όπου οι παραγωγοί μπορεί να χρησιμοποιήσουν ένα μέρος της καλλιέργειας του switchgrass για την παραγωγή βιοκαυσίμων και ένα άλλο για κτηνοτροφή, είναι σημαντικό να εξεταστούν οι περιορισμοί για τις ζωοτροφές και να αποφασιστεί ο τρόπος αντιμετώπισης των ζιζανίων.

Η συνιστώμενη πρακτική ελέγχου των ζιζανίων σε αγρούς με switchgrass είναι η χρήση προφυτρωτικών ζιζανιοκτόνων, ειδικότερα μάλιστα όταν πρόκειται για τον έλεγχο ετησίων αγροστώδων. Μη εκλεκτικά ζιζανιοκτόνα, όπως το glyphosate είναι αποτελεσματικά στην αντιμετώπιση των ζιζανίων πριν την εγκατάσταση. Σε πειράματα που διεξήχθησαν, το Atrazine αποτέλεσε ένα αποτελεσματικό ζιζανιοκτόνο κατά την εγκατάσταση της καλλιέργειας, ελέγχοντας κυρίως τα εποχικά ετήσια αγροστώδη και τα πλατύφυλλα ζιζάνια (Vassey *et al.*, 1985; Martin *et al.*, 1982). Οι αποδόσεις της βιομάζας της καλλιέργειας που σημειώθηκαν στις μεταχειρίσεις με εφαρμογή ατραζίνης ήταν υψηλότερες από ότι σε εκείνες χωρίς (Rehm, 1984; Martin *et al.*, 1982). Ένα άλλο ζιζανιοκτόνο που έδειξε αρκετά καλά αποτελέσματα ελέγχου αποτελεί το Quinclorac (Curran *et al.*, 2011). Τέλος σε πειράματα της καλλιέργειας switchgrass που διεξήχθησαν, μεταχειρίσεις με ένα προφυτρωτικό συνδυασμό quinclorac και atrazine

Κεφάλαιο: Εισαγωγή - Switchgrass “Panicum virgatum L.”

σημειώθηκαν μεγαλύτερες αποδόσεις βιομάζας σε σύγκριση με εκείνες που εφαρμόστηκε μόνο ένα εκ των δύο σκευασμάτων (Mitchell *et al.*, 2010).

1.3.14.6 Πτηνά

Ως εχθροί της καλλιέργειας του switchgrass μπορούν να χαρακτηριστούν και ορισμένα πτηνά που χρησιμοποιούν τους σπόρους ή και τη βλάστηση, ως τροφή. Οι ζημιές που προκαλούνται από τα πτηνά, ωστόσο, θεωρούνται πολύ μικρής οικονομικής σημασίας.

1.3.15 Εγκατάσταση της καλλιέργειας του switchgrass

Τα φυτά switchgrass πρέπει να αναπτύξουν δύο ή περισσότερα αδέρφια για να επιβιώσουν το χειμώνα (O'Brien *et al.*, 2008). Υπό κανονικές καιρικές συνθήκες και σωστή αγρονομική διαχείριση, το switchgrass μπορεί να επιτύχει το 50% του πλήρους δυναμικού απόδοσης κατά τη διάρκεια του έτους εγκατάστασης (Schmer *et al.*, 2006). Για το λόγο αυτό, μεγάλης σημασίας αποτελεί η προετοιμασία εγκατάστασης της καλλιέργειας.

1.3.15.1 Προετοιμασία σποροκλίνης

Η προετοιμασία του εδάφους περιλαμβάνει όργωμα και κατεργασία με σβάρνα. Το όργωμα επιτρέπει τον καλύτερο αερισμό του εδάφους, την ευκολότερη διείσδυση του νερού και τον κατάλληλο θρυμματισμό του εδάφους ώστε να έρθουν οι σπόροι σε καλύτερη επαφή με το χώμα. Η κατεργασία με δισκοσβάρνα-σβολοκόφτη συντελεί στον τελικό θρυμματισμό και την ισοπέδωση του εδάφους, προετοιμάζοντας έτσι κατάλληλα το έδαφος για να δεχθεί το σπόρο.

Το switchgrass έχει εγκατασταθεί με επιτυχία σε διάφορες πρακτικές οργώματος, αλλά περιορισμένες είναι οι μελέτες άρωσης στο ίδιο πείραμα αγρού και την τελική σύγκριση της απόδοσης καλλιέργειας (Parrish *et al.*, 2005). Η προετοιμασία του εδάφους πιθανότατα θα εξαρτηθεί από τη δυνατότητα πρόσβασης του εξοπλισμού, τη διάβρωση του εδάφους, προηγούμενες καλλιέργειες, καθώς και αρχικές συνθήκες υγρασίας του εδάφους. Η εγκατάσταση του switchgrass μπορεί να γίνει και χωρίς να προηγηθεί όργωμα, αν η επιφάνεια του εδάφους είναι απαλλαγμένη από ζιζάνια και υπολείμματα της προηγούμενης καλλιέργειας. Η σπορά χωρίς όργωμα παρουσιάζει αρκετά πλεονεκτήματα, συμπεριλαμβανομένων της διατήρησης της γονιμότητας και της

Κεφάλαιο: Εισαγωγή - Switchgrass “Panicum virgatum L.”

παραγωγικότητας του εδάφους, της διατήρησης της υγρασίας και της εξοικονόμησης καυσίμων, εργασίας και χρόνου.

Το συμβατικό όργωμα μπορεί να ελέγξει ή να μειώσει τους εποχικούς πληθυσμούς ζιζανίων πριν από τη σπορά, καθώς και να μειώσει τα υπολείμματα από τα προηγούμενα συστήματα καλλιέργειας που μπορεί να επηρεάσουν την σωστή τοποθέτηση των σπόρων. Η θερμοκρασία του εδάφους θα είναι υψηλότερη στο συμβατικό όργωμα σε σύγκριση με την πρακτική της μη άροσης κατά τη διάρκεια της σποράς την άνοιξη. Ακολουθώντας την πρακτική του οργώματος, οι σχηματισμένοι σβόλοι χώματος πρέπει να μειωθούν ή να εξαλειφθούν με διαδοχικά οργώματα, χρήση σβολοκόφτη ή δισκοσβάρνας, ισοπέδωση, ή κυλίνδρισμα του εδάφους. Το κυλίνδρισμα του εδάφους πριν τη σπορά είναι πιο αποτελεσματικό στην εγκατάσταση του switchgrass σε σύγκριση με το κυλίνδρισμα του χώματος κατόπιν της σποράς (Monti *et al.*, 2001).

1.3.15.2 Σπορά

Η σπορά του switchgrass μπορεί να γίνει είτε γραμμικά, είτε στα πεταχτά, αρκεί η επιφάνεια του εδάφους να είναι ομαλή και απαλλαγμένη από ζιζάνια και υπολείμματα της προηγούμενης καλλιέργειας. Η γραμμική σπορά, μπορεί να γίνει με τη χρήση είτε μιας σπαρτικής σιτηρών και μικρών σπόρων, είτε μιας σπαρτικής ακριβείας (πνευματική σπαρτική). Όταν το έδαφος είναι ακαλλιέργητο, χρησιμοποιούνται σπαρτικές μηχανές απευθείας σποράς, οι οποίες σπέρνουν γραμμικά, διαθέτοντας και πρόσθετα εξαρτήματα για τη διάνοιξη αυλακιών. Η σπορά στα πεταχτά γίνεται με διασκόρπιση του σπόρου στην επιφάνεια του εδάφους και σε τυχαίες θέσεις και αποστάσεις. Για τη σπορά στα πεταχτά συνήθως χρησιμοποιούνται λιπασματοδιανομείς κατάλληλα ρυθμισμένοι ή με πρόσθετα εξαρτήματα.

Η εγκατάσταση του φυτού γίνεται με σπόρους. Ανεξάρτητα από τη μέθοδο σποράς που θα ακολουθηθεί, πρέπει να δοθεί ιδιαίτερη προσοχή στην ποιότητα του σπόρου. Ο σπόρος πρέπει να είναι πιστοποιημένος, υψηλής φυτρωτικής ικανότητας και να έχει ολοκληρωθεί ο λήθαργος. Οι σπόροι του switchgrass, είναι μικροί και σκληροί και έχουν γυαλιστερό περίβλημα. Υπάρχουν 500-1000 σπόροι σε ένα γραμμάριο, με το εύρος αυτό να εξαρτάται, από τον γενότυπο και την ποικιλία.

Κεφάλαιο: Εισαγωγή - Switchgrass “Panicum virgatum L.”

Λόγω του μικρού μεγέθους που έχουν οι σπόροι του switchgrass, το βάθος σποράς τους, η θερμοκρασία και η υγρασία του εδάφους αποτελούν περιοριστικούς παράγοντες φυτρώματος. Το βάθος σποράς, πρέπει να είναι από 10 έως 15 mm και σε καμία των περιπτώσεων άνω των 20 mm. Η θερμοκρασία εδάφους πρέπει να είναι πάνω από 10 °C. Η υγρασία του εδάφους είναι απαραίτητη, αλλά πρέπει να αποφεύγεται η σπορά σε πολύ υγρά χωράφια. Η ελάχιστη θερμοκρασία φυτρώματος μπορεί να είναι 10 °C, αλλά σε θερμοκρασίες κάτω από 15,5 °C το φύτευμα καθυστερεί αρκετά, ενώ στους 29,5 °C οι περισσότεροι σπόροι φυτρώνουν σε διάστημα 3 ημερών (Lewandowski *et al.*, 2003). Έρευνες έδειξαν ότι το πότισμα φυτρώματος και κατόπιν ποτίσματα σε διαστήματα 7-10 ημερών αύξησαν το ποσοστό των εγκατεστημένων φυτών (McLaughlin *et al.*, 2005).

1.3.15.3 Ποσότητα σπόρου

Η ποσότητα σπόρου που απαιτείται για τη σπορά ενός στρέμματος κυμαίνεται από 0,75 έως 2 κιλά, αναλόγως της ποικιλίας. Προτεινόμενες ποσότητες σπόρου switchgrass είναι 200-400 σπόροι ανά τετραγωνικό μέτρο. Μικρότερη πυκνότητα σποράς είναι επιθυμητή, όταν η κατάσταση της σποροκλίνης είναι άριστη και το επίπεδο του ληθάργου των σπόρων είναι χαμηλό. Σε άριστη σποροκλίνη, απαλλαγμένη από ζιζάνια, μία ποσότητα σποράς των 107 σπόρων/m² δίδει επαρκή φυτά για τη διατήρηση της φυτείας (Vogel, 1987). Πειράματα όπου μελετήθηκαν οι διάφορες ποσότητες σπόρου της τάξης των 0.448 έως 1.120 kg/στρ. έδειξαν ότι οι αποδόσεις βιομάζας κατά τη διάρκεια των χρόνων μετά την εγκατάσταση είναι παρόμοιες (West *et al.*, 2011).

1.3.15.4 Λήθαργος του σπόρου

Οι σπόροι του switchgrass, ακόμη και εντός της ίδιας παρτίδας, έχουν ποικίλους βαθμούς ληθάργου, αποτελώντας ένα σημαντικό εμπόδιο για την ευρεία διάδοση της καλλιέργειας (Shen *et al.*, 2001; Zarnstorff *et al.*, 1994).

Αρκετοί συγγραφείς υποδεικνύουν ότι ο λήθαργος αποτελεί ένα συνδυασμό φυσικών και φυσιολογικών παραγόντων με ενδεχόμενη εμπλοκή, αλλά σε μικρότερο βαθμό, και κάποιων μορφολογικών (Duclos, 2009; Jensen *et al.*, 1991; Zhang *et al.*, 1989). Το περίβλημα του σπόρου του switchgrass είναι υπεύθυνο για το λήθαργο. Τα εξωτερικά καλύμματα δρουν ως φραγμοί για το νερό και την πρόσληψη οξυγόνου, παράγουν και δημιουργούν αναστολές της βλάστησης, τροποποιούν το φως που φθάνει στα έμβρυα,

Κεφάλαιο: Εισαγωγή - Switchgrass “Panicum virgatum L.”

και δρουν ως φυσικά εμπόδια αναστολής της βλάστησης (Jensen *et al.*, 1991). Οι μηχανισμοί όμως του λήθαργου των σπόρων στο switchgrass δεν είναι πλήρως κατανοητοί.

1.3.15.5 Αποστάσεις σποράς

Η πυκνότητα σποράς διαμορφώνεται ανάλογα με το πλάτος των σειρών και πρέπει να είναι περίπου στους 85 σπόρους/m σειράς για σειρές πλάτους 15 cm (Elbersen *et al.*, 2004), ή 100 σπόρους/m σειράς για σειρές πλάτους 18 cm, 120 σπόρους/m σειράς για σειρές πλάτους 20 cm και 165 σπόρους/m σειράς για σειρές πλάτους 30 cm. Οι αποστάσεις των σειρών όπως και το επίπεδο του αζώτου φαίνεται ότι επηρεάζουν την δέσμευση του C, αλλά και την κατανομή μεταξύ του υπέργειου μέρους του φυτού και των ριζών. Σε αυτές τις συνθήκες τα φυτά εκμεταλλεύονται περισσότερο χώρο και εδαφικούς πόρους, επιτυγχάνουν μεγαλύτερο μέγεθος και αποδίδουν περισσότερο σε βιομάζα.

1.3.16 Συγκομιδή

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

Οι παράγοντες που καθορίζουν την εποχή για την βελτιστοποίηση της παραγωγής βιομάζας, είναι οι καιρικές συνθήκες, οι συνθήκες του εδάφους καθώς και η ποιότητα της πρώτης ύλης (Lewandowski *et al.*, 1997; Boateng *et al.*, 2006).

Η χρονική στιγμή της συγκομιδής έχει σημαντικό ρόλο στη γενικότερη θρέψη του φυτού. Η εποχή της συγκομιδής θα πρέπει να είναι περίπου ένα μήνα μετά τον πρώτο φθινοπωρινό παγετό γιατί παρατηρήθηκε σημαντική μεταφορά θρεπτικών από τα υπέργεια μέρη προς τις ρίζες και επομένως επέφερε μείωση των απαιτήσεων σε θρεπτικά για την επόμενη χρονιά (McLaughlin *et al.*, 2005; Parrish *et al.*, 2005). Ωστόσο, μπορεί να χρειαστούν και περισσότερες περιόδους με παγετό πριν το φυτό εισέλθει πλήρως σε λήθαργο. Η καθυστέρηση της συγκομιδής αρκετές εβδομάδες μετά τον παγετό επιτρέπει

Κεφάλαιο: Εισαγωγή - Switchgrass “*Panicum virgatum* L.”

την μετατόπιση των θρεπτικών ουσιών στα στελέχη και το ριζικό σύστημα για χειμερινή αποθήκευση. Ωστόσο, η καθυστέρηση της συγκομιδής για μεγάλο χρονικό διάστημα μετά τον παγετό μπορεί να οδηγήσει σε σημαντική απώλεια βιομάζας. Αυτό οφείλεται στις καιρικές συνθήκες του χειμώνα, που προκαλούν απώλεια της ξηράς ουσίας (φυλλώδους ιστού), υποβάθμιση της βιομάζας και μείωση της απόδοσης (Adler *et al.*, 2006).

Έρευνα αναφέρει ότι, η βιομάζα του switchgrass μειώνεται κατά 10-20% μέχρι τη θανάτωση από παγετό (Vogel *et al.*, 2002). Επιπλέον, η ποιότητα της πρώτης ύλης βελτιώνεται λόγω της χαμηλής περιεκτικότητας σε υγρασία στην υπέργεια βιομάζα, καθώς και της μείωσης της περιεκτικότητας σε άζωτο (N), της συγκέντρωσης άλλων μεταλλικών στοιχείων (K, Ca) και του νατρίου (Na) που αποτελούν παράγοντες αποτυχίας των συστημάτων άμεσης καύσης (Miles *et al.*, 1996; Lewandowski *et al.*, 1997).

Όταν κατά την περίοδο της συγκομιδής επικρατούν έντονες βροχοπτώσεις και τα εδάφη είναι υγρά, η συγκομιδή, η αποξήρανση και η δεματοποίηση της βιομάζας δυσχεραίνονται (Cherney, 2005). Η βιομάζα αλλοιώνεται και οι ανθοταξίες των φυτών καταστρέφονται.

Υψηλής απόδοσης αγροί (1,2 t/στρ.) μπορούν να συλλεγούν και να δεθούν με το διαθέσιμο εξοπλισμό χορτονομής (Mitchell *et al.*, 2010). Κατά τη συγκομιδή πρέπει να δοθεί προσοχή σε ορισμένα τεχνικά χαρακτηριστικά (π.χ. ύψος κοπής).

Το switchgrass δεν πρέπει να θερίζεται σε ύψος μικρότερο των 10 cm, ώστε να διατηρούνται στις βάσεις των στελεχών τα θρεπτικά συστατικά και οι υδατάνθρακες που είναι αναγκαία για την αναβλάστηση της άνοιξης. Επιπλέον, το ύψος αυτό επιτρέπει τη διατήρηση της υγρασίας, τη μείωση της διάβρωσης του εδάφους και τη συγκράτηση του χιονιού, η οποία παρέχει μόνωση και μειώνει την καταστροφή των κεφαλών (Garland, 2008). Επιπλέον, ύψος κοπής περί τα 10-15 cm, διατηρεί τα σειράδια αυξημένα πάνω από την επιφάνεια του εδάφους και διευκολύνει την κίνηση του αέρα και την ταχεία ξήρανση με λιγότερο από 20% υγρασία πριν την δεματοποίηση (Vogel *et al.*, 2011). Μετά τη συγκομιδή, το switchgrass μπορεί να δεθεί σε μεγάλες στρόγγυλες μπάλες ή μεγάλα ορθογώνια δέματα (Vogel *et al.*, 2011; Mitchell *et al.*, 2010).

Κεφάλαιο: Εισαγωγή - Switchgrass “Panicum virgatum L.”

Η συγκομιδή του switchgrass μία μόνο φορά το χρόνο, φαίνεται να είναι το πιο οικονομικό σύστημα συγκομιδής για την παραγωγή βιομάζας. Παρόλα αυτά στις πιο ψυχρές και υγρές περιοχές, η μόνη αξιόπιστη εναλλακτική λύση για τη συγκομιδή της βιομάζας είναι ένα σύστημα δύο θερισμών. Με την μέθοδο αυτή η πρώτη συγκομιδή πραγματοποιείται στα μέσα με τέλη του καλοκαιριού και η δεύτερη το φθινόπωρο, όταν ο καιρός το επιτρέπει. Τα μειονεκτήματα της μεθόδου αυτής είναι ότι η συγκέντρωση του αζώτου στην βιομάζα είναι σχετικά υψηλή κατά τη διάρκεια της πρώτης συγκομιδής και συνεπάγεται υψηλή απομάκρυνση αζώτου από τον αγρό, με αποτέλεσμα να χρειάζεται εφαρμογή επιπλέον αζωτούχου λίπανσης.

Ο πρωταρχικός στόχος των περισσότερων πρώτων υλών των φυτών βιοενέργειας είναι η μέγιστη παραγωγή βιομάζας υψηλής περιεκτικότητας σε λιγνίνη (Mitchell *et al.*, 2010; Hohenstein *et al.*, 1994). Ανάλογα με την κλιματική περιοχή, η βιομάζα του switchgrass μπορεί να μεγιστοποιηθεί με ένα κόψιμο ή με ένα σύστημα πολλαπλών συγκομιδών (Hancock, 2009; Monti *et al.*, 2008; Sanderson *et al.*, 1999; Vogel *et al.*, 2002). Οι περισσότερες όμως έρευνες υποστηρίζουν μια ενιαία ετήσια συγκομιδή για τη βελτιστοποίηση της βιομάζας και των ενεργειακών εισροών, καθώς και τη διατήρηση της καλλιέργειας.

Όπως προαναφέρθηκε, η έρευνα γύρω από το χρόνο συγκομιδής ορίζει ότι μία ενιαία συγκομιδή μετά την άνθηση μεγιστοποιεί την απόδοση, αλλά μια συγκομιδή μετά από παγετό εξασφαλίζει τη διατήρηση στο χρόνο, ελαχιστοποιώντας την απομάκρυνση θρεπτικών συστατικών και ειδικότερα του N (Hancock, 2009).

Εναλλακτική εποχή συγκομιδής αποτελεί η ερχομένη άνοιξη, διατηρώντας την καλλιέργεια στον αγρό κατά τη διάρκεια του χειμώνα. Η καθυστερημένη συγκομιδή την άνοιξη μειώνει την απόδοση κατά 20-40% σε σύγκριση με τη συγκομιδή του φθινοπώρου μετά τον πρώτο παγετό, αλλά δεν έχει καμία επίδραση στην ενεργειακή απόδοση αεριοποίησης (Adler *et al.*, 2006).

1.3.17 Αποθήκευση

Μετά τη συγκομιδή, το switchgrass μπορεί να δεθεί και να αποθηκευθεί σε μεγάλες στρόγγυλες ή ορθογώνιες μπάλες (Vogel *et al.*, 2011; Mitchell *et al.*, 2010), ή να συγκομισθεί και να αποθηκευθεί υπό τη μορφή ενσιρώματος.

Η πυκνότητα της μπάλας ποικίλει ανάλογα με την περίοδο συγκομιδής, με τις στρόγγυλες μπάλες που συγκομίσθηκαν κατά την άνθηση να έχουν μεγαλύτερη πυκνότητα από τις ορθογώνιες που δέθηκαν μετά τον πρώτο παγετό.

Η διαφορά των μηχανών των μεγάλων ορθογώνιων δεμάτων έναντι των στρόγγυλων μπαλών, είναι ότι δουλεύουν συνεχώς, χωρίς την ανάγκη για διακοπή και εκτιμάται ότι θα κοστίσει λιγότερο ανά μονάδα περιοχής συγκομιδής (Lazarus *et al.*, 2005). Επιπλέον οι ορθογώνιες μπάλες έχουν τη δυνατότητα να αποθηκευθούν ευκολότερα αλλά και να εκμεταλλευτούν το χώρο κατά τη μεταφορά και επομένως να μειώσουν το κόστος μεταφοράς ανά τη συγκομισθείσα βιομάζα.

Οι στρόγγυλες μπάλες switchgrass έχουν λιγότερες απώλειες αποθήκευσης, όταν αποθηκεύονται έξω, δεδομένου ότι είναι λιγότερο επιρρεπείς στη διείδυση του νερού, ιδίως όταν είναι περιτυλιγμένες με πλαστική μεμβράνη (Hess *et al.*, 2009). Σε έρευνα που διεξήχθη βρέθηκε ότι οι περιτυλιγμένες στρόγγυλες μπάλες είχαν 60-70% λιγότερες απώλειες σε ξηρή ουσία σε σύγκριση με στρόγγυλες μπάλες που δένονταν με πλαστικό νήμα (Shinners *et al.*, 2006).

Βασικοί παράγοντες στην ελαχιστοποίηση της απώλειας αποθήκευσης υπό τη μορφή μπάλας είναι η εξασφάλιση χαμηλών επιπέδων υγρασίας πριν από την αποθήκευση και την προστασία από την υγρασία κατά τη διάρκεια της αποθήκευσης. Χαμηλή σχετική υγρασία και χαμηλές θερμοκρασίες περιβάλλοντος κατά την αποθήκευση, μειώνουν επίσης τις απώλειες ξηρής ουσίας και την υποβάθμιση της σύνθεσης.

Η μικροβιακή ανάπτυξη και αποδόμηση κατά την αποθήκευση των μπαλών του switchgrass είναι αυξημένη σε βιομάζα με υψηλότερα επίπεδα N ή με αυξημένα διαλυτά σάκχαρα (Hess *et al.*, 2009). Το συνολικό N και η περιεκτικότητα σε διαλυτά σάκχαρα στο switchgrass καθορίζονται σε μεγάλο βαθμό από τις ημερομηνίες συγκομιδής (Dien *et al.*, 2006). Για την αποθήκευση της βιομάζας του switchgrass υπό τη μορφή μπαλών, είναι επιθυμητές συνθήκες που μειώνουν την πιθανότητα ανάπτυξης και εξάπλωσης των

Κεφάλαιο: Εισαγωγή - Switchgrass “Panicum virgatum L.”

ασθενειών της καλλιέργειας, μειώνουν τους πληθυσμούς των τρωκτικών και παραγωγή σπορίων μούχλας (Hess *et al.*, 2009).

Τέλος, στην αποθήκευση του switchgrass με τη μέθοδο του ενσίρωματος η περιεκτικότητα της βιομάζας σε υγρασία κατά τη στιγμή της παραλαβής είναι 40%. Τα πλεονεκτήματα, της αποθήκευσης σε ενσίρωμα, περιλαμβάνουν τη μείωση του κόστους συγκομιδής (κόστος δεσίματος και φόρτωσης μπαλών), λιγότερες απώλειες μάζας κατά την αποθήκευση, βελτίωση της ανάκαμψης των κυτταρικών τοιχωμάτων του switchgrass κατά τη διάρκεια ενζυματικής υδρόλυσης και χαμηλότερο ρίσκο κινδύνου εκδήλωσης πυρκαγιάς κατά τη διάρκεια της αποθήκευσης (Digman *et al.*, 2010a). Μειονέκτημα της μεθόδου αποθήκευσης σε ενσίρωμα, είναι το υψηλό κόστος εξοπλισμού και δομής αποθήκευσης σε σύγκριση με το συμβατικό σύστημα συγκομιδής και δεσίματος μπαλών (Collins *et al.*, 2003).

1.4 Χρήσεις του switchgrass

Το switchgrass αποτελεί μια πολλά υποσχόμενη καλλιέργεια λόγω της υψηλής προστιθέμενης αξίας των χρήσεών της, των υψηλών αποδόσεων παραγωγής, των χαμηλών απαιτήσεων γεωργικών εισροών και των πολλών και θετικών περιβαλλοντικών επιπτώσεων (Keshwani *et al.*, 2009).

Πολλές είναι οι χρήσεις του switchgrass, όπως για βόσκηση από ορισμένα ζώα, για προστασία από τη διάβρωση του εδάφους, ως βιότοπος για την άγρια φύση, αλλά και ως ζωοτροφή. Είναι πλούσιο σε κυτταρίνη, καθιστώντας το έτσι ελκυστικό ως πηγή για κυτταρινική αιθανόλη (Schmer *et al.*, 2008).

Το switchgrass είναι υπό εξέταση για μια ευρεία σειρά χρήσεων (Parrish *et al.*, 2005):

- Χορτονομή για βοσκή
- Σανό για ζωοτροφή
- Ενέργεια:
 - Καύση (στερεά, υγρά και αέρια καύσιμα)
 - Κίνηση (υγρά και αέρια καύσιμα)
 - Ηλεκτρισμό (στερεά, υγρά και αέρια καύσιμα)
- Ίνα ή πολτό για χαρτί
- Φυτοαποκατάσταση – αποκατάσταση εδαφών ρυπασμένων από βαρέα μέταλλα (σε περιοχές μεταλλευτικών εγκαταστάσεων)
- Παραγωγή πλαστικών, φαρμακευτικών ειδών κ.λπ.
- Έλεγχος διάβρωσης (κανάλια, αναχώματα, κ.λπ.)
- Φυτικές λωρίδες φίλτρων (μείωση της απορροής του χόματος και των θρεπτικών ουσιών)
- Αποκατάσταση/σταθεροποίηση των αμμόλοφων και των διαταραγμένων περιοχών
- Υπόστρωμα για καλλιέργεια μανιταριών
- Βιότοπος άγριας φύσης

1.4.1 Ζωοτροφή

Το switchgrass αποτελεί μια θρεπτική και γευστική τροφή για τα περισσότερα ζώα και κυρίως τα βοοειδή. Χρησιμοποιείται κυρίως για βοσκή, αλλά και για παραγωγή σανού. Η ποιότητά του ως κτηνοτροφή είναι παρόμοια με αυτή των περισσότερων αγρωστωδών και εξαρτάται κυρίως από την ωριμότητά του. Κατά τη διάρκεια της άνοιξης, το switchgrass έχει σχεδόν 15% περιεκτικότητα σε ακατέργαστες πρωτεΐνες και πάνω από 70% περιεκτικότητα σε εύπεπτες ξηρές ουσίες. Οι συγκεντρώσεις όμως αυτές μέχρι τα μέσα του καλοκαιριού μειώνονται και αυξάνονται, αντίστοιχα. Κατά τη διάρκεια της ωρίμανσης, αυξάνει η περιεκτικότητά του σε ίνες, κάτι που το καθιστά λιγότερο κατάλληλο για ζωοτροφή. Κατάλληλη εποχή για συγκομιδή ή βόσκηση είναι η περίοδος όπου τα φυτά έχουν ύψος 20-30 cm και η περιεκτικότητά τους σε θρεπτικά συστατικά είναι η μεγαλύτερη. Όμως το switchgrass δεν είναι κατάλληλο για ζώα όπως τα άλογα, οι κατσίκες και τα πρόβατα διότι περιέχει τοξικές χημικές ενώσεις, που ονομάζονται σαπωνίνες, οι οποίες προκαλούν φωτοευαισθησία και επηρεάζουν τα εσωτερικά όργανα και την ηπατική λειτουργία (Cowie *et al.*, 2006; Sedivec *et al.*, 2009; Guretzky *et al.*, 2009; USDA NRCS 2001/2002).

1.4.2 Ενέργεια από βιομάζα κεχριού

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

Το switchgrass ξεκίνησε να ερευνάται ως ενεργειακή καλλιέργεια από τα μέσα της δεκαετίας του 1980, λόγω των υψηλών αποδόσεων που παρουσίαζε ακόμα και όταν καλλιεργόταν σε άγονες εκτάσεις. Τα τελευταία χρόνια αξιολογείται πλέον για χρήση σε διάφορες διεργασίες μετατροπής της βιοενέργειας, συμπεριλαμβανομένων της

Κεφάλαιο: Εισαγωγή - Χρήσεις του Switchgrass

κυτταρινικής παραγωγής αιθανόλης, του βιοαερίου, καθώς και της απευθείας καύσης για παραγωγή θερμικής ενέργειας.

1.4.2.1 Παραγωγή βιοαιθανόλης

Η βιοαιθανόλη είναι μία αλκοόλη που παράγεται μέσω αλκοολικής ζύμωσης και απόσταξης. Είναι βιοαποικοδομήσιμη, χαμηλής τοξικότητας και προκαλεί πολύ μικρή περιβαλλοντική μόλυνση σε περίπτωση απορροής της στο περιβάλλον. Είναι ένα καύσιμο υψηλού αριθμού οκτανίων (113 οκτάνια) και χρησιμοποιείται για την αύξηση του αριθμού οκτανίων της βενζίνης και για τη βελτίωση της ποιότητάς της.

Η βιομηχανία παραγωγής βιοαιθανόλης χρησιμοποιεί δύο ειδών πρώτες ύλες για την παραγωγή βιοαιθανόλης: α) την παραγωγή από χλωρή βιομάζα πλούσια σε άμυλα ή σάκχαρα, και β) την παραγωγή από βιομάζα προερχόμενη είτε από υπολείμματα καλλιεργειών είτε από φυτά καλλιεργούμενα για τον σκοπό αυτό, χρησιμοποιώντας την κυτταρίνη, την ημικυτταρίνη και τη λιγνίνη.

Η παραγωγή αιθανόλης από κυτταρινούχα υποστρώματα με τη βοήθεια διαφόρων τεχνολογιών ενζυματικής υδρόλυσης, κατά τις οποίες οι πολυσακχαρίτες διασπώνται σε μονοσακχαρίτες (γλυκόζη, φρουκτόζη) είναι μια διαδικασία που συνεχώς βελτιώνεται. Οι μονοσακχαρίτες αποτελούν την πρώτη ύλη για την παραγωγή αιθανόλης (Dien *et al.*, 2006).

Αναλύσεις που έγιναν από το Εθνικό Εργαστήριο Ανανεώσιμης Ενέργειας (National Renewable Energy Laboratory) των ΗΠΑ, έδειξαν ότι το switchgrass αποτελεί κατάλληλο υπόστρωμα για παραγωγή αιθανόλης, με υψηλή παραγωγικότητα περί τα 329 L/t (Varvel *et al.*, 2007).

Η διαδικασία παραγωγής της βιοαιθανόλης από το switchgrass αποτελείται από τρία διαφορετικά μέρη. Το πρώτο είναι η αεριοποίηση των πρώτων υλών. Το δεύτερο μέρος περιλαμβάνει τον καθαρισμό του αερίου από στερεά καθώς και άλλες ενώσεις όπως υδρογονάνθρακες, NH₃, CO₂ ή H₂S και την προσαρμογή της σύνθεσης του αερίου. Τέλος, το τρίτο μέρος στο οποίο λαμβάνει χώρα η σύνθεση της αιθανόλης και περιλαμβάνει τη ζύμωση και τη παραγωγή αερίου υψηλής περιεκτικότητας σε αλκοόλες (Keshwani *et al.*, 2009).

1.4.2.2 Καύση

Τα βασικά χαρακτηριστικά που καθορίζουν την καταλληλότητα των ενεργειακών καλλιιεργειών για καύση ή αεριοποίηση είναι τα εξής: α) το συνολικό περιεχόμενο ενέργειας, β) η περιεκτικότητα σε υγρασία και γ) η χημική σύνθεση της στάχτης που παράγεται στην καύση.

Το συνολικό περιεχόμενο ενέργειας καθορίζει την μέγιστη ποσότητα θερμότητας που μπορεί να παραχθεί και τελικά την ποσότητα ηλεκτρικής ενέργειας που μπορεί να παραχθεί. Για το switchgrass το περιεχόμενο ενέργειας, ποικίλει από περιοχή σε περιοχή και αναλόγως του γεωγραφικού πλάτους με ένα εύρος που κυμαίνεται από 16,4 MJ/kg (Lemus *et al.*, 2002) μέχρι 18,4 MJ/kg (McLaughlin *et al.*, 1996).

Η περιεκτικότητα της βιομάζας του switchgrass σε νάτριο, κάλιο, ασβέστιο, χλώριο και μαγνήσιο επιδρά στη θερμική επεξεργασία, επηρεάζοντας τη θερμοκρασία καύσης, την περιεκτικότητα σε στάχτη και τη διάβρωση των χώρων καύσης (Fahmi *et al.*, 2007).

- Παραγωγή βιοαερίου

Το βιοαέριο παράγεται από την αναερόβια ζύμωση της βιομάζας. Αποτελείται τυπικά από 65% μεθάνιο και 35% διοξείδιο του άνθρακα μπορεί να χρησιμοποιηθεί για την παραγωγή θερμότητας και ηλεκτρικής ενέργειας και ως καύσιμο για μηχανές εσωτερικής καύσης.

- Παραγωγή πελλέτας

Το switchgrass δεδομένου ότι χαρακτηρίζεται από πολύ υψηλές αποδόσεις σε ξηρή βιομάζα και απαιτεί λιγότερη ενέργεια για την ξήρανση των φυτών σε σύγκριση με το ξύλο είναι μια πολλά υποσχόμενη πρώτη ύλη για την παραγωγή πελλέτας.

Οι ιδιότητες των “pellet” από switchgrass έχουν βρεθεί ότι έχει πυκνότητα μάζας ίση με 445 kg/m³, θερμογόνο δύναμη 19,2 MJ/kg, και στάχτη 4,5 % (Mani *et al.*, 2006; Samson *et al.*, 2006). Όσον αφορά στο ποσοστό της στάχτης, αυτό αναφέρεται να έχει ένα εύρος από 4,5%, μέχρι και 6%. Έχουν όμως αναφερθεί και ποσοστά στάχτης κάτω του 3,5% (Samson *et al.*, 2000) κάτω από ιδιαίτερες μεταχειρίσεις τόσο κατά την επιλογή εδάφους, ποικιλίας και εποχή συγκομιδής.

1.4.3 Παραγωγή πρωτεϊνών

Με το αυξανόμενο κόστος των τροφίμων και των ζωοτροφών, εναλλακτικές τροφές όπως το συμπυκνωμένο φύλλο πρωτεΐνης (LPC) κερδίζουν περισσότερη προσοχή. Η LPC είναι η πρωτεΐνη από ποώδη βιομάζα όπως χλόες ή μηδική, από την οποία έχουν αφαιρεθεί οι υδατάνθρακες του κυτταρικού τοιχώματος και γενικότερα αποτελεί κατά 50-80% κατά βάρος πρωτεΐνη (Chiesa *et al.*, 2011).

Η έννοια ενός πράσινου βιοδιυλιστηρίου έχει μελετηθεί για δεκαετίες. Στη βασική διαδικασία, η νωπή, υγρή πρώτη ύλη εμποτίζεται αρχικά και στη συνέχεια πιέζεται μηχανικά για να παραχθεί μια πρωτεΐνη πλούσια σε χυμό. Αυτός ο χυμός θερμαίνεται γρήγορα μέσω ατμού για την καθίζηση της πρωτεΐνης, η οποία στη συνέχεια ξηραίνεται και πωλείται. Ο απο-πρωτεϊνωμένος χυμός εξατμίζεται και το κατακάθι προστίθεται σε ζωοτροφή ή εναλλακτικά πωλείται ως πρώτη ύλη για την παραγωγή βιοκαυσίμων (Fiorentini *et al.*, 1981; Urribarri *et al.*, 2009).

Πριν από την έρευνα για βιοκαύσιμα, το switchgrass μελετήθηκε ως καλλιέργεια ζωοτροφής, και αξίζει να σημειωθεί ότι η διαθέσιμη πρωτεΐνη ήταν άνω του 12% του συνολικού βάρους του φυτού, όταν η συγκομιδή λάμβανε χώρα στις αρχές του καλοκαιριού (Lee *et al.*, 2007).

1.4.4 Έλεγχος διάβρωσης

Όσον αφορά στην προστασία του εδάφους από τη διάβρωση, το switchgrass αποτελεί ελπιδοφόρα καλλιέργεια, διότι έχει βαθύ ινώδες σύστημα ριζών σχεδόν ίσο με το ύψος του υπέργειου τμήματος (United States Department of Agriculture, 2008) και σε συνδυασμό με την αναπτυγμένη υπέργεια βλάστηση μπορεί να προστατέψει επικλινή εδάφη από την αρνητική επίδραση της βροχής. Το ριζικό του σύστημα, συμβάλει στην αύξηση της παραγωγικότητας, της διαπερατότητας και της γονιμότητας των εδαφών, εμπλουτίζοντας το έδαφος σε οργανική ουσία, καθιστώντας έτσι ακόμα και τα πιο άγονα εδάφη παραγωγικά (Cadde, 1914; Carter, 2011).

1.4.5 Βιοδιασπώμενα πλαστικά

Τα βιοδιασπώμενα πλαστικά είναι πλαστικά τα οποία δημιουργούνται από βιολογικά πολυμερή, όπως το PHA και το PHB και τα οποία έχουν την δυνατότητα να αποικοδομούνται από τους μικροοργανισμούς του εδάφους. Αμερικανοί επιστήμονες, σε μια προσπάθεια παραγωγής βιοδιασπώμενων πλαστικών, τροποποίησαν γενετικώς το switchgrass με σκοπό να προκαλέσουν την παραγωγή πολυυδροξυαλκανοϊκών οξέων (PHB), τα οποία συσσωρεύονται με την μορφή κόκκων μέσα στα κύτταρα του φυτού (Somleva *et al.*, 2008).

1.4.6 Χαρτοπολτός

Τα τελευταία χρόνια η χρησιμοποίηση ινών που δεν προέρχονται από το ξύλο για την παραγωγή χαρτοπολτού και χαρτιού, παρουσιάζει αυξητικές τάσεις ως αποτέλεσμα των περιβαλλοντικών προβλημάτων που προκύπτουν λόγω της αυξανόμενης υλοτομίας των δασών. Σύμφωνα με πρόσφατες μελέτες, το switchgrass αποτελεί μία εναλλακτική πηγή ινών για την παραγωγή χαρτοπολτού. Ο χαρτοπολτός του είναι ποιοτικώς συγκρίσιμος με αυτόν του σκληρού ξύλου και λόγω της μεγάλης περιεκτικότητάς του σε ίνες, είναι καταλληλότερος για την παραγωγή σκληρών χαρτιών - χαρτονιών. Επιπλέον, η μηχανική πολτοποίηση του switchgrass χρειάζεται πολύ λιγότερη ενέργεια σε σχέση με την μηχανική πολτοποίηση των σκληρών ξύλων καθιστώντας το έτσι ακόμη πιο οικονομικά ελκυστικό στη βιομηχανία παραγωγής χαρτιού (Girouard *et al.*, 2000; Goel *et al.*, 1998; De Jong *et al.*, 1998; Law *et al.*, 2001; Madakadze *et al.*, 1999; Radiotis *et al.*, 1999; Ruzinsky *et al.*, 2000; Fox *et al.* 1999).

1.4.7 Διατήρηση βιοποικιλότητας

Το switchgrass συμβάλλει στην διατήρηση της βιοποικιλότητας καθώς αποτελεί ενδιαίτημα και τροφή για πολλά είδη άγριας πανίδας. Το μεγάλο ύψος των φυτών προσφέρει κάλυψη αλλά και θέσεις ωοτοκίας σε πολλά άγρια πτηνά όπως οι φασιανοί, τα ορτύκια, οι πέρδικες και οι άγριες γαλοπούλες, καθώς επίσης και σε ωδικά πτηνά αλλά και σε μικρά θηλαστικά. Επίσης, οι σπόροι του αποτελούν ιδανική κτηνοτροφή, συμβάλλοντας έτσι στην διατήρηση της άγριας πανίδας (Hipple *et al.*, 2002).

1.5 Περιβαλλοντικά οφέλη

Η εντατικοποίηση της γεωργίας έχει προκαλέσει αξιοσημείωτη εξάντληση των υδατικών πόρων και υποβάθμιση των εδαφών. Επιπλέον, η χρήση φυτοπροστατευτικών προϊόντων και λιπασμάτων συντελεί στη ρύπανση του περιβάλλοντος καθώς επίσης και στη μείωση του αγροτικού εισοδήματος.

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

Η συμβολή του switchgrass στη διάβρωση, υποβάθμιση των εδαφών και την ερημοποίηση, είναι πολύ μεγάλη. Η καλλιέργειά του χάρη στο πλούσιο ριζικό του σύστημα αλλά και στην υπέργεια βιομάζα του, ιδίως όταν η συγκομιδή επιτυγχάνεται στις αρχές της άνοιξης, καλύπτει πλήρως το έδαφος, προστατεύοντάς το από τη διάβρωση που είναι ιδιαίτερα απειλητική στα επικλινή εδάφη κατά τη χειμερινή περίοδο (Christou *et al.*, 2005). Σε πείραμα που διεξήχθη για την προστασία του εδάφους από τη διάβρωση χάρη στη χρήση της καλλιέργειας του switchgrass, βρέθηκε ότι συντέλεσε στη μείωση της διάβρωσης κατά 98% έναντι παραδοσιακών καλλιέργειών (Nelson *et al.*, 2006).

Η καλλιέργεια του switchgrass μπορεί να αποτελέσει εναλλακτική λύση σε εγκαταλελειμμένες περιοχές χαμηλής γονιμότητας καθώς προσαρμόζεται εύκολα και αποδίδει ικανοποιητικά σε μεγάλο εύρος εδαφικών συνθηκών. Εδώ κρίνεται σκόπιμο να αναφερθεί η συμβολή της καλλιέργειας στην αύξηση της γονιμότητας των εδαφών με τον εμπλουτισμό τους με οργανική ουσία και τη δημιουργία καλής δομής, έτσι ώστε να δίνει μεγάλες αποδόσεις στις επόμενες καλλιέργειες. Η βελτίωση της εδαφικής ποιότητας κατά την καλλιέργεια του switchgrass είναι ένα γεγονός που υποστηρίζεται σε πρόσφατες εδαφολογικές μελέτες, ενώ ταυτόχρονα παρατηρήθηκε μια αύξηση της ποσότητας και βελτίωση της ποιότητας της οργανικής ουσίας του εδάφους μετά από μόνο τέσσερα χρόνια καλλιέργειας, λόγω του πλούσιου ριζικού συστήματος της καλλιέργειας (Wright, 2007).

Κεφάλαιο: Εισαγωγή - Περιβαλλοντικά οφέλη

Το έδαφος δεσμεύει μεγάλη ποσότητα από CO₂, η οποία και είναι πολλαπλάσια (έως και 10 φορές μεγαλύτερη) από αυτήν που εκλύεται από την καύση των ορυκτών καυσίμων (Raich *et al.*, 2000). Εκτιμήθηκε ότι, μια μικρή αύξηση της ικανότητας αυτής του εδάφους να δεσμεύει CO₂ είτε άμεσα από την ατμόσφαιρα, είτε έμμεσα με την εναπόθεση οργανικής ουσίας, μπορεί να οδηγήσει σε σημαντική μείωση του ατμοσφαιρικού CO₂ (Schlesinger *et al.*, 2000; Ma *et al.*, 2000). Παράλληλα, όλες οι καλλιεργητικές πρακτικές επηρεάζουν την εν λόγω ικανότητα του εδάφους αφού επηρεάζουν χαρακτηριστικά τη θερμοκρασία, την υγρασία, τον λόγο C/N ή την μικροβιακή δραστηριότητα. Η αζωτούχος λίπανση που προστίθεται για την παραγωγή βιομάζας βρέθηκε ότι δεν επηρέασε την ικανότητα του εδάφους για δέσμευση ούτε αύξησε τις εκπομπές CO₂ προς την ατμόσφαιρα (Frank *et al.*, 2002). Υπερβολική χρήση αζωτούχων λιπασμάτων μπορεί να έχει αρνητικές επιπτώσεις στις ιδιότητες του εδάφους μέσω της μείωσης του μήκους και της βιομάζας των ριζών, παράγοντες ζωτικής σημασίας που επιδρούν στη δομή του εδάφους, παρά την αύξηση της εδαφικής συγκέντρωσης οργανικού άνθρακα (Jung *et al.*, 2011). Σε μελέτες που έγιναν για τον προσδιορισμό της περιεκτικότητας του εδάφους σε οργανικό άνθρακα, βρέθηκε ότι η περιεκτικότητα του εδάφους με καλλιέργεια switchgrass περιείχε μεγαλύτερη ποσότητα οργανικού άνθρακα (Jung *et al.*, 2011; Liebig *et al.*, 2005; Frank *et al.*, 2004; Ma *et al.*, 2000) σε σχέση με παραδοσιακές καλλιέργειες.

Επιπλέον, το switchgrass όπως και άλλα αγρωστώδη θα μπορούσε να αποτελέσει σημαντική λύση για την επίτευξη των στόχων μείωσης εκπομπών των αερίων του θερμοκηπίου. Σύμφωνα με μελέτη, τα “pellet” από switchgrass μπορούν να μειώσουν τις εκπομπές αερίων του θερμοκηπίου κατά περίπου 90% σε σύγκριση με τη χρησιμοποίηση των ορυκτών καυσίμων. Έχει διαπιστωθεί ότι αντικατάσταση παραδοσιακών καλλιεργειών με switchgrass στην Αμερική είχε ως αποτέλεσμα την αποθήκευση 4 t/στρ. CO₂ στο έδαφος (Samson, 2007).

Άλλες σημαντικές επιδράσεις της καλλιέργειας έχουν να κάνουν με την ρύπανση από νιτρικά, όπου και βρέθηκε ότι το switchgrass μείωσε την επιφανειακή απορροή των νιτρικών (NO₃⁻) κατά 38% και βελτίωσε σημαντικά την ποιότητα των υπόγειων υδάτων (Nelson *et al.*, 2006). Η καλλιέργεια του switchgrass απαιτεί χαμηλότερα επίπεδα λίπανσης σε σχέση με τα ετήσια φυτά που προορίζονται για τροφή και μπορεί να συντελέσει στην προστασία του περιβάλλοντος με μείωση της χρήσης λιπασμάτων. Οι αποδόσεις του σε βιομάζα

Κεφάλαιο: Εισαγωγή - Περιβαλλοντικά οφέλη

είναι ικανοποιητικές σε συνθήκες μειωμένων εισροών, αν και όταν λιπαίνεται η παραγωγή του είναι υψηλότερη.

Τέλος, το switchgrass συμβάλλει στη διατήρηση του φυσικού περιβάλλοντος και της άγριας φύσης αφού αποτελεί καταφύγιο ειδών πουλιών θήρας. Οι μικροί σπόροι του είναι αρεστοί σε πολλά είδη της άγριας ορνιθοπανίδας. Ανάλογα με πόσο πυκνοφυτεμένο είναι το switchgrass μπορεί να προσφέρει άριστη χορτονομή και να καλύψει μια ευρεία ποικιλία της άγριας πανίδας.

1.5.1 Μετακίνηση θρεπτικών στοιχείων

Με τη συγκομιδή της βιομάζας, είτε αυτή αποτελείται από υπολείμματα καλλιεργειών ή ειδικών ενεργειακών πολυετών φυτών όπως το switchgrass, η αγριαγκινάρα, ο μίσχανθος κ.ά., απομακρύνονται μεγάλες ποσότητες θρεπτικών ουσιών (Mitchell *et al.*, 2008). Το άζωτο (N) αποτελεί το πιο περιοριστικό θρεπτικό στοιχείο για την παραγωγή της βιομάζας και είναι η πιο ακριβή εισροή. Ως εκ τούτου, η μείωση της απομάκρυνσης N από το σύστημα παραγωγής έχει θετική επίδραση στην οικονομική και περιβαλλοντική βιωσιμότητα του συστήματος.

Σε έρευνα που διεξήχθη αναφέρεται ότι για κάθε kg N παραγόταν 83 kg βιομάζας. Η απομάκρυνση των θρεπτικών σε πληθώρα ποικιλιών switchgrass ήταν κατά μέσο όρο: 21,4, 4,0, 3,5, 1,5, 6,0, 3,8, και 0,6 kg/στρ. N, P, K, S, Ca, Mg και Fe, αντίστοιχα. Επιπλέον το switchgrass απομακρύνει λιγότερο από 100 g/στρ. B, Mn, Cu και Zn (Collins *et al.*, 2008). Τέλος, καθυστερημένη ανοιξιάτικη συγκομιδή έχει ως αποτέλεσμα τη μείωση της περιεκτικότητας σε τέφρα (Adler *et al.*, 2006).

1.5.2 Άζωτο

Έχει βρεθεί ότι, οι ετήσιες καλλιέργειες παράγουν τριπλάσιες εκπομπές ρύπων απ' ό,τι τα ακαλλιέργητα εδάφη και οι πολυετείς καλλιέργειες (Robertson *et al.*, 2000). Το καλά αναπτυγμένο ριζικό σύστημα του switchgrass προσδίδει μεγάλη ικανότητα πρόσληψης N με αποτέλεσμα σπάνια να συσσωρεύονται μεγάλες ποσότητες ανόργανου N στα εδάφη όπου καλλιεργείται (Schimel, 1986). Σε αντίστοιχο πείραμα, το switchgrass απέδειξε ότι έχει τη δυνατότητα να ανακτήσει περίπου τα 2/3 της εφαρμοσμένης ποσότητας N, επιβεβαιώνοντας το υψηλό δυναμικό της καλλιέργειας για τη μείωση των εκπομπών αερίων του θερμοκηπίου (Bransby *et al.*, 1998). Τέλος, οι Heaton και οι συνεργάτες του

Κεφάλαιο: Εισαγωγή - Περιβαλλοντικά οφέλη

σε μια συγκριτική έρευνα που διεξήγαγαν μεταξύ του μίσχανθου και του switchgrass, απέδειξαν ότι το switchgrass είχε ισχυρότερη ανταπόκριση στην αζωτούχο λίπανση απ' ό,τι ο μίσχανθος (Heaton *et al.*, 2004).

Ο ίδιος ερευνητής σε μια δύο ετών συγκριτική μελέτη των προαναφερομένων ενεργειακών φυτών, βρήκε ότι οι συγκεντρώσεις αζώτου της βιομάζας για τα δύο είδη μειώθηκε από 1,5 έως 2,5% τον Ιούνιο σε 0,5% το Δεκέμβριο. Οι συγκεντρώσεις του αζώτου κατά τη συγκομιδή το Φεβρουάριο ήταν παρόμοιες με τις συγκεντρώσεις του Δεκεμβρίου, όμως η ποσότητα βιομάζας κατά τη συγκομιδή του Δεκεμβρίου ήταν μεγαλύτερη έναντι της συγκομιδής το Φεβρουάριο (Heaton *et al.*, 2009). Τέλος, σε περαιτέρω έρευνα που διεξήχθη έγινε γνωστό ότι, περισσότερη ποσότητα αζώτου απομακρύνεται από τον αγρό με τη χρήση ενός συστήματος με δύο συγκομιδές (καλοκαίρι και φθινόπωρο) έναντι ενός συστήματος με μία τελική συγκομιδή για την καλλιέργεια του switchgrass (Reynolds *et al.*, 2000; Lemus *et al.*, 2008).

1.5.3 Εδαφικός άνθρακας

Όπως προαναφέρθηκε, το switchgrass διαθέτει ένα εκτεταμένο πολυετές ριζικό σύστημα το οποίο προστατεύει το έδαφος από τη διάβρωση και απομονώνει τον άνθρακα (C) στο προφίλ εδάφους (Jung *et al.*, 2011; Liebig *et al.*, 2005; Frank *et al.*, 2004; Ma *et al.*, 2000). Ο οργανικός άνθρακας του εδάφους αυξάνεται γρήγορα όταν γίνεται αντικατάσταση μιας ετήσιας καλλιέργειας με την καλλιέργεια του switchgrass (Mitchell *et al.*, 2012; Schmer *et al.*, 2011). Το ποσό του απορροφημένου C εξαρτάται από το κλίμα, τον τύπο του εδάφους, την αρχική περιεκτικότητα του εδάφους σε C, το χρόνο, και το βάθος τοποθέτησης του C (Ma *et al.*, 2000; Conant *et al.*, 2001). Τα επίπεδα του εδαφικού άνθρακα για χαμηλών εισροών αγρούς καλλιέργειας switchgrass έχει αποδειχθεί ότι αυξάνουν με την πάροδο του χρόνου, σε όλο το βάθος (Ma *et al.*, 2000; Liebig *et al.*, 2005).

Σε μια βιβλιογραφική ανασκόπηση εντοπίστηκαν τρεις γενικές αρχές που διέπουν την ισορροπία του C στις ενεργειακές καλλιέργειες (Anderson-Teixeira *et al.*, 2009):

1) Αρχική απώλεια της συγκέντρωσης του οργανικού εδαφικού άνθρακα κατά την αντικατάσταση ακαλλιέργητων εδαφών με καλλιέργειες βιοκαυσίμων.

Κεφάλαιο: Εισαγωγή - Περιβαλλοντικά οφέλη

2) Διαφορά ως προς την ικανότητα δέσμευσης του C μεταξύ των καλλιεργειών, με τις πολυετείς καλλιέργειες να υπερτερούν έναντι των μονοετών και

3) Ανταλλαγή μεταξύ της απομάκρυνσης της βιομάζας και της δέσμευσης του C.

Η αφαίρεση των υπολειμμάτων μειώνει τη συγκέντρωση του οργανικού εδαφικού άνθρακα, ενώ η εγκατάσταση πολυετών ενεργειακών φυτών, όπως το switchgrass αυξάνει τη δέσμευση του άνθρακα (Blanci-Canqui, 2010). Στην καλλιέργεια του switchgrass η συγκέντρωση του οργανικού άνθρακα είναι μεγαλύτερη σε βάθη εδάφους από 0-5, 30-60, και 60-90 cm και οι διαφορές στη συγκέντρωση οργανικού άνθρακα είναι ιδιαίτερα έντονες σε μεγαλύτερα βάθη του εδάφους (Liebig *et al.*, 2005). Η προαναφερόμενη διαφορά έχει αποδοθεί στη μεγαλύτερη βιομάζα του ριζικού συστήματος του switchgrass κάτω των 30 cm σε σχέση με τις συμβατικές καλλιέργειες.

1.6 Οικονομική ανάλυση

Τα τελευταία χρόνια τα προβλήματα στην ελληνική γεωργία έχουν γίνει πολύ έντονα. Συνεχώς αναφέρονται προβλήματα διάθεσης της πλειοψηφίας των παραγόμενων προϊόντων, ενώ το γεωργικό εισόδημα σε μεγάλο βαθμό στηρίζεται στις επιδοτήσεις, οι οποίες όμως, σύμφωνα με την ευρωπαϊκή Κοινή Αγροτική Πολιτική (ΚΑΠ), έχουν αλλάξει μορφή χορήγησης και τίθενται νέες προϋποθέσεις στους εν δυνάμει δικαιούχους.

Όπως προαναφέρθηκε, τα τελευταία χρόνια, ξεκίνησε η έρευνα για την καλλιέργεια του switchgrass. Η λιγνοκυτταρινική βιομάζα αναμένεται να καταστεί βασική πρώτη ύλη για την παραγωγή ανανεώσιμης ενέργειας. Ωστόσο, η ενδεχόμενη προσφορά εξαρτάται σε μεγάλο βαθμό από την προθυμία των αγροτών να καλλιεργήσουν τις νέες αυτές, πολλά υποσχόμενες πολυετείς ενεργειακές καλλιέργειες.

Η επιλογή της χρήσης του switchgrass, τόσο ως κτηνοτροφή για βοοειδή, όσο ως βιομάζα για την παραγωγή ενέργειας, θα μπορούσε να προσφέρει ένα ελκυστικό κίνητρο για τους γεωργούς και τους κτηνοτρόφους, αφού και η ζωϊκή και η φυτική παραγωγή αποτελούν σημαντικούς τομείς της ελληνικής οικονομίας, όπως και κάθε αγροτικής χώρας με παρόμοια χαρακτηριστικά με της Ελλάδας. Η ευελιξία στη χρήση της καλλιέργειας του switchgrass (λόγω των πολλών του χρήσεων) θα μπορούσε επίσης να παρέχει ένα κίνητρο για να υιοθετηθεί η παραγωγή του ως μια νέα αγροτική εκμετάλλευση-επιχείρηση (Fox *et al.*, 1999; Aravindhakshan *et al.*, 2010; Guretzky *et al.*, 2010).

Εξετάζοντας την οικονομικότητα μιας καλλιέργειας switchgrass, είναι εύκολα αντιληπτό ότι πολλοί παράγοντες είναι αυτοί που την επηρεάζουν, τόσο ο καθένας ξεχωριστά, όσο και αλληλεπιδρώντας μεταξύ τους (Sladden *et al.*, 1991). Ξεχωρίζοντας κάποιους από αυτούς τους παράγοντες με βάση την σημαντικότητα της επίδρασής τους στο οικονομικό αποτέλεσμα, κύριο ρόλο έχουν τα εξής:

- Το κόστος εγκατάστασης (το οποίο και διαφέρει από περιοχή σε περιοχή, αφού εξαρτάται τόσο από την τιμή του σπόρου, την ποσότητα που χρησιμοποιείται, τον οικότυπο και την ποικιλία, τις αποστάσεις φύτευσης κ.ά.).

Κεφάλαιο: Εισαγωγή - Οικονομική ανάλυση

- Οι εφαρμοζόμενες διαχειριστικές πρακτικές όπως η ζώνη καλλιέργειας, οι εδαφικές και κλιματικές συνθήκες, καθώς και το μέγιστο ύψος παραγωγής που καθορίζουν το κόστος παραγωγής (Monti *et al.*, 2001).
- Το ύψος της αναμενόμενης παραγωγής, το οποίο κυμαίνεται μέσα σε ένα ευρύ φάσμα τιμών (Fike *et al.*, 2006; Eldersen *et al.*, 2004).
- Η καθαρή τιμή πώλησης ανά μονάδα συγκομισμένου προϊόντος (επηρεάζεται εκτός των άλλων και από τον τρόπο συγκομιδής αλλά και από τη χρήση του προϊόντος).
- Το κόστος μεταφοράς και αποθήκευσης (επηρεάζεται εκτός των άλλων και από το τρόπο που συγκομίσθηκε η καλλιέργεια).

Δεδομένων όλων αυτών των παραγόντων που τελικά επηρεάζουν την οικονομικότητα μιας ενεργειακής καλλιέργειας, γίνεται αντιληπτό ότι ο υπολογισμός της βασίζεται σε παραδοχές που αφορούν ευμετάβλητους παράγοντες.

1.6.1 Έξοδα καλλιέργειας

Οι δαπάνες που πραγματοποιούνται κατά το πρώτο έτος για την εγκατάσταση μιας καλλιέργειας switchgrass και ενδεχομένως, το δεύτερο έτος για επανασπορά, περιλαμβάνουν την προετομασία του εδάφους, τη σπορά, την άρδευση, τον έλεγχο των ζιζανίων και πιθανώς τη λίπανση (Smeets *et al.*, 2009; Khanna *et al.*, 2008).

Το κόστος εγκατάστασης ποικίλλει ανάλογα με τις τιμές ενοικίασης γης και την ανάγκη για τη χρήση λιπασμάτων. Μετά την εγκατάσταση του switchgrass οι απαιτήσεις για καλλιεργητικές φροντίδες είναι ελάχιστες μέχρι τη συγκομιδή.

Η συγκομιδή είναι η πιο δαπανηρή πρακτική. Το πρότυπο συγκομιδής της βιομάζας των ποωδών είναι να συλλέγονται σαν μπάλες σανού. Το εκτιμώμενο κόστος είναι ανάλογο της πρέσας που χρησιμοποιείται: α) μεγάλες στρόγγυλες μπάλες, β) μεγάλα ορθογώνια δέματα και γ) μικρές τετράγωνες μπάλες.

Τέλος, προσμετρώνται και τα κόστη μεταφοράς τα οποία διαφέρουν αναλόγως του τύπου δεσίματος της βιομάζας, καθώς και τα κόστη μεταποίησης της βιομάζας.

1.7 Σκοπός της εργασίας

Με βάση όλα τα ανωτέρω ο κύριος σκοπός της παρούσας διατριβής αποτελεί η μελέτη της αύξησης, ανάπτυξης και παραγωγικότητας του πολυετούς φυτού switchgrass “*Panicum virgatum*”, ιδιαίτερα στην Ελλάδα για ενεργειακούς σκοπούς υπό το καθεστώς μειωμένων εισροών. Η μελέτη αυτή εστιάζεται σε θεσσαλικά συστήματα χρήσης γης, καθώς η Θεσσαλία αποτελεί τη μεγαλύτερη πεδιάδα και το κέντρο της γεωργικής παραγωγής της χώρας.

Για τους σκοπούς της εργασίας μελετήθηκε η ποικιλία Alamo, η οποία όπως αναφέρθηκε αποτελεί πολύ αποδοτική ποικιλία πεδινών οικοτόπων σύμφωνα με τη διεθνή βιβλιογραφία.

Πιο συγκεκριμένα μελετάται η αύξηση και ανάπτυξη του switchgrass (*Panicum virgatum* L.), σε δύο διαφορετικούς τύπους εδαφών (Aquic Xerofluvent και Calcixerollic Xerochrept) και σε δύο διαφορετικά μικροκλίματα (Παλαμάς Καρδίτσας και Βελεστίνο Μαγνησίας). Επίσης, ερευνάται η αύξηση και η απόδοση της καλλιέργειας για την παραγωγή ξηρής βιομάζας για στερεά καύσιμα, ενώ επιπλέον ερευνάται η απόδοση της χλωρής βιομάζας για παραγωγή ζωοτροφής για βοοειδή. Θα πρέπει να μελετηθεί η επίδραση της μειωμένης άρδευσης και της N-ούχου λίπανσης της καλλιέργειας στην παραγωγή τόσο για στερεά καύσιμα όσο και για ζωοτροφή.

Κρίνεται απαραίτητο για τη δημιουργία μιας ολοκληρωμένης μελέτης να μελετηθεί η πρόσληψη του αζώτου, του φωσφόρου και του καλίου αναλόγως του συγκομιζόμενου σταδίου με βάση πάντοτε το επιθυμητό τελικό προϊόν (ζωοτροφή ή στερεά καύσιμα). Επιπλέον, στη διατριβή αυτή θα πρέπει να προσδιοριστεί η θερμογόνος δύναμη και η περιεκτικότητα σε στάχτη της ξηρής βιομάζας (των διαφορετικών μερών του φυτού και του τελικού συγκομισθέντος προϊόντος) σε διαφορετικά στάδια ανάπτυξης.

Σκοπός της παρούσας έρευνας είναι επίσης, ο προσδιορισμός της επίδρασης της καλλιέργειας στη μεταβολή της οργανικής ουσίας και του οργανικού άνθρακα και στην απορρόφηση νιτρικών για τη διερεύνηση της περαιτέρω χρήσης της καλλιέργειας ως εδαφοβελτιωτικού σε νιτρορυπασμένα εδάφη.

Τέλος, παρουσιάζεται η οικονομική ανάλυση της καλλιέργειας και η σύγκρισή της για τις διαφορετικές χρήσεις της και υπό διαφορετικά συστήματα συγκομιδής ώστε να

Κεφάλαιο: Εισαγωγή - Σκοπός της εργασίας

προσδιοριστεί η οικονομική αποδοτικότητα της καλλιέργειας για τον Έλληνα παραγωγό και η ανάλογη πρόταση για την ένταξη ή μη της καλλιέργειας σε μελλοντικά συστήματα χρήσης γης.

Ο σχεδιασμός συστημάτων χρήσης γης, βασίζεται στην ποσοτική ανάλυση της καταλληλότητας των συγκεκριμένων περιοχών κάτω από τις δεδομένες εδαφοκλιματικές συνθήκες για την υπό μελέτη καλλιέργεια και πιο συγκεκριμένα στις ποσοτικές εκτιμήσεις των δυναμικών παραγωγής και των απαιτούμενων εισροών για την πραγματοποίησή τους, ώστε να προκύπτουν οι απαιτούμενοι λόγοι κόστους-απόδοσης για την εξεύρεση των βέλτιστων συνδυασμών χρήσης γης και χρήσης προϊόντος.

Πρωτοτυπία της παρούσας έρευνας αποτελεί η διερεύνηση της πορείας ανάπτυξης της καλλιέργειας του switchgrass όσον αφορά στην απόδοση υπό περιορισμένη άρδευση σε διαφορετικά επίπεδα αζώτου και διαφορετικούς τύπους εδαφών (ενός Aquic Xerofluent: παρουσία υπόγειου υδροφόρου ορίζοντα και ενός Calcixerollic Xerochrept) στη Θεσσαλία (των αντιπροσωπευτικότερων εδαφών της περιοχής), η πιθανή εδαφοβελτίωση, η επίδραση στη θερμογόνο δύναμη και η περιεκτικότητα σε στάχτη της συγκομισθείσας βιομάζας αναλόγως του σταδίου ανάπτυξης. Πρωτοτυπία επιπλέον αποτελεί η οικονομική μελέτη και ανάλυση της καλλιέργειας για τον ελληνικό χώρο και πιο συγκεκριμένα για τους Θεσσαλούς αλλά και της τάσης για τους Έλληνες γεωργούς.

Η διερεύνηση της βιβλιογραφίας έδειξε ότι τα δεδομένα που αφορούν στην καλλιέργεια για την Ελλάδα και πιο συγκεκριμένα για το μικροκλίμα της Θεσσαλίας είναι ελλιπή. Επομένως, η διατριβή αυτή θα βοηθήσει στην ολοκλήρωση και ενδυνάμωση των λιγοστών στοιχείων για την καλλιέργεια στον ελληνικό χώρο και ιδίως για μια παραγωγική ποικιλία πεδινών οικοτόπων, όπως η Alamo.

Κεφάλαιο: Εισαγωγή - Σκοπός της εργασίας

2. ΥΛΙΚΑ ΚΑΙ ΜΕΘΟΔΟΙ

2.1 Πειράματα αγρού

2.1.1 Επιλογή πειραματικών αγρών

Τα πειράματα διεξήχθησαν σε δύο περιοχές της Ανατολικής και της Δυτικής Θεσσαλίας, αντίστοιχα. Στην περιοχή Καλυβάκια Παλαμά (39° N 04' και 22° E 04', υψόμετρο 107,5 m) έγινε εγκατάσταση πειραματικού αγρού 3 στρεμμάτων το 2009, ενώ προστέθηκε πειραματικός αγρός 1 στρέμματος το 2010 και ακόμη 1 στρέμματος το 2011. Το 2009 είχε επιλεγεί η περιοχή των Καναλιών Μαγνησίας για την εγκατάσταση του πειραματικού αγρού αλλά η εγκατάσταση απέτυχε λόγω τεχνικών προβλημάτων οπότε και έγινε εκ νέου επιλογή πειραματικού αγρού 2 στρεμμάτων το 2010 στο αγρόκτημα του Πανεπιστημίου Θεσσαλίας στο Βελεστίνο (39° N 02' και 22° E 45', υψόμετρο 112,5 m). Η επιλογή των πειραματικών αγρών αποτελεί διαδικασία πρωταρχικής σημασίας πριν την εγκατάσταση των πειραμάτων αγρού. Στην παρούσα εργασία, βασικά κριτήρια για την επιλογή των πειραματικών αγρών απετέλεσε η δυνατότητα εγκατάστασης του υπό μελέτη πολυετούς φυτού σε συνδυασμό με τη δυνατότητα κάλυψης των αρδευτικών αναγκών. Επιπλέον, η εγκατάσταση σε δύο διαφορετικές περιοχές της Θεσσαλίας έδωσε τη δυνατότητα να μελετηθεί η προσαρμοστικότητα κάτω από διαφορετικές μικροκλιματικές συνθήκες.

Κεφάλαιο: Υλικά και Μέθοδοι - Πειράματα αγρού



Εικόνα 2.1. Τοποθεσίες των πειραματικών αγρών στον Παλαμά (βορειο-ανατολικά της πόλης της Καρδίτσας με συντεταγμένες $39^{\circ}26'N$, και $22^{\circ}04'E$, κάτω αριστερή φωτογραφία) και στο Βελεστίνο (βορειο-δυτικά της πόλης του Βόλου με συντεταγμένες $39^{\circ}02'N$ και $22^{\circ}45'E$, κάτω δεξιά φωτογραφία).

Στον Πίνακα 2.1 συνοψίζονται οι φυσικές και χημικές ιδιότητες των εδαφών που μελετήθηκαν. Το έδαφος του Παλαμά είναι βαθύ, ασβεστόχο ($pH = 8,3$), αμμοπηλώδες έως πηλώδες (άμμος 37-45%, πηλός 51-43%, άργιλος 12%), φτωχό (περιεκτικότητα σε οργανική ουσία 0,9% σε προφίλ εδάφους 40 cm). Από την άλλη πλευρά, το χώμα στο Βελεστίνο είναι ασβεστόχο ($pH = 8,1-8,3$), αργιλοπηλώδες έως πηλώδες (άμμος 19-21%, πηλός 39-41%, άργιλος 38-42%), πλούσιο (με περιεκτικότητα σε οργανική ουσία 2,3-2,7 % σε προφίλ εδάφους 40 cm). Το έδαφος στην περιοχή Παλαμά χαρακτηρίζεται από έναν αβαθή υπόγειο υδροφόρο ορίζοντα και έχει χαρακτηριστεί ως Aquic

Κεφάλαιο: Υλικά και Μέθοδοι - Πειράματα αγρού

Xerofluent, ενώ το έδαφος στο Βελεστίνο ως Calcixerollic Xerochrept σύμφωνα με το USDA (1975).

Πίνακας 2.1. Φυσικές και χημικές ιδιότητες των υπό μελέτη εδαφών στους πειραματικούς αγρούς (Μάρτιος 2009 και Απρίλιος 2010 για Παλαμά και Βελεστίνο, αντίστοιχα).

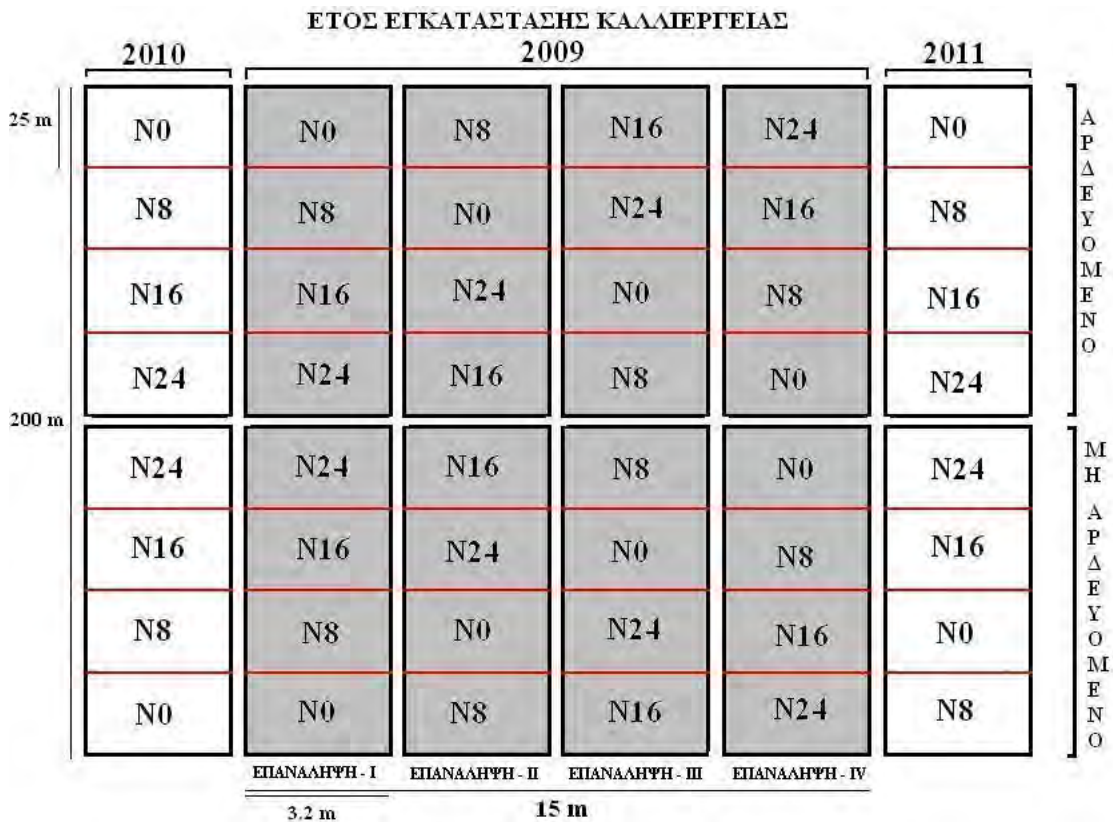
Ιδιότητα	Παλαμάς		Βελεστίνο	
	0-10 cm	10-40 cm	0-10 cm	10-40 cm
Άμμος (%)	37	45	21	19
Ιλύς (%)	12	12	38	42
Άργιλος (%)	51	43	41	39
Χαρακτηρισμός	SiL	L	CL	C
Εδαφ. οξύτητα (pH)	8,27	8,32	8,25	8,07
Ηλ. αγωγιμότητα ($\mu\text{S cm}^{-1}$)	225	216	475	604
Ολικό N (%)	0,7	0,5	1,68	1,04
Οργανική ουσία (%)	0,9	0,9	2,7	2,3
Διαθέσιμο P (mg kg^{-1})	10	11	8	4
Διαθέσιμο K (mg kg^{-1})	191	190	254	178
Οργανικός C (%)	0,4	0,4	1,1	1,0

2.1.2 Πειραματικό σχέδιο

Το πειραματικό σχέδιο που χρησιμοποιήθηκε είναι το Σχέδιο Υποδιαιρεμένων Τεμαχίων (split-plot design) 2x4x4, όπου στα κύρια τεμάχια εφαρμόστηκαν δύο επίπεδα άρδευσης και στα τρία υποτεμάχια εφαρμόστηκαν τέσσερα διαφορετικά επίπεδα αζωτούχου λίπανσης, σε τέσσερις επαναλήψεις (blocks).

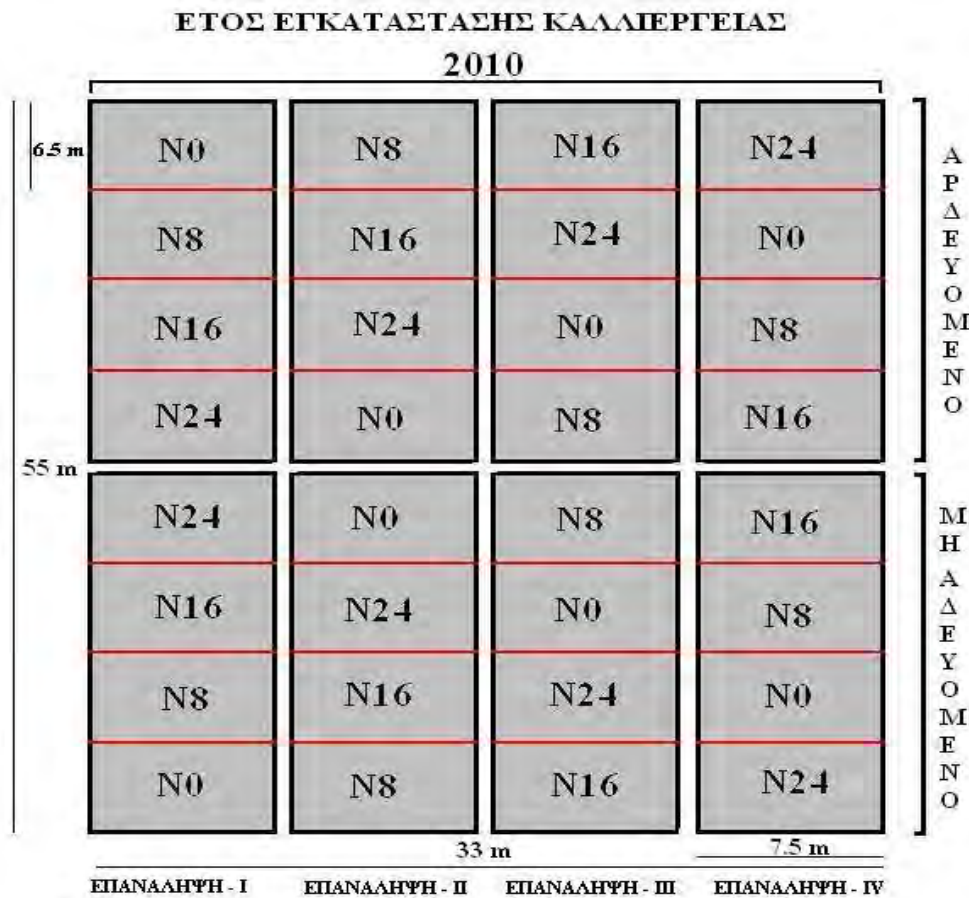
Για τον πειραματικό αγρό στην περιοχή του Παλαμά υπήρξαν 3 διαφορετικές χρονιές εγκατάστασης με την κύρια εγκατάσταση το 2009 (ακολούθησε το 2010 και το 2011). Ένας από τους λόγους που έγινε αυτό είναι γιατί υπήρξε αποτυχία εγκατάστασης της καλλιέργειας το 2009 στην περιοχή των Καναλιών Μαγνησίας αλλά και για να υπάρχει σύγκριση μεταξύ της διαφορετικής ηλικίας εγκατάστασης στην ίδια περιοχή. Το switchgrass ως πολυετές φυτό έχει χαμηλότερες αποδόσεις κατά τη χρονιά της εγκατάστασης (Muir *et al.*, 2001; Gabriel *et al.*, 2011). Και στους δύο πειραματικούς αγρούς, κάθε κύριο τεμάχιο περιελάμβανε όλα τα υποτεμάχια του δεύτερου παράγοντα.

Στον Παλαμά ο πειραματικός αγρός για την εγκατάσταση του 2009, καταλάμβανε έκταση $15 \text{ m} \times 200 \text{ m} = 3000 \text{ m}^2$ συμπεριλαμβανομένων των διαδρόμων. Κάθε επανάληψη (block) είχε διαστάσεις $200 \text{ m} \times 3,2 \text{ m}$ (εμβαδόν 640 m^2) και αποτελούνταν από 8 πειραματικά υπο-τεμάχια εμβαδού $25 \text{ m} \times 3,2 \text{ m} = 80 \text{ m}^2$. Οι πειραματικοί αγροί εγκατάστασης του 2010 και 2011 είχαν διαστάσεις ίσες με μία επανάληψη (block) από το κύριο αγρό, όπως φαίνεται και στο πειραματικό σχέδιο (Σχ. 2.1).



Σχήμα 2.1. Πειραματικό σχέδιο που εφαρμόστηκε για τη μελέτη της καλλιέργειας του Switchgrass στην περιοχή του Παλαμά τα έτη 2009-2012.

Για τον πειραματικό αγρό στην περιοχή του Βελεστίνου η εγκατάσταση της καλλιέργειας έγινε το 2010 και καταλάμβανε έκταση $33 \text{ m} \times 55 \text{ m} = 1815 \text{ m}^2$ συμπεριλαμβανομένων των διαδρόμων. Κάθε επανάληψη (block) είχε διαστάσεις $7,5 \text{ m} \times 52 \text{ m}$ (εμβαδόν 390 m^2) και αποτελούνταν από 8 πειραματικά υπο-τεμάχια εμβαδού $7,5 \text{ m} \times 6,5 \text{ m} = 48,75 \text{ m}^2$ (Σχ. 2.2).



Σχήμα 2.2. Πειραματικό σχέδιο που εφαρμόστηκε για τη μελέτη της καλλιέργειας του Switchgrass στην περιοχή του Βελεσίνου τα έτη 2010-2012.

Τα επίπεδα άρδευσης που εφαρμόστηκαν ήταν δύο, και συγκεκριμένα:

- Επίπεδο I_1 : 0 mm άρδευσης (μη αρδευόμενο)
- Επίπεδο I_2 : 250 mm άρδευσης (αρδευόμενο)

Επιπλέον, εφαρμόστηκαν 4 διαφορετικοί χειρισμοί επιπέδων αζωτούχου λίπανσης (N) (με ουρία 46-0-0) στα υπο-τεμάχια όταν τα φυτά είχαν φτάσει το ύψος των 60-90 cm και πιο συγκεκριμένα:

- Επίπεδο N_1 : 0 kg N/στρ.
- Επίπεδο N_2 : 8 kg N/στρ.
- Επίπεδο N_3 : 16 kg N/στρ.
- Επίπεδο N_4 : 24 kg N/στρ.

2.2 Πειραματικές εργασίες υπαίθρου

2.2.1 Προετοιμασία αγρών

Οι πειραματικοί αγροί οριοθετήθηκαν με σταθερά σημεία τόσο στην εξωτερική περίμετρο όσο και στα υποτεμάχια της κάθε επανάληψης, έτσι ώστε να παραμείνουν σταθερές οι μεταχειρίσεις με τα διαφορετικά επίπεδα λίπανσης για να μην προκληθεί αλλοίωση των αποτελεσμάτων. Το πείραμα πραγματοποιήθηκε για το χρονικό διάστημα από τον Μάιο 2009 έως τον Οκτώβριο 2012. Πριν από την καθυστερημένη σπορά λόγω τεχνικού προβλήματος παραλαβής του σπόρου από το Colorado της Αμερικής, το Μάιο του 2009 πραγματοποιήθηκαν οι βασικές καλλιεργητικές φροντίδες, όπως όργωμα, καλλιεργητής και σβολοκόφτης για ψιλοχωμάτισμα του επιφανειακού στρώματος του εδάφους. Οι κατεργασίες έγιναν με τέτοιο τρόπο ώστε το έδαφος των πειραματικών αγρών να είναι κοκκοποιημένο, συμπαγές με ικανοποιητική υγρασία και ψιλοχωματισμένο, για τη δημιουργία κατάλληλης σποροκλίνης επειδή ο σπόρος του switchgrass είναι πολύ μικρός.

2.2.2 Εγκατάσταση καλλιεργειών – Καλλιεργητικές φροντίδες

2.2.2.1 Σπορά

Η εγκατάσταση του φυτού γίνεται όταν η θερμοκρασία εδάφους ξεπεράσει τους 10-15°C. Υπάρχουν 500-1.000 σπόροι σε ένα γραμμάριο, με το εύρος αυτό να εξαρτάται από τον γενότυπο, αλλά και την ποικιλία. Το βάθος, η θερμοκρασία, η υγρασία του εδάφους αποτελούν παράγοντες που επηρεάζουν το φύτρωμα του σπόρου. Το βάθος σποράς, πρέπει να είναι από 10 mm έως 15 mm και σε καμία περίπτωση πάνω από 20 mm. Η ελάχιστη θερμοκρασία φυτρώματος είναι 10°C, όμως σε θερμοκρασίες κάτω από 15,5°C το φύτρωμα καθυστερεί αρκετά, ενώ στους 29,5°C οι περισσότεροι σπόροι φυτρώνουν σε 3 ημέρες (Lewandowski *et al.*, 2003). Γενικότερα, οι εδαφικές συνθήκες θερμοκρασίας και υγρασίας κατά την σπορά, πρέπει να είναι παρόμοιες με αυτές της σποράς του καλαμποκιού. Το πότισμα φυτρώματος και κατόπιν ποτίσματα σε διαστήματα 7-10 ημερών αυξάνουν το ποσοστό των εγκατεστημένων φυτών (McLaughlin *et al.*, 2005).

Λόγω της καθυστερημένης σποράς (1/6/2009) η άρδευση ανά τακτά χρονικά διαστήματα έως την βλάστηση ήταν απαραίτητη. Για την εγκατάσταση της φυτείας χρησιμοποιήθηκε σπόρος switchgrass (ποικιλία Alamo) από το Colorado της Η.Π.Α. Η σπορά και στις δύο

Κεφάλαιο: Υλικά και Μέθοδοι – Πειραματικές εργασίες υπαίθρου

περιοχές έγινε με σπαρτική σιτηρών. Ως απαιτούμενος σπόρος για την σπορά αναφέρονταν 570 γραμμάρια ανά στρέμμα αλλά τελικά χρησιμοποιήθηκε ποσότητα 700 γραμμαρίων ανά στρέμμα (Elbersen *et al.*, 2004). Το βάρος 1.000 σπόρων μετρήθηκε και βρέθηκε ότι είναι ίσο με 0,91 γραμμάρια και επομένως ο σπόρος που χρησιμοποιήθηκε είναι ίσος με 769.000 σπόροι/στρ.

Κατά τη διάρκεια της καλλιεργητικής περιόδου και σε κάθε πειραματική τοποθεσία καταγράφηκαν τα αγρονομικά χαρακτηριστικά των φυτειών με δειγματοληπτικές κοπές ανά τακτά χρονικά διαστήματα έως την τελική συγκομιδή.

Η επιλογή των φυτών γινόταν συνήθως από το κέντρο του υποτεμαχίου, μέρος προς αποφυγή της επίδρασης του περιθωρίου, side effect - των πειραματικών τεμαχίων με χειροσυλλογή. Παράγοντες όπως, η λίπανση-άρδευση απαιτούν μεγάλα τεμάχια γιατί η επίδρασή τους επεκτείνεται και στα αλλά τεμάχια.

Παρότι ο σπόρος είχε πιστοποιητικά βλαστικότητας, καθαρότητας υγειονομικού ελέγχου, πριν την σπορά στον αγρό, πραγματοποιήθηκε ο έλεγχος της βλαστικής ικανότητας στο Βλαστητήριο του Εργαστηρίου Γεωργίας και Εφαρμοσμένης Φυσιολογίας Φυτών όπου βρέθηκε βλαστική ικανότητα >97%.



Εικόνα 2.2. Σπορά της καλλιέργειας του switchgrass στον Παλαμά το 2009.

2.2.2.2 Λίπανση

Η λίπανση πραγματοποιήθηκε σύμφωνα με το πειραματικό σχέδιο, όπου και προβλέπονται τέσσερα επίπεδα λίπανσης ($N_1=0$ μονάδες N, $N_2=8$ μονάδες N, $N_3=16$ μονάδες N και $N_4=24$ μονάδες N). Στα υποτεμάχια N_1 δεν εφαρμόστηκε λίπανση, ενώ για τη λίπανση των N_2 , N_3 και N_4 υποτεμαχίων χρησιμοποιήθηκε νιτρική αμμωνία (46-0-0). Οι ποσότητες λιπάσματος που χρησιμοποιήθηκαν σε κάθε υποτεμάχιο για τον Παλαμά ήταν 0, 1.391, 2.782, και 4.172 γραμμάρια για 0, 8, 16, και 24 μονάδες N αντίστοιχα. Ενώ στον πειραματικό αγρό του Βελεστίνου οι αντίστοιχες ποσότητες ήταν 0, 848, 1.696, και 2.543 γραμμάρια για κάθε υποτεμάχιο. Η εφαρμογή του λιπάσματος κάθε χρονιά λάμβανε χώρα όταν η καλλιέργεια είχε ύψος 60-90 cm.

Πίνακας 2.2. Ημερομηνίες σποράς, φυτρώματος, λιπάνσεων, και άνθησης για το switchgrass στις δύο υπό μελέτη περιοχές τα έτη 2009-2012.

Switchgrass				
	ΠΑΛΑΜΑΣ			
	2009	2010	2011	2012
Σπορά	α) 1/6	β) 18/5	γ) 20/5	-
Φύτρωμα 50%	28/6	α) 11/3 β) 21/6	α) 24/3 β) 24/3 γ) 17/6	28/3
Λίπανση	9/8	7/5	11/6	3/6
Άνθηση 50%	Όχι	24/7	22/7	14/8
	ΒΕΛΕΣΤΙΝΟ			
	2009	2010	2011	2012
Σπορά	-	15/6	-	-
Φύτρωμα 50%	-	9/7	14/4	2/4
Λίπανση	-	Όχι	9/5	28/5
Άνθηση 50%	-	Όχι	Όχι	16/8

2.2.2.3 Έλεγχος ζιζανίων, καταπολέμηση εχθρών

Ο ανταγωνισμός μεταξύ ζιζανίων και καλλιέργειας είναι ένας σημαντικός λόγος για την αποτυχία εγκατάστασης του switchgrass. Η αποδεκτή παραγωγή του switchgrass μπορεί να καθυστερήσει κατά ένα ή περισσότερα χρόνια λόγω ανταγωνισμού με τα ζιζάνια και κακής εγκατάστασης (Schmer *et al.*, 2006), όπως συνέβη στο Βελεστίνο.

Και στις δύο περιοχές κατά το έτος εγκατάστασης, η αντιμετώπιση των ζιζανίων πραγματοποιήθηκε με μηχανικά μέσα. Επιπλέον, στον Παλαμά κατά το 2009 (έτος εγκατάστασης) έγινε χειρονακτική απομάκρυνση των ζιζανίων (τσάπισμα), με τη βοήθεια εργατών. Στο Βελεστίνο κάτι τέτοιο δεν μπόρεσε να γίνει και ο ανταγωνισμός με

τα ζιζάνια κατά το έτος εγκατάστασης 2010 ήτανε μεγάλος και παρεμποδιστικός αφού το φυτό κατάφερε να υπερισχύσει πλήρως (από μόνο και χωρίς βοήθεια) το 2012.

Δεν πραγματοποιήθηκε αντιμετώπιση εντομολογικών εχθρών και ασθενειών, αφού καθόλη τη διάρκεια διεξαγωγής των πειραμάτων δεν παρατηρήθηκε καμία προσβολή σε καμία από τις δύο πειραματικές περιοχές.

2.2.2.4 Άρδευση

Η άρδευση έγινε με καταιονισμό για την περιοχή του Παλαμά και με στάγδην άρδευση για την περιοχή του Βελεστίνου. Και στις δύο περιοχές πραγματοποιήθηκαν συνολικά 5 αρδεύσεις ανά έτος (πλην του έτους εγκατάστασης και κατά το οποίο δεν υπήρξαν επίπεδα άρδευσης ώστε να επιτευχθεί η πλήρης εγκατάσταση και να αποφευχθεί η επανασπορά) με συνολική κατανάλωση νερού 250 mm (Πιν. 2.3). Οι αρδεύσεις εφαρμόζονταν στα ενδιάμεσα των δειγματοληψιών χρονικά διαστήματα.

Πίνακας 2.3. Ημερομηνίες και ποσότητες άρδευσης (mm) για το switchgrass στις δύο υπό μελέτη περιοχές την περίοδο 2009-2012.

	2009	mm	2010	mm	2011	mm	2012	mm
ΠΑΛΑΜΑΣ	2/6	10						
	9/6	10						
	16/6	10						
	23/6	10						
	29/6	10	16/6	50	4/7	50	8/7	50
	8/7	50	6/7	50	14/7	50	16/7	50
	23/7	50	25/7	50	25/7	50	26/7	50
	12/8	50	7/8	50	4/8	50	9/8	50
	18/8	50	22/8	50	14/8	50	22/8	50
	2009	mm	2010	mm	2011	mm	2012	mm
ΒΕΛΕΣΤΙΝΟ	-	-	16/6	10				
	-	-	20/6	10				
	-	-	25/6	10				
	-	-	30/6	10				
	-	-	5/7	10	20/6	50	18/7	50
	-	-	10/7	50	29/6	50	26/7	50
	-	-	18/7	50	8/7	50	3/8	50
	-	-	29/7	50	24/7	50	11/8	50
	-	-	8/8	50	7/8	50	19/8	50

2.2.2.5 Συγκομιδή

Η τελική δειγματοληψία συγκομιδής στους πειραματικούς αγρούς λάμβανε μέρος όταν ωρίμαζε ο σπόρος της καλλιέργειας. Η μηχανική συγκομιδή και απομάκρυνση της καλλιέργειας από τον αργό πραγματοποιούνταν όταν ο καιρός επέτρεπε τη μηχανοσυλλογή περί τις αρχές Μαρτίου (όλα τα έτη).

2.3 Μετρήσεις

2.3.1. Μετρήσεις αύξησης - ανάπτυξης

Σε κάθε περιοχή, κάθε έτος για κάθε υποτεμάχιο πραγματοποιούνταν δειγματοληψίες φυτών για ανάλυση της αύξησης και ανάπτυξής τους από τα τέλη Μαΐου μέχρι και τις αρχές Οκτωβρίου, ανά 18-25 ημέρες (Πίν. 2.4). Κάθε δειγματοληψία περιελάμβανε την κοπή 1 τετραγωνικού μέτρου από το κέντρο των υποτεμαχίων. Αρχικά γινόταν καταγραφή του ύψους, του αριθμού των φυτών και του χλωρού βάρους των φυτών (ανά υποτεμάχιο). Στη συνέχεια επιλέγονταν 20 αντιπροσωπευτικά φυτά από κάθε τεμάχιο (υπόδειγμα) και μεταφέρονταν στο εργαστήριο, για την καταγραφή των μορφολογικών και λοιπών χαρακτηριστικών τους, όπως η φυλλική επιφάνεια, (πράσινη επιφάνεια φύλλων), το χλωρό αλλά και το ξηρό βάρος των φύλλων, στελεχών, καρποφόρων οργάνων (βλαστικά, αναπαραγωγικά όργανα). Η ξήρανση των δειγμάτων γινόταν σε αεροξηραντήριο σε θερμοκρασία 65°C. Η ξήρανση θεωρείτο περατωμένη όταν δεν μεταβαλλόταν το βάρος των δειγμάτων από την προηγούμενη μέτρηση μετά την παρέλευση μιας ημέρας.

Επίσης, προσδιοριζόταν ο δείκτης φυλλικής επιφάνειας (LAI) κάθε πειραματικού τεμαχίου με μέτρηση της επιφάνειας φύλλων του υποδείγματος. Κατόπιν γινόταν αναγωγή στο 1 m² μέσω των καταγεγραμμένων τιμών του υποδείγματος και της συνολικής ποσότητας του δείγματος.

Στο εργαστήριο υπολογίζονταν τα κλάσματα: φύλλα/βλαστοί, φύλλα/βιομάζα, βλαστοί/βιομάζα, ανθοταξία/βιομάζα, τόσο για το χλωρό όσο και για το ξηρό βάρος. Τέλος υπολογίζονταν οι ρυθμοί ανάπτυξης και ο δείκτης συγκομιδής.

Κεφάλαιο: Υλικά και Μέθοδοι – Μετρήσεις

Πίνακας 2.4. Ημερομηνίες δειγματοληψίας (J.D. = Ιουλιανές ημέρες, G.D.D = βαθμο-ημέρες – °C-d, D.A.E = ημέρες μετά το φύτευμα) και για τις δύο περιοχές μελέτης.

ΠΑΛΛΑΜΑΣ							
2009							
DATE	1/11						
JD	274						
GDD	1413						
DAE	95						
2010							
DATE	17/5	3/6	28/6	14/7	3/8	19/8	20/9
JD	137	154	179	195	215	231	263
GDD	303	476	835	1095	1439	1740	2199
DAE	67	84	109	125	145	161	193
2011							
DATE	11/6	27/6	11/7	25/7	9/8	29/9	
JD	162	178	192	206	221	272	
GDD	557	804	1036	1301	1556	2326	
DAE	79	95	109	123	138	189	
2012							
DATE	5/7	24/7	21/8		8/9	7/10	
JD	186	205	233		251	280	
GDD	1482	1876	2443		2840	3295	
DAE	99	118	146		164	193	
ΒΕΛΕΣΤΙΝΟ							
2010							
DATE	11/10						
JD	283						
GDD	1347						
DAE	93						
2011							
DATE		23/7				28/9	
JD		204				271	
GDD		840				1826	
DAE		100				167	
2012							
DATE	3/7	23/7	7/8	22/8	8/9	29/9	
JD	184	204	219	234	251	272	
GDD	982	1353	1640	1890	2150	2404	
DAE	92	112	127	142	159	180	

2.3.2 Φαινολογία

Σε κάθε περιοχή και κάθε έτος καταγράφηκαν:

- Αριθμός ημερών έως την έναρξη της άνθησης (50% της άνθησης)
- Αριθμός ημερών για κάθε ημερομηνία κοπής των φυτών (destructive samplings)
- Αριθμός ημερών έως την τελική δειγματοληψία συγκομιδής

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

Σύμφωνα με τη μέθοδο αυτή, οι απαιτούμενες θερμομονάδες από το φύτευμα έως ένα δεδομένο φαινολογικό στάδιο της καλλιέργειας (π.χ. άνθηση, ωρίμανση), υπολογίζονται με την άθροιση των ημερήσιων αποτελεσματικών θερμοκρασιών πάνω από τη βασική θερμοκρασία ανάπτυξης της καλλιέργειας (threshold temperature) σύμφωνα με τον τύπο:

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

όπου T_{\max} και T_{\min} είναι η μέγιστη και η ελάχιστη ημερήσια θερμοκρασία αέρα αντίστοιχα και T_0 είναι η βασική θερμοκρασία ($^{\circ}\text{C}$). Στην περίπτωση του switchgrass χρησιμοποιήθηκε ως βασική θερμοκρασία η τιμή των 10°C (Sanderson *et al.*, 1995).

2.3.3 Αρχιτεκτονική της βλάστησης

2.3.3.1 Ύψος

Το ύψος των καλλιεργειών χρησιμοποιείται ως έμμεσο μέτρο για την εκτίμηση της ανάπτυξης της βλάστησης και της απόδοσης. Το ύψος αποτελεί χαρακτηριστικό που καθορίζεται από τον γενότυπο του φυτού, τις εδαφολογικές και τις κλιματολογικές συνθήκες.

2.3.3.2 Δείκτης φυλλικής επιφάνειας (LAI – Leaf area index)

Η φυλλική επιφάνεια εκφράζεται με το δείκτη φυλλικής επιφάνειας (LAI: Leaf area index), ο οποίος ισούται με τη συνολική επιφάνεια των φύλλων που αντιστοιχεί σε συγκεκριμένη μονάδα επιφάνειας του εδάφους και όπως έχει προταθεί από τον Watson (1958), αποτελεί το καλύτερο μέτρο της ικανότητας της καλλιέργειας για την παραγωγή ξηρής ουσίας. Πολλές φορές χαρακτηρίζεται και ως «αναπαραγωγικό κεφάλαιο». Ο δείκτης φυλλικής επιφάνειας (LAI) αποτελεί μια έμμεση εκτίμηση της πρωτογενούς παραγωγικότητας, δεδομένου ότι περισσότερη βιομάζα συνεπάγεται μεγαλύτερη φυλλική επιφάνεια. Η τιμή του εξαρτάται από την ποσότητα του φωτός που διαπερνά τη φύλλωμα και φτάνει στο έδαφος.

Με το δείκτη φυλλικής επιφάνειας αγνοούνται οι άλλες φωτοσυνθέτουσες επιφάνειες του φυτού (μίσχοι, στελέχη, κ.ά.) οι οποίες αναλόγως του φυτικού είδους, σε πρακτική κλίμακα αντιπροσωπεύουν αμελητέο ποσοστό.

Ο LAI εκφράζει και την αποτελεσματικότητα μιας καλλιέργειας ως προς τη φωτοσυνθετική ικανότητα. Ο LAI αυξάνει από το φύτευμα μέχρι ενός ορίου του ώριμου φυτού, και η αύξηση αυτή συνδέεται εποχικά με τον ρυθμό αύξησης και βλαστικής ανάπτυξης των φυτών.

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

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

όπου SL είναι το ξηρό βάρος των (πράσινων) φύλλων (kg/στρέμμα).

Η διακύμανση στη συνολική φυλλική επιφάνεια ενός φυτού μπορεί να οφείλεται στις μεταβολές του αριθμού και του μεγέθους των φύλλων. Ο δείκτης ποικίλει ανάλογα με τα είδη που συνιστούν τη βλάστηση και κάτω από τις βέλτιστες για την ανάπτυξη συνθήκες, η τιμή του σχετίζεται με την ικανότητα των χαμηλότερων στρωμάτων του φυλλώματος, να απορροφούν ικανό ποσό φωτός για τη διατήρηση ενός θετικού ισοζυγίου του C (Beadle, 1987).

Ο υπολογισμός του LAI έγινε με βάση την παραπάνω εξίσωση, και η τιμή του LAI εκφράζεται σε m² επιφάνειας φύλλων/m² επιφάνειας εδάφους. Η μέτρηση της φυλλικής επιφάνειας έγινε με τον αυτόματο μετρητή φύλλων LI-COR model LI-3000A.

2.3.3.3 Ειδική φυλλική επιφάνεια (SLA-Specific leaf area)

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

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

Εάν $SLA > SLA_{\max}$ τότε $SLA = SLA_{\max}$

όπου:

SLA_{\max} είναι η μέγιστη ειδική φυλλική επιφάνεια (m²/kg).

SLA_{\min} είναι η ελάχιστη ειδική φυλλική επιφάνεια (m²/kg).

DVS είναι το σχετικό στάδιο ανάπτυξης.

Οι εξισώσεις που εισηγούνται είναι εμπειρικές και πρέπει να χρησιμοποιούνται με προσοχή. Συνιστάται η χρήση πραγματικών δεδομένων της SLA που έχουν προκύψει από πειραματισμό στον αγρό (Danaïatos *et al.*, 1994).

Όπως προαναφέρθηκε η SLA ισούται με το πηλίκο της επιφάνειας των φύλλων προς το ξηρό τους βάρος. Κατά συνέπεια ο υπολογισμός της SLA έγινε με βάση τις μετρήσεις της φυλλικής επιφάνειας ενός αριθμού φύλλων που μετρήθηκαν και του ξηρού τους βάρους (m² φύλλων/kg ξηρών φύλλων), χρησιμοποιώντας τη σχέση:

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

Η SLA και ο LAI συνδέονται με τη σχέση:

$$LAI = SL * SLA * 10^{-4}$$

όπου SL είναι το ξηρό βάρος των (πράσινων) φύλλων (kg ha⁻¹).

2.3.4 Χαρακτηριστικά του εδάφους

Η δειγματοληψία πριν την εγκατάσταση του πειραματικού αγρού πραγματοποιήθηκε σε πέντε σημεία της πειραματικής επιφάνειας σε σχήμα Z και αφού έχει προηγηθεί η χάραξή τους, ώστε να είναι δυνατή η λεπτομερέστερη σύγκριση των εδαφικών δειγμάτων.

Για τον προσδιορισμό των αρχικών συνθηκών του εδάφους συλλέχθηκαν δείγματα σε δύο βάθη i) 0-10 cm, και ii) 10-40 cm. Για κάθε δείγμα πραγματοποιήθηκε μια προεργασία πριν τη μέτρηση των φυσικών και χημικών ιδιοτήτων, η οποία περιελάμβανε αεροξήρανση, κονιορτοποίηση και κοσκίνιση.

Με το τέλος της διεξαγωγής των πειραμάτων επαναλήφθηκε δειγματοληψία εδάφους, το φθινόπωρο του 2012 και ξαναμετρήθηκαν οι χημικές ιδιότητες του εδάφους. Σε κάθε εδαφικό δείγμα προσδιορίστηκε η δομή, το pH, η ηλεκτρική αγωγιμότητα, η περιεκτικότητα σε: οργανική ουσία, οργανικό άνθρακα και ολικό άζωτο, ο λόγος C/N, και οι περιεκτικότητες φώσφορου και καλίου.

2.3.4.1 Φυσικές ιδιότητες του εδάφους

1) Μηχανική σύσταση του εδάφους

Αποτελεί αμετάβλητο εδαφικό χαρακτηριστικό στο χρόνο, εκτός αν ληφθούν δραστικά μέτρα που συνήθως δεν εφαρμόζονται σε γεωργική κλίμακα. Η κοκκομετρική (μηχανική) σύσταση του εδάφους επηρεάζει την ικανότητα του εδάφους να συγκρατεί νερό και θρεπτικά συστατικά και παρέχει χρήσιμες πληροφορίες για την ευκολία της μηχανικής κατεργασίας των εδαφών, καθώς και την ύπαρξη πιθανών προβλημάτων άρδευσης, στράγγισης και λίπανσης (Μήτσιος, 2001).

Για τον προσδιορισμό της κοκκομετρικής (ή μηχανικής) σύστασης του εδάφους χρησιμοποιείται η τροποποιημένη μέθοδος Bouyoucos (Gee & Bauder, 1986).

Η μηχανική ανάλυση στηρίζεται στο νόμο του Stokes:

$$2r^2(D-d)g$$

$$V = 9\eta$$

όπου V= ταχύτητα καθιζήσεως σε cm/sec

$$g = 981 \text{ cm/sec}^2$$

Κεφάλαιο: Υλικά και Μέθοδοι – Μετρήσεις

r = ακτίνα του τεμαχιδίου σε cm

D = πυκνότητα σωματιδίων σε gr/cm^3

d = πυκνότητα υγρού σε gr/cm^3

n = ιξώδες του υγρού (poises)

Στα εδαφικά δείγματα έγινε διαχωρισμός των συσσωματωμάτων και διασπορά με πολυμεταφωσφορικό νάτριο. Ο προσδιορισμός της πυκνότητας του αιωρήματος έγινε με υδρόμετρο: α) μετά από 40 sec και β) μετά από 2 ώρες. Επίσης διορθώθηκε η θερμοκρασία της ενδείξεως του υδρομέτρου.

Στη μέθοδο αυτή, χρησιμοποιούνται ειδικώς βαθμολογημένα πυκνόμετρα, τα οποία δίνουν απ' ευθείας την εκατοστιαία αναλογία των εν αιώρηση ευρισκομένων τεμαχιδίων του αιωρήματος. Η ειδική αυτή βαθμολόγηση του πυκνόμετρου γίνεται συνήθως για μέσης μηχανικής σύστασης εδάφη και κατά συνέπεια η χρησιμοποίησή τους για τα βαριά αργιλώδη εδάφη και τα ελαφρά αμμώδη μπορεί να περικλείει σφάλματα.

Χρησιμοποιούνται 50 g εδάφους σε ποτήρι ζέσεως, 50 mL διαλύματος του εξαμεταφωσφορικού νατρίου $(\text{NaPO}_3)_6$ και νερό. Το μείγμα αφού αναδευθεί για 20 περίπου λεπτά, μεταφέρεται με τη βοήθεια υδροβολέα σε ειδικούς γυάλινους κυλίνδρους Bouyoucos. Στο αιώρημα αυτό τοποθετείται το πυκνόμετρο. Μετά από πάροδο 40 δευτερολέπτων, γίνεται ανάγνωση του πυκνομέτρου, ενώ παράλληλα μετράται η θερμοκρασία του αιωρήματος. Οι ίδιες μετρήσεις γίνονται και μετά από την πάροδο δύο ωρών. Εάν είναι:

Π_1 : η πρώτη μέτρηση, μετά τα 40 δευτερόλεπτα.

Π_2 : η δεύτερη μέτρηση, μετά τις 2 ώρες.

Δ_1 : συντελεστής διόρθωσης της πρώτης ανάγνωσης του πυκνομέτρου που αντιστοιχεί στη θερμοκρασία της πρώτης μέτρησης και λαμβάνεται από πίνακα

Δ_2 : συντελεστής διόρθωσης της δεύτερης ανάγνωσης του πυκνομέτρου που αντιστοιχεί στη θερμοκρασία της δεύτερης μέτρησης και λαμβάνεται από πίνακα, τότε είναι:

$$\text{Άμμος (S) \%} = 100 - 2 * (\Pi_1 + \Delta_1)$$

$$\text{Άργιλος (C) \%} = 2 * (\Pi_2 + \Delta_2)$$

$$\text{Ίλύς (Si) \%} = 100 - (\text{Άμμος} + \text{Άργιλος})$$

2) Εδαφική οξύτητα (pH)

Η μέτρηση του pH του δείγματος έγινε με το πεχάμετρο (CRISON micropH 2002) στο Π.Ε.Γ.Ε.Α.Α. Κεντρικής Ελλάδος. Αφού αναδευθεί το αιώρημα με την υάλινη ράβδο, πλένεται το ηλεκτρόδιο του πεχαμέτρου με απεσταγμένο νερό και σκουπίζεται προσεκτικά με στεγνό χαρτί. Κατόπιν βυθίζεται το ηλεκτρόδιο μέσα στο αιώρημα εδάφους – νερού και μετρείται το “pH” του.

3) Ηλεκτρική αγωγιμότητα

Σε πλαστική φιάλη των 500 mL ζυγίζονται 50 γραμμάρια εδάφους και προστίθενται 250 mL απεσταγμένου νερού με ογκομετρικό κύλινδρο. Πωματίζεται η φιάλη και ανακινείται στη συσκευή ανακίνησης για 2 ώρες. Το δείγμα αφού αφηθεί σε ηρεμία για 30 λεπτά γίνεται διήθηση με διπλούς, απλούς ηθμούς. Αν το διήθημα δεν είναι διαυγές, μεταφέρεται σιγά-σιγά σε πλαστικό δοχείο φυγοκέντρωσης. Η φυγοκέντρωση γίνεται με ταχύτητα 3.500 στροφών/λεπτό, για 5 λεπτά. Στο διαυγές διήθημα (εκχύλισμα) μετράται η αγωγιμότητα στο αγωγιμόμετρο.

2.3.4.2 Χημικές ιδιότητες του εδάφους

1) Ποσοστό οργανικού άνθρακα και οργανική ουσία

Ο προσδιορισμός του οργανικού άνθρακα πραγματοποιήθηκε με την τροποποιημένη μέθοδο της υγρής οξειδωσης των Walkley – Black (Nelson & Sommers, 1982).. Η μέθοδος αυτή στηρίζεται στην αναγωγή ενός οξειδωτικού μέσου (του $\text{Cr}_2\text{O}_7^{-2}$) με ταυτόχρονη οξειδωση του άνθρακα της οργανικής ουσίας και προσδιορισμό της ποσότητας του οξειδωτικού μέσου που καταναλώνεται κατά την οξειδωση. Ο προσδιορισμός αυτός έλαβε χώρα, ογκομετρικά, με τη χρήση αναγωγικού διαλύματος FeSO_4 και δείκτη φαινυλαμίνης. Για την εφαρμογή της παραπάνω μεθόδου χρησιμοποιήθηκε έδαφος ψιλοκοσκινισμένο (2 mm) και απαλλαγμένο από κάθε είδους ριζίδια.

Ο προσδιορισμός της οργανικής ουσίας του εδάφους πραγματοποιήθηκε με τη μέθοδο της υγρής οξειδωσης. Στη μέθοδο αυτή, ο C της οργανικής ουσίας οξειδώνεται από ένα οξειδωτικό μέσο (το διχρωμικό κάλιο). Τα αντιδραστήρια που χρησιμοποιήθηκαν είναι το πυκνό φωσφορικό οξύ (>85%), το πυκνό θειικό οξύ (>96%), το διάλυμα διχρωμικού

Κεφάλαιο: Υλικά και Μέθοδοι – Μετρήσεις

καλίου 1N, το διάλυμα 0,5N θειϊκού σιδήρου (Fe_2SO_4) και ο δείκτης διφαινυλαμίνης 0,5%. Ο προσδιορισμός γίνεται με τη μέθοδο της ογκομέτρησης.

A = mL διαλύματος 0,5N FeSO_4 που καταναλώθηκαν για το λευκό (χωρίς έδαφος) προσδιορισμό, δηλαδή για την εξουδετέρωση 10 mL διαλύματος 1N $\text{K}_2\text{Cr}_2\text{O}_7$.

B = mL διαλύματος 0,5N θειϊκού σιδήρου που καταναλώθηκαν για το δείγμα.

H % περιεκτικότητα του εδάφους σε οργανική ουσία: $(A-B) \cdot 0,335$

2) Ολικό άζωτο

Ο προσδιορισμός του ολικού αζώτου πραγματοποιήθηκε με τη μέθοδο της υγρής οξειδωσης, κατά Kjeldhal (Bremner & Mulvaney, 1982). Η μέθοδος αυτή περιλαμβάνει:

- καύση του δείγματος (μετατροπή του οργανικού N σε $\text{NH}_4^+\text{-N}$ με την παρουσία πυκνού H_2SO_4 και καταλυτών)
- προσδιορισμό του $\text{NH}_4^+\text{-N}$. Το $\text{NH}_4^+\text{-N}$ (προσδιορισμός μέσω της συλλογής της NH_3 που απελευθερώνεται από την απόσταξη και της ανάλυσης του αποστάγματος για $\text{NH}_4^+\text{-N}$, μέσω τιτλοδότησης).

Αν α = mL διαλύματος H_2SO_4 που καταναλώθηκαν κατά την ογκομέτρηση

Και β = τα γραμμάρια του εδαφικού δείγματος τότε

Ολικό άζωτο N % = $(\alpha \cdot 0,14) / \beta$.

3) Οργανική ουσία

Ο προσδιορισμός της οργανικής ουσίας του εδάφους πραγματοποιήθηκε με τη μέθοδο της υγρής οξειδωσης. Στη μέθοδο αυτή, ο C της οργανικής ουσίας οξειδώνεται από ένα οξειδωτικό μέσο (το διχρωμικό κάλιο). Τα αντιδραστήρια που χρησιμοποιήθηκαν είναι το πυκνό φωσφορικό οξύ (>85%), το πυκνό θειϊκό οξύ (>96%), το διάλυμα διχρωμικού καλίου 1N, το διάλυμα 0,5N θειϊκού σιδήρου (Fe_2SO_4) και ο δείκτης διφαινυλαμίνης 0,5%. Ο προσδιορισμός γίνεται με τη μέθοδο της ογκομέτρησης.

A = mL διαλύματος 0,5N FeSO_4 που καταναλώθηκαν για το λευκό (χωρίς έδαφος) προσδιορισμό, δηλαδή για την εξουδετέρωση 10 mL διαλύματος 1N $\text{K}_2\text{Cr}_2\text{O}_7$.

B = mL διαλύματος 0,5N θειϊκού σιδήρου που καταναλώθηκαν για το δείγμα.

Η % περιεκτικότητα του εδάφους σε οργανική ουσία: $(A-B) \cdot 0,335$

4) Περιεκτικότητα σε αφομοιώσιμο φώσφορο

Ο προσδιορισμός του φωσφόρου στο έδαφος έγινε με τη μέθοδο “Olsen” (Olsen *et al.*, 1982), όπου 5 g εδάφους τοποθετούνται σε πλαστική φιάλη και προστίθενται 0,5 g άνθρακα. Κατόπιν προστίθενται 100 mL διαλύματος NaHCO_3 με ογκομετρικό κύλινδρο και γίνεται ανακίνηση για 30 λεπτά και έπειτα διήθηση με κοινούς ηθμούς. Λαμβάνονται 10 mL διηθήματος με σιφώνιο και φέρονται σε ογκομετρική φιάλη όπου και προστίθενται 10 mL διαλύματος μολυβδαινικού αμμωνίου και νερό μέχρι την καμπή της φιάλης. Προστίθενται 5 σταγόνες διαλύματος χλωριούχου κασσίτερου και ανακινείται ελαφρώς η φιάλη και συμπληρώνεται με απεσταγμένο νερό μέχρι τη χαραγή και ανακινείται ελαφρώς. Μετά την παρέλευση 15 λεπτών γίνεται η μέτρηση στο φασματοφωτόμετρο σε μήκος κύματος 660 nm. Οι ενδείξεις του οργάνου σε ppm πολλαπλασιάζονται επί 100 (συντελεστής αραίωσης) και η τιμή που προκύπτει δίνει την περιεκτικότητα του δείγματος σε φώσφορο, εκφρασμένη σε ppm.

5) Ανταλλάξιμο Κάλιο

Για τον προσδιορισμό του ανόργανου διαθέσιμου καλίου πραγματοποιήθηκε εκχύλιση με τη μέθοδο του αμμωνιακού εστέρα (NH_4Ac). Ο προσδιορισμός της συγκέντρωσης του στοιχείου μετά την εκχύλιση πραγματοποιείται φλογομετρικά (Page *et al.*, 1982). Η μέτρηση πραγματοποιείται στα 766,5 nm. Μονάδες: Συγκέντρωση mg/kg εδάφους (ppm). Από το φλογοφωτόμετρο λαμβάνεται η ένδειξη του οργάνου και από την καμπύλη αναφοράς (που έγινε με βάση τις ενδείξεις οργάνου που αντιστοιχούν στις γνωστές συγκεντρώσεις καλίου) προσδιορίζεται το ποσό των ppm καλίου που περιέχει το προς μέτρηση διάλυμα, που προήλθε από την εκχύλιση των 4 g εδαφικού δείγματος.

Έστω ότι από την καμπύλη προκύπτουν α ppm Καλίου στο διάλυμα τότε:

$$\text{cmol Καλίου ανά 100 g εδάφους} = (\alpha \cdot 2,5) / 39,09$$

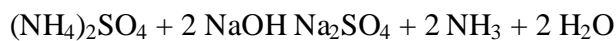
2.3.5 Φυλλοδιαγνωστική

Στα επιμέρους βλαστικά μέρη (φύλλα, βλαστός, ξερά φύλλα, ανθοταξία) του φυτικού ιστού έγινε ανάλυση N, P, K και τέφρας σε τρία στάδια ανάπτυξης, και για όλα τα έτη πειραματισμού.

1) Ολικό Άζωτο

Ο προσδιορισμός του ολικού αζώτου έγινε με τη μέθοδο Kjeldhal (Nelson & Sommers, 1973). Στη μέθοδο αυτή, ορισμένη ποσότητα ξηρού δείγματος φυτικού ιστού τοποθετείται στον πυθμένα ενός σωλήνα καύσης. Η οργανική ουσία οξειδώνεται μεθειϊκό οξύ παρουσία καταλύτη, το άζωτο (εκτός από αυτό των νιτρικών) μετατρέπεται ποσοτικά σε αμμωνία και αυτή σεθειϊκό αμμώνιο: $2 \text{NH}_3 + \text{H}_2\text{SO}_4 \rightarrow (\text{NH}_4)_2\text{SO}_4$.

Τοθειϊκό αμμώνιο σεθερμό αλκαλικό περιβάλλον διασπάται και παράγεται αμμωνία, η οποία ψύχεται και διαβιβάζεται σε διάλυμα βορικού οξέος όπου δεσμεύεται με την μορφή βορικού αμμωνίου. Ακολουθεί ογκομέτρηση με υδροχλωρικό οξύ και δείκτη μίγμα ερυθρού του μεθυλίου & πράσινου της βρωμοκρεσόλης. Ο όγκος του προτύπου διαλύματος HCl που καταναλώθηκε μετατρέπεται σε ποσότητα αζώτου. Οι αντιδράσεις παραγωγής και δέσμευσης της αμμωνίας έχουν ως εξής:



Αν είναι:

α = mL διαλύματος H_2SO_4 που καταναλώθηκαν κατά την ογκομέτρηση, και

β = τα γραμμάρια του δείγματος φυτικού ιστού, τότε:

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

2) Φώσφορος (μέθοδος ξηρής καύσης με χρήση φασματοφωτομέτρου)

Χρησιμοποιήθηκαν διαλύματα μολυβδαινικού αμμωνίου και μεταβαναδικού αμμωνίου, και πυκνό νιτρικό οξύ. Η μέτρηση έγινε στο φασματοφωτόμετρο, σε μήκος κύματος 470 nm. Οι ενδείξεις του οργάνου σε ppm πολλαπλασιάζονται επί του συντελεστή αραίωσης (500) και στη συνέχεια διαιρούνται με 10.000. Η τιμή που προκύπτει δίνει την % περιεκτικότητα του φυτικού δείγματος σε P (Jones & Case, 1990).

3) Κάλιο (μέθοδος ξηρής καύσης με χρήση φλογοφωτόμετρου)

Η μέτρηση πραγματοποιήθηκε με τη βοήθεια φλογοφωτόμετρου. Σημειώνονται οι ενδείξεις του οργάνου για τα standards και για τα δείγματα. Από την καμπύλη αναφοράς (που κατασκευάζεται με βάση: ενδείξεις οργάνου-γνωστές συγκεντρώσεις καλίου των standards) προκύπτει πόσα ppm καλίου περιέχει το προς μέτρηση διάλυμα. Η τιμή αυτή πολλαπλασιάζεται επί 1.000 (συντελεστής αραίωσης). Στη συνέχεια διαιρείται με 10.000. Η τιμή αυτή δίνει την περιεκτικότητα % σε κάλιο (K^+) του προς ανάλυση δείγματος των φύλλων (Jones & Case, 1990).

2.4 Μετεωρολογικά δεδομένα και στατιστική ανάλυση

Η συλλογή των μετεωρολογικών δεδομένων για τον Παλαμά Καρδίτσας έγινε με τη βοήθεια του αυτόματου μετεωρολογικού σταθμού του Εργαστηρίου Γεωργίας και Εφαρμοσμένης Φυσιολογίας Φυτών, που βρίσκεται εγκατεστημένος στον πειραματικό αγρό του Παλαμά. Ο μετεωρολογικός σταθμός περιλαμβάνει καταγραφέα τύπου Datalog2 Series της εταιρίας Skye Instruments LTD., ο οποίος απαρτίζεται από τους εξής αισθητήρες μέτρησης: Φωτός (Pyranometer), Θερμοκρασίας (Thermistors), Βροχόπτωσης (Arg 100), Ταχύτητας ανέμου (Thies Clima). Ο σταθμός κατέγραφε ανά ώρα τη θερμοκρασία αέρα, τη σχετική υγρασία αέρα, την ηλιακή ακτινοβολία, την ένταση του ανέμου και τη βροχόπτωση. Η ανάκτηση των δεδομένων γινόταν ανά δίμηνο από το καταγραφικό αρχείο του μετεωρολογικού σταθμού (data logger) και επεξεργάστηκαν με το Excel του Microsoft office.



Εικόνα 2.3. Ο αυτόματος μετεωρολογικός σταθμός που εγκαταστάθηκε στον Παλαμά Καρδίτσας.

Τα μετεωρολογικά δεδομένα για τον πειραματικό αγρό του Βελεστίου προέρχονται από μετεωρολογικό σταθμό του Εργαστηρίου Γεωργικής Υδραυλικής και του εργαστηρίου Γεωργικών Κατασκευών & Ελέγχου Περιβάλλοντος που βρίσκονται εγκατεστημένοι στον πειραματικό αγρό του Βελεστίου. Ο ένας από τους σταθμούς κατέγραφε ανά δεκάλεπτο τη θερμοκρασία αέρα, τη σχετική υγρασία αέρα, την ηλιακή ακτινοβολία, την ένταση του ανέμου και τη βροχόπτωση. Η ανάκτηση των δεδομένων έγινε κατόπιν αίτησης στα παραπάνω εργαστήρια.

Για τη στατιστική και τη μελέτη των αποτελεσμάτων χρησιμοποιήθηκε το στατιστικό πακέτο, *GENSTAT 7th edition*, και το λογιστικό Excel της Microsoft. Η ανάλυση

Κεφάλαιο: Υλικά και Μέθοδοι – Μετεωρολογικά δεδομένα και στατιστική 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 στις μεταβλητές της αύξησης και ανάπτυξης, ορισμένων ιδιοτήτων της βιομάζας, της προσρόφησης 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 την τη στατιστική σημαντικότητα της σχέσης δύο μεταβλητών.

2.5 Θερμογόνος Δύναμη και περιεκτικότητα σε στάχτη

Το switchgrass έχει πολύ υψηλότερη θερμογόνο δύναμη και χαμηλή περιεκτικότητα στάχτης έναντι άλλης βιομάζας (Sudhagar *et al.*, 2004). Το “pellet” από switchgrass έχει βρεθεί ότι έχει θερμογόνο δύναμη 19,2 MJ/kg, και στάχτη 4,5 % (Mani *et al.*, 2006; Samson *et al.*, 2006). Όσον αφορά στο ποσοστό της στάχτης, αυτό αναφέρεται να έχει ένα εύρος από 4,5%, μέχρι και 6%. Έχουν όμως αναφερθεί και ποσοστά στάχτης κάτω του 3,5% (Samson *et al.*, 2000) με ιδιαίτερες μεταχειρίσεις τόσο κατά την επιλογή εδάφους, ποικιλίας και εποχή συγκομιδής.

Η θερμογόνος δύναμη και η περιεκτικότητα σε στάχτη στα διάφορα στάδια ανάπτυξης του switchgrass και για το κάθε βλαστικό του τμήμα μετρήθηκε με τη βοήθεια ενός θερμιδομέτρου βόμβας οξυγόνου (Model C5000 Adiabatic Calorimeter, IKA®-Werke, Staufen, Germany) στο Τμήμα Μηχανικής Βιοσυστημάτων, του ΤΕΙ Λάρισας. Με το θερμιδόμετρο αυτό είναι δυνατόν να επιτευχθούν προσδιορισμοί της μικτής θερμογόνου δύναμης υγρών και στερεών δειγμάτων σε αδιαβατική (14 έως 18 λεπτά), ισοπεριβολική (περίπου 22 λεπτά) και δυναμική (μειωμένος χρόνος: περί τα 10 λεπτά) λειτουργία (Gravalos *et al.*, 2010).

Το θερμιδόμετρο οβίδα και το περιβάλλον μεταλλικό δοχείο σχηματίζουν τον πυρήνα του θερμιδομετρικού συστήματος, το οποίο τοποθετείται σε ένα θερμικά μονωμένο περίβλημα. Ένας πρωτεύων μετατροπέας θερμοκρασίας, τοποθετείται στο εσωτερικό της μονάδας, για να καταγράφει τη μεταβολή της θερμοκρασίας του συστήματος λόγω της καύσης του καυσίμου στη βόμβα. Το θερμιδόμετρο περιέχει επίσης ένα σύστημα ψύξης. Το θερμιδόμετρο οβίδα επιτρέπει την ταχεία ανάλυση που, ο βασικός χρόνος της οποίας δεν μπορεί να μειωθεί, δεδομένου ότι σχετίζονται με τη διαδικασία της καύσης καυσίμου. Ως θερμαντική αξία μπορεί να οριστεί το ποσό της ενέργειας που απελευθερώνεται από μια μάζα προς την καύσιμη μάζα. Δύο θερμογόνες δυνάμεις πρέπει να ληφθούν υπόψη:

- ✓ Η μεικτή θερμογόνος αξία (GCV), που είναι η ποσότητα της ενέργειας που απελευθερώνεται από την πλήρη καύση της μονάδας μάζας του δείγματος, σε σταθερό όγκο σε ατμόσφαιρα οξυγόνου, υποθέτοντας ότι τα τελικά προϊόντα της καύσης

Κεφάλαιο: Υλικά και Μέθοδοι – Θερμογόνος Δύναμη και περιεκτικότητα σε στάχτη

αποτελούνται από O₂, CO₂, SO₂, και N₂ σε αέριο φάση, μαζί με νερό, ό,τι περιέχει το δείγμα και ό,τι παράγεται από το συνδυασμό με υδρογόνο, σε υγρή μορφή.

- ✓ Η καθαρή θερμογόνος δύναμη (NCV) που μπορεί να υπολογίζεται από τη GCV υποθέτοντας ότι το νερό στα προϊόντα παραμένει σε μορφή ατμού. Η γνώση της καθαρής θερμογόνου δύναμης είναι πολύ χρήσιμη για την αξιολόγηση των καλλιεργειών, των κτηνοτροφικών φυτών και των δασικών πόρων. Και οι δύο δυνάμεις σχετίζονται με την εξίσωση:

$$NCV = GCV - (H_2O * 24,41)$$

Το περιεχόμενο ποσοστό τέφρας των δειγμάτων προσδιορίστηκε με βάση το πρότυπο ASTM D 3174-97 για το κάρβουνο και το κωκ. Ένα γραμμάριο βιομάζας αλεσμένο και κοσκινισμένο τοποθετήθηκε σε πορσελάνινο χωνευτήριο και έπειτα σε ένα κλίβανο. Η θερμοκρασία του κλιβάνου για την πρώτη ώρα αυξήθηκε στους 450-500 °C και για τη δεύτερη στους 700-750 °C. Για τις επόμενες δύο ώρες, διατηρήθηκε η ίδια θερμοκρασία. Μετά από τέσσερις ώρες από την έναρξη του κλιβάνου, το χωνευτήριο καλύφθηκε, απομακρύνθηκε από τον κλίβανο και ψύχθηκε σε θερμοκρασία δωματίου. Η μάζα που συγκρατείται στο χωνευτήριο εκφράστηκε ως επί τοις εκατό περιεκτικότητα σε τέφρα. Οι μετρήσεις για την περιεκτικότητα σε τέφρα επαναλήφθηκαν πέντε φορές.



Εικόνα 2.4. Συνεχής εδαφοκάλυψη κατά τη διάρκεια του έτους από την καλλιέργεια του switchgrass και προστασία του εδάφους από τη διάβρωση.

2.6 Δεδομένα οικονομικής ανάλυσης

Για τη συλλογή δεδομένων εισροών-εκροών της καλλιέργειας του switchgrass για την περαιτέρω διερεύνηση της οικονομικής βιωσιμότητας έγινε λεπτομερής καταγραφή του κόστους καλλιέργειας για όλα τα πειράματα αγρού.

Το κόστος καλλιέργειας μπορεί να διαχωριστεί σε πέντε κατηγορίες:

- Προετοιμασία αγρού
- Καλλιεργητικές φροντίδες
- Ενοίκιο χωραφιού
- Συγκομιδή
- Προϊόν

Η επιλογή της χρήσης του switchgrass τόσο ως ζωοτροφή για βοοειδή και ως βιομάζα για την παραγωγή ενέργειας θα μπορούσε να προσφέρει ένα ελκυστικό κίνητρο για τους γεωργούς. Η ευελιξία στη χρήση του θα μπορούσε επίσης, να παρέχει ένα κίνητρο για να υιοθετήσουν την παραγωγή του switchgrass ως μια νέα παραγωγική δραστηριότητα (Guretzky *et al.*, 2010). Εξετάζοντας την οικονομικότητα μιας καλλιέργειας, είναι εύκολα αντιληπτό ότι πολλοί παράγοντες είναι αυτοί που την επηρεάζουν, τόσο ο καθένας ξεχωριστά, όσο και αλληλεπιδρώντας μεταξύ τους. Το κόστος εγκατάστασης για παράδειγμα, διαφέρει σημαντικά από περιοχή σε περιοχή. Οι εφαρμοζόμενες διαχειριστικές πρακτικές (πχ πότισμα κ.ά.) καθορίζονται από εδαφικές και κλιματικές συνθήκες, όπως και η τελική παραγωγή (Monti *et al.*, 2001). Δεδομένων λοιπόν όλων αυτών των παραγόντων που τελικά επηρεάζουν την οικονομικότητα μιας ενεργειακής καλλιέργειας γίνεται αντιληπτό ότι ο υπολογισμός της είναι δύσκολη υπόθεση, αφού πολλοί από αυτούς τους παράγοντες είναι ευμετάβλητοι.

Παρακάτω παρουσιάζεται ο πίνακας των εξόδων ανά καλλιεργητική εφαρμογή που εφαρμόστηκε στους πειραματικούς αγρούς και για τις δύο περιοχές (€/στρ.).

Πίνακας 2.5 Κόστη προετοιμασίας αγρού

ΠΡΟΕΤΟΙΜΑΣΙΑ ΑΓΡΟΥ
1. Όργωμα →
2. Καλλιεργητής →
3. Δισκοσβάρνα →
4. Σβολοκόπτης →
5. Σπορά → :..... Σπόρος →
ΚΑΛΛΙΕΡΓΗΤΙΚΕΣ ΦΡΟΝΤΙΑΕΣ
6. Λίπανση →:..... Κόστος λιπασμάτων →
7. Ψεκασμός για ζιζάνια → :..... Κόστος ζιζανιοκτόνου →
Κόστος Εργατικών →
8. Ψεκαστικό →
Φυτοφάρμακα →
9. Κόστος άρδευσης → (Ιδιωτική γεώτρηση).....
10. Έχτα κόστος →.....
ΕΝΟΙΚΙΟ ΧΩΡΑΦΙΟΥ →
ΣΥΓΚΟΜΙΔΗ
Κόψιμο →
Μπάλα τετράγωνη 22kg →
Μπάλα στρόγγυλη/τετράγωνη 250kg →
Ενσίρρωση →
ΜΕΤΑΦΟΡΑ
Μπάλες τετράγωνες 22kg →
Μπάλες στρόγγυλες/τετράγωνες 250kg →
Ενσιρρώματος →
ΑΓΟΡΑ ΠΡΟΪΟΝΤΟΣ ΓΙΑ:
Ζωοτροφή →
Βιομάζα για pellet →
Βιομάζα για βιο-αέριο →

Για τον υπολογισμό της οικονομικής απόδοσης (ανά στρέμμα) από την καλλιέργεια switchgrass, ελήφθησαν υπόψη οι υπάρχουσες τιμές αγοράς (για ζωοτροφές - σανό μηδικής 0,17 - 0,18 € kg⁻¹ και ενσίρωσης 0,039 - 0,044 € kg⁻¹, την περίοδο 2011-12). Η οικονομική ανάλυση αφορά το 2^ο και 3^ο έτος (2011 και 2012), ενώ έγινε και ανάλυση ευαισθησίας για την εκτίμηση της επίδρασης της τιμής του προϊόντος στο εισόδημα του παραγωγού από την καλλιέργεια.

Κεφάλαιο: Υλικά και Μέθοδοι – Δεδομένα οικονομικής ανάλυσης

Κρίνεται απαραίτητο να αναφερθεί ότι το κόστος μεταποίησης της βιομάζας (pellet) υπολογίστηκε από την πρέσα πελλέτας που κατασκευάστηκε κατά την διεξαγωγή των πειραμάτων (κατασκευή πλαισίου στήριξης, μήτρας, ράουλων κ.τ.λ.) στο μηχανουργείο του κ. Νικολάου Μιχόπουλου στον Παλαμά Καρδίτσας. Το κόστος κατασκευής της πελλετομηχανής (μη συμπεριλαμβανομένης της προσωπικής εργασίας) και η αγορά μεταχειρισμένου ηλεκτροκινητήρα (που αποτελεί το μοναδικό τμήμα της μηχανής που δεν κατασκευάστηκε) ανέρχεται στα 1.000-1.200 € και η παραγωγή πελλέτας, με πρώτη ύλη switchgrass (θρυμματισμένη ξηρή βιομάζα) είναι ίση με 300 κιλά ανά ώρα.



Εικόνα 2.5. Η πελλετοπρέσα και τα αποτελούμενα μέρη πριν και μετά την κατασκευή.

Μετά την ολοκλήρωση της συλλογής των στοιχείων για την έρευνα, εφαρμόστηκε η μη παραμετρική μέθοδος Data Envelopment Analysis (DEA), η οποία ακολουθεί την προσέγγιση κατά Farrell (1957) και προτάθηκε το 1978 από τους Charnes, Cooper και Rhodes. Το πλεονέκτημα της DEA είναι η ευελιξία της και η δυνατότητα να χρησιμοποιείται για τις διάφορες αναλύσεις σεναρίων. Η μέθοδος αυτή χρησιμοποιείται σε επιχειρησιακές έρευνες, στην οικονομική εκτίμηση της εγχώριας παραγωγής και εμπειρικά για τον υπολογισμό της παραγωγικής αποτελεσματικότητας σε μονάδες παραγωγής. Τα εισαγόμενα δεδομένα (inputs) ήταν τα ενεργειακά κόστη, τα χημικά κόστη και το κόστος σπόρου κάθε καλλιέργειας.

2.7 Πειράματα σε γλαστράκια

2.7.1 Έλεγχος της ανάπτυξης του υπέργειου αλλά και του υπόγειου τμήματος του φυτού σε συγκεκριμένες συνθήκες και διαφορετικά επίπεδα άρδευσης

Για τους σκοπούς της μελέτης πραγματοποιήθηκε πείραμα σε θάλαμο ανάπτυξης (Μοντέλο GRW 1500 CMP) στο Εργαστήριο Γεωργίας & Εφαρμοσμένης Φυσιολογίας Φυτών του Πανεπιστημίου Θεσσαλίας, κατά την περίοδο 2010 – 2011. Στο πείραμα μελετήθηκε η επίδραση της άρδευσης υπό ελεγχόμενες συνθήκες καθώς και η επίδραση του πληθυσμού στην αύξηση και ανάπτυξη του φυτού κατά την εγκατάσταση. Τα επίπεδα άρδευσης και οι πληθυσμοί των φυτών δίνονται παρακάτω:

Άρδευση

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

Πληθυσμός

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

Κάθε επανάληψη αποτελούνταν από 20 γλάστρες. Χρησιμοποιήθηκε σπόρος switchgrass (*Panicum virgatum* L.) ποικιλίας Alamo. Οι σπόροι φυτεύτηκαν στις γλάστρες που περιείχαν τύρφη σε βάθος 1 mm. Οι ημερομηνίες σποράς της κάθε επανάληψης ήταν οι ακόλουθες:

- 1^η Σπορά: 30/10/2010
- 2^η Σπορά: 26/12/2010
- 3^η Σπορά: 03/03/2011

Ο θάλαμος ανάπτυξης ρυθμίστηκε ώστε να έχει σταθερή θερμοκρασία 26,5 °C και όλες τις λάμπες, αλογόνου και φθορισμού ανοιχτές. Οι τρεις επαναλήψεις έχουν ως εξής:

- 1^η Επανάληψη: Επίπεδο I (250 mL/γλάστρα/ημέρα) και α πληθυσμός σπόρων
- 2^η Επανάληψη: Επίπεδο II (125 mL/γλάστρα/ημέρα) και 2α πληθυσμός σπόρων
- 3^η Επανάληψη: Επίπεδο II (125 mL/γλάστρα/ημέρα) και α πληθυσμός σπόρων

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

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

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

Μετά την ολοκλήρωση της ανάπτυξης, συλλέχθηκαν ολόκληρα τα φυτά (υπόγειο και υπέργειο μέρος), καθαρίστηκε το ριζικό σύστημα από τα υπολείμματα της τύρφης που υπήρχαν και τοποθετήθηκαν στο ξηραντήριο. Τα φυτά παρέμειναν στο ξηραντήριο, στους 65°C, για 7 ημέρες μέχρι να επιτευχθεί η σταθεροποίηση των ξηρών βαρών τους.

2.7.2 Έλεγχος χρήσης της καλλιέργειας του Switchgrass ως εδαφοβελτιωτικό

Δύο πειράματα σε γλαστράκια σε θερμοκήπιο της Σχολής Γεωπονικών Επιστημών του Πανεπιστημίου Θεσσαλίας στο Βόλο, έλαβαν χώρα κατά τα έτη 2010 και 2011. Χρησιμοποιήθηκε το φυτό switchgrass (ποικιλία Alamo).

Το 2010 η σπορά έγινε στις 28 Ιουνίου. Χρησιμοποιήθηκαν 24 γλαστράκια τα οποία συμπληρώθηκαν με 1 kg τύρφης και 3 kg αμμώδους εδάφους (12 ανά είδος εδάφους).

Έγινε λίπανση με τρία επίπεδα (0, 20, 50 g/kg) από το θρεπτικό διάλυμα αζώτου με τη μορφή NH₄NO₃. Η περιεχόμενη ποσότητα NO₃ των εδαφών (τύρφη-αμμώδους εδάφους) μετρήθηκε πριν από τη σπορά. Οι σπόροι φύτρωσαν στις 4 Ιουλίου και η άρδευση πραγματοποιούνταν κάθε δεύτερη ημέρα. Η συνολική ποσότητα του εφαρμοσμένου νερού ήταν 4500 mL ανά γλάστρα. Η καλλιεργητική περίοδος ήταν 53 ημέρες και τα

Κεφάλαιο: Υλικά και Μέθοδοι – Πειράματα σε γλαστράκια

φυτά του switchgrass είχαν φτάσει στο ύψος των 80 και 40cm σε τύρφη και αμμώδες έδαφος αντίστοιχα.

Το πείραμα επαναλήφθηκε κατά το έτος 2011. Η ίδια ποικιλία του switchgrass (Alamo) σπάρθηκε στις 20 Ιουλίου. Χρησιμοποιήθηκαν 24 γλάστρες αλλά χρησιμοποιήθηκε μόνο τύρφη ποσότητας 1 kg ανά γλαστράκι. Τα θρεπτικά επίπεδα του διαλύματος διατηρήθηκαν τα ίδια.

Οι σπόροι φύτευαν στις 27 Ιουλίου. Η άρδευση πραγματοποιήθηκε με τη χρήση ενός αυτόματου συστήματος άρδευσης με ενστάλαξη και η συνολικό ποσότητα του νερού που εφαρμόστηκε ήταν και πάλι 4.500 mL ανά γλάστρα. Η καλλιεργητική περίοδος ήταν 78 ημέρες και το switchgrass έφθασε στο ύψος των 108 εκατοστών.

Πίνακας 2.6. Σημαντικές πειραματικές ημερομηνίες κατά τα έτη 2010-2011

	2010	2011
Ημερομηνία Σποράς	28/6	20/7
Ημερομηνία Βλάστησης	4/7	25/7
Προετοιμασία μεταχειρίσεων	27/6	19/7
Μέση Θερμοκρασία (°C) ¹	27.4	27.4
Άρδευση (mL/plot)	4500	4500
Ημερομηνία συγκομιδής	25/8	5/10

1: από τη βλάστηση έως τη συγκομιδή

Το $\text{NO}_3^- \text{N}$ του εδάφους και το περιεχόμενο των φυτών μετρήθηκε χρησιμοποιώντας τη μέθοδο στήλης καδμίου (Copperized Cadmium Reduction Column Method, Puchades *et al.*, 2008). Σε ογκομετρικούς σωλήνες 50 mL προστέθηκαν 4 g από το κάθε δείγμα εδάφους και αναμείχθηκαν με 40 mL συγκέντρωσης 2M KCl. Το διάλυμα ανακινήθηκε για 1 h σε 180 rpm / min και διηθήθηκε. Κατόπιν 1 mL συμπυκνωμένου διαλύματος NH_4Cl , 2 mL από το κάθε εκχύλισμα και 75 mL αραιωμένου διαλύματος NH_4Cl διήλθαν μέσω της στήλης με ρυθμό 110 mL/min. Τελικά κάθε δείγμα υποβλήθηκε σε επεξεργασία με ένα αντιδραστήριο διαζώτωσης (sulfanilamine) σε HCl και ένα αντιδραστήριο σύζευξης (N-(1-naphthyl)-ethylenediamine) (Page *et al.*, 1982).

Η ποσότητα του $\text{NO}_3^- \text{N}$ στο φυτικό ιστό μετρήθηκε χρησιμοποιώντας τη μέθοδο του «Ταχέος χρωματομετρικού προσδιορισμού νιτρικών σε φυτικό ιστό με νίτρωση του σαλικυλικού οξέος». Οι φυτικοί ιστοί πλύθηκαν με απιονισμένο νερό, ξηράνθηκαν,

Κεφάλαιο: Υλικά και Μέθοδοι – Πειράματα σε γλαστράκια

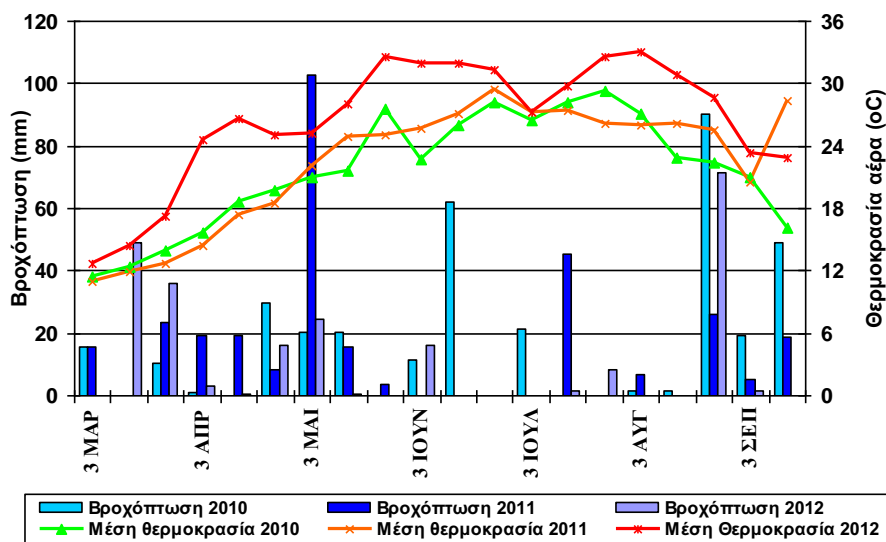
τοποθετήθηκαν σε πλαστικές σακούλες και αποθηκεύθηκαν στους $-20\text{ }^{\circ}\text{C}$ για ανάλυση. Πριν από την ανάλυση, κάθε δείγμα πολτοποιήθηκε, ομογενοποιήθηκε σε απιονισμένο νερό (5 g φρέσκων ιστών ανά 50 mL νερού) και τέλος κάθε δείγμα διηθήθηκε. Αργότερα, 0,2 mL του ομογενοποιημένου δείγματος προστέθηκαν με πιπέτα σε 50 mL Falcon και αναμείχθηκαν καλά με 0,8 mL από 5% (w/v) σαλικυλικό οξύ σε πυκνό H_2SO_4 (SA- H_2SO_4). Με το πέρασμα 20 λεπτών κάτω από θερμοκρασία δωματίου, προστέθηκαν 19 mL από 2N NaOH με τη βοήθεια προχοϊδας. Τα δείγματα ψύχθηκαν σε θερμοκρασία δωματίου και προσδιορίστηκε η απορρόφηση στα 410 nm σε φασματοφωτόμετρο εξοπλισμένο με ταχείας-δειγματοληψίας κυψελίδα. Επιπλέον, ένα ξεχωριστό τυφλό απαιτούνταν για κάθε δείγμα που αποτελείτο από το εκχύλισμα, 0,8 ml συμπυκνωμένου H_2SO_4 (χωρίς σαλικυλικό οξύ) και 19 mL της 2N NaOH. Τα πρότυπα περιέχουν 5 έως 100 mg NO_3^- -N. Οι συγκεντρώσεις νιτρικού-N εκφράζονται ως mg NO_3^- -N ανά g φρέσκου βάρους (ppm) (Cataldo *et al.*, 1975).

Κεφάλαιο: Υλικά και Μέθοδοι – Πειράματα σε γλαστράκια

3. ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ ΚΑΙ ΣΥΖΗΤΗΣΗ

3.1 Κλιματικές συνθήκες

Η πεδιάδα της Θεσσαλίας (με τις περιοχές μελέτης) χαρακτηρίζεται από μεσογειακό κλίμα με ξηροθερμικά καλοκαίρια και ψυχρούς και υγρούς χειμώνες. Στα Σχήματα 3.1.1 και 3.1.2 απεικονίζονται οι μέσες τιμές θερμοκρασίας αέρα και βροχόπτωσης ανά δεκαήμερο κατά την περίοδο ανάπτυξης της καλλιέργειας του switchgrass, για τον Παλαμά (Καρδίτσα – Δυτική Θεσσαλία) και το Βελεστίνο (Μαγνησία – Ανατολική Θεσσαλία), αντίστοιχα.



Σχήμα 3.1.1. Μέση θερμοκρασία αέρα και βροχόπτωση ανά 10ήμερο τα έτη 2010, 2011 και 2012 στον Παλαμά Καρδίτσας.

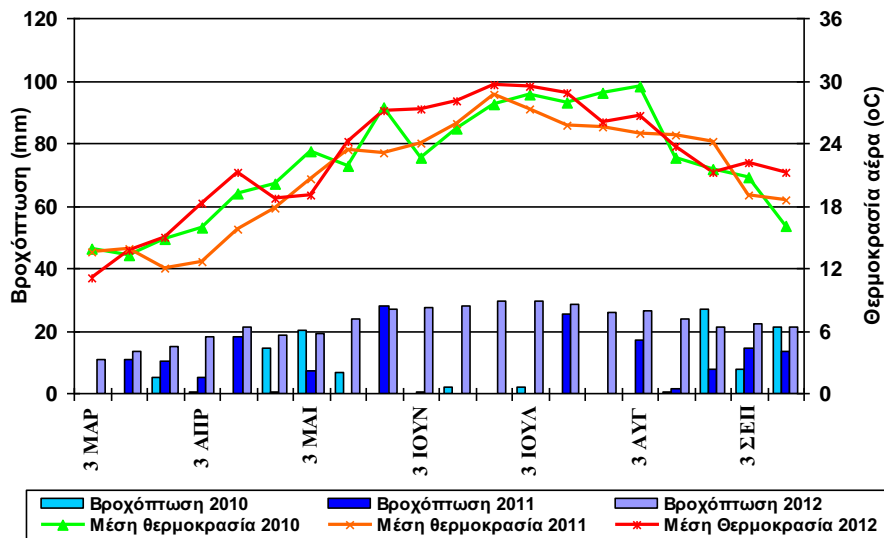
Όπως φαίνεται (Σχ. 3.1.1), η μέση θερμοκρασία αέρος κατά τους μήνες ανάπτυξης της καλλιέργειας (Απρίλιος – Οκτώβριος) στην περιοχή του Παλαμά ήταν 21,6, 22,4 και 26,5°C, ενώ οι μέσες θερμοκρασίες που επικράτησαν στην περιοχή κατά τους καλοκαιρινούς μήνες (Ιούνιος – Αύγουστος) ήταν 26,3, 26,5 και 30,9 κατά τα έτη 2010, 2011, και 2012, αντίστοιχα. Φαίνεται καθαρά ότι, το καλοκαίρι του 2012 αποτελεί το πιο θερμό από τα τρία έτη με παρατεταμένους καύσωνες (τα στοιχεία δεν απεικονίζονται).

Στο σχήμα 3.1.2 φαίνεται ότι, η μέση θερμοκρασία αέρος την περίοδο ανάπτυξης της καλλιέργειας (Απρίλιος – Οκτώβριος) στην περιοχή του Βελεστίνου ήταν 22,1, 21,1 και

Κεφάλαιο: Αποτελέσματα και Συζήτηση – Κλιματικές συνθήκες

22,6°C, ενώ κατά τους καλοκαιρινούς μήνες (Ιούνιος – Αύγουστος) η μέση θερμοκρασία αέρος ήταν 26,6, 25,4 και 27,5 °C κατά τα έτη 2010, 2011 και 2012, αντίστοιχα.

Αξιοσημείωτο είναι ότι το καλοκαίρι του 2012 ήταν το πιο θερμό των τελευταίων δέκα ετών, με παρατεταμένες υψηλές θερμοκρασίες για διάστημα σχεδόν τριών μηνών και υψηλότερες τιμές για την περιοχή του Παλαμά έναντι του Βελεστίνου (διαφορά μέσων θερμοκρασιών περί τους 3,5 °C).



Σχήμα 3.1.2. Μέση θερμοκρασία αέρα και βροχόπτωση ανά 10ήμερο τα έτη 2010, 2011 και 2012 στο Βελεστίνο (Μαγνησίας).

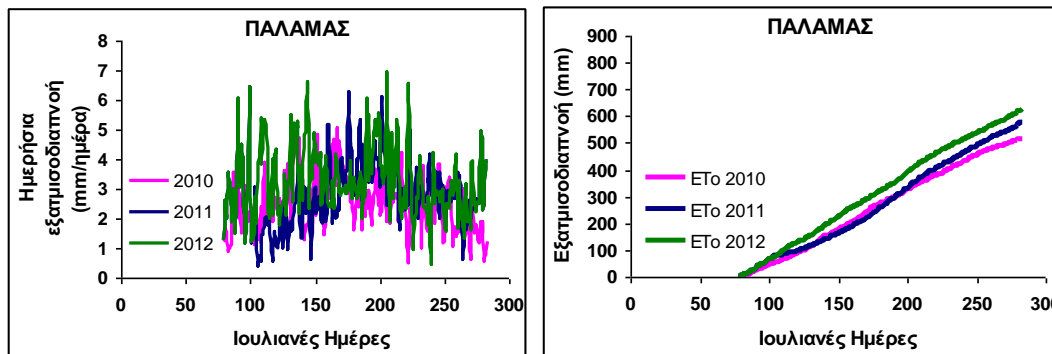
Ο υετός κατά την περίοδο ανάπτυξης της καλλιέργειας διαφέρει μεταξύ των δύο περιοχών. Πιο συγκεκριμένα η περιοχή του Παλαμά υπερτερεί έναντι του Βελεστίνου περί τα 150 mm κατά μέσο όρο, ανά περίοδο. Η σημειωθείσα βροχόπτωση για την περιοχή του Παλαμά ήταν 353,4, 310,6, και 228,6 mm ενώ για την περιοχή του Βελεστίνου ήταν 108,6, 160,4, και 164,2 mm για την περίοδο ανάπτυξης (Απρίλιος – Οκτώβριος) τα έτη 2010, 2011 και 2012 αντίστοιχα. Σκόπιμο είναι να αναφερθεί ότι, κατά τους καλοκαιρινούς μήνες (Ιούνιος – Αύγουστος) στην περιοχή του Παλαμά σημειώθηκε βροχόπτωση ίση με 116,6, 71,4 και 26,2 mm ενώ στο Βελεστίνο το ύψος υετού ήταν 11, 71 και 2.6 mm κατά τα έτη 2010, 2011 και 2012, αντίστοιχα. Παρατηρείται λοιπόν ότι, η βροχόπτωση κατά τους καλοκαιρινούς μήνες μπορεί να χαρακτηριστεί από λιγιστή (Παλαμάς) έως ανύπαρκτη (Βελεστίνο). Το καλοκαίρι του

Κεφάλαιο: Αποτελέσματα και Συζήτηση – Κλιματικές συνθήκες

2012 μπορεί να χαρακτηριστεί ως ξηρό ειδικά για την περιοχή του Βελεστίνου που η βροχόπτωση ήταν ανύπαρκτη (2,6 mm).

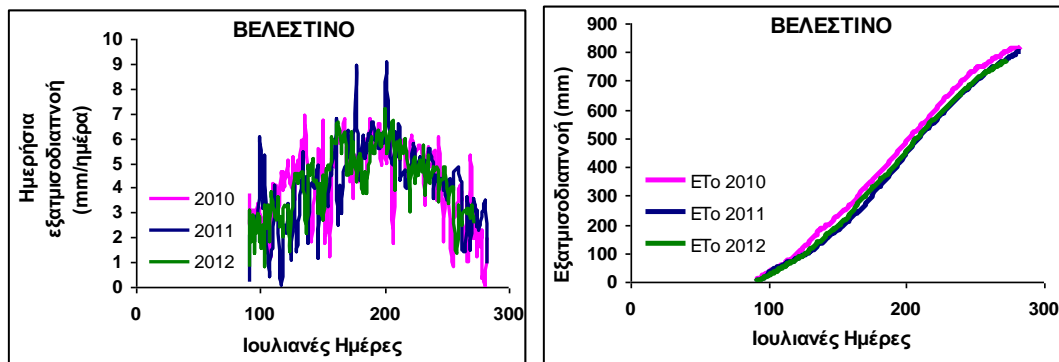
Συμπερασματικά, στις περιοχές μελέτης επικρατούν ιδανικές συνθήκες θερμοκρασίας και υγρασίας κατά την εποχή της επαναβλάστησης της καλλιέργειας του switchgrass (Απρίλιο-Μάιο), ενώ το θέρους είναι γενικά θερμό, φωτεινό αλλά με μακριά περίοδο ξηρασίας. Ειδικότερα οι συνθήκες που επικράτησαν κατά το 2012 ήταν οι πλέον αντίξοες.

Η εξατμισοδιαπνοή για την περιοχή του Παλαμά (Σχ. 3.1.3) κατά την περίοδο ανάπτυξης της καλλιέργειας του switchgrass κυμάνθηκε περί τα 600 mm (520, 580 και 620 mm, το 2010, 2011 και 2012), τιμή διπλάσια της μέσης βροχόπτωσης που σημειώθηκε τις περιόδους ανάπτυξης της καλλιέργειας (Σχ.3.1.1).



Σχήμα 3.1.3. Ημερήσια (αριστερά) και συνολική (δεξιά) εξατμισοδιαπνοή τα έτη 2010, 2011 και 2012 στον Παλαμά (Καρδίτσας).

Στην περιοχή του Βελεστίνου η εξατμισοδιαπνοή κυμάνθηκε για όλα τα έτη περί τα 790 mm (812, 776 και 770 mm, το 2010, 2011 και 2012 αντίστοιχα), τιμή υψηλότερη της τιμής του Παλαμά. Η εξατμισοδιαπνοή στην περιοχή του Βελεστίνου είναι τριπλάσια της μέσης βροχόπτωσης (Σχ. 3.1.2) για τις περιόδους ανάπτυξης (Απρίλιο-Σεπτέμβριο 2010, 2011, 2012).



Σχήμα 3.1.4. Ημερήσια (αριστερά) και συνολική (δεξιά) εξατμισοδιαπνοή τα έτη 2010, 2011 και 2012 στο Βελεστίνο (Μαγνησίας).

Συμπερασματικά, στον Παλαμά η εξατμισοδιαπνοή ισούται με την άρδευση και τη σημειωθείσα βροχόπτωση ενώ, στο Βελεστίνο η άρδευση και η βροχόπτωση καλύπτουν το 60% της εξατμισοδιαπνοής.

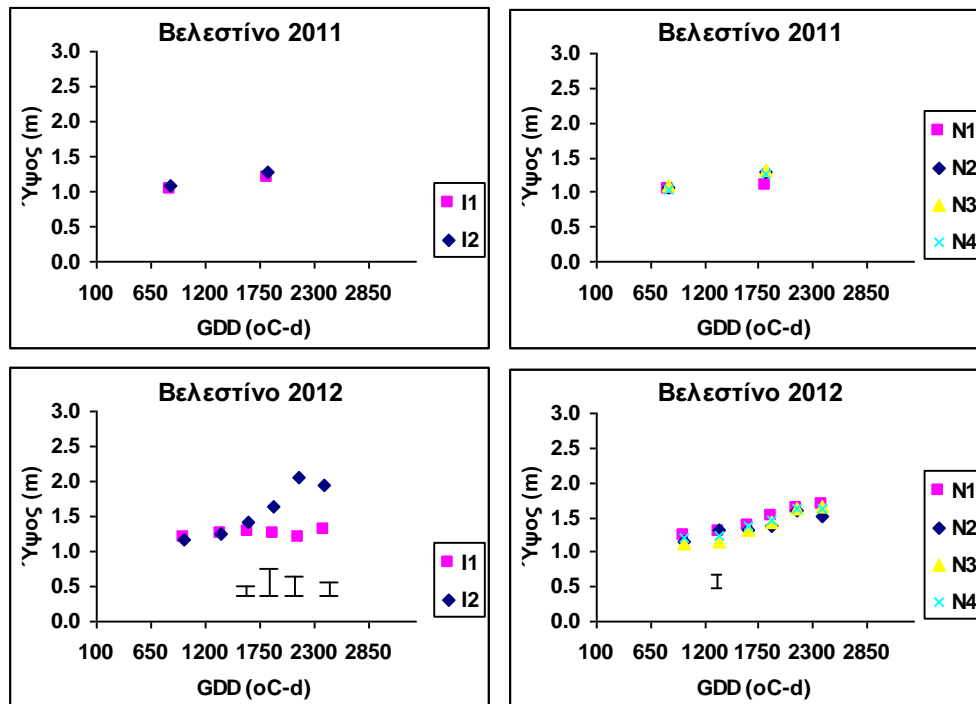
3.2 Αύξηση ανάπτυξη

Όπως έχει αναφερθεί (βλ. κεφ. 1.3.5), το switchgrass είναι πολυετής καλλιέργεια με κύκλο ζωής τα 12-14 χρόνια. Την άνοιξη όταν η θερμοκρασία αέρος και εδάφους του επιτρέπει, επαναβλαστάνει όταν η θερμοκρασία εδάφους σταθεροποιηθεί περί τους 10-12°C. Η θερμοκρασία αποτελεί περιοριστικό παράγοντα της βλαστικής ανάπτυξης του switchgrass (Madakadze *et al.*, 1998). Οι απαιτούμενες βαθμοημέρες (GDD) για την ολοκλήρωση της επιμήκυνσης του στελέχους είναι περί τις 1.020 για την ποικιλία Alamo (Sanderson *et al.*, 1995). Το switchgrass αποτελεί φυτό μικρής ημέρας και επομένως τα στάδια ανάπτυξης του επηρεάζονται κυρίως από το μήκος της ημέρας (Van Esbroeck *et al.*, 2003) και λιγότερο έως ελάχιστα από τη θερμοκρασία και τη διαθέσιμη υγρασία.

3.2.1 Ύψος φυτού

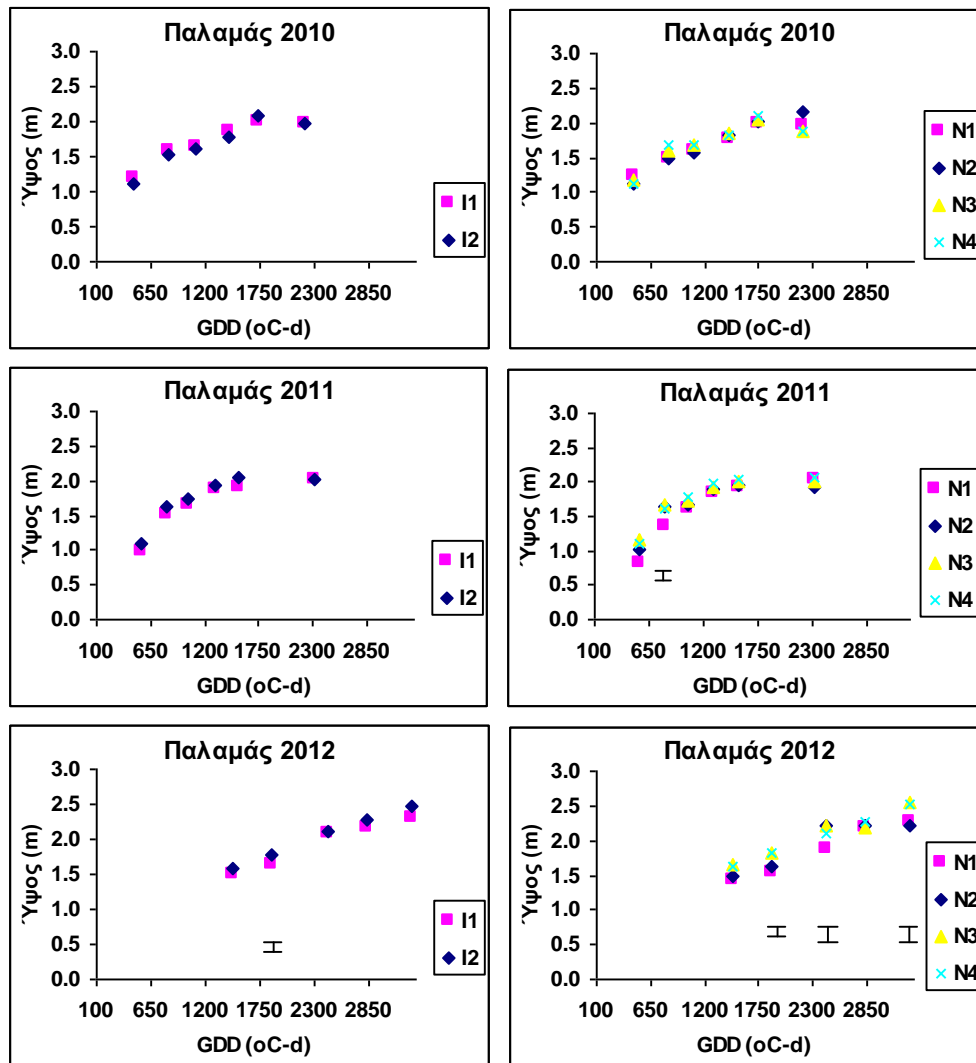
Οι διαφορετικοί παράγοντες (άρδευση και λίπανση) επέφεραν σημαντική επίδραση στο ύψος των φυτών μόνο κατά το έτος 2012. Το ύψος των φυτών επηρεάστηκε από την άρδευση στην περιοχή του Βελεστίνου (Σχ. 3.2.1), ενώ σημαντικές διαφορές παρατηρήθηκαν για τα διαφορετικά επίπεδα αζωτούχου λίπανσης στην περιοχή του Παλαμά (Σχ. 3.2.2).

Το μέγιστο ύψος των φυτών (2,56 m) σημειώθηκε το 2012 στην περιοχή του Παλαμά, ενώ το μικρότερο στην περιοχή του Βελεστίνου για τη μη αρδευόμενη μεταχείριση, όπου τα φυτά παρέμειναν σε χαμηλά επίπεδα ύψους (Πίν. 3.2.1) και σε νεαρά φαινολογικά στάδια, μη ολοκληρώνοντας τον βιολογικό τους κύκλο (δεν εισήλθαν στο στάδιο της ανθοφορίας).



Σχήμα 3.2.1. Η μεταβολή του ύψους των φυτών του switchgrass στο Βελεστίνο για τα 2 διαφορετικά επίπεδα άρδευσης (αριστερά διαγράμματα) και τα 4 διαφορετικά επίπεδα N-χου λίπανσης (δεξιά διαγράμματα) ως προς τις θερμοημέρες (Growing Degree Days – °C-d).

Οι ρυθμοί μεταβολής του ύψους των φυτών στα αρχικά στάδια ήταν μικροί και κυμαίνονταν από 1,25 έως 1,56 cm/ημέρα. Οι μεγαλύτεροι ρυθμοί αύξησης του ύψους των φυτών παρατηρήθηκαν για την αρδευόμενη καλλιέργεια και πιο συγκεκριμένα για την περιοχή του Παλαμά. Οι μέγιστοι ρυθμοί αύξησης για την ξηρική καλλιέργεια στον Παλαμά κυμάνθηκαν από 1,4 - 1,7 cm/ημέρα και για την αρδευόμενη από 2,35 - 4,16 cm/ημέρα με τον μεγαλύτερο ρυθμό να παρατηρείται για την αρδευόμενη μεταχείριση με τη μέγιστη λίπανση 24 kg/στρ. (I₂N₄) κατά το έτος 2012. Στο Βελεστίνο, ο μέγιστος ρυθμός αύξησης του ύψους (2,87 cm/ημέρα) σημειώθηκε το 2012 για την αρδευόμενη μεταχείριση με αζωτούχο λίπανση 8 kg/στρ. (I₂N₂).



Σχήμα 3.2.2. Η μεταβολή του ύψους των φυτών του switchgrass στον Παλαμά για τα 2 διαφορετικά επίπεδα άρδευσης (αριστερά διαγράμματα) και τα 4 διαφορετικά επίπεδα N-χου λίπανσης (δεξιά διαγράμματα) ως προς τις θερμοημέρες (Growing Degree Days – °C-d).

Κεφάλαιο: Αποτελέσματα και Συζήτηση – Αύξηση και Ανάπτυξη του Switchgrass

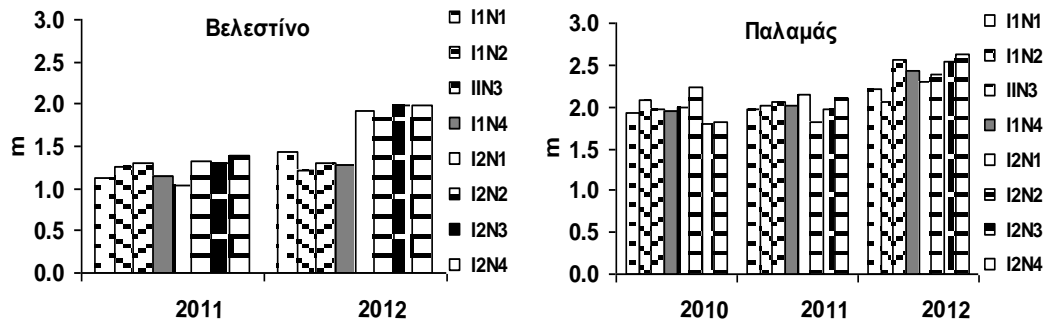
Πίνακας 3.2.3. Ύψος φυτών (m) για 2 επίπεδα άρδευσης και 4 επίπεδα N-χου λίπανσης στους πειραματικούς αγρούς Παλαμά και Βελεστίνου (2010, 2011, 2012), (I₁: 0 mm, I₂: 250 mm, N₁:0, N₂:8, N₃:16 και N₄:24 kg N/στρ.).

		ΥΨΟΣ (m)										
		Παλαμάς					Βελεστίνo					
		2010										
		3η Κοπή	4η Κοπή	5η Κοπή	6η Κοπή							
Επίπεδα Άρδευσης												
Ξηρικό (I ₁ : 0 mm)		1,58	1,64	1,86	2,01							
Ποτιστικό (I ₂ : 250 mm)		1,53	1,61	1,78	2,07							
LSD _{0.05}		ns	ns	ns	ns							
Επίπεδα N-λίπανσης												
N1 = 0 kg/στρ.		1,48	1,59	1,77	2,00							
N2 = 8 kg/στρ.		1,49	1,57	1,83	2,01							
N3 = 16 kg/στρ.		1,59	1,68	1,85	2,06							
N4 = 24 kg/στρ.		1,67	1,67	1,81	2,10							
LSD _{0.05}		ns	ns	ns	ns							
CV %		10,0	10,7	9,1	9,7							
		2011										
		2η Κοπή	3η Κοπή	4η Κοπή	5η Κοπή	6η Κοπή	1η Κοπή	2η Κοπή				
Επίπεδα Άρδευσης												
Ξηρικό (I ₁ : 0 mm)		1,52	1,65	1,89	1,92	2,01	1,04	1,21				
Ποτιστικό (I ₂ : 250 mm)		1,62	1,72	1,92	2,02	2,01	1,07	1,27				
LSD _{0.05}		ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns				
Επίπεδα N-λίπανσης												
N1 = 0 kg/στρ.		1,36	1,61 a	1,84	1,92	2,05	1,03	1,08				
N2 = 8 kg/στρ.		1,63	1,64 ab	1,85	1,95	1,92	1,06	1,29				
N3 = 16 kg/στρ.		1,66	1,73 bc	1,93	2,01	2,01	1,09	1,31				
N4 = 24 kg/στρ.		1,62	1,78 c	2,00	2,01	2,06	1,05	1,28				
LSD _{0.05}		ns	0,122	ns	ns	ns	ns	ns				
CV %		9,2	6,9	8,0	8,7	8,4	8,9	14,8				
		2012										
		1η Κοπή	2η Κοπή	3η Κοπή	4η Κοπή	5η Κοπή	1η Κοπή	2η Κοπή	3η Κοπή	4η Κοπή	5η Κοπή	6η Κοπή
Επίπεδα Άρδευσης												
Ξηρικό (I ₁ : 0 mm)		1,50	1,63 a	2,09	2,13	2,31	1,21	1,25	1,28 a	1,26 a	1,17 a	1,31 a
Ποτιστικό (I ₂ : 250 mm)		1,60	1,77 b	2,13	2,27	2,47	1,16	1,25	1,40 b	1,64 b	2,05 b	1,93 b
LSD _{0.05}		ns	0,075	ns	ns	ns	ns	ns	0,111	0,299	0,280	0,159
Επίπεδα N-λίπανσης												
N1 = 0 kg/στρ.		1,50	1,54 a	1,88	2,13	2,26 a	1,23	1,28 bc	1,38	1,51	1,56	1,68
N2 = 8 kg/στρ.		1,53	1,62 a	2,22	2,22	2,22 a	1,16	1,33 c	1,31	1,38	1,58	1,53
N3 = 16 kg/στρ.		1,60	1,82 b	2,23	2,19	2,56 b	1,13	1,16 a	1,31	1,43	1,62	1,64
N4 = 24 kg/στρ.		1,56	1,84 b	2,10	2,27	2,53 b	1,21	1,23 ab	1,37	1,47	1,64	1,63
LSD _{0.05}		ns	0,180	ns	ns	0,258	ns	0,08	ns	ns	ns	ns
CV %		10,5	10,1	11,9	11,5	10,3	12,2	6,1	8,8	7,1	6,7	8,7

* Duncan criterion: a, b, c

Κεφάλαιο: Αποτελέσματα και Συζήτηση – Αύξηση και Ανάπτυξη του Switchgrass

Όπως φαίνεται στο Σχήμα 3.2.3 το ύψος των φυτών στην περιοχή του Παλαμά κατά τη συγκομιδή δε διέφερε μεταξύ των επιπέδων άρδευσης λόγω του υπόγειου υδροφόρου ορίζοντα της περιοχής και του πλούσιου - βαθιού ριζικού συστήματος της καλλιέργειας, ενώ στην περιοχή του Βελεστίνου όπου δεν υπάρχει υπόγειος υδροφόρος ορίζοντας είναι φανερή η επίδραση της άρδευσης.



Σχήμα 3.2.3. Ύψη των φυτών του switchgrass στο Βελεστίνου και στον Παλαμά κατά την περίοδο της συγκομιδής για τα έτη 2010, 2011, 2012.

Το ύψος φυτών που σημειώθηκε κατά τα έτη 2010, 2011 αλλά και του 2012 για την περιοχή του Βελεστίνου, είναι σε συμφωνία με αναφορές από προηγούμενους ερευνητές για πεδινές ποικιλίες (1,7-2,05 m; Piscioneri *et al.*, 2001; Alexoroulou *et al.*, 2008). Οι τιμές όμως του ύψους που σημειώθηκαν για την περιοχή του Παλαμά κατά το έτος 2012 αποτελούν τιμές αυξημένες κατά 20% από τη βιβλιογραφία, καθιστώντας την περιοχή του Παλαμά και επομένως περιοχές με ίδια ή παρόμοια χαρακτηριστικά, ως την καταλληλότερη περιοχή για την εγκατάσταση της καλλιέργειας του switchgrass (c.v. Alamo).



Εικόνα 3.1. Αναστολή ανάπτυξης της καλλιέργειας στο Βελεστίνου λόγω της επίδρασης του παράγοντα της άρδευσης.

3.2.2 Χαρακτηριστικά φυλλοστοιβάδας

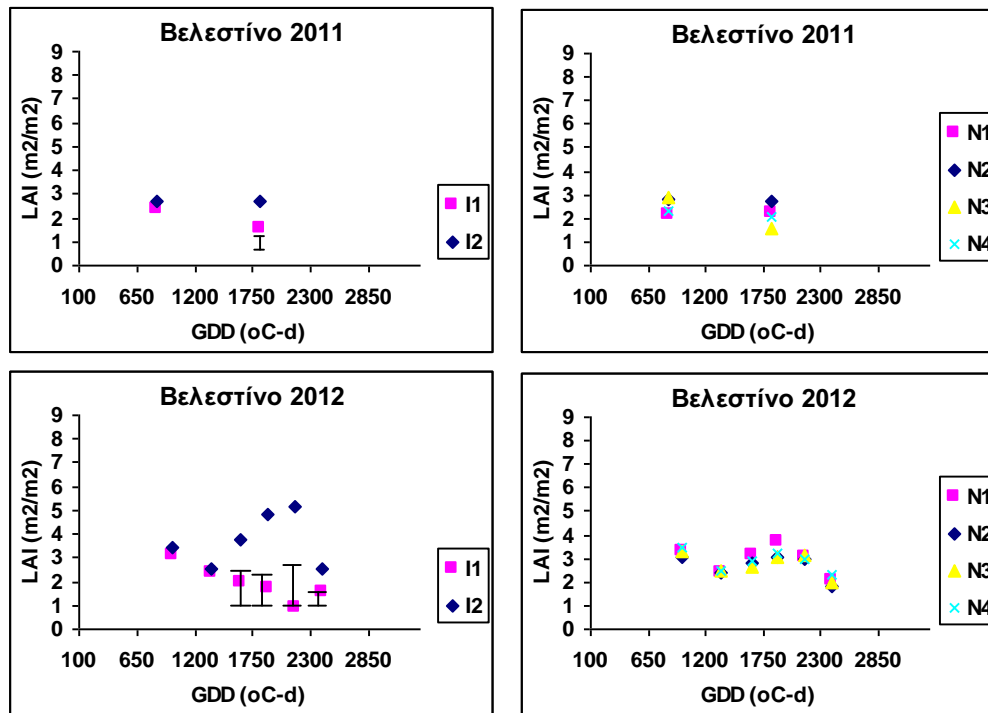
Η ανάπτυξη της φυλλοστοιβάδας είναι μεγάλης σημασίας για την δέσμευση της ηλιακής ακτινοβολίας και τη φωτοσύνθεση. Εξαρτάται από το ποσό των φωτοσυνθετικών παραγώγων που επενδύονται για την ανάπτυξη των φύλλων και τον λόγο της παραγόμενης φυλλικής επιφάνειας ανά μονάδα ξηρού βάρους των φύλλων. Η Ειδική Φυλλική Επιφάνεια (SLA, m^2/kg), ή το αντίθετό της το Ειδικό Φυλλικό Βάρος ($=1/SLA$) είναι ένα μορφολογικό χαρακτηριστικό που μεταβάλλεται σε συνάρτηση με τις περιβαλλοντικές συνθήκες και την ηλικία του φυτού.

Συγγραφείς υπογράμμισαν την αντίστροφη συσχέτιση της SLA με την ένταση του φωτός και τη θετική της εξάρτηση από τη θερμοκρασία (Driessen & Konijn, 1992). Με βάση δεδομένα από την περιοχή της Λάρισας, ο Danalatos (1993) βρήκε ότι, η SLA του σκληρού σίτου ποικιλίας «Μεξικάλι» μειώνεται με την ηλικία του φυτού με τη λογαριθμική συνάρτηση: $SLA=15,16-14,62*\ln(DVS)$, όπου DVS είναι το φαινολογικό στάδιο ανάπτυξης.

3.2.2.1 Δείκτης Φυλλικής Επιφάνειας (LAI – Leaf Area Index)

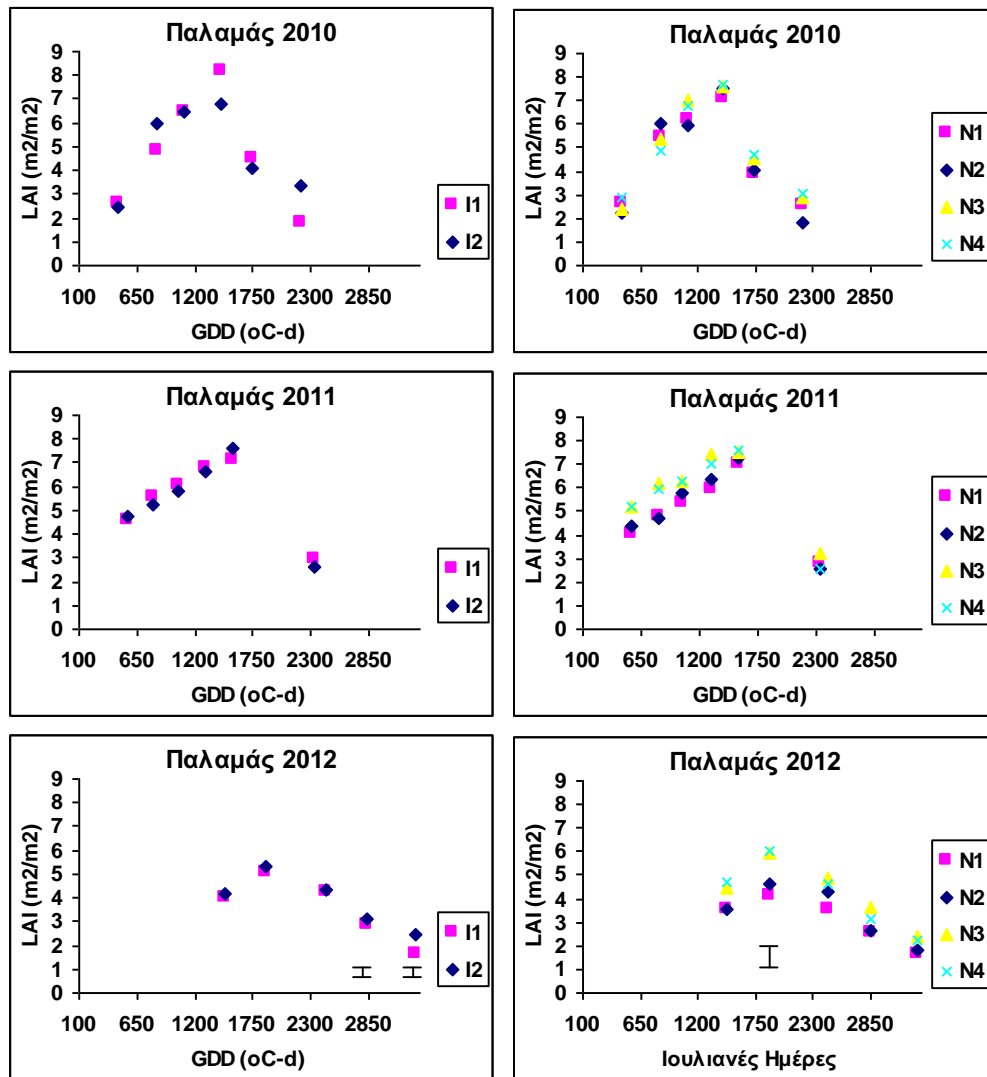
Σημαντική επίδραση σημειώθηκε κυρίως από τον παράγοντα της άρδευσης στον Δείκτη Φυλλικής Επιφάνειας (LAI) για την περιοχή του Βελεστίου (Σχ. 3.2.4) και στις 2 τελευταίες κοπές του 2012 για την περιοχή του Παλαμά (Σχ. 3.2.5).

Για την περιοχή του Βελεστίου το έτος 2011 (η καλλιέργεια βρισκόταν στο 2^ο έτος εγκατάστασης) ο LAI παρέμεινε σε χαμηλά επίπεδα της τάξης του 2,6 (Πίν. 3.2.2). Την επόμενη χρονιά (2012) στις αρχές Ιουλίου ο LAI κυμάνθηκε στο 3,1 και 3,4 για την ξηρική και την ποτιστική καλλιέργεια, αντίστοιχα. Η ξηρική καλλιέργεια έπειτα, είχε μία εξασθενική πορεία ενώ η ποτιστική άρχισε να αυξάνει τον LAI και στα τέλη Αυγούστου έφτασε την τιμή περί του 5,5.



Σχήμα 3.2.4. Η μεταβολή του δείκτη φυλλικής επιφάνειας των φυτών του switchgrass στο Βελεστίνο για τα 2 διαφορετικά επίπεδα άρδευσης (αριστερά διαγράμματα) και τα 4 διαφορετικά επίπεδα N-χου λίπανσης (δεξιά διαγράμματα) ως προς τις θερμοημέρες (Growing Degree Days – °C-d).

Όπως φαίνεται από το Σχήμα 3.2.5, ο δείκτης φυλλικής επιφάνειας (LAI) για την περιοχή του Παλαμά και κατά το έτος 2010 στις αρχές Ιουνίου κυμάνθηκε από 1,7 έως 3,5 και στις αρχές Αυγούστου έφτασε περί το 8,5. Η ταχεία αυτή αύξηση της φυλλοστοιβάδας οφείλεται στον υψηλό υετό που σημειώθηκε κυρίως κατά τον μήνα Ιούλιο και τις αυξημένες θερμοκρασίες αέρα καθόλη τη διάρκεια ανάπτυξης της καλλιέργειας. Κατά τη διάρκεια ωρίμανσης της καλλιέργειας ο LAI κυμάνθηκε σε τιμές 3-4 λόγω της ξήρανσης-πτώσης των φύλλων. Η παραπάνω τιμή αποδεικνύει ότι, η καλλιέργεια κατά την τελευταία κοπή είχε πολλά πράσινα φύλλα. Την επόμενη χρονιά (2011) ο δείκτης φυλλικής επιφάνειας (LAI), στις αρχές Ιουνίου κυμάνθηκε από 3,1 έως 8,62 και στις αρχές Αυγούστου έφτασε περί το 11,9. Τέλος το 2012 και ενώ βρισκόταν στον 4^ο χρόνο εγκατάστασης, με την παρουσία μίας αντίξοης περιόδου ανάπτυξης, με ανύπαρκτες βροχοπτώσεις και παρατεταμένους καύσωνες, η μέγιστη τιμή του LAI παρέμεινε σε χαμηλά επίπεδα της τάξης του 6,8 (m² m⁻²).



Σχήμα 3.2.5. Η μεταβολή του δείκτη φυλλικής επιφάνειας των φυτών του switchgrass στον Παλαμά για τα 2 διαφορετικά επίπεδα άρδευσης (αριστερά) και τα 4 διαφορετικά επίπεδα N-χου λίπανσης (δεξιά) ως προς τις θερμοημέρες (Growing Degree Days – °C-d).

Παρατηρήθηκε λοιπόν, στην περιοχή του Παλαμά ο LAI ακόμη και κάτω από αντίξοες για την ανάπτυξη του καιρικές συνθήκες να παραμένει σε υψηλά επίπεδα και για τις μη αρδευόμενες μεταχειρίσεις λόγω του υπόγειου υδροφόρου ορίζοντα. Από την άλλη, παρατηρήθηκε ότι η καλλιέργεια αν δεν έχει την απαραίτητη υγρασία εδάφους – άρδευση, τότε δεν καταφέρνει να ολοκληρώσει το βιολογικό της κύκλο και εισέρχεται στο στάδιο της ξήρανσης ώστε να μην αποδυναμωθεί το ριζικό σύστημα και να είναι σε θέση την επόμενη χρονιά να επαναβλαστήσει, όπως συνέβη με τις μη αρδευόμενες μεταχειρίσεις στο Βελεστίνο.

Κεφάλαιο: Αποτελέσματα και Συζήτηση – Αύξηση και Ανάπτυξη του Switchgrass

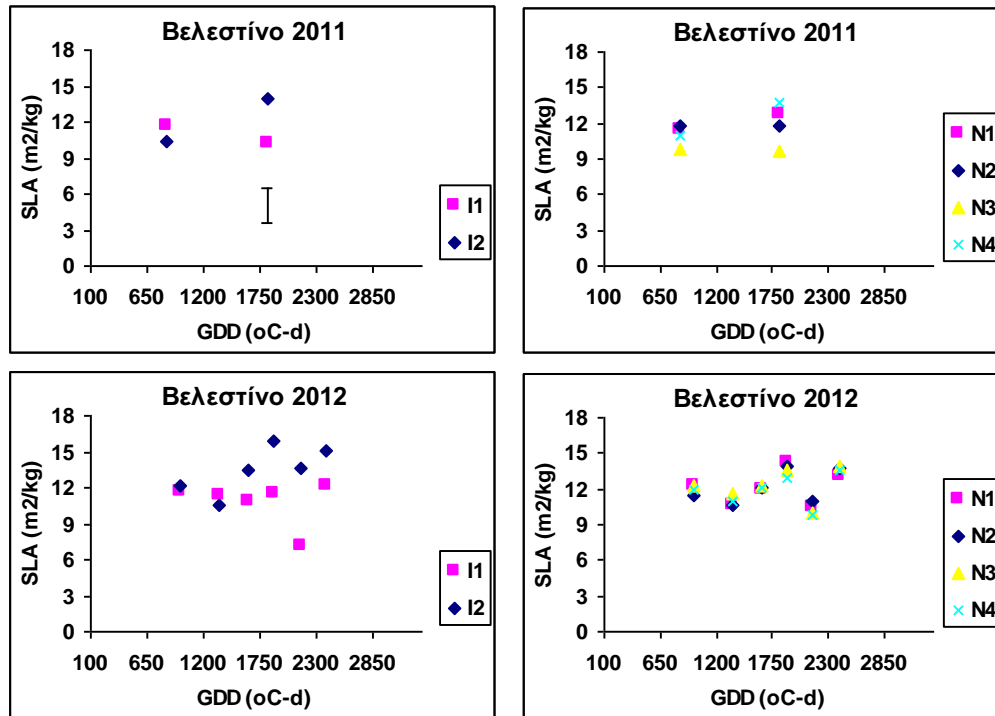
Πίνακας 3.2.2. Ο δείκτης Φυλλικής Επιφάνειας (LAI) των φυτών ($m^2 m^{-2}$) για 2 επίπεδα άρδευσης και 4 επίπεδα N-χου λίπανσης στους πειραματικούς αγρούς Παλαμά και Βελεστίνου (2010, 2011, 2012), (I_1 : 0 mm, I_2 : 250 mm, N_1 :0, N_2 :8, N_3 :16 και N_4 :24 kg N/στρ.).

		LAI ($m^2 m^{-2}$)										
		Παλαμάς					Βελεστίνo					
		2010										
		3η Κοπή	4η Κοπή	5η Κοπή	6η Κοπή							
Επίπεδα Άρδευσης												
Ξηρικό (I_1 : 0 mm)		4,86	6,47	8,16	4,38							
Ποτιστικό (I_2 : 250 mm)		5,95	6,48	6,81	3,97							
LSD _{0.05}		0,807	ns	ns	ns							
Επίπεδα N-λίπανσης												
N1 = 0 kg/στρ.		5,41	6,16	7,11	3,77							
N2 = 8 kg/στρ.		6,01	5,96	7,49	3,92							
N3 = 16 kg/στρ.		5,35	7,04	7,64	4,45							
N4 = 24 kg/στρ.		4,85	6,76	7,71	4,57							
LSD _{0.05}		ns	ns	ns	ns							
CV %		14,9	16,1	10,9	27,8							
		2011										
		2η Κοπή	3η Κοπή	4η Κοπή	5η Κοπή	6η Κοπή	1η Κοπή	2η Κοπή				
Επίπεδα Άρδευσης												
Ξηρικό (I_1 : 0 mm)		5,53	6,09	6,76	6,84	2,94	2,39	1,55 a				
Ποτιστικό (I_2 : 250 mm)		5,27	6,10	6,34	7,68	2,64	2,69	2,73 b				
LSD _{0.05}		ns	ns	ns	ns	ns	ns	0,68				
Επίπεδα N-λίπανσης												
N1 = 0 kg/στρ.		4,77	5,36	5,95	7,30	2,78	2,21	2,22				
N2 = 8 kg/στρ.		4,69	6,48	5,79	6,81	2,55	2,38	2,73				
N3 = 16 kg/στρ.		6,22	6,27	7,44	7,78	3,23	2,79	1,57				
N4 = 24 kg/στρ.		5,92	6,26	7,03	7,16	2,60	2,75	2,03				
LSD _{0.05}		ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns				
CV %		17,9	27,2	27,9	16,1	37,5	21,8	23,60				
		2012										
		1η Κοπή	2η Κοπή	3η Κοπή	4η Κοπή	5η Κοπή	1η Κοπή	2η Κοπή	3η Κοπή	4η Κοπή	5η Κοπή	6η Κοπή
Επίπεδα Άρδευσης												
Ξηρικό (I_1 : 0 mm)		3,98	4,95	4,29	2,78 a	1,65 a	3,09	2,41	1,93 a	1,72 a	0,77 a	1,58 a
Ποτιστικό (I_2 : 250 mm)		4,18	5,30	4,70	3,13 b	2,42 b	3,44	2,51	3,78 b	4,84 b	5,19 b	2,60 b
LSD _{0.05}		ns	ns	ns	0,108	0,31	ns	ns	1,458	1,267	1,583	0,547
Επίπεδα N-λίπανσης												
N1 = 0 kg/στρ.		4,09	3,85 a	3,57	2,45	1,62	3,27	2,41	3,14	3,72	2,98	2,09
N2 = 8 kg/στρ.		3,90	4,66 a	4,32	2,64	1,86	3,02	2,39	2,79	3,06	2,83	1,84
N3 = 16 kg/στρ.		4,11	5,96 b	5,50	3,60	2,43	3,29	2,51	2,61	3,09	3,18	2,01
N4 = 24 kg/στρ.		4,23	6,03 b	4,59	3,12	2,23	3,48	2,51	2,87	3,25	2,94	2,42
LSD _{0.05}		ns	1,067	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns
CV %		23,7	19,8	28,3	34,1	73,6	19,1	14,4	20,7	27,2	36,0	32,6

* Duncan criterion: a, b

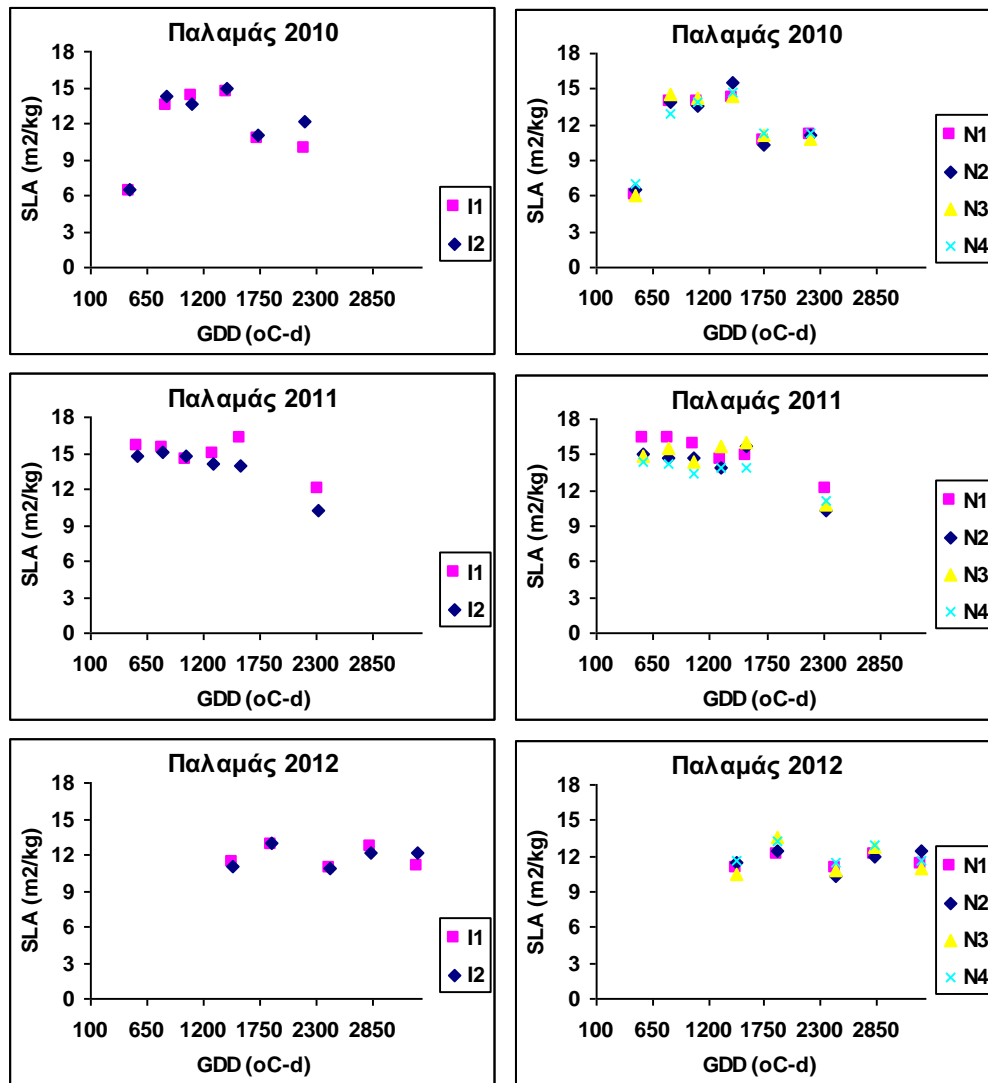
3.2.2.2 Εδική Φυλλική Επιφάνεια (SLA – Specific Leaf Area)

Οι διαφορετικοί παράγοντες (άρδευση και λίπανση) δεν επέφεραν σημαντική επίδραση στην ειδική φυλλική επιφάνεια (SLA) για όλα τα έτη και τις περιοχές (Σχήματα 3.2.6, 3.2.7).



Σχήμα 3.2.6. Η μεταβολή του χλωρού βάρους των φυτών του switchgrass στο Βελεστίνο για τα 2 διαφορετικά επίπεδα άρδευσης (αριστερά διαγράμματα) και τα 4 διαφορετικά επίπεδα N-χου λίπανσης (δεξιά διαγράμματα) ως προς τις θερμοημέρες (Growing Degree Days – °C-d).

Οι τιμές που σημειώθηκαν για την SLA κατά τα πρώτα στάδια της καλλιέργειας στην περιοχή του Βελεστίνου και για τα 2 έτη (2011, 2012) ήταν περί τα 12 m²/kg. Με την άνοδο της θερμοκρασίας και για τις αρδευόμενες μεταχειρίσεις, η ειδική φυλλική επιφάνεια έφτασε ή και ξεπέρασε τα 15 m²/kg (Πίν. 3.2.3), την περίοδο που ο δείκτης φυλλικής επιφάνειας είχε φτάσει στην μέγιστη τιμή του. Αντιθέτως οι μη αρδευόμενες μεταχειρίσεις συνέχισαν με τις ίδιες τιμές στην ειδική φυλλική επιφάνεια μέχρι την περίοδο της συγκομιδής.



Σχήμα 3.2.7. Η μεταβολή του ύψους των φυτών του switchgrass στον Παλαμά για τα 2 διαφορετικά επίπεδα άρδευσης (αριστερά) και τα 4 διαφορετικά επίπεδα N-χου λίπανσης (δεξιά) ως προς τις θερμοημέρες (Growing Degree Days – °C-d).

Όπως φαίνεται στο Σχήμα 3.2.7, η SLA κατά τα πρώτα στάδια της καλλιέργειας για την περιοχή του Παλαμά, πλην του έτους 2012 έλαβε τιμές περί τα 15 m²/kg. Το 2012, οι τιμές που έλαβε η SLA ήταν μικρότερες (12 m²/kg), όπως εξάλλου συνέβη και με τον δείκτη φυλλικής επιφάνειας (LAI). Η ειδική φυλλική επιφάνεια παρέμεινε στα επίπεδα των 15 και 12 m²/kg μέχρι τα τέλη Σεπτεμβρίου, που έγινε η συγκομιδή για τα έτη 2010-11 και 2012. Η ειδική φυλλική επιφάνεια (SLA) έλαβε υψηλές τιμές και για τις 2 περιοχές καθόλα τα έτη της διεξαγωγής της έρευνας (Πίν. 3.2.3).

Κεφάλαιο: Αποτελέσματα και Συζήτηση – Αύξηση και Ανάπτυξη του Switchgrass

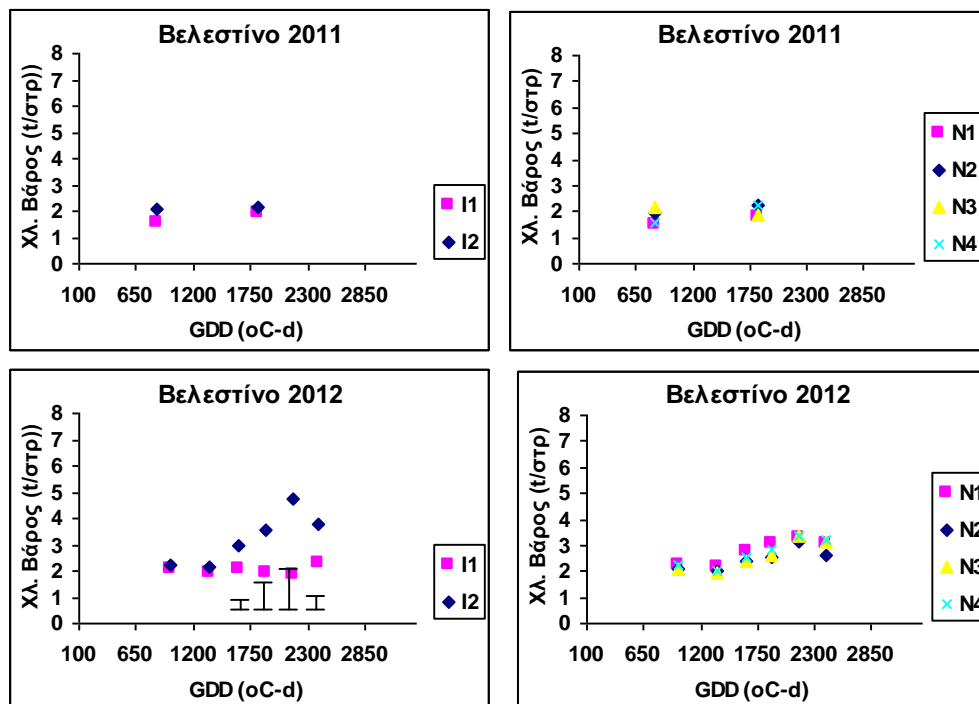
Πίνακας 3.2.3. Ειδική Φυλλική Επιφάνεια των φυτών (m²/kg) για 2 επίπεδα άρδευσης και 4 επίπεδα N-χου λίπανσης στους πειραματικούς αγρούς Παλαμά και Βελεστίνου (2010, 2011, 2012), (I₁: 0 mm, I₂: 250 mm, N₁:0, N₂:8, N₃:16 και N₄:24 kg N/στρ.).

		SLA (m ² /kg)										
		Παλαμάς					Βελεστίνo					
		2010										
		3η Κοπή	4η Κοπή	5η Κοπή	6η Κοπή							
Επίπεδα Άρδευσης												
	Ξηρικό (I ₁ : 0 mm)	13,44	14,23	14,56	10,74							
	Ποτιστικό (I ₂ : 250 mm)	14,27	13,65	14,88	11,01							
	LSD _{0.05}	ns	ns	ns	ns							
Επίπεδα N-λίπανσης												
	N1 = 0 kg/στρ.	13,95	13,94	14,23	10,71							
	N2 = 8 kg/στρ.	13,94	13,63	15,51	10,35							
	N3 = 16 kg/στρ.	14,53	14,28	14,60	11,20							
	N4 = 24 kg/στρ.	13,01	13,90	14,78	11,26							
	LSD _{0.05}	ns	ns	ns	ns							
	CV %	14,8	13,3	10,9	15,9							
		2011										
		2η Κοπή	3η Κοπή	4η Κοπή	5η Κοπή	6η Κοπή	1η Κοπή	2η Κοπή				
Επίπεδα Άρδευσης												
	Ξηρικό (I ₁ : 0 mm)	15,42	14,50	14,89	16,57	12,00	11,71	10,15 a				
	Ποτιστικό (I ₂ : 250 mm)	15,11	14,70	14,21	14,23	10,18	10,31	13,88 b				
	LSD _{0.05}	ns	ns	ns	ns	ns	ns	2,67				
Επίπεδα N-λίπανσης												
	N1 = 0 kg/στρ.	16,43	15,90	14,59	15,40	12,16	11,54	12,84				
	N2 = 8 kg/στρ.	14,80	14,71	14,05	15,76	10,30	11,75	11,84				
	N3 = 16 kg/στρ.	15,52	14,35	15,69	16,02	10,79	9,78	9,66				
	N4 = 24 kg/στρ.	14,32	13,44	13,88	14,43	11,10	10,96	13,73				
	LSD _{0.05}	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns				
	CV %	11,1	18,9	11,8	11,6	19,2	13,4	14,8				
		2012										
		1η Κοπή	2η Κοπή	3η Κοπή	4η Κοπή	5η Κοπή	1η Κοπή	2η Κοπή	3η Κοπή	4η Κοπή	5η Κοπή	6η Κοπή
Επίπεδα Άρδευσης												
	Ξηρικό (I ₁ : 0 mm)	11,33	12,76	10,86	12,68	10,97	11,73	11,40 b	10,79 a	11,46 a	6,17 a	12,10 a
	Ποτιστικό (I ₂ : 250 mm)	10,96	12,94	11,11	12,18	12,22	12,13	10,56 a	13,48 b	15,87 b	13,59 b	15,31 b
	LSD _{0.05}	ns	ns	ns	ns	ns	ns	0,486	2,402	2,009	3,635	0,636
Επίπεδα N-λίπανσης												
	N1 = 0 kg/στρ.	11,18	12,08 a	11,03	12,08	11,36	12,21	10,63	11,95	14,25	9,70	13,38
	N2 = 8 kg/στρ.	11,67	12,50 ab	10,28	11,98	12,45	11,42	10,69	12,12	13,94	9,97	13,78
	N3 = 16 kg/στρ.	10,34	13,64 c	11,24	12,79	10,99	12,23	11,59	12,30	13,53	9,98	13,95
	N4 = 24 kg/στρ.	11,39	13,19 bc	11,39	12,87	11,59	11,87	11,02	12,17	12,95	9,87	13,71
	LSD _{0.05}	ns	0,966	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns
	CV %	13,4	7,2	9,8	9,0	15,3	15,8	10,2	9,11	13,1	21,6	14,0

* Duncan criterion: a, b, c

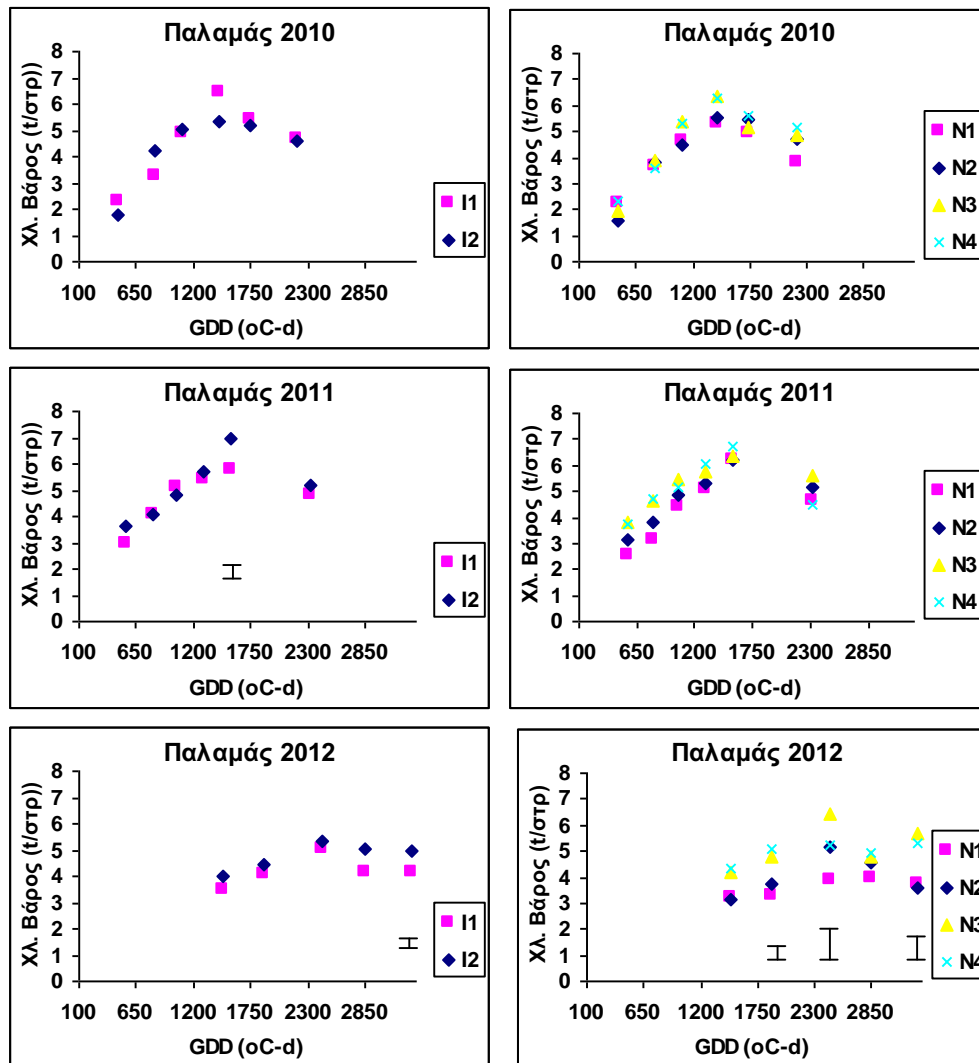
3.2.3 Χλωρό Βάρος

Οι διαφορετικοί παράγοντες (άρδευση και λίπανση) επέφεραν σημαντική επίδραση στη χλωρή βιομάζα το έτος 2012. Το χλωρό βάρος των φυτών επηρεάστηκε από την άρδευση στην περιοχή του Βελεστίνου (Σχ. 3.2.8), ενώ σημαντικές διαφορές παρατηρήθηκαν κυρίως στον παράγοντα της αζωτούχου λιπάνσεως και μόνο στη δειγματοληψία της συγκομιδής για τον παράγοντα της άρδευσης στην περιοχή του Παλαμά (Σχ. 3.2.9).



Σχήμα 3.2.8. Η μεταβολή του χλωρού βάρους των φυτών του switchgrass στο Βελεστίνο για τα 2 διαφορετικά επίπεδα άρδευσης (αριστερά διαγράμματα) και τα 4 διαφορετικά επίπεδα N-χου λίπανσης (δεξιά διαγράμματα) ως προς τις θερμοημέρες (Growing Degree Days – °C-d).

Η μέγιστη τιμή για τη χλωρή βιομάζα (7,1 t/στρ.) σημειώθηκε τα έτη 2010 και 2011 στην περιοχή του Παλαμά, ενώ το 2012 η μέγιστη τιμή ήταν σχεδόν ίση με τα προηγούμενα έτη (6,98 t/στρ.). Η μικρότερη τιμή για τη χλωρή βιομάζα σημειώθηκε στην περιοχή του Βελεστίνο για τη μη αρδευόμενη μεταχείριση όπου τα φυτά παρέμειναν όπως έχει προαναφερθεί σε νεαρά στάδια ανάπτυξης (Πίν. 3.2.4).



Σχήμα 3.2.9. Η μεταβολή του χλωρού βάρους των φυτών του switchgrass στον Παλαμά για τα 2 διαφορετικά επίπεδα άρδευσης (αριστερά) και τα 4 διαφορετικά επίπεδα N-χου λίπανσης (δεξιά) ως προς τις θερμοημέρες (Growing Degree Days – °C-d).

Οι ρυθμοί μεταβολής του χλωρού βάρους των φυτών κυμαίνονταν από 0,2 έως 150 kg/ημέρα αναλόγως του σταδίου ανάπτυξης και των μετεωρολογικών συνθηκών της περιοχής μελέτης. Οι μεγαλύτεροι ρυθμοί παρατηρήθηκαν για την περιοχή του Παλαμά, τόσο για τη ξηρική όσο και για την αρδευόμενη καλλιέργεια με N-ούχο λίπανση 16 kg/στρ. Οι μικρότεροι ρυθμοί αύξησης σημειώθηκαν για την ξηρική καλλιέργεια στο Βελεστίνο (Πίν. 3.2.4). Πιο συγκεκριμένα, στο Βελεστίνο, οι διαφορές στους ρυθμούς αύξησης για τα 2 επίπεδα άρδευσης ήταν εξαιρετικά μεγάλες (I1 : 10 και I2 \geq 40 kg/στρ.).

Κεφάλαιο: Αποτελέσματα και Συζήτηση – Αύξηση και Ανάπτυξη του Switchgrass

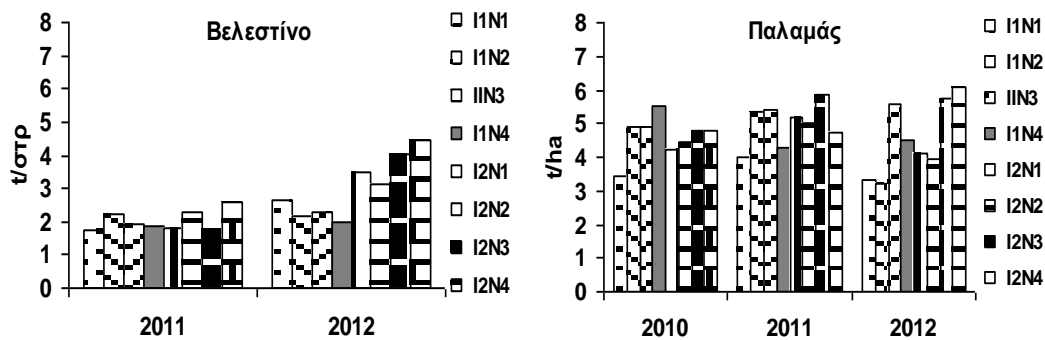
Πίνακας 3.2.4. Χλωρά Βάρη των φυτών (t/στρ.) για 2 επίπεδα άρδευσης και 4 επίπεδα N-χου λίπανσης στους πειραματικούς αγρούς Παλαμά και Βελεστίνου (2010, 2011, 2012), (I₁: 0 mm, I₂: 250 mm, N₁:0, N₂:8, N₃:16 και N₄:24 kg N/στρ.).

		Χλωρό Βάρος (t/στρ.)										
		Παλαμάς					Βελεστίνo					
		2010										
		3η Κοπή	4η Κοπή	5η Κοπή	6η Κοπή							
Επίπεδα Άρδευσης												
Ξηρικό (I ₁ : 0 mm)		3,24 a	4,86	6,41	5,37							
Ποτιστικό (I ₂ : 250 mm)		4,23 b	5,04	5,35	5,19							
LSD _{0.05}		0,824	ns	ns	ns							
Επίπεδα N-λίπανσης												
N1 = 0 kg/στρ.		3,67	4,64	5,34	4,96							
N2 = 8 kg/στρ.		3,78	4,51	5,56	5,43							
N3 = 16 kg/στρ.		3,90	5,36	6,38	5,13							
N4 = 24 kg/στρ.		3,58	5,28	6,25	5,58							
LSD _{0.05}		ns	ns	ns	ns							
CV %		10,8	21,7	25,8	18,3							
		2011										
		2η Κοπή	3η Κοπή	4η Κοπή	5η Κοπή	6η Κοπή	1η Κοπή	2η Κοπή				
Επίπεδα Άρδευσης												
Ξηρικό (I ₁ : 0 mm)		4,06	5,11	5,43	5,49 a	4,78	1,54	1,95				
Ποτιστικό (I ₂ : 250 mm)		4,09	5,08	5,42	6,97 b	5,18	2,04	2,11				
LSD _{0.05}		ns	ns	ns	0,89	ns	ns	ns				
Επίπεδα N-λίπανσης												
N1 = 0 kg/στρ.		3,17	4,43	5,12	5,57	4,60	1,50	1,77				
N2 = 8 kg/στρ.		3,79	5,35	4,76	6,19	5,18	1,94	2,28				
N3 = 16 kg/στρ.		4,63	5,44	5,79	6,36	5,63	2,16	1,84				
N4 = 24 kg/στρ.		4,70	5,18	6,03	6,80	4,51	1,56	2,24				
LSD _{0.05}		ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns				
CV %		18,0	21,9	25,8	22,4	32,2	21,6	25,40				
		2012										
		1η Κοπή	2η Κοπή	3η Κοπή	4η Κοπή	5η Κοπή	1η Κοπή	2η Κοπή	3η Κοπή	4η Κοπή	5η Κοπή	6η Κοπή
Επίπεδα Άρδευσης												
Ξηρικό (I ₁ : 0 mm)		3,49	4,05	5,01 a	4,03	4,15 a	2,10	1,94	2,53 a	1,94 a	1,80 a	2,27 a
Ποτιστικό (I ₂ : 250 mm)		3,97	4,41	5,32 b	5,00	4,99 b	2,21	2,16	2,96 b	3,59 b	4,74 b	3,78 b
LSD _{0.05}		ns	ns	0,25	ns	0,279	ns	ns	0,84	1,14	1,71	0,85
Επίπεδα N-λίπανσης												
N1 = 0 kg/στρ.		3,65	3,32 a	3,87 a	3,73	3,71 a	2,21	2,15	2,77	3,04	3,23	3,07
N2 = 8 kg/στρ.		3,37	3,73 a	5,16 b	4,59	3,59 a	2,08	2,05	2,39	2,54	3,06	2,65
N3 = 16 kg/στρ.		3,99	4,79 b	6,40 b	4,80	5,66 b	2,08	1,97	2,36	2,64	3,38	3,17
N4 = 24 kg/στρ.		3,92	5,08 b	5,23 b	4,94	5,32 b	2,26	2,03	2,58	2,84	3,40	3,21
LSD _{0.05}		ns	0,843	1,28	ns	1313	ns	ns	ns	ns	ns	ns
CV %		24,4	19,0	23,6	28,0	27,3	17,5	10,4	20,9	24,6	24,4	21,3

* Duncan criterion: a, b

Κεφάλαιο: Αποτελέσματα και Συζήτηση – Αύξηση και Ανάπτυξη του Switchgrass

Όπως φαίνεται στο Σχήμα 3.2.10 το χλωρό βάρος των φυτών στην περιοχή του Παλαμά κατά την συγκομιδή, δεν διέφερε μεταξύ των επιπέδων άρδευσης ανά έτος, λόγω της επίδρασης του υπόγειου υδροφόρου ορίζοντα της περιοχής και του εκτεταμένου ριζικού συστήματος της καλλιέργειας. Στην περιοχή του Βελεστίνου όπου δεν υπάρχει υπόγειος υδροφόρος ορίζοντας είναι φανερή η επίδραση της άρδευσης κυρίως κατά το 2012 όπου η καλλιέργεια βρισκόταν στην πλήρη ανάπτυξη.



Σχήμα 3.2.10. Χλωρό Βάρος των φυτών του switchgrass στο Βελεστίνο και στον Παλαμά κατά την περίοδο της συγκομιδής για τα έτη 2010, 2011, 2012.

Ο Piscionei και οι συνεργάτες του (2001), σε έρευνα που διεξήχθη στην νότια Ιταλία, αναφέρουν ότι, η απόδοση του switchgrass (5 διαφορετικών ποικιλιών, συμπεριλαμβανομένου και της Alamo) σε χλωρή βιομάζα κατά τα πρώτα έτη της εγκατάστασης ήταν χαμηλή ενώ στα επόμενα έτη αυξήθηκε σημαντικά. Παρόλα αυτά η απόδοση σε χλωρή βιομάζα στην περιοχή του Παλαμά ήταν κατά πολύ υψηλότερη (Πίν. 3.2.4) συγκριτικά με τις αποδόσεις στην νότια Ιταλία (0,5-2,1 t/στρ.).



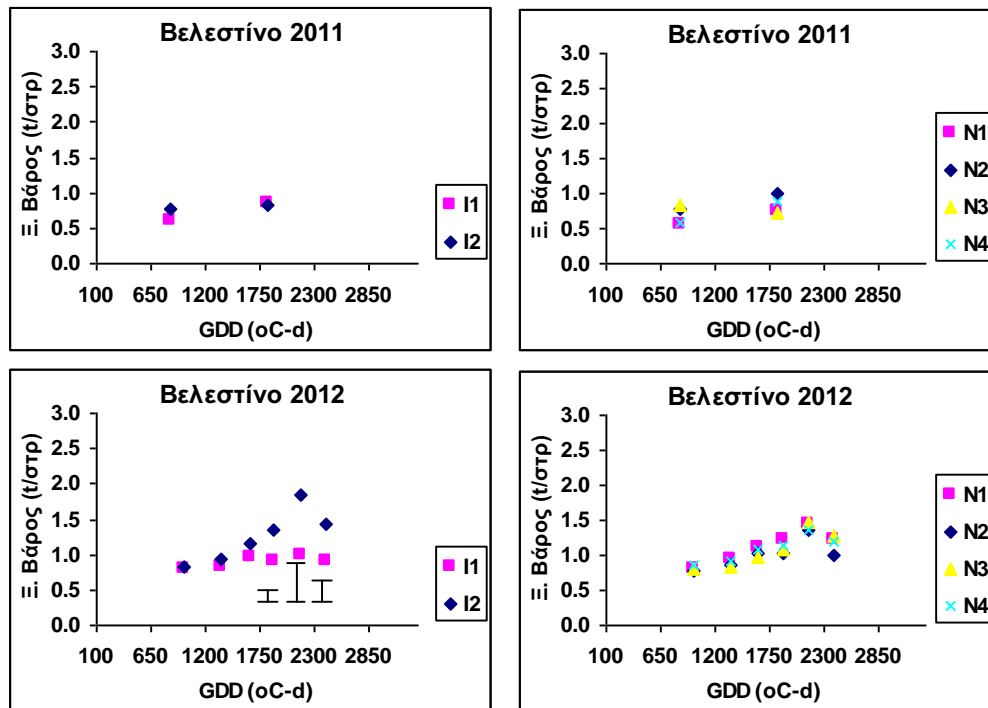
Εικόνα 3.2. Εμφανής διαφορά στην απόδοση λόγω διαφορετικής ηλικίας (τα ψηλότερα φυτά βρίσκονται στο 3^ο έτος εγκατάστασης ενώ τα χαμηλότερα στο 1^ο).

3.2.4 Ξηρό Βάρος

Στα Σχήματα 3.2.11 και 3.2.12 παρουσιάζεται η μεταβολή της ξηρής βιομάζας για τους παράγοντες μελέτης (άρδευση, N-ούχος λίπανση). Στον Πίνακα 3.2.5 φαίνονται οι στατιστικώς σημαντικές διαφορές ($P>0.05$) που βρέθηκαν για τα διαφορετικά επίπεδα άρδευσης και N-ούχου λιπάνσεως. Όπως απεικονίζεται στα Σχ. 3.2.11, 3.2.12 και 3.2.13, η μέση ξηρή βιομάζα ήταν υψηλότερη για την περιοχή του Παλαμά σε σύγκριση με αυτή του Βελεστίνου, τόσο κατά τη διάρκεια ανάπτυξης της καλλιέργειας όσο και στη συγκομιδή (2,1 και 1,2 t/στρ., αντίστοιχα).

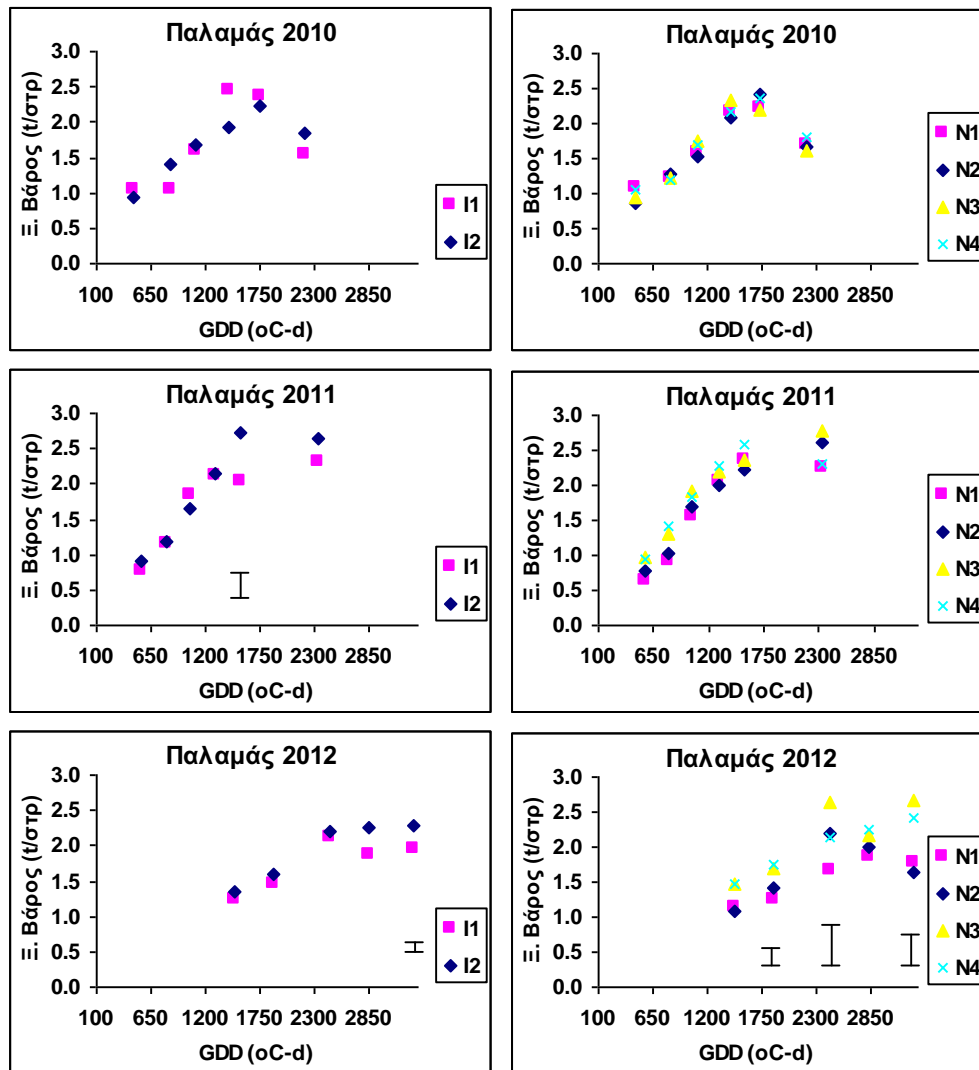
Η ξηρή βιομάζα επηρεάστηκε από την άρδευση στην περιοχή του Βελεστίνου, ενώ σημαντικές διαφορές παρατηρήθηκαν στον παράγοντα της αζωτούχου λίπανσης στην περιοχή του Παλαμά (Πίν. 3.2.5).

Η συγκομισθείσα ξηρή βιομάζα ήταν γενικά υψηλότερη από τις παραγωγές που αναφέρονται βιβλιογραφικά σε άλλες μελέτες (Lemus *et al.*, 2002; Boyer *et al.*, 2013). Παρόμοια μεγάλες αποδόσεις ξηρής βιομάζας αναφέρονται για την Ιταλία (2,00 t/στρ.) και το Τένεσι (2,01 t/στρ.) για την ποικιλία SL 93-3 (Alexoroulou *et al.*, 2008; Boyer *et al.*, 2013). Αντίστοιχα, σε έρευνα σύγκρισης ποικιλιών βρέθηκε ότι η πιο παραγωγική ποικιλία (2,74 t/στρ.) ήταν η Alamo (McLaughlin & Kszos, 2005).



Σχήμα 3.2.11. Η μεταβολή του ξηρού βάρους των φυτών του switchgrass στο Βελεστίνο για τα 2 διαφορετικά επίπεδα άρδευσης (αριστερά διαγράμματα) και τα 4 διαφορετικά επίπεδα N-χου λίπανσης (δεξιά διαγράμματα) τις θερμοημέρες (Growing Degree Days – °C-d).

Το μέγιστο ξηρό βάρος (2,94 t/στρ.) σημειώθηκε το 2011 στην περιοχή του Παλαμά, ενώ το μικρότερο στην περιοχή του Βελεστίνο για τη μη αρδευόμενη μεταχείριση όπου τα φυτά παρέμειναν σε νεαρά στάδια ανάπτυξης.



Σχήμα 3.2.12. Η μεταβολή του ξηρού βάρους των φυτών του switchgrass στον Παλαμά για τα 2 διαφορετικά επίπεδα άρδευσης (αριστερά) και τα 4 διαφορετικά επίπεδα N-χου λίπανσης (δεξιά) ως προς τις θερμοημέρες (Growing Degree Days – °C-d).

Στην παρούσα μελέτη βρέθηκε ότι, η ξηρή βιομάζα του switchgrass (ποικιλία Alamo) επηρεάστηκε στατιστικώς σημαντικά ($P < 0.05$) από τα επίπεδα άρδευσης (Πίν. 3.2.5). Η επίδραση αυτή σημειώθηκε και για τις δυο περιοχές κατά το έτος 2012, ενώ η επίδραση ήταν προφανώς μεγαλύτερη για τη ξηρή περιοχή του Βελεστίνου. Αντιθέτως, οι Stroup *et al.* (2003) σε έρευνα που διεξήχθη στο κεντρικό Τέξας αναφέρουν ότι, ο παράγοντας της άρδευσης για την ποικιλία Alamo δεν επέφερε καμία στατιστικώς σημαντική διαφορά. Η αντίθεση αυτή πιθανότατα οφείλεται στη βροχόπτωση. Η καλλιέργεια του switchgrass ευδοκμεί ως ξηρική καλλιέργεια σε περιοχές με μέση βροχόπτωση τα 550 mm. Στο

Κεφάλαιο: Αποτελέσματα και Συζήτηση – Αύξηση και Ανάπτυξη του Switchgrass

Βελεστίνο, όπου η βροχόπτωση είναι περί τα 150 mm (βλ. Κεφ. 3.1) η άρδευση αποτελεί σημαντικό παράγοντα ανάπτυξης, ενώ στον Παλαμά όπου και υπάρχει υπόγειος υδροφόρος ορίζοντας και η βροχόπτωση είναι διπλάσια (320 mm, Κεφ. 3.1) κατά τους μήνες ανάπτυξης (Απρίλιο-Οκτώβριο) η άρδευση δεν επιφέρει καμία επίδραση όπως και στην περίπτωση του Τέξας.

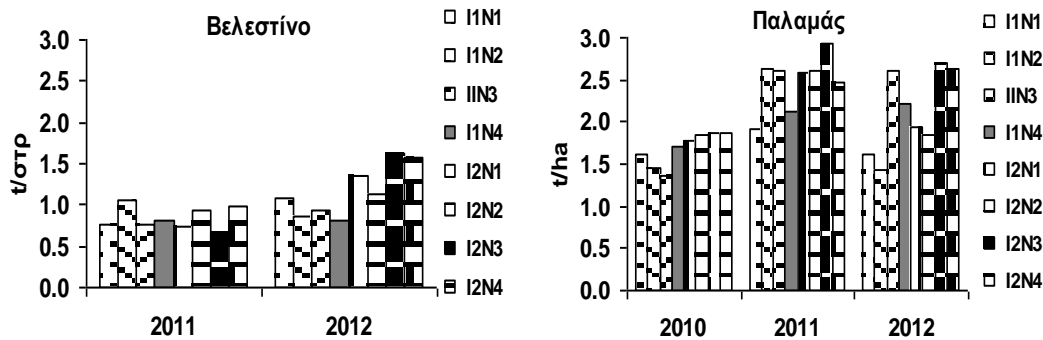
Σύμφωνα με το Σχήμα 3.2.11, στο Βελεστίνο το 2012 για τα I1 και I2 επίπεδα άρδευσης, η καλλιέργεια αυξανόταν με μέσους ρυθμούς 7,55 και 9,08 kg/στρ./ημέρα από την επαναβλάστηση μέχρι τα μέσα Αυγούστου. Επιπλέον, φαίνεται ότι για το διάστημα από αρχές Ιουλίου μέχρι μέσα Αυγούστου οι ρυθμοί αύξησης για τη ξηρική καλλιέργεια μειώθηκαν σε 4,86 kg/στρ./ημέρα, ενώ για την αρδευόμενη διατηρήθηκε σε 9,01. Κατόπιν και μέχρι τα μέσα Σεπτεμβρίου οι ρυθμοί αυτοί διαμορφώθηκαν σε 0,9 και 21,6 kg/στρ./ημέρα για τα I1 και I2, αντίστοιχα.

Στον Παλαμά, οι ρυθμοί ανάπτυξης ήταν περίπου ίσοι για τα 2 επίπεδα άρδευσης αλλά διέφεραν μεταξύ των ετών για την αρδευόμενη καλλιέργεια. Οι μέσοι ρυθμοί από την επαναβλάστηση μέχρι τα μέσα Αυγούστου για την ξηρική καλλιέργεια ήταν σχεδόν σταθεροί περί τα 14,7 kg/στρ./ημέρα (14,76, 14,68 και 14,53 kg/στρ./ημέρα, για το 2010, 2011 και 2012, αντίστοιχα. Στην αρδευόμενη καλλιέργεια δεν υπήρχαν σταθεροί ρυθμοί μεταξύ των ετών και πιο συγκεκριμένα οι ρυθμοί ήταν 13.83, 19.83 και 15.10 kg/στρ./ημέρα για τα έτη 2010, 2011 και 2012, αντίστοιχα. Κατόπιν και μέχρι τα μέσα Σεπτεμβρίου για όλα τα έτη και η ξηρική αλλά και η ποτιστική καλλιέργεια σταμάτησαν την ανάπτυξη της.

Η χρήση αποδοτικότητας άρδευσης (WUE: Water-use efficiency) αποτελεί ένα σημαντικό εργαλείο για την κατανόηση της διαδικασίας μετατροπής του νερού και του CO₂ σε βιομάζα. Οι τιμές της WUE για την κατηγορία των «γρασιδιών» κυμαίνονται από 1-5 g παραγωγή ξηρής βιομάζας ανά kg νερού διαπνοής. Σε μία έρευνα που διεξήχθη στη Νεμπράσκα, οι τιμές της WUE του switchgrass κυμάνθηκαν από 1,0 σε 5,5 g kg⁻¹ (Eggemeyer *et al.*, 2006). Οι τιμές αυτές είναι παρόμοιες με τις τιμές που αναφέρονται (1,45-5,5 g kg⁻¹) από πειράματα σε κλειστούς θαλάμους από τον Xu και τους συνεργάτες του (2006). Στην παρούσα μελέτη, οι τιμές της WUE του switchgrass προσδιορίστηκαν ως η συνολική ξηρή παραγωγή διαιρούμενη με το συνολικό ποσό του νερού χρήσης από την καλλιέργεια (βροχόπτωσης και άρδευσης). Η WUE κυμάνθηκε από 1,85 σε 4,66 g

Κεφάλαιο: Αποτελέσματα και Συζήτηση – Αύξηση και Ανάπτυξη του Switchgrass

ξ.β. kg^{-1} νερού στην περιοχή του Βελεστίνου (xeric soil), ενώ στην περιοχή του Παλαμά (ύφυργο soil) οι τιμές ήταν 4,11-7,86 g ξ.β. kg^{-1} νερού (ξηρική και ποτιστική καλλιέργεια).



Σχήμα 3.2.13. Ξηρά βάρη των φυτών του switchgrass στο Βελεστίνο και στον Παλαμά κατά την περίοδο της συγκομιδής για τα έτη 2010, 2011, 2012.

Η ξηρή βιομάζα του switchgrass από την άλλη πλευρά επηρεάστηκε από τον παράγοντα της N-ούχου λιπάνσεως ($P < 0.05$) για τα 4 επίπεδα (0, 8, 16, 24 kg N/στρ.) μόνο στην περιοχή του Παλαμά και κατά το έτος 2012. Τα αποτελέσματα αυτά συμφωνούν με προηγούμενες μελέτες (Stroup *et al.*, 2003).

Ενώ σε αρχικά πειράματα λίπανσης, τα μελετούμενα επίπεδα N κυμαίνονταν στο εύρος των 10-30 kg/στρ. , τελικά προέκυψε ότι 5 kg/στρ. επαρκούν για σύστημα μιας συγκομιδής στον Ατλαντικό (Parrish *et al.*, 2003). Πειράματα στην Αλαμπάμα δείχνουν ότι εφαρμογή περί τα 12.2 kg N/στρ. στην αρχή μιας 3-ετούς μελέτης κατέληξαν σε συγκρίσιμες αποδόσεις (1,5 t/στρ./έτος) και στην αύξηση της απόδοσης της βιομάζας/εφαρμοσθέν N πάνω από 150% σε σχέση με εκείνη που επιτυγχάνεται όταν το ίδιο επίπεδο N εφαρμόζεται κάθε έτος. Το ποσοστό εφαρμογής ήταν περί τα 4,1 kg/στρ./έτος (Bransby *et al.*, 2002). Στην παρούσα μελέτη βρέθηκε ότι, ποσότητα N ίση με 24 kg/στρ. δεν σημείωσε αύξηση της ξηρής βιομάζας. Αυτό προφανώς οφείλεται και στο πλάγιασμα των φυτών λόγω της υπερβολικής λίπανσης, φαινόμενο που παρατηρήθηκε έντονα στον Παλαμά.

Κεφάλαιο: Αποτελέσματα και Συζήτηση – Αύξηση και Ανάπτυξη του Switchgrass

Πίνακας 3.2.5. Ξηρό Βάρος των φυτών (t/στρ.) για 2 επίπεδα άρδευσης και 4 επίπεδα N-χου λίπανσης στους πειραματικούς αγρούς Παλαμά και Βελεστίνου (2010, 2011, 2012). [I₁: 0 mm, I₂: 250 mm, N₁:0, N₂:8, N₃:16 και N₄:24 kg N/στρ.).

		Ξηρό Βάρος (t/στρ.)										
		Παλαμάς					Βελεστίνo					
		2010										
		3η Κοπή	4η Κοπή	5η Κοπή	6η Κοπή							
Επίπεδα Άρδευσης												
Ξηρικό (I1: 0 mm)		1,05 a	1,60	2,45	2,30							
Ποτιστικό (I2: 250 mm)		1,41 b	1,67	1,92	2,16							
LSD _{0.05}		0,228	ns	ns	ns							
Επίπεδα N-λίπανσης												
N1 = 0 kg/στρ.		1,22	1,57	2,17	2,19							
N2 = 8 kg/στρ.		1,29	1,52	2,07	2,32							
N3 = 16 kg/στρ.		1,22	1,74	2,33	2,13							
N4 = 24 kg/στρ.		1,19	1,69	2,16	2,28							
LSD _{0.05}		ns	ns	ns	ns							
CV %		11,7	26,2	25,4	23,1							
		2011										
		2η Κοπή	3η Κοπή	4η Κοπή	5η Κοπή	6η Κοπή	1η Κοπή	2η Κοπή				
Επίπεδα Άρδευσης												
Ξηρικό (I1: 0 mm)		1,16	1,83	2,12	1,93 a	2,32	0,61	0,85				
Ποτιστικό (I2: 250 mm)		1,18	1,75	2,05	2,74 b	2,65	0,77	0,83				
LSD _{0.05}		ns	ns	ns	0,59	ns	ns	ns				
Επίπεδα N-λίπανσης												
N1 = 0 kg/στρ.		0,93	1,57	2,05	2,18	2,25	0,57	0,75				
N2 = 8 kg/στρ.		1,02	1,86	1,80	2,24	2,62	0,78	1,00				
N3 = 16 kg/στρ.		1,30	1,91	2,20	2,36	2,77	0,82	0,71				
N4 = 24 kg/στρ.		1,41	1,84	2,29	2,57	2,29	0,58	0,89				
LSD _{0.05}		ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns				
CV %		17,9	23,2	26,9	23,8	33,5	22,4	26,7				
		2012										
		1η Κοπή	2η Κοπή	3η Κοπή	4η Κοπή	5η Κοπή	1η Κοπή	2η Κοπή	3η Κοπή	4η Κοπή	5η Κοπή	6η Κοπή
Επίπεδα Άρδευσης												
Ξηρικό (I1: 0 mm)		1,23	1,47	2,12	1,81	1,97 a	0,79	0,83	0,96	0,90 a	0,95 a	0,92 a
Ποτιστικό (I2: 250 mm)		1,36	1,60	2,21	2,26	2,28 b	0,84	0,94	1,15	1,34 b	1,95 b	1,43 b
LSD _{0.05}		ns	ns	ns	ns	0,176	ns	ns	ns	0,388	0,660	0,283
Επίπεδα N-λίπανσης												
N1 = 0 kg/στρ.		1,27	1,26 a	1,67 a	1,74	1,78 a	0,81	0,94	1,12	1,23	1,40	1,22
N2 = 8 kg/στρ.		1,18	1,43 ab	2,19 ab	1,99	1,64 a	0,78	0,87	1,03	1,02	1,30	1,00
N3 = 16 kg/στρ.		1,39	1,69 bc	2,65 b	2,17	2,66 b	0,80	0,84	0,99	1,07	1,50	1,29
N4 = 24 kg/στρ.		1,33	1,76 c	2,14 ab	2,24	2,42 b	0,86	0,91	1,09	1,15	1,40	1,19
LSD _{0.05}		ns	0,302	0,560	ns	0,510	ns	ns	ns	ns	ns	ns
CV %		24,2	18,7	24,7	25,9	22,9	17,7	11,2	17,2	22,8	26,1	17,0

* Duncan criterion: a, b, c

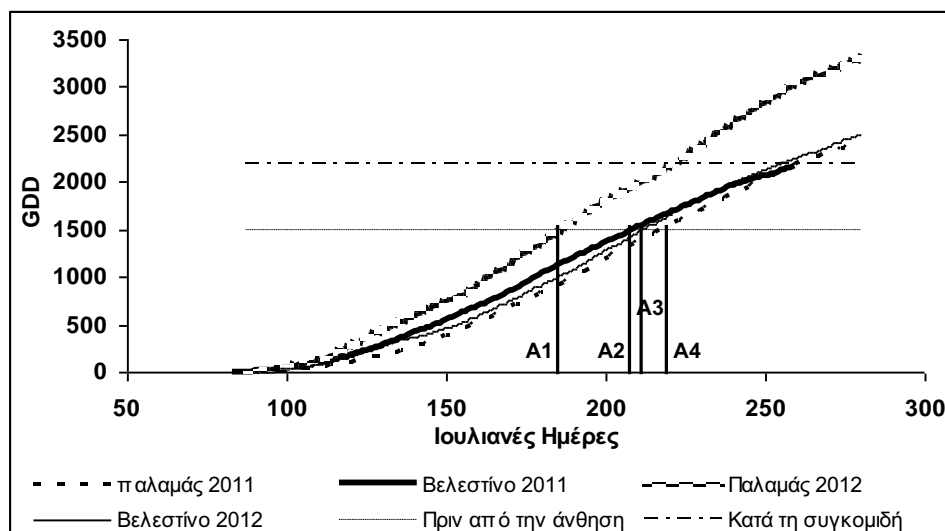
Κεφάλαιο: Αποτελέσματα και Συζήτηση – Αύξηση και Ανάπτυξη του Switchgrass

Συνοψίζοντας λοιπόν, το γενικό συμπέρασμα που προκύπτει για το switchgrass (εν Αλαμο είναι ότι αποτελεί μια πολλά υποσχόμενη πολυετή καλλιέργεια για την παραγωγή βιομάζας και στερεών βιοκαυσίμων στην Ελλάδα και παρόμοιες μεσογειακές χώρες. Επιπλέον, υπάρχει η δυνατότητα καλλιέργειάς του για την παραγωγή βιομάζας σε ύφυγρα εδάφη (Παλαμάς) στην Ελλάδα αλλά και στη Μεσόγειο γενικότερα, με μηδενικές ή ελάχιστες εισροές άρδευσης και N-ούχου λίπανσης, ενώ σε xeric εδάφη (Βελεστίνο) οι αποδόσεις σε βιομάζα είναι χαμηλότερες και επομένως η N-λίπανση μπορεί να επιφέρει μόνο μέτρια αποτελέσματα.

3.2.5 Μεταβολή του βάρους των φυτικών οργάνων

Στο Σχήμα 3.2.14, απεικονίζεται η μεταβολή της συγκέντρωσης των θερμο-ημερών για την καλλιέργεια του switchgrass στην περιοχή του Παλαμά και του Βελεστίνου για το 2011 και το 2012. Είναι προφανές ότι η καλλιέργεια εισέρχεται στο στάδιο ανθοφορίας (1500 GDDs) περί τη 210^η Ιουλιανή Ημέρα για κάθε περιοχή και έτος εκτός από το θερμό και ξηρό καλοκαίρι με τις παρατεταμένες και υψηλές θερμοκρασίες αέρος που επικράτησαν το 2012 στον Παλαμά. Το 2012 η καλλιέργεια εισήλθε στο στάδιο της ανθοφορίας σε πολύ μικρότερο χρονικό διάστημα (πρωίμισε – 190^η Ιουλιανή Ημέρα).

Η ωρίμανση των σπόρων, η οποία συμπίπτει με το στάδιο της συγκομιδής – ωρίμανσης του φυτού, επιτεύχθηκε τη 227^η Ιουλιανή Ημέρα για την καλλιεργητική περίοδο του 2012 στην περιοχή του Παλαμά, ενώ για όλες τις άλλες περιπτώσεις η 256^η Ιουλιανή Ημέρα αποτελούσε την ημέρα ωρίμανσης της καλλιέργειας (Σχ. 3.2.14).



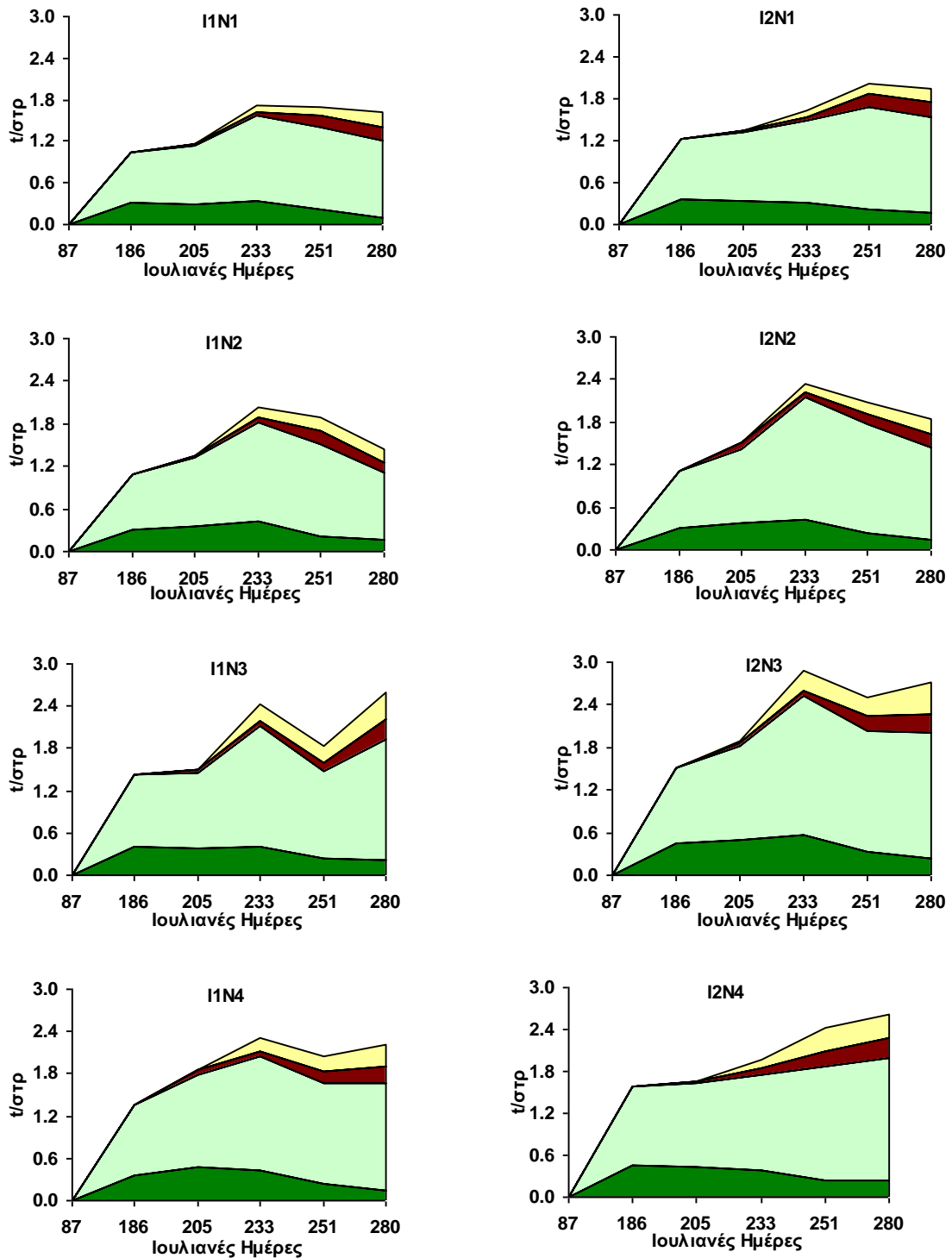
Σχήμα 3.2.14. Μεταβολή των θερμοημερών (Growing Degree Days – GDD) για τις περιοχές μελέτης κατά τη διάρκεια των ετών 2011 και 2012 (--- Παλαμάς 2011, ... Παλαμάς 2012, — Βελεστίνο 2011, — Βελεστίνο 2012). Σημείο έναρξης ανθοφορίας στον Παλαμά: A1 το 2011, A4 το 2012 και στο Βελεστίνο: A2 το 2011, A3 το 2012. Ανθοφορία: η πρώτη οριζόντια γραμμή (1500 °C-ημέρα), ωρίμανση: η δεύτερη οριζόντια γραμμή (2200 °C-ημέρα).

Κεφάλαιο: Αποτελέσματα και Συζήτηση – Αύξηση και Ανάπτυξη του Switchgrass

Η επαναβλάστηση του switchgrass συνέβη στις 28 Μαρτίου (2012) στην περιοχή του Παλαμά, ενώ στην περιοχή του Βελεστίνου, λόγω χαμηλότερων θερμοκρασιών (όπως έχει προαναφερθεί στο κεφάλαιο 3.1), η επαναβλάστηση καθυστέρησε, περί τις 4 Απριλίου. Η μέγιστη υπέργεια ξηρή βιομάζα έφθασε τους 2,7 t/στρ. στον Παλαμά για την μεταχείριση των 250 mm άρδευσης και 16 kg/στρ. N-ούχου λίπανσης, όπως απεικονίζεται στο Σχήμα. 3.2.11. Υψηλή όμως παραγωγή ξηρής βιομάζας, περί τους 2,6 t/στρ. ελήφθη και για την ξηρική καλλιέργεια με την ίδια N-ούχο λίπανση. Οι τιμές αυτές είναι σημαντικά μεγαλύτερες έναντι των αποδόσεων που έχουν αναφερθεί σε άλλες έρευνες (π.χ. Η.Π.Α.), όπου η παραγωγή κυμαίνεται περί τον 1 t/στρ. (Heaton *et al.*, 2004). Τόσο η ξηρική όσο και η αρδευόμενη μεταχείριση του switchgrass στον Παλαμά, αποδίδουν υψηλές παραγωγές. Αυτό ήταν αναμενόμενο αφού ο Παλαμάς χαρακτηρίζεται από την ύπαρξη υπόγειου υδροφόρου ορίζοντα (Danalatos *et al.*, 2008), ως εκ τούτου, το switchgrass με το πλούσιο και βαθύ ριζικό σύστημα, είχε αρκετή υγρασία για την ανάπτυξή του.

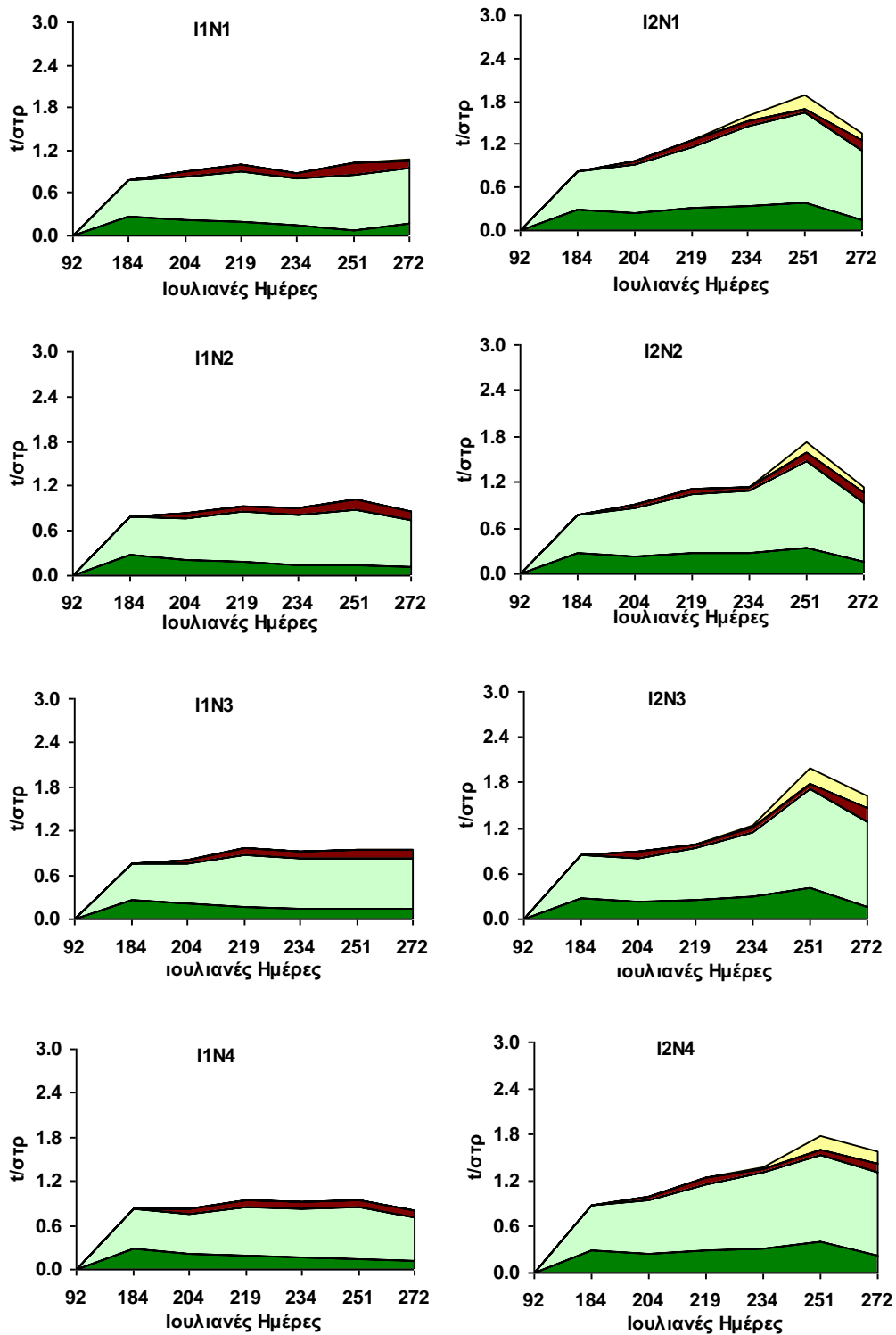
Στο Σχήμα 3.2.16 φαίνεται ότι, η ξηρική καλλιέργεια στην περιοχή του Βελεστίνου δεν κατόρθωσε να εισέλθει στο στάδιο της ανθοφορίας. Το βάρος των πράσινων φύλλων άρχισε να μειώνεται με την αύξηση του βάρους των νεκρών (καφέ) φύλλων από τα μέσα Ιουλίου, λόγω των δυσμενών θερμοών και ξηρών συνθηκών που επικρατούσαν κατά τη διάρκεια του καλοκαιριού. Αντιθέτως, το βάρος των πράσινων φύλλων της αρδευόμενης καλλιέργειας συνέχισε να αυξάνεται μέχρι τις αρχές Σεπτεμβρίου.

Κεφάλαιο: Αποτελέσματα και Συζήτηση – Αύξηση και Ανάπτυξη του Switchgrass



Σχήμα 3.2.15. Εξέλιξη των ξηρών βαρών των φυτικών οργάνων του switchgrass υπό την επίδραση των 2 επιπέδων άρδευσης (I1: αριστερά, I2: δεξιά γραφήματα) και των 4 επιπέδων N-ούχου λίπανσης (N1: 1^η, N2: 2^η, N3: 3^η, N4: 4^η σειρά) στην περιοχή Παλαμά.

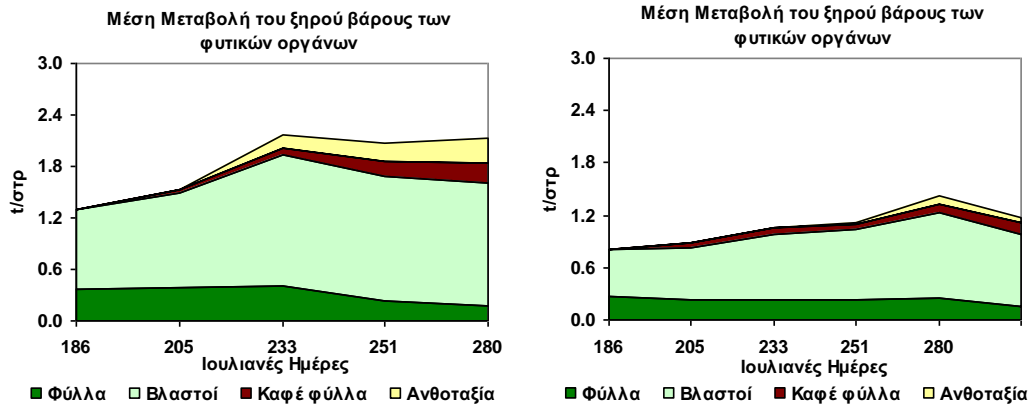
Κεφάλαιο: Αποτελέσματα και Συζήτηση – Αύξηση και Ανάπτυξη του Switchgrass



Σχήμα 3.2.16. Εξέλιξη των ξηρών βαρών των φυτικών οργάνων του switchgrass υπό την επίδραση των 2 επιπέδων άρδευσης (I1: αριστερά, I2: δεξιά γραφήματα) και των 4 επιπέδων Ν-ούχου λίπανσης (N1: 1^η, N2: 2^η, N3: 3^η, N4: 4^η σειρά) στην περιοχή Βελεστίνου.

Κεφάλαιο: Αποτελέσματα και Συζήτηση – Αύξηση και Ανάπτυξη του Switchgrass

Και για τις δύο περιοχές (Παλαμάς – Βελεστίνο) και σε όλες τις μεταχειρίσεις, το switchgrass συνέχισε την αύξηση της ξηρής του βιομάζας από την επαναβλάστηση μέχρι και την ωρίμανση (Σχ.3.2.17).

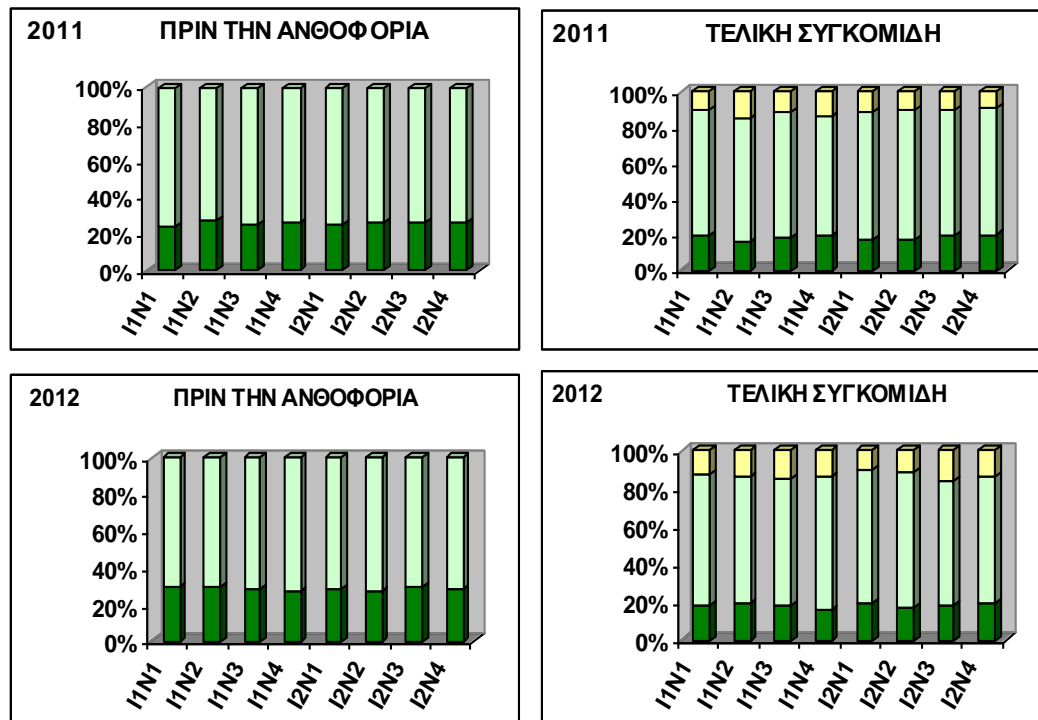


Σχήμα 3.2.17. Μέση μεταβολή της ξηρής βιομάζας των φυτικών οργάνων του switchgrass για την περιοχή του Παλαμά (αριστερά) και του Βελεστίνο (δεξιά).

Αναλόγως της περιοχής εγκατάστασης και ανάπτυξης της καλλιέργειας, το switchgrass μπορεί να παράγει το 1/4 - 1/3 του δυναμικού παραγωγής του κατά το έτος εγκατάστασης και τα 2/3 του δυναμικού κατά το έτος μετά τη σπορά (Bransdy, 2008). Όπως φαίνεται στα Σχήματα 3.2.18 και 3.2.19, ο λόγος φυτικών οργάνων/συνολική βιομάζα σταθεροποιήθηκε κατά τη διάρκεια του τρίτου έτους της ανάπτυξης, όταν η καλλιέργεια είχε αναπτυχθεί πλήρως.

Πριν από την ανθοφορία, ο λόγος φύλλα/συνολική βιομάζα ποικίλει ελαφρώς μεταξύ των μεταχειρίσεων N, χωρίς όμως οι διαφορές αυτές να είναι στατιστικώς σημαντικές. Τα φύλλα καταλαμβάνουν περί το 35% της συνολικής βιομάζας, ενώ το υπόλοιπο 65% το καταλαμβάνουν τα στελέχη. Η σύνθεση αυτή της βιομάζας άλλαξε με την ηλικία της καλλιέργειας, τείνοντας προς μία αναλογία φύλλων/βιομάζα της τάξης του 27-30% και βλαστών/βιομάζα 70-73%, και για τις δύο περιοχές μελέτης.

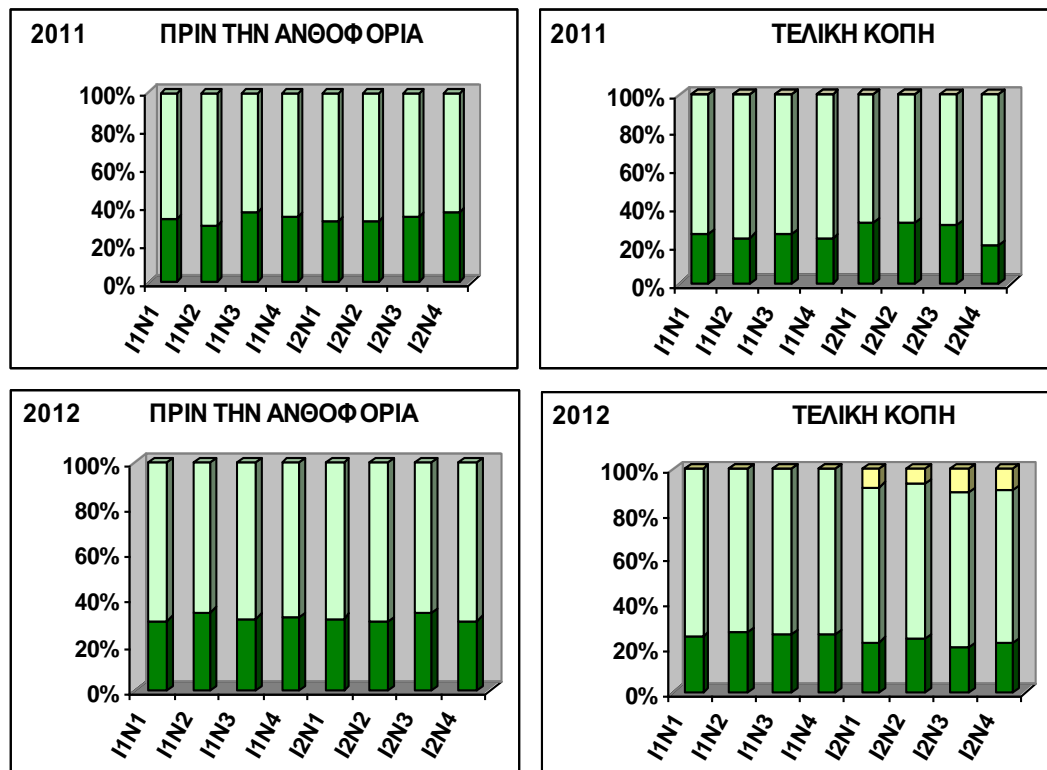
ΠΑΛΑΜΑΣ



Σχήμα 3.2.18. Διαχωρισμός του switchgrass (■ φύλλα, ■ βλαστοί, ■ ανθοταξίες) όπως επηρεάστηκε από 2 επίπεδα άρδευσης (I1, I2) και 4 επίπεδα N-ούχου λιπάνσεως (N1, N2, N3, N4) σε 2 στάδια ανάπτυξης του φυτού (Πριν την ανθοφορία και κατά την τελική συγκομιδή) για 2 χρόνια (επάνω γραφήματα: 2011, κάτω γραφήματα: 2012) στην περιοχή του Παλαμά.

Ο λόγος των επιμέρους οργάνων του φυτού προς τη συνολική βιομάζα κατά το στάδιο της ωρίμανσης και κατόπιν του τρίτου έτους εγκατάστασης σταθεροποιείται ως εξής: 19-22%, 68-71% και 10-12% για τους λόγους φύλλα/συνολική βιομάζα, βλαστοί/συνολική βιομάζα, και ανθοταξίες/συνολική βιομάζα, αντίστοιχα (Σχ. 3.2.18, 3.2.19).

ΒΕΛΕΣΤΙΝΟ



Σχήμα 3.2.19. Διαχωρισμός του switchgrass (■ φύλλα, ■ βλαστοί, ■ ανθοταξίες) όπως επηρεάστηκε από 2 επίπεδα άρδευσης (I1, I2) και 4 επίπεδα N-ούχου λιπάνσεως (N1, N2, N3, N4) σε 2 στάδια ανάπτυξης του φυτού (Πριν την ανθοφορία και κατά την τελική συγκομιδή) για 2 χρόνια (επάνω γραφήματα: 2011, κάτω γραφήματα: 2012) στην περιοχή του Βελεστίνου.

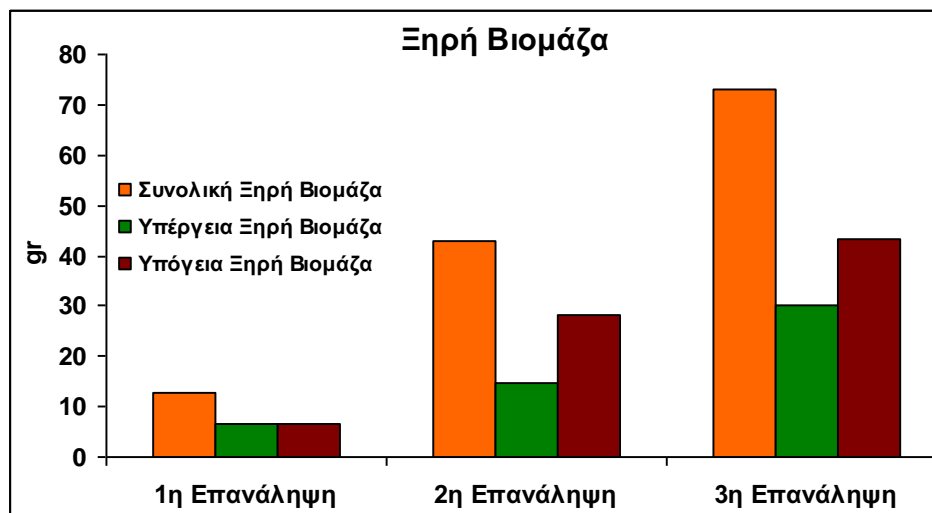
Προηγούμενες έρευνες (Frank *et al.*, 2004; Perry *et al.*, 1979) αναφέρουν ότι ο λόγος βλαστοί/φύλλα για την καλλιέργεια του switchgrass στο στάδιο της ωρίμανσης είναι της τάξης του 4-7:1, το μέγιστο του οποίου είναι σε συμφωνία για την ποικιλία Alamo στη διεξαγωγή της παρούσας έρευνας (7:1).

3.2.6 Επίδραση της άρδευσης στην αύξηση του ύψους των φυτών σε πείραμα κλειστού θαλάμου με γλαστράκια

Ο θάλαμος ανάπτυξης ρυθμίστηκε ώστε να έχει σταθερή θερμοκρασία 26,5 °C και όλες τις λάμπες, αλογόνου και φθορισμού ανοιχτές. Τα διαφορετικά επίπεδα άρδευσης εφαρμόστηκαν στις τρεις επαναλήψεις ως εξής:

- 1^η Επανάληψη: Επίπεδο I (250 mL/γλάστρα/ημέρα, α πληθυσμός)
- 2^η Επανάληψη: Επίπεδο II (125 mL/γλάστρα/ημέρα, 2α πληθυσμός)
- 3^η Επανάληψη: Επίπεδο II (125 mL/γλάστρα/ημέρα, α πληθυσμός)

Οι παρατηρήσεις λαμβάνονταν μέχρις ότου το ύψος των φυτών ανά γλάστρα να φτάσει στον μέσο όρο των 30 cm, που είχε τεθεί εξ' αρχής ως όριο της ανάπτυξης. Οι θερμομονάδες που συμπληρώθηκαν έως εκείνη τη στιγμή κυμάνθηκαν αναλόγως της επανάληψης από 636, 660 και 763 °C-d (1^η, 2^η και 3^η επανάληψη, αντίστοιχα).



Σχήμα 3.2.20. Η απόδοση της ξηρής υπόγειας και υπέργειας βιομάζας (g) των τριών επαναλήψεων.

Όπως φαίνεται από το Σχήμα 3.2.20 την μεγαλύτερη απόδοση σε ξηρή βιομάζα, τόσο υπέργειας αλλά και υπόγειας έδωσαν τα φυτά της 3^{ης} επανάληψης (30,08 και 43,11 g, αντίστοιχα). Η αρχική υπόθεση ήταν τη μεγαλύτερη απόδοση να έχουν τα φυτά της 2^{ης} επανάληψης, λόγω της ύπαρξης διπλάσιου πληθυσμού, παρόλα αυτά ο αυξημένος πληθυσμός λειτούργησε ως περιοριστικός παράγοντας στην ανάπτυξη του ριζικού

Κεφάλαιο: Αποτελέσματα και Συζήτηση – Αύξηση και Ανάπτυξη του Switchgrass

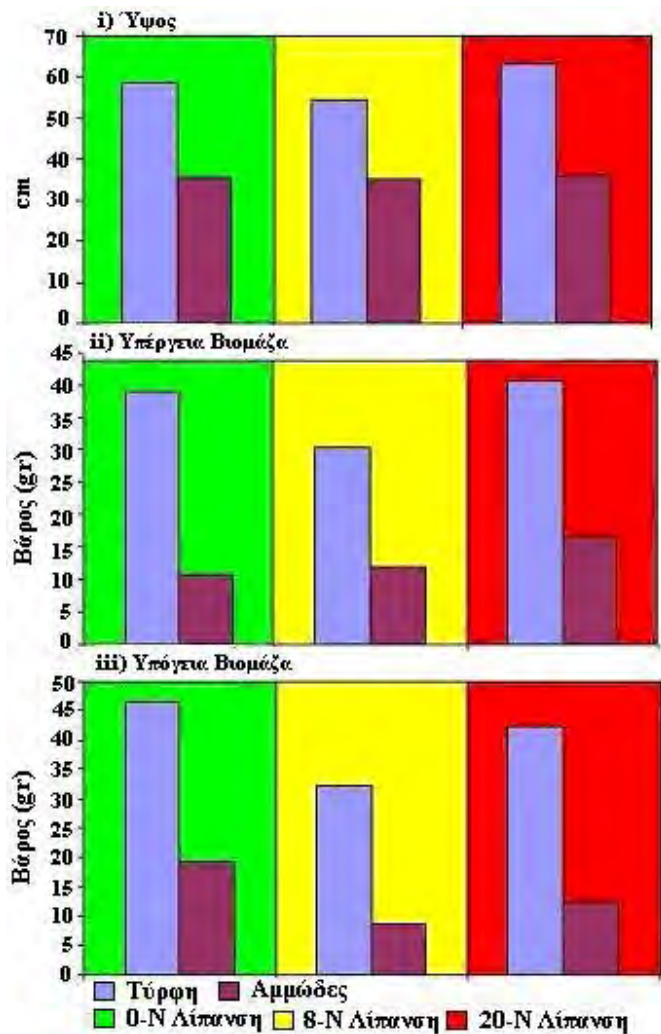
συστήματος και επομένως και της υπέρχειας βιομάζας. Τα φυτά της 2^{ης} επανάληψης, ανέπτυξαν έντονο ανταγωνισμό μεταξύ τους, γεγονός που δεν τους επέτρεψε να αναπτυχθούν επαρκώς και επομένως να μην εισέλθουν στο στάδιο του καλαμώματος. Τέλος, στα φυτά της 1^{ης} επανάληψης, πιθανόν η υψηλή δόση άρδευσης να περιορίσει την ανάπτυξη του ριζικού συστήματος που οδήγησε στη δημιουργία βλαστών που υστερούσαν σε πάχος και βάρος και επομένως και σε απόδοση βιομάζας.

Είναι ευδιάκριτο από το Σχήμα 3.2.20 ότι, η καλλιέργεια του switchgrass κατά το πρώτο έτος εγκατάστασης (και τα πρώτα στάδια ανάπτυξης) δημιουργεί ένα πλούσιο και βαθύ ριζικό που σε βάρος ξηρής βιομάζας είναι πολλές φορές και διπλάσιο της ξηρής υπέρχειας βιομάζας. Επιπλέον, φαίνεται ότι η καλλιέργεια δεν θέλει νερό στα αρχικά στάδια ανάπτυξης ώστε να κατορθώσει να δημιουργήσει βαθύ και πλούσιο ριζικό σύστημα.



Εικόνα 3.3. Η ανάπτυξη του πλούσιου ριζικού συστήματος του switchgrass σε γλαστράκια σε αρχικά στάδια (ύψος 30 cm).

Κεφάλαιο: Αποτελέσματα και Συζήτηση – Αύξηση και Ανάπτυξη του Switchgrass



Σχήμα 3.2.21. Χαρακτηριστικά ανάπτυξης Switchgrass i) ύψος, ii) υπέργεια βιομάζα, και iii) υπόγεια βιομάζα, κάτω από τρία επίπεδα θρεπτικών (0, 8 και 20 kg N/στρ.) και δύο είδη εδαφών (τύρφη, αμμώδες έδαφος).

Σε δεύτερο πείραμα με γλαστράκια που διεξήχθη για τον έλεγχο της καλλιέργειας του switchgrass ως εδαφοβελτιωτικό (πρόσληψη νιτρικών) βρέθηκε ότι το ύψος των φυτών αυξανόταν με μέσο ρυθμό 1,11 και 0,67 cm/ημέρα και η μέση συγκομισθείσα βιομάζα ανερχόταν στην ποσότητα των 36,74 και 12,98 g, για τους δύο διαφορετικούς τύπους εδάφους τύρφης και αμμώδους εδάφους, αντίστοιχα. Το μέσο βάρος των ριζών (Σχ. 3.2.21) ανερχόταν στην τιμή των 40,45 και 13,42 g στην τύρφη και στο αμμώδες έδαφος, αντίστοιχα. Για ακόμη μία φορά φαίνεται ότι το switchgrass παράγει ένα μεγάλο ριζικό σύστημα και κατά τη διάρκεια της πρώτης περιόδου βλάστησης το ποσοστό (βάρος υπέργειας βιομάζας)/(βάρος ριζών) είναι <1.

Κεφάλαιο: Αποτελέσματα και Συζήτηση – Χρονική κατανομή της πρόσληψης του N, του P και του K από την καλλιέργεια του Switchgrass

3.3 Χρονική κατανομή της πρόσληψης του αζώτου, του φωσφόρου και του καλίου από την καλλιέργεια του switchgrass

Ο προσδιορισμός της χρονικής κατανομής της πρόσληψης των θρεπτικών στοιχείων αζώτου-φωσφόρου-καλίου (N-P-K) αποτελεί σημαντικό εργαλείο. Τέτοιου είδους πληροφορίες είναι σημαντικές για τον περαιτέρω προσδιορισμό της κρίσιμης περιόδου για την εφαρμογή και τις ανάγκες λίπανσης της καλλιέργειας. Δυστυχώς, οι πληροφορίες σχετικά με την ποσότητα των N-P-K που απομακρύνονται από τη βιομάζα του switchgrass (για τους διαφορετικούς γενότυπους) είναι ανύπαρκτες. Υπάρχουν πολλές αναφορές όπου η καλλιέργεια του switchgrass που λιπάνθηκε με διάφορα επίπεδα αζώτου (7,5-18 kg N/στρ.) απομάκρυνε ποσότητες αζώτου που κυμαίνονταν από 4,1 έως 11,5 kg N/στρ. (Bransby *et al.*, 1989; Collins, 1994; Stout *et al.*, 1991). Σε αντίθεση με τις αναφορές του αζώτου, δεν υπάρχουν πληροφορίες σχετικά με τις ποσότητες του φωσφόρου (P) και του καλίου (K) που απομακρύνονται από τη βιομάζα του switchgrass. Λαμβάνοντας υπόψη ότι, η αξιολόγηση της απομάκρυνσης N-P-K σε διαφορετικά στάδια ανάπτυξης του switchgrass πρέπει να ποσοτικοποιηθεί, στόχος του κεφαλαίου αυτού είναι ο προσδιορισμός της απομάκρυνσης του αζώτου, του φωσφόρου και του καλίου με τη βιομάζα του switchgrass (ποικιλία Alamo).

3.3.1 Πρόσληψη και Απομάκρυνση Αζώτου (N)

Για γρασίδια θερμών περιοχών όπως το switchgrass, το άζωτο και το νερό είναι οι κύριοι παράγοντες που περιορίζουν την παραγωγικότητά τους (Epstein *et al.*, 1996). Η πρόσληψη του N από το switchgrass επηρεάζεται από πολλές παραμέτρους, συμπεριλαμβανομένου του χρόνου και της συχνότητας των συγκομιδών (κοπών), της βιομάζας που αφαιρείται, καθώς και των ποσοστών ορυκτοποίησης του εδάφους. Η χρήση πρωτοκόλλων διαχείρισης μπορεί να επιφέρει μεγάλη διαφορά στην ποσότητα και την αποτελεσματικότητα της χρήσης του αζώτου. Το άζωτο που απομακρύνθηκε σε σύστημα μίας τελικής συγκομιδής ήταν περίπου το ένα τρίτο έως το ήμισυ της ποσότητας του N που απομακρύνθηκε σε σύστημα δύο συγκομιδών (McLaughlin *et al.*, 1999; Parrish *et al.*, 2003; Reynolds *et al.*, 2000).

Η περιεκτικότητα του φυτικού ιστού σε άζωτο είναι μεγαλύτερη σε κοπή του switchgrass στα μέσα της καλλιεργητικής περιόδου. Το άζωτο όπως και άλλα θρεπτικά συστατικά

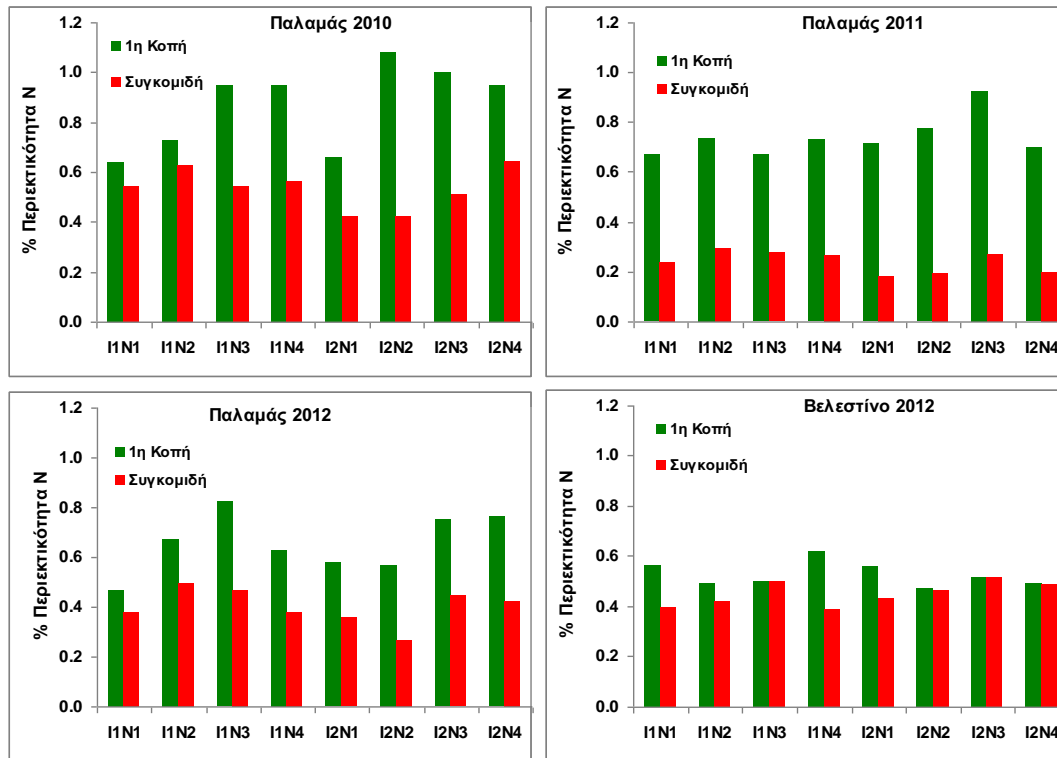
Κεφάλαιο: Αποτελέσματα και Συζήτηση – Χρονική κατανομή της πρόσληψης του N, του P και του K από την καλλιέργεια του Switchgrass

μειώνονται σε χαμηλότερα επίπεδα μετά τον πρώτο παγετό και τη γήρανση (ωρίμανση) (Sanderson & Wolf, 1995). Μετρήσεις του N σε ολόκληρο το φυτικό ιστό δείχνουν ότι, το άζωτο μετατοπίζεται στον ιστό της κεντρικής ρίζας και τη ρίζα με την προσέγγιση στο τελικό στάδιο της ωρίμανσης (Parrish *et al.*, 2003).

Στο Σχήμα 3.3.1 απεικονίζεται το ποσοστό περιεκτικότητας του αζώτου (N) για 2 διαφορετικά στάδια ανάπτυξης του φυτού [1^η κοπή: τα φυτά βρισκόντουσαν σε ύψος 1 m και αριθμό φύλλων 4 (τέλη Ιουνίου), συγκομιδή (τέλη Σεπτεμβρίου)]. Για την περιοχή του Παλαμά, σε όλα τα έτη, είναι εμφανής η διαφορά μεταξύ των σταδίων ανάπτυξης. Η % περιεκτικότητα του φυτικού ιστού σε N με το πέρας του χρόνου και με την εισαγωγή της καλλιέργειας στο στάδιο της ωρίμανσης μειώνεται. Στην περίπτωση του Βελεστίνου η μείωση αυτή είναι πολύ μικρή, για τις αρδευόμενες μεταχειρίσεις γεγονός που πιθανώς οφείλεται στο γεγονός ότι στις μεταχειρίσεις αυτές η καλλιέργεια δεν είχε εισέλθει στο στάδιο της ωρίμανσης.

Σε όλες τις περιπτώσεις η % περιεκτικότητα ήταν μικρότερη του 1,1%. Πιο συγκεκριμένα το ποσοστό % της περιεκτικότητας κυμάνθηκε από 0,464 έως 1,077 % και από 0,181 έως 0,643 % για την «1^η κοπή» και τη «συγκομιδή», αντίστοιχα. Η μείωση αυτή της % περιεκτικότητας N στο φυτικό ιστό είχε σημειωθεί από τον Heaton και τους συνεργάτες του (2009) σε μια διετή συγκριτική μελέτη, στην οποία βρέθηκε ότι, οι συγκεντρώσεις αζώτου της βιομάζας του switchgrass μειώθηκαν από 1,5 έως 2,5% τον Ιούνιο σε 0,5% το Δεκέμβριο.

Κεφάλαιο: Αποτελέσματα και Συζήτηση – Χρονική κατανομή της πρόσληψης του N, του P και του K από την καλλιέργεια του Switchgrass



Σχήμα 3.3.1. Περιεκτικότητα % N στη ξηρή βιομάζα του switchgrass για 2 επίπεδα άρδευσης (I1, I2) και 4 επίπεδα N-ούχου λίπανσης (N1, N2, N3, N4) σε δύο διαφορετικά στάδια ανάπτυξης (1^η Κοπή, Συγκομιδή), στον Παλαμά και το Βελεστίνο.

Όπως φαίνεται στον Πίνακα 3.3.1, κατά το στάδιο ανάπτυξης της 1^{ης} κοπής, η μεγαλύτερη % περιεκτικότητα σε N (1,79%) βρέθηκε για τα φύλλα για όλες τις περιπτώσεις (περιοχές και έτη). Το ποσοστό N στον ιστό των φύλλων ήταν τουλάχιστον 2,5 φορές μεγαλύτερο από την περιεκτικότητα N του ιστού των βλαστών. Η περιεκτικότητα αυτή των φύλλων μειώθηκε από την 1^η κοπή στη συγκομιδή κατά μέσο όρο από 2,3-23% (Πίν. 3.3.1). Αξιοσημείωτο εύρημα αποτελεί η σημαντική μείωση της % περιεκτικότητας N στον ιστό των βλαστών, μείωση που κυμαίνεται από 34-59%. Ενώ κατά την 1^η κοπή η % περιεκτικότητα N κυμαινόταν από 0,24 έως 0,64%, κατά τη συγκομιδή το ποσοστό κυμαινόταν από 0,11 έως 0,36%. Στα ξηρά φύλλα, που η εμφάνισή τους αρχίζει όπως έχει αναφερθεί και προηγουμένως (Κεφ. 3.2.5), από τα τέλη Ιουλίου και έπειτα το % ποσοστό περιεκτικότητας N κυμαίνεται από 0,2 έως 0,59%. Τέλος, στην ανθοταξία το ποσοστό αυτό είναι υψηλό (ίσο και μεγαλύτερο των φύλλων) και κυμαίνεται από 0,64 έως 1,48%.

Κεφάλαιο: Αποτελέσματα και Συζήτηση – Χρονική κατανομή της πρόσληψης του N, του P και του K από την καλλιέργεια του Switchgrass

Στο κεφάλαιο 3.2.5, αναφέρεται ότι η σύνθεση της βιομάζας κατά την 1^η κοπή είναι 27-30% φύλλα και 70-73% βλαστοί, ενώ κατά τη συγκομιδή γίνεται 19-22% φύλλα, 68-71% βλαστοί και 10-12% ανθοταξία και για τις δύο περιοχές μελέτης. Επομένως, όπως είναι φανερό οι βλαστοί με την μεγαλύτερη αναλογία ανά βιομάζα και με τη μεγαλύτερη μείωση ανά στάδιο ανάπτυξης αποτελούν το κύριο όργανο για τον καθορισμό της απομάκρυνσης του N από το χωράφι.

Υπολογίζοντας μια μέση παραγωγή κατά την πρώτη κοπή περί τα 1.060 kg/στρ., τότε η απομάκρυνση του N από το χωράφι θα είναι ίση με:

(βιομάζα * ποσοστό βλαστών) * περιεκτικότητα N + (βιομάζα * ποσοστό φύλλων) * περιεκτικότητα N, δηλαδή
 $(1.060 * 72\%) * 0,44\% + (1.060 * 28\%) * 1,79\% = 8,67 \text{ kg/στρ.}$

Ο ίδιος υπολογισμός τώρα για τη συγκομιδή με μέση παραγωγή τα 2.300 kg/στρ. θα απομακρύνει από το χωράφι:

(βιομάζα * ποσοστό βλαστών) * περιεκτικότητα N + (βιομάζα * ποσοστό φύλλων) * περιεκτικότητα N + (βιομάζα * ποσοστό ανθοταξιών) * περιεκτικότητα N, δηλαδή
 $(2.300 * 70\%) * 0,23\% + (2.300 * 21\%) * 1,06 + (2.300 * 9\%) * 1,06 = 11 \text{ kg N/στρ.}$

Επομένως, σε ένα μέσο-γόνιμο έδαφος η ποσότητα αυτή θα δοθεί στην καλλιέργεια από τη βασική απορρόφηση (εάν αυτή είναι 8 kg/στρ.), και έτσι εξηγούνται και οι μη στατιστικώς σημαντικές διαφορές από τα επίπεδα της N-ούχου λίπανσης.

Κεφάλαιο: Αποτελέσματα και Συζήτηση – Χρονική κατανομή της πρόσληψης του N, του P και του K από την καλλιέργεια του Switchgrass

Πίνακας 3.3.1. 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 (1^η Κοπή, Συγκομιδή), στις 2 περιοχές μελέτης (Παλαμάς, Βελεστίνο), (I₁: 0 mm, I₂: 250 mm, N₁:0, N₂:8, N₃:16 και N₄:24 kg N/στρ.).

	Παλαμάς			Βελεστίνο		Παλαμάς			Βελεστίνο
	2012	2011	2010	2012	2012	2011	2010	2012	
	ΦΥΛΛΑ				ΒΛΑΣΤΟΙ				
	1^η Κοπή								
Επίπεδα Άρδευσης									
Ξηρικό (I1: 0 mm)	1,23	1,18	1,40	0,96	0,42	0,39	0,43	0,34	
Ποτιστικό (I2: 250 mm)	1,30	1,30	1,53	1,00	0,41	0,49	0,50	0,28	
LSD _{0.05}	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	
Επίπεδα N-λίπανσης									
N1 = 0 kg/στρ.	1,08	1,13	1,13	1,09	0,30	0,41	0,34	0,32	
N2 = 8 kg/στρ.	1,09	1,30	1,54	0,94	0,43	0,43	0,48	0,27	
N3 = 16 kg/στρ.	1,42	1,32	1,61	0,92	0,52	0,50	0,52	0,29	
N4 = 24 kg/στρ.	1,47	1,19	1,58	0,96	0,39	0,42	0,55	0,36	
LSD _{0.05}	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	
CV %	9,9	6,8	13,2	7,2	16,1	19,6	16,3	27,0	
	Συγκομιδή								
	ΦΥΛΛΑ				ΒΛΑΣΤΟΙ				
Επίπεδα Άρδευσης									
Ξηρικό (I1: 0 mm)	1,07	1,20 a	1,12	1,18 a	0,20	0,21	0,29	0,27	
Ποτιστικό (I2: 250 mm)	1,04	1,12 b	1,13	1,05 b	0,18	0,19	0,26	0,30	
LSD _{0.05}	ns	0,022	ns	0,104	ns	ns	ns	ns	
Επίπεδα N-λίπανσης									
N1 = 0 kg/στρ.	0,94	1,11 a	0,90 a	1,13	0,21	0,21	0,24	0,25	
N2 = 8 kg/στρ.	0,97	1,19 b	1,05 ab	1,14	0,17	0,17	0,29	0,27	
N3 = 16 kg/στρ.	1,22	1,25 c	1,19 bc	1,10	0,17	0,22	0,24	0,35	
N4 = 24 kg/στρ.	1,11	1,09 a	1,36 c	1,09	0,20	0,20	0,32	0,27	
LSD _{0.05}	ns	0,032	0,214	ns	ns	ns	ns	ns	
CV %	10,1	2,7	6,0	4,1	23,7	29,6	23,7	11,9	
	ΚΑΦΕ ΦΥΛΛΑ				ΑΝΘΟΤΑΞΙΑ				
Επίπεδα Άρδευσης									
Ξηρικό (I1: 0 mm)	0,32	0,36	0,37	0,53	1,29	1,07 b	0,97 b	-	
Ποτιστικό (I2: 250 mm)	0,34	0,42	0,32	0,54	0,95	0,90 a	0,69 a	1,06	
LSD _{0.05}	ns	ns	ns	ns	ns	0,076	0,123	-	
Επίπεδα N-λίπανσης									
N1 = 0 kg/στρ.	0,24	0,35	0,31	0,45	1,03	0,84 a	0,83	0,42	
N2 = 8 kg/στρ.	0,31	0,36	0,32	0,59	1,12	1,00 b	0,81	0,55	
N3 = 16 kg/στρ.	0,38	0,45	0,39	0,55	1,30	1,18 c	0,80	0,60	
N4 = 24 kg/στρ.	0,38	0,41	0,36	0,54	1,02	0,92 ab	0,88	0,56	
LSD _{0.05}	ns	ns	ns	ns	ns	0,108	ns	ns	
CV %	20,1	31,1	16,4	12,2	19,0	3,4	6,6	20,8	

* Duncan criterion: a, b, c

Κεφάλαιο: Αποτελέσματα και Συζήτηση – Χρονική κατανομή της πρόσληψης του N, του P και του K από την καλλιέργεια του Switchgrass

3.3.2 Σχέση παραγωγής βιομάζας και Νούχου λίπανσης

Παρά την υπάρχουσα παραλλακτικότητα, είναι εμφανής και στατιστικώς σημαντική η γραμμική συσχέτιση μεταξύ της πρόσληψης αζώτου και της τελικής απόδοσης σε βιομάζα της καλλιέργειας του switchgrass, τουλάχιστον στο μεγαλύτερο εύρος τιμών της απορρόφησης αζώτου. Η κλίση της καμπύλης αντιπροσωπεύει την αποδοτικότητα πρόσληψης του αζώτου από το φυτό, η οποία στην περίπτωσή μας εκφράζεται με παραγωγή 144,3 kg ανά kg προσλαμβανομένου N για το στάδιο ανάπτυξης της συγκομιδής (1^η κοπή) για παραγωγή ζωοτροφής ($R^2 = 90,4\%$), και 240 kg βιομάζας ανά kg προσλαμβανομένου N στο στάδιο της συγκομιδής για παραγωγή στερεών καυσίμων ($R^2 = 84,6\%$) και για τις 2 περιοχές μελέτης (Σχ. 3.3.2).

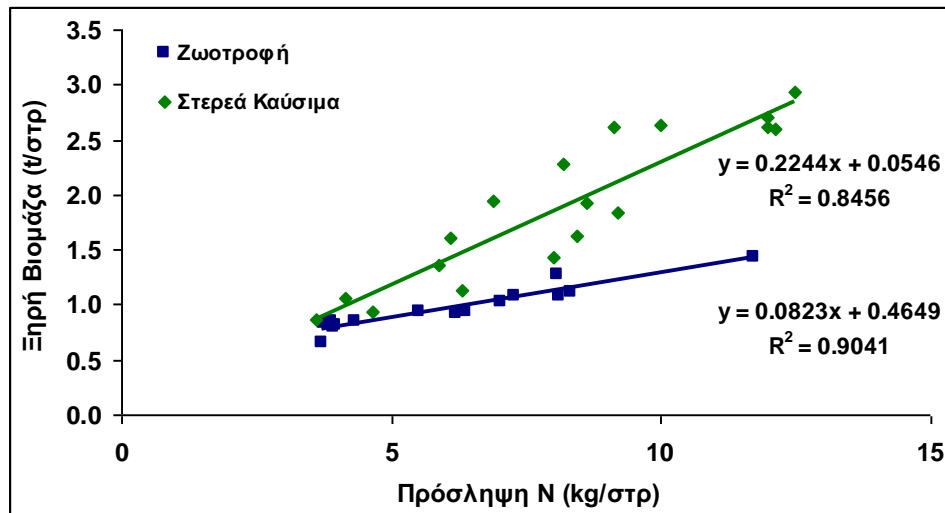
Αυτό οφείλεται στην πολύ χαμηλή συγκέντρωση του αζώτου των μίσχων και των άλλων φυτικών οργάνων (βλ. Σχ. 3.3.2), καταλήγοντας σε μία πολύ υψηλότερη NUE σε σύγκριση με πολλές άλλες καλλιέργειες, (π.χ. κενάφ 72 - 76 kg kg⁻¹, Tigka *et al.*, 2013; καλαμπόκι 60-70 kg kg⁻¹, ηλιάνθος, 25-30 kg kg⁻¹, Skoufogianni *et al.*, 2013) και επιβεβαιώνει ότι η καλλιέργεια μπορεί να αναπτυχθεί με επιτυχία σε λιγότερο γόνιμα εδάφη και να παραχθούν υψηλές αποδόσεις βιομάζας.

Επιπλέον, μπορεί να παρατηρηθεί στην περίπτωση της παραγωγής βιομάζας για στερεά καύσιμα ότι όλες οι τιμές βρίσκονται στο αρχικό γραμμικό μέρος της σχέσης «απόδοσης - N πρόσληψης», έτσι ώστε να φαίνεται ότι η καλλιέργεια δεν έφθασε το δυναμικό παραγωγής σε κανένα από τα πειράματα. Το αποτέλεσμα αυτό ήταν αναμενόμενο καθώς η εξέταση της καλλιέργειας του switchgrass πραγματοποιήθηκε υπό συμπληρωματική (περιορισμένη) και όχι πλήρη άρδευση (0 - 250 mm; βλ. Υλικά και Μέθοδοι). Έτσι πιθανόν με την χρήση περισσότερων αρδεύσεων (μεγαλύτερων ποσοτήτων νερού) να μπορεί να ληφθεί μία (ελαφρώς) μεγαλύτερη παραγωγή.

Σε παρόμοιες μελέτες που διεξήχθησαν, ο Bransby και οι συνεργάτες του (1989) αναφέρουν ότι, σε καλλιέργεια switchgrass με λίπανση 10 kg N/στρ. ετησίως απομάκρυνε κατά μέσο όρο 8,7 kg N/στρ. από το χωράφι μέσω της βιομάζας, κατά τη διάρκεια των τριών τελευταίων ετών. Ο Collins (1994) αναφέρει ότι, καλλιέργεια switchgrass με λίπανση 0, 7.5 και 15 kg N/στρ., απομάκρυνε 4,1-8,3, 5,1-9,3 και 6,6-11,5 kg N/στρ., αντίστοιχα. Ο Stout και οι συνεργάτες του (1991) αναφέρουν ότι,

Κεφάλαιο: Αποτελέσματα και Συζήτηση – Χρονική κατανομή της πρόσληψης του N, του P και του K από την καλλιέργεια του Switchgrass

καλλιέργεια switchgrass που λιπάνθηκε με 0, 9, και 18 kg N/στρ. σε δύο διαφορετικά εδάφη, απομάκρυνε κατά μέσο όρο σε τρία χρόνια 4,9, 9,9 και 12,7 kg N/στρ. στο ένα έδαφος, και 3,2, 7,2 και 10,4 kg N/στρ. στο άλλο αντίστοιχα.



Σχήμα 3.3.2. Συνολική πρόσληψη αζώτου (N-uptake, kg/στρ.) και τελική απόδοση σε ξηρή βιομάζα (t/στρ.) για τα 2 επίπεδα άρδευσης (I1, I2) και τα 3 επίπεδα αζωτούχου λίπανσης (N1, N2, N3) για τις 2 περιοχές σε 2 διαφορετικές χρονικές στιγμές ανάπτυξης (■: συγκομιδή για ζωοτροφή, και ♦: συγκομιδή για στερεά καύσιμα), τα έτη 2011 και 2012.

Ο Sladden με τους συνεργάτες του (1991) που εφήρμοσαν N-ούχο λίπανση σε 2 ποικιλίες switchgrass (Alamo και Cave in Rock) 8,4 kg/στρ. δύο φορές το χρόνο για δύο χρόνια, αναφέρουν ότι, από την Cave in Rock αφαιρούνται 12,6 kg N/στρ. ενώ από την Alamo η ποσότητα αυτή είναι 28,1 kg N/στρ., κατά το δεύτερο έτος. Τέλος, σε έρευνα που διεξήχθη και πάλι από τον Sladden και τους συνεργάτες του (1994), όπου οι παραπάνω ποικιλίες switchgrass (Alamo και Cave in Rock) λιπάνθηκαν με 11,2 kg N/στρ. για περίοδο πέντε ετών, βρέθηκε ότι απομάκρυναν ποσότητες N, υπό 2 διαφορετικά συστήματα κοπών (μιας κοπής ή συστήματος δύο κοπών), που κυμάνθηκαν από 9,9 και 5,5 kg/στρ. υπό το καθεστώς της μίας κοπής και 26,6 και 19,7 kg/στρ. υπό το καθεστώς των δύο κοπών, για την ποικιλία Alamo και την Cave in Rock, αντίστοιχα κατά το 5^ο έτος παραγωγής.

Κεφάλαιο: Αποτελέσματα και Συζήτηση – Χρονική κατανομή της πρόσληψης του N, του P και του K από την καλλιέργεια του Switchgrass

3.3.3 Σχέση Νούχου λίπανσης – πρόσληψης N, βασικής πρόσληψης και ποσοστού ανάκτησης

Βασική Πρόσληψη N

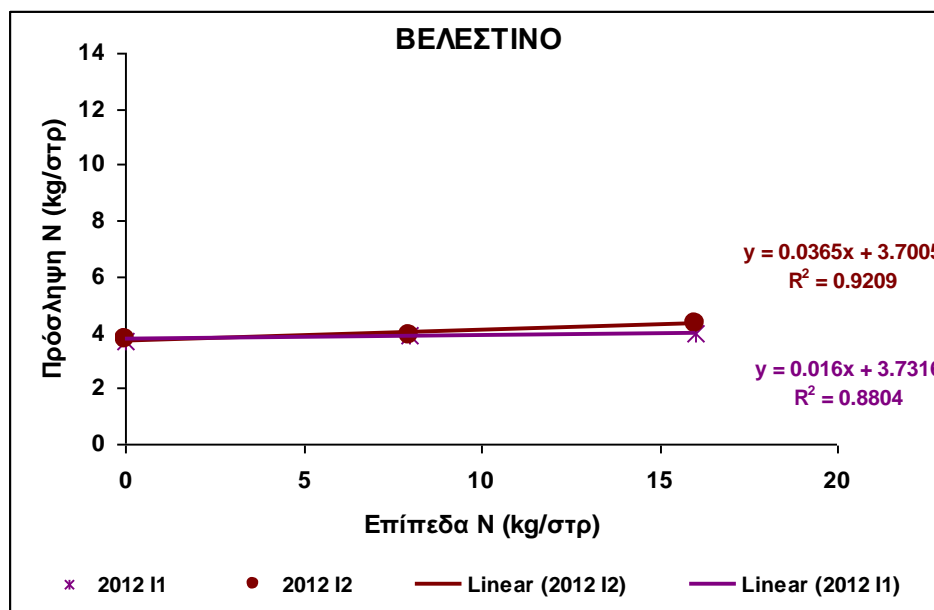
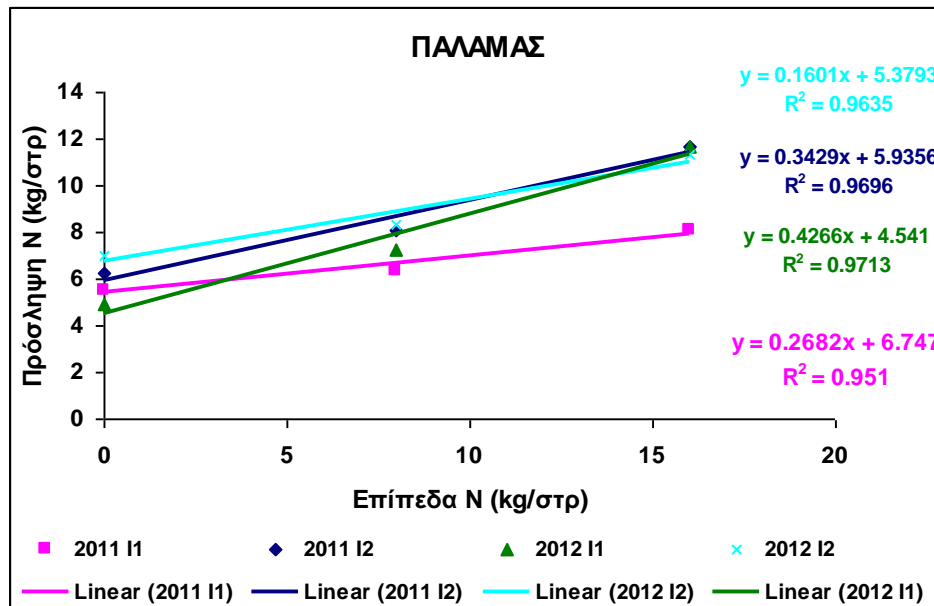
Στα Σχήματα 3.3.3, 3.3.4 απεικονίζεται η σχέση μεταξύ της Νούχου λίπανσης και της πρόσληψης N από την καλλιέργεια του switchgrass για τις δύο μεταχειρίσεις άρδευσης για την παραγωγή ζωοτροφής (στάδιο ανάπτυξης: ύψος 1 m και 4 φύλλα) και για την παραγωγή στερεών καυσίμων (στάδιο ανάπτυξης: ωρίμανση σπόρου και έπειτα) για τα δύο διαφορετικά εδάφη του Παλαμά (aquic) και του Βελεστίνου (dry) το 2011 και το 2012.

Βασική πρόσληψη, είναι η πρόσληψη των προσδιορισμένων θρεπτικών συστατικών στις μη λιπασμένες μεταχειρίσεις (N1: 0 kg N, μάρτυρας). Αυτή η παράμετρος εκφράζει την εγγενή γονιμότητα του εδάφους και εξαρτάται από τις συνθήκες του περιβάλλοντος έδαφος - ρίζα, π.χ. πραγματικό βάθος του ριζικού συστήματος, του οργανικού άνθρακα στο έδαφος, του λόγου C/N, της φαινόμενης πυκνότητας, της υγρασίας του εδάφους και της θερμοκρασία, κ.λ.π. Για τον καθορισμό του βασικού ρυθμού πρόσληψης, τουλάχιστον ένα επιπλέον έτος από το πεδίο πειραματισμού είναι απαραίτητο, με τις μηδενικές λιπάνσεις να τοποθετούνται ακριβώς στην ίδια θέση, έτσι ώστε να ελαχιστοποιείται οποιαδήποτε επίδραση της υπολειμματικής λίπανσης από τα προηγούμενα έτη. Έτσι ακριβώς συνέβη και στην περίπτωση των πειραμάτων στο Βελεστίνο και στον Παλαμά.

Η βασική πρόσληψη N στον Παλαμά (ύφυγρο έδαφος) από την καλλιέργεια του switchgrass για την παραγωγή ζωοτροφής ήταν γενικά μεγαλύτερη σε σύγκριση με το Βελεστίνο (ξηρό έδαφος). Και για τα δύο έτη (2011-2012), η βασική πρόσληψη κυμάνθηκε από 4,5 μέχρι 6,5 kg N/στρ. ανεξαρτήτως της μεταχείρισης της άρδευσης (Σχ 3.3.3).

Στο Βελεστίνο (dry έδαφος) η βασική πρόσληψη N ήταν περί τα 4 kg N/στρ. στην αρδευόμενη αλλά και στην ξηρική καλλιέργεια. Η μη σημαντική διαφοροποίηση της πρόσληψης του αζώτου για τις μεταχειρίσεις της άρδευσης ήταν αναμενόμενη αφού η συγκομιδή της καλλιέργειας για παραγωγή ζωοτροφής έλαβε μέρος περί τα τέλη Ιουνίου και η συνολική ποσότητα άρδευσης ήταν 50 mm.

Κεφάλαιο: Αποτελέσματα και Συζήτηση – Χρονική κατανομή της πρόσληψης του N, του P και του K από την καλλιέργεια του Switchgrass



Σχήμα 3.3.3. Πρόσληψη N (kg/στρ.) της καλλιέργειας του switchgrass για παραγωγή ζωοτροφής (στάδιο ανάπτυξης: ύψος 1m και 4 φύλλα) για τα τρία επίπεδα λίπανσης (0, 8 και 16 kg/στρ.) στον Παλαμά (aquic soil; επάνω) και στο Βελεστίνο (dry soil; κάτω) τα έτη 2011 και 2012 (I1: 0 και I2: 250 mm άρδευσης).

Η βασική πρόσληψη N στον Παλαμά (ύφυγρο έδαφος) από την καλλιέργεια του switchgrass για την παραγωγή στερεών καυσίμων ήταν γενικά μεγαλύτερη (όπως και

Κεφάλαιο: Αποτελέσματα και Συζήτηση – Χρονική κατανομή της πρόσληψης του N, του P και του K από την καλλιέργεια του Switchgrass

στην περίπτωση της παραγωγής ζωοτροφών) σε σύγκριση με το Βελεστίνο (ξηρό έδαφος).

Στην πραγματικότητα, το πιο ευνοϊκό έτος 2011 (100 mm υψηλότερη βροχόπτωση κατά τη διάρκεια των καλοκαιρινών μηνών), η βασική πρόσληψη στο switchgrass μετρήθηκε σε 8,4 kg N/στρ. σε μεγάλο βαθμό ανεξαρτήτως της μεταχείρισης της άρδευσης (8,2 - 8,6 kg/στρ.; Βλ. Σχ 3.3.4). Στο πολύ ξηρό-ζεστό έτος του 2012 (υψηλότερες θερμοκρασίες το καλοκαίρι και σχεδόν καμία βροχή το καλοκαίρι), η βασική πρόσληψη ήταν κάπως χαμηλότερη (7 kg N/στρ.) για την αρδευόμενη καλλιέργεια, και παρέμεινε περί τα 6,1 kg N/στρ. για τη μη αρδευόμενη (ξηρική) καλλιέργεια.

Στο Βελεστίνο (ξηρό έδαφος), η επίδραση της άρδευσης ήταν εμφανής με τη βασική πρόσληψη να μην υπερβαίνει τα 6 kg N/στρ. στην αρδευόμενη, ενώ στην ξηρική καλλιέργεια η βασική πρόσληψη να υστερεί σε 4 kg N/στρ.. Προφανώς στο Βελεστίνο με το ξηρότερο έδαφος, η έλλειψη της άρδευσης είχε αρνητικές επιπτώσεις στην ανοργανοποίηση του αζώτου.

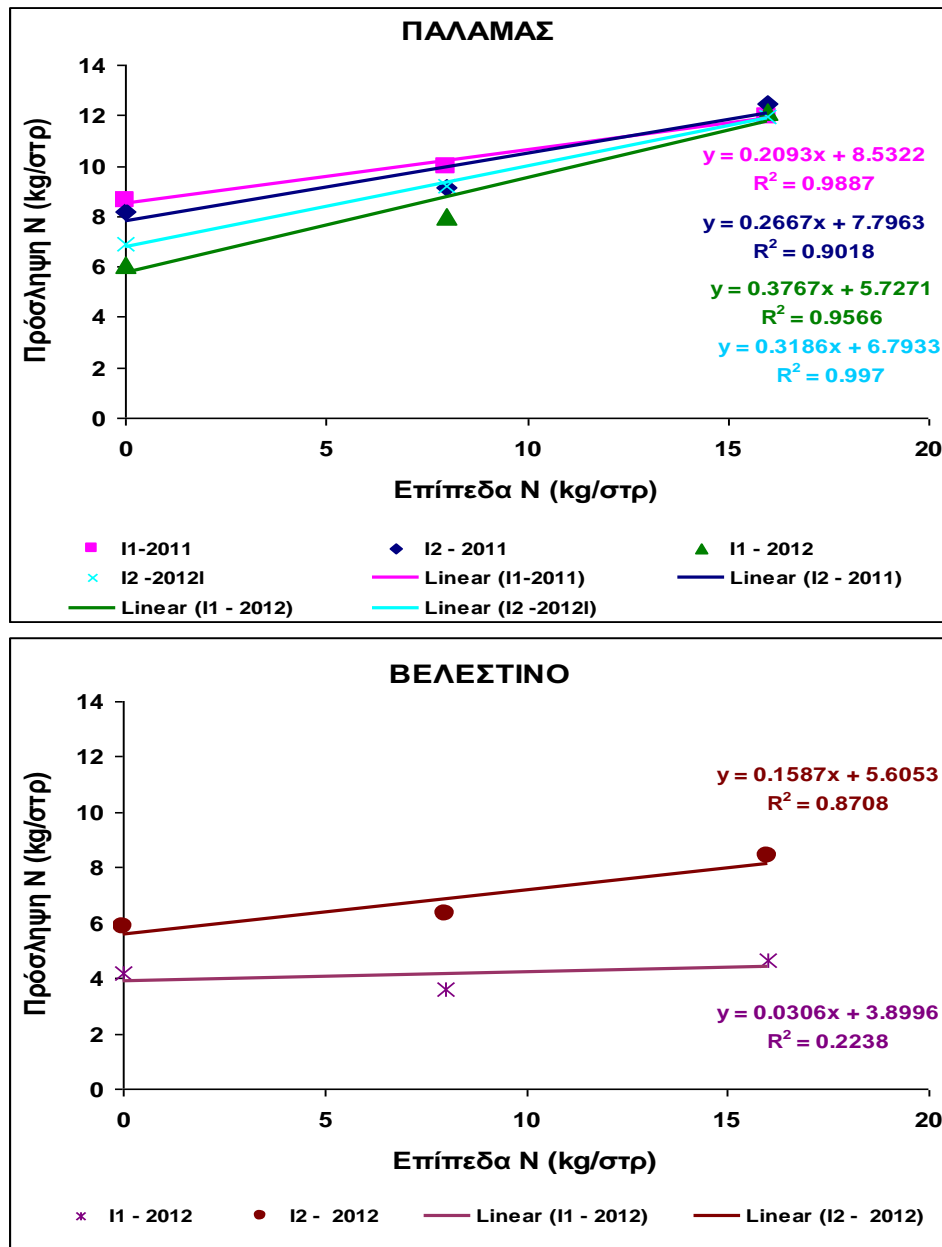
Σε προηγούμενες μελέτες καλλιεργειών σε αρδευόμενα εδάφη (ηλιάνθος, κενάφ, καλαμπόκι, κ.λ.π.), προσδιορίστηκε η βασική πρόσληψη ίση με 8 kg N ha⁻¹, λόγω των γενικότερα ευνοϊκών συνθηκών (Skoufogianni *et al.*, 2013). Για την καλλιέργεια του switchgrass ο Stout και οι συνεργάτες του (1991), οι οποίοι χρησιμοποίησαν λίπανση ίση με 0, 9, και 18 kg N/στρ. σε δύο διαφορετικούς τύπους εδαφών, διαπίστωσαν ότι η βασική πρόσληψη N ήταν 4,9 για τον πρώτο τύπο εδαφών και 3,2 kg/στρ. για το δεύτερο.

Συνοψίζοντας, για την παραγωγή ζωοτροφής από την καλλιέργεια, φαίνεται ότι το switchgrass μπορεί να αυξηθεί με επιτυχία σε ύφυγρα εδάφη (Παλαμάς) χωρίς άρδευση και λίπανση και με παραγωγή περί τα $144 * (4,5 - 6,5 \%) = 648$ με 936 kg ξηρού σανού/στρ., ενώ σε dry εδάφη (Βελεστίνο) η αναμενόμενη απόδοση της βιομάζας θα είναι μικρότερη των 590 kg/στρ., έτσι ώστε να κρίνονται απαραίτητη τόσο η συμπληρωματική άρδευση όσο και η N-ούχος λίπανση, ώστε να εξασφαλίζεται αποδεκτή απόδοση.

Όσον αφορά στην παραγωγή στερεών καυσίμων από την καλλιέργεια, φαίνεται ότι, το switchgrass μπορεί και πάλι να αυξηθεί με επιτυχία σε ύφυγρα εδάφη (Παλαμάς) χωρίς άρδευση και λίπανση, με παραγωγή βιομάζας περί τα $240 * (7-8,4\%) = 1,7$ με 2,0 t/στρ.,

Κεφάλαιο: Αποτελέσματα και Συζήτηση – Χρονική κατανομή της πρόσληψης του N, του P και του K από την καλλιέργεια του Switchgrass

ενώ σε dry εδάφη (Βελεστίνο) η αναμενόμενη απόδοση της βιομάζας θα είναι μικρότερη από 1,0 t/στρ., έτσι ώστε και σε αυτή την περίπτωση να κρίνονται απαραίτητη τόσο η συμπληρωματική άρδευση όσο και η N-ούχος λίπανση, ώστε να εξασφαλίζεται αποδεκτή απόδοση.



Σχήμα 3.3.4. Πρόσληψη N (kg/στρ.) της καλλιέργειας του switchgrass για παραγωγή στερεών καυσίμων (στάδιο ανάπτυξης: ωρίμανση σπόρου και έπειτα) για τα τρία επίπεδα λίπανσης (0, 8 και 16 kg/στρ.) στον Παλαμά (aquic soil; επάνω) και στο Βελεστίνο (dry soil; κάτω) τα έτη 2011 και 2012 (I1: 0 και I2: 250 mm άρδευσης).

Κεφάλαιο: Αποτελέσματα και Συζήτηση – Χρονική κατανομή της πρόσληψης του N, του P και του K από την καλλιέργεια του Switchgrass

Κλάσμα Ανάκτησης N

Στο Σχήμα 3.3.3 φαίνεται ότι, το κλάσμα ανάκτησης N (Recovery Fraction) στην καλλιέργεια του switchgrass για την παραγωγή ζωοτροφής επηρεάζεται από τον τύπο του εδάφους. Στο Βελεστίνο (dry έδαφος) το κλάσμα ανάκτησης ήταν σχεδόν μηδενικό και για τις δύο μεταχειρίσεις άρδευσης (I1, I2) επισημαίνοντας τις μάταιες προσπάθειες της προσθήκης οποιασδήποτε ποσότητας N-ούχου λιπάσματος στην καλλιέργεια του switchgrass.

Αντιθέτως, στον Παλαμά (ύφυγρο έδαφος), το κλάσμα ανάκτησης (RF) ήταν σημαντικά μεγαλύτερο φτάνοντας το 30%, με διαφοροποίηση ανάκτησης το 2012 μεταξύ των μεταχειρίσεων άρδευσης. Λαμβάνοντας υπόψη τη μεγάλη NUE της καλλιέργειας του switchgrass (144 kg ανά kg N; βλ. Σχ. 3.3.2) για την παραγωγή ζωοτροφής και τις τιμές των κοινών N-ούχων λιπασμάτων, φαίνεται ότι μία μέτρια λίπανση της καλλιέργειας σε τύπους εδαφών όπως του Παλαμά (ύφυγρο εδάφη) μπορεί να δώσει πολύ καλές αποδόσεις σανού ζωοτροφής.

Στο Σχήμα 3.3.4 φαίνεται και πάλι ότι, το κλάσμα ανάκτησης N στην καλλιέργεια του switchgrass και στην περίπτωση της παραγωγής στερεών καυσίμων επηρεάζεται πολύ από τον τύπο του εδάφους και την άρδευση. Στο Βελεστίνο (dry έδαφος) το κλάσμα ανάκτησης (Recovery Fraction) ήταν σχεδόν μηδενικό για την ξηρική καλλιέργεια (I1) επισημαίνοντας για ακόμη μία φορά τις μάταιες προσπάθειες της προσθήκης N-ούχου λιπάσματος στην καλλιέργεια του switchgrass υπό ξηρικές συνθήκες. Ωστόσο, το κλάσμα ανάκτησης (RF) παρέμεινε χαμηλό ακόμη και στην περίπτωση της συμπληρωματικά αρδευόμενης (περιορισμένης άρδευσης I2) καλλιέργειας που παρέμεινε περί το 16%.

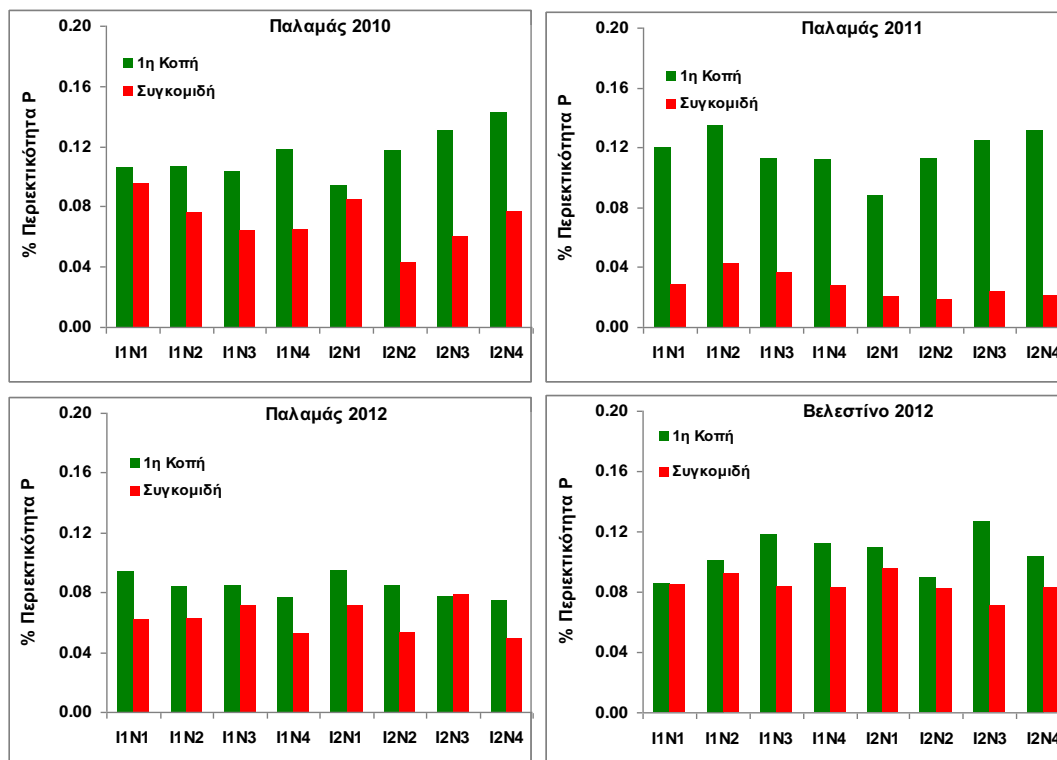
Στον Παλαμά (ύφυγρο έδαφος), το κλάσμα ανάκτησης (RF) ήτανε διπλάσιο (30%) για όλες τις περιπτώσεις. Λαμβάνοντας υπόψη και στην περίπτωση αυτή την αρκετά μεγάλη NUE της καλλιέργειας για παραγωγή στερεών καυσίμων (240 kg ανά kg N; βλ. Σχ. 3.3.2) και τις μέσες τιμές των κοινών λιπασμάτων N, σημειώνεται ότι μία μέτρια λίπανση του switchgrass που θα εγκατασταθεί σε ύφυγρο εδάφη (Παλαμάς) στην Ελλάδα και στη λεκάνη της Μεσογείου γενικότερα, μπορεί να επιτύχει υψηλές αποδόσεις και ίσως να κρίνεται σκόπιμη-υποχρεωτική.

Κεφάλαιο: Αποτελέσματα και Συζήτηση – Χρονική κατανομή της πρόσληψης του N, του P και του K από την καλλιέργεια του Switchgrass

Το ίδιο εύρος τιμών για το κλάσμα ανάκτησης έχει αναφερθεί και στη βιβλιογραφία (Bransby *et al.*, 1989; Sladden *et al.*, 1994) για την καλλιέργεια του switchgrass στην οποία εφαρμόστηκε αζωτούχος λίπανση σε εύρος από 7,5 έως 18 kg N/στρ. Μεγαλύτερες τιμές για το κλάσμα ανάκτησης (40-55 %) αναφέρονται από τον Stout και τους συνεργάτες του (1991), οι οποίοι σε δύο διαφορετικούς τύπους εδαφών χρησιμοποίησαν αζωτούχο λίπανση ίση με 0, 9, και 18 kg N/στρ.

3.3.4 Πρόσληψη και Απομάκρυνση Φωσφόρου

Στο Σχήμα 3.3.5 απεικονίζεται το % ποσοστό περιεκτικότητας του φωσφόρου (P) για 2 διαφορετικά στάδια ανάπτυξης του φυτού [1^η κοπή: τα φυτά βρίσκονταν σε ύψος 1 m και αριθμό φύλλων 4 (τέλη Ιουνίου), συγκομιδή (τέλη Σεπτεμβρίου)]. Είναι εμφανής η διαφορά της πρόσληψης από τα φυτά μεταξύ των σταδίων ανάπτυξης. Η % περιεκτικότητα του φυτικού ιστού σε P με το πέρασμα του χρόνου και με την εισαγωγή της καλλιέργειας στο στάδιο της ωρίμανσης μειώνεται, όπως ακριβώς συμβαίνει και με το N. Η μείωση αυτή σε σύγκριση με του N είναι πολύ μικρότερη και λιγότερο σταθερή. Σε όλες τις περιπτώσεις η % περιεκτικότητα ήταν μικρότερη του 0,14%. Πιο συγκεκριμένα το ποσοστό % της περιεκτικότητας κυμάνθηκε από 0,075 έως 0,135 % και από 0,018 έως 0,096 % για την «1^η κοπή: ζωοτροφή» και τη «συγκομιδή: στερεά καύσιμα», αντίστοιχα.



Σχήμα 3.3.5. Περιεκτικότητα % P στη ξηρή βιομάζα 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: ζωοτροφή, ■ Συγκομιδή: στερεά καύσιμα).

Κεφάλαιο: Αποτελέσματα και Συζήτηση – Χρονική κατανομή της πρόσληψης του N, του P και του K από την καλλιέργεια του Switchgrass

Όπως φαίνεται και στον Πίνακα 3.3.2, κατά το στάδιο ανάπτυξης της 1^{ης} Κοπής, η μεγαλύτερη % περιεκτικότητα σε P βρέθηκε στον ιστό των φύλλων ($\max_{\text{φύλλων}} = 0,189\%$, $\min_{\text{φύλλων}} = 0,112\%$). Το δε ποσοστό P του ιστού των βλαστών ήταν μικρότερο ($\max_{\text{βλαστών}} = 0,112\%$, $\min_{\text{βλαστών}} = 0,055\%$). Η περιεκτικότητα αυτή των φύλλων μειώθηκε κατά τη συγκομιδή, αλλά η μείωση αυτή ήταν μικρή. Για ακόμη μία φορά αξιοσημείωτη είναι η μείωση της % περιεκτικότητας P στον ιστό των βλαστών, με ποσοστό μείωσης περί το 42-69%. Ενώ κατά την 1^η κοπή η % περιεκτικότητα P κυμαινόταν από 0,055 έως 0,112%, κατά τη συγκομιδή το ποσοστό κυμαινόταν από 0,023 έως 0,078%. Στα ξηρά φύλλα, που η εμφάνιση τους αρχίζει από τα τέλη Ιουλίου το % ποσοστό περιεκτικότητας P κυμαίνεται από 0,02 έως 0,113%. Τέλος, στην ανθοταξία το ποσοστό αυτό είναι υψηλό και κυμαίνεται από 0,086 έως 0,202%.

Σε πολυετή πειράματα που διεξήχθησαν στην Αμερική, δεν υπήρξε καμία ανταπόκριση από την εφαρμογή P (Muir *et al.*, 2001), ενώ βρέθηκε ότι τα επίπεδα του φωσφόρου στο switchgrass μειώνονται με την ωριμότητα (Griffin *et al.*, 1983). Οι συγκεντρώσεις φωσφόρου στα επιμέρους μέρη των φυτών διαφέρουν, με την ταξιανθία να συσσωρεύει την υψηλότερη συγκέντρωση (Smith *et al.*, 1979), όπως ακριβώς και στην παρούσα έρευνα.

Κεφάλαιο: Αποτελέσματα και Συζήτηση – Χρονική κατανομή της πρόσληψης του N, του P και του K από την καλλιέργεια του Switchgrass

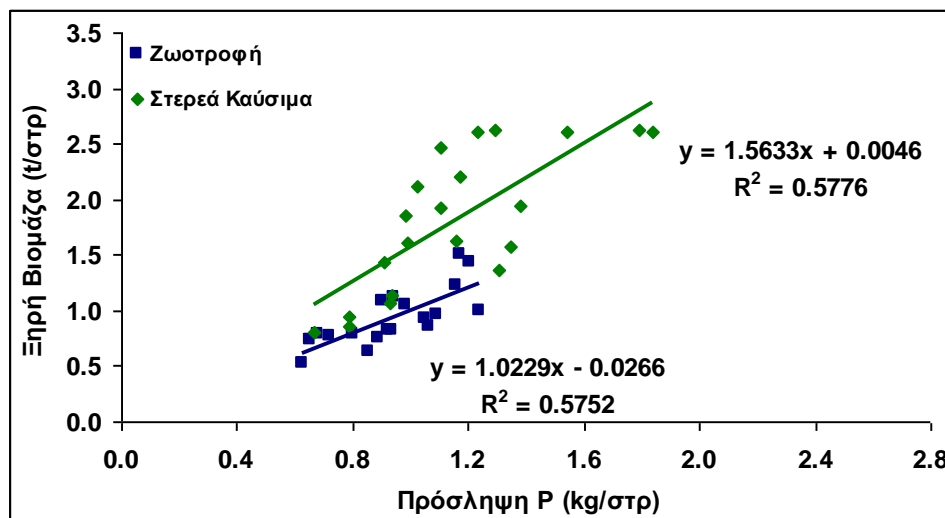
Πίνακας 3.3.2. Περιεκτικότητα % P στη ξηρή βιομάζα των οργάνων των φυτών του switchgrass για τα 2 επίπεδα άρδευσης (I1, I2) και τα 4 επίπεδα N-ούχου λιπάνσεως (N1, N2, N3, N4) σε δύο διαφορετικά στάδια ανάπτυξης (1^η Κοπή: ζωοτροφή, Συγκομιδή: στερεά καύσιμα), στις 2 περιοχές μελέτης (Παλαμάς, Βελεστίνο). [I₁: 0 mm, I₂: 250 mm, N₁:0, N₂:8, N₃:16 και N₄:24 kg N/στρ.).

	Παλαμάς			Βελεστίνο			Παλαμάς			Βελεστίνο		
	2012	2011	2010	2012	2012	2011	2010	2012	2012	2011	2010	2012
	ΦΥΛΛΑ						ΒΛΑΣΤΟΙ					
	1 ^η Κοπή											
Επίπεδα Άρδευσης												
Ξηρικό (I1: 0 mm)	0,13	0,15	0,14	0,15	0,07	0,10	0,09	0,08	0,13	0,15	0,14	0,15
Ποτιστικό (I2: 250 mm)	0,13	0,16	0,16	0,16	0,07	0,09	0,09	0,08	0,13	0,16	0,16	0,16
LSD _{0.05}	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns
Επίπεδα N-λίπανσης												
N1 = 0 kg/στρ.	0,14	0,13	0,13	0,15	0,08	0,09	0,08	0,08	0,14	0,13	0,13	0,15
N2 = 8 kg/στρ.	0,13	0,17	0,15	0,15	0,07	0,10	0,09	0,07	0,13	0,17	0,15	0,15
N3 = 16 kg/στρ.	0,12	0,15	0,15	0,18	0,07	0,10	0,09	0,09	0,12	0,15	0,15	0,18
N4 = 24 kg/στρ.	0,12	0,15	0,17	0,15	0,06	0,10	0,10	0,09	0,12	0,15	0,17	0,15
LSD _{0.05}	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns
CV %	5,8	11,1	9,5	16,9	7,1	19,5	11,6	9,9	5,8	11,1	9,5	16,9
	ΦΥΛΛΑ						ΒΛΑΣΤΟΙ					
Επίπεδα Άρδευσης												
Ξηρικό (I1: 0 mm)	0,13	0,12 b	0,11	0,17	0,03	0,03	0,04	0,07	0,13	0,12 b	0,11	0,17
Ποτιστικό (I2: 250 mm)	0,12	0,09 a	0,10	0,16	0,04	0,03	0,04	0,06	0,12	0,09 a	0,10	0,16
LSD _{0.05}	ns	0,028	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	0,028	ns	ns
Επίπεδα N-λίπανσης												
N1 = 0 kg/στρ.	0,13	0,10	0,12	0,17	0,05	0,03	0,06	0,07	0,13	0,10	0,12	0,17
N2 = 8 kg/στρ.	0,12	0,11	0,08	0,16	0,03	0,03	0,04	0,07	0,12	0,11	0,08	0,16
N3 = 16 kg/στρ.	0,16	0,11	0,10	0,15	0,04	0,03	0,04	0,06	0,16	0,11	0,10	0,15
N4 = 24 kg/στρ.	0,10	0,09	0,12	0,17	0,03	0,03	0,05	0,06	0,10	0,09	0,12	0,17
LSD _{0.05}	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns
CV %	22,4	12,0	16,3	10,4	17,4	15,5	18,2	13,6	22,4	12,0	16,3	10,4
	ΚΑΦΕ ΦΥΛΛΑ						ΑΝΘΟΤΑΞΙΑ					
Επίπεδα Άρδευσης												
Ξηρικό (I1: 0 mm)	0,03	0,05	0,05	0,10	0,19	0,17	0,15	-	0,03	0,05	0,05	0,10
Ποτιστικό (I2: 250 mm)	0,05	0,05	0,04	0,10	0,16	0,12	0,13	0,16	0,05	0,05	0,04	0,10
LSD _{0.05}	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	-	ns	ns	ns	ns
Επίπεδα N-λίπανσης												
N1 = 0 kg/στρ.	0,03	0,05	0,05	0,10	0,19	0,13	0,16	0,09	0,03	0,05	0,05	0,10
N2 = 8 kg/στρ.	0,03	0,06	0,03	0,10	0,17	0,15	0,12	0,08	0,03	0,06	0,03	0,10
N3 = 16 kg/στρ.	0,05	0,04	0,04	0,09	0,20	0,16	0,13	0,08	0,05	0,04	0,04	0,09
N4 = 24 kg/στρ.	0,05	0,04	0,04	0,10	0,14	0,12	0,15	0,08	0,05	0,04	0,04	0,10
LSD _{0.05}	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns
CV %	38,1	9,8	16,3	12,5	19,8	20,1	26,2	7,9	38,1	9,8	16,3	12,5

* Duncan criterion: a, b

Κεφάλαιο: Αποτελέσματα και Συζήτηση – Χρονική κατανομή της πρόσληψης του N, του P και του K από την καλλιέργεια του Switchgrass

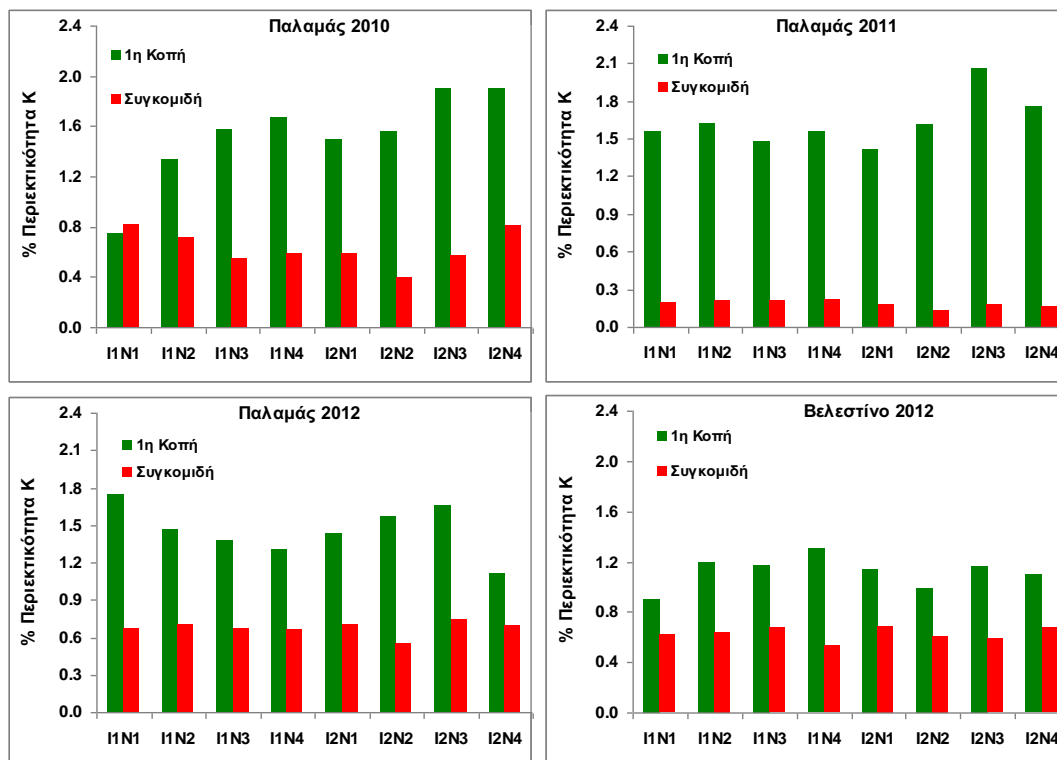
Η γραμμική συσχέτιση μεταξύ της πρόσληψης φωσφόρου και της τελικής απόδοσης σε βιομάζα της καλλιέργειας του switchgrass, λόγω της υψηλής παραλλακτικότητας, δεν είναι στατιστικώς σημαντική, τουλάχιστον στο μεγαλύτερο εύρος τιμών της πρόσληψης του φωσφόρου. Η κλίση της καμπύλης αντιπροσωπεύει την αποδοτικότητα πρόσληψης του φωσφόρου από το φυτό, η οποία στην περίπτωσή μας εκφράζεται με παραγωγή 990 kg ανά kg προσλαμβανομένου P για το στάδιο ανάπτυξης της 1^{ης} κοπής για παραγωγή ζωοτροφής ($R^2 = 57,5\%$), και 1.550 kg βιομάζας ανά kg προσλαμβανομένου P στο στάδιο της συγκομιδής για παραγωγή στερεών καυσίμων ($R^2 = 58 \%$) και στις 2 περιοχές μελέτης (Σχ. 3.3.6).



Σχήμα 3.3.6. Συνολική πρόσληψη φωσφόρου (P-uptake, kg/στρ.) και τελική απόδοση σε ξηρή βιομάζα (t/στρ.) για τα 2 επίπεδα άρδευσης (I1, I2) και τα 3 επίπεδα αζωτούχου λίπανσης (N1, N2, N3) για τις 2 περιοχές σε 2 διαφορετικές χρονικές στιγμές ανάπτυξης (■ 1^η Κοπή: ζωοτροφή, και ♦ συγκομιδή: στερεά καύσιμα), τα έτη 2011 και 2012.

3.3.5 Πρόσληψη και Απομάκρυνση Καλίου

Στο Σχήμα 3.3.7 απεικονίζεται το % ποσοστό περιεκτικότητας του καλίου (K) για 2 διαφορετικά στάδια ανάπτυξης του φυτού [1^η κοπή: τα φυτά βρισκόντουσαν σε ύψος 1 m και αριθμό φύλλων 4 (τέλη Ιουνίου) για παραγωγή ζωοτροφής, συγκομιδή (τέλη Σεπτεμβρίου) για παραγωγή στερεών καυσίμων]. Η διαφορά μεταξύ των σταδίων ανάπτυξης είναι εμφανής. Η % περιεκτικότητα του φυτικού ιστού σε K με το πέρασμα του χρόνου και με την εισαγωγή της καλλιέργειας στο στάδιο της ωρίμανσης μειώνεται, όπως ακριβώς συμβαίνει και στην περίπτωση του N. Σε όλες τις περιπτώσεις η % περιεκτικότητα K ήταν μικρότερη του 2,5%. Πιο συγκεκριμένα, το ποσοστό % της περιεκτικότητας κυμάνθηκε από 0,656 έως 2,251 % και από 0,117 έως 1,123 % για την «1^η κοπή: ζωοτροφή» και τη «συγκομιδή: στερεά καύσιμα», αντίστοιχα.

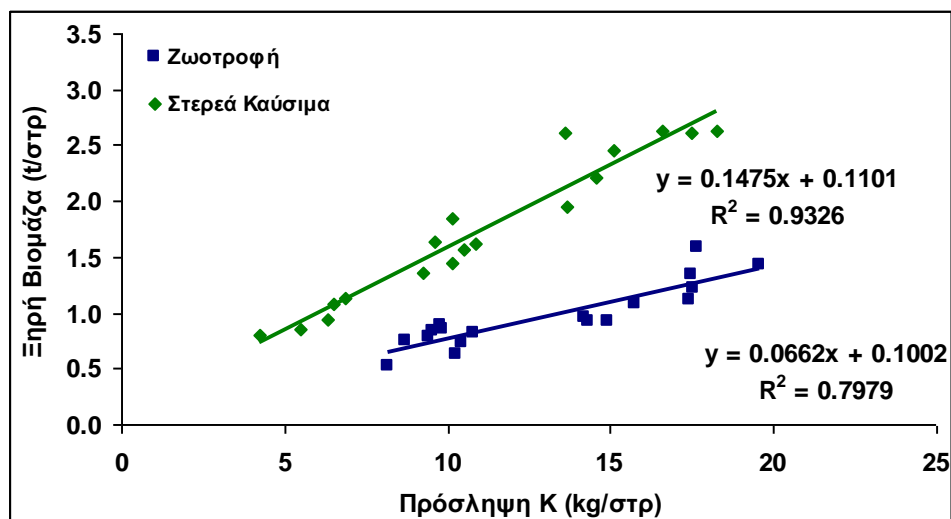


Σχήμα 3.3.7. Περιεκτικότητα % K στη ξηρή βιομάζα του switchgrass για τα 2 επίπεδα άρδευσης (I1, I2) και τα 4 επίπεδα N-όχου λιπάνσεως (N1, N2, N3, N4) σε δύο διαφορετικά στάδια ανάπτυξης (■ 1^η Κοπή: ζωοτροφή, ■ Συγκομιδή: στερεά καύσιμα).

Κεφάλαιο: Αποτελέσματα και Συζήτηση – Χρονική κατανομή της πρόσληψης του N, του P και του K από την καλλιέργεια του Switchgrass

Όπως φαίνεται στον Πίνακα 3.3.3 κατά το στάδιο ανάπτυξης της 1^{ης} κοπής, η % περιεκτικότητα σε K στον ιστό των φύλλων κυμάνθηκε από 0,806-1,87%, ενώ το ποσοστό K του ιστού των βλαστών κυμάνθηκε από 0,656-2,251%. Η περιεκτικότητα αυτή των φύλλων υπέστη μείωση κατά τη συγκομιδή σε επίπεδα που κυμάνθηκαν από 37,5-53,5%. Αξιοσημείωτη είναι η μείωση της % περιεκτικότητας K στον ιστό των βλαστών, η οποία και είναι ίση με το ποσοστό μείωσης της περιεκτικότητας του ιστού των φύλλων (37,8-53,2%). Στα ξερά φύλλα το % ποσοστό περιεκτικότητας K κυμαίνεται από 0,117 έως 0,606%. Τέλος, στην ανθοταξία η περιοδικότητα καλίου κυμαίνεται από 0,565 έως 1,123%.

Η γραμμική συσχέτιση μεταξύ της πρόσληψης καλίου και της τελικής απόδοσης σε βιομάζα του switchgrass, παρά την υπάρχουσα παραλλακτικότητα, είναι στατιστικώς σημαντική, τουλάχιστον στο μεγαλύτερο εύρος τιμών της πρόσληψης του καλίου. Η κλίση της καμπύλης αντιπροσωπεύει την αποδοτικότητα πρόσληψης του καλίου από το φυτό, η οποία στην περίπτωση μας εκφράζεται με παραγωγή 72 kg ανά 1 kg προσλαμβανομένου K για το στάδιο ανάπτυξης της 1^{ης} κοπής για παραγωγή ζωοτροφής ($R^2 = 79,8\%$), και 160 kg βιομάζας ανά 1 kg προσλαμβανομένου K στο στάδιο της συγκομιδής για παραγωγή στερεών καυσίμων ($R^2 = 93,26\%$) και για τις 2 περιοχές μελέτης (Σχ. 3.3.8).



Σχήμα 3.3.8. Συνολική πρόσληψη καλίου (K-uptake, kg/στρ.) και τελική απόδοση σε ξηρή βιομάζα (t/στρ.) για τα 2 επίπεδα άρδευσης (I1, I2) και τα 3 επίπεδα αζωτούχου λίπανσης (N1, N2, N3) για τις 2 περιοχές σε 2 διαφορετικές χρονικές στιγμές ανάπτυξης (■ 1^η Κοπή: ζωοτροφή, και ♦ συγκομιδή: στερεά καύσιμα), τα έτη 2011 και 2012.

Κεφάλαιο: Αποτελέσματα και Συζήτηση – Χρονική κατανομή της πρόσληψης του N, του P και του K από την καλλιέργεια του Switchgrass

Πίνακας 3.3.3. Περιεκτικότητα % K στη ξηρή βιομάζα των οργάνων των φυτών του switchgrass για τα 2 επίπεδα άρδευσης (I1, I2) και τα 4 επίπεδα N-ούχου λιπάσεως (N1, N2, N3, N4) σε δύο διαφορετικά στάδια ανάπτυξης (1^η Κοπή, Συγκομιδή), στις 2 περιοχές μελέτης (Παλαμάς, Βελεστίνο). [I₁: 0 mm, I₂: 250 mm, N₁:0, N₂:8, N₃:16 και N₄:24 kg N/στρ.).

	Παλαμάς			Βελεστίνο		Παλαμάς			Βελεστίνο
	2012	2011	2010	2012	2012	2011	2010	2012	
	ΦΥΛΛΑ			1 ^η Κοπή		ΒΛΑΣΤΟΙ			
Επίπεδα Άρδευσης									
Ξηρικό (I1: 0 mm)	1,15	1,14	1,12	1,21	1,59	1,83	1,46	1,11	
Ποτιστικό (I2: 250 mm)	1,19	1,39	1,35	1,31	1,55	1,88	1,96	1,00	
LSD _{0.05}	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	
Επίπεδα N-λίπανσης									
N1 = 0 kg/στρ.	1,39	1,06	0,97	1,12	1,67	1,77	1,20	0,97	
N2 = 8 kg/στρ.	1,55	1,30	1,13	1,30	1,50	1,80	1,65	0,99	
N3 = 16 kg/στρ.	0,87	1,45	1,37	1,35	1,78	1,94	1,99	1,07	
N4 = 24 kg/στρ.	0,87	1,24	1,47	1,29	1,33	1,92	1,99	1,16	
LSD _{0.05}	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	
CV %	31,8	17,6	16,1	17,0	12,4	15,3	17,0	11,6	
Συγκομιδή									
	ΦΥΛΛΑ			ΒΛΑΣΤΟΙ					
Επίπεδα Άρδευσης									
Ξηρικό (I1: 0 mm)	0,52	0,73 b	0,63	0,89 b	0,75	0,71 b	0,64	0,61	
Ποτιστικό (I2: 250 mm)	0,60	0,65 a	0,48	0,60 a	0,72	0,57 a	0,59	0,68	
LSD _{0.05}	ns	0,022	ns	0,223	ns	0,105	ns	ns	
Επίπεδα N-λίπανσης									
N1 = 0 kg/στρ.	0,61	0,71	0,60	0,73	0,77	0,69	0,72	0,68	
N2 = 8 kg/στρ.	0,58	0,63	0,51	0,76	0,68	0,55	0,49	0,63	
N3 = 16 kg/στρ.	0,59	0,74	0,47	0,77	0,76	0,65	0,55	0,65	
N4 = 24 kg/στρ.	0,45	0,67	0,64	0,72	0,74	0,66	0,71	0,61	
LSD _{0.05}	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	
CV %	28,4	17,6	36,9	13,3	8,2	7,3	29,4	12,4	
ΚΑΦΕ ΦΥΛΛΑ					ΑΝΘΟΤΑΞΙΑ				
Επίπεδα Άρδευσης									
Ξηρικό (I1: 0 mm)	0,19	0,47	0,44	0,30	0,77	0,88	0,97	-	
Ποτιστικό (I2: 250 mm)	0,24	0,47	0,31	0,34	0,79	0,73	0,96	0,36	
LSD _{0.05}	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	-	
Επίπεδα N-λίπανσης									
N1 = 0 kg/στρ.	0,14	0,51	0,35	0,32	0,80	0,85	0,96	0,32	
N2 = 8 kg/στρ.	0,15	0,36	0,37	0,33	0,74	0,78	0,87	0,43	
N3 = 16 kg/στρ.	0,29	0,54	0,35	0,30	0,79	0,79	1,04	0,28	
N4 = 24 kg/στρ.	0,28	0,48	0,44	0,32	0,80	0,79	0,98	0,40	
LSD _{0.05}	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	
CV %	31,2	23,0	26,4	2,4	18,5	5,7	13,3	26,9	

* Duncan criterion: a, b

3.4 Χημικές ιδιότητες των εδαφών

Τα αποτελέσματα των χημικών εδαφικών ιδιοτήτων αποδεικνύουν τη μεταβολή των τιμών τους για 2 στρώματα εδάφους (0-10 και 10-40 cm) μετά το πέρας των πειραμάτων, σε σύγκριση με τις αρχικές συνθήκες των πειραματικών αγρών, για τις 2 περιοχές. Κρίνεται σκόπιμο να αναφερθεί ότι, πριν την καλλιέργεια του switchgrass στον πειραματικό αγρό του Βελεστίνου, ήταν εγκατεστημένη (τα προηγούμενα 4 έτη) καλλιέργεια ανθεμίδας, ενώ στον πειραματικό αγρό του Παλαμά, ήταν καλλιέργεια βαμβακιού. Επιπλέον έχει βρεθεί ότι, η εφαρμογή ανόργανου N μπορεί να επηρεάσει τις δομικές ιδιότητες του εδάφους μέσω των αλλαγών στην ανάπτυξη των ριζών, τη μικροβιακή κοινότητα, τη σύνθεση και τη δραστηριότητα, τη συγκέντρωση οργανικού C, αλλά και τις χημικές ιδιότητες του εδάφους (Haynes & Naidu, 1998).

Πίνακας 3.4.1. Αποτελέσματα μέσω των όρων των παραμέτρων του ολικού N (%), του οργ. C (%), της οργ. ουσίας (O.Y., %), του P (mg/kg) και του K⁺ (mg/kg), πριν την εγκατάσταση της καλλιέργειας του switchgrass και των τελικών συνθηκών (μετά το πέρας των πειραμάτων; 3-έτη) για τα 2επίπεδα άρδευσης (I1, I2) και τα 4 επίπεδα N-ούχου λιπάνσεως (N1, N2, N3, N4), για την περιοχή του Βελεστίνου.

	Ολικό N %	Οργ. C %	Οργ. Ουσία %	P Olsen mg/Kg	K ⁺ mg/Kg	Ολικό N %	Οργ. C %	Οργ. Ουσία %	P Olsen mg/Kg	K ⁺ mg/Kg
ΒΕΛΕΣΤΙΝΟ										
	0-10cm					10-40cm				
Αρχικά	1,74	1,11	2,70	8	254	1,46	0,96	2.30	4	178
ΠN1	1,40	1,05	3,10	7	226	1,26	1,00	2.60	3	147
ΠN2	1,37	1,20	2,70	6	210	1,04	0,95	2.50	2	115
ΠN3	1,25	1,20	2,50	6	180	1,20	1,10	2.40	5	169
ΠN4	1,32	1,20	2,40	5	180	1,15	0,95	2.50	4	134
I2N1	1,46	1,10	2,90	5	228	1,09	1,00	2.00	3	116
I2N2	1,48	1,20	2,70	6	270	1,23	1,00	2.20	3	149
I2N3	1,39	1,10	2,70	4	184	1,06	0,90	2.25	2	120
I2N4	1,34	1,10	2,60	4	214	1,26	1,00	2.40	4	130

Κεφάλαιο: Αποτελέσματα και Συζήτηση – Χημικές ιδιότητες των εδαφών

Πίνακας 3.4.2. Αποτελέσματα μέσω των όρων των παραμέτρων του ολικού N (%), του οργ. C (%), της οργ. ουσίας (O.Y., %), του P (mg/kg) και του K⁺ (mg/kg), πριν την εγκατάσταση της καλλιέργειας του switchgrass και των τελικών συνθηκών (μετά το πέρας των πειραμάτων; 4-έτη) για τα 2 επίπεδα άρδευσης (I1, I2) και τα 4 επίπεδα N-όχου λιπάνσεως (N1, N2, N3, N4), για την περιοχή του Παλαμά.

	Ολικό N	Οργ. C	Οργ. Ουσία	P Olsen	K ⁺ mg/Kg	Ολικό N	Οργ. C	Οργ. Ουσία	P Olsen	K ⁺ mg/Kg
	%	%	%	mg/Kg	mg/Kg	%	%	%	mg/Kg	mg/Kg
	ΠΑΛΑΜΑΣ									
	0-10cm					10-40cm				
Αρχικά	0,70	0,40	0,90	10	191	0,50	0,40	0,90	11	190
ΠN1	0,50	0,45	1,00	3	72	0,50	0,35	0,70	3	34
ΠN2	0,64	0,60	1,40	3	88	0,59	0,40	0,80	3	43
ΠN3	0,87	0,56	1,50	5	132	0,63	0,40	0,90	6	72
ΠN4	0,64	0,44	0,95	3	81	0,55	0,39	0,85	3	42
I2N1	0,59	0,63	1,90	3	71	0,42	0,40	0,90	2	43
I2N2	0,59	0,45	1,00	2	45	0,87	0,45	1,60	5	132
I2N3	0,88	0,62	1,63	5	153	0,76	0,50	1,45	6	79
I2N4	0,66	0,45	1,00	3	83	0,67	0,40	1,00	3	45

3.4.1 Ολικό άζωτο και οργανικός C

Από τους Πίνακες 3.4.1, 3.4.2 και 3.4.3 φαίνεται σε προφίλ εδάφους 0-10 cm στην περίπτωση του Βελεστίνου το γόνιμο πλούσιο σε N έδαφος έχασε 30-43 kg/στρ. λόγω οξείδωσης ακόμη και στα λιπασμένα τεμάχια. Στον Παλαμά, όπου το έδαφος μπορεί να χαρακτηριστεί μέσης γονιμότητας προς άγονο η μείωση ήταν μικρότερη και κυμάνθηκε από 6-18 kg/στρ. με τη μεγαλύτερη μείωση για τις μεταχειρίσεις χωρίς λίπανση.

Κεφάλαιο: Αποτελέσματα και Συζήτηση – Χημικές ιδιότητες των εδαφών

Πίνακας 3.4.3. Ολικό άζωτο N (%) του εδάφους (μετά το πέρας των πειραμάτων;) για 2 επίπεδα άρδευσης και 4 επίπεδα N-ούχου λίπανσης στους πειραματικούς αγρούς Παλαμά και Βελεστίνου σε 2 στρώματα (0-10 και 10-40 cm). [I₁: 0 mm, I₂: 250 mm, N₁:0, N₂:8, N₃:16 και N₄:24 kg N/στρ.).

%	Ολικό Άζωτο (N)			
	0-10 cm		10-40 cm	
	Παλαμάς	Βελεστίνo	Παλαμάς	Βελεστίνo
	2012	2012	2012	2012
Επίπεδα Άρδευσης				
Ξηρικό (I ₁ : 0 mm)	0,64	1,309 a	0,56	1,16
Ποτιστικό (I ₂ : 250 mm)	0,65	1,393 b	0,65	1,16
LSD _{0.05}	ns	0,081	ns	ns
Επίπεδα N-λίπανσης				
N1 = 0 kg/στρ.	0,55 a	1,43	0,46	1,18
N2 = 8 kg/στρ.	0,62 b	1,43	0,73	1,13
N3 = 16 kg/στρ.	0,87 c	1,32	0,69	1,13
N4 = 24 kg/στρ.	0,65 b	1,33	0,65	1,20
LSD _{0.05}	0,04	ns	ns	ns
CV %	6,2	2,7	18,4	11,0

* Duncan criterion: a, b, c

Σε προφίλ εδάφους 10-40 cm στην περίπτωση του Παλαμά οι λιπασμένες μεταχειρίσεις αύξησαν την περιεκτικότητα σε N κατά 67-105 kg/στρ. λόγω του εμπλουτισμού με οργανική ουσία στο ριζόστρωμα. Στο Βελεστίνo το γόνιμο πλούσιο σε N υποεπιφανειακό στρώμα εδάφους εμπλουτίστηκε με 40-70 kg N /στρ. και πάλι λόγω του εμπλουτισμού με οργανική ουσία στο ριζόστρωμα αλλά η αύξηση ήταν μικρότερη έναντι του Παλαμά λόγω του λιγότερου ανεπτυγμένου ριζοστρώματος αλλά και της μεγάλης αρχικής περιεκτικότητας σε N.

Συνολικά δηλαδή για το προφίλ του εδάφους 0-40 cm το έδαφος στον Παλαμά εμπλουτίστηκε σε N για τις λιπασμένες μεταχειρίσεις με 60-105 kg/στρ. ενώ στο Βελεστίνo σημειώθηκε εμπλουτισμός μικρότερων επιπέδων 10-33 kg/στρ.

Η μεγαλύτερη αύξηση του ολικού N στον Παλαμά πιθανόν οφείλεται στο γεγονός ότι η καλλιέργεια του switchgrass στην περιοχή βρίσκεται στην πλήρη ανάπτυξή της (4^ο έτος μετά την εγκατάσταση) και επομένως έχει δημιουργήσει ένα πλήρες, πλούσιο και βαθύ ριζικό σύστημα, στο οποίο κατά τη διάρκεια του χειμώνα επιστρέφουν τα θρεπτικά στοιχεία από την υπέργεια βιομάζα. Μέσω της αποσύνθεσης, κάποιων εκ των ριζικών τριχιδίων του πλούσιου ριζικού συστήματος της καλλιέργειας, πιθανόν επιφέρεται η αύξηση των εδαφικών θρεπτικών στοιχείων. Στο κεφάλαιο 3.2.5 έχει αναφερθεί ότι, η

υπόγεια βιομάζα είναι ίση ή και μεγαλύτερη της υπέργειας και οι Monti και Zatta (2009) σε έρευνα για την πυκνότητα του ριζικού συστήματος και τη διάμετρο των ριζών στην καλλιέργεια του switchgrass μέχρι βάθος 1,2 m, αναφέρουν ότι στο στρώμα των 15-45 cm το ριζικό σύστημα είναι μεγαλύτερο και πυκνότερο, ενώ το επόμενο πυκνό στρώμα είναι των 75-105 cm. Επομένως, είναι λογικό να έχουμε μικρή αύξηση σε προφίλ εδάφους με τη μεγαλύτερη βιομάζα του ριζικού συστήματος.

Πίνακας 3.4.4. Οργανικός άνθρακας C (%) του εδάφους (μετά το πέρας των πειραμάτων) για 2 επίπεδα άρδευσης και 4 επίπεδα N-ούχου λίπανσης στους πειραματικούς αγρούς Παλαμά και Βελεστίνο σε 2 στρώματα (0-10 και 10-40 cm). [I₁: 0 mm, I₂: 250 mm, N₁:0, N₂:8, N₃:16 και N₄:24 kg N/στρ.).

%	Οργανικός άνθρακας (C)			
	0-10 cm		10-40 cm	
	Παλαμάς	Βελεστίνο	Παλαμάς	Βελεστίνο
	2012	2012	2012	2012
Επίπεδα Άρδευσης				
Ξηρικό (I ₁ : 0 mm)	0,51	1,16	0,39	1,00
Ποτιστικό (I ₂ : 250 mm)	0,54	1,13	0,44	0,95
LSD _{0.05}	ns	ns	ns	ns
Επίπεδα N-λίπανσης				
N ₁ = 0 kg/στρ.	0,54	1,08	0,38	1,00
N ₂ = 8 kg/στρ.	0,53	1,20	0,43	0,98
N ₃ = 16 kg/στρ.	0,59	1,15	0,45	1,00
N ₄ = 24 kg/στρ.	0,45	1,15	0,40	0,98
LSD _{0.05}	ns	ns	ns	ns
CV %	28,8	6,0	26,8	12,2

Το ενδιαφέρον για την τύχη της οργανικής ουσίας (O.Y.) υπό την καλλιέργεια του switchgrass οδήγησε σε μελέτες των μικροβιακών δυναμικών μέσα σε εδάφη και τη διαμόρφωση μοντέλων για την προβολή των αλλαγών στον εδαφικό άνθρακα πάνω από δεκαετή χρονικά διαστήματα. Σε τρία αγροτεμάχια στο Τέξας, τα εδάφη υπό την καλλιέργεια του switchgrass αύξησαν τον οργανικό άνθρακα σε 120-160 kg C/στρ./έτος σε προφίλ εδάφους 30 cm, για καλλιέργεια που βρισκόταν στο 6^ο έτος ανάπτυξης, θέτοντας την καλλιέργεια ως την καλλιέργεια με τις υψηλότερες αυξήσεις σε C σε σύγκριση με καλλιέργειας άλλων συστημάτων που εξετάστηκαν (Hons, 2003).

Στο Βελεστίνο και σε προφίλ εδάφους 0-10 cm το έδαφος σε όλες τις λιπασμένες μεταχειρίσεις αύξησε τον οργανικό άνθρακα (C) κατά 48-108 kg/στρ.. Στον Παλαμά, η αύξηση αυτή ήταν μεγαλύτερη και κυμάνθηκε από 54-150 kg/στρ.. Στο επόμενο προφίλ

Κεφάλαιο: Αποτελέσματα και Συζήτηση – Χημικές ιδιότητες των εδαφών

10-40 cm στην περίπτωση του Παλαμά οι λιπασμένες μεταχειρίσεις αύξησαν την περιεκτικότητα σε C κατά 225-270 kg/στρ. λόγω του εμπλουτισμού με οργανική ουσία στο ριζόστρωμα, ενώ στο Βελεστίνο το έδαφος εμπλουτίστηκε με 68-180 kg C /στρ. και πάλι λόγω του εμπλουτισμού με οργανική ουσία στο ριζόστρωμα αλλά εμπλουτισμός ήταν μικρότερος έναντι του Παλαμά λόγω του λιγότερου ανεπτυγμένου ριζοστρώματος.

Επομένως για προφίλ εδάφους 0-40 cm το έδαφος στον Παλαμά εμπλουτίστηκε σε C για τις λιπασμένες μεταχειρίσεις με 54-453 kg/στρ. ενώ στο Βελεστίνο ο εμπλουτισμός ήταν μικρότερων επιπέδων 115-228 kg/στρ..

Η μεγαλύτερη αύξηση που παρατηρήθηκε για το έδαφος του Παλαμά οφείλεται στο γεγονός ότι, η καλλιέργεια του switchgrass ολοκλήρωσε το 4^ο έτος ανάπτυξης ενώ στο Βελεστίνο βρισκόταν στο 3^ο. Επιπλέον πρέπει να αναφερθεί ότι, το έδαφος του Παλαμά είναι αργιλοπηλώδες ενώ του Βελεστίνου είναι αμμοπηλώδες και η αρχική συγκέντρωση του οργανικού C στο έδαφος του Βελεστίνου ήταν μεγαλύτερη από διπλάσια έναντι της συγκέντρωσης στο έδαφος του Παλαμά, γεγονός που οφείλεται στις καλλιέργειες προηγούμενων ετών.

Σε μελέτη (Ma *et al.*, 2000) αναφέρεται ότι, παρατηρήθηκε η τάση της βελτίωσης του εδάφους με την καλλιέργεια του switchgrass, πειράματα όμως μεγαλύτερης χρονικής περιόδου απαιτούνται για την διευκρίνιση οποιαδήποτε σημαντικών οφελών στην ποιότητα του εδάφους. Οι αλλαγές του εδάφους σε οργανικό C, λαμβάνουν χώρα για μεγαλύτερο χρονικό διάστημα έναντι των 2 ετών (στην παρούσα έρευνα ήταν μόλις στο 2^ο έτος), σε σύγκριση με την ορυκτοποίηση του C, την μικροβιακή βιομάζα του C και του κύκλου του C. Οι σχέσεις μεταξύ των χαρακτηριστικών του C του εδάφους, του βάρους των ριζών του switchgrass και της επιστροφής του C και του N στο έδαφος δείχνουν ότι η ορυκτοποίηση του C εξαρτάται περισσότερο από τα χαρακτηριστικά του ριζικού συστήματος του switchgrass (βάρος, δέσμευση N και C από το ριζικό σύστημα) σε αμμοπηλώδες έδαφος σε σχέση με αργιλοπηλώδες.

Ο Jung και οι συνεργάτες του (2011) αναφέρουν ότι η υψηλότερη εφαρμογή N μείωσε σημαντικά τη βιομάζα του ριζικού συστήματος του switchgrass σε βάθος εδάφους 0-5 cm την περίοδο της άνοιξης. Επιπλέον, αναφέρεται ότι παρατηρήθηκαν μεγαλύτερες συγκεντρώσεις εδαφικού οργανικού C στα 10 cm της επιφάνειας με την αύξηση των

Κεφάλαιο: Αποτελέσματα και Συζήτηση – Χημικές ιδιότητες των εδαφών

ποσοστών της N-ούχου λιπάνσεως, όπως ακριβώς συμβαίνει και στην παρούσα έρευνα, και ότι η N εφαρμογή επηρεάζει τη συγκέντρωση του εδαφικού οργανικού C. Σε εφαρμογή N-ούχου λίπανσης 6,7 kg N/στρ. η συγκέντρωση του εδαφικού οργανικού C αυξήθηκε σε σύγκριση με καλλιέργεια switchgrass στην οποία δεν εφαρμόστηκε N-ούχος λίπανση.

Σε μελέτες που έγιναν για τον προσδιορισμό της περιεκτικότητας του εδάφους σε οργανικό άνθρακα, βρέθηκε ότι η περιεκτικότητα του εδάφους με καλλιέργεια switchgrass περιείχε μεγαλύτερη ποσότητα οργανικού άνθρακα (Jung *et al.*, 2011; Liebig *et al.*, 2005; Frank *et al.*, 2004; Ma *et al.*, 2000) σε σχέση με παραδοσιακές καλλιέργειες και ότι ο οργανικός άνθρακας του εδάφους αυξάνεται γρήγορα όταν γίνεται αντικατάσταση μιας ετήσιας καλλιέργειας με την πολυετή καλλιέργεια του switchgrass (Mitchell *et al.*, 2012; Schmer *et al.*, 2011).

Βρέθηκε ότι, η συνολική υπόγεια βιομάζα σε βάθος 90 cm, αυξήθηκε σημαντικά από Απρίλιο έως Οκτώβριο αλλά και ότι οι νεκρές ρίζες αυξήθηκαν επίσης σημαντικά στο ίδιο διάστημα. Οι νεκρές ρίζες αποτελούσαν σταθερά ένα ποσοστό <10% της συνολικής υπόγειας βιομάζας για βάθη 0-30, 0-60, 0-90 cm (Garten *et al.*, 2010). Τα αποθέματα C στις ρίζες παρουσίασαν το ίδιο εποχικό πρότυπο όπως και η υπόγεια βιομάζα (δηλ., σημαντική αλλαγή από τον Ιούλιο έως τον Οκτώβριο). Τόσο η υπόγεια βιομάζα, όσο και τα αποθέματα C μειώθηκαν απότομα με το βάθος του εδάφους. Η αύξηση της υπόγειας βιομάζας και τα αποθέματα C κατά τη διάρκεια της καλλιεργητικής περιόδου αποδόθηκαν κυρίως σε στατιστικώς σημαντικές αλλαγές από τον Απρίλιο έως τον Οκτώβριο στις προσαυξήσεις των στρωμάτων 0-5 και 15-30cm (Garten *et al.*, 2010).

Τέλος, λόγω του εκτεταμένου ριζικού συστήματος, το switchgrass προστατεύει το έδαφος από τη διάβρωση και απομονώνει τον άνθρακα (C) στο έδαφος (Jung *et al.*, 2011; Liebig *et al.*, 2005; Frank *et al.*, 2004; Ma *et al.*, 2000). Το ποσό του απορροφημένου C εξαρτάται από το κλίμα, τον τύπο του εδάφους, την αρχική περιεκτικότητα του εδάφους σε C, το χρόνο, και το βάθος τοποθέτησης του C (Ma *et al.*, 2000; Conant *et al.*, 2001). Τα δε επίπεδα του άνθρακα σε χαμηλών εισροών αγρούς με switchgrass έχει αποδειχθεί ότι αυξάνουν με την πάροδο του χρόνου σε όλο το βάθος (Ma *et al.*, 2000; Liebig *et al.*, 2005).

3.4.2 Οργανική ουσία

Η κατανομή των πόρων του εδάφους για την παραγωγή ριζών αποτελεί το κλειδί για πολλές από τις επιθυμητές ιδιότητες του switchgrass. Αυτές περιλαμβάνουν την αυξημένη ικανότητα χρήσης νερού και θρεπτικών από βαθύτερα στρώματα, τον αυξημένο εμπλουτισμό του εδάφους που σχετίζεται με τις υψηλές εισροές άνθρακα στο έδαφος, την αυξημένη δραστηριότητα των μικροβιακών κοινοτήτων και την αύξηση της ικανότητας αποθήκευσης και κινητοποίησης της ενέργειας και των θρεπτικών που απαιτούνται για επαναβλάστηση μετά από κοπή.

Πίνακας 3.4.5. Οργανική ουσία (Ο.Υ.) (%) του εδάφους (μετά το πέρας των πειραμάτων) για 2 επίπεδα άρδευσης και 4 επίπεδα N-ούχου λίπανσης στους πειραματικούς αγρούς Παλαμά και Βελεστίνου σε 2 στρώματα (0-10 και 10-40 cm). [I₁: 0 mm, I₂: 250 mm, N₁:0, N₂:8, N₃:16 και N₄:24 kg N/στρ.).

%	Οργανική Ουσία (Ο.Υ.)			
	0-10 cm		10-40 cm	
	Παλαμάς	Βελεστίνo	Παλαμάς	Βελεστίνo
	2012	2012	2012	2012
Επίπεδα Άρδευσης				
Ξηρικό (I1: 0 mm)	1,29	2,73	0,81	2,37
Ποτιστικό (I2: 250 mm)	1,43	2,60	1,35	2,07
LSD _{0.05}	ns	ns	ns	ns
Επίπεδα N-λίπανσης				
N1 = 0 kg/στρ.	1,45	3,00 b	0,80	2,30
N2 = 8 kg/στρ.	1,20	2,70 ab	1,20	2,10
N3 = 16 kg/στρ.	1,57	2,50 a	1,18	2,05
N4 = 24 kg/στρ.	0,98	2,35 a	0,93	2,45
LSD _{0.05}	ns	0.426	ns	ns
CV %	28,3	5,0	33,1	13,5

*Duncan criterion: a, b

Τα αποτελέσματα της περιεκτικότητας σε οργανική ουσία για ακόμη μία φορά φανερώνουν σαφή αύξησή της τόσο για το έδαφος του Παλαμά, όσο και για το έδαφος του Βελεστίνου (Πίν. 3.4.5). Οι τιμές της οργανικής ουσίας πριν την εγκατάσταση ήταν 2,70% (βάθος 0-10 cm) και 2,30% (βάθος 10-40 cm), για το Βελεστίνo και 0,90% (βάθος 0-10 cm) και 0.90% (βάθος 10-40 cm), για τον Παλαμά. Οι υψηλές τιμές της οργανικής ουσίας για την περιοχή του Βελεστίνου, οφείλονται όπως προαναφέρθηκε στην ύπαρξη τετραετούς εγκατάστασης καλλιέργειας ανθεμίδας (δεν έλαβε χώρα ετήσια κατεργασία του εδάφους) προστάτησε το έδαφος από την οξείδωση, κάτι που δεν συνέβη

Κεφάλαιο: Αποτελέσματα και Συζήτηση – Χημικές ιδιότητες των εδαφών

στον Παλαμά λόγω της μονοετούς και συνεχούς καλλιέργειας του βαμβακιού και της ετήσιας προετοιμασίας του αγρού.

Σε προφίλ εδάφους 0-40 cm στον Παλαμά σημειώθηκε αύξηση της οργανικής ουσίας για όλες τις μεταχειρίσεις περί τα 210-2.060 kg/στρ. ενώ στο Βελεστίνο η αύξησή της ήταν 15-435 kg/στρ..

Η οργανική ουσία του εδάφους (Ο.Υ.) αυξήθηκε με ποσοστά που κυμαίνονταν από 20% έως 125% (μέσος όρος 43%) στο τέλος δεκαετούς περιόδου σε οκτώ διαφορετικές περιοχές μελέτης με ευρύ φάσμα χρήσης γης από προηγούμενες καλλιέργειες (Parrish *et al.*, 2003). Η συμβολή της οργανικής ουσίας (Ο.Υ.) που προέρχεται από τις ρίζες εκτιμήθηκε σε 1,84 t/στρ., ενώ η μάζα της ρίζας βρέθηκε να αυξάνεται στα ανώτερα 30 cm και η βιομάζα του ριζικού συστήματος για τα 90 cm (Parrish *et al.*, 2003) βρέθηκε κατά μέσο όρο περί τους 1,6 t/στρ., τιμή συγκρίσιμη της ετήσιας υπέργεια βιομάζας switchgrass στις ίδιες περιοχές.

3.4.3 Εκχυλίσμος φώσφορος και ανταλλάξιμο κάλιο

Από τα αποτελέσματα του Πίνακα 3.4.6 φαίνεται ότι, επήλθε μείωση της τιμής της συγκέντρωσης του φωσφόρου (P) και για τους 2 τύπους εδαφών. Οι τιμές του φωσφόρου πριν την εγκατάσταση ήταν 8 mg/kg (βάθος 0-10 cm) και 4 mg/kg (βάθος 10-40 cm) για το Βελεστίνο και 10 mg/kg (βάθος 0-10 cm) και 11 mg/kg (βάθος 10-40 cm) για τον Παλαμά. Η μείωση αυτή οφείλεται στην οξείδωση της οργανικής ουσίας. Με την απομάκρυνση των ποσοτήτων φωσφόρου από την υπέργεια βιομάζα (βλ. κεφάλαιο 3.3.2) ήταν αναμενόμενη η μείωση. Ο μέσος όρος της μείωσης για τα 40 cm είναι ίσος με 4,16 kg/στρ. για τον Παλαμά (για τα 4 έτη ή διαφορετικά 1,04 kg/έτος/στρ.) και 0,7 kg/στρ. για το Βελεστίνο (για τα 3 έτη ή διαφορετικά 0,23 kg/έτος/στρ.).

Πίνακας 3.4.6. Φώσφορος P (mg/Kg) του εδάφους (μετά το πέρας των πειραμάτων) για 2 επίπεδα άρδευσης και 4 επίπεδα N-ούχου λίπανσης στους πειραματικούς αγρούς Παλαμά και Βελεστίνο, σε 2 στρώματα (0-10 και 10-40 cm). [I₁: 0 mm, I₂: 250 mm, N₁:0, N₂:8, N₃:16 και N₄:24 kg N/στρ.).

mg/kg	Φώσφορος (P)			
	0-10 cm		10-40 cm	
	Παλαμάς	Βελεστίνο	Παλαμάς	Βελεστίνο
	2012	2012	2012	2012
Επίπεδα Άρδευσης				
Ξηρικό (I ₁ : 0 mm)	3,50	6,00	3,75	3,50
Ποτιστικό (I ₂ : 250 mm)	3,25	4,75	4,00	3,00
LSD _{0.05}	ns	ns	ns	ns
Επίπεδα N-λίπανσης				
N1 = 0 kg/στρ.	3,00 a	6,00	2,50	3,00
N2 = 8 kg/στρ.	2,50 a	6,00	4,00	2,50
N3 = 16 kg/στρ.	5,00 b	5,00	6,00	3,50
N4 = 24 kg/στρ.	3,00 a	4,50	3,00	4,00
LSD _{0.05}	1,125	ns	ns	ns
CV %	10,5	12,6	23,0	37,7

*Duncan criterion: a, b

Μείωση βρέθηκε και στην περιεκτικότητα του ανταλλάξιμου καλίου μεταξύ των μεταχειρίσεων, με μείωση της τιμής του K (Πίν. 3.4.7) και για τα 2 εδάφη (Βελεστίνο, Παλαμάς). Οι τιμές του καλίου πριν την εγκατάσταση ήταν 254 mg/kg (βάθος 0-10 cm) και 178 mg/kg (βάθος 10-40 cm) για το Βελεστίνο και 191 mg/kg (βάθος 0-10 cm) και 190 mg/kg (βάθος 10-40 cm) για τον Παλαμά. Ο μέσος όρος της μείωσης του καλίου για τα 40 cm είναι ίσος με 72 kg/στρ. για τον Παλαμά (για τα 4 έτη ή διαφορετικά 18 kg/έτος/στρ.) και 19 kg/στρ. για το Βελεστίνο (για τα 3 έτη ή διαφορετικά 6,33 kg/έτος/στρ.).

Πίνακας 3.4.7. Κάλιο K (mg/Kg) του εδάφους (μετά το πέρας των πειραμάτων) για 2 επίπεδα άρδευσης και 4 επίπεδα N-ούχου λίπανσης στους πειραματικούς αγρούς Παλαμά και Βελεστίνο, σε 2 στρώματα (0-10 και 10-40 cm). [I₁: 0 mm, I₂: 250 mm, N₁:0, N₂:8, N₃:16 και N₄:24 kg N/στρ.).

mg/kg	Κάλιο (K)			
	0-10 cm		10-40 cm	
	Παλαμάς	Βελεστίνο	Παλαμάς	Βελεστίνο
	2012	2012	2012	2012
Επίπεδα Άρδευσης				
Ξηρικό (I ₁ : 0 mm)	93,2	199	48	141,2
Ποτιστικό (I ₂ : 250 mm)	88,0	224	75	128,8
LSD _{0.05}	ns	ns	ns	ns
Επίπεδα N-λίπανσης				
N1 = 0 kg/στρ.	71,5 a	227	38	131,5
N2 = 8 kg/στρ.	66,5 a	240	88	132,0
N3 = 16 kg/στρ.	142,5 b	182	76	144,5
N4 = 24 kg/στρ.	82,0 a	197	44	132,0
LSD _{0.05}	60,73	ns	ns	ns
CV %	21,1	9,2	47,8	18,9

*Duncan criterion: a, b

Όσον αφορά το κάλιο οι απαιτήσεις της καλλιέργειας είναι μικρές και μόνο σε περίπτωση μεγάλης εδαφικής έλλειψης πρέπει να γίνεται εφαρμογή, ενώ στην περίπτωση του φωσφόρου το φυτό έχει τη δυνατότητα ανάπτυξης μηχανισμών αξιοποίησης συμβίωσης με μυκόρριζες (Elbersen *et al.*, 2001) και επομένως τα επόμενα χρόνια, δεν δημιουργείται πρόβλημα έλλειψης.

3.5 Η καλλιέργεια του *switchgrass* ως εδαφοβελτιωτικό

Ο όρος «ρύπανση» του εδάφους αναφέρεται στη δυσλειτουργία του εδαφικού οικοσυστήματος, ως αποτέλεσμα της εναπόθεσης σ' αυτό ανεπιθύμητων οργανικών ή ανόργανων ουσιών. Η ρύπανση του εδάφους είναι μια ειδική περίπτωση της ευρύτερης έννοιας του όρου «υποβάθμιση του εδάφους». Η ύπαρξη μόνο των διαφόρων χημικών ουσιών στο έδαφος δε συνιστά ρύπανση από μόνη της. Οι χημικές αυτές οργανικές ή ανόργανες ουσίες για να χαρακτηρισθούν ως ρύποι και να προκαλέσουν ρύπανση στο εδαφικό οικοσύστημα, πρέπει να παρεμποδίζουν τις διάφορες φυσικοχημικές ή βιολογικές λειτουργίες του εδάφους. Ο σκοπός της αποκατάστασης των εδαφών είναι να γίνει «ανόρθωση» των εδαφικών λειτουργιών, εφόσον αυτές εκτελούνται μεν, αλλά σε πολύ μικρότερο βαθμό, ή να γίνει «πλήρης αποκατάσταση» των εδαφικών λειτουργιών, εφόσον αυτές έχουν απωλεσθεί.

Οι γεωργικές δραστηριότητες αποτελούν μία σημαντική αιτία για την ρύπανση των υπόγειων υδάτων με NO_3^- -N. Η αυξημένη αζωτούχος λίπανση και τα φυτοφάρμακα κατά τη διάρκεια των τελευταίων δύο δεκαετιών με σκοπό την αύξηση της παραγωγής έχει προκαλέσει σε πολλές περιοχές ρύπανση των ποταμών, ρεμάτων, των λιμνών και των υπογείων υδάτων.

Το άζωτο είναι ζωτικής σημασίας για την ανάπτυξη των φυτών και ως εκ τούτου η διαθεσιμότητά του επηρεάζει την απόδοση των καλλιεργειών και την ποιότητα των προϊόντων. Περίπου 40-70% του αζώτου που εφαρμόζεται στα λιπάσματα, χάνεται στο περιβάλλον και δεν μπορεί να απορροφηθεί από τα φυτά, γεγονός το οποίο προκαλεί μια μεγάλη απώλεια πόρων, οικονομική ζημία και επιπλέον έχει την ευθύνη για τη ρύπανση του περιβάλλοντος. Η νιτρορύπανση που προκαλείται στα υπόγεια ύδατα θεωρείται σοβαρή απειλή για την ανθρώπινη υγεία (π.χ. ύποπτη για καρκινογένεση).

Διάφορες μέθοδοι έχουν αναφερθεί για την εδαφοβελτίωση και την απομάκρυνση των νιτρικών ιόντων από το νερό και τα λύματα, συμπεριλαμβανομένων της βιολογικής απομάκρυνσης των νιτρικών, της μείωσης των χημικών, της προσρόφηση κ.ά.

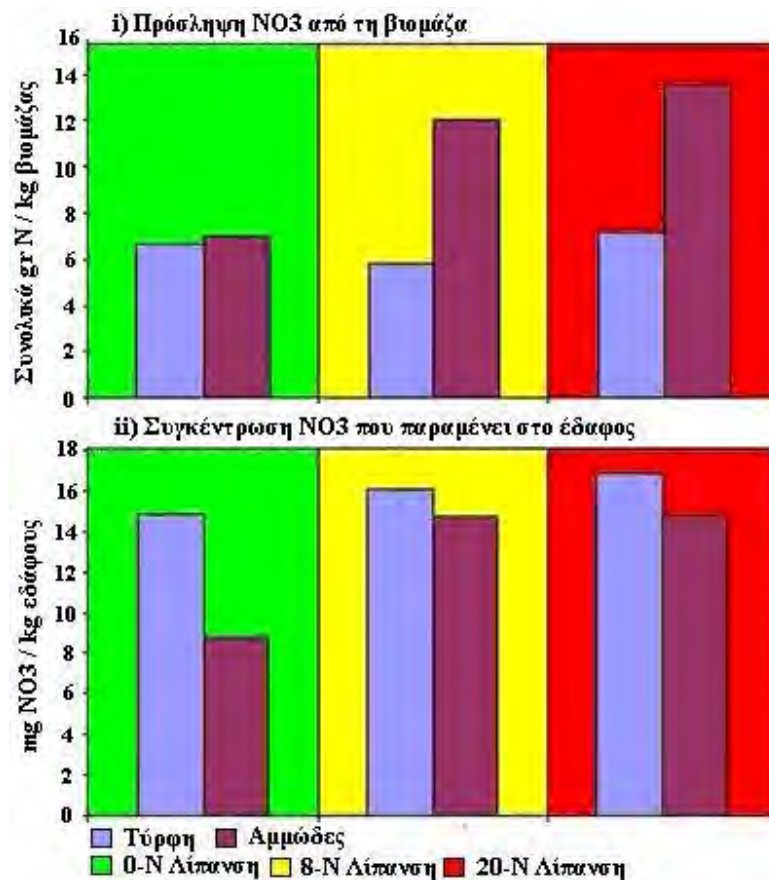
Με την προώθηση των βιοκαυσίμων, έπρεπε να διεξαχθούν πειράματα για τον προσδιορισμό της δυνατότητας απόδοσης των νέων εναλλακτικών ενεργειακών

Κεφάλαιο: Αποτελέσματα και Συζήτηση – Η καλλιέργεια του Switchgrass ως εδαφοβελτιωτικό

καλλιιεργειών, των συντελεστών παραγωγής που απαιτούνται για την υλοποίησή τους και της προκαλούμενης ρύπανσης από άζωτο, φώσφορο, φυτοφάρμακα και ειδικότερα υπολείμματα ζιζανιοκτόνων, τα οποία είναι κύριες, μη-σημειακές πηγές ρύπανσης των επιφανειακών υδάτων από τη γεωργική εκμετάλλευση.

Όπως φαίνεται στο Σχήμα 3.5.1(i), η πρόσληψη $\text{NO}_3^- \text{N}$ από τα φυτά switchgrass είναι υψηλότερη στο αμμώδες έδαφος και ιδιαίτερα στη μεταχείριση της υπερλίπανσης. Στην τύρφη, η καλλιέργεια του switchgrass κατόρθωσε να αφαιρέσει μία υψηλή ποσότητα NO_3 , όπως φαίνεται στο Σχήμα 3.5.1(ii), όπου και απεικονίζεται η τελική συγκέντρωση N-NO_3 στο έδαφος. Βρέθηκε ότι, η καλλιέργεια του switchgrass στα πρωταρχικά στάδια ανάπτυξης, έχει την ικανότητα να δεσμεύσει έως και 14 gr N/kg ξηρής βιομάζας, συγκρατώντας τα επίπεδα των NO_3 στο έδαφος σε ποσοστά παρόμοια με τη μεταχείριση της μηδενικής λίπανσης. Η πρόσληψη αυτή είναι υψηλότερη στο αμμώδες έδαφος έναντι της τύρφης, και όπως φαίνεται στο Σχήμα 3.5.1(ii), η συγκέντρωση των N-NO_3 στο αμμώδες έδαφος μετά την απομάκρυνση της βιομάζας παρέμεινε σε ακόμη χαμηλότερα επίπεδα.

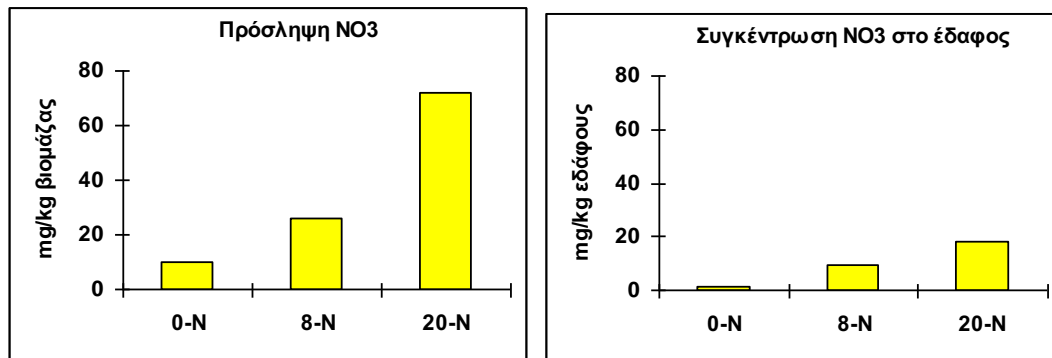
Κεφάλαιο: Αποτελέσματα και Συζήτηση – Η καλλιέργεια του Switchgrass ως εδαφοβελτιωτικό



Σχήμα 3.5.1. i) NO₃-N πρόσληψη από τα φυτά (σε g) ii) τελική συγκέντρωση NO₃-N του εδάφους κάτω από 3 διαφορετικά επίπεδα λίπανσης (0, 8 και 20 kg/στρ.) και δύο τύπους εδάφους (τύρφη, και αμμώδες έδαφος).

Στην επανάληψη του πειράματος το 2011, που έλαβε μέρος μόνο με γλαστράκια που είχαν ως έδαφος μόνο τύρφη, βρέθηκε ότι η πρόσληψη NO₃-N από το φυτό ήταν υψηλότερη για την μεταχείριση της υπερλίπανσης (Σχ. 3.5.2). Στο Σχήμα 3.5.2 απεικονίζεται η τελική συγκέντρωση NO₃-N στο έδαφος, η οποία παραμένει σε χαμηλά επίπεδα μετά την απομάκρυνση της βιομάζας. Για ακόμη μία φορά, φαίνεται ότι η τελική συγκέντρωση NO₃-N του εδάφους όπου καλλιεργείται switchgrass περιορίζεται σημαντικά.

Κεφάλαιο: Αποτελέσματα και Συζήτηση – Η καλλιέργεια του *Switchgrass* ως εδαφοβελτιωτικό



Σχήμα 3.5.2. Πρόσληψη NO₃-N (mg/kg βιομάζας) από την καλλιέργεια switchgrass (αριστερά) και τελική συγκέντρωση NO₃-N (mg/kg) στο έδαφος κάτω από 3 διαφορετικά επίπεδα λίπανσης (0, 8 και 20 kg/στρ.).

Επομένως, η καλλιέργεια switchgrass φαίνεται να έχει την τάση να βοηθήσει στη μείωση των νιτρικών και εδαφοβελτίωση. Λόγω του γεγονότος ότι μπορεί να ενσωματωθεί εύκολα σε υπάρχουσες γεωργικές πρακτικές, το switchgrass αποτελεί πολλά υποσχόμενη καλλιέργεια λόγω της υψηλής παραγωγικότητας, της καταλληλότητας για την ποιότητα της γης, του νερού και των χαμηλών θρεπτικών απαιτήσεων, των περιβαλλοντικών οφελών και της ευελιξίας των πολλαπλών χρήσεών της.

3.6 Θερμογόνος Δύναμη και % Περιεκτικότητα Στάχτης

Η θερμιδική αξία της συγκομιζομένης βιομάζας του switchgrass (Gross Calorific Value) μετρήθηκε ως $J\ g^{-1}$ ξηρής βιομάζας με σταθερό ποσοστό υγρασίας 8%. Αν και θεωρήθηκε ότι, το ποσοστό υγρασίας ήταν εκείνο το οποίο είναι αναπόφευκτο στην παραγωγή των πέλλετ (αναγραφόμενη τιμή υγρασίας 8%), σε πλήθος δειγμάτων έγινε αεροξήρανση με τελικό ποσοστό υγρασίας 0% και μετρήθηκε η θερμιδική αξία των δειγμάτων. Βρέθηκε για όλα τα δείγματα που υπέστησαν την ανωτέρω αεροξήρανση ότι υπήρχε μία αύξηση στη θερμογόνο δύναμη που είχε σταθερό εύρος ανεξαρτήτως φυτικού μέρους από 1.050 έως 1.120 $J\ g^{-1}$ (ή 1,05-1,12 MJ/kg). Τέλος μετρήθηκε η περιεκτικότητα σε τέφρα.

Όλες οι μετρήσεις τόσο της θερμογόνου δύναμης όσο και της περιεκτικότητας σε τέφρα πραγματοποιήθηκαν για όλα τα φυτικά μέρη της υπέργειας βιομάζας (φύλλα, βλαστοί, καφέ φύλλα και ανθοταξία) για 2 διαφορετικά στάδια ανάπτυξης (1^η κοπή: στάδιο 4 φύλλων, συγκομιδή: στάδιο ωρίμανσης) για όλες τις μεταχειρίσεις (2 επίπεδα άρδευσης και 4 επίπεδα N-ούχου λίπανσης).

3.6.1 Θερμογόνος Δύναμη

Παρατηρήθηκε ότι, κατά τα πρώτα στάδια ανάπτυξης του switchgrass (1^η κοπή) για την περιοχή του Παλαμά ο παράγοντας της άρδευσης δεν επηρέασε τη θερμογόνο δύναμη των φύλλων (16,9 MJ/kg για I1 και I2), ενώ ο παράγοντας της λίπανσης είχε μία αυξητική τάση μέχρι το 3^ο επίπεδο λίπανσης και μετά μία ελαφρά πτώση (16,6, 16,9, 17,1, 17,0 MJ/kg για N1, N2, N3 και N4, αντίστοιχα). Στην περίπτωση των βλαστών δεν υπήρχαν διαφορές σε κανέναν από τους 2 παράγοντες (17-17,1 MJ/kg για όλες τις περιπτώσεις, Πίν. 3.6.1). Στην περιοχή του Βελεστίνου, παρατηρήθηκε μία σταθεροποίηση της θερμογόνου δύναμης τόσο στα φύλλα όσο και στους βλαστούς για όλες τις μεταχειρίσεις (16,7 και 16,9 MJ/kg, για τα φύλλα και τους βλαστούς, αντίστοιχα). Παρατηρείται ότι κατά τη 1^η κοπή, η θερμογόνος δύναμη των φυτικών μερών του switchgrass για την περιοχή του Βελεστίνου δίνει χαμηλότερες τιμές (Πίν. 3.6.1). Έτσι λοιπόν, ο μέσος όρος της θερμογόνου δυνάμεως για όλο το φυτό του switchgrass είναι 17,00 και 16,85 MJ/kg για τον Παλαμά και το Βελεστίνο, αντίστοιχα.

Κεφάλαιο: Αποτελέσματα και Συζήτηση – Θερμογόνος Δύναμη και % Περιεκτικότητα Στάχτης

Πίνακας 3.6.1. Θερμογόνος δύναμη (J/g) των οργάνων του φυτού της καλλιέργειας του switchgrass για 2 στάδια ανάπτυξης (1^η Κοπή, Συγκομιδή), για 2 επίπεδα άρδευσης και 4 επίπεδα N-ούχου λίπανσης στους πειραματικούς αγρούς Παλαμά και Βελεστίνου. [I₁: 0 mm, I₂: 250 mm, N₁:0, N₂:8, N₃:16 και N₄:24 kg N/στρ.).

Θερμογόνος δύναμη (J/gr)								
	Παλαμάς				Βελεστίνo			
	1 ^η Κοπή							
	Φύλλα	Βλαστοί	Κ.Φύλλα	Άνθος	Φύλλα	Βλαστοί	Κ.Φύλλα	Άνθος
Επίπεδα Άρδευσης								
Ξηρικό (I1: 0 mm)	16.888	17.054	-	-	16.726	16.944	-	-
Ποτιστικό (I2: 250 mm)	16.894	17.028	-	-	16.696	16.910	-	-
LSD _{0.05}	ns	ns	-	-	ns	ns	-	-
Επίπεδα N-λίπανσης								
N1 = 0 kg/στρ.	16.598	17.008	-	-	16.738	16.928	-	-
N2 = 8 kg/στρ.	16.897	17.108	-	-	16.720	16.907	-	-
N3 = 16 kg/στρ.	17.074	17.027	-	-	16.671	16.972	-	-
N4 = 24 kg/στρ.	16.996	17.022	-	-	16.714	16.900	-	-
LSD _{0.05}	ns	ns	-	-	ns	ns	-	-
CV %	1,3	0,2	-	-	0,5	0,7	-	-
Συγκομιδή								
	Φύλλα	Βλαστοί	Κ.Φύλλα	Άνθος	Φύλλα	Βλαστοί	Κ.Φύλλα	Άνθος
Επίπεδα Άρδευσης								
Ξηρικό (I1: 0 mm)	16.896	17.240	16.432	17.738	17.185 a	17.050	16.516	-
Ποτιστικό (I2: 250 mm)	16.839	17.166	16.428	17.687	16.570 b	16.991	16.231	17.302
LSD _{0.05}	ns	ns	ns	ns	144,8	ns	ns	-
Επίπεδα N-λίπανσης								
N1 = 0 kg/στρ.	16.836	17.182	16.710	17.666	16.762	17.018	16.248	17.138
N2 = 8 kg/στρ.	16.972	17.214	16.450	17.653	16.874	16.989	16.407	17.242
N3 = 16 kg/στρ.	16.882	17.232	16.312	17.800	16.834	17.016	16.350	17.361
N4 = 24 kg/στρ.	16.773	17.185	16.248	17.730	17.040	17.058	16.489	17.467
LSD _{0.05}	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns
CV %	1,3	0,2	0,8	0,9	0,4	0,3	0,9	0,9

* Duncan criterion: a, b.

Την περίοδο της συγκομιδής για την περιοχή του Παλαμά ούτε ο παράγοντας της άρδευσης επηρέασε στατιστικώς σημαντικά τη θερμογόνο δύναμη των φύλλων (16,9 και 16,8 MJ/kg για I1 και I2, αντίστοιχα), αλλά ούτε και ο παράγοντας της λίπανσης (16,8, 17,0, 16,9, 16,8 MJ/kg για N1, N2, N3 και N4, αντίστοιχα). Στην περίπτωση των βλαστών δεν υπήρχαν διαφορές σε κανέναν από τους 2 παράγοντες (17,2 MJ/kg για όλες τις περιπτώσεις). Κατά την περίοδο της συγκομιδής υπήρχαν εκτός από τους βλαστούς και τα φύλλα, οι ανθοταξίες και τα νεκρά φύλλα. Ο παράγοντας της άρδευσης και πάλι δεν επηρέασε τη θερμογόνο δύναμη των νεκρών φύλλων (16,4 MJ/kg για I1 και I2), ενώ

Κεφάλαιο: Αποτελέσματα και Συζήτηση – Θερμογόνος Δύναμη και % Περιεκτικότητα Στάχτης

ο παράγοντας της λίπανσης είχε μια αντιστρόφως ανάλογη, αλλά μικρή επίδραση (16,7, 16,5, 16,3, 16,2 MJ/kg για N1, N2, N3 και N4 αντίστοιχα). Τέλος, στην περίπτωση των ανθοταξιών δεν υπήρχαν διαφορές σε κανέναν από τους 2 παράγοντες (17,7 MJ/kg για όλες τις περιπτώσεις, Πίν. 3.6.1).

Στην περιοχή του Βελεστίου παρατηρήθηκε μία σταθεροποίηση της θερμογόνου δυνάμεως για όλα τα φυτικά μέρη ως προς τις μεταχειρίσεις της N-ούχου λίπανσης, ενώ ως προς τα επίπεδα της άρδευσης υπήρχαν μικρές μεταβολές (στατιστικώς μη σημαντικές) για τα φύλλα και τα καφέ φύλλα. Αναλυτικότερα, η θερμογόνος δύναμη των φύλλων διακυμάνθηκε από 16,8-17,0 MJ/kg για τα επίπεδα N (16,8, 16,9, 16,8 και 17,0 MJ/kg για N1, N2, N3 και N4, αντίστοιχα) και 16,6-17,2 MJ/kg για τα επίπεδα άρδευσης (17,2 και 16,6 για I1 και I2, αντίστοιχα). Στην περίπτωση των βλαστών δεν υπήρχαν διαφορές σε κανέναν από τους 2 παράγοντες (17,0-17,1 MJ/kg για όλες τις περιπτώσεις). Κατά την περίοδο της συγκομιδής υπήρχαν εκτός από τους βλαστούς και τα φύλλα, οι ανθοταξίες (μόνο για την αρδευόμενη καλλιέργεια) και τα καφέ φύλλα. Ο παράγοντας της άρδευσης όπως και της λίπανσης είχαν μια μικρή επίδραση (στατιστικώς μη σημαντική) στη θερμογόνο δύναμη των καφέ φύλλων (16,5 και 16,2 MJ/kg για I1 και I2, και 16,2, 16,4, 16,4, 16,5 MJ/kg για N1, N2, N3 και N4, αντίστοιχα). Τέλος, στην περίπτωση των ανθοταξιών υπήρχαν μικρές διαφορές ως προς τον παράγοντα της λίπανσης μιας και στην ξηρική δεν υπήρχε έκπτυξη ανθοταξιών. Παρατηρήθηκε μία ανάλογη αύξηση της θερμογόνου με την αύξηση των επιπέδων N-ούχου λιπάνσεως (17,1, 17,2, 17,4 και 17,5 MJ/kg για N1, N2, N3 και N4 αντίστοιχα) ενώ, η μέση θερμογόνος δύναμη για τη I2 μεταχείριση ήταν 17,3 MJ/kg (Πίν. 3.6.1).

Στον Πίνακα 3.6.2 παρουσιάζονται οι μέσοι όροι της θερμογόνου δυνάμεως για το φυτό του switchgrass στον Παλαμά και στο Βελεστίνο. Φαίνεται ότι υπάρχει συνεχώς (και για τις 2 περιοχές αλλά και για όλα τα έτη) μια μικρή σταθερή στατιστικώς μη σημαντική διαφορά ως προς τον παράγοντα της άρδευσης με τη ξηρική καλλιέργεια να υπερέχει της αρδευομένης. Ως προς τα επίπεδα λίπανσης αν και υπάρχει μια μικρή διαφοροποίηση των τιμών δεν υπάρχει η δυνατότητα διεξαγωγής σταθερών συμπερασμάτων ως προς την επίδραση των επιπέδων N-ούχου λίπανσης στη θερμογόνο δύναμη του φυτού.

Κεφάλαιο: Αποτελέσματα και Συζήτηση – Θερμογόνος Δύναμη και % Περιεκτικότητα Στάχτης

Σε όλες τις περιπτώσεις (επίπεδα άρδευσης και λίπανσης, αλλά και περιοχές) τα φυτικά μέρη του switchgrass με σειρά των μερών με τη μικρότερη θερμογόνο δύναμη ως προς τη μεγαλύτερη είναι: καφέ φύλλα < φύλλα < βλαστοί < ανθοταξία (Πίν. 3.6.1).

Σε μελέτη σύγκρισης με 0 και 8 kg N ανά στρέμμα από τον Kludze και τους συνεργάτες του (2013), βρέθηκε ότι η θερμογόνος δύναμη του switchgrass αυξήθηκε από 18,49 σε 18,92 MJ/kg για τα 2 επίπεδα N-ούχου λίπανσης. Οι τιμές που αναφέρονται από τους παραπάνω συγγραφείς είναι παρόμοιες με τις τιμές που βρέθηκαν στην παρούσα μελέτη, αρκεί να προστεθούν τα 1,05 – 1,12 MJ/kg που αναφέρονται στην αρχή του κεφαλαίου ως η διαφορά που βρέθηκε στη θερμογόνο δύναμη μεταξύ των δειγμάτων με 8% υγρασία και των τελείως ξηρών (0% υγρασία) δειγμάτων.

Πίνακας 3.6.2. Θερμογόνος δύναμη (MJ/kg) των φυτών της καλλιέργειας του switchgrass κατά τη συγκομιδή για 2 επίπεδα άρδευσης και 4 επίπεδα N-ούχου λίπανσης στις πειραματικές περιοχές Παλαμά και Βελεστίνου κατά την 1^η κοπή και τη συγκομιδή. [I₁: 0 mm, I₂: 250 mm, N₁:0, N₂:8, N₃:16 και N₄:24 kg N/στρ.).

ΦΥΤΟ	Θερμογόνος δύναμη (MJ/kg)					
	1 ^η Κοπή			Συγκομιδή		
	Παλαμάς	Βελεστίνo		Παλαμάς	Βελεστίνo	
	2012	2012	2010	2011	2012	2012
Επίπεδα Άρδευσης						
Ξηρικό (I ₁ : 0 mm)	17,005	16,870	17,369	17,279	17,197	17,009
Ποτιστικό (I ₂ : 250 mm)	16,990	16,837	17,320	17,248	17,133	16,890
LSD _{0.05}	ns	ns	ns	ns	ns	ns
Επίπεδα N-λίπανσης						
N1 = 0 kg/στρ.	16,889	16,866	17,372	17,294 b	17,158	16,917
N2 = 8 kg/στρ.	17,048	16,842	17,284	17,175 a	17,175	16,915
N3 = 16 kg/στρ.	17,040	16,870	17,413	17,354 b	17,200	16,947
N4 = 24 kg/στρ.	17,014	16,837	17,308	17,232 a	17,126	17,020
LSD _{0.05}	ns	ns	ns	0,097	ns	ns
CV %	0,5	0,7	0,4	0,2	0,2	0,4

* Duncan criterion: a, b.

3.6.2 Περιεκτικότητα σε στάχτη

Κατά τα πρώτα στάδια ανάπτυξης του switchgrass (1^η κοπή) για την περιοχή του Παλαμά, ο παράγοντας της άρδευσης φαίνεται ότι είναι εκείνος που επηρέασε την % περιεκτικότητα σε στάχτη των φύλλων (7,42 και 7,92% για I1 και I2, αντίστοιχα) ενώ ο παράγοντας της λίπανσης είχε ασυμπτωτική επίδραση (8,57, 7,85, 6,91 και 7,35 % για N1, N2, N3 και N4, αντίστοιχα). Όπως στα φύλλα, παρόμοια ήταν τα αποτελέσματα στην περίπτωση των βλαστών. Ο παράγοντας της άρδευσης φαίνεται ότι είναι εκείνος που επηρέασε τη % περιεκτικότητα σε στάχτη των βλαστών, με παράλληλη αύξηση της περιεκτικότητας σε στάχτη με την αύξηση της άρδευσης (3,62 και 4,45% για I1 και I2, αντίστοιχα) ενώ ο παράγοντας της λίπανσης είχε και πάλι ασυμπτωτική επίδραση στην περιεκτικότητα της στάχτης (4,14, 3,78, 4,53 και 3,69% για N1, N2, N3 και N4, αντίστοιχα, Πίν. 3.6.3).

Στην περιοχή του Βελεστίνου, και πάλι εμφανίζεται ο παράγοντας της άρδευσης να είναι εκείνος που επηρέασε την % περιεκτικότητα σε στάχτη των φύλλων (8,26 και 7,67% για I1 και I2, αντίστοιχα), όμως η επίδραση αυτή είναι αντιστρόφως ανάλογη της επίδρασης που έχει στον Παλαμά. Ο παράγοντας της λίπανσης είχε παρόμοια ασυμπτωτική επίδραση με την επίδραση στον Παλαμά, όπου το ποσοστό μειώνεται αντιστρόφως ανάλογα της αύξησης της ποσότητας λίπανσης μέχρι το επίπεδο N3 και ύστερα αυξάνει (8,17, 8,06, 7,64 και 8,01 % για N1, N2, N3 και N4, αντίστοιχα). Στην περίπτωση των βλαστών, η άρδευση επηρέασε λιγότερο την % περιεκτικότητα σε στάχτη (4,14 και 4,10% για I1 και I2, αντίστοιχα), ενώ ο παράγοντας της λίπανσης είχε αντιστρόφως ανάλογη επίδραση στην % περιεκτικότητα της στάχτης με την αύξηση των επιπέδων της N-ούχου λιπάνσεως (4,14, 4,09, 3,96 και 3,89 % για N1, N2, N3 και N4, αντίστοιχα, Πίν. 3.6.3).

Την περίοδο της συγκομιδής για την περιοχή του Παλαμά η άρδευση επηρέασε την % περιεκτικότητα σε στάχτη των φύλλων με αύξηση του ποσοστού αναλόγως της αύξησης του επιπέδου άρδευσης (7,80 και 8,08% για I1 και I2, αντίστοιχα), ενώ ο παράγοντας της λίπανσης αύξησε την % περιεκτικότητα με αύξηση του επιπέδου λίπανσης N3 και ύστερα μείωση για το N4 (7,19, 7,83, 8,58 και 8,17% για N1, N2, N3 και N4, αντίστοιχα). Στην περίπτωση των βλαστών η επίδραση της άρδευσης ήταν ανάλογη των

Κεφάλαιο: Αποτελέσματα και Συζήτηση – Θερμογόνος Δύναμη και % Περιεκτικότητα Στάχτης

φύλλων (2,75 και 2,99% για I1 και I2, αντίστοιχα) ενώ η λίπανση επέδρασε ασυμπτωτικά με μέγιστο ποσοστό για το επίπεδο N1 και με αύξηση του ποσοστού για αύξηση από το επίπεδο N2 έως N4 (3,00, 2,64, 2,90 και 2,95 για N1, N2, N3 και N4, αντίστοιχα). Κατά την περίοδο της συγκομιδής εκτός των βλαστών και φύλλων, υπήρχαν και οι ανθοταξίες και τα καφέ φύλλα. Για τα καφέ φύλλα ο παράγοντας της άρδευσης επέφερε μια μικρή μείωση του ποσοστού της % περιεκτικότητας (9,36 και 9,26% για I1 και I2, αντίστοιχα), ενώ ο παράγοντας της λίπανσης είχε ασυμπτωτική επίδραση (8,52, 10,43, 9,19 και 9,29% για N1, N2, N3 και N4, αντίστοιχα). Τέλος στην περίπτωση των ανθοταξιών η άρδευση επέφερε μια μικρή (αμελητέα) αύξηση του ποσοστού της % περιεκτικότητας (4,63 και 4,65% για I1 και I2, αντίστοιχα), ενώ ο παράγοντας της λίπανσης είχε και πάλι ασυμπτωτική επίδραση (4.60, 5.09, 4.26 και 4.63% για N1, N2, N3 και N4, αντίστοιχα, Πίν. 3.6.3).

Στο Βελεστίνο, κατά την περίοδο της συγκομιδής ο παράγοντας της άρδευσης επηρέασε κατά πολύ την % περιεκτικότητα των φύλλων με αύξηση του ποσοστού αναλόγως της αύξησης του επιπέδου άρδευσης (6,53 και 9,30% για I1 και I2, αντίστοιχα), ενώ ο παράγοντας της λίπανσης είχε αντιστρόφως ανάλογη επίδραση στην % περιεκτικότητα με την αύξηση των επιπέδων της N-ούχου λιπάνσεως (8,20, 7,91, 7,76 και 7,78% για N1, N2, N3 και N4, αντίστοιχα). Στην περίπτωση των βλαστών η επίδραση της άρδευσης είχε σαν αποτέλεσμα την αύξηση της % περιεκτικότητας της στάχτης (3,08 και 3,30% για I1 και I2, αντίστοιχα) ενώ η λίπανση επέδρασε ασυμπτωτικά (3,10, 3,43, 3,06 και 3,17 για N1, N2, N3 και N4, αντίστοιχα). Για τα καφέ φύλλα η επίδραση της άρδευσης ήταν ανάλογη των φύλλων (8,87 και 10,87% για I1 και I2, αντίστοιχα), ενώ η λίπανση είχε και πάλι ασυμπτωτική επίδραση αύξηση του ποσοστού μέχρι το επίπεδο N3 και έπειτα μείωση (9,61, 10,04, 10,15 και 9,69% για N1, N2, N3 και N4, αντίστοιχα). Τέλος, στην περίπτωση των ανθοταξιών υπήρχαν μικρές διαφορές ως προς τη λίπανση μιας και στην ξηρική δεν υπήρχε έκπτυξη ανθοταξιών. Η % περιεκτικότητα στάχτης των ανθοταξιών ήταν 3,92. Ο παράγοντας της λίπανσης επέφερε μια αύξηση του ποσοστού για τα επίπεδα από N2 έως N4 (3,32, 2,92, 3,68 και 5,76% για N1, N2, N3 και N4, αντίστοιχα, Πίν. 3.6.3).

Κεφάλαιο: Αποτελέσματα και Συζήτηση – Θερμογόνος Δύναμη και % Περιεκτικότητα Στάχτης

Πίνακας 3.6.3. Περιεκτικότητα % στάχτης των επιμέρους φυτικών μερών της καλλιέργειας του switchgrass για 2 στάδια ανάπτυξης (1^η Κοπή, Συγκομιδή), 2 επίπεδα άρδευσης (I1, I2) και 4 επίπεδα N-ούχου λιπάνσεως (N1, N2, N3, N4) σε 2 περιοχές (Παλαμάς, Βελεστίνο). [I₁: 0 mm, I₂: 250 mm, N₁:0, N₂:8, N₃:16 και N₄:24 kg N/στρ.).

	Στάχτη (%)							
	Παλαμάς				Βελεστίνο			
	1 ^η Κοπή							
	Φύλλα	Βλαστοί	Κ.Φύλλα	Άνθος	Φύλλα	Βλαστοί	Κ.Φύλλα	Άνθος
Επίπεδα Άρδευσης								
Ξηρικό (I1: 0 mm)	7,42	3,62 a	-	-	8,26	4,14	-	-
Ποτιστικό (I2: 250 mm)	7,92	4,45 b	-	-	7,67	4,10	-	-
LSD _{0.05}	ns	0,666	-	-	ns	ns	-	-
Επίπεδα N-λίπανσης								
N1 = 0 kg/στρ.	8,57	4,13	-	-	8,17	4,56	-	-
N2 = 8 kg/στρ.	7,84	3,77	-	-	8,05	4,09	-	-
N3 = 16 kg/στρ.	6,91	4,53	-	-	7,64	3,96	-	-
N4 = 24 kg/στρ.	7,34	3,69	-	-	8,00	3,89	-	-
LSD _{0.05}	ns	ns	-	-	ns	ns	-	-
CV %	7,5	7,3	-	-	6,7	10,3	-	-
	Συγκομιδή							
	Φύλλα	Βλαστοί	Κ.Φύλλα	Άνθος	Φύλλα	Βλαστοί	Κ.Φύλλα	Άνθος
Επίπεδα Άρδευσης								
Ξηρικό (I1: 0 mm)	7,80	2,75	9,36	4,63	6,53 a	3,08	8,87 a	-
Ποτιστικό (I2: 250 mm)	8,08	2,99	9,26	4,65	9,29 b	3,29	10,87 b	3,92
LSD _{0.05}	ns	ns	ns	ns	1.117	ns	1.255	-
Επίπεδα N-λίπανσης								
N1 = 0 kg/στρ.	7,19	3,00	8,92	4,60	8,20	3,10	9,61	3,32
N2 = 8 kg/στρ.	7,83	2,64	9,84	5,09	7,91	3,43	10,03	2,92
N3 = 16 kg/στρ.	8,58	2,90	9,29	4,26	7,75	3,06	10,15	3,68
N4 = 24 kg/στρ.	8,17	2,94	9,20	4,63	7,78	3,17	9,68	5,76
LSD _{0.05}	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns
CV %	9,7	19,3	6,3	5,6	6,3	13,3	5,6	8,7

* Duncan criterion: a, b.

Στον Πίνακα 3.6.4 παρουσιάζονται οι μέσοι όροι της % περιεκτικότητας σε στάχτη όλου του φυτού του switchgrass για τον Παλαμά και το Βελεστίνο. Φαίνεται ότι, κατά το έτος 2012 υπάρχει μια αύξηση της περιεκτικότητας με την αύξηση του επιπέδου άρδευσης, κάτι το οποίο τα προηγούμενα 2 χρόνια είχε ακριβώς το αντίστροφο αποτέλεσμα (δλδ. μείωση). Ως προς τα επίπεδα λίπανσης αν και υπάρχει μια μικρή διαφοροποίηση των τιμών δεν υπάρχει η δυνατότητα διεξαγωγής σταθερών συμπερασμάτων ως προς την επίδραση των επιπέδων της.

Κεφάλαιο: Αποτελέσματα και Συζήτηση – Θερμογόνος Δύναμη και % Περιεκτικότητα Στάχτης

Πίνακας 3.6.4. Περιεκτικότητα στάχτης (%) των φυτών της καλλιέργειας του switchgrass, για 2 επίπεδα άρδευσης (I1, I2) και 4 επίπεδα N-ούχου λιπάνσεως (N1, N2, N3, N4) σε 2 περιοχές (Παλαμάς, Βελεστίνο), κατά την 1^η κοπή και τη συγκομιδή. [I₁: 0 mm, I₂: 250 mm, N₁:0, N₂:8, N₃:16 και N₄:24 kg N/στρ.).

ΦΥΤΟ	Στάχτη (%)					
	1 ^η Κοπή		Συγκομιδή			
	Παλαμάς	Βελεστίνο	Παλαμάς	Βελεστίνο	Παλαμάς	Βελεστίνο
	2012	2012	2010	2011	2012	2012
Επίπεδα Άρδευσης						
Ξηρικό (I1: 0 mm)	4,70	5,54	4,18	4,77	4,11	4,23
Ποτιστικό (I2: 250 mm)	5,44	5,31	3,87	4,01	4,28	4,84
LSD _{0.05}	0,43	ns	ns	ns	ns	ns
Επίπεδα N-λίπανσης						
N1 = 0 kg/στρ.	5,42	5,75	3,98	4,27	4,19	4,40
N2 = 8 kg/στρ.	4,93	5,47	4,58	4,50	4,13	4,79
N3 = 16 kg/στρ.	5,22	5,21	3,47	4,24	4,23	4,38
N4 = 24 kg/στρ.	4,72	5,28	4,08	4,54	4,24	4,55
LSD _{0.05}	ns	ns	ns	ns	ns	ns
CV %	3,8	8,2	9,8	10,4	12,9	7,6

Σε όλες τις περιπτώσεις (επίπεδα άρδευσης και λίπανσης, αλλά και περιοχές) τα φυτικά μέρη του switchgrass με σειρά των μερών με τη μικρότερη % περιεκτικότητα σε στάχτη ως προς τη μεγαλύτερη είναι: βλαστοί < ανθοταξία < φύλλα < καφέ φύλλα (Πίν 3.6.3).

Οι Bakker και Elbersen (2005) διαπίστωσαν ότι, η περιεχόμενη τέφρα των ενεργειακών φυτών εξαρτάται από ένα μεγάλο αριθμό παραγόντων, όπως τις συνθήκες καλλιέργειας, τη λίπανση, την ημερομηνία συγκομιδής, την τεχνική συγκομιδής, αλλά και τα συστήματα μετατροπής. Επιπλέον, σε 2 έρευνες που διεξήχθησαν αναφέρεται ότι, το switchgrass χαρακτηρίζεται ως καύσιμο καλής ποιότητας, με υψηλή περιεκτικότητα σε πτητικά, που ποικίλλουν από 70 έως 85% και σχετικά χαμηλή περιεκτικότητα σε τέφρα, που κυμαίνεται 1,8 έως 10%, επί ξηράς βάσεως. Οι μίσχοι έδειξαν υψηλότερα πτητικά και χαμηλότερες περιεκτικότητες τέφρας από ότι τα φύλλα. Η αύξηση των επιπέδων άρδευσης και λίπανσης οδήγησε σε μικρή μείωση στα πτητικά συγκέντρωσης. Ωστόσο, η συγκέντρωση της τέφρας μειώθηκε μόνο σε μεταγενέστερη συγκομιδή (Christian *et al.*, 2002; Bakker & Elbersen, 2005). Τα παραπάνω αποτελέσματα είναι σε συμφωνία με τα ευρήματα της παρούσας έρευνας και συμφωνούν με τα ποσοστά στάχτης που αναφέρονται από τη Vamvuka και τους συνεργάτες της (2010), όπου και αναφέρεται η

Κεφάλαιο: Αποτελέσματα και Συζήτηση – Θερμογόνος Δύναμη και % Περιεκτικότητα Στάχτης

ασυμπτωτική επίδραση της Ν-ούχου λιπάνσεως και ότι τα ποσοστά στάχτης κυμαίνονταν από 1,9-2,4% για τους βλαστούς και από 5,6-10,0% για τα φύλλα. Αναφέρεται δηλαδή και πάλι ότι την μεγαλύτερη περιεκτικότητα στάχτης δίδουν τα φύλλα ενώ τη μικρότερη οι βλαστοί.

Τέλος, αναφέρεται από τον Kludze και τους συνεργάτες του (2013) ότι η περιεχόμενη στάχτη μειώνεται σημαντικά όταν η συγκομιδή γίνεται την άνοιξη, ένα εύρημα που συμφωνεί με προηγούμενες εκθέσεις (Ogden *et al.*, 2010; Skrivvars *et al.*, 1998). Στη παρούσα μελέτη και όπως φαίνεται στον Πίνακα 3.6.5, η θερμογόνος δύναμη είχε αυξητική τάση με την πάροδο του χρόνου (από την 1^η κοπή έως την ανοιξιάτικη) ενώ η % περιεκτικότητα σε στάχτη μειωνόταν συνεχώς όπως προαναφέρθηκε.

Πίνακας 3.6.5. Θερμογόνος δύναμη (J/g) και περιεκτικότητα % σε στάχτη της καλλιέργειας του switchgrass για 3 διαφορετικές χρονικές στιγμές συγκομιδής (1^η Κοπή, Συγκομιδή, και Ανοιξιάτικη κοπή μετά από χειμερινές χαμηλές θερμοκρασίες), 2 επίπεδα άρδευσης (I1, I2) και 2 επίπεδα Ν-ούχου λιπάνσεως (N1, N4) σε 2 περιοχές (Παλαμάς, Βελεστίνο).

	ΠΑΛΑΜΑΣ		ΒΕΛΕΣΤΙΝΟ	
	J/g	% Στάχτη	J/g	% Στάχτη
		1η Κοπή		
ΠN1	16.819	5,14	16.924	5,73
ΠN4	17.092	4,45	16.792	5,78
ΙN1	16.960	5,70	16.807	5,76
ΙN4	16.935	4,98	16.883	4,78
		Συγκομιδή		
ΠN1	17.191	4,08	17.007	4,18
ΠN4	17.188	3,63	17.055	3,89
ΙN1	17.126	4,30	16.828	4,69
ΙN4	17.064	4,85	16.985	5,20
		Άνοιξη		
ΠN1	17.708	3,05	17.955	3,62
ΠN4	17.834	3,92	17.736	3,30
ΙN1	18.298	3,15	17.800	4,65
ΙN4	18.348	2,42	17.809	3,97

3.6.3 Απόδοση Θερμογόνου και Στάχτης ανά καλλιεργήσιμο στρέμμα switchgrass

Για να είναι όμως πιο κατανοητοί οι όροι της % περιεκτικότητας σε στάχτη και της θερμογόνου δυνάμεως από το φυτό switchgrass “*Panicum virgatum* L.” της ποικιλίας Alamo, κρίνεται απαραίτητο να αποδοθούν το ενεργειακό φορτίο και τα κιλά της στάχτης που παρέχει ένα στρέμμα της εν λόγω καλλιέργειας. Όπως φαίνεται στον Πίνακα 3.6.6, η περιοχή του Βελεστίνου έναντι του Παλαμά υστερεί λόγω της μικρότερης παραγωγής που έχει αναφερθεί (κεφ. 3.2). Πιο συγκεκριμένα το ενεργειακό φορτίο για την περιοχή του Βελεστίνου κατά την 1^η κοπή (στάδιο 4^{ov} φύλλων) κυμαίνεται από 12,56 έως 15,04 GJ/στρ. με ποσότητα στάχτης, κατά την καύση της βιομάζας για την παραγωγή της παραπάνω ενέργειας, που κυμαίνεται από 40,51 έως 47,88 kg/στρ.. Με την πάροδο του χρόνου και κατά το στάδιο της συγκομιδής το ενεργειακό φορτίο αυξάνεται σε 14,60 - 27,66 GJ/στρ. με απόθεμα στάχτης 31,36 - 81,77kg/στρ.

Πίνακας 3.6.6. Θερμογόνος δύναμη (GJ/στρ.) και στάχτη (kg/στρ.) που παράγονται από την καλλιέργεια του switchgrass σε 2 στάδια ανάπτυξης (1^η Κοπή, Συγκομιδή), 2 επίπεδα άρδευσης (I1, I2) και 4 επίπεδα N-ούχου λιπάσεως (N1, N2, N3, N4) σε 2 περιοχές (Παλαμάς, Βελεστίνο).

	ΠΑΛΑΜΑΣ			ΒΕΛΕΣΤΙΝΟ		ΠΑΛΑΜΑΣ			ΒΕΛΕΣΤΙΝΟ	
	1η Κοπή					Συγκομιδή				
	2012	2011	2010	2012		2012	2011	2010	2012	
	GJ/στρ.									
ΠN1	17,67			13,35		27,69	33,22	27,88	17,94	
ΠN2	18,37			13,41		24,78	45,24	25,35	14,60	
ΠN3	24,37			12,56		44,81	45,21	23,61	15,90	
ΠN4	23,02			13,88		38,03	36,67	29,69	13,75	
I2N1	20,68			13,96		33,31	44,64	30,92	22,96	
I2N2	19,03			12,95		31,65	44,77*	32,04	19,08	
I2N3	25,73			14,41		46,61	51,06	32,35	27,66	
I2N4	26,98			15,04		44,82	42,32	32,37	26,71	
	Στάχτη kg/στρ.									
ΠN1	54,03			45,23		65,76	84,82	66,10	44,07	
ΠN2	49,16			41,35		63,52	140,11	63,74	39,15	
ΠN3	66,59			40,51		112,85	114,47	51,35	40,26	
ΠN4	59,97			47,75		80,36	104,74	76,43	31,36	
I2N1	69,45			47,88		83,54	106,18	68,19	64,05	
I2N2	58,97			44,14		71,18	95,60	89,28	56,95	
I2N3	87,40			42,50		111,86	120,25	58,72	72,92	
I2N4	79,38			42,61		127,25	102,32	69,24	81,77	

* Θερμογόνος δύναμη πετρελαίου 42 MJ/kg ή 42 GJ/t.

Κεφάλαιο: Αποτελέσματα και Συζήτηση – Θερμογόνος Δύναμη και % Περιεκτικότητα Στάχτης

Για την περιοχή του Παλαμά και κατά την 1^η κοπή τα ποσά αυτά είναι μεγαλύτερα με εύρος τιμών για το ενεργειακό φορτίο 17,67-26,98 GJ/στρ. και στάχτη 49,16-87,40 kg/στρ. Κατά το στάδιο της συγκομιδής λόγω της αύξησης της θερμογόνου δύναμης αλλά και της παραγωγής το ενεργειακό φορτίο κυμαίνεται σε εύρος 27,69-46,61 GJ/στρ. και στάχτη από 65,76 έως 127,25 kg/στρ. Φαίνεται λοιπόν ότι, στην περίπτωση της τελικής συγκομιδής (όταν το φυτό βρίσκεται στο στάδιο της ωρίμανσης) οι ελάχιστες τιμές του ενεργειακού φορτίου του Παλαμά αποτελούν τις μέγιστες για τις τιμές του Βελεστίνου.

Τέλος, ο μέσος όρος του ενεργειακού φορτίου για την περιοχή του Παλαμά για διάρκεια 3 ετών είναι περί τα 35,37 GJ/στρ./έτος και η μέση παραγόμενη ποσότητα στάχτης αντιστοιχεί σε 88,66 kg/στρ./έτος, ή διαφορετικά η ποσότητα του switchgrass που κατά την καύση του θα παράξει 1 GJ ενέργειας, θα δημιουργήσει στάχτη 2,5 κιλών.

3.7 Οικονομική μελέτη

Στο παρόν κεφάλαιο εξετάζεται η οικονομικότητα της καλλιέργειας του switchgrass για 2 χρήσεις: α) ως ζωοτροφή (για βοοειδή) και β) ως βιομάζα για την παραγωγή ενέργειας. Θα εξεταστεί αν αποτελεί ελκυστικό κίνητρο για τους Έλληνες αγρότες, τόσο από την πλευρά της κτηνοτροφίας (ζωοτροφές), όσο και υπό το πρίσμα μιας νέας εναλλακτικής εκμετάλλευσης όπως είναι η παραγωγή βιομάζας για μεταποίηση και παραγωγή πελλέτας. Αυτή η ευελιξία στη χρήση της καλλιέργειας θα μπορούσε να παρέχει κίνητρο για την υιοθέτηση της παραγωγής του switchgrass ως νέα εναλλακτική καλλιέργεια (Guretzky *et al.*, 2010).

Οι παράγοντες οι οποίοι εξετάστηκαν ήταν δύο διαφορετικά επίπεδα άρδευσης ($I_1 = 0$ mm, $I_2 = 250$ mm), και τέσσερα διαφορετικά επίπεδα N-ούχου λίπανσης ($N_1 = 0$, $N_2 = 8$, $N_3 = 16$, και $N_4 = 24$ kg N/στρ.). Επιπλέον, υπολογίστηκαν οι δαπάνες τεσσάρων διαφορετικών μεθόδων συγκομιδής (3 διαφορετικά δέματα άχυρου και ενσίρωμα), για τις δύο περιοχές όπου υπήρχε διαφορά στην απόδοση της καλλιέργειας και επομένως επίδραση στη διακύμανση του κόστους συγκομιδής.

3.7.1 Οικονομικότητα της καλλιέργειας του switchgrass για την παραγωγή ζωοτροφής

3.7.1.1 Οικονομικότητα του switchgrass ως νέα εγκατάσταση - αγροτική επιχείρηση

Στον Πίνακα 3.7.1 αναγράφονται τα σταθερά και τα μεταβλητά έξοδα της εγκατάστασης της καλλιέργειας του switchgrass για παραγωγή ζωοτροφής. Είναι φανερό ότι αν τα έξοδα εγκατάστασης διαιρεθούν ανά έτος (ελάχιστος παραγωγικός χρόνος ζωής τα 10 χρόνια), το ποσό που προκύπτει είναι μικρό.

Πίνακας 3.7.1. Έξοδα της καλλιέργειας του switchgrass για ζωοτροφή

€/στρ.	ΠΑΛΑΜΑΣ	ΒΕΛΕΣΤΙΝΟ
ΣΤΑΘΕΡΑ ΕΞΟΔΑ		
Αποσβέσεις	20	20
Ασφάλεια	6,8	6,8
Τόκος επενδεδυμένου κεφαλαίου	26,7	26,7
Ενοίκιο	70	70
Συντήρηση	0,6	0,6
Σύνολο	124,14	124,14
ΜΕΤΑΒΛΗΤΑ ΕΞΟΔΑ		
Εγκατάσταση		
Όργωμα	9	7
Καλλιεργητής	4	2
Σβολοκόφτης	6	4
Σπαρτική	2	2
Λιπασματοδιανομέας	2	2
Σπόροι	46,2	46,2
Εργατικά	5,92	5,92
Σύνολο	75,12	69,12
Ετήσια		
Εγκατάσταση	7,512	6,912

*Τα έξοδα εγκατάστασης διαιρούνται με 10 έτη, που είναι τα ελάχιστα χρόνια που το switchgrass μπορεί να επαναβλαστήσει.

Ο Πίνακας 3.7.2 δείχνει τις σημαντικές διαφορές ($P > 0.05$), που βρέθηκαν μεταξύ των επιπέδων άρδευσης και N-ούχου λίπανσης στην παραγωγή της καλλιέργειας για τη μέθοδο συγκομιδής ενσιρώματος. Βρέθηκε ότι, η απόδοση του switchgrass για την παραγωγή ενσιρώματος (65% περιεκτικότητα σε υγρασία) επηρεάστηκε σημαντικά ($P < 0.05$) από το επίπεδο άρδευσης (Πίν. 3.7.2) μόνο για την περιοχή του Βελεστίνου κατά τη διάρκεια του 3^{ου} έτους εγκατάστασης. Επιπλέον, τα επίπεδα της N-ούχου λίπανσης δεν επέφεραν επίδραση στην απόδοση του switchgrass στην περίπτωση του ενσιρώματος ($P < 0.05$). Η υψηλότερη απόδοση (5,44 t/στρ.) καταγράφηκε για το επίπεδο της N-ούχου

Κεφάλαιο: Αποτελέσματα και Συζήτηση – Οικονομική μελέτη

λίπανσης με 16 kg N/στρ., το 3^ο έτος ανάπτυξης της καλλιέργειας στην περιοχή του Παλαμά.

Πίνακας 3.7.2. Επίδραση των επιπέδων άρδευσης και N-ούχου λιπάνσεως στην απόδοση του switchgrass (t/στρ.) για την παραγωγή ζωοτροφών (ενσίρωμα).

t/στρ.	ΠΑΛΑΜΑΣ		ΒΕΛΕΣΤΙΝΟ	
	2011 2η Χρονιά	2012 3η Χρονιά	2011 2η Χρονιά	2012 3η Χρονιά
Επίπεδα άρδευσης (mm)				
Ξηρικό (I1:0)	4,86	5,11	1,54	2,09
Αρδευόμενο (I2:250)	5,06	5,08	2,04	2,96
LSD _{0,05}	ns	ns	ns	0,83
Επίπεδα N-λίπανσης (kg/στρ.)				
0	4,64	4,43	1,50	2,77
8	4,51	5,35	1,94	2,35
16	5,36	5,44	2,16	2,36
24	5,28	5,18	1,56	2,58
LSD _{0,05}	ns	ns	ns	ns

*LSD: ελάχιστη σημαντική διαφορά σε P<0.05, **ns: μη σημαντικό

Στον Πίνακα 3.7.3 φαίνεται ότι δεν παρατηρήθηκαν στατιστικώς σημαντικές διαφορές στην παραγωγή της καλλιέργειας με τη μέθοδο συγκομιδής των δεμάτων (15% περιεκτικότητα σε υγρασία), μεταξύ των επιπέδων άρδευσης και N-ούχου λίπανσης. Η υψηλότερη απόδοση του switchgrass για παραγωγή σανού (2,19 t/στρ.) σημειώθηκε για το επίπεδο της N-ούχου λίπανσης των 16 kg N /στρ., στον Παλαμά κατά τη διάρκεια του 3^{ου} έτους ανάπτυξης.

Πίνακας 3.7.3. Επίδραση των επιπέδων άρδευσης και N-ούχου λιπάνσεως στην απόδοση του switchgrass (t/στρ.) για την παραγωγή ζωοτροφών (δέματα σανού).

t/στρ.	ΠΑΛΑΜΑΣ		ΒΕΛΕΣΤΙΝΟ	
	2011 2η Χρονιά	2012 3η Χρονιά	2011 2η Χρονιά	2012 3η Χρονιά
Επίπεδα άρδευσης (mm)				
Ξηρικό (I1:0)	1,83	2,11	0,70	1,10
Αρδευόμενο (I2:250)	1,92	2,01	0,88	1,33
LSD _{0,05}	ns	ns	ns	ns
Επίπεδα N-λίπανσης (kg/στρ.)				
0	1,81	1,80	0,65	1,29
8	1,75	2,14	0,90	1,18
16	2,00	2,19	0,94	1,13
24	1,94	2,11	0,67	1,26
LSD _{0,05}	ns	ns	ns	ns

*LSD: ελάχιστη σημαντική διαφορά σε P<0.05, **ns: μη σημαντικό

Κεφάλαιο: Αποτελέσματα και Συζήτηση – Οικονομική μελέτη

Στον πίνακα 3.7.4 αναγράφονται τα έξοδα της καλλιέργειας του switchgrass. Το ανώτερο κόστος παραγωγής σημειώθηκε στην περίπτωση του μικρού δέματος των 22 kg, κατά το 3^ο έτος ανάπτυξης της καλλιέργειας για την περιοχή του Παλαμά, όπου οι απαιτούμενες δαπάνες για την περίπτωση αυτή είναι περί τα 224,9 €/στρ.

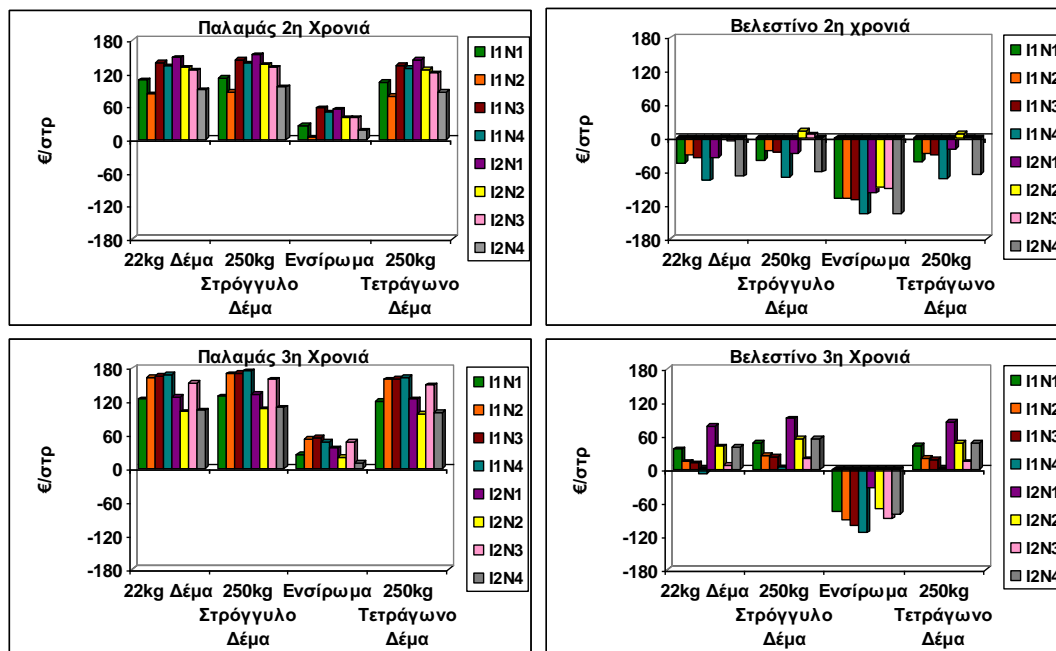
Από την άλλη πλευρά, η περίπτωση με το χαμηλότερο κόστος παραγωγής ήταν τα δέματα των 250 kg (στρογγυλά ή τετράγωνα) κατά τη διάρκεια του 2^{ου} έτους ανάπτυξης 2011 στο Βελεστίνο, όπου η απόδοση ήταν χαμηλότερη, και τα απαιτούμενα έξοδα ανέρχονται στα 147,3 €/στρ..

Πίνακας 3.7.4. Διακύμανση του κόστους καλλιέργειας (€/στρ.) του switchgrass για παραγωγή ζωοτροφής λόγω της περιοχής, των μεταχειρίσεων και της ετήσιας απόδοσης

€/στρ.	Παλαμάς		Βελεστίνο		Παλαμάς		Βελεστίνο		Παλαμάς		Βελεστίνο		Παλαμάς		Βελεστίνο	
	2 ^η	3 ^η	2 ^η	3 ^η	2 ^η	3 ^η	2 ^η	3 ^η	2 ^η	3 ^η	2 ^η	3 ^η	2 ^η	3 ^η	2 ^η	3 ^η
	22kg Δέμα - Μπάλα				250kg Στρογγυλο Δέμα-Μπάλα				Ενσίρωμα				250kg τετράγωνο Δέμα-Μπάλα			
Εγκατάσταση	7,5		6,9		7,5		6,9		7,5		6,9		7,5		6,9	
Εργατικά																
I1N1			1,1				1,1				0				1,1	
I1 (N2-N3-N4)			1,3				1,3				0,2				1,3	
I2N1			1,5				1,5				0,4				1,5	
I2 (N2-N3-N4)			1,7				1,7				0,6				1,7	
Άρδευση																
I1	0		0		0		0		0		0		0		0	
I2	4		6		4		6		4		6		4		6	
N-ούχος Λίπανση																
N1	0		0		0		0		0		0		0		0	
N2	12,8		12,3		12,8		12,3		12,8		12,3		12,8		12,3	
N3	24,1		23,6		24,1		23,6		24,1		23,6		24,1		23,6	
N4	35,4		34,9		35,4		34,9		35,4		34,9		35,4		34,9	
Συγκομιδή																
I1N1	37,7	40,4	16,3	31,0	33,1	35,5	10,2	19,3					33,1	35,5	10,2	19,3
I1N2	35,7	48,4	21,0	29,2	31,5	42,6	13,1	18,2					31,5	42,6	13,1	18,2
I1N3	46,3	50,4	22,4	30,7	40,7	44,4	14,0	19,1					40,7	44,4	14,0	19,1
I1N4	47,1	52,6	17,0	29,4	41,5	46,2	10,6	18,3	30	30	28	28	41,5	46,2	10,6	18,3
I2N1	44,6	41,5	19,4	39,4	39,3	36,6	12,1	24,5					39,3	36,6	12,1	24,5
I2N2	43,9	39,5	28,2	35,2	38,7	34,8	17,5	21,9					38,7	34,8	17,5	21,9
I2N3	44,8	49,3	29,1	31,2	39,4	43,4	18,1	19,4					39,4	43,4	18,1	19,4
I2N4	41,1	43,4	19,6	39,1	36,2	38,2	12,2	24,4					36,2	38,2	12,2	24,4

Κεφάλαιο: Αποτελέσματα και Συζήτηση – Οικονομική μελέτη

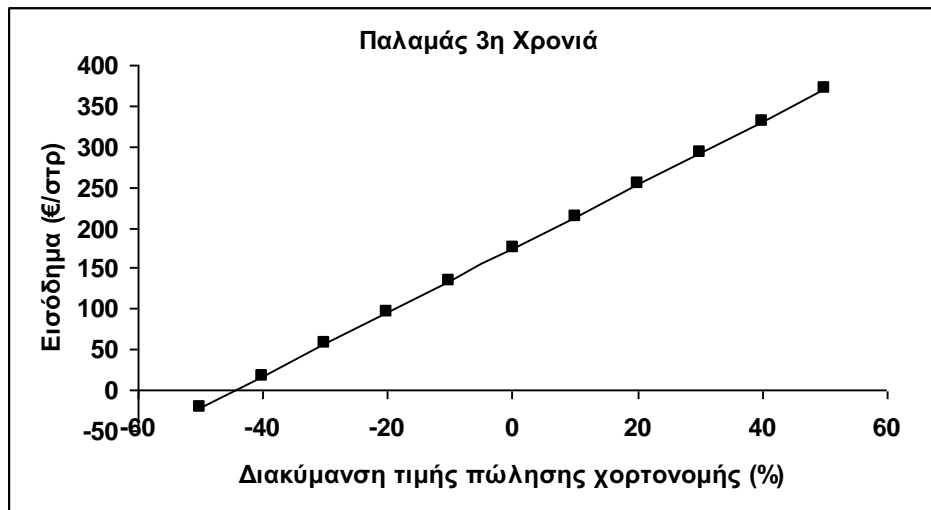
Το καθαρό κέρδος που προκύπτει από την καλλιέργεια του switchgrass για την παραγωγή σανού ή ενσιρώματος, απεικονίζεται στο Σχήμα 3.6.1. Είναι εμφανές ότι οι παραγωγοί έχουν κέρδος σχεδόν σε κάθε περίπτωση σανού και για τις 2 περιοχές (Παλαμάς, Βελεστίνο), όταν το switchgrass βρίσκεται σε πλήρη παραγωγή. Στην περιοχή του Βελεστίνου κατά τη διάρκεια του 2^{ου} έτους αύξησης (2011) οι γεωργοί έχουν κέρδος μόνο για την περίπτωση παραγωγής σανού στη μεταχείριση της αρδευομένης καλλιέργειας με N-ούχου λίπανση των 8 kg N /στρ.. Επιπλέον, και για τις 2 χρονιές η μέθοδος συγκομιδής του ενσιρώματος επιφέρει ζημία στους παραγωγούς του Βελεστίνου, λόγω των αυξημένων εξόδων συγκομιδής (η τιμή συγκομιδής ενσιρώματος συνδέεται με την έκταση και όχι με την παραγωγή).



Σχήμα 3.7.1. Κέρδος παραγωγού (€/στρ.) από την καλλιέργεια switchgrass, όπως παρατηρείται για τις περιοχές μελέτης (Παλαμάς και Βελεστίνο) κατά τη διάρκεια του 2^{ου} και 3^{ου} έτους ανάπτυξης, υπό την επίδραση 2 επιπέδων άρδευσης και 4 επιπέδων N-ούχου λίπανσης, για 4 διαφορετικές μεθόδους συγκομιδής (νέα εγκατάσταση για ζωοτροφή).

Στον Παλαμά, η μέθοδος του ενσιρώματος μπορεί να αποφέρει κέρδος της τάξης των 35 €/στρ., καθιστώντας την καλλιέργεια μη ελκυστική για αντικατάσταση των παραδοσιακών καλλιεργειών. Η μέθοδος συγκομιδής με το υψηλότερο εισόδημα παραγωγού είναι τα μεγάλα δέματα (μπάλες) σανού και για τις 2 περιοχές. Στην

περίπτωση της μεθόδου συγκομιδής των μεγάλων δεμάτων σανού (τετράγωνο ή στρογγυλό), ο μέσος όρος του κέρδους των παραγωγών είναι περί τα 144,3 και 93,8 €/στρ. για τον Παλαμά και το Βελεστίνο, αντίστοιχα. Το μεγαλύτερο εισόδημα παραγωγού επιτεύχθηκε για την περιοχή του Παλαμά κατά το 3^ο έτος ανάπτυξης της καλλιέργειας, για τη μη αρδευόμενη καλλιέργεια με N-ούχο λίπανση 16 και 24 kg N/στρ. Με τη μέθοδο αυτή (των 250 kg δεμάτων) το εισόδημα του γεωργού ανέρχεται στα 174,5 €/στρ.. Για την περίπτωση αυτή (βέλτιστη περίπτωση), πραγματοποιήθηκε ανάλυση ευαισθησίας (Σχ. 3.7.2) κατά την οποία και βρέθηκε ότι μείωση της τάξης του 45% στην τιμή πώλησης της χορτονομής, αποτελεί περιοριστικό παράγοντα για την καλλιέργεια switchgrass. Δηλαδή με την μείωση αυτή το εισόδημα του παραγωγού γίνεται μηδενικό.



Σχήμα 3.7.2. Επίδραση της μεταβολής των τιμών της χορτονομής (σανού) στο κέρδος του παραγωγού για την περίπτωση των 250 kg δεματιών για τον Παλαμά κατά το 3^ο έτος, στην αρδευόμενη καλλιέργεια με N-ούχο λίπανση 16kg/στρ..

Όπως έχει ήδη αναφερθεί, για την οικονομική αποδοτικότητα των διαφορετικών γεωργικών πρακτικών του switchgrass για την παραγωγή ζωοτροφών χρησιμοποιήθηκε για πρώτη φορά σε έλεγχο καλλιεργητικών εξόδων το πρόγραμμα “*Data Envelopment Analysis (DEA)*”, που αποτελεί μη παραμετρικό μοντέλο. Ως εισροές χρησιμοποιήθηκαν το κόστος παραγωγής για τις διάφορες μεταχειρίσεις της καλλιέργειας και τις μεθόδους συγκομιδής. Πιο συγκεκριμένα, χρησιμοποιήθηκαν το κόστος παραγωγής και τα έξοδα του switchgrass όταν συλλέγεται ως στρογγυλό δέμα 250 kg, ορθογώνιο δέμα 250 kg,

Κεφάλαιο: Αποτελέσματα και Συζήτηση – Οικονομική μελέτη

ορθογώνιο δέμα 22 kg, και ως ενσίρωμα. Ως εκροές χρησιμοποιήθηκαν τα έσοδα που επιτυγχάνονται. Ως μονάδες λήψεως αποφάσεων (DMU: decision making units) χρησιμοποιήθηκαν οι διαφορετικοί συνδυασμοί της άρδευσης και της N-ούχου λίπανσης που εφαρμόστηκαν στις δύο περιοχές (Παλαμάς, Βελεστίνο), έχοντας συνολικά 16 DMU. Εφαρμόστηκαν δύο ξεχωριστοί υπολογισμοί (CRS: constant return of scale, VRS: variable return of scale) για το δεύτερο και το τρίτο έτος ανάπτυξης της καλλιέργειας.

Πίνακας 3.7.5. Περιγραφικά στατιστικά

	VRS	CRS
2^η Χρονιά		
Μέσος	0,65999	0,59815
Τυπική Απόκλιση	0,197647	0,181266
Ελάχιστο	0,37805	0,37622
Μέγιστο	1	1
3^η Χρονιά		
Μέσος	0,76329	0,64061
Τυπική Απόκλιση	0,210331	0,209881
Ελάχιστο	0,40856	0,38063
Μέγιστο	1	1

Στον Πίνακα 3.7.5 αναγράφονται τα συγκεντρωτικά αποτελέσματα της αποτελεσματικότητας που επιτυγχάνεται, όταν εφαρμόζονται οι δύο διαφορετικές μέθοδοι του DEA, με τα αποτελέσματα της CRS μεθόδου να δείχνουν χαμηλότερες τιμές από τις VRS. Το πιο ενδιαφέρον εύρημα είναι η σημαντική μείωση της απόδοσης, όταν τα επίπεδα του αζώτου αυξάνονται. Ο Πίνακας 3.7.5 παρουσιάζει τα περιγραφικά στατιστικά στοιχεία των τιμών της αποτελεσματικότητας και των δύο μεθόδων. Είναι προφανές ότι, υπάρχει σημαντική βελτίωση των βαθμών απόδοσης για τις δύο μεθοδολογίες, ανάμεσα στο δεύτερο και το τρίτο έτος της καλλιέργειας.

Και στις δύο περιπτώσεις (Παλαμάς, Βελεστίνο) οι τιμές (scores) απόδοσης ακολουθούν την ίδια τάση, επαληθεύοντας την έλλειψη της αναγκαιότητας υψηλών επιπέδων N-ούχου λίπανσης προκειμένου η καλλιέργεια του switchgrass να επιφέρει βελτιωμένα αποτελέσματα, όπως φαίνεται και στον Πίνακα 3.7.6.

Πίνακας 3.7.6. Αποδοτικότητα μέσω των για τα διαφορετικά επίπεδα N-ούχου λιπάνσεως

	VRS		CRS	
	2 ^η Χρονιά		3 ^η Χρονιά	
Παλαμάς N1	1	0,821225	1	0,82235
Παλαμάς N2	0,73908	0,614385	0,924605	0,617115
Παλαμάς N3	0,58027	0,491045	0,81682	0,493865
Παλαμάς N4	0,500015	0,40965	0,581675	0,410135
Βελεστίνο N1	0,808045	0,80711	0,78987	0,78971
Βελεστίνο N2	0,59974	0,592905	0,791675	0,791345
Βελεστίνο N3	0,58281	0,58073	0,616615	0,61635
Βελεστίνο N4	0,46995	0,468165	0,58505	0,58399

N-ούχος λίπανση: N1-0, N2-8, N3-16, N4-24 kg N/στρ..

Για να διαπιστωθεί αν υπάρχουν σημαντικές αλλαγές στις τιμές αποτελεσματικότητας μεταξύ των διαφόρων επιπέδων άρδευσης, στον Πίνακα 3.7.7 παρουσιάζονται τα περιγραφικά στατιστικά στοιχεία των τιμών απόδοσης ανά επίπεδο άρδευσης και έτος. Είναι αρκετά σαφές και στις δύο μεθοδολογίες (CRS και VRS) ότι υπάρχει μια μη σημαντική μείωση των τιμών για τον Παλαμά. Αντιθέτως, η μείωση των τιμών στο Βελεστίνο είναι αρκετά υψηλή, που σημαίνει ότι η καλλιέργεια του switchgrass για την παραγωγή ζωοτροφών σε περιοχές με υψηλό κόστος άρδευσης θα πρέπει να αποφεύγεται.

Πίνακας 3.7.7. Αποδοτικότητα μέσω των για τα διαφορετικά επίπεδα άρδευσης

	VRS		CRS	
	2 ^η Χρονιά		3 ^η Χρονιά	
Παλαμάς I1	0,725331	0,647784	0,857772	0,649647
Παλαμάς I2	0,684349	0,520366	0,803778	0,522082
Βελεστίνο I1	0,739268	0,735381	0,890752	0,890189
Βελεστίνο I2	0,491005	0,489074	0,500854	0,500507

Επίπεδα άρδευσης: I1-0 mm, I2-250 mm

Συνοψίζοντας, φαίνεται ότι το switchgrass ως πολυετές φυτό έχει αυξημένο κόστος εγκατάστασης, που ως επί το πλείστον εξαρτάται από την υψηλή τιμή των σπόρων. Το κόστος όμως εγκατάστασης δεν είναι μεγάλο αν διανεμηθεί στον κύκλο ζωής της καλλιέργειας. Το κόστος παραγωγής εξαρτάται σε μεγάλο βαθμό από τη μέθοδο συγκομιδής, με το κόστος των δεματίων (μπάλες) σανού να εξαρτάται από την παραγωγή της βιομάζας. Το κόστος μιας μικρής μπάλας (22 kg) έχει εύρος 0,5-0,6 €/δέμα και μιας

Κεφάλαιο: Αποτελέσματα και Συζήτηση – Οικονομική μελέτη

μεγάλης (250 kg) 4,25-5 €/μπάλα. Συνεπώς, η περίπτωση των μικρών δεματιών έχει αυξημένο κόστος συγκομιδής περί τα 3 € t⁻¹.

Επιπλέον, λόγω του σταθερού κόστους συγκομιδής (28-30 €/στρ.), το ενσίρωμα δεν είναι οικονομικά βιώσιμη μέθοδος για παραγωγές χαμηλής απόδοσης όπως στο Βελεστίνο, σε αντίθεση με την παραγωγή σανού που εξαρτάται από την τελική απόδοση (€/μπάλα). Η μέθοδος συγκομιδής της ενσίρωσης φαίνεται να είναι θετική στην περίπτωση του switchgrass μόνο για εδάφη με ύπαρξη υδροφόρου ορίζοντα ή περιοχές με υψηλή βροχόπτωση, όπου η καλλιέργεια επιτυγχάνει υψηλές αποδόσεις.

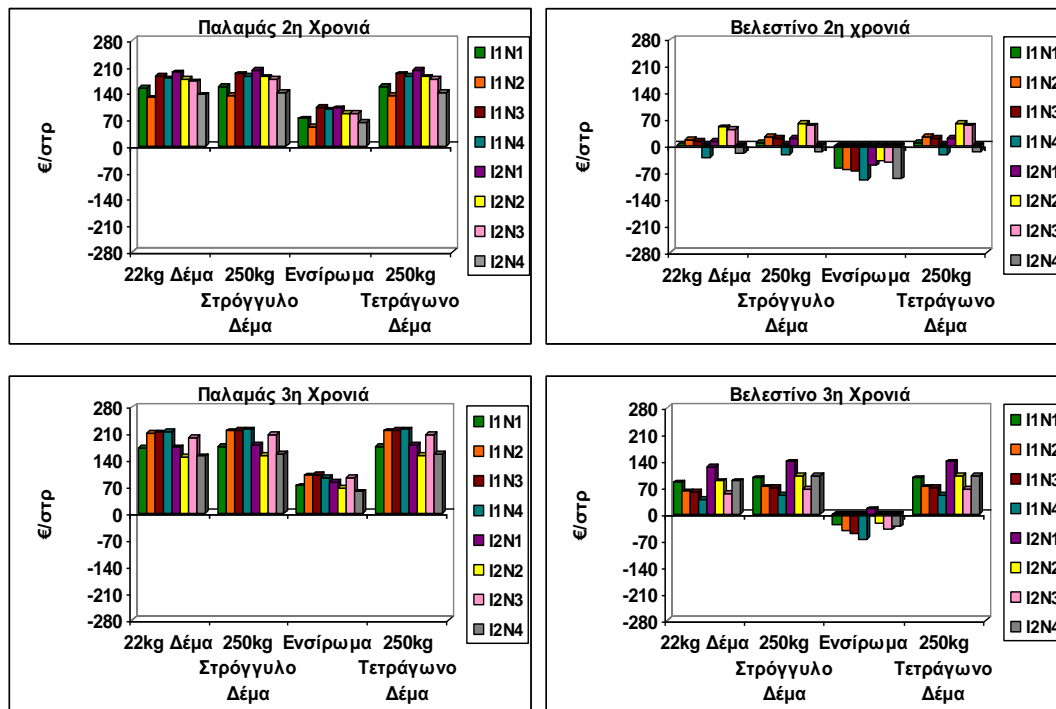
Το switchgrass μοιάζει να αποτελεί μια πολλά υποσχόμενη εναλλακτική (πολυετή) καλλιέργεια, παράγοντας μία ικανοποιητική ποσότητα ζωοτροφής και ενός εισοδήματος περί τα 174,5 €/στρ. Το κέρδος αυτό είναι παρόμοιο με εκείνο της καλλιέργειας της μηδικής (170-190 €/στρ.) (Lony *et al.*, 2008), αλλά το πλεονέκτημα της καλλιέργειας του switchgrass είναι ότι η συγκομιδή λαμβάνει χώρα (στην παρούσα έρευνα) μία φορά ανά έτος ενώ στη μηδική 4-5 φορές (μαχαίρια) ανά έτος. Ως εκ τούτου, εκτός από το οικονομικό πλεονέκτημα του switchgrass, υπάρχουν και περιβαλλοντικά πλεονεκτήματα που προκύπτουν από τον περιορισμό της χρήσης των γεωργικών μηχανημάτων και της μείωσης των απαιτήσεων σε εργασία. Ακόμη, μειώνεται συνολικά το ρίσκο που συνοδεύει την καλλιέργεια της μηδικής κατά της περιόδους ξήρανσης του προϊόντος λόγω της υψηλής εξάρτησης από τις επικρατούσες καιρικές συνθήκες.

Η χρήση του “DEA” έδειξε ότι, το switchgrass δεν απαιτεί υψηλές ποσότητες N-ούχου λίπανσης για να αυξήσει την παραγωγικότητά του και αποδείχθηκε ότι η υψηλότερη παραγωγή μπορεί να επιτευχθεί σε περιοχές με υψηλό υδροφόρο ορίζοντα. Η ένταξη στον γεωργικό σχεδιασμό αυτής της καλλιέργειας θα οδηγήσει σε ικανοποιητικό γεωργικό εισόδημα, καθώς και σε περιβαλλοντική προστασία του αγροτικού χώρου εξαιτίας των χαμηλών απαιτήσεων και εισροών αζώτου.

3.7.1.2 Οικονομικότητα του switchgrass για αντικατάσταση παραδοσιακών καλλιεργειών

Στην παρούσα χρονική συγκυρία θεωρείται απαραίτητο να διερευνηθεί η αντικατάσταση παραδοσιακών καλλιεργειών με την καλλιέργεια του switchgrass. Όπως έχει προαναφερθεί, η υιοθέτηση της καλλιέργειας δεν απαιτεί την αγορά κάποιου καινούργιου αγροτικού μηχανήματος, οπότε η δαπάνη των αποσβέσεων δεν είναι αναγκαίο να επανεκτιμηθεί, με αποτέλεσμα το τελικό εισόδημα να αυξάνεται κατά 46,7 €/στρ.. Στο Σχήμα 3.7.3 απεικονίζονται οι τιμές που προκύπτουν για το αγροτικό εισόδημα με την αντικατάσταση των παραδοσιακών καλλιεργειών. Στην περίπτωση αυτή, φαίνεται ότι η καλλιέργεια του switchgrass αρχίζει να αποκτά οικονομικό ενδιαφέρον και για την περιοχή του Βελεστίνου για τις αρδευόμενες μεταχειρίσεις με τη μέθοδο συγκομιδής των μεγάλων δεματίων (250 kg). Το εισόδημα που αποδίδει είναι κατά μέσο όρο περί τα 101 €/στρ. στο 3^ο έτος εγκατάστασης (Σχ. 3.7.3). Το παραπάνω ποσό θεωρείται σημαντικό αφού προκύπτει ως πρόσδοδος από αροτραία καλλιέργεια. Στην περίπτωση του Παλαμά το εισόδημα κυμαίνεται περί τα 175 €/στρ.

Κεφάλαιο: Αποτελέσματα και Συζήτηση – Οικονομική μελέτη



Σχήμα 3.7.3. Κέρδος παραγωγού (€/στρ.) από την καλλιέργεια switchgrass, όπως παρατηρείται για τις περιοχές μελέτης (Παλαμάς και Βελεστίνο) κατά τη διάρκεια του 2^{ου} και 3^{ου} έτους ανάπτυξης, υπό την επίδραση 2 επιπέδων άρδευσης και 4 επιπέδων Ν-ούχου λίπανσης, για 4 διαφορετικές μεθόδους συγκομιδής (αντικατάσταση παραδοσιακών καλλιεργειών για ζωοτροφή).

3.7.2 Οικονομικότητα της καλλιέργειας του switchgrass για την παραγωγή στερεών καυσίμων (πελλέτας)

3.7.2.1 Οικονομικότητα του switchgrass ως νέα εγκατάσταση - αγροτική επιχείρηση

Στον Πίνακα 3.7.8 αναγράφονται τα σταθερά και τα μεταβλητά έξοδα εγκατάστασης της καλλιέργειας του switchgrass για παραγωγή στερεών καυσίμων (πελλέτας).

Πίνακας 3.7.8. Έξοδα (€/στρ.) της καλλιέργειας του switchgrass για πελλέτα

€/στρ.	ΠΑΛΑΜΑΣ	ΒΕΛΕΣΤΙΝΟ
ΣΤΑΘΕΡΑ ΕΞΟΔΑ		
Αποσβέσεις	20	20
Ασφάλεια	0,5	0,5
Τόκος επενδεδυμένου κεφαλαίου	26,7	26,7
Ενοίκιο	70	70
Συντήρηση	0,6	0,6
Σύνολο	117,84	117,84
ΜΕΤΑΒΛΗΤΑ ΕΞΟΔΑ		
Εγκατάστασης		
Όργωμα	9	7
Καλλιεργητής	4	2
Σβολοκόφτης	6	4
Σπαρτική	2	2
Λιπασμα τοδιανομέας	2	2
Σπόροι	46,2	46,2
Εργατικά	5,92	5,92
Σύνολο	75,12	69,12
Ετήσια		
Εγκατάσταση	7,512	6,912

*Τα έξοδα εγκατάστασης διαιρούνται με 10 έτη, που είναι τα ελάχιστα χρόνια επαναβλάστησης του switchgrass.

Στον Πίνακα 3.7.9 αναγράφονται οι σημαντικές διαφορές ($P > 0,05$), που σημειώθηκαν μεταξύ των επιπέδων άρδευσης και N-ούχου λίπανσης κατά τη συγκομιδή για παραγωγή στερεών καυσίμων (πελλέτας). Η απόδοση του switchgrass για την παραγωγή πελλέτας (ξηρή βιομάζα) επηρεάστηκε σημαντικά ($P < 0,05$) από το επίπεδο άρδευσης (Πίν. 3.7.9) μόνο για την περιοχή του Βελεστίνου κατά τη διάρκεια του 3^{ου} έτους ανάπτυξης. Επιπλέον, τα επίπεδα της N-ούχου λίπανσης δεν επέφεραν επίδραση στην απόδοση της καλλιέργειας ($P < 0,05$). Η υψηλότερη απόδοση (2,77 t/στρ.) σημειώθηκε για το επίπεδο της N-ούχου λίπανσης των 16 kg N/στρ., στον Παλαμά.

Πίνακας 3.7.9. Επίδραση των επιπέδων άρδευσης και N-ούχου λίπανσης στην απόδοση του switchgrass (t/στρ.) για την παραγωγή πελλέτας.

t/στρ.	ΠΑΛΑΜΑΣ		ΒΕΛΕΣΤΙΝΟ	
	2011 2η Χρονιά	2012 3η Χρονιά	2011 2η Χρονιά	2012 3η Χρονιά
Επίπεδα άρδευσης (mm)				
Ξηρικό (11:0)	2,30	2,32	0,84	0,92
Αρδευόμενο (12:250)	2,16	2,65	0,82	1,43
LSD _{0,0.5}	ns	ns	ns	0,283
Επίπεδα N-λίπανσης (kg/στρ.)				
0	2,19	2,25	0,76	1,22
8	2,32	2,62	0,92	1,00
16	2,13	2,77	0,81	1,29
24	2,28	2,29	0,83	1,19
LSD _{0,0.5}	ns	ns	ns	ns

*LSD: ελάχιστη σημαντική διαφορά σε P<0.05, **ns: μη σημαντικό

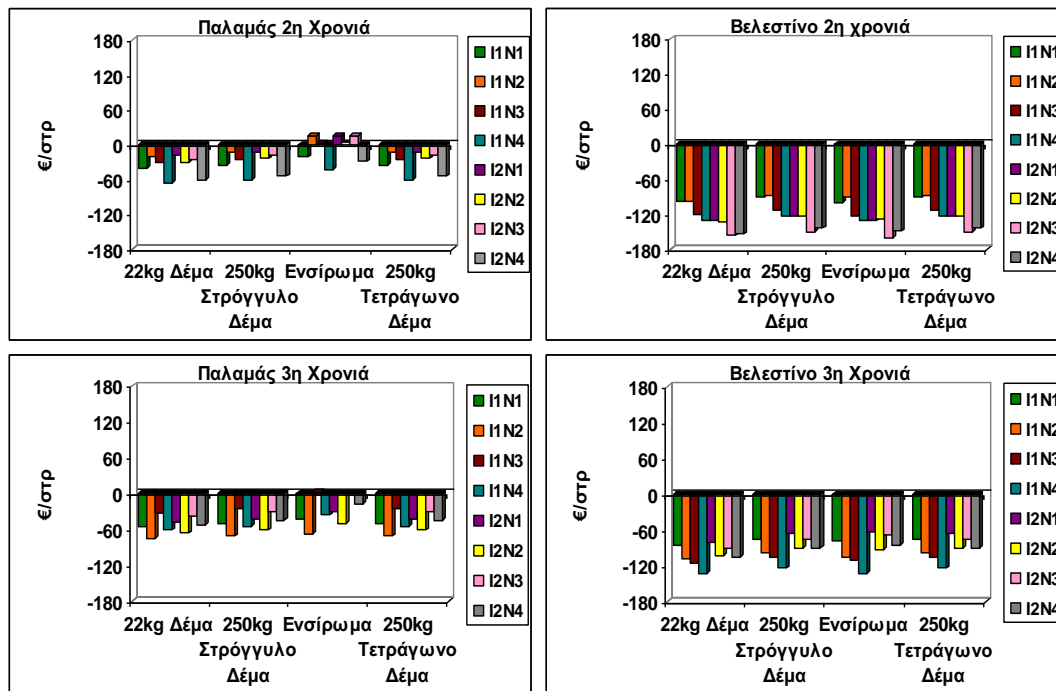
Στον Πίνακα 3.7.10 αναγράφονται τα ετήσια μεταβλητά έξοδα της καλλιέργειας του switchgrass. Το ανώτερο κόστος παραγωγής σημειώθηκε για την περίπτωση του μικρού δέματος των 22 kg, κατά το 3^ο έτος ανάπτυξης της καλλιέργειας στην περιοχή του Παλαμά, όπου οι απαιτούμενες δαπάνες είναι περί τα 236,6 €/στρ.

Από την άλλη πλευρά, η περίπτωση με το χαμηλότερο κόστος παραγωγής ήταν η μέθοδος συγκομιδής των 250 kg δεματίων (στρογγυλά ή τετράγωνα) κατά τη διάρκεια του 2^{ου} έτους ανάπτυξης στο Βελεστίνο, όπου η απόδοση είναι η χαμηλότερη και τα απαιτούμενα έξοδα ανέρχονται στα 144,2 €/στρ..

Πίνακας 3.7.10. Διακύμανση του κόστους καλλιέργειας (€/στρ.) του switchgrass για παραγωγή στερεών καυσίμων λόγω της περιοχής, των μεταχειρίσεων και της ετήσιας απόδοσης

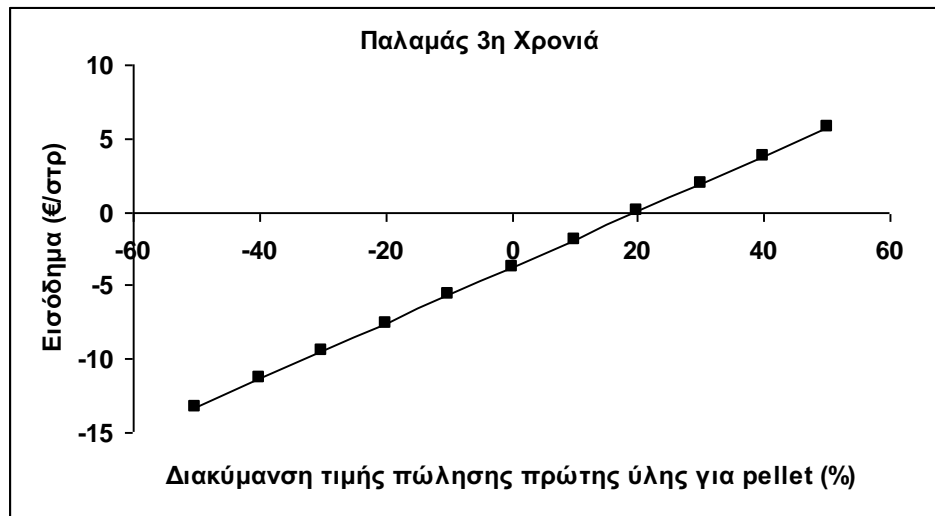
€/στρ.	Παλαμάς Χρονιά		Βελεστίνο Χρονιά		Παλαμάς Χρονιά		Βελεστίνο Χρονιά		Παλαμάς Χρονιά		Βελεστίνο Χρονιά					
	2 ^η	3 ^η	2 ^η	3 ^η	2 ^η	3 ^η	2 ^η	3 ^η	2 ^η	3 ^η	2 ^η	3 ^η				
Εγκατάσταση	22kg Δέμα - Μπάλα				250kg Στρόγγυλο Δέμα-Μπάλα				Ενσίρωμα				250kg τετράγωνο Δέμα-Μπάλα			
	7,5		6,9		7,5		6,9		7,5		6,9		7,5		6,9	
Εργατικά																
ΠN1			1,1				1,1				0				1,1	
Π (N2-N3-N4)			1,3				1,3				0,2				1,3	
Ι2N1			1,5				1,5				0,4				1,5	
Ι2 (N2-N3-N4)			1,7				1,7				0,6				1,7	
Άρδευση																
Π	0		0		0		0		0		0		0		0	
Ι2	10		30		10		30		10		30		10		30	
N-ούχος Λίπανση																
N1	0		0		0		0		0		0		0		0	
N2	12,8		12,3		12,8		12,3		12,8		12,3		12,8		12,3	
N3	24,1		23,6		24,1		23,6		24,1		23,6		24,1		23,6	
N4	35,4		34,9		35,4		34,9		35,4		34,9		35,4		34,9	
Συγκομιδή																
ΠN1	44	37	21	29	38	32	13	18					38	32	13	18
ΠN2	60	33	29	23	53	29	18	15					53	29	18	15
ΠN3	59	59	21	26	52	52	13	16					52	52	13	16
ΠN4	48	50	22	22	42	44	14	14					42	44	14	14
Ι2N1	59	44	20	37	52	39	13	23	30	30	28	28	52	39	13	23
Ι2N2	59	42	26	31	52	37	16	19					52	37	16	19
Ι2N3	67	62	18	45	59	54	11	28					59	54	11	28
Ι2N4	56	60	27	43	49	53	17	27					49	53	17	27

Το κέρδος των παραγωγών από την καλλιέργεια του switchgrass για την παραγωγή στερεών καυσίμων με τιμή πώλησης τα 70 €/t ξηρής βιομάζας, απεικονίζεται στο Σχήμα 3.7.4. Είναι φανερό ότι, οι μοναδικές περιπτώσεις επίτευξης κέρδους είναι μόνο για την περιοχή του Παλαμά κατά το 2^ο έτος ανάπτυξης, όπου σημειώθηκε αυξημένη παραγωγή και χαμηλό κόστος άρδευσης (10 €/στρ. έναντι 30 €/στρ. για το Βελεστίνο) με τη μέθοδο συγκομιδής του ενσίρωματος. Τα αποτελέσματα ήταν αναμενόμενα λόγω των υψηλών σταθερών δαπανών (Πίν. 3.7.8) σε συνδυασμό με την τιμή πώλησης (εύρος εξόδων συγκομιδής 28-55 €/στρ., συμπεριλαμβανομένων όλων των μεθόδων και για τις 2 περιοχές).



Σχήμα 3.7.4. Κέρδος παραγωγού (€/στρ.) από την καλλιέργεια switchgrass, όπως παρατηρείται για τις περιοχές μελέτης (Παλαμάς και Βελεστίνο) κατά τη διάρκεια του 2^{ου} και 3^{ου} έτους ανάπτυξης, υπό την επίδραση 2 επιπέδων άρδευσης και 4 επιπέδων N-ούχου λίπανσης, για 4 διαφορετικές μεθόδους συγκομιδής (νέα εγκατάσταση για παραγωγή στερεών καυσίμων).

Για την εύρεση της καταλληλότερης τιμής πώλησης της ξηρής βιομάζας για παραγωγή στερεών καυσίμων (πελλέτας), πραγματοποιήθηκε ανάλυση ευαισθησίας (Σχ. 3.7.4) για την περίπτωση της αρδευόμενης καλλιέργειας με N-ούχο λίπανση (N3: 16 kg/στρ.) στον Παλαμά και με τη μέθοδο συγκομιδής της μπάλας των 22 kg, όπου η ζημία του παραγωγού ανέρχεται στα 38 €/στρ. (ενώ τα έξοδα είναι περί τα 227 €/στρ.). Για την περίπτωση αυτή βρέθηκε ότι τα 84 €/t αποτελούν την τιμή πώλησης της ξηρής βιομάζας του switchgrass, όπου τα έσοδα εξισορροπούνται με τα έξοδα (νεκρό σημείο). Δηλαδή με αύξηση 20% στην αρχική τιμή πώλησης το εισόδημα του παραγωγού γίνεται μηδενικό.



Σχήμα 3.7.5. Επίδραση της μεταβολής των τιμών της ξηρής βιομάζας στο κέρδος του παραγωγού για την περίπτωση των 22 kg δεματιών στον Παλαμά για την αρδευόμενη καλλιέργεια με N-ούχο λίπανση 16 kg/στρ.

Σε μελέτες στη Βόρεια Αμερική, φαίνεται ότι το switchgrass έχει χαμηλό κόστος παραγωγής ανά τόνο ξηρής βιομάζας (Downing *et al.*, 1996; Hanegraaf *et al.*, 1998), πρέπει όμως να σημειωθεί ότι στην Αμερική η καλλιέργεια δεν αρδεύεται και το κόστος αγοράς του σπόρου είναι χαμηλότερο μιας και αποτελεί τη χώρα παραγωγής. Οι διαφορετικές τιμές της αγοράς που αναφέρθηκαν για την πώληση της βιομάζας κυμαίνονται στα 44-85 \$ t⁻¹ ξηρής βιομάζας, με την επικερδή τιμή να βρίσκεται στο εύρος των 70-85 \$ t⁻¹ (McLaughlin *et al.*, 2005; Fox *et al.*, 1999).

Η χρήση του μοντέλου “Data Envelopment Analysis (DEA)” εφαρμόστηκε για την οικονομική αποδοτικότητα των διαφόρων παραγωγικών αγροτύπων του switchgrass για την παραγωγή στερεών καυσίμων. Ως εισροές χρησιμοποιήθηκαν το κόστος παραγωγής για τις διάφορες μεταχειρίσεις της καλλιέργειας και τις μεθόδους συγκομιδής. Πιο συγκεκριμένα, χρησιμοποιήθηκαν το κόστος παραγωγής, και οι δαπάνες όταν το switchgrass συλλέγεται ως στρογγυλό δέμα 250 kg, ορθογώνιο δέμα 250 kg, ορθογώνιο δέμα 22 kg και ως ενσίρωμα, ενώ ως εκροές χρησιμοποιήθηκαν τα έσοδα που επιτυγχάνονται. Ως μονάδες λήψεως αποφάσεων (DMUs) χρησιμοποιήθηκαν οι διαφορετικοί συνδυασμοί της άρδευσης και της N-ούχου λίπανσης που εφαρμόστηκαν στις δύο περιοχές (Παλαμάς και Βελεστίνο), έχοντας συνολικά 16 DMU. Εφαρμόστηκαν

Κεφάλαιο: Αποτελέσματα και Συζήτηση – Οικονομική μελέτη

δύο ξεχωριστοί υπολογισμοί (CRS, VRS) για το δεύτερο και το τρίτο έτος της καλλιέργειας (όπως και στην περίπτωση της ζωοτροφής).

Πίνακας 3.7.11. Περιγραφικά στατιστικά

	VRS	CRS
2^η Χρονιά		
Μέσος	0,65143	0,55806
Τυπική Απόκλιση	0,203835	0,193566
Ελάχιστο	0,37805	0,35352
Μέγιστο	1	1
3^η Χρονιά		
Μέσος	0,76329	0,59808
Τυπική Απόκλιση	0,222905	0,224337
Ελάχιστο	0,40856	0,36917
Μέγιστο	1	1

Στον Πίνακα 3.7.11 αναγράφονται τα συγκεντρωτικά αποτελέσματα της αποτελεσματικότητας που επιτυγχάνεται, όταν εφαρμόζονται οι δύο διαφορετικές μέθοδοι του DEA, με τα αποτελέσματα της CRS μεθόδου να δείχνουν χαμηλότερες τιμές από τις VRS. Το πιο ενδιαφέρον εύρημα αποτελεί η σημαντική μείωση της απόδοσης όταν τα επίπεδα του αζώτου αυξάνονται. Επιπλέον, είναι προφανές ότι υπάρχει σημαντική βελτίωση των βαθμών απόδοσης για τις δύο μεθοδολογίες, ανάμεσα στο δεύτερο και το τρίτο έτος της καλλιέργειας.

Και στις δύο περιπτώσεις - περιοχές (Παλαμάς και Βελεστίνο) οι τιμές απόδοσης ακολουθούν την ίδια τάση, επαληθεύοντας ότι δεν υπάρχει ανάγκη υψηλών επιπέδων Ν-ούχου λίπανσης προκειμένου η καλλιέργεια του switchgrass να επιφέρει βελτιωμένα αποτελέσματα, όπως φαίνεται και στον Πίνακα 3.7.12.

Πίνακας 3.7.12. Αποδοτικότητα μέσων για τα διαφορετικά επίπεδα N-ούχου λιπάνσεως

	VRS	CRS	VRS	CRS
	2 ^η Χρονιά		3 ^η Χρονιά	
Παλαμάς N1	0,93151	0,65675	1,00000	0,66450
Παλαμάς N2	0,73908	0,53755	0,92461	0,50885
Παλαμάς N3	0,58027	0,45624	0,81682	0,43015
Παλαμάς N4	0,50001	0,38043	0,58168	0,39972
Βελεστίνο N1	0,80804	0,80711	0,78987	0,78971
Βελεστίνο N2	0,59974	0,57750	0,79168	0,79135
Βελεστίνο N3	0,58281	0,58073	0,61662	0,61635
Βελεστίνο N4	0,46995	0,46816	0,58505	0,58399

N-ούχος λίπανση: N1-0, N2-8, N3-16, N4-24 kg N/στρ..

Για να διαπιστωθεί αν υπάρχουν σημαντικές αλλαγές στις τιμές αποτελεσματικότητας μεταξύ των διαφόρων επιπέδων άρδευσης, στον Πίνακα 3.7.13 παρουσιάζονται τα περιγραφικά στατιστικά στοιχεία των τιμών απόδοσης ανά επίπεδο άρδευσης και έτος. Είναι σαφές και στις δύο μεθοδολογίες (CRS και VRS) ότι υπάρχει μία ασήμαντη μείωση των τιμών για την περιοχή του Παλαμά. Αντιθέτως, η μείωση των τιμών στο Βελεστίνο είναι αρκετά υψηλή, γεγονός που αποδεικνύει ότι η καλλιέργεια του switchgrass για την παραγωγή ξηρής βιομάζας σε περιοχές με υψηλό κόστος άρδευσης κρίνεται μη βιώσιμη.

Πίνακας 3.7.13. Αποδοτικότητα μέσων για τα διαφορετικά επίπεδα άρδευσης

	VRS	CRS	VRS	CRS
	2 ^η Χρονιά		3 ^η Χρονιά	
Παλαμάς I1	0,72533	0,56373	0,85777	0,55230
Παλαμάς I2	0,65010	0,45176	0,80378	0,44932
Βελεστίνο I1	0,73927	0,72768	0,89075	0,89019
Βελεστίνο I2	0,49101	0,48907	0,50085	0,50051

Επίπεδα άρδευσης: I1-0 mm, I2-250 mm

Συνοψίζοντας, αποδεικνύεται ότι, το κόστος παραγωγής εξαρτάται σε μεγάλο βαθμό από την πρακτική συγκομιδής. Το κόστος των δεμάτων (μπάλες), εξαρτάται από την παραγωγή της βιομάζας. Το κόστος ενός μικρού δεματιού (22 kg) έχει εύρος 0,5-0,6 €/δέμα και ενός μεγάλου (250 kg) 4,25-5 €/δέμα. Συνεπώς, η περίπτωση των μικρών δεματίων έχει ένα αυξημένο κόστος συγκομιδής περί τα 3 € t⁻¹. Από την άλλη πλευρά, λόγω του σταθερού κόστους συγκομιδής (28-30 €/στρ.), το ενσίρωμα στην περίπτωση της ξηρής βιομάζας για παραγωγές υψηλών αποδόσεων (2,5-3 t/στρ.) όπως στον

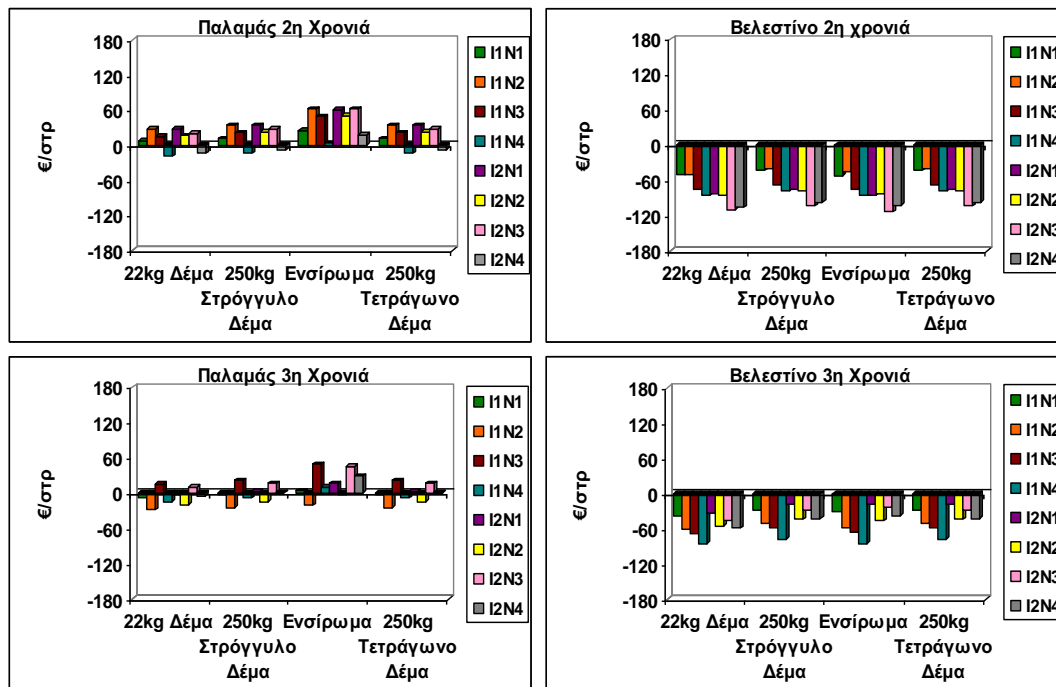
Παλαμά, αποτελεί ανταγωνιστικότερη μέθοδο συγκομιδής έναντι των δεματίων (20 €/t ξηρής βιομάζας).

Η χρήση του “DEA” έδειξε ότι, το switchgrass δεν απαιτεί υψηλές ποσότητες N-ούχου λίπανσης για την αύξηση της παραγωγικότητάς του. Αποδείχθηκε ότι, υψηλότερη παραγωγή μπορεί να επιτευχθεί σε περιοχές με υψηλό υδροφόρο ορίζοντα ή σε περιοχές με αυξημένη βροχόπτωση. Η ένταξη στον γεωργικό σχεδιασμό αυτής της καλλιέργειας προτείνεται μόνο σε περίπτωση αύξησης της τιμής αγοράς της πρώτης ύλης για την παραγωγή στερεών βιοκαυσίμων από τις μονάδες μεταποίησης, μιας και η καλλιέργεια οδηγεί σε περιβαλλοντική προστασία του αγροτικού χώρου λόγω των χαμηλών απαιτήσεων σε εισροές.

3.7.2.2 Οικονομικότητα του switchgrass για αντικατάσταση παραδοσιακών καλλιεργειών

Όπως προαναφέρθηκε (βλ. κεφ. 3.7.1.2) θεωρείται απαραίτητο να διερευνηθεί η αντικατάσταση παραδοσιακών καλλιεργειών με την καλλιέργεια του switchgrass. Η υιοθέτηση της καλλιέργειας δεν απαιτεί την αγορά κάποιου καινούργιου αγροτικού μηχανήματος, οπότε η δαπάνη των αποσβέσεων δεν είναι αναγκαίο να επανεκτιμηθεί, με αποτέλεσμα το τελικό εισόδημα να αυξάνεται κατά 47,2 €/στρ..

Στο Σχήμα 3.7.5 απεικονίζονται οι τιμές του αγροτικού εισοδήματος από την αντικατάσταση παραδοσιακών καλλιεργειών. Στην περίπτωση αυτή φαίνεται ότι, η καλλιέργεια του switchgrass, αρχίζει να αποκτά οικονομικό ενδιαφέρον μόνο για την περιοχή του Παλαμά (επομένως και για περιοχές με υπόγειο υδροφόρο ορίζοντα ή με υψηλή βροχόπτωση). Το μέγιστο εισόδημα που μπορεί να αποδοθεί είναι περί τα 62 €/στρ. (με τιμή πώλησης 70 €/t ξηρής βιομάζας) με την μέθοδο συγκομιδής του ενσιρώματος (Σχ. 3.7.5). Το ποσό αυτό μπορεί να χαρακτηριστεί ελκυστικό αφού προκύπτει ως πρόσοδος από αροτραία καλλιέργεια και δεν χαιρεί οικονομικής ενίσχυσης. Στην περίπτωση του Βελεστίνου ή άλλων περιοχών όπου η άρδευση πραγματοποιείται από βαθύτερα στρώματα και αυξάνεται το κόστος άρδευσης η καλλιέργεια του switchgrass κρίνεται μη βιώσιμη.



Σχήμα 3.7.6. Κέρδος παραγωγού (€/στρ.) από την καλλιέργεια switchgrass, όπως παρατηρείται για τις περιοχές μελέτης (Παλαμάς και Βελεστίνο) κατά τη διάρκεια του 2^{ου} και 3^{ου} έτους ανάπτυξης, υπό την επίδραση 2 επιπέδων άρδευσης και 4 επιπέδων N-ούχου λίπανσης, για 4 διαφορετικές μεθόδους συγκομιδής (αντικατάσταση παραδοσιακών για παραγωγή στερεών καυσίμων).

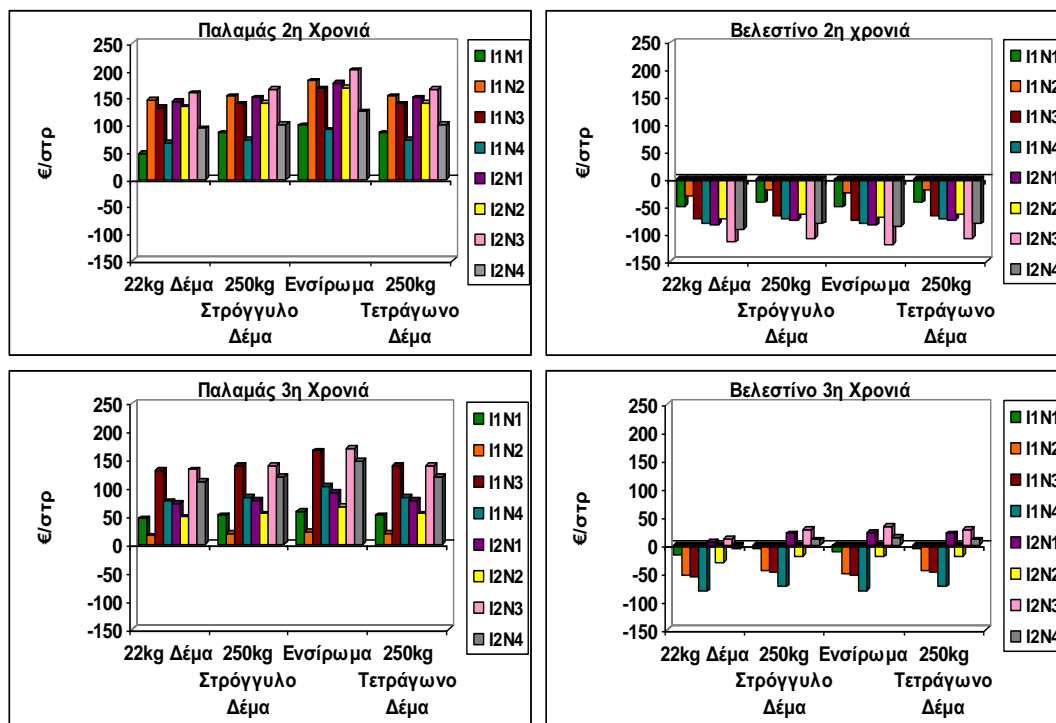
3.7.2.3 Οικονομικότητα του switchgrass στην κατηγορία «καλλιεργώ το καύσιμό μου», δηλαδή παραγωγός-μεταποιητής

Στο κεφάλαιο αυτό, πέραν των εξόδων για την παραγωγή της καλλιέργειας, συνυπολογίστηκε το κόστος μεταποίησης της βιομάζας (παραγωγή πελλέτας), το οποίο υπολογίστηκε από την πρέσα παραγωγής πελλέτας που κατασκευάστηκε κατά την διεξαγωγή των πειραμάτων ολοκληρωτικά από την αρχή (κατασκευή πλαισίου στήριξης, μήτρας, ράουλων κ.τ.λ.) στο μηχανουργείο του κ. Νικολάου Μιχόπουλου στον Παλαμά Καρδίτσας.

Οι τιμές που χρησιμοποιήθηκαν για την κατανάλωση ρεύματος, είναι 0,10 €/KWh (αγροτικό ρεύμα) και εργατικά με ωρομίσθιο τα 5 €/ώρα. Μετρήθηκε η ωριαία παραγωγή πελλέτας από την πρέσα (με πρώτη ύλη switchgrass σε θρυμματισμένη ξηρή βιομάζα) να είναι ίση με 300 κιλά ανά ώρα. Επομένως το κόστος μεταποίησης ανά τόνο πελλέτας (χρόνος που χρειάζεται 3,33 ώρες) ανέρχεται στα 19,9 €/t

Κεφάλαιο: Αποτελέσματα και Συζήτηση – Οικονομική μελέτη

(συμπεριλαμβανομένου και του κόστους θρυμματισμού της καλλιέργειας). Η μέση τιμή πώλησης του agro-pellet (με υλικό χαμηλότερης θερμογόνου δύναμης) είναι 150 €/t. Το κέρδος επομένως του παραγωγού-μεταποιητή αυξάνει δυναμικά (τουλάχιστον διπλασιάζεται) όπως φαίνεται στο Σχήμα 3.7.6. Το μέγιστο κέρδος του παραγωγού-μεταποιητή που μπορεί να επιτευχθεί ανέρχεται στο ποσό των 200 €/στρ. (Παλαμάς αρδευόμενη καλλιέργεια με λίπανση 16 kg N/στρ., 2^ο έτος). Ενισχύεται λοιπόν, το συμπέρασμα που ισχύει για όλες τις μικρού μεγέθους γεωργικές εκμεταλλεύσεις που δραστηριοποιούνται στο χώρο των αροτραίων καλλιεργειών, ότι θα πρέπει να ενισχυθεί η τάση για καθετοποίηση και διάθεση έτοιμων για χρήση προϊόντων και όχι πρώτων υλών.



Σχήμα 3.7.7. Κέρδος παραγωγού (€/στρ.) από την καλλιέργεια και μεταποίηση του switchgrass σε αγρο-πέλλετ, όπως παρατηρείται για τις περιοχές μελέτης (Παλαμάς και Βελεστίνο) κατά τη διάρκεια του 2^{ου} και 3^{ου} έτους ανάπτυξης, υπό την επίδραση 2 επιπέδων άρδευσης και 4 επιπέδων N-ούχου λίπανσης, για 4 διαφορετικές μεθόδους συγκομιδής.

Κεφάλαιο: Αποτελέσματα και Συζήτηση – Οικονομική μελέτη

Ακόμη όμως και στην περίπτωση αυτή φαίνεται ότι, η καλλιέργεια του switchgrass δεν δύναται να καλλιεργηθεί σε περιοχές όπως το Βελεστίνο, όπου η παραγωγή της καλλιέργειας παραμένει σε χαμηλά επίπεδα και όπου το κόστος άρδευσης αποτελεί καθοριστικό παράγοντα στο τελικό εισόδημα του παραγωγού. Για το λόγο αυτό και η καλλιέργεια του switchgrass (ποικιλία Alamo) προτείνεται για περιοχές υψηλής βροχόπτωσης ή με υψηλό υδροφόρο ορίζοντα (βλ. Παλαμάς).

4. ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ

Η καλλιέργεια του πολυετούς φυτού switchgrass "*Panicum virgatum* L." και πιο συγκεκριμένα της ποικιλίας Alamo (ποικιλία πεδινών περιοχών), στο θεσσαλικό κάμπο μπορεί να προσαρμοσθεί εφόσον υπάρχει η απαραίτητη εδαφική υγρασία. Επομένως, η άρδευση σε περιοχές χωρίς υψηλό υδροφόρο ορίζοντα (ξηρών εδαφών) ή περιοχές μειωμένης βροχόπτωσης (<350 mm) κρίνεται απαραίτητη.

Ο κύριος περιοριστικός παράγοντας της αύξησης και ανάπτυξης της καλλιέργειας είναι η άρδευση και όχι η N-ούχος λίπανση. Ακόμη και η περιορισμένη άρδευση (250 mm) που χρησιμοποιήθηκε, παρέχει τη δυνατότητα αυξημένης παραγωγής σε περιοχές όπως το Βελεστίνο (περιοχή με χαμηλή βροχόπτωση κατά τους μήνες ανάπτυξης, υψηλή εξατμισοδιαπνοή και με βαθύ υδροφόρο ορίζοντα. Στην περιοχή, το άθροισμα της βροχόπτωσης και της άρδευσης αποτελούν το 60% της ET₀), η οποία όμως είναι περί του 40-45 % χαμηλότερη της παραγωγής του Παλαμά (περιοχή με υψηλό υδροφόρο ορίζοντα, όπου το άθροισμα της βροχόπτωσης και της άρδευσης αποτελούν το 90% της ET₀). Αζωτούχος λίπανση με 8-16 kg N/στρ. Ικανοποιεί τις λιπαντικές απαιτήσεις για περαιτέρω αύξηση της παραγωγής ενώ αύξηση της δόσης λίπανσης οδηγεί σε αντίθετα αποτελέσματα λόγω πλαγιάσματος των φυτών.

Η σύνθεση της βιομάζας κατά τα πρώτα στάδια ανάπτυξης (πριν την ανθοφορία) κυμαίνεται περί το 27-30% φύλλα και 70-73% βλαστοί, ενώ κατά την περίοδο της ωρίμανσης του σπόρου (συγκομιδή) τα ποσοστά αυτά είναι 19-22% φύλλα, 68-71% βλαστοί και 10-12% ανθοταξία ανεξαρτήτως περιοχής μελέτης. Φαίνεται λοιπόν ότι, οι βλαστοί σχεδόν καθόλη την περίοδο ανάπτυξης της καλλιέργειας έχουν σταθερό ποσοστό έναντι της συγκομισθείσας βιομάζας και αποτελούν το όργανο του φυτού που καθορίζει τα χαρακτηριστικά της καλλιέργειας (περιεκτικότητα θρεπτικών, στάχτης, θερμογόνου δύναμης κ.τ.λ.).

Η καλλιέργεια του switchgrass κατά τα πρώτα στάδια ανάπτυξης, έχει αυξημένη περιεκτικότητα (%) σε N-P-K στους φυτικούς ιστούς. Η περιεκτικότητα αυτή μειώνεται καθώς το φυτό πλησιάζει στο τελικό στάδιο της ωρίμανσης. Η μεγαλύτερη μείωση των θρεπτικών με την πάροδο του χρόνου, παρατηρείται για το στοιχείο K. Κατά τα πρώτα στάδια ανάπτυξης (ύψος 1 m και αριθμό φύλλων 4) τα φύλλα είναι τα όργανα του φυτού

Κεφάλαιο: Συμπεράσματα

που περιέχουν τη μεγαλύτερη συγκέντρωση N και P ενώ στην περίπτωση του K τα φύλλα και οι βλαστοί έχουν την ίδια περιεκτικότητα ανεξαρτήτως περιοχής και έτους.

Στην περίπτωση των εδαφικών χαρακτηριστικών, με την πάροδο 4 ετών παρατηρήθηκε αύξηση του οργανικού άνθρακα (C), της οργανικής ουσίας (O.Y.) αλλά και του N που πιθανόν οφείλεται στην αποσύνθεση των ριζικών τριχιδίων και των δευτερευουσών ριζών. Στην περίπτωση όμως του φωσφόρου και του καλίου (P-K) επήλθε μείωση των αρχικών ποσοτήτων, που οδηγεί στην μελλοντική προτροπή χρήσης μικρών ποσοτήτων τόσο φωσφορικών όσο και καλιούχων λιπασμάτων για εκτεταμένη καλλιέργεια switchgrass (αφού μέσος όρος της μείωσης του φωσφόρου για τα 40 cm είναι ίσος με 1,04 kg/έτος/στρ. για τον Παλαμά, και 0,23 kg/έτος/στρ. για το Βελεστίνο.

Βρέθηκε σημαντική γραμμική συσχέτιση μεταξύ της πρόσληψης αζώτου και της απόδοσης σε βιομάζα της καλλιέργειας του switchgrass, τουλάχιστον στο μεγαλύτερο εύρος τιμών της απορρόφησης αζώτου, τόσο στην περίπτωση της παραγωγής ζωοτροφής όσο και στην περίπτωση παραγωγής στερεών καυσίμων. Η κλίση της καμπύλης αυτής, αντιπροσωπεύει την αποδοτικότητα πρόσληψης του αζώτου από το φυτό (NUE), η οποία εκφράζεται με παραγωγή 144 kg ανά kg προσλαμβανομένου N ($R^2 = 90,4\%$) στην περίπτωση της ζωοτροφής, και 240 kg βιομάζας ανά kg προσλαμβανομένου N ($R^2 = 84,6\%$) στην περίπτωση παραγωγής στερεών καυσίμων και για τα 2 εδάφη (περιοχές μελέτης).

Η βασική πρόσληψη N σε ύφυγρα ή υγρά εδάφη (Παλαμάς) από την καλλιέργεια του switchgrass για την παραγωγή ζωοτροφής αλλά και στερεών καυσίμων ήταν μεγαλύτερη σε σύγκριση με το ξηρότερο έδαφος (Βελεστίνο). Στην πρώτη περίπτωση, η βασική πρόσληψη κυμάνθηκε από 4,5 μέχρι 6,5 και από 6,1 μέχρι 8,6 kg N/στρ. για την παραγωγή ζωοτροφής και στερεών καυσίμων αντίστοιχα, ανεξαρτήτως της μεταχείρισης της άρδευσης. Στο ξηρό έδαφος, η βασική πρόσληψη N ήταν περί τα 4 kg N/στρ. τόσο στην αρδευόμενη όσο και στην ξηρική καλλιέργεια για την παραγωγή ζωοτροφής ενώ για την παραγωγή στερεών καυσίμων η τιμή αυτή μεταβλήθηκε σε 6 kg N/στρ. στην περίπτωση της αρδευόμενης καλλιέργειας.

Το κλάσμα ανάκτησης N (N Recovery Fraction) στην καλλιέργεια του switchgrass τόσο για την παραγωγή στερεών καυσίμων όσο και για την παραγωγή ζωοτροφής επηρεάζεται

Κεφάλαιο: Συμπεράσματα

πολύ από τον τύπο του εδάφους και τη μεταχείριση της άρδευσης. Στο ξηρό έδαφος (Βελεστίνο), το κλάσμα ανάκτησης στην περίπτωση της παραγωγής ζωοτροφής ήταν σχεδόν μηδενικό τόσο για την ξηρική καλλιέργεια όσο και για την αρδευόμενη, ενώ στην περίπτωση παραγωγής στερεών καυσίμων μόνο στην αρδευόμενη καλλιέργεια έφτασε την τιμή του 16%, επισημαίνοντας τις μάταιες προσπάθειες της προσθήκης οποιασδήποτε ποσότητας N-ούχου λιπάσματος στην καλλιέργεια του switchgrass υπό ξηρικές συνθήκες. Αντίθετα, στο ύφυγρο έδαφος (Παλαμάς), το κλάσμα ανάκτησης (RF) ήταν σημαντικά μεγαλύτερο και έφτασε στο 30% για όλες τις περιπτώσεις.

Λαμβάνοντας υπόψη τη βασική πρόσληψη, το κλάσμα ανάκτησης, τη NUE, αλλά και τις μέσες τιμές των κοινών λιπασμάτων N, συμπεραίνεται ότι μία μέτρια λίπανση της καλλιέργειας του switchgrass που θα εγκατασταθεί σε εδάφη με υγρό καθεστώς υγρασίας (ύφυγρο: aquatic) στον Παλαμά, μπορεί να δώσει πολύ καλές αποδόσεις σε βιομάζα και ίσως να κρίνεται υποχρεωτική. [Ζωοτροφή: $(144 * (4,5 - 6,5 \%)) = 648$ με 936 kg ξηρού σανού/στρ. σε ύφυγρο έδαφος, ενώ σε ξηρό η αναμενόμενη απόδοση της βιομάζας θα είναι μικρότερη των 590 kg/στρ., Στερεά καύσιμα: ύφυγρο έδαφος $240 * (7-8,4\%) = 1,7 - 2,0$ t/στρ., ενώ σε ξηρό η αναμενόμενη απόδοση της βιομάζας θα είναι μικρότερη από $1,0$ t/στρ.].

Επιπλέον, σημαντική γραμμική συσχέτιση σημειώθηκε μεταξύ της πρόσληψης καλίου και της απόδοσης σε βιομάζα της καλλιέργειας του switchgrass, τόσο στην περίπτωση της παραγωγής ζωοτροφής όσο και στην περίπτωση παραγωγής στερεών καυσίμων. Η κλίση της καμπύλης αυτής, αντιπροσωπεύει την αποδοτικότητα πρόσληψης του καλίου από το φυτό (KUE), η οποία εκφράζεται με παραγωγή 72 kg ανά kg προσλαμβανομένου K ($R^2 = 79,8\%$) στην περίπτωση της ζωοτροφής και 160 kg βιομάζας ανά kg προσλαμβανομένου K ($R^2 = 93,26\%$) στην περίπτωση παραγωγής στερεών καυσίμων και για τα 2 εδάφη (περιοχές μελέτης).

Βρέθηκε ότι, η μέση θερμιδική αξία της καλλιέργειας με ποσοστό υγρασίας 8% να είναι ελαφρώς μεγαλύτερη στην περιοχή του Παλαμά (ύφυγρο έδαφος) έναντι του Βελεστίνο (ξηρό έδαφος). Συγκεκριμένα η μέση θερμογόνο ήταν περί τα $17,26$ MJ/kg (Παλαμάς), και $16,95$ MJ/kg (Βελεστίνο). Η θερμογόνο δύναμη βρέθηκε να έχει παρόμοιες τιμές καθόλη τη διάρκεια αύξησης – ανάπτυξης του φυτού (αρχικά στάδια ανάπτυξης: $16,9 - 17$ MJ/kg). Σε όλες τις περιπτώσεις (ανεξαρτήτως επιπέδων άρδευσης-λίπανσης και

Κεφάλαιο: Συμπεράσματα

περιοχών), τα όργανα του φυτού βρέθηκε να έχουν την εξής κατάταξη: ξερά φύλλα < φύλλα < βλαστοί < ανθοταξία (από τη μικρότερη στη μεγαλύτερη θερμογόνο δύναμη).

Καλλιέργεια λοιπόν, 1 στρέμματος switchgrass (αντιστοιχίζοντας τη θερμογόνο δύναμη με τη στρεμματική απόδοση της καλλιέργειας), στην περίπτωση του ύφυγρου εδάφους (Παλαμάς) θα παράξει περί τον 1 τόνο πετρέλαιο ή διαφορετικά 1 στρέμμα switchgrass στην περιοχή του Παλαμά παράγει 1 ΤΠΠ (τόνος ισοδύναμου πετρελαίου). Στην περίπτωση του ξηρού εδάφους (Βελεστίνου) 1 στρέμμα από την καλλιέργεια θα παράξει 0,55 ΤΠΠ.

Παράλληλα με τη θερμογόνο δύναμη, βρέθηκε ότι, η μέση περιεκτικότητα σε στάχτη της καλλιέργειας είναι λίγο μικρότερη στην περιοχή του Παλαμά (ύφυγρο έδαφος) έναντι του Βελεστίνου (ξηρό έδαφος) και ότι η περιεκτικότητα σε στάχτη μειωνόταν με την ωρίμανση της καλλιέργειας. Συγκεκριμένα, κατά τα πρώτα στάδια ανάπτυξης (φυτά ύψους 1 m και 4 φύλλων) η μέση περιεκτικότητα σε στάχτη ήταν περί το 5,25% ενώ κατά το στάδιο της ωρίμανσης η μέση περιεκτικότητα σε στάχτη μειώθηκε στο 4,36%. Σε όλες όμως τις περιπτώσεις (επίπεδα άρδευσης και λίπανσης, αλλά και περιοχές) τα φυτικά όργανα του switchgrass με σειρά των φυτικών μερών με τη μικρότερη περιεκτικότητα σε στάχτη είναι: βλαστοί < ανθοταξία < φύλλα < καφέ φύλλα.

Αντιστοιχίζοντας την περιεκτικότητα σε στάχτη με τη στρεμματική απόδοση της καλλιέργειας του switchgrass, φαίνεται ότι 1 στρέμμα από την καλλιέργεια στην περίπτωση των αρχικών σταδίων ανάπτυξης παράγει ποσότητα στάχτης ίση με 70 kg/στρ. για τον Παλαμά και 42 kg/στρ. για το Βελεστίνο, ενώ στο τελικό στάδιο ανάπτυξης η ποσότητα θα είναι ίση με 100 και 60 kg/στρ. για τον Παλαμά και το Βελεστίνο, αντίστοιχα.

Όσον αφορά στην οικονομική ανάλυση της καλλιέργειας του switchgrass, βρέθηκε ότι, η χρήση της ως ζωοτροφή μπορεί να επιφέρει υψηλό εισόδημα στον παραγωγό (περί τα 170 €/στρ.), όταν χρησιμοποιηθεί ως μέθοδος συγκομιδής η μεγάλη μπάλα των 250 kg. Στην περίπτωση που καλλιεργηθεί για την παραγωγή ξηρής βιομάζας ως πρώτη ύλη παραγωγής στερεών καυσίμων, τότε η καλλιέργεια είναι ζημιόγonos, αποδίδοντας αρνητικό εισόδημα στον παραγωγό (με τιμή πώλησης τα 70 €/t.). Για να σημειωθεί κέρδος στην κατηγορία των στερεών καυσίμων θα πρέπει να επέλθει κάθετη παραγωγή

Κεφάλαιο: Συμπεράσματα

και επομένως ο γεωργός να είναι παραγωγός-μεταποιητής στερεών καυσίμων, αυξάνοντας το εισόδημά του στα 200 €/στρ.

Τέλος, η χρήση του “DEA” για πρώτη φορά σε τέτοιου είδους μελέτες, έδειξε ότι, το switchgrass δεν απαιτεί υψηλές ποσότητες N-ούχου λίπανσης για να αυξήσει την παραγωγικότητά του και ότι η υψηλότερη παραγωγή μπορεί να επιτευχθεί σε περιοχές με υψηλό υδροφόρο ορίζοντα. Τέλος, η ένταξη στον γεωργικό σχεδιασμό της καλλιέργειας του switchgrass, θα οδηγήσει σε ικανοποιητικό καθαρό εισόδημα των γεωργών, καθώς και σε περιβαλλοντική προστασία του αγροτικού χώρου λόγω των χαμηλών απαιτήσεων σε εισροές.

Κεφάλαιο: Συμπεράσματα

ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

Ελληνική Βιβλιογραφία

Μήτσιος, Ι., 2001. Εδαφολογία. Εκδόσεις Ζημελ (3^η έκδοση), σ. 313.

Σούτερ Χ.Α., (1996), «Βιομάζα μία πηγή ενέργειας που θα παίζει καθοριστικό ρόλο στη χώρα μας», Πρακτικά διημερίδας "Δυνατότητες συμβολής της βιομάζας στη γεωργική και βιομηχανική ανάπτυξη της χώρας". Εθνικό Ίδρυμα Αγροτικής Έρευνας, Ιούνιος 1996, Θεσσαλονίκη.

Διεθνής Βιβλιογραφία

Adler PR, Sanderson MA, Boateng AA, Weimer PJ, Jung H-JG (2006). Biomass yield and biofuel quality of switchgrass harvested in fall or spring. *Agronomy Journal* 98: 1518–1525.

Alemanno G, Bidini G and Desideri U (2004). "*Biomass economy for energy use*", Proceedings of the 2nd World Conference on Biomass for Energy, Industry and Climate Protection, 10-14 May 2004, Rome, Italy.

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.

Aliscioni SS, Giussani LM, Zuloaga FO, Kellogg EA (2003). A molecular phylogeny of *Panicum* (Poaceae: Paniceae): Tests of monophyly and phylogenetic placement within the Panicoideae. *American Journal Botany* 90: 796–821 .

Anderson-Teixeira KJ, Davis SC, Masters MD, Delucia EH (2009). Changes in soil organic carbon under biofuel crops. *GCB Bioenergy* 1: 75–96.

Aravindhakshan SC, Epplin FM, Taliaferro CM (2011). Economics of switchgrass and miscanthus relative to coal as feedstock for generating electricity. *Biomass and Bioenergy* 34: 1375-1383.

Aravindhakshan SC, Epplin FM, Taliaferro CM (2011). Switchgrass, bermudagrass, flaccidgrass, and lovegrass biomass yield response to nitrogen for single and double harvest. *Biomass and Bioenergy* 35: 308–319.

Bakker RR, Elbersen HW (2005). Managing ash content and quality in herbaceous biomass: an analysis from plant to product, 14th European Biomass Conference, Paris, 210–213.

Beadle CL (1987). Plant growth analysis. In Coombs J, Hall DO, Long SP, Scurlock JMO (Eds), *Techniques in Bio-Productivity and Photosynthesis*. Pergamon Press, Oxford, UK. 2nd ed., pp. 21-23

- Blanci-Canqui H (2010). Energy crops and their implications on soil and environment. *Agronomy Journal* 102: 403–419.
- Boateng, AA, Hicks KB and Vogel KP (2006). Pyrolysis of switchgrass (*Panicum virgatum*) harvested at several stages of maturity. *Journal of Analytical and Applied Pyrolysis* 75:55–64.
- Boe A, Gagne RJ (2011). A new species of gall midge (Diptera: Cecidomyiidae) infesting switchgrass in the Northern Great Plains. *Bioenerg Resource* 4: 77–84.
- Bransby DI, McLaughlin SB, Parrish DJ (1998). A review of carbon and nitrogen balances in switchgrass grown for energy. *Biomass and Bioenergy* 14: 379–384.
- Bransby DI, Sladden SE, Morrison T (2002). Unusual long term response of switchgrass to nitrogen fertilization. *Bioenergy, Bioenergy for the environment*, Boise, ID, September 22–26.
- Bransby DI, Ward CY, Rose PA, Sladden SE, Kee DD (1989). Biomass production from selected herbaceous species in the Southeastern USA. *Biomass* 20: 187-197.
- Brejda JJ (2000). Fertilization of native warm-season grasses. In: Moore KJ, Anderson BE (eds) *Native warm-season grasses: research trends and issues*. CSSA Spec Publ 30. CSSA, Madison, WI.
- Caddel J, Kakani G, Porter D, Redfearn D, Walker N, Warren J, Wu Y and Zhang H (1914). Switchgrass production guide for Oklahoma. Oklahoma Cooperative Extension Service, E-1012. Division of Agricultural Sciences and Natural Resources. Oklahoma State University.
- Carman JG, Briske DD (1982). Root initiation and leaf elongation of dependent little bluestem tillers following defoliation. *Agronomy Journal* 74: 432–435.
- Carter J (2011). Plant Fact Sheet, Switchgrass (*Panicum virgatum* L). United States Department of Agriculture (USDA), Natural Resources Conservation Service (NRCS), Plant Materials Program.
- Casler MD, Vogel KP, Taliaferro CM (2007) Latitudinal and longitudinal adaptation of switchgrass populations. *Crop Science* 47: 2249–2260.
- Casler MD, Vogel KP, Taliaferro CM, Wynia RL (2004). Latitudinal adaptation of switchgrass populations. *Crop Science* 44:293–303
- Cataldo DA, Haroom M, Schrader LE and Youngs VL (1975). Rapid colorimetric determination of nitrate in plant tissue by nitration of salicylic acid. *Soil Science and Plant Analysis* 6(1): 71-80.
- Charnes A, Cooper W and Rhodes E (1978). “Measuring the Efficiency of Decision Making Units.” *European Journal of Operational Research*. 6 pp. 429-444.

- Cherney JH (2005). Management of grasses for biofuel. Bioenergy Info. Cornell Univ. Coop. Ext. Accessed July 31, 2009.
- Chiesa S, Gnansounou E (2011). Protein extraction from biomass in a bioethanol refinery—possible dietary applications: use as animal feed and potential extension to human consumption. *Bioresource Technology* 102: 427–436
- Christian DG, Riche AB (2001). Estimates of rhizome weight of *Miscanthus* with time and rooting depth compared to switchgrass. *Aspects of Applied Biology* 65: 1–5.
- Christian DG, Riche AB, Yates NE (2002). The yield and composition of switchgrass and coastal panic grass grown as a biofuel in Southern England. *Bioresource Technology* 83: 115–124.
- Christou M, Fernandez J, Gosse G, Venturi G, Bridgewater A, Scherlen K, Obernberger I, Van de Beld B, Soldatos P and Reinhart G (2005). Bio-energy chains from perennial crops in South Europe. *Proceedings of the 14th European Biomass Conference*. ETA-Florence, pp 182-185
- Collins HP, Fransen S, Hang A, Boydston RA, Kruger C (2008). Biomass production and nutrient removal by switchgrass (*Panicum virgatum*) under irrigation. In: *ASA-CSSA-SSSA international annual meetings (abstract)*.
- 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.
- Collins M, Owens VN (2003). Preservation of forage as hay and silage. In: Barnes RF, Nelson CJ, Collins M, Moore KJ (eds) *Forages: an introduction to grassland agriculture*, 6th edn. Iowa State Press, Ames
- Conant RT, Paustian K, Elliot ET (2001). Grassland management and conversion into grassland: Effects on soil carbon. *Ecological Application* 11: 343–355.
- Cowie AL, Smith P and Johnson D (2006). “Does soil carbon loss in biomass production systems negate the greenhouse benefits of bioenergy?” *Mitigation and Adaptation Strategies for Global Change* 11: 979–1002.
- Crouch JA, Beim LA, Cortese LM, Bonos SA, Clarke BB (2010). Anthracnose disease of switchgrass caused by the novel fungal species *colletotricum navitas*. *Mycology Research* 113: 1411–1421.
- Curran W, Ryan M, Myers M, Adler PR (2011). Effectiveness of sulfosulfuron and quinclorac for weed control during switchgrass (*Panicum virgatum*) establishment. *Weed Technology* 24: 598–603.
- Dalrymple RL, Dwyer DD (1967). Root and shoot growth of five range grasses. *Journal of Range Management* 20: 141–145.

- Danalatos NG, Gintsioudis II, Archontoulis SV (2006). «Biokenaf: A Crop Growth Dynamic Simulation Model For Kenaf Under Greek Conditions». International Conference, on Information Systems, Sustainable Agriculture, Agro-environment and Food technology, Volos, Greece, September 20–23, pp. 373–381.
- Danalatos NG, Kosmas CS, Driessen PM, Yassoglou N (1994). The change in the SLA of maize grown under mediterranean conditions. *Agronomy* 14: 433-443.
- Demirbas MF, Balat M (2006). «Recent advances on the production and utilization trends of bio-fuels: A global perspective», *Energy Conversion and Management* 47: 2371-2381.
- Dien B S, Jiwg HG, Vogel KP, Caster MB, Lamb JFS, Iten L, Mitchell RB and Sarath G (2006). «Chemical composition and response to dilute-acid pretreatment and enzymatic saccharification of alfalfa, reed canarygrass, and switchgrass», *Biomass and Bioenergy* 30(10): 880-891.
- Digman M, Shinnars K, Muck R, Dien B (2010a). Full-scale on-farm pretreatment of perennial grasses with dilute acid for fuel ethanol production. *Bioenergy Research* 3: 335–341.
- Downing M, Graham RL (1996). The potential supply and cost of biomass from energy crops in the Tennessee valley authority region. *Biomass and Bioenergy* 11: 283–303.
- Duclos DV (2009). Investigating seed dormancy in switchgrass. American society for horticultural science annual conference. St. Louis, Missouri, 25–28 July 2009.
- Eaton RJ (1932). *Panicum virgatum* L. var. *cubense* Griseb. (or var. *obtusum* Wood?) in Plymouth County, Massachusetts. *Rhodora* 34:149.
- Elbersen H, Cristian D, Bassam N, Sauerbeck G, Alexopoulou E, Sharma N, Piscioneri I (2004). “A management guide for planting and production switchgrass as a biomass crop in Europe». 2nd Conference on Biomass for Energy Industry and Climate Protection, 10-14 May 2004, Rome Italy.
- Elbersen HW, Christian DG, El Bassam N, Alexopoulou E, Pignatelli V, Van Den Berg D (2001-a). Switchgrass (*Panicum virgatum* L.) as an alternative energy crop in Europe: initiation of a productivity network. Final report FAIR 5-CT97-3701: 91.
- Elbersen HW, Christian DG, El Bassen N, Bacher W, Sauerbeck G, Aleopoulou E, Sharma N, Piscioneri I, De Visser P, and Van Den Berg D (2001). Switchgrass Variety Choice In Europe. *Aspects of Applied Biology* 65: 21-28.
- Elbersen HW, Christian DG, Yates NE, El Basseem N, and Sauerbeck G (2001). «Switchgrass in NW Europe». European Commission Final Report FAIR 5-CT97-3701:33–39.
- Elbersen HW, Ocumpaugh WR, Hussey MA, Sanderson MA, Tischler CR (1998). Crown node elevation of switchgrass and kleingrass under low light. *Crop Science* 38: 712–716.

- El-Hinnawi EE (1981). The environmental impacts of production and use of energy. Irish Elsevier, Shannon.
- Engels C, Marschner H (1995). Plant uptake and utilization of nitrogen. In: Bacon PE (ed) Nitrogen fertilization in the environment. Dekker, New York.
- Epstein HC, Lauenroth WK, Burke IC, Coffin DP (1996). Ecological responses of dominant grasses long two climatic gradients in the Great Plains of the United States. *Journal of Vegetation Science* 777–788.
- EurObservER (2005). European barometer of renewable energies (2005, 5th Report).
- Fahmi R, Bridgwater AV, Darvell LI, Jones JM, Yates N, Thain S and Donnison IS (2007). «The effect of alkali metals on combustion and pyrolysis of Lolium and Festuca grasses, switchgrass and willow». *Fuel* 86: 1560-1569.
- Farrell MJ (1957). The measurement of productive efficiency. *Journal of the Royal Statistical Society. Series A (General)*, 120, No.3, pp. 253-290.
- Fazio S, Monti A (2011). Life cycle assessment of different bioenergy production systems including perennial and annual crops. *Biomass and Bioenergy* 35: 4868–4878.
- Fike JH, David PJ, Wolf DD, Balasko JA, Green JT, Rasnake M and Reynolds JH (2006). «Long-term yield potential of switchgrass for biofuel systems», *Biomass and Bioenergy* 30: 198-206.
- Fiorentini R, Galoppini C (1981). Pilot plant production of an edible alfalfa protein concentrate. *Journal of Food Science* 46: 1514–1520.
- 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 and Bioenergy* 16: 1-12.
- Frank AB, Berdahl JD, Hanson JD, Liebig MA, Johnson HA (2004). Biomass and carbon partitioning in switchgrass. *Crop Science* 44: 1391–1396.
- Frank AB, Liebig MA and Hanson JD (2002). «Soil carbon dioxide fluxes in northern semiarid grasslands». *Soil Biology & Biochemistry* 34: 1235-1241.
- Garland CD (2008). Growing and harvesting switchgrass for ethanol production in Tennessee. *Ext. Bull. SP701–A*. Accessed July 31, 2009.
- Garten CT Jr, Smith JL, Tyler DD (2010). Intra-annual changes in biomass, carbon, and nitrogen dynamics at 4-year old switchgrass field trials in west Tennessee, USA. *Agriculture Ecosystem Environment* 136: 177–184.
- Garten CT, Smith JrJL, Tyler DD, Amonette JE, Bailey VL, Brice DJ, Castro HF, Graham RL, Gunderson CA, Izaurralde RC, Jardine PM, Jastrow JD, Kerley MK, Matamala R, Mayes

- MA, Metting FB, Miller RM, Moran KK, Post III WM, Sands RD, Schadt CW, Phillips JR, Thomson AM, Vugteveen T, West TO, Wullschleger SD (2010). Intra-annual changes in biomass, carbon, and nitrogen dynamics at 4-year old switchgrass field trials in west Tennessee, USA. *Agriculture, Ecosystems and Environment* 136: 177–184.
- Gherbin P, De Franchi AS, Lupo F (2004). «Dry-farming yield of herbaceous crops for energy grown in mediterranean environment, First Results», *Proceedings of the 2nd World Conference on Biomass for Energy, Industry and Climate Protection*, 10-14 May 2004, Rome, Italy.
- Gee, G., and J. Bauder. 1986. Particle size analysis. In *Methods of soil analyses*, part 22nd; ed.A. Klute, 383–411. Madison, Wisc.: American Society of Agronomy and Soil Science Society of America.
- Girouard P and Samson R (2000). The potential role of perennial grasses in the pulp and paper industry. Making a case for agri-fibres. *Pulp and Paper Canada* 101(10): 53-55.
- Goel K (1998). Switchgrass: A potential pulp fibre source, in *Proceedings of the 84th Annual Meeting of the Technical section of the Canadian Pulp and Paper Association*. January 1998. 1998: Montreal. p. 109-114.
- Gosselink RJA, Elbersen HW (2001). Economic and environmental evaluation of switchgrass production and utilization. Final report FAIR 5-CT97-3701:58.
- GPWG (Grass PhylogenyPhylogeny Working Group) (2001). Phylogeny and sub-familial classification of the grasses (Poaceae). *Ann Miss Bot Gar* 88: 373–457.
- Gravalos I, Kateris D, Xyradakis P, Gialamas T, Loutridis S, Augousti A, Georgiades A, Tsiropoulos Z (2010). A study on calorific energy values of biomass residue Pellets for heating purposes. *FORMEC 2010 Padova*, Italy.
- Gravert CE, Tiffany LH and Munkvold GP (2000). Outbreak of smut caused by *Tilletia maclagani* on cultivated switchgrass in Iowa. *Plant Disease* 84: 596.
- Griffin JL, Jung GA (1983). Leaf and stem forage quality of big bluestem and switchgrass. *Agronomy Journal* 75: 723–726.
- Grigatti M, Pritoni G, Venturi G (2004). «Perennial and annual energy crops comparison in two different nitrogen fertilization regimes», *Proceedings of the 2nd World Conference on Biomass for Energy, Industry and Climate Protection*, 10-14 May 2004, Rome, Italy.
- Groscurth HM, De Almeida A, Bauen A, Costa FB, Ericson SO, Giegrich J, Von Grabczewski N, Hall DO, Hohmeyer O, Jorgensen K, Kern C, Kuhn I, Lofstedt R, Da Silva Mariano J, Mariano PMG, Meyer NI, Nielsen PS, Nunes C, Patyk A, Reinhardt GA, Rosillo-Calle F,

- Scrase I, Widmann B (2000). «Total costs and benefits of biomass in selected regions of the European Union, Energy» 25: 1081-1095.
- Guretzky J, Butler T, Bouton J, Owens V and Boe A (2009). Planting and Managing Switchgrass as a Dedicated Energy Crop. *Blade Energy Crops*.
- Guretzky JA, Biermacher JT, Cook BJ, Kering MK, Mosali J (2010). Switchgrass for forage and bioenergy: harvest and nitrogen rate effects on biomass yields and nutrient composition. *Plant Soil* 339: 69–81.
- Gustafson DM, Boe A, Jin Y (2003). Genetic variation for *Puccinia emaculata* infection in switchgrass. *Crop Science* 43: 755–759.
- Hall DO (1979). Solar energy use through biology. *Solar Energy* 33: 307–328.
- Hall RL (2003). Grasses for energy production hydrological guidelines. B/CR/00783/ Guidelines/Grassesurn 03/882. Department of Trade and Industry, New and Renewable Energy Programme—Centre for Ecology and Hydrology, London, UK.
- Hamelinck CN, Hooijdonk van G and Faaij APC (2005). «Ethanol from lignocellulosic biomass: techno-economic performance in short-, middle-, and long-term». *Biomass & Bioenergy* 28: 384-410.
- Hancock DW (2009). The management and use of switchgrass in Georgia. *Georgia Cooperative Extension Bulletin* 1358.
- Hanegraaf MC, Biewinga EE, Van Der Bijl G (1998). Assessing the economical and ecological sustainability of energy crops. *Biomass and Bioenergy* 15: 345–355.
- Haynes RJ, Naidu R (1998). Influence of lime, fertilizer and manure applications on soil organic matter content and soil physical conditions: a review. *Nutrient Cycling in Agroecosystems* 51: 123–137
- Heaton E, Voigt T, Long SP (2004). A quantitative review comparing the yields of two candidate C4 perennial biomass crops in relation to nitrogen, temperature and water. *Biomass Bioenergy* 27: 21–30.
- Heaton EA, Dohleman FG, Long SP (2009). Seasonal nitrogen dynamics of *Miscanthus x giganteus* and *Panicum virgatum*. *GCB Bioenergy* 1: 297–307.
- Hess JR, Kenney KL, Ovard LP, Searcy EM, Wright CT (2009). Uniform-format bioenergy feedstock supply system: a commodity-scale design to produce and infrastructure-compatible bulk solid from lignocellulosic biomass. Idaho National Laboratory, Idaho Falls.
- Hipple PC, Duffy MD (2002). Farmers' Motivations for Adoption of Switchgrass. Reprinted from Janick J and Whipkey A (2002). Trends in New Crops and New Uses. Fifth National Symposium, New Crops and New Uses, Strength in Diversity. Alexandria, Virginia:

American Society for Horticultural Science. 252–266. ISBN 978-0-09-707565-5. Retrieved 2008-05-23

- Hitchcock AS (1935). *Manual of the grasses of the United States*. USDA, Washington.
- Hohenstein WG, Wright LL (1994). Biomass energy production in the United States: An overview. *Biomass and Bioenergy* 6: 161–173.
- Hons F (2003). Texas A&M University, personal communication. Dr. Hons led to microbial research as a part of the Ocumpaugh et al. report.
- IPCC-Intergovernmental Panel on Climate Change (2006). N₂O emissions from managed soils, and CO₂ emissions from lime and urea application. Guidelines for national greenhouse gas inventories. Agriculture, forestry and other land use vol 4.
- Jensen NK, Boe A (1991). Germination of mechanically scarified neoteric switchgrass seed. *Journal of Range Management* 44: 299–301.
- Jong ED, Kamp ROD and Keijsers E (1998) APXP Switchgrass, ATO-DLO: Wageningen.
- Jones JB and Case VW (1990). Soil testing and plant analysis. Soil Science Society of America. 3rd edition. Chapter 15. SSSA.
- Jung JY, Lal R, Jastrow JD, Tyler DD (2011). Nitrogenous fertilizer effects on soil structural properties under switchgrass. *Agriculture, Ecosystems and Environment* 141: 215–220.
- Keshwani DR, Cheng JJ (2009). Switchgrass for bioethanol and other value-added applications: A review. *Bioresource Technology* 100: 1515–1523.
- Khanna M, Dhungana B, Clifton-Brown J (2008). Costs of producing miscanthus and switchgrass for bioenergy in Illinois. *Biomass and Bioenergy* 32: 482 – 493.
- Kiniry JR, Cassida KA, Hussey MA, Muir JP, Ocumpaugh WR, Read JC, Reed RL, Sanderson MA, Venuto BC, Williams JR (2005). «Switchgrass simulations by the ALMANAC model at diverse sites in the southern US». *Biomass and Bioenergy* 29: 419-425.
- Kludze H, Deen B, Dutta A (2013). Impact of agronomic treatments on fuel characteristics of herbaceous biomass for combustion. *Fuel Processing Technology* 109: 96–102.
- Law, KN, Kokta BV and Mao CB (2001). Fibre morphology and soda-sulphite pulping of switchgrass. *Bioresource Technology* 77: 1-7.
- Lawrence J, Cherney J, Barney P and Ketterings Q (2006). Establishment and Management of Switchgrass. Agronomy Fact Sheet Series. Fact Sheet 20. Cornell University Cooperative Extension.
- Lazarus W, Selley R (2005). Farm machinery economic costs estimates for 2005. University of Minnesota Extension Service, Minneapolis.

- Lee DK, Owens VN, Doolittle JJ (2007). Switchgrass and soil carbon sequestration response to ammonium nitrate, manure, and harvest frequency on Conservation Reserve Program land. *Agronomy Journal* 99: 462–468.
- Lemus R, Brummer EC, Lee Burras C, Moore KJ, Barker Michael F, Molstad Neil E (2008). “Effects of nitrogen fertilization on biomass yield and quality in large fields of established switchgrass in southern Iowa, USA”, *Biomass and Bioenergy* 32(12): 1187-1194.
- Lemus R, Brummer EC, Moore KJ, Molstad NE, Burras CL, Barker MF (2002). Biomass yield and quality of 20 switchgrass populations in southern Iowa, USA. *Biomass and Bioenergy* 23: 433 – 442.
- Lemus R, Parrish DJ, Abaye O (2008). Nitrogen-use dynamics in switchgrass grown for biomass. *Bioenergy Resource* 1: 153–162.
- Lemus R, Parrish DJ, Wolf DD (2009). Nutrient uptake by ‘Alamo’ switchgrass used as an energy crop. *Bioenergy Resource* 2: 37–50.
- Lewandowski I and Kicherer A (1997). Combustion quality of biomass: Practical relevance and experiments to modify the biomass quality of *Miscanthus x giganteus*. *European Journal of Agronomy* 6: 163–177.
- Lewandowski I, Scurlock JO, Lindvall E and Christou M (2003). “The development and current status of perennial rhizomatous grasses as energy crops in the US and Europe”, *Biomass and Bioenergy* 25: 335-361.
- Liebig MA, Johnson HA, Hanson JD, Frank AB (2005). Soil carbon under switchgrass stands and cultivated cropland. *Biomass and Bioenergy* 28: 347–354.
- Lips S and Elbersen HW (2001). Switchgrass (*Panicum virgatum* L.) as an alternative energy crop in Europe, Initiation of a productivity network. FAIR 5-CT97-3701: 51-53.
- Lowenberg-DeBoer J, Cherney JH (1989). Biophysical simulation for evaluating new crops: the case for switchgrass for biomass energy feedstock. *Agricultural Systems* 29: 233–246.
- Lychnaras V and Schneider UA (2007). “Dynamic Economic Analysis of Perennial Energy Crops - Effects of the CAP Reform on Biomass Supply in Greece“, FNU-132, Hamburg University and Centre for Marine and Atmospheric Science, Hamburg.
- Ma Z, Wood CW, Brandsby DI (2001). Impact of row spacing, nitrogen rate, and time on carbon partitioning of switchgrass. *Biomass and Bioenergy* 20: 413-419.
- Ma Z, Wood CW, Bransby DI (2000). Carbon dynamics subsequent to establishment of Switchgrass. *Biomass and Bioenergy* 18: 93-104.
- Ma Z, Wood CW, Bransby DI (2000). Soil management impacts on soil carbon sequestration by Switchgrass. *Biomass and Bioenergy* 18: 469-477.

- Madakadze I, Coulman BE, Stewart K, Peterson P, Samson R, Smith DL (1998). Phenology and tiller characteristics of big bluestem and switchgrass cultivars in a short growing season area. *Agronomy Journal* 90: 489–495.
- Madakadze IC (1999). Kraft pulping characteristics and pulp properties of warm season grasses. *Bioresource Technology* 69: 75–85.
- Madakadze JC, Stewart K, Peterson PR, Coulman BE, Smith DL (1999). Cutting frequency and nitrogen fertilization effects on yield and nitrogen concentration of switchgrass in a short season area. *Crop Science* 39: 552–560.
- Mani S, Sokhansanj S, Bi X and Turhollow A (2006). “Economics of Producing Fuel Pellets from Biomass”. *Applied Engineering in Agriculture* 22(3): 421–26.
- Martin AR, Moomaw RS, Vogel KP (1982) Warm-season grass establishment with atrazine. *Agronomy Journal* 74: 916–920.
- McDonald S, Robinson S, Thierfelder K (2006). Impact of switching production to bioenergy crops: The switchgrass example. *Energy Economics* 28: 243–265.
- McKendry P (2002). “Energy production from biomass (part 1): overview of biomass” *Bioresource Technology* (83): 37–46.
- McLaughlin SB, Bouton JH, Bransby DI, Conger BV, Ocumpaugh WR, Parrish DJ, Taliaferro CM, Vogel KP, Wulschleger SD (1999). Developing switchgrass as a bioenergy crop. In: JanickJJ, editor. *Proceedings of the fourth national new crops symposium*. Alexandria, VA: ASHS Press; 282–99.
- McLaughlin SB, Kszos LA (2005). Development of switchgrass (*Panicum virgatum*) as a bioenergy feedstock in the United States. *Biomass and Bioenergy* 28: 515–535.
- McLaughlin SB, Samoson R, Bransby D and Wise logel A (1996). Evaluating physical, chemical and energetic properties of perennial grasses and biofuels. Proc., BIOENERGY '96. The Seventh National Bioenergy Conference: Partnerships to Develop and Apply Biomass Technologies, September 15–20, 1996. Nashville, TN. Accessed July 31, 2009.
- McMillan C (1959). The role of ecotypic variation in the distribution of the central grassland of North America. *Ecological Monographs* 29: 285–308.
- Miles TR, Baxter LL, Bryers RW, Jenkins BM and Oden LL (1996). Boiler deposits from firing biomass fuels. *Biomass and Bioenergy* 10: 125–138.
- Mitchell RB, Vogel KP, Berdahl J, Masters RA (2010). Herbicides for establishing switchgrass in the central and northern Great Plains. *Bioenergy Resource* 3: 321–327.
- Mitchell RB, Vogel KP, Sarath G (2008). Managing and enhancing switchgrass as a bioenergy feedstock. *Biofuel, Bioproducts and Biorefining* 2: 530–539.

- Mitchell RB, Vogel KP, Schmer MR, Pennington D (2010). Switchgrass for biofuel production. http://www.extension.org/pages/Switchgrass_for_Biofuel_Production. Accessed 30 Nov 2011 (last update 24/7/2012).
- Mitchell RB, Vogel KP, Uden DR (2012). The feasibility of switchgrass for biofuel production. *Biofuels* 3: 47–59.
- Monti A, Bezzi G, Pritoni G, Venturi G (2008). Long-term productivity of lowland and upland switchgrass cytotypes as affected by cutting frequency. *Bioresource Technology* 99: 7425–7432.
- Monti A, Fazio S, Lychnaras V, Soldatos P, Venturi G (2006). A full economic analysis of switchgrass under different scenarios in Italy estimated by BEE model. *Biomass and Bioenergy* 31: 177–185.
- Monti A, Fazio S, Venturi G (2009). Cradle-to-farm gate life cycle assessment in perennial energy crops. *European Journal of Agronomy* 31: 77–84.
- Monti A, Venturi P and Elbersen HW (2001). “Evaluation of the establishment of lowland and upland of switchgrass (*Panicum virgatum*) varieties under different tillage and seedbed conditions in northern Italy”. *Soil and Tillage Research* 63: 75-83.
- Monti A, Venturi P and Elbersen HW (2001). “Evaluation of the establishment of lowland and upland of switchgrass (*Panicum virgatum*) varieties under different tillage and seedbed conditions in northern Italy”. *Soil and Tillage Research* 63: 75-83.
- Monti A, Zatta A (2009). Root distribution and soil moisture retrieval in perennial and annual energy crops in Northern Italy. *Agricultural Ecosystem Environment* 132: 252–259.
- Moser LE, Vogel KP (1995). Switchgrass, bigbluestem and Indiangrass. In: Barnes RF, Miller DA, Nelson CJ (eds) *Forages, an introduction to grassland agriculture*, vol 1. Iowa State University Press, Ames.
- Moutsoglou A (2012). A comparison of prairie cordgrass and switchgrass as a biomass for syngas production. *Fuel* 95: 573–577.
- Muir JP, Sanderson MA, Ocumpaugh WR, Jones RM, Reed RL (2001). Biomass production of ‘Alamo’ switchgrass in response to nitrogen, phosphorus, and row spacing. *Agronomy Journal* 93: 896–901.
- Mulkey VR, Owens VN, Lee DK (2006). Management of switchgrass-dominated conservation reserve program lands for biomass production in South Dakota. *Crop Science* 46: 712–720.
- Nelson, D., and L. Sommers, 1982. Total Carbon, organic carbon, and organic matter. In *Methods of soil analysis, part 2*, ed. A. L. Page, 539–579. Madison, Wisc.: American Society of Agronomy.

- Nelson RG, Ascough JC and Langemeier MR (2006). “Environmental and economic analysis of switchgrass production for water quality improvement in northeast Kansas”, *Journal of Environmental Management* 79: 336-347.
- Nyoka B, Jeranyama P, Owens V, Boe A and Moechnig M (2007). *Management Guide for Biomass Feedstock Production from Switchgrass in the Northern Great Plains*. Sun Grant Initiative, North Central Center. South Dakota State University.
- O’Brien TR, Moser LE, Masters RA, Smart AJ (2008). Morphological development and winter survival of switchgrass and big bluestem seedlings. *Forage Grazinglands*. doi:10.1094/FG-2008-1103-01-RS.
- Ogden C, Ileleji K, Johnson K, Wang Q (2010). In-field direct combustion fuel property changes of switchgrass harvested from summer to fall. *Fuel Processing Technology*. 91: 266–271.
- Page AL, Miller RH and Keeney DR (1982). *Methods of soil analysis, Part 2-Chemical and Microbiological Properties*. ISBN 0-89118-072-9 (pt. 2).
- Parrish D, Fike J (2005). The biology and agronomy of switchgrass for biofuels. *Critical Reviews in Plant Sciences* 24: 423–459.
- 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-03-19SY163C/01, OakRidge National Laboratory, OakRidge, TN.
- Pedroso GM, De Ben C, Hutmacher RB, Orloff S, Putnam D, Six J, Van Kessel C, Wright S and Linquist BA (2011). Switchgrass is a promising, high-yielding crop for California biofuel. *California Agriculture* 65(3):168-173.
- Piscioneri L, Pignatelli V., Palazzo S. and Sharma N (2001). “Switchgrass production and establishment in the Southern Italy climatic conditions”, *Energy Conversion and Management* 42: 2071-2082.
- Prasifka JR, Bradshaw JD, Boe AA, Lee DK, Adamski D, Gray ME (2010). Symptoms, distribution and abundance of the stem-boring caterpillar, *Blastobasis repartella* (Dietz), in switchgrass. *Bioenergy Resource* 3: 238–242.
- Pusker R, Moscoso JLG, Kumar S, Cao X, Maob J, Schafran G (2012). Removal of copper and cadmium from aqueous solution using switchgrass biochar produced via hydrothermal carbonization process. *Journal of Environmental Management* 109: 61-69.
- Puchades R, Pastor MD & Maquieira A (2008). Cadmium copperization assays for the preparation of nitrate-reducing columns. *Communications in Soil Science and Plant Analysis* 25: 19-20; 3257-3280

- Radiotis T (1999). Fiber characteristics, pulpability, and bleachability studies of switchgrass. *TAPPI Journal* 82(7): 100-105.
- Raich JW and Tufekcioglu A (2000), “Vegetation and soil respiration: correlations and controls”, *Biogeochemistry* 48: 71-90.
- Rehm GW (1984). Yield and quality of a warm-season grass mixture treated with N, P, and atrazine. *Agronomy Journal* 76: 731–734.
- Reynolds JH, Walker CL, Kirchner MJ (2000). Nitrogen removal in switchgrass biomass under two harvest systems. *Biomass and Bioenergy* 19: 281–286.
- Rijal B, Igathinathane C, Karki B, Yu M, Pryor SW (2012). Combined effect of pelleting and pretreatment on enzymatic hydrolysis of switchgrass. *Bioresource Technology* 116: 36–41.
- Rinehart L (2006). Switchgrass as a Bioenergy Crop. National Center for Appropriate Technology (NCAT). A Publication of ATTRA-National Sustainable Agriculture Information Service.
- Ritchie JT and NeSmith DS (1991). Temperature and Crop Development. p. 5-29. In Hanks and Ritchie (ed.) *Modeling plant and soil systems*. Agronomy Monographs 31, ASA, CSSSA, SSSA, Madison, WI.
- Robertson GH, Paul EA, Harwood RR (2000). Greenhouse gases in intensive agriculture: contributions of individual gases to the radiative forcing of the atmosphere. *Science* 289: 1922–1925.
- Ruzinsky F and Kokta BV (2000). High-yield pulping of switchgrass using the Na₂SO₃/NaHCO₃ system. *Cellulose Chemistry and Technology* 34: 299-315.
- Samson R (2007). “Switchgrass Production in Ontario: A Management Guide”, Resource Efficient Agricultural Production, (REAP) – Canada.
- Samson R and Duxbury P (2000). Assessment of palletized biofuels. Resource efficient agriculture production Canada.
- Samson R, Bailey Stamler S and Ho Lem C (2006). Optimization of Switchgrass Management for Commercial Fuel Pellet Production. Alternative Renewable Fuels Research and Development Fund Project Summaries. Canada: REAP, 2006.
- Sanderson MA (1992). Morphological development of switchgrass and kleingrass. *Agronomy Journal* 84: 415–419.
- Sanderson MA, Read JC, Reed RL (1999). Harvest management of switchgrass for biomass feedstock and forage production. *Agronomy Journal* 91: 5–10.

- Sanderson MA, Schnabel RR, Curran WS, Stout WL, Genito D, Tracy BF (2004). Switchgrass and big bluestem hay, biomass, and seed yield response to fire and glyphosate treatment. *Agronomy Journal* 96: 1688–1692.
- Sanderson MA, Wolf DD (1995). Morphological development of switchgrass in diverse environments. *Agronomy Journal* 87: 908–915.
- Sanderson MA, Wolf DD (1995). Switchgrass biomass composition during morphological development in diverse environments. *Crop Science* 35: 1432–8.
- Sarath G, Mitchell RB (2008). Aged switchgrass seed lot's response to dormancy-breaking chemicals. *Seed Technology* 30: 7–16.
- Schimel DS (1986). Carbon and nitrogen turnover in adjacent grassland and cropland ecosystems. *Biochemistry* 2: 345–357.
- Schlesinger WH and Andrews JA (2000). “Soil respiration and the global carbon cycle”, *Biogeochemistry* 48: 7-20.
- Schmer MR, Liebig MA, Vogel KP, Mitchell RB (2011). Field-scale soil property changes under switchgrass managed for bioenergy. *GCB Bioenergy* 3: 439–449.
- Schmer MR, Vogel KP, Mitchell RB and Perrin RK (2008). "Net energy of cellulosic ethanol from switchgrass", *PNAS* 105(2): 464-469.
- Schmer MR, Vogel KP, Mitchell RB, Moser LE, Eskridge KM, Perrin RK (2006). Establishment stand thresholds for switchgrass grown as a bioenergy crop. *Crop Science* 46: 157–161.
- Scurlock J (2001). “Bioenergy feedstock characteristics”, BFIN - Bioenergy Feedstock Information Network.
- Sedivec KK, Tober DA, Duckwitz WL, Dewald DD, Printz JL and Craig DJ (2009). Grasses for the Northern Plains. Growth Patterns, Forage Characteristics and Wildlife Values. Volume II – Warm-season. NDSU Extension Service R-1390. Fargo, N.D. 59-66.
- Sharma N, Piscioneri I, Pignatelli V (2003). An evaluation of biomass yield stability of switchgrass (*Panicum virgatum* L.) cultivars. *Energy Conversion and Management* 44: 2953–2958.
- Shen ZX, Parrish DJ, Wolf DD, Welbaum GE (2001). Stratification in switchgrass seeds is reversed and hastened by drying. *Crop Science* 41: 1546–1551.
- Shinners KJ, Boettcher GC (2006). Drying, harvesting and storage characteristics of perennial grasses as biomass feedstocks. ASABE Annual International Meeting, Minneapolis
- Siemons P (2001). Economic aspects of switchgrass utilization for energy conversion. Final report FAIR 5-CT97-3701:51–53

- Skinner RH and Adler PR (2010). «Carbon dioxide and water fluxes from switchgrass managed for bioenergy production», *Agriculture, Ecosystems & Environment*, 138(3-4): 257-264.
- Skoufogianni E, Danalatos NG, Dimoyiannis D & Efthimiadis P (2013). Effects of Pea Cultivation as cover Crop on Nitrogen-Use Efficiency and Nitrogen Uptake by Subsequent Maize and Sunflower Crops in a sandy Soil in Central Greece. *Communication in Soil Science and plant Analysis* 44 (1-4): 861-868.
- Skrifvars B-J, Backman R, Hupa M, Sfiris G, Åbyhammar T, Lyngfelt A (1998). Ash behaviour in a CFB boiler during combustion of coal, peat or wood. *Fuel* 77 (1-2): 65-70.
- Sladden SE, Bransby DI, Kee DD (1994). Changes in yield and forage quality with time for two switchgrass varieties. *Proceedings of American Forage and Grassland Council* 3: 242-6.
- Sladden SS, Bransby DI and Aiken GE (1991). Biomass yield, composition and production costs for eight switchgrass varieties in Alabama. *Biomass and Bioenergy* 1(2): 119-122.
- Smart AJ, Moser LE (1999). Switchgrass seedling development as affected by seed size. *Agronomy Journal* 91:335-338.
- Smeets EMW, Lewandowski IM, Faaij APC (2009). The economical and environmental performance of miscanthus and switchgrass production and supply chains in a European setting. *Renewable and Sustainable Energy Reviews* 13: 1230-1245.
- Smith D, Greenfield SB (1979). Distribution of chemical constituents among shoot parts of timothy and switchgrass at anthesis. *Journal of Plant Nutrition* 1:81-99.
- Somleva MN, Snell KD, Beaulieu JJ, Peoples OP, Garrison BR, Patterson NA (2008). *Plant Biotechnology Journal* 6(7): 663-678.
- Stout WL, Jung GA (1995). Biomass and nitrogen accumulation in switchgrass: effects of soil and environment. *Agronomy Journal* 87: 663-9.
- Stout WL, Jung GA, Shaffer JA (1998). Effects of soil and nitrogen on water use efficiency of tall fescue and switchgrass under humid conditions. *Soil Science Society American Journal* 52: 429-434.
- 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 JA, Sanderson MA, Muir JP, McFarland MJ, Reed RL (2003). Comparison of growth and performance in upland and lowland switchgrass types to water and nitrogen stress. *Bioresource Technology* 86: 65-72.
- Sudhagar M, Tabila LG, Sokhansanj S (2004). Grinding performance and physical properties of wheat and barley straws, corn stover and switchgrass. *Biomass and Bioenergy* 27: 339 - 35.

- Tigka EL, Beslemes DF, Danalatos NG, Tzortzios S (2013). Evaluation of cover-cropping managements on productivity and N-utilization efficiency of kenaf (*Hibiscus cannabinus* L.), under different nitrogen fertilization rates and soil types. *European Journal of Agronomy* 46: 1–9
- Thomason WE, Raun WR, Johnson GV, Taliaferro CM, Freeman KW, Wynn KJ, Mullen RW (2004). Switchgrass response to harvest frequency and time and rate of applied nitrogen. *Journal of Plant Nutrition* 27: 1199–1266.
- Tufekcioglu A, Raich JW, Isenhardt TM, Schultz RC (2003). Biomass, carbon and nitrogen dynamics of multi-species riparian buffers within an agricultural watershed in Iowa, USA. *Agroforestry Systems* 57: 187–198.
- Urribarri L, Chacon D, Gonzalez O, Ferrer A (2009). Protein extraction and enzymatic hydrolysis of ammonia-treated cassava leaves (*Manihot esculenta* crantz). *Applied Biochemical Biotechnology* 153: 94–102.
- Soil Survey Staff. 1999. Keys of soil taxonomy: A basic system of soil classification for making and interpreting soil survey (USDA Agricultural Handbook 436)2nd, ed. Washington, D.C.: U.S. Government Printing Office.
- USDA NRCS 2001/2002. Switchgrass toxicity/photosensitivity in horses, sheep, and goats. In: *Northland News*. p. 6.
- USDA, United States Department of Agriculture (2008). “Plant Fact Sheet, *Panicum virgatum*”. Natural Resources Conservation Service, Plant Materials Program.
- Vamvuka D, Topouzi V, Sfakiotakis S (2010). Evaluation of production yield and thermal processing of switchgrass as a bio-energy crop for the Mediterranean region. *Fuel Processing Technology* 91: 988–996.
- Van den Berg D, De Visser P (2001). Thermal conversion of switchgrass. Final report FAIR 5-CT97-3701: 48–50.
- Van Esbroeck GA, Hussey MA, Sanderson MA (1997). Leaf appearance rate and final leaf number of switchgrass cultivars. *Crop Science* 37: 864–870.
- Van Esbroeck GA, Hussey MA, Sanderson MA (2003). Variation between Alamo and cave-in-rock switchgrass in response to photoperiod extension. *Crop Science* 43: 639–643.
- Varvel GE, Vogel KP, Mitchell RB, Follett RF and Kimble JM (2008). “Comparison of corn and switchgrass on marginal soils for bio energy”. *Biomass and Bioenergy* 32(1): 18–21.
- Vassey TL, George JR, Mullen RE (1985). Early-, mid-, and late-spring establishment of switchgrass at several seeding rates. *Agronomy Journal* 77: 253–257.

- Venturi P and Venturi G (2003). “Analysis of energy comparison for crops in European agricultural system”. *Biomass and Bioenergy* 25(3): 235-255.
- Virgilio N, Monti A and Venturi G (2007). “Spatial variability of switchgrass”, (*Panicum virgatum* L.) yield as related to soil parameters in a small field. *Field Crops Research* 101: 232-239.
- Vogel KP (1987). Seeding rates for establishing big bluestem and switchgrass with preemergence atrazine applications. *Agronomy Journal* 79: 509–512.
- Vogel KP, Brejda JJ, Walters DT, Buxton DR (2002). Switchgrass biomass production in the Midwest USA: harvest and nitrogen management. *Agronomy Journal* 94: 413–420.
- Vogel KP, Sarath G, Saathoff A, Mitchell R (2011). Switchgrass. In: Halford N, Karp A (eds) *Energy Crops*. The Royal Society of Chemistry, Cambridge.
- Weaver JE (1931). Who’s who among the prairie grasses. *Ecology* 12: 623–632.
- Wedin WF, Hesel Z (1980). Plant species for biomass production on marginal sites. In: Robinson JS (ed) *Fuels from biomass*. Noyes Data Corp, Park Ridge.
- West DR, Kincer DR (2011). Yield of switchgrass as affected by seeding rates and dates. *Biomass and Bioenergy* 35: 4057–4059.
- Wolf DD and Fiske DA (2009). *Planting and Managing Switchgrass for Forage, Wildlife, and Conservation*. Virginia Cooperative Extension, Virginia Tech and Virginia State University. Publication 418-013.
- Wright L (2007). “Historical Perspective on How and Why Switchgrass was Selected as a “Model” High-Potential Energy Crop”. Environmental Sciences Division, Oak Ridge National Laboratory.
- Zarnstorff ME, Keys RD, Chamblee DS (1994). Growth regulator and seed storage effects on switchgrass germination. *Agronomy Journal* 86: 667–672.
- Zhang J, Maun MA (1989). Seed dormancy of *Panicum virgatum* L. on the shore line sand dunes of lake Erie. *The American Midland Naturalist* 122: 77–87.

Σελίδες του διαδικτίου

<http://www.illinoiswildflowers.info/grasses/tables/table41.htm>

http://cgge.aag.org/GlobalClimateChange1e/cs-3/cs-3_print.html

http://news.mongabay.com/bioenergy/2007_09_23_archive.html

ABSTRACT

Switchgrass (*Panicum virgatum* L.) is a perennial C4, photosensitive grass of temperate zones, with high adaptability to a wide range of agro-ecosystems and soil types, for forage and energy production. Switchgrass is classified into upland and lowland ecotypes associated with the latitude and its origin.

Switchgrass is a dominant species of North America grassland and can be found in uncultivated soils, pastures and along roadsides. It is mainly used to protect soil from erosion, for organic binding of atmospheric carbon dioxide, as fertilizer for poor soils, as forage and fiber for the production of biodegradable plastics and paper, as an ornamental plant and nowadays as energy plant for bio-ethanol, biogas and pellet production, to produce electricity and heat. Switchgrass establishment takes place once per ten years or more.

In the present study it was investigated the adaptability of switchgrass (*Panicum virgatum* L., cv Alamo) in central Greece, under low inputs. This study focuses on Thessalian land use systems, because Thessaly plain is the main center of agricultural production in Greece. More specifically, the establishment in two different sites in East (Velesino) and West (Palamas) Thessaly gives the opportunity to investigate the adaptability under different microclimatic-soil conditions.

The soil in Palamas area is deep, calcareous (pH=8.3), sandy loam to loam (sand 37-45%, silt 51-43%, clay 12%) and moderately fertile (0.9% organic matter content at 40 cm depth). The soil is characterized by a groundwater table fluctuating from some 2 m below the soil surface (receives artificial drainage) in May, to deeper layers later in the summer, and is classified as Aquic Xerofluvent (USDA, 1999). The soil has better top soil structure, is less compacted and allows the formation of a deep rooting system. On the other hand, the soil in Velesino is calcareous (pH=8.1-8.3), clay loam to clay (sand 19-21%, silt 39-41%, clay 38-42%), fertile (organic matter content 1.4-1.8% at 40 cm depth) and was classified as Calcixerollic Xerochrept, according to USDA (1999). Despite its inherent fertility, the soil is very dry during the summer period, and rather compacted, hindering the formation of a deep rooting system.

Switchgrass cultivation was studied under two different irrigation treatments (I1 – 0 mm: rainfed, and I2 – 250 mm: limited irrigation) and four different N-fertilization levels (N1: 0, N2: 80, N3: 160, and N4: 240 kg ha⁻¹). Crop growth and yield were investigated for forage and biomass production. The N-P-K uptake by the crop was determined, according to the desired final product (forage or biomass for solid biofuels). In the case of solid biofuels, calorific values and ash content were measured at different growth stages as to be able to determine the most suitable harvest season.

Furthermore, the effect of switchgrass in soil organic matter and organic carbon was also investigated. Finally, an economic analysis was conducted under different harvesting practices and for different scenarios, where was determined the cost-effectiveness for Greek producers. The results of the economic analysis gave the overall conclusion of each scenario for the proposal of switchgrass introduction in future land use planning.

The originality of this study is the evaluation and validation of switchgrass adaptability and development under supplemental irrigation, different nitrogen levels and different soil types (an Aquic Xerofluvent, and a Calcixerollic Xerochrept) in representative soils of Thessaly -and the Mediterranean more generally-, and how the calorific values and ash content of harvested biomass are effected at different development stages. Finally, the economic study and analysis of switchgrass cultivation showed the benefits to the farmers in Thessaly giving also a general tendency for the farmers in Greece.

Literature review showed that the data relating to switchgrass cultivation in Greece and more specifically in the Thessaly is incomplete. Therefore this study helps to integrate and strengthen the existing information on switchgrass in Greece and particularly for a productive lowland variety such as Alamo.

For the purposes of the study, two field experiments were established in two different soil-climatic environments in 2009-2012. The experimental design was a split-plot (4x2x4) with irrigation (2 levels) as main factor and N-fertilization (4 levels) as sub-factor in four replications.

It was found that the main limiting factor of crop growth and development is irrigation and not N-fertilization. Moreover, the supplemental irrigation (250 mm), led to increased production in areas such as Velestino (xeric soil), which has 40-45% lower yield than in

Palamas (aquic soil). N-fertilization of 80-160 kg N ha⁻¹ is required for further yield increase.

Switchgrass (vs. Alamo) potential biomass production may be 27-30 t ha⁻¹ under Mediterranean environmental conditions (year-to-year fluctuation). Such yields could be attainable under only supplemental irrigation (250 mm) in aquic soils, which however may represent large areas as central Greek lowlands (Karditsa plain). In such soils switchgrass may grow without any irrigation and produce rather good biomass yields of 19 - 24 t ha⁻¹. Oppositely, in typical (semi dry or dry) soils, biomass yields of 14-15 t ha⁻¹ may be produced only with supplemental irrigation. It has been found that shoots comprise 70% of the total aerial biomass throughout the growing period regardless of the study site.

Switchgrass yield-nutrient uptake relationships are linear with very high R² for both uses (fodder or solid biofuel production), especially for N and K. In case of fodder production R² is 0.90 and 0.80, for N and K respectively, pointing to a Nitrogen Use Efficiency (NUE) = 144 kg kg⁻¹ and a Potassium Use Efficiency (KUE) = 72 kg kg⁻¹. On the other hand, in case of solid biofuel production R² of 0.84 and 0.90 were found for N and K, respectively, pointing to a NUE = 240 kg kg⁻¹ and a KUE = 160 kg kg⁻¹. These values are rather high in comparison with many other traditional or biomass crops, and therefore switchgrass might give acceptable biomass yield even in degraded and vulnerable to erosion soils without or with minimum fertilization inputs given that water availability is not limited.

The basic N uptake depends mainly on soil type. In the aquic soil (Palamas), basic uptake ranged between 45-65 and 61-86 kg N ha⁻¹ for fodder and solid biofuel production, respectively, regardless of irrigation treating. In xeric soil (Velesino), the basic N uptake was around 40 kg N ha⁻¹ for both irrigation levels of fodder production, but increased to 60 kg N ha⁻¹ in the case of the irrigated treatment of biofuel production (longer growing period). Nitrogen recovery fraction (RF) is greatly affected by the soil type and irrigation treatment. In case of fodder production in xeric soil (Velesino), RF was almost zero at every irrigation level, while in the case of solid biofuel production, it reached a value of 16% only upon irrigation, highlighting the futile efforts of adding any amount of N-

fertilizer under rainfed conditions. In contrast, in the aquatic soil (Palamas), RF was significantly higher, reaching the 30% in all cases.

The average calorific value of switchgrass biomass having a moisture content of 8% was found 16.95 MJ kg⁻¹ (Velestino) to 17.26 MJ kg⁻¹ (Palamas), and these values were rather unvariable throughout the growing period (at the early development stages: 16.9-17 MJ kg⁻¹). Moreover, it was found that the average ash content decreased with crop maturation. Particularly, at the early development stages the average ash content was 5.25%, while in the stage of seed maturation, the average ash content decreased to 4.36%.

Attributing the calorific value and ash content with switchgrass biomass yield, it appears that 1 hectare of switchgrass may produce 10 toe (tons of oil equivalent) and 1 t of ash on an aquatic soil, but only 5.5 Mtoe and 600 kg of ash on a xeric soil.

Finally, it was found that the use of switchgrass as feedstock may ensure a greater farmer producer income (about 1700 € ha⁻¹), while in the case of solid biofuel production, profits are getting positive under vertical integration when farmer may increase his income to 2000 € ha⁻¹.

Therefore, it seems that switchgrass cultivation may give good biomass yields with low N-fertilization inputs, and very high yields on aquatic soils with or without supplemental irrigation. Thus, its introduction in land use systems, will improve farmers income with parallel environmental protection, and should be seriously taken into consideration.