



ΥΠΟΥΡΓΕΙΟ ΕΘΝΙΚΗΣ ΠΑΙΔΕΙΑΣ ΚΑΙ ΘΡΗΣΚΕΥΜΑΤΩΝ
ΕΙΔΙΚΗ ΥΠΗΡΕΣΙΑ ΔΙΑΧΕΙΡΙΣΗΣ ΕΠΕΑΕΚ

ΕΥΡΩΠΑΪΚΗ ΕΝΩΣΗ

ΣΥΓΧΡΗΜΑΤΟΔΟΤΗΣΗ
75% ΕΥΡΩΠΑΪΚΟ ΚΟΙΝΩΝΙΚΟ ΤΑΜΕΙΟ
25% ΕΘΝΙΚΟΙ ΠΟΡΟΙ



ΠΑΙΔΕΙΑ ΜΠΡΟΣΤΑ
2^ο Επιχειρησιακό Πρόγραμμα
Εκπαίδευσης και Αρχικής
Επαγγελματικής Κατάρτισης

**ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΑΙΓΑΙΟΥ
ΣΧΟΛΗ ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝΤΟΣ
ΤΜΗΜΑ ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝΤΟΣ
ΠΜΣ “ΓΕΩΡΓΙΑ ΚΑΙ ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝ”**



**SWITCHGRASS: ΜΙΑ ΝΕΑ ΚΑΛΛΙΕΡΓΕΙΑ ΓΙΑ
ΠΑΡΑΓΩΓΗ ΒΙΟΚΑΥΣΙΜΩΝ**

ΣΑΝΔΑΛΗΣ ΙΩΑΝΝΗΣ ΑΜ (145/200624)

**ΥΠΕΥΘΥΝΟΣ ΚΑΘΗΓΗΤΗΣ
ΔΑΝΑΛΑΤΟΣ ΝΙΚΟΛΑΟΣ**

**Τμήμα Περιβάλλοντος Πανεπιστήμιο Αιγαίου
Μυτιλήνη Οκτώβριος 2007**

Στις κόρες μου Αθανασία και Στέλλα

Ευχαριστώ

Τον Καθηγητή μου κ. Ν. Δαναλάτο, γιατί κατά την διάρκεια των διαλέξεων του, θυμήθηκα πόσο πολύ αγαπάω την Γεωπονική.

Ιδιαίτερα ευχαριστώ την σύζυγο μου Άννα, για την στήριξη που μου προσφέρει στο ταξίδι της ζωής και στην εκπλήρωση των στόχων μας.

ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ

ΚΑΤΑΛΟΓΟΣ ΠΙΝΑΚΩΝ	i
ΚΑΤΑΛΟΓΟΣ ΔΙΑΓΡΑΜΜΑΤΩΝ	ii
ΠΕΡΙΛΗΨΗ.....	1
1.ΕΙΣΑΓΩΓΗ.....	3
2.ΒΙΟΜΑΖΑ	5
2.1. ΟΡΙΣΜΟΣ - ΕΙΔΗ ΒΙΟΜΑΖΑΣ.....	5
2.2. ΜΕΘΟΔΟΙ ΕΠΕΞΕΡΓΑΣΙΑΣ ΤΗΣ ΒΙΟΜΑΖΑΣ.....	6
2.3. ΠΛΕΟΝΕΚΤΗΜΑΤΑ-ΜΕΙΟΝΕΚΤΗΜΑΤΑ ΤΗΣ ΕΝΕΡΓΕΙΑΚΗΣ ΧΡΗΣΗΣ ΤΗΣ ΒΙΟΜΑΖΑΣ.....	8
3. Η ΠΑΡΑΓΩΓΗ ΒΙΟΚΑΥΣΙΜΩΝ ΣΤΟΝ ΚΟΣΜΟ.....	11
3.1.Η ΠΟΛΙΤΙΚΗ ΤΗΣ Ε.Ε. ΓΙΑ ΤΗΝ ΠΑΡΑΓΩΓΗ ΒΙΟΚΑΥΣΙΜΩΝ.....	11
3.2. Η ΠΑΡΑΓΩΓΗ ΒΙΟΚΑΥΣΙΜΩΝ ΔΙΕΘΝΩΣ.....	13
3.3. ΠΑΡΑΓΩΓΗ ΒΙΟΚΑΥΣΙΜΩΝ ΣΤΗΝ ΕΛΛΑΔΑ	15
4. ΕΝΕΡΓΕΙΑΚΕΣ ΚΑΛΛΙΕΡΓΕΙΕΣ.....	17
4.1. ΕΠΙΛΟΓΗ ΜΙΑΣ ΚΑΛΛΙΕΡΓΕΙΑΣ ΩΣ ΕΝΕΡΓΕΙΑΚΗΣ.....	17
4.2. ΕΝΕΡΓΕΙΑΚΕΣ ΚΑΛΛΙΕΡΓΕΙΕΣ ΣΤΗΝ ΕΛΛΑΔΑ	19
5. SWITCHGRASS-ΜΙΑ ΕΝΕΡΓΕΙΑΚΗ ΚΑΛΛΙΕΡΓΕΙΑ	24
5.1. ΕΠΙΛΟΓΗ ΤΗΣ ΚΑΛΛΙΕΡΓΕΙΑΣ ΩΣ ΕΝΕΡΓΕΙΑΚΗΣ	24
5.2. ΤΑΞΙΝΟΜΗΣΗ	25
5.3. ΜΟΡΦΟΛΟΓΙΚΑ ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΤΙΚΑ.....	26
5.4. ΔΙΑΧΕΙΡΙΣΗ ΤΗΣ ΚΑΛΛΙΕΡΓΕΙΑΣ - ΑΠΑΙΤΗΣΕΙΣ.....	26
5.4.1. ΕΛΑΦΙΚΕΣ ΑΠΑΙΤΗΣΕΙΣ.....	27
5.4.2. ΑΠΑΙΤΗΣΕΙΣ ΣΕ ΛΙΠΑΝΣΗ.....	28

5.4.3. ΕΛΕΓΧΟΣ ΖΙΖΑΝΙΩΝ	32
5.4.4. ΕΠΙΛΟΓΗ ΠΟΙΚΙΛΙΑΣ	34
5.4.5. ΣΠΟΡΑ.....	37
5.4.6. ΑΠΑΙΤΗΣΕΙΣ ΣΕ ΝΕΡΟ.....	39
5.4.7. ΣΥΓΚΟΜΙΔΗ	42
5.4.8. ΥΨΟΣ ΠΑΡΑΓΩΓΗΣ.....	43
6. ΠΕΙΡΑΜΑΤΙΚΑ ΔΕΔΟΜΕΝΑ ΑΠΟ ΤΗΝ ΕΥΡΩΠΗ	45
6.1. Μ. ΒΡΕΤΑΝΙΑ	45
6.2. ΒΟΡΕΙΑ ΕΥΡΩΠΗ.....	48
6.3. ΜΕΣΟΓΕΙΑΚΗ ΖΩΝΗ.....	50
7. ΕΝΕΡΓΕΙΑΚΗ ΧΡΗΣΗ ΤΟΥ SWITCHGRASS.....	57
7.1. ΕΝΕΡΓΕΙΑΚΗ ΧΡΗΣΗ ΤΗΣ ΒΙΟΜΑΖΑΣ	57
7.1.1 ΠΑΡΑΓΩΓΗ ΒΙΟΑΙΘΑΝΟΛΗΣ.....	57
7.1.2. ΚΑΥΣΗ	58
8. ΕΝΕΡΓΕΙΑΚΟ ΙΣΟΖΥΓΙΟ ΤΟΥ SWITCHGRASS.....	62
9. ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝΤΙΚΟ ΟΦΕΛΟΣ ΤΗΣ ΚΑΛΛΙΕΡΓΕΙΑΣ.....	64
10. ΟΙΚΟΝΟΜΙΚΗ ΠΡΟΣΕΓΓΙΣΗ ΤΟΥ SWITCHGRASS.....	66
10.1. ΟΙΚΟΝΟΜΙΚΗ ΑΝΑΛΥΣΗ ΤΗΣ ΚΑΛΛΙΕΡΓΕΙΑΣ.....	66
10.2. ΟΙΚΟΝΟΜΙΚΗ ΑΞΙΑ ΤΗΣ ΒΙΟΜΑΖΑΣ-ΥΠΟΛΟΓΙΣΜΟΣ.....	70
10.3. ΟΙΚΟΝΟΜΙΚΗ ΠΡΟΣΕΓΓΙΣΗ ΣΤΑ ΔΕΔΟΜΕΝΑ ΤΗΣ ΕΛΛΑΔΑΣ.....	71
10.3.1 ΜΕΘΟΔΟΛΟΓΙΑ	71
10.3.2.ΥΠΟΛΟΓΙΣΜΟΣ ΚΟΣΤΟΥΣ ΕΓΚΑΤΑΣΤΑΣΗΣ	72
10.3.4. ΕΤΗΣΙΟ ΚΑΛΛΙΕΡΓΗΤΙΚΟ ΚΟΣΤΟΣ ΚΑΙ ΥΨΟΣ ΠΑΡΑΓΩΓΗΣ ΠΟΥ ΙΣΟΣΚΕΛΙΖΕΙ ΤΑ ΕΤΗΣΙΑ ΕΞΟΔΑ.....	73
10.3.5. ΣΥΓΚΡΙΣΗ ΜΕ ΠΑΡΑΔΟΣΙΑΚΕΣ ΚΑΛΛΙΕΡΓΕΙΕΣ.....	75

11. ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ.....	78
12. ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ.....	80
ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ.....	90

ΚΑΤΑΛΟΓΟΣ ΔΙΑΓΡΑΜΜΑΤΩΝ

Διάγραμμα 1. Ο κύκλος παραγωγής ενέργειας από βιομάζα.....	6
Διάγραμμα 2. Σύγκριση της υφιστάμενης κατάστασης και του προγράμματος δράσης για την βιομάζα στην Ε.Ε .σε εκατομμύρια τόνους.	11
Διάγραμμα 3. Σύγκριση της υφιστάμενης κατάστασης και των προβλέψεων της Λευκής Βίβλου για τα βιοκαύσιμα στην Ε.Ε σε εκατ. τόνους.....	12
Διάγραμμα 4. Κύριες ενεργειακές καλλιέργειες, διεργασίες μετατροπής και βιοκαύσιμα	21
Διάγραμμα 5. Ετήσια κατανομή βροχόπτωσης και θερμοκρασίας στην Trisaia της Ιταλίας κατά την διάρκεια πειράματος	41
Διάγραμμα 6. Οι αποδόσεις των 5 ποικιλιών στα τρία επίπεδα λίπανσης, τα έτη 1998, 1999, 2000 στην Αλίαρτο.....	55
Διάγραμμα 7. Οι αποδόσεις των 5 ποικιλιών στα τρία επίπεδα λίπανσης, τα έτη 1998, 1999, 2000 στην Trisaia	55
Διάγραμμα 8. Ύψος της παραγωγής που ισοσκελίζει τα ετήσια έξοδα σε τρία διαφορετικά σενάρια εισροών, στην Ιταλία	69

ΚΑΤΑΛΟΓΟΣ ΠΙΝΑΚΩΝ

Πίνακας 1. Παραγωγή βιοντίζελ στην Ε.Ε.....	14
Πίνακας 2. Παραγωγή βιοαιθανόλης στην Ε.Ε.....	14
Πίνακας 3. Απαιτούμενη κατανάλωση βιοντίζελ και βιοαιθανόλης την περίοδο 2005-2010 στην Ελλάδα	16
Πίνακας 4. Πολυετής πόες που ελέγχονται ως ενεργειακές καλλιέργειες στην Ευρώπη	22
Πίνακας 5. Εφαρμογές ζιζανιοκτόνων σε καλλιέργεια switchgrass στη νότια Αγγλία	33
Πίνακας 6. Οι ποικιλίες switchgrass που ελέγχθηκαν στο Ευρωπαϊκό πρόγραμμα FAIR 5-CT97-3701	36
Πίνακας 7. Οι ποικιλίες που ελέγχθηκαν στην Αγγλία.....	46
Πίνακας 8. Ετήσια παραγωγή ($t\ ha^{-1}$) ξηράς ουσίας, χλωρής ουσίας και ξηράς ουσίας αργά τον χειμώνα.....	47
Πίνακας 9. Οι περιοχές πειραματισμού στη Β. Ευρώπη και κάποια στοιχεία που τις αφορούν .	49
Πίνακας 10. Γεωγραφικά και κλιματικά στοιχεία των περιοχών Trisaia και της Αλιάρτου	50
Πίνακας 11. Χαρακτηριστικά ανάπτυξης στη Trisaia της Ιταλίας τα έτη, 1998,1999 και 2000 .	52
Πίνακας 12. Χαρακτηριστικά ανάπτυξης στην Αλιάρτο της Ελλάδας τα έτη, 1998,1999 και 2000.....	52
Πίνακας13. Χαρακτηριστικά ανάπτυξης και παραγωγή ξηράς ουσίας στην Αλιάρτο	54
Πίνακας14. Χαρακτηριστικά ανάπτυξης στη Trisaia της Ιταλίας	54
Πίνακας 15. Μέσος όρος ημι-κυτταρίνης κυτταρίνης, αζώτου και στάχτης 20 ποικιλιών switchgrass που συγκομίσθηκαν τα έτη 1998, 1999, και 2000 στην Iowa των ΗΠΑ	60
Πίνακας 16. Καθαρό ενεργειακό κέρδος (GJ/ha^{-1}) σε ενεργειακές καλλιέργειες υψηλών εισροών και αναμενόμενες υψηλές αποδόσεις	62
Πίνακας 17. Συγκριτική ενεργειακή ροή στην παραγωγή της αιθανόλης από το switchgrass και το καλαμπόκι	63
Πίνακας18. Βάρος ριζών 8 ποικιλιών switchgrass σε διάφορα βάθη εδάφους σε $kg\ DM\ ha^{-1}$	65
Πίνακας 19. Υπολογισμός κόστους εγκατάστασης switchgrass ανά εκτάριο στην Ελλάδα	73
Πίνακας 20. Υπολογισμός ετήσιου καλλιεργητικού κόστους ανά εκτάριο καλλιέργειας switchgrass	74
Πίνακας 21. Σύνολο τελικών ετήσιων καλλιεργητικών εξόδων του switchgrass και το αντίστοιχο ύψος παραγωγής που απαιτείται για να ισοσκελισθούν τα έξοδα αυτά.	74
Πίνακας 22. Οικονομική σύγκριση δύο παραδοσιακών καλλιεργειών και του switchgrass.	76

Πίνακας 23. Οικονομική σύγκριση δύο πιθανών αποδόσεων switchgrass με τις καλλιέργειες του βαμβακιού και καλαμποκιού.....	76
--	----

ΠΕΡΙΛΗΨΗ

Η ενέργεια είναι ένα σοβαρό θέμα προβληματισμού της παγκόσμιας κοινότητας, διότι η προσφορά δεν μπορεί να ικανοποιήσει την ζήτηση η οποία συνεχώς αυξάνεται, ενώ τα αποθέματα ορυκτών καυσίμων δεν είναι ανεξάντλητα.. Το περιβάλλον είναι ένα άλλο σοβαρό θέμα, με τις δυσμενείς συνέπειες των μεταβολών που συμβαίνουν στον πλανήτη να έχουν γίνει πλέον ορατές σχεδόν σε κάθε κάτοικό του.

Οι ενεργειακές καλλιέργειες μπορούν να συνεισφέρουν στην άμβλυση των προβλημάτων που προκαλεί η χρήση των ορυκτών καυσίμων. Δημιουργούνται όμως νέοι προβληματισμοί, που έχουν να κάνουν με την χρήση της γης και την πιθανή έλλειψη τροφίμων, στην προσπάθεια για ενεργειακή αυτάρκεια. Η επιλογή του είδους της ενεργειακής καλλιέργειας είναι η σημαντικότερη απόφαση γιατί αυτή θα καθορίσει αν μπορεί να δεχθεί διαχειριστικές πρακτικές οι οποίες θα έχουν σαν αποτέλεσμα χαμηλές εισροές και χρήση εδαφών τα οποία δεν είναι παραγωγικά σε παραδοσιακές καλλιέργειες.

Μια τέτοια καλλιέργεια είναι το switchgrass, φυτό ιθαγενές της Β. Αμερικής, πολυετές, με μικρές απαιτήσεις σε εισροές και ευδοκίμηση σε ποικιλία εδαφών όπως ελαφριά αμμώδη, όξινα, πολύ υγρά ή ξερά πετρώδη εδάφη. Στα μόνα εδάφη που δεν αναπτύσσεται είναι τα βαριά αργιλώδη ή αυτά με pH μεγαλύτερο του 8. Έχει πλούσιο ριζικό σύστημα που φθάνει σε βάθος τα 3 μέτρα, το οποίο του δίνει αντοχή στην ξηρασία, έχει φθινό σπόρο, πλούσιο γενετικό υλικό και άρα μεγάλο περιθώριο βελτίωσης. Με παραγωγικό δυναμικό που δεν πέφτει κάτω από 10 τόνους ξηράς ουσίας ανά εκτάριο και μέγιστο τους 35 τόνους, ενεργειακό δυναμικό 17,4 GJ ανά τόνο ξηράς ουσίας, μπορεί να αποδώσει 609 GJ ανά εκτάριο όταν ένας τόνος πετρελαίου αποδίδει 42 GJ. Η παραγωγικότητα σε αιθανόλη φθάνει τα 333 λίτρα ανά τόνο βιομάζας. Αυτό σημαίνει ότι παράγει 55% περισσότερη ενέργεια υπό μορφή βιοαιθανόλης ανά μονάδα γης, από ότι το καλαμπόκι, η πλέον χρησιμοποιούμενη

καλλιέργεια για τον σκοπό αυτό. Το Υπουργείο Ενέργειας των ΗΠΑ πειραματίζεται στην καλλιέργεια του 20 σχεδόν χρόνια, ενώ ταυτόχρονα υπάρχει σε εξέλιξη πρόγραμμα γενετικής βελτίωσης. Δεν είναι τυχαίο ότι ο πρόεδρος της χώρας το ανέφερε στην ετήσια ομιλία του προς το Αμερικανικό Έθνος το 2006 σαν μία από τις πιο ελπιδοφόρες λύσεις στο ενεργειακό πρόβλημα της χώρας.

Η Ε.Ε. παρακολουθώντας τις εξελίξεις από κοντά, συμπεριέλαβε το switchgrass στις υπό μελέτη ενεργειακές καλλιέργειες, μέσω του προγράμματος FAIR 5-CT97-3701, ενώ μία από τις χώρες στις οποίες έγιναν τα πειράματα ήταν η Ελλάδα. Οι αποδόσεις που καταγράφηκαν στην χώρα μας ήταν 25 τόνοι ξηράς ουσίας ανά εκτάριο, μόλις τον δεύτερο χρόνο καλλιέργειας, ενώ το ύψος της παραγωγής που ισοσκελίζει το ετήσιο κόστος, κυμαίνεται από 6,44 έως 11,90 τόνους ξηράς ουσίας ανά εκτάριο. Τα στοιχεία που υπάρχουν είναι λίγα, όσον αφορά την συμπεριφορά της καλλιέργειας στο Μεσογειακό περιβάλλον, δείχνουν όμως σαν πρώτη εικόνα, ότι εύκολα μπορεί να εγκατασταθεί στη Χώρα μας και να δώσει στους παραγωγούς μας, μια λύση αναδιάρθρωσης και αντικατάστασης παραδοσιακών καλλιεργειών, με ανταγωνιστικό εισόδημα που είναι δυνατό να φθάσει τα 1570€ κέρδος ανά εκτάριο.

1. ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Η ανάγκη για χρήση εναλλακτικών, ανανεώσιμων καυσίμων έναντι του πετρελαίου και των προϊόντων του είναι ιδιαίτερη έντονη στις μέρες μας, τόσο για περιβαλλοντικούς λόγους, όσο και για οικονομικούς. Οι εκπομπές και συνακόλουθα, η περιεκτικότητα του ατμοσφαιρικού αέρα σε διοξείδιο του άνθρακα (CO₂), του αερίου που κατεξοχήν ευθύνεται για το φαινόμενο του θερμοκηπίου, διαρκώς αυξάνονται, ενώ η παγκόσμια ζήτηση για ενέργεια βαίνει και αυτή αυξανόμενη.

Ταυτόχρονα η παγκόσμια παραγωγή πετρελαίου και ο ρυθμός ανακάλυψης νέων κοιτασμάτων μειώνονται. Σύμφωνα με πολλούς ερευνητές, τα αποθέματα πετρελαίου και φυσικού αερίου του πλανήτη αναμένεται να έχουν εξαντληθεί πριν τα μέσα του 21ου αιώνα (Klass, 2004). Φυσικό επακόλουθο της μείωσης της προσφοράς και της αύξησης της ζήτησης είναι η άνοδος της τιμής. Γίνεται αντιληπτό ότι η έστω και μερική υποκατάσταση του πετρελαίου από εναλλακτικά, ανανεώσιμα, καύσιμα αποτελεί μια διέξοδο άμβλυνσης των αρνητικών επιπτώσεων. Τα βιοκαύσιμα είναι μια τέτοια μορφή εναλλακτικών και ανανεώσιμων καυσίμων.

Πέρα όμως από τους οικονομικούς λόγους, η χρήση εναλλακτικών καυσίμων, συνάδει με τις δεσμεύσεις που έλαβαν οι αναπτυγμένες βιομηχανικά χώρες στο Κιότο, της μείωσης δηλαδή, των εκπομπών αερίων που προκαλούν το φαινόμενο του θερμοκηπίου. Με βάση δε, το γεγονός ότι ο κλάδος των μεταφορών συμβάλλει σημαντικά στις εκπομπές αυτές (EEA, Technical Report 1/2007), κρίνεται επιτακτική η ανάγκη χρήσης εναλλακτικών καυσίμων κίνησης. Βραχυπρόθεσμα και μεσοπρόθεσμα, τα καύσιμα που έχουν την μεγαλύτερη δυνατότητα υποκατάστασης των προϊόντων πετρελαίου στις μεταφορές είναι τα βιοκαύσιμα. (EEA, Technical report No 10/2006).

Αποτέλεσμα αυτών είναι η Ε.Ε. να αναπτύσσει κατάλληλες πολιτικές και δράσεις, μείωσης εκπομπών CO₂ και αύξησης της παραγωγής βιοκαυσίμων.

Παράλληλα, νέες συνθήκες επικρατούν στην ευρωπαϊκή γεωργία. Η αναμορφωμένη Κοινή Αγροτική Πολιτική της Ε.Ε. (2003-2012) εισάγει την αποδέσμευση των ενισχύσεων από το είδος της παραγωγής, με στόχο την αύξηση της ανταγωνιστικότητας των καλλιεργειών. Οι ενισχύσεις πλέον δεν συνδέονται με συγκεκριμένο κλάδο γεωργικής παραγωγής, αλλά δίνονται στις εκμεταλλεύσεις κατ' αποκοπή, με βάση τις επιδοτήσεις που λάμβαναν την τριετία 2000-2002. Η πολιτική αυτή πέρα από άλλες θετικές ή αρνητικές επιπτώσεις, επιφέρει ελευθερία επιλογής καλλιέργειας σε μια γεωργική εκμετάλλευση, χωρίς οικονομικές επιπτώσεις στις ενισχύσεις που λαμβάνει από την Ε.Ε.

Συνδυάζοντας τις πολιτικές της Ε.Ε. για τα βιοκαύσιμα, την νέα Κ.Α.Π. αλλά και τις ανάγκες της Χώρας για αναδιάρθρωση των καλλιεργειών και άμβλυνσης των αρνητικών συνεπειών τόσο στο περιβάλλον όσο και στην κοινωνική συνοχή, οδηγούμαστε στο συμπέρασμα ότι δημιουργείται η ανάγκη εύρεσης κατάλληλων ενεργειακών καλλιεργειών.

2. BIOMAZA

2.1. ΟΡΙΣΜΟΣ - ΕΙΔΗ ΒΙΟΜΑΖΑΣ

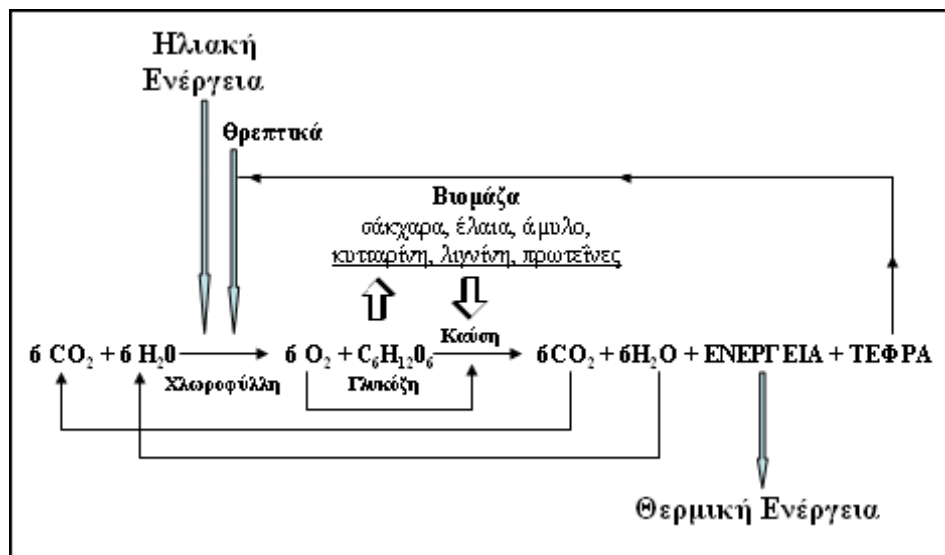
Με τον όρο *βιομάζα* εννοούμε οποιοδήποτε υλικό παράγεται από ζωντανούς οργανισμούς σε ανανεώσιμη βάση (Βερεσόγλου, 1996). Υπάρχουν δύο τύποι ανάλογα με την προέλευσή της :

- Βιομάζα που προέρχεται από υπολείμματα, της γεωργικής παραγωγής και της μεταποίησης της, από δασικά προϊόντα και υποπροϊόντα , από την ζωική παραγωγή και από τα αστικά απόβλητα. Τα υπολείμματα αυτά αποτελούνται από αμυλούχα και λιγνοκυτταρινούχα πολυμερή (κυτταρίνη, ημικυτταρίνη και λιγνίνη). Η φυσική, ή χημική αποικοδόμηση τους αποδίδει ενέργεια.
- Βιομάζα που προέρχεται από ενεργειακές καλλιέργειες, η παραγωγή των οποίων προορίζεται για την παραγωγή βιοκαυσίμων. Στην περίπτωση αυτή εκμεταλλευόμαστε το ενεργειακό δυναμικό που αποθηκεύεται στα φυτά με την διαδικασία της φωτοσύνθεσης.

Υπολογίζεται ότι το ποσοστό της ηλιακής ακτινοβολίας που μετατρέπεται σε καθαρή πρωτογενή παραγωγή βιομάζας στα χερσαία οικοσυστήματα του πλανήτη είναι κατά μέσο όρο 1% (Βερεσόγλου, 1996), ενώ έχει υπολογιστεί ότι κατ' έτος, παράγονται παγκοσμίως μέσω της φωτοσύνθεσης περίπου 220 δισεκατομμύρια τόνοι ξηρής βιομάζας, με ενεργειακό ισοδύναμο που αντιστοιχεί στο δεκαπλάσιο της παγκόσμιας κατανάλωσης ενέργειας (Johansson B.T., Kelly, H., et al., 1998, Αντωνοπούλου Γ., 2006). Το τεράστιο αυτό ενεργειακό δυναμικό παραμένει κατά το πλείστον ανεκμετάλλευτο, μια και καλύπτει μόνο το 14% της παγκόσμιας κατανάλωσης ενέργειας. Στις αναπτυγμένες

περιοχές του πλανήτη όπως για παράδειγμα στην Ε.Ε. το ποσοστό αυτό είναι αρκετά μικρότερο, περίπου στο 3-4% της συνολικής ενεργειακής κατανάλωσης, ενώ στις αναπτυσσόμενες καλύπτει το 35% των ενεργειακών απαιτήσεων τους (Αντωνοπούλου Γ., 2006). Στην Ελλάδα το σύνολο της άμεσα εκμεταλλεύσιμης βιομάζας φθάνει τους 7,5 Mt υπολειμμάτων από καλλιέργειες και 2,5 Mt από υποπροϊόντα υλοτομίας (ΚΑΠΕ).

Η βιομάζα μπορεί να χρησιμοποιηθεί τόσο για την παραγωγή βιοκαυσίμων όσο και για απευθείας καύση, ενώ αποτελεί μία από τις σημαντικότερες ανανεώσιμες πηγές ενέργειας.



Διάγραμμα 1. Ο κύκλος παραγωγής ενέργειας από βιομάζα (Bassam N. E., 1998)

2.2. ΜΕΘΟΔΟΙ ΕΠΕΞΕΡΓΑΣΙΑΣ ΤΗΣ ΒΙΟΜΑΖΑΣ

Η απευθείας καύση παράγει το 97% της παγκόσμιας κατανάλωσης βιοενέργειας, έχει όμως το σοβαρό μειονέκτημα της χαμηλής απόδοσης μια και φθάνει στο 40% της μέγιστης δυνατής (Βουρδούμπας, 1999).

Υπάρχουν σήμερα μέθοδοι παραγωγής ενέργειας από βιομάζα οι οποίες εκμεταλλεύονται μεγάλα ποσοστά της περιεχόμενης ενέργειας. Οι διεργασίες επεξεργασίας

της βιομάζας για παραγωγή ενέργειας, συνοψίζονται στις παρακάτω τρεις κατηγορίες (Βουρδουμπάς, 1999, Alemanno, Bidini, G. et al., 2004, Αντωνοπούλου Γ. 2006):

A. ΘΕΡΜΟΧΗΜΙΚΗ ΕΠΕΞΕΡΓΑΣΙΑ

1. Απευθείας καύση. Η βιομάζα, εκτός υπό μορφή καυσόξυλων, μπορεί να είναι η υπό μορφή θρυμμάτων (wood chips), ή συσσωματωμάτων (pellets). Οι δύο τελευταίες μορφές καίγονται σε συγχρόνους καυστήρες οι οποίοι εφαρμόζοντας ελεγχόμενη εισαγωγή οξυγόνου επιτυγχάνουν μεγάλα ποσοστά απόδοσης.

2. Πυρόλυση. Διεργασία η οποία από παλαιότερα χρησιμοποιείται για την παραγωγή ξυλοκάρβου, ενώ σήμερα αποτελεί μία από τις πολλά υποσχόμενες θερμοχημικές τεχνολογίες. Σύμφωνα με αυτή την τεχνολογία, η βιομάζα θερμαίνεται απουσία οξυγόνου και παράγονται ένα πλούσιο σε υδρογονάνθρακες αέριο μίγμα, ένα πλούσιο σε άνθρακα στερεό υπόλειμμα και ένα υγρό καύσιμο υψηλής ενεργειακής αξίας, το βιοέλαιο, το οποίο έχει την μισή περίπου θερμότητα δύναμη του πετρελαίου και μπορεί να χρησιμοποιηθεί ως υποκατάστατο του. Η πυρόλυση της βιομάζας αποτελεί την οικονομικότερη διεργασία ηλεκτροπαραγωγής σε εγκαταστάσεις μικρής κλίμακας.

3. Αεριοποίηση. Είναι ένα είδος πυρόλυσης, η οποία λαμβάνει χώρα σε υψηλότερες θερμοκρασίες και έχει ως αποτέλεσμα την άμεση παραγωγή ενός μίγματος μονοξειδίου του άνθρακα και υδρογόνου (synthesis gas), με ταυτόχρονη παραγωγή μεθανίου, διοξειδίου του άνθρακα και αζώτου. Είναι νέα σχετικά μέθοδος, με την έρευνα να στρέφεται στο να την καταστήσει οικονομικά συμφέρουσα επιλογή.

B. ΒΙΟΧΗΜΙΚΗ ΕΠΕΞΕΡΓΑΣΙΑ

1. Αναερόβια ζύμωση. Με την διαδικασία αυτή παράγεται βίο-υδρογόνο και κυρίως μεθάνιο, το οποίο χρησιμοποιείται για την παραγωγή ηλεκτρισμού. Η μέθοδος

χρησιμοποιείται σε μονάδες επεξεργασίας αστικών λυμάτων και απορριμμάτων και στην Ελλάδα.

2. Υδρόλυση-Αναερόβια ζύμωση. Με την μέθοδο αυτή παράγεται βιοαιθανόλη η οποία είτε χρησιμοποιείται αυτούσια για μερική ή ολική αντικατάσταση της βενζίνης, είτε χρησιμοποιείται για την παραγωγή άλλων προϊόντων που χρησιμοποιούνται ως καύσιμα.

Γ. ΧΗΜΙΚΗ ΕΠΕΞΕΡΓΑΣΙΑ

Εκχύλιση ελαίων και μετεστεροποίηση των τριγλυκεριδίων με κάποια αλκοόλη μικρού μοριακού βάρους. Είναι η διαδικασία παραγωγής βιοντίζελ, δηλαδή βιοκαύσιμο που υποκαθιστά μερικά ή ολικά το πετρέλαιο. Τα τριγλυκερίδια αποτελούν το κύριο συστατικό (έως και 98%) των φυτικών ελαίων και των ζωικών λιπών. Ως αλκοόλη χρησιμοποιείται κυρίως η μεθανόλη, λόγω του χαμηλού κόστους και των φυσικών και χημικών πλεονεκτημάτων που διαθέτει, ενώ η αντίδραση χρειάζεται κατάλυση.

2.3. ΠΛΕΟΝΕΚΤΗΜΑΤΑ ΚΑΙ ΜΕΙΟΝΕΚΤΗΜΑΤΑ ΤΗΣ ΕΝΕΡΓΕΙΑΚΗΣ ΧΡΗΣΗΣ ΤΗΣ ΒΙΟΜΑΖΑΣ

Η χρήση της βιομάζας ή των προϊόντων της, για ενεργειακούς σκοπούς και κυρίως ως καύσιμο κίνησης και θέρμανσης, είναι βραχυπρόθεσμα και μεσοπρόθεσμα, ο μόνος τρόπος ικανοποιητικού περιορισμού της χρήσης ορυκτών καυσίμων. Τα πλεονεκτήματα της χρήσης της συνοψίζονται ως εξής (Αντωνοπούλου Γ. 2006):

- Η έκλυση CO₂ θεωρείται ότι είναι μηδενική μια και αντισταθμίζεται από την προσρόφηση ίσων ποσοτήτων από την ατμόσφαιρα κατά την διάρκεια της φωτοσύνθεσης.
- Κατά την καύση έχουμε χαμηλές εκπομπές θείου, NO_x άκαυστων υδρογονανθράκων και αιθάλης, ενώ δεν περιέχουν αρωματικούς υδρογονάνθρακες.

- Τα υγρά βιοκαύσιμα έχουν υψηλούς αριθμούς οκτανίων.
- Η παραγωγή ενέργειας είναι συνεχής και ανεξάρτητη από άλλους παράγοντες, κάτι που δεν συμβαίνει με άλλες ΑΠΕ.
- Μείωση της εξάρτησης από ορυκτά καύσιμα, αλλά και της πολιτικής εξάρτησης από τις χώρες που ελέγχουν τις σημερινές ενεργειακές πηγές.
- Δημιουργία νέων αγορών για τους αγρότες και αύξησης των τιμών των γεωργικών προϊόντων λόγω της ζήτησης γεωργικής γης για την παραγωγή ενέργειας.
- Δημιουργείται ένας νέος κύκλος εργασιών από την πρωτογενή παραγωγή, την μεταποίηση, τις μεταφορές, την εμπορία, με κέρδη τα οποία μέχρι τώρα καρπώνονταν τα πετρελαιοπαραγωγά κράτη.
- Η πολυμορφία (στερεά, υγρά και αέρια) σε συνδυασμό με την πολύχρηστικότητα των βιοκαυσίμων.

Ασφαλώς τα βιοκαύσιμα και ιδιαίτερα η παραγωγή τους, παρουσιάζουν και αρνητικές επιπτώσεις οι οποίες καταγράφονται ως εξής:

- Για την παραγωγή των ενεργειακών καλλιεργειών απαιτούνται εισροές οι οποίες έχουν περιβαλλοντικές επιπτώσεις.
- Οι οικονομικές επιπτώσεις επί των τιμών των αγροτικών προϊόντων είναι σημαντικές. Για παράδειγμα οι τιμές του καλαμποκιού στο χρηματιστήριο εμπορευμάτων του Σικάγου έχουν αυξηθεί μεταξύ 2005-2007 κατά 100% με τιμή ανά μονάδα διαπραγμάτευσης στις 7/9/2005 22,32\$ και στις 7/9/2007 44,95\$ (Corn Products International Inc.,2007) Το καλαμπόκι όμως είναι σημαντική πηγή τροφής για μεγάλο μέρος του παγκόσμιου πληθυσμού, ενώ αποτελεί σημαντική παράμετρο κόστους της ζωικής παραγωγής.

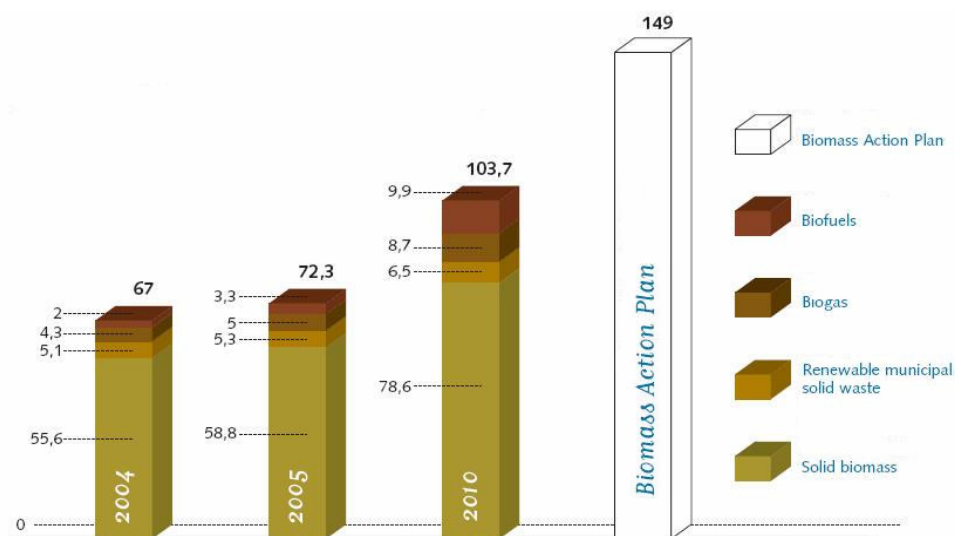
- Οι μεγάλες απαιτήσεις σε αποθηκευτικούς χώρους, λόγω της διασποράς των ενεργειακών καλλιεργειών, της μικρότερης θερμικής αξίας ανά μονάδα όγκου και της εποχικότητας της παραγωγής, είναι σημαντικές αρνητικές παράμετροι της χρήσης της βιομάζας για ενεργειακούς σκοπούς.

Σίγουρα η χρήση των βιοκαυσίμων αργά αλλά σταθερά φιλοδοξεί να αλλάξει τον παγκόσμιο ενεργειακό χάρτη. Η έρευνα προσπαθεί να περιορίσει τα αρνητικά από την χρήση της και να αυξήσει τόσο την απόδοση των ενεργειακών καλλιεργειών μειώνοντας ταυτόχρονα τις εισροές, όσο και την καθαρή ενεργειακή απόδοση των βιοκαυσίμων. Στην κατεύθυνση αυτή εφαρμόζονται πολιτικές στήριξης της έρευνας, της παραγωγής αλλά και της χρήσης βιοκαυσίμων από πολλά κράτη, αλλά και από την Ε.Ε.

3. Η ΠΑΡΑΓΩΓΗ ΒΙΟΚΑΥΣΙΜΩΝ ΣΤΟΝ ΚΟΣΜΟ

3.1. Η ΠΟΛΙΤΙΚΗ ΤΗΣ Ε.Ε. ΓΙΑ ΤΗΝ ΠΑΡΑΓΩΓΗ ΒΙΟΚΑΥΣΙΜΩΝ

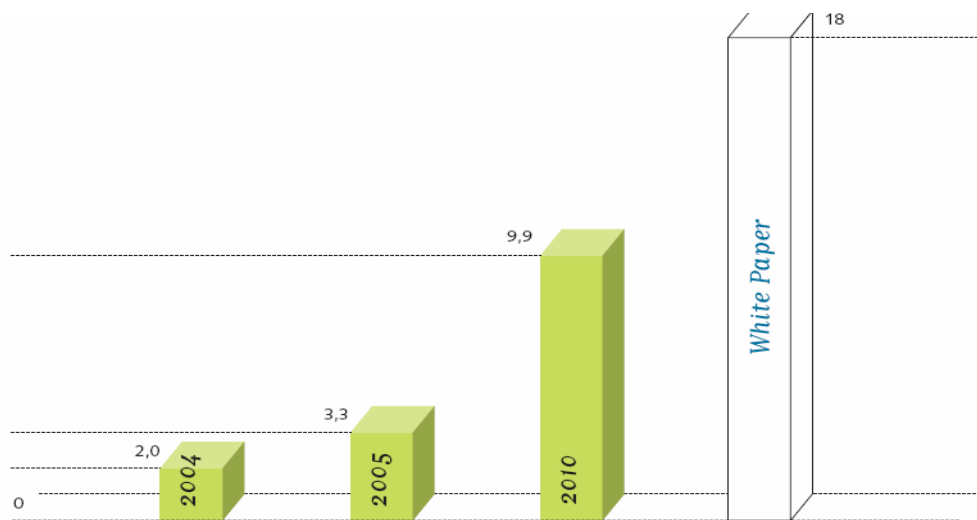
Η Ευρωπαϊκή στρατηγική για αειφόρο, ανταγωνιστική και ασφαλή ενέργεια (Επιτροπή των Ευρωπαϊκών Κοινοτήτων ΠΡΑΣΙΝΗ ΒΙΒΛΟΣ com2006 8/3/2006), προσδιορίζει ως βασικές προτεραιότητες: τον περιορισμό των κλιματικών μεταβολών, την αύξηση της χρήσης καθαρής ενέργειας, τη διαχείριση των φυσικών πόρων με μεγάλη υπευθυνότητα και τη βελτίωση του συστήματος των μεταφορών. Βασική πρόκληση στην εφαρμογή της παρακάτω πολιτικής είναι η ανάπτυξη ανανεώσιμων πηγών ενέργειας, με μία εξ αυτών να είναι η βιομάζα (Διάγραμμα 2)



Διάγραμμα 2. Σύγκριση της υφιστάμενης κατάστασης και του προγράμματος δράσης για την βιομάζα στην Ε.Ε .σε εκατομμύρια τόνους. Πηγή: EurObserv 'ER 2006

Οι νέες τάσεις στην Ε.Ε. εκφράζονται μέσα από την Στρατηγική για τα βιοκαύσιμα (Commission of the European Communities, 2006) και το Σχέδιο Δράσης για την βιομάζα (Commission of the European Communities, 2005) που προωθούν την μείωση κατά 8% του

CO₂, σύμφωνα με το πρωτόκολλο του Κιότο που υπογράφηκε το 1997. Στα πλαίσια της παραπάνω πολιτικής, η Ε.Ε. έθεσε ως στόχο την υποκατάσταση κατά 20% των συμβατικών καυσίμων με εναλλακτικά καύσιμα (κυρίως βιοκαύσιμα, αλλά και φυσικό αέριο, υδρογόνο κ.ά.) στον τομέα των οδικών μεταφορών μέχρι το 2020, ενώ μέσω μιας δέσμης μέτρων (Οδηγία 2003/30/ΕΚ), συμπεριλαμβανομένης της φορολογικής απαλλαγής και των οικονομικών ενισχύσεων της μεταποιητικής βιομηχανίας, έχει θεσμοθετήσει πλέον την υποκατάσταση κατά 10% των συμβατικών καυσίμων έως το 2010 (Διάγραμμα 3).



Διάγραμμα 3. Σύγκριση της υφιστάμενης κατάστασης και των προβλέψεων της Λευκής Βίβλου για τα βιοκαύσιμα στην Ε.Ε σε εκατ. τόνους. Πηγή: EurObserv 'ER 2006

Η Οδηγία 2003/30/ΕΚ του Ευρωπαϊκού Συμβουλίου που εκδόθηκε στις 8 Μαΐου 2003, σχετικά με την προώθηση της χρήσης βιοκαυσίμων για τις μεταφορές, επιβάλλει τη διείσδυση μιας ελάχιστης αναλογίας βιοκαυσίμων (βάσει του ενεργειακού τους περιεχομένου) επί του συνόλου της βενζίνης και του πετρελαίου κίνησης που διατίθεται στις χώρες των μελών της Ε.Ε. Οι τιμές αναφοράς για τους στόχους αυτούς ορίστηκαν σε 2% έως 31/12/2005 και στο 5,75% μέχρι την 31/12/2010. Τα προτεινόμενα ποσοστά για τη διείσδυση των βιοκαυσίμων στον τομέα των μεταφορών ήταν 2,75% για το 2006 και για τα επόμενα έτη είναι 3,5% για το 2007, 4,25% για το 2008, 5% για το 2009 και 5,75% για το 2010. Όλα τα κράτη καλούνται να μεριμνήσουν ώστε να επιτύχουν το επιθυμητό ποσοστό

διείσδυσης (5,75%) των βιοκαυσίμων στον τομέα των μεταφορών το 2010 (Commission of the European Communities, 2001).

Η Ε.Ε. έδωσε το δικαίωμα στα κράτη μέλη να εξαιρούν τα βιοκαύσιμα από το φόρο καυσίμων ή να εφαρμόζουν χαμηλότερο φορολογικό συντελεστή. Αυτό δε, κρίθηκε αναγκαίο λόγω του υψηλότερου κόστους παραγωγής των βιοκαυσίμων σε σχέση με τα ορυκτά καύσιμα (βάσει των οικονομικών συνθηκών του 2003). Το 2004, επτά (7) κράτη-μέλη της Ε.Ε.-15 είχαν απαλλάξει εν μέρει ή πλήρως τα βιοκαύσιμα από την φορολόγηση (Αυστρία, Γαλλία, Γερμανία, Ιταλία, Ισπανία, Σουηδία, και Αγγλία).

3.2. Η ΠΑΡΑΓΩΓΗ ΒΙΟΚΑΥΣΙΜΩΝ ΔΙΕΘΝΩΣ

Στο σύνολο της Ε.Ε.-25, η παραγωγή βιοντίζελ και βιοαιθανόλης ανήλθε σε 2 περίπου εκατομμύρια τόνους το 2003 και διπλασιάστηκε το 2005. Στην Ε.Ε. το μερίδιο των βιοκαυσίμων στη συνολική κατανάλωση στον κλάδο των μεταφορών από 0,14% το 1994, αυξήθηκε μόλις σε 0,25% το 1999. Το 2000 ανήλθε σε 0,4% και το 2002 σε 0,6%, και διπλασιάστηκε σε 1,2% το 2004 (Eurostat 2005). Η Γαλλία, η Γερμανία και η Τσεχία είναι οι χώρες της Ε.Ε. με μερίδιο αγοράς αρκετά μεγαλύτερο του Ευρωπαϊκού μέσου όρου.

Η Ευρωπαϊκή Ένωση είναι ο κυριότερος παραγωγός βιοντίζελ σε παγκόσμιο επίπεδο με 3,2 εκατομμύρια τόνους το 2005 (Πίνακας 1). Η παραγωγή προέρχεται από 20 χώρες όταν το 2003 προερχόταν μόνο από 9 χώρες της Ε.Ε.-25. Ηγετικό ρόλο κατέχει η Γερμανία, καθώς παράγει το μισό της κοινοτικής παραγωγής βιοντίζελ. Στη χώρα αυτή, τα τελευταία χρόνια παρουσιάστηκε σημαντική αύξηση στην παραγωγή βιοκαυσίμων, εξαιτίας της ευνοϊκής φορολογικής νομοθεσίας, των χαμηλών τιμών των φυτικών ελαίων, αλλά και της υψηλής τιμής του συμβατικού ντίζελ. Ταυτόχρονα μακροπρόθεσμα, η Ευρωπαϊκή Επιτροπή αναμένει κάλυψη από βιομάζα του 20% των σημερινών αναγκών πρωτογενούς ενέργειας της

ΕΕ, με περισσότερα από 200 εκατομμύρια στρέμματα (20 Mha) να χρησιμοποιούνται για ενεργειακές καλλιέργειες (European Commission, 2000).

Πίνακας 1. Παραγωγή βιοντίζελ στην Ε.Ε
Πηγή EurObserv 'ER 2006

ΧΩΡΑ	2004	2005	ΑΝΑΠΤΥΞΗ
ΓΕΡΜΑΝΙΑ	1.035.000	1.669.000	61,3%
ΓΑΛΛΙΑ	345.000	462.000	41,4%
ΙΤΑΛΙΑ	320.000	396.000	23,8%
ΤΣΕΧΙΑ	60.000	133.000	121,7%
ΠΟΛΩΝΙΑ	0	100.000	
ΑΥΣΤΡΙΑ	52.000	85.000	49,1%
ΣΛΟΒΑΚΙΑ	15.000	78.000	420,0%
ΙΣΠΑΝΙΑ	13.000	73.000	461,5%
ΔΑΝΙΑ	70.000	71.000	1,4%
ΒΡΕΤΑΝΙΑ	9.000	51.000	466,7%
ΣΛΟΒΕΝΙΑ	0	8.000	
ΕΣΘΟΝΙΑ	0	7.000	
ΛΙΘΟΥΑΝΙΑ	5.000	7.000	40,1%
ΛΕΤΟΝΙΑ	0	5.000	
ΕΛΛΑΔΑ	0	3.000	
ΜΑΛΤΑ	0	2.000	
ΒΕΛΓΙΟ	0	1.000	
ΣΟΥΗΔΙΑ	1.400	1.000	-28,6%
ΚΥΠΡΟΣ	0	1.000	
ΠΟΡΤΟΓΑΛΙΑ	0	1.000	
ΣΥΝΟΛΟ	1.933.400	3.184.000	64,7%

Πίνακας 2. Παραγωγή βιοιθανόλης στην Ε.Ε.
Πηγή EurObserv 'ER 2006

ΧΩΡΑ	2004	2005
ΙΣΠΑΝΙΑ	202.354	240.000
ΣΟΥΗΔΙΑ	56.529	130.160
ΓΕΡΜΑΝΙΑ	20.000	120.000
ΓΑΛΛΙΑ	80.887	99.780
ΠΟΛΩΝΙΑ	38.270	68.000
ΦΙΛΑΝΔΙΑ	3.768	36.800
ΟΥΓΓΑΡΙΑ		11.480
ΛΙΘΟΥΑΝΙΑ		6.296
ΟΛΛΑΝΔΙΑ	11.146	5.971
ΤΣΕΧΙΑ		1.120
ΛΕΤΟΝΙΑ	9.800	960
ΣΥΝΟΛΟ	422.754	720.927

Η βιοιθανόλη είναι ευρέως παραγόμενο βιοκαύσιμο με παγκόσμια παραγωγή περίπου 46 εκατομμύρια τόνους το 2005. Η παραγωγή εστιάζεται σε δύο χώρες: στη Βραζιλία και στις Η.Π.Α.. Στη Βραζιλία το 2005, παρήχθησαν περίπου 16,8 εκατομμύρια τόνοι βιοιθανόλης με προέλευση κυρίως από φυτείες ζαχαροκάλαμου. Η στροφή της Βραζιλίας προς τα βιοκαύσιμα οφείλεται στην ενεργειακή κρίση του 1973 και την οικονομική ύφεση που έφερε. Είναι αναμφισβήτητα πρωτοπόρος σε παγκόσμιο επίπεδο τόσο σε παραγωγή όσο και σε τεχνογνωσία. Στις Η.Π.Α., παρήχθησαν 16,7 εκατομμύρια τόνοι βιοιθανόλης το 2005 κυρίως από καλλιέργειες αραβόσιτου (Energy Information Administration). Η παραγωγή της Ε.Ε.-25 σε βιοιθανόλη είναι αρκετά μικρότερη, καθώς το

2005 ανήλθε σε 721.000 τόνους (Πίνακας 2) και το 2007 η πρόβλεψη είναι για 2 εκατομμύρια τόνους.

3.3. ΠΑΡΑΓΩΓΗ ΒΙΟΚΑΥΣΙΜΩΝ ΣΤΗΝ ΕΛΛΑΔΑ

Για την τήρηση των δεσμεύσεων της χώρας μας στο πλαίσιο της παραπάνω οδηγίας για υποχρεωτική χρήση βιοκαυσίμων σε ποσοστό 5,75% στις μεταφορές του 2010, ψηφίστηκε, αρκετά καθυστερημένα σε σχέση με την υπόλοιπη Ευρώπη, ο νόμος 3423/2005 για την εισαγωγή των βιοκαυσίμων στην ελληνική αγορά. Επίσης, η παραγωγή βιοκαυσίμων εντάχθηκε στο νέο αναπτυξιακό νόμο, μέσω του οποίου χορηγήθηκαν ενισχύσεις για ίδρυση και λειτουργία παραγωγικών μονάδων, δόθηκαν κίνητρα δηλαδή για εγχώρια παραγωγή βιοκαυσίμων.

Η κυριότερη πτυχή του εθνικού νόμου για τα βιοκαύσιμα είναι οι ρυθμίσεις για την απαλλαγή συγκεκριμένων ποσοτήτων βιοντίζελ από τον ειδικό φόρο κατανάλωσης. Αποτελεί πολύ σημαντική εξέλιξη, καθώς τα προηγούμενα χρόνια αποδείχθηκε ότι η παραγωγή βιοντίζελ αυξήθηκε όταν ορισμένες χώρες προχώρησαν σε ειδικό φορολογικό καθεστώς για τα βιοκαύσιμα όπως στη Γερμανία (Christian B., McCormick K. Et al., 2006). Ο νόμος 3423/2005 καθορίζει τις ποσότητες (και άλλα σχετικά θέματα) των ποσοτήτων βιοντίζελ, που δεν φορολογούνται με τον ειδικό φόρο κατανάλωσης καυσίμων. Έτσι, οι ποσότητες που δίνονταν από-φορολογημένες ήταν 51.000 για το 2005, 91.000 τόνοι για το 2006, ενώ για το 2007 είναι 114.000 τόνοι (Απόφαση Υπ. Ανάπτυξης, 14/2/2007). Αυτές οι ποσότητες των βιοκαυσίμων μπορεί να έχουν παραχθεί είτε στην Ελλάδα, είτε σε άλλο κράτος μέλος της Ε.Ε. Αν υπάρχει όμως ζήτηση για από-φορολογημένα βιοκαύσιμα, πέρα των ανωτέρω ποσοτήτων, θα δοθεί προτεραιότητα στις ποσότητες των βιοκαυσίμων που προέρχονται από εγχώριες ενεργειακές καλλιέργειες.

Η αναμορφωμένη ΚΑΠ εισάγει νέα επιδότηση ειδικά για τις ενεργειακές καλλιέργειες της τάξεως των 4,5 €/στρ. Για ολόκληρη την Ε.Ε. έχει καθοριστεί μια μέγιστη εγγυημένη έκταση 15 εκατομμυρίων στρεμμάτων με ενεργειακές καλλιέργειες (com 2006 500 final), χωρίς να έχουν ακόμη καταρτιστεί επιμέρους εθνικές εγγυημένες εκτάσεις. Για την χώρα μας θα μπορούσε να απαιτηθούν 1,5 εκ στέμματα για παραγωγή βιοντίζελ και 500 χιλ. στρέμματα για παραγωγή βιοαιθανόλης (ΚΑΠΕ 2005), εφόσον βέβαια παράγονται οι απαιτούμενες ποσότητες εντός των συνόρων, για να ικανοποιηθούν οι στόχοι του 2010. Για να στηριχθεί η κατεύθυνση της εγχώριας παραγωγής, δίνεται προτεραιότητα για επενδύσεις στις γεωργικές εκμεταλλεύσεις που καλλιεργούν ενεργειακά φυτά και έχουν συνάψει συμβόλαια με μονάδες παραγωγής βιοκαυσίμων.

Πίνακας 3. Απαιτούμενη κατανάλωση βιοντίζελ και βιοαιθανόλης την περίοδο 2005-2010 στην Ελλάδα (οδηγία 2003/30/ΕΚ)

Έτος	Απαιτούμενη ποσότητα βιοντίζελ (σε τόνους)	Απαιτούμενη ποσότητα βιοαιθανόλης (σε τόνους)
2005	46.976	120.442
2006	71.851	154.329
2007	97.695	189.678
2008	111.986	258.883
2009	126.739	331.157
2010	148.407	389.424

Στον Πίνακα 3, παρουσιάζεται η ποσότητα βιοντίζελ και βιοαιθανόλης που απαιτείται να καταναλωθεί στον τομέα των μεταφορών της Ελλάδας καθ' όλη τη διάρκεια των ετών 2006-2010, έτσι ώστε να επιτευχθούν οι στόχοι της οδηγίας 2003/30/ΕΚ. Έτσι, για να επιτευχθεί ο στόχος διεύθυνσης των βιοκαυσίμων κατά 5,75% στην αγορά καυσίμων το 2010, απαιτείται κατανάλωση από τον τομέα των μεταφορών περίπου 150.000 τόνων βιοντίζελ και 400.000 τόνων βιοαιθανόλης.

4. ΕΝΕΡΓΕΙΑΚΕΣ ΚΑΛΛΙΕΡΓΕΙΕΣ

4.1. ΕΠΙΛΟΓΗ ΜΙΑΣ ΚΑΛΛΙΕΡΓΕΙΑΣ ΩΣ ΕΝΕΡΓΕΙΑΚΗΣ

Με τον όρο ενεργειακές καλλιέργειες εννοούμε τις καλλιέργειες που αποκλειστικός σκοπός τους είναι η παραγωγή βιομάζας είτε για απευθείας καύση είτε για μετατροπή τους σε υγρές ή αέριες μορφές βιοκαυσίμων.

Εν δυνάμει όλες οι καλλιέργειες θα μπορούσαν να χαρακτηρισθούν ως ενεργειακές αφού παράγουν βιομάζα. Πάρα πολλές επίσης περιέχουν σε μεγάλες ποσότητες άμυλο ή σάκχαρα με την ζύμωση των οποίων παράγεται βιοαιθανόλη, ή σε άλλες ο σπόρος τους περιέχει μεγάλες ποσότητες ελαίου η μετεστεροποίηση του οποίου παράγει βιοντίζελ.

Κατά την επιλογή μιας καλλιέργειας για ενεργειακό σκοπό (οπότε και χαρακτηρίζεται ως ενεργειακή), εκτός από την παραγωγή, πρέπει να ληφθούν υπόψη και άλλοι παράγοντες και κυρίως ο κύκλος ζωής του παραγόμενου βιοκαυσίμου (Αντωνοπούλου Γ., 2006). Κάθε πρόγραμμα ανάπτυξης και παραγωγής βιοκαυσίμων από καλλιέργεια πρέπει να υλοποιείται βάσει ιδιαίτερης μελέτης κύκλου ζωής, έχοντας ως βασικό κριτήριο, εκτός από την οικονομική διάσταση και τη βιωσιμότητα του περιβάλλοντος. Οι παράμετροι και τα μεγέθη που εξετάζονται σε κάθε τέτοιο πρόγραμμα, διαφέρουν μεταξύ τους λόγω διαφοράς αρχικών δεδομένων, όπως είναι (McLaughlin S., Samson B. R, et al 1996):

- η ποιότητα του εδάφους και οι απαιτήσεις σε λιπάσματα και φυτοφάρμακα,
- οι ανάγκες σε άρδευση, η προέλευση του νερού και η αειφόρος χρήση του φυσικού αυτού πόρου,
- ο τόπος επεξεργασίας της πρώτης ύλης για την παραγωγή των βιοκαυσίμων,
- το κόστος παραγωγής, επεξεργασίας, μεταφοράς, διανομής και χρήσης τους, και

- ο τόπος χρήσης τους και ο υπολογισμός τους στο τοπικό, εθνικό ή περιφερειακό ισοζύγιο περιβαλλοντικού οφέλους.

Με άλλα λόγια δεν μπορεί να χαρακτηριστεί μια καλλιέργεια ως ενεργειακή εφόσον η παραγωγή της σε πρώτη ύλη για βιοκαύσιμο σε ένα δεδομένο περιβάλλον μιας περιοχής, είναι μικρή και απαιτεί εισροές ή μεταχειρίσεις (π.χ. μεταφορά) με υψηλό ενεργειακό και περιβαλλοντικό κόστος (Hanegraaf M.C., Biewinga E.E., et al, 1998). Ο άνθρακας που ελευθερώνεται από την προετοιμασία του χωραφιού, τις καλλιεργητικές φροντίδες, τις εισροές μέχρι την καύση του παραγόμενου βιοκαυσίμου, σε σχέση με τον άνθρακα που δεσμεύεται από την καλλιέργεια καθορίζει ένα ισοζύγιο. Το ισοζύγιο αυτό είναι η σημαντικότερη παράμετρος για να επιλέξουμε μια καλλιέργεια ως ενεργειακή και όπως είναι φυσικό, διαφέρει από περιοχή σε περιοχή για την ίδια καλλιέργεια (Hanegraaf M.C., Biewinga E.E., et al, 1998).

Οι Venturi P. και Venturi G. (2003), αναφέρουν ότι τα κριτήρια για την τελική επιλογή της κατάλληλης ενεργειακής καλλιέργειας σε μια περιοχή είναι:

- α) προσαρμογή στις έδαφο-κλιματικές συνθήκες,
- β) ευκολία εισαγωγής στο υπάρχον σύστημα εναλλαγής καλλιεργειών,
- γ) σταθερές αποδόσεις (ποσοτικά και ποιοτικά) που να προσφέρουν ανταγωνιστικό εισόδημα έναντι των παραδοσιακών καλλιεργειών,
- δ) θετικό ενεργειακό ισοζύγιο εισροών-εκροών (καθαρό ενεργειακό κέρδος),
- ε) καλλιεργητικές τεχνικές σύμφωνες με την αειφόρο γεωργία,
- στ) ανθεκτικότητα σε εχθρούς και ασθένειες,
- ζ) χρήση των υπαρχόντων μηχανημάτων και
- η) διαθεσιμότητα κατάλληλου γενετικού υλικού (σπόροι, ριζώματα).

Οι προς επιλογή ενεργειακές καλλιέργειες, είναι είδη με υψηλή παραγωγικότητα σε βιομάζα ανά μονάδα γης και διακρίνονται σε δύο κατηγορίες, τις γεωργικές και τις δασικές.

Οι γεωργικές ενεργειακές καλλιέργειες διακρίνονται περαιτέρω σε ετήσιες και πολυετείς. Γνωρίζοντας τις κλιματικές συνθήκες (θερμοκρασία, ηλιοφάνεια, ύψος βροχόπτωσης κτλ) μιας περιοχής και σε συνδυασμό με τις απαιτήσεις της εξεταζόμενης καλλιέργειας, μπορούμε να έχουμε μία πρώτη άποψη για το αν θα ευδοκιμήσει και το κατά πόσο θα ικανοποιήσει τα κριτήρια που έχουμε θέσει.

Σύμφωνα με τα αποτελέσματα των ερευνών σχετικά με το δυναμικό παραγωγής των ενεργειακών καλλιεργειών στην Ευρώπη, υπάρχει συγκριτικό πλεονέκτημα των δασικών καλλιεργειών μικρού περιόδου κύκλου (short rotation) στη Β. και Δ. Ευρώπη, των C3 καλλιεργειών στη Β. Ευρώπη και των C4 καλλιεργειών στη Ν. Ευρώπη. Γενικά τα πολυετή C4 φυτά έχουν καλύτερα αποτελέσματα σε κριτήρια όπως την ανάγκη εισροών, τις ευνοϊκές επιδράσεις στη διάβρωση, στο δυναμικό παραγωγής φυτικής μάζας, στο ισοζύγιο CO₂ (Bassam N. El, 1998).

Η επιλογή της κατάλληλης καλλιέργειας ως ενεργειακή είναι πολυσύνθετη διαδικασία αφού εξαρτάται από γεωργικές, περιβαλλοντικές, κοινωνικές και οικονομικές παραμέτρους. Οι εφαρμοζόμενες πολιτικές από την πλευρά της Ε.Ε. αλλά και τα επιπλέον κίνητρα που τελικά υιοθετεί η Χώρα, προσπαθούν να λάβουν υπόψη τις παραμέτρους αυτές, να βοηθήσουν την έρευνα και να οδηγηθούμε σε παραγωγή βιοκαυσίμων με το μέγιστο δυνατό όφελος.

4.2. ΕΝΕΡΓΕΙΑΚΕΣ ΚΑΛΛΙΕΡΓΕΙΕΣ ΣΤΗΝ ΕΛΛΑΔΑ

Η έρευνα σχετικά με τις ενεργειακές καλλιέργειες στην Ελλάδα ξεκίνησε στις αρχές της προηγούμενης δεκαετίας. Οι σημαντικότερες ενεργειακές καλλιέργειες που έχουν μελετηθεί και θα μπορούσαν να χρησιμοποιηθούν επιτυχώς στην Ελλάδα για παραγωγή υγρών και στερεών βιοκαυσίμων είναι οι εξής (ΚΑΠΕ, 2004):

A. Δασικές ενεργειακές καλλιέργειες

1. Είδη ευκαλύπτων κυρίως *Eucalyptus globulus* Labill και *Eucalyptus camaldulensis* Dehnh.
2. Ψευδακακία (*Robinia pseudoacacia* L.)

B. Πολυετείς γεωργικές ενεργειακές καλλιέργειες

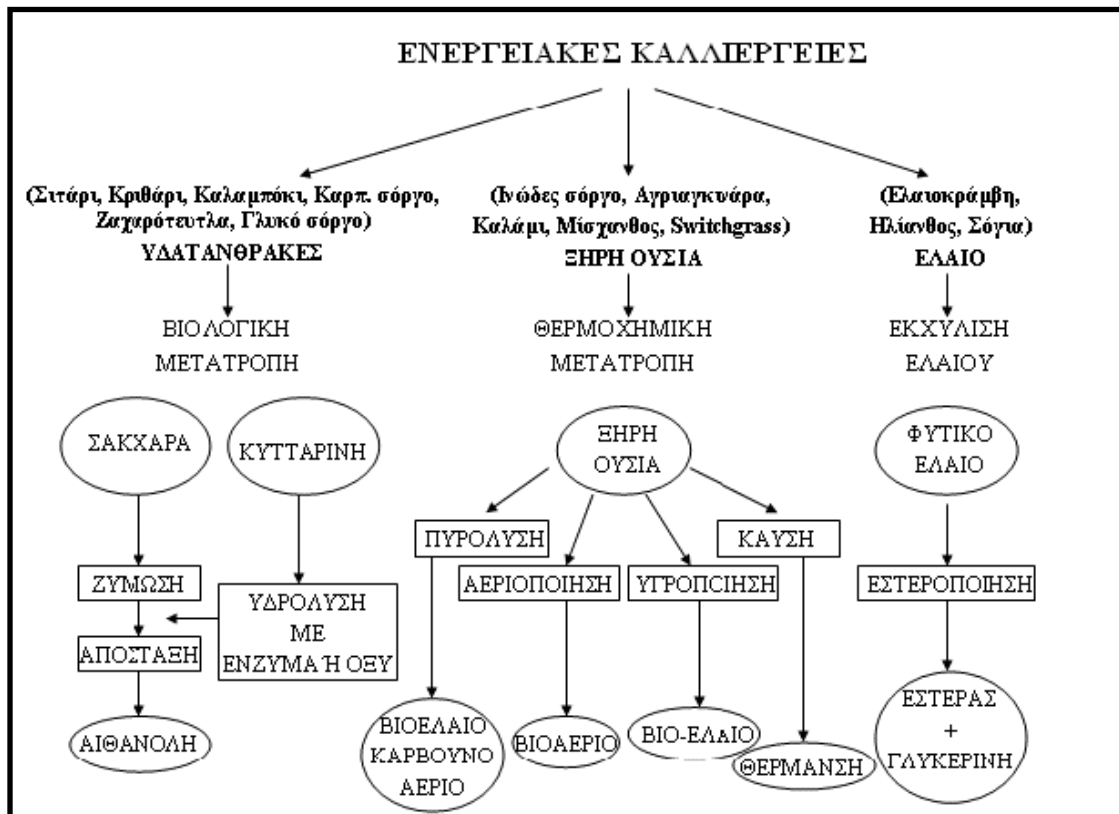
1. Αγριαγκινάρα (*Cynara Brauncardunculus* L.)
2. Καλάμι (*Arundo donax* L.)
3. Μίσχανθος (*Miscanthus x giganteus* GREEF et DEU)
4. Switchgrass – είδος κεχριού (*Panicum virgatum* L.)

Γ. Ετήσιες γεωργικές ενεργειακές καλλιέργειες

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

Άλλα είδη που χρησιμοποιούνται ή μελετώνται για χρήση ως ενεργειακά φυτά στην Ευρώπη έχουν δώσει ενθαρρυντικά αποτελέσματα, και θα μπορούσαν να καλλιεργηθούν και στη Χώρα μας είναι τα *Salix* sp. (Ιτιά), *Secale cereale* (Σίκαλη), *Triticale* (Τριτικάλε), *Phalaris arundinacea*, *Populus* sp. (Λεύκα), *Cannabis sativa* (Ημερη κάνναβη), *Alnus* sp. (Σκλήθρος), *Helianthus tuberosus* (Κολοκάσι) και *Camelina sativa* (Ψευδολινάρι) (Luger, 1997, Venendaal et al., 1997).

Στο διάγραμμα 4, παρουσιάζονται σχηματικά οι κυριότερες ενεργειακές καλλιέργειες στην Ελλάδα, οι διεργασίες μετατροπής της βιομάζας και τα παραγόμενα βιοκαύσιμα.



Διάγραμμα 4. Κύριες ενεργειακές καλλιέργειες, διεργασίες μετατροπής και βιοκαύσιμα (P. Venturi and G. Venturi, 2003).

Το Κέντρο Ανανεώσιμων Πηγών Ενέργειας, αλλά και ερευνητές από Πανεπιστήμια και άλλους φορείς, προσπαθούν τα τελευταία χρόνια για να απαντήσουν στο πολυσύνθετο ερώτημα: πια ενεργειακή καλλιέργεια είναι κατάλληλη σε μια συγκεκριμένη περιοχή για την παραγωγή συγκεκριμένου είδους βιοκαυσίμου. Κατά την προσπάθεια απάντησης στο ερώτημα, παρατίθενται στοιχεία αποδόσεων και οικονομικότητας κάτω από συγκεκριμένες συνθήκες καλλιέργειας, ώστε να αποτελέσουν τα κριτήρια για την καταλληλότερη επιλογή.

Κατά την διαδικασία αυτή εκτός των άλλων, ελέγχονται και είδη τα οποία δεν απαντώνται στη Χώρα μας και τα οποία καλλιεργούμενα σε ανάλογα με το δικό μας περιβάλλοντα, δίνουν ικανοποιητικά αποτελέσματα. Έχοντας το προηγούμενο του

καλαμποκιού, το οποίο αν και είναι είδος ξενόφερτο στην Ελλάδα, όχι μόνο ευδοκίμησε, αλλά για πολλά χρόνια οι αποδόσεις του ήταν από τις υψηλότερες παγκόσμια, δημιουργείται βάσιμα η προσδοκία ότι θα μπορούσε να εισαχθεί κάποιο νέο είδος το οποίο θα μπορούσε να δώσει ανάλογα αποτελέσματα σε παραγωγή βιοκαυσίμων, με μειωμένες κατά το δυνατόν εισροές. Στον πίνακα 4 γίνεται παράθεση των πολυετών ποωδών φυτών

Πίνακας 4. Πολυετής πόες που ελέγχονται ως ενεργειακές καλλιέργειες στην Ευρώπη (Lewandowski I., Scurlock J.O., et al 2003)

Κοινή ονομασία (Αγγλικά)	Λατινική ονομασία	Φωτοσυνθετική οδός	Ύψος παραγωγής [t Ξ.Ο. ha ⁻¹]
Meadow Foxtail	<i>Alopecurus pratensis</i> L.	C3	6-13
Big Bluestem	<i>Andropogon gerardii</i> Vitman	C4	8-15
Giant Reed	<i>Arundo donax</i> L.	C3	3_37
Cypergras, Galingale	<i>Cyperus longus</i> L.	C4	4-19
Cocksfoot grass	<i>Dactylis glomerata</i> L.	C3	8-10
Tall Fescue	<i>Festuca arundinacea</i> Schreb.	C3	8-14
Raygras	<i>Lolium</i> spp.	C3	9-12
Miscanthus	<i>Miscanthus</i> spp.	C4	5-44
Switch grass	<i>Panicum virgatum</i> L.	C4	5-23
Napier Grass	<i>Pennisetum purpureum</i> Schurn	C4	27
Reed canary grass	<i>Phalaris arundinacea</i> L.	C3	7-13
Timothy	<i>Phleum pratense</i> L.	C3	9-18
Common Reed	<i>Phragmites communis</i> Trin.	C3	9-13
Energy cane	<i>Saccharum officinarum</i> L.	C4	27
Giant Cordgrass/ Salt Reedgrass	<i>Spartina cynosuroides</i> L.	C4	9 5-20
Prairie Cordgrass	<i>Spartina pectinata</i> Bosc.	C4	4-18

και η φωτοσυνθετική τους οδός, τα οποία ελέγχονται σε διάφορα ερευνητικά κέντρα στην Ευρώπη, για τον αν μπορούν να αποτελέσουν ενεργειακές καλλιέργειες.

Μία από τις καλλιέργειες αυτές είναι το Switchgrass (*Panicum virgatum* L.) το οποίο είναι συγγενές είδος του κεχριού, ιθαγενές της Β. Αμερικής. Από τις αρχές της προηγούμενης δεκαετίας στις ΗΠΑ και στον Καναδά χρησιμοποιείται και ως ενεργειακή καλλιέργεια, ενώ από τα τέλη της δεκαετίας (1998) ελέγχθηκε και στην Ευρώπη, τόσο σε βόρειες περιοχές όσο και στην ζώνη της Μεσογείου. Στο ευρωπαϊκό αυτό πρόγραμμα από την Ελλάδα συμμετείχε το ΚΑΠΕ το οποίο με πειραματικά αγροτεμάχια, εξέτασε την προσαρμοστικότητα και οικονομικότητα της καλλιέργειας.

5. SWITCHGRASS-ΜΙΑ ΕΝΕΡΓΕΙΑΚΗ ΚΑΛΛΙΕΡΓΕΙΑ

5.1. ΕΠΙΛΟΓΗ ΤΗΣ ΚΑΛΛΙΕΡΓΕΙΑΣ ΩΣ ΕΝΕΡΓΕΙΑΚΗΣ

Στις ΗΠΑ πριν 27 χρόνια ξεκίνησε το πρόγραμμα BFDP (Bioenergy Feedstock Development Program) υπό την σκέπη του US Department of Energy (DOE), με σκοπό να επιλέξει τα πιο υποσχόμενα είδη για βιοενέργεια. Το 1993 δόθηκε μεγαλύτερη έμφαση σε καλλιέργειες με ικανοποιητική ετήσια συγκομιδή βιομάζας, οι οποίες είχαν ταυτόχρονα θετικές περιβαλλοντικές επιδράσεις. Πολλοί παράγοντες και κυρίως η παραγωγικότητα, η πολυετής φύση (που εκ των πραγμάτων μειώνει τις εισροές ειδικά σε αγροχημικά), η προσαρμοστικότητα στα τόσο διαφορετικά περιβάλλοντα των ΗΠΑ, οδήγησαν τους μελετητές στο να επιλέξουν το switchgrass ως μοντέλο, με βραχυπρόθεσμο στόχο την υιοθέτηση του για την παραγωγή βιοενέργειας, ενώ σαν μακροπρόθεσμος στόχος τέθηκε η κατανόηση των βασικών του βιολογικών διεργασιών και η βελτίωση του ως προς τα ιδιαίτερα θετικά του χαρακτηριστικά.

Το πρόγραμμα βελτίωσης επέφερε αυξήσεις στην παραγωγικότητα του switchgrass που ξεπερνά το ιστορικό ποσοστό βελτίωσης του καλαμποκιού (Samuel B. McLaughlin et al, 2005). Συγκεκριμένα η έρευνα αυτή πέτυχε:

1. Μείωση κόστους παραγωγής κατά 25%
2. Αύξηση της απόδοσης κατά 50%
3. Μείωση του επιπέδου λίπανσης κατά 40%

Οι ποικιλίες που αναπτύχθηκαν ήταν αρκετές με ευρεία γκάμα optimum έδαφο-κλιματικών συνθηκών. Αυτό έδωσε το έναυσμα να ξεκινήσει η έρευνα και στην Ευρώπη και να ελεγχθεί η καλλιέργεια τόσο σε βόρεια περιβάλλοντα όσα και στα μεσογειακά.

5.2. ΤΑΞΙΝΟΜΗΣΗ

Το Switchgrass (*Panicum virgatum* L) είναι φυτό C4, ιθαγενές της Β. Αμερικής και απαντάται νότια του 55° βόρειου γεωγραφικού πλάτους έως βαθιά μέσα στο έδαφος του Μεξικού. Συναντάται επίσης τόσο στη Ν. Αμερική όσο και στη Β. Αφρική. Χρησιμοποιείται κυρίως ως χορτοδοτικό λόγω της μεγάλης φυτομάζας που παράγει, ως διακοσμητικό σε πολλά μέρη του κόσμου και ως φυτό εδαφοκάλυψης για προστασία από την διάβρωση. Από τις αρχές της δεκαετίας του 90 άρχισε να διερευνάται η χρήση του ως ενεργειακό φυτό για την παραγωγή αιθανόλης και για παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας με καύση της παραγόμενης βιομάζας, στις ΗΠΑ και τον Καναδά. Από το 1998 ερευνάται και στην Ευρώπη για την παραγωγή κυρίως βιομάζας.

Η βοτανική του ταξινόμηση σύμφωνα με την κατάταξη του USDA έχει ως εξής:

Βασίλειο: *Plantae*

Υποβασίλειο:.... *Tracheobionta*

Άθροισμα: *Spermatophyta*

Υποάθροισμα: . *Magnoliophyta*

Κλάση: *Liliopsida*

Υποκλάση:..... *Commelinidae*

Τάξη: *Cyperales*

Οικογένεια: *Poaceae*

Γένος: *Panicum* L

Είδος: *Panicum virgatum* L. – switchgrass

Ποικιλίες..... *Panicum virgatum* var. *spissum* L.

..... *Panicum virgatum* var. *virgatum* L

Υπάρχουν δύο γενότυποι-οικότυποι του switchgrass: Ο ένας τετραπλοειδής που απαντάται σε πεδινές περιοχές με εύρωστα φυτά και ο δεύτερος απαντάται σε μεγαλύτερα υψόμετρα, είναι εξαπλοειδής ή οχταπλοειδής (M. A. Sanderson, R. L. Reed, et al., 1996).

5.3. ΜΟΡΦΟΛΟΓΙΚΑ ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΤΙΚΑ

Το Switchgrass είναι μια πολυετής πόα η οποία αναπτύσσεται σε ύψος 1,5 μέτρου περίπου, αλλά μπορεί να φθάσει και τα 3 μέτρα σε ευνοϊκά περιβάλλοντα. Το ριζικό του σύστημα είναι πλούσιο και φθάνει σε βάθος τα 3 μέτρα (Liebig M.A., Johnson H.A, et al 2005), ενώ παράγει κάθε χρόνο πολλά νέα ριζίδια, τα οποία όταν νεκρώνονται εμπλουτίζουν το έδαφος με οργανική ουσία. Μάλιστα η κάτω από το έδαφος παραγωγή βιομάζας στην πλήρη ανάπτυξη της καλλιέργειας, είναι ίση ή και μεγαλύτερη με την υπέργεια (Frank A.B., Berdahl J.D., et al, 2004)

Τα φύλλα του είναι λογχοειδή πάχους 6-12 χιλ. με ευδιάκριτη νεύρωση και με παρουσία τριχιδίων στην πάνω επιφάνεια χαρακτηριστικό που βοηθάει στη μείωση της εξατμισοδιαπνοής. Έχει γλωσσίδα μήκους 1,5-3 χιλ. μεμβρανώδη με τριχίδια.

Η ταξιανθία είναι σύνθετος βότρυς, μήκους 15-45 εκατοστών, με κατάληξη σε σταχίδια στις άκρες των μακρών κλάδων, τα οποία είναι ανθισμένα ανά δύο, ένα γόνιμο και ένα στείρο, μήκους 3-5,5 χιλ.

Ο καρπός είναι μικρός ωοειδής και οι σπόροι μικροί σε μέγεθος. Η καλλιέργεια του switchgrass για σπόρο μπορεί να παράγει 33-56 κιλά σπόρου ανά στρέμμα. Χρειάζεται μάλιστα σταυρογονιμοποίηση αφού είναι αυτόστειρο.

5.4. ΔΙΑΧΕΙΡΙΣΗ ΤΗΣ ΚΑΛΛΙΕΡΓΕΙΑΣ - ΑΠΑΙΤΗΣΕΙΣ

Η διαχείριση της καλλιέργειας για παραγωγή βιομάζας εξαρτάται κύρια από τις εδαφικές και από τις κλιματικές συνθήκες της περιοχής οι οποίες θα καθορίσουν την επιλογή

του οικοτύπου και της ποικιλίας. Η σχέση γενότυπου και περιβάλλοντος έχει αποδειχθεί ότι είναι πολύ σημαντική (Fike J., David P. J., et al., 2006).

Για να μπορέσουμε να ελέγξουμε αν η συγκεκριμένη καλλιέργεια θα μπορούσε να αποτελέσει μια ικανοποιητική πρόταση για την παραγωγή βιοκαυσίμων στην Ελλάδα θα πρέπει να δούμε τα πειραματικά δεδομένα που υπάρχουν για την χώρα μας, αλλά και τα πειραματικά δεδομένα που υπάρχουν σε παρόμοιες κλιματικές συνθήκες, τόσο στον Ευρωπαϊκό χώρο, όσο και στην Β. Αμερική. Αυτό επιβάλλεται δεδομένου ότι η προσαρμογή του γενότυπου και ακόμη πιο ειδικά, της ποικιλίας σε συγκεκριμένο περιβάλλον είναι αυτή που καθορίζει τελικά το μέγεθος της παραγωγής και την ανταπόκριση στις καλλιεργητικές τεχνικές που εφαρμόζονται. Για τις συνθήκες της Ελλάδας κατόπιν πειραμάτων που έκανε το ΚΑΠΕ φαίνεται ότι καλύτερα αποτελέσματα δίνει ο τετραπλοειδής γενότυπος - οικοτύπος πεδινών περιοχών.

5.4.1. ΕΛΑΦΙΚΕΣ ΑΠΑΙΤΗΣΕΙΣ

Το switchgrass προτιμά τα βαθιά εδάφη τα οποία έχουν ικανοποιητική ικανότητα συγκράτησης νερού, εξαιτίας του πλούσιου ριζικού του συστήματος. Αναπτύσσεται όμως σε μεγάλη ποικιλία εδαφών: από ρηχά, πετρώδη έως περιστασιακά κορεσμένα με νερό, (Elbersen H., Christian D.G., et al., 2004) ενώ σε εδάφη με χαμηλό pH ή σε πολύ χαμηλής γονιμότητας αποδίδει ικανοποιητικά. Αντίθετα δεν ευδοκίμει στα πολύ βαριά αργιλώδη (Elbersen H., Christian D.G., et al., 2004). Σε εδάφη με υψηλό pH η απόδοση σε βιομάζα μειώνεται σημαντικά (Virgilio N., Monti A., et al, 2007), ενώ το εύρος pH που αναπτύσσεται ικανοποιητικά είναι μεταξύ 4,5 και 7,6. Παρόλη την ευρεία γκάμα των εδαφών που μπορεί να ευδοκιμήσει, πειράματα έχουν δείξει ότι το μέγεθος της παραγωγής μπορεί να παρουσιάζει σημαντική διαφοροποίηση, ακόμα και μέσα στο ίδιο χωράφι (Kiniry J.R., Cassida K.A., et al

2005, Virgilio N., Monti A., et al 2007). Βέβαια, ως έναν βαθμό, είναι αναμενόμενο ότι σε ευνοϊκά για την καλλιέργεια περιβάλλοντα οι αποδόσεις θα είναι μεγαλύτερες.

Οι απαιτήσεις της καλλιέργειας σε φώσφορο ικανοποιούνται μέσω της συμβίωσης με μυκόρριζες ενώ οι απαιτήσεις σε κάλιο δεν είναι μεγάλες. Σημαντικός παράγοντας είναι η περιεκτικότητα του εδάφους σε άζωτο, χωρίς αυτό να σημαίνει ότι η υψηλή περιεκτικότητα ευνοεί την απόδοση της καλλιέργειας, καθορίζει όμως το πλάνο λίπανσης άρα και το μέγεθος των εισροών.

Οι επικρατούσες εδαφικές συνθήκες σε μια καλλιέργεια switchgrass, αποτελούν σημαντική παράμετρο της ποιότητας της παραγόμενης βιομάζας. Για παράδειγμα, το ποσοστό της στάχτης αυξάνεται 2 με 3 φορές σε αργιλώδη εδάφη από ότι στα αμμώδη εδάφη και αυτό έχει να κάνει με την υψηλότερη πρόσληψη πυριτίου στα αργιλώδη εδάφη. (Elbersen H.W, Christian D.G., et al, 2001). Επίσης η διαθεσιμότητα σε υψηλά επίπεδα θρεπτικών στοιχείων, όπως K και Na θα μειώσει το σημείο τήξης της στάχτης ενώ υψηλή περιεκτικότητα σε Cl, οδηγεί σε προβλήματα διάβρωσης στον χώρο καύσης (Elbersen H.W, Christian D.G., 2001). Γίνεται λοιπόν φανερό ότι οι εδαφικές συνθήκες παίζουν σημαντικό ρόλο τόσο στο ύψος της παραγωγής όσο και στην ποιότητα της παραγομένης βιομάζας, ενώ την ίδια σημαντική επίδραση θα έχουν φυσικά και όλες οι μεταχειρίσεις του εδάφους και κυρίως η λίπανση.

5.4.2. ΑΠΑΙΤΗΣΕΙΣ ΣΕ ΛΙΠΑΝΣΗ

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. Μιλώντας για το switchgrass θα πρέπει να δούμε γενικά τις απαιτήσεις της καλλιέργειας, σε θρεπτικά στοιχεία, τον χρόνο εφαρμογής των λιπασμάτων

και τις επιδράσεις του ύψους των θρεπτικών και κυρίως του αζώτου, στη φυσιολογία του φυτού.

Η διαχείριση του αζώτου είναι μία πολύ σημαντική παράμετρος για συστήματα ενεργειακών καλλιεργειών (Walsh M.E.,1998), καθώς:

1. το άζωτο αποτελεί σημαντικό συντελεστή του κόστους παραγωγής (Nelson R. G., Ascough J. C., et al, 2006, Monti A., Fazio S., et al 2006)
2. ενώ ταυτόχρονα επιβαρύνει σημαντικά και το λεγόμενο περιβαλλοντικό κόστος (Nelson R. G., Ascough J. C., et al, 2006), καθώς αποτελεί εισροή υψηλής ενέργειας και μπορεί να καταστεί ρύπος, ο οποίος είναι δυνατόν να μολύνει τα υπόγεια και τα επιφανειακά ύδατα (Addiscott, T.M., Whithmore A.P., 1993).

Όσον αφορά το 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 H.W, Christian D.G., et al2001), οπότε τα επόμενα χρόνια μετά την εγκατάσταση, δεν υπάρχει πρόβλημα έλλειψης.

Είναι φανερό ότι το switchgrass ως φυτό C4, εκτός από την ηλιοφάνεια, οι κυριότερες πηγές που ρυθμίζουν το ύψος παραγωγής της βιομάζας, είναι το νερό και το άζωτο και για αυτό και αποτέλεσαν πεδίο ιδιαίτερης έρευνας. Άλλοι παράγοντες που παίζουν ρόλο είναι ο γενότυπος-οικότυπος, με μεγαλύτερες απαιτήσεις να έχει αυτός των ορεινών περιοχών (Stroup J. A., Sanderson M. A.,et al 2002) και ο αριθμός των κοπών, που μπορεί να είναι ένας ή δύο με μεγαλύτερες απαιτήσεις να υπάρχουν στην περίπτωση των δύο κοπών (Reynolds J. H., Walker C. L et al 2000,. McLaughlin S., Kszos L., 2005).

Στις ΗΠΑ μελετήθηκαν οι διαφοροποιήσεις στην απόδοση με άζωτο, κάλιο, φώσφορο και ασβέστιο και βρέθηκαν σταθερά θετικές αντιδράσεις μόνο στο άζωτο. Όμως,

κατά την διάρκεια του δεκαετούς προγράμματος ελέγχου της καλλιέργειας αποδείχθηκε ότι οι ανάγκες σε άζωτο ήταν τελικά 50% λιγότερες από ότι αρχικά πιστευόταν ως απαραίτητη ποσότητα για καλλιέργεια βιομάζας (McLaughlin S., Kszos L., 2005). Ενώ οι αρχικές δοκιμές έγιναν με επίπεδα λίπανσης $100-300 \text{ kg ha}^{-1}$ (10 έως 30 κιλά το στρέμμα), τελικά ανακαλύφθηκε ότι 50 kg ha^{-1} ήταν επαρκή για τα συστήματα μίας κοπής (Samson Roger, Mani Sudhagar et al, 2005). Πειράματα στην Αλαμπάμα έδειξαν ότι λίπανση με $122 \text{ kg ha}^{-1} \text{ N}$ στην αρχή μίας τρίχρονης μελέτης κατέληξε σε ικανοποιητικές αποδόσεις (15 tha^{-1} ξηρής ουσίας), ενώ καταγράφηκε αύξηση της παραγόμενης βιομάζας κατά 150% σε σχέση με πειραματικά που εφαρμόστηκε η ποσότητα αυτή κάθε χρόνο. Έτσι το συμπέρασμα που βγήκε ήταν ότι μια αποτελεσματική λίπανση ήταν στα επίπεδα των $41 \text{ kg ha}^{-1} \text{ year}^{-1}$ (McLaughlin S., Kszos L., 2005).

Οι ποσότητες αυτές αποδείχθηκαν ικανοποιητικές για τις μέσο-δυτικές πολιτείες των ΗΠΑ. Σε περιοχές όπως το Τέξας, όπου οι υψηλές εδαφικές θερμοκρασίες, προκαλούν υψηλούς ρυθμούς ανοργανοποίησης, ως βέλτιστα επίπεδα λίπανσης αναφέρονται τα $120 \text{ kg ha}^{-1} \text{ year}^{-1}$ (McLaughlin S., Kszos L., 2005). Στην περιοχή αυτή των ΗΠΑ, η αζωτούχος λίπανση αύξησε το μέσο βάρος των αδερφιών κάθε φυτού, χωρίς να επηρεάζει τον αριθμό τους και η σύγκριση μεταξύ δύο επιπέδων λίπανσης (22 και 112 kg ha^{-1}) έδειξε μέχρι τριπλασιασμό παραγωγής σε χαμηλές πυκνότητες σποράς (Sanderson M. A., Reed R. L., 2000).

Όπως ήδη αναφέρθηκε η ανταπόκριση στη λίπανση αζώτου εκτός των άλλων εξαρτάται από τον οικότυπο. Σε πείραμα που διεξήχθη μεταξύ των δύο οικότυπων 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. Αξίζει

εδώ να αναφερθεί ότι καλύτερη όλων αποδείχθηκε η ποικιλία Alamo μια ποικιλία πεδινών περιοχών(Stroup J. A., Sanderson M. A., et al 2002).

Η χρονική στιγμή της συγκομιδής έχει σημαντικό ρόλο στη γενικότερη θρέψη του φυτού. Εφόσον αυτή καθυστερήσει και γίνει πολύ αργότερα μετά τον πρώτο παγετό, έχουμε μία μείωση της παραγωγής κατά 20%, αλλά από την άλλη έχουμε σημαντική μεταφορά θρεπτικών από τα υπέργεια μέρη προς τις ρίζες. Αυτό έχει σαν αποτέλεσμα την μείωση των απαιτήσεων σε θρεπτικά αλλά και την σημαντική μείωση της στάχτης κατά την καύση της βιομάζας του switchgrass (McLaughlin S., Kszos L., 2005).

Έχει αποδειχθεί ότι η αποδοτικότητα της αζωτούχου λίπανσης είναι καλύτερη στο switchgrass,(η οποία φθάνει στο 66,5%) από ότι στο καλαμπόκι (φθάνει στο 50%), στα περιβάλλοντα της Αλαμπάμα, η οποία αποδίδεται στην καλύτερη αξιοποίηση από το πλούσιο ριζικό του σύστημα (Bransby D. I., McLaughlin S. B., et al, 1997). Ταυτόχρονα, θα πρέπει εδώ να τονιστεί, ότι σε πειράματα που έχουν γίνει με διάφορα επίπεδα αζωτούχου λίπανσης, έχει αποδειχθεί ότι το υπερβολικό άζωτο είναι βασικός παράγοντας πρόκλησης πλαγιάσματος, με σημαντικές επιδράσεις στο ύψος της παραγόμενης βιομάζας (Bransby D. I., McLaughlin S. B., et al, 1997, McLaughlin S., Kszos L., 2005).

Τα πειράματα στην Ευρώπη έδειξαν τα ίδια περίπου αποτελέσματα, με λιπάνσεις των 0-60 kg N ha⁻¹ year⁻¹ να προτείνονται στην Βορειοδυτική Ευρώπη (Elbersen H.W, Christian D.G., et al 2001, Christian D. G., Riche A. B.2002), ενώ στη Νότια Ευρώπη όπου οι αποδόσεις είναι μεγαλύτερες προτείνονται αντίστοιχα 50-100 kg N ha⁻¹ year⁻¹ (Alexopoulou E., Sharma N., et al 2001). Είναι σημαντικό να αναφερθεί εδώ ότι στο μοναδικό πείραμα που έγινε στην Ελλάδα και συγκεκριμένα στην Αλίαρτο, βρέθηκε στατιστικά σημαντική θετική συσχέτιση αζωτούχου λίπανσης και ύψους παραγωγής ξηράς ουσίας, μέχρι και το επίπεδο των 150 kg N ha⁻¹ year⁻¹(Alexopoulou E., Sharma N., et al 2001).

Το άζωτο είναι πολύ σημαντική παράμετρος της καλλιέργειας, διότι όπως ήδη αναφέρθηκε, επηρεάζει σημαντικά το πλάγιασμα, αλλά ταυτόχρονα, επηρεάζει και την ποιότητα της παραγομένης βιομάζας. Το ποσοστό πλαγιάσματος αυξάνονταν με την αύξηση της εφαρμοζόμενης αζωτούχου λιπάνσεως, σε όλα τα πειράματα που διεξήχθησαν για την αξιολόγηση της καλλιέργειας ως ενεργειακής. Η ίδια σχέση καταγράφηκε μεταξύ N και περιεκτικότητας της βιομάζας σε K, Mg, Cl, στοιχεία που υποβαθμίζουν την ποιότητα της βιομάζας (Elbersen H.W, Christian D.G., et al 2001).

5.4.3. ΕΛΕΓΧΟΣ ΖΙΖΑΝΙΩΝ

Τα ζιζάνια μπορούν να προκαλέσουν πρόβλημα στην καλλιέργεια κατά τον χρόνο εγκατάστασης, οπότε και απαιτείται χημικός έλεγχος (Piscioneri I., Pignatelli V., 2001 McLaughlin S. B., Kszos L. A., 2005). Τα επόμενα χρόνια και εφόσον έχει επιτευχθεί καλή εγκατάσταση της καλλιέργειας, δεν είναι απαραίτητη η χημική καταπολέμηση των ζιζανίων, μια και η αναβλάστηση συμβαίνει τον Απρίλιο και το switchgrass θα τα εκτοπίσει γρήγορα (Elbersen H.W, Christian D.G., et al 2004).

Συχνά η πίεση από τα ζιζάνια είναι τόσο έντονη, που πολλές φορές έχουμε αποτυχία εγκατάστασης ικανοποιητικού αριθμού φυτών (Piscioneri I., Pignatelli V., 2001). Πολλά ζιζανιοκτόνα έχουν δοκιμασθεί προ-σπαρτικά αλλά και μετα-φυτρωτικά. Τα καλύτερα αποτελέσματα έδωσε η atrazine και η symazine αλλά έχει απαγορευτεί η χρήση τους στην Ε.Ε. Οι ουσίες bensulide, butilate, imazetpyr και imazameth χρησιμοποιούνται στις ΗΠΑ αλλά η χρήση τους στην Ευρώπη δεν έχει ακόμα επιτραπεί (Elbersen H.W, Christian D.G., et al 2004). Έτσι, δεν υπάρχουν προ-φυτρωτικές επιλογές ζιζανιοκτόνων, εκτός φυσικά των glyphosate και paraquat που είναι ευρέως φάσματος.

Μεταφυτρωτικά για καταπολέμηση πλατύφυλλων ζιζανίων, μπορεί να χρησιμοποιηθεί το 2,4D σε χαμηλές δόσεις, από το στάδιο των 4 πραγματικών φύλλων και μετά, αφού η

χρήση του πριν το στάδιο αυτό, προκαλεί σοβαρή ζημιά στα φυτά του switchgrass (Wolf and Fiske, 1995). Το dicamba μπορεί επίσης να χρησιμοποιηθεί με τους ίδιους περιορισμούς. Το MCPA, ορμονικό ζιζανιοκτόνο που μπορεί να χρησιμοποιηθεί με σχετική ασφάλεια ενάντια σε δικοτυλήδονα ζιζάνια, όπως και το bentazon που είναι ασφαλές για τα C4 φυτά. Άλλα μεταφυτρωτικά ζιζανιοκτόνα για έλεγχο των πλατύφυλλων είναι τα sulfometuron, metusulfuron και chlorsulfuron τα οποία είναι δραστικές που δεν είχαν πάρει μέχρι πρόσφατα έγκριση εισαγωγής τους στην Ευρώπη. Τα ioxynil, bromoxynil, mecoprop, bentazone, και CMPP έχουν χρησιμοποιηθεί σε πειράματα στην Ευρώπη για έλεγχο πλατύφυλλων ζιζανίων (Elbersen H.W, Christian D.G. 2004).

Πρόβλημα αποτελούν τα στενόφυλλα, αγροστώδη ζιζάνια τα οποία είναι δύσκολα στην καταπολέμησή τους. Η λύση που προτείνεται είναι το κόψιμο των ζιζανίων αυτών σε ύψος ακριβώς πάνω από την καλλιέργεια (Wolf and Fiske, 1995).

Πίνακας 5. Εφαρμογές ζιζανιοκτόνων σε καλλιέργεια switchgrass στη νότια Αγγλία (λίτρα σκευασμάτων ανά εκτάριο- χρήση 200 λίτρων νερού ανά εκτάριο) (Christian D. G., Riche A. B. 2002)

ΗΜΕΡΟΜΗΝΙΑ	Isoproturon (500 grl ⁻¹)*	Atrazine (500 grl ⁻¹)	Paraquat (200 grl ⁻¹)	Glyphosate (500 gr l ⁻¹)	Fluroxypr (500 grl ⁻¹)	Bromoxynil+ Ioxynil (200+200grl ⁻¹)	Mecoprop (600 gr l ⁻¹)
1993					0.3		
2/7							
22/7						1.4	2.5
1994							
6/2			3				
2/2		3					
1995							
2/5						1.4**	2.5**
22/6						1.4	2.5
1996							
4/4	4					0.9	
5/6							2.5
1997							
10/3				4			

*δραστική ουσία ανά λίτρο συσκευασίας

**Αποτυχία των εφαρμογών λόγω βροχόπτωσης μετά την εφαρμογή

Ζιζανιοκτόνα που χρησιμοποιήθηκαν σε πείραμα στην νότια Αγγλία καθώς και οι δόσεις, η διάλυση και ποσότητα χρησιμοποιούμενου διαλύματος, φαίνονται στον πίνακα 5.

Μερικά από τα ζιζανιοκτόνα που αναφέρθηκαν μπορεί να προκαλέσουν καψίματα στην καλλιέργεια και έλεγχο της ανάπτυξης (Eldersen H., Cristian D., et al, 2004). Το είδος του εδάφους και η περιεχόμενη υγρασία είναι παράγοντες που μπορεί να συντελέσουν σε αυτό. Γενικά χρησιμοποιούνται μικρές δόσεις.

5.4.4. ΕΠΙΛΟΓΗ ΠΟΙΚΙΛΙΑΣ

Όπως έχει ήδη αναφερθεί υπάρχουν δύο οικοτύποι - γενότυποι οι οποίοι έχουν διαφορές στις έδαφο-κλιματικές απαιτήσεις. Παράλληλα έχουν αναπτυχθεί πολλές ποικιλίες στις ΗΠΑ, κάθε μία από τις οποίες έχει ιδιαίτερα χαρακτηριστικά και απαιτήσεις αλλά και διαφορετική χρήση μια και το switchgrass χρησιμοποιείται και ως φυτό χορτονομής.

Στην Ευρώπη οι ποικιλίες που δοκιμάστηκαν στο Ευρωπαϊκό πρόγραμμα FAIR 5-CT97-3701 και οι οποίες επελέγησαν με βάση την γεωγραφική ζώνη καλλιέργειας τους στην βόρεια Αμερική καθώς και με βάση την χρήση της παραγόμενης βιομάζας, παρουσιάζονται στον πίνακα 6. Οι δοκιμές έγιναν με την υποστήριξη της Ε.Ε. από έξι οργανισμούς αντίστοιχου αριθμού χωρών, μεταξύ των οποίων ήταν από ελληνικής πλευράς το Κ.Α.Π.Ε. Οι ποικιλίες αυτές επιλέχθηκαν το 1998 για ένα τριετές πρόγραμμα ελέγχου της καλλιέργειας στον Ευρωπαϊκό χώρο, δοκιμάζοντας στην βόρεια Ευρώπη ποικιλίες του οικοτύπου ορεινών περιοχών, ενώ στην νότια Ευρώπη ποικιλίες του οικοτύπου πεδινών περιοχών.

Πίνακας 6. Οι ποικιλίες switchgrass που ελέγχθηκαν στο Ευρωπαϊκό πρόγραμμα FAIR 5-CT97-3701 (Elbersen H.W, Christian D.G et al 2001).

ΠΟΙΚΙΛΙΑ	ΟΙΚΟΤΥΠΟΣ	ΓΕΝΟΤΥΠΟΣ	ΠΕΡΙΟΧΗ ΕΥΔΟΚΙΜΗΣΗΣ	ΒΑΡΟΣ 100 ΣΠΟΡΩΝ ΣΕ gr 10 ⁻³ (mgr)
Alamo	lowland	Tetraploid	South Texas 28°	94
Blackwell	upland	Octoploid	Northern Oklahoma 37°	142
Caddo	upland	Octoploid	South Great plains 35°	159
Carthage - NJ-	?		North Carolina 35°	148
Cave-in-Rock	Intermediate	Octoploid	Southern Illinois 38°	166
Dacotah	upland	Tetraploid	North Dakota 46°	148
Forestburg	upland	Tetraploid	South Dakota 44°	146
Kanlow	lowland	Tetraploid	Central Oklahoma 35°	85
Nebraska 28	upland	?	Northern Nebraska 42°	162
Pangburn	lowland	Tetraploid	Arkansas 34°	96
Pathfinder	upland	Octoploid	Nebraska / Kansas 40°	187
REAP 921	upland	Tetraploid	Southern Nebraska 41°	90
Shelter	mixed?	Octoploid?	West Virginia 40°	179
Summer	upland	Tetraploid	South Nebraska 41°	114
Sunburst	upland		South Dakota 44°	198
Frailblazer	upland	Octoploid	Nebraska 40°	185

Είναι γνωστό ότι ποικιλίες οι οποίες επιλέγονται για καλλιέργεια σε περιοχές αρκετά βορειότερες από την περιοχή προέλευσης, θα αποτύχουν να ωριμάσουν το φθινόπωρο και έχουν μειωμένη επιβίωση τον χειμώνα (Elbersen H.W, Christian D.G., et al, 2001, Lewandowski I., Scurlock J.O., et al, 2003). Έτσι οι νότιες ποικιλίες καλλιεργούμενες στην Ολλανδία, δεν άνθησαν το φθινόπωρο και ήταν εν μέρει ακόμα πράσινες όταν οι βόρειες ποικιλίες είχαν ανθίσει και ήταν ώριμες (καφέ). Μια παγωνιά προκάλεσε καταστροφή του υπέργειου τμήματος των νότιων ποικιλιών τον Νοέμβριο. Η αποτυχία ολοκλήρωσης του βιολογικού κύκλου και σκλήρυνσης πριν από τον παγετό οδήγησε σε περιορισμένη

αναβλάστηση την άνοιξη, με δυσμενείς επιπτώσεις στην απόδοση (Elbersen H.W, Christian D.G., et al, 2001).

Από τα πειράματα στην Ευρώπη βγήκε το συμπέρασμα ότι μπορεί να επιτευχθεί μία μετακίνηση των ποικιλιών του switchgrass σε γεωγραφικό πλάτος βορειότερο από αυτό που αναφέρεται ως βέλτιστο ανάπτυξης στην βόρεια Αμερική (Elbersen H.W, Christian D.G. 2004).

Η επιλογή ποικιλίας είναι σίγουρα από τις πιο βασικές επιλογές που έχει να κάνει ένας δυνητικός καλλιεργητής switchgrass για παραγωγή βιομάζας. Τα κριτήρια όμως με βάση τα οποία πρέπει να γίνει αυτή η επιλογή για έναν επαγγελματία θα πρέπει να είναι οικονομικά, να ληφθεί υπόψη δηλαδή το κόστος παραγωγής και η ποσότητα της παραγόμενης βιομάζας καθώς και οι ανάγκες της καλλιέργειας σε νερό και η διαθεσιμότητα του. Η οικονομικότητα έχει να κάνει με το βέλτιστο εκείνο σημείο όπου με τις λιγότερες εισροές έχουμε το καλύτερο αποτέλεσμα, κάτι που δεν σημαίνει απαραίτητα μέγιστο ύψος παραγωγής, διότι για επιτευχθεί αυτό, είναι δυνατόν να οδηγηθούμε σε υπέρμετρη αύξηση των εισροών, ώστε τελικά να ακυρώνεται το οικονομικό όφελος από την αύξηση της παραγωγής.

Για να επιλεγούν ποικιλίες για δεδομένα περιβάλλοντα, θα πρέπει να υπάρξει μακρόχρονη έρευνα (Christian D.G., Riche A.B. et al 2002), κάτι που δεν συμβαίνει αυτή την στιγμή, τουλάχιστον στην Ευρώπη. Τα πειράματα που πραγματοποιήθηκαν και στις δύο πλευρές του Ατλαντικού είναι δυνατόν, όμως, να μας δώσουν μία εικόνα για το ποιες ποικιλίες θα μπορούσαν να καλλιεργηθούν στην Ελλάδα.

Από τις ποικιλίες που δοκιμάστηκαν στην Ευρώπη, πολύ καλά αποτελέσματα, σε σύγκριση πάντα με τις υπόλοιπες που συμμετείχαν στις δοκιμές, έδωσαν οι ποικιλίες Alamo, Cave in Roc (CIR), Pangburn (η οποία ξεχώρισε στην Ελλάδα) και Kanlow. Από αυτές μόνο η CIR είναι γενότυπος υψιπέδων.

Στις ΗΠΑ αντίστοιχα οι ποικιλίες που ξεχώρισαν ήταν οι Alamo και η Kanlow στα νότια γεωγραφικά πλάτη, οι Kanlow και η Cave in Roc στα μεσαία γεωγραφικά πλάτη και οι Cave in Roc και Summer στα βόρεια.

5.4.5. ΣΠΟΡΑ

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, αλλά και την ποικιλία. Για την ποικιλία Alamo έχουμε περίπου 800 σπόρους ανά γραμμάριο (Monti A., Venturi P., et al, 2007).

Κατά την σπορά θα πρέπει να προσεχθεί ιδιαίτερα η βλαστικότητα του σπόρου. Παράγοντες που βρέθηκε ότι επηρέασαν το φύτευμα, είναι (Eldersen H., Cristian D., et al, 2004):

- Η ηλικία του σπόρου: οι πρόσφατα μαζεμένοι σπόροι έχουν υψηλό ποσοστό ληθάργου και χρειάζεται να επιδράσουν θερμοκρασίες 5 °C για 2-4 εβδομάδες για να διακοπεί. Επίσης, σπόροι μετά από μακρά αποθήκευση πρέπει να ελέγχονται για την βλαστικότητα τους.
- Το βάθος σποράς, το οποίο πρέπει να είναι από 10mm έως 15mm και σε καμία περίπτωση πάνω από 20mm.
- Η θερμοκρασία εδάφους, η οποία πρέπει να είναι πάνω από 10 °C.
- Η υγρασία του εδάφους, η οποία είναι μεν απαραίτητη, αλλά πρέπει να αποφεύγεται η σπορά σε πολύ υγρά χωράφια.
- Η καλή επαφή του σπόρου με το έδαφος. Το κυλίνδρισμα, τόσο πριν όσο και μετά την σπορά γενικά ευνοεί το φύτευμα, χρειάζεται προσοχή όμως το ποσοστό της εδαφικής υγρασίας λόγω πιθανής συμπίεσης ή σχηματισμού επιφανειακής κρούστας. Σπόροι που σπάρθηκαν σε χαλαρή σποροκλίνη, ήταν περισσότερο επιρρεπείς στο πλάγιασμα.

Η ποσότητα του απαιτούμενου σπόρου έχει υπολογισθεί για την βόρεια Ευρώπη περίπου στα 10 kg ha⁻¹ και 20 kg ha⁻¹ για την νότια (Eldersen H., Cristian d. et al , 2004), ενώ η ποσότητα μπορεί να μειωθεί στο μισό εφόσον η βλαστικότητα του σπόρου είναι άριστη (Monti A., Fazio S., 2007) ενώ η σπορά μπορεί να γίνει με την σπαρτική των σιτηρών, οι δε αποστάσεις μεταξύ των σειρών πρέπει να είναι 15cm (Eldersen H., Cristian d. et al , 2004).

Οι αποστάσεις των σειρών, όπως και το επίπεδο του αζώτου, φαίνεται ότι επηρεάζουν την δέσμευση του C, αλλά και την κατανομή του μεταξύ υπέργειου μέρος του φυτού και ριζών. Η αποθήκευση του C στους βλαστούς ήταν μεγαλύτερη κατά 14% με διάστημα σειρών 80 cm σε σχέση με διάστημα σειρών 20cm (Ma Z., Wood C.W. et al 2001). Αυτό είχε σαν αποτέλεσμα το μεγαλύτερο ύψος παραγωγής βιομάζας από το 3^ο χρόνο και έπειτα, σε πειράματα στις ΗΠΑ (Lewandowski I., Scurlock J.O., et al 2003). Στην Ευρώπη δεν έχουν χρησιμοποιηθεί τόσο μεγάλες αποστάσεις σποράς.

Η θερμοκρασία εδάφους αναφέρεται στους 10 °C σαν ελάχιστη θερμοκρασία φυτρώματος. Όμως σε θερμοκρασίες κάτω από 15,5 °C το φύτερωμα καθυστερεί αρκετά, ενώ στους 29,5 °C οι περισσότεροι σπόροι φυτρώνουν σε 3 ημέρες. Σε θερμοκρασίες εδάφους - 5 °C παρατηρήθηκε πάγωμα του 50% των σπόρων, κάτι που μπορεί να αποφευχθεί με αργή σκληραγώγηση του σπόρου σε χαμηλές θερμοκρασίες, οπότε αναφέρεται αντοχή έως τους - 18 °C (Lewandowski I., Scurlock J.O., et al 2003). Ο οικότυπος και η ποικιλία βέβαια είναι αυτό που καθορίζει τελικά τις ανεκτικές αλλά και τις βέλτιστες θερμοκρασίες φυτρώματος.

Γενικά μπορούμε να πούμε ότι οι εδαφικές συνθήκες θερμοκρασίας και υγρασίας κατά την σπορά, πρέπει να είναι παρόμοιες με αυτές της σποράς του καλαμποκιού, το χώμα ψιλό-χωματισμένο και κυλινδρισμένο. Το πότισμα φυτρώματος και κατόπιν ποτίσματα σε διαστήματα των 7-10 ημερών αύξησαν το ποσοστό των εγκατεστημένων φυτών (McLaughlin S. B., Kszos L. A., 2005).

5.4.6. ΑΠΑΙΤΗΣΕΙΣ ΣΕ ΝΕΡΟ

Γνωρίζουμε ότι το νερό είναι σημαντικός παράγοντας που επηρεάζει την απόδοση μιας καλλιέργειας. Για να καθορίσουμε τις ελάχιστες ανάγκες σε νερό, σε ένα ύψος κάτω από το οποίο θα έχουμε μείωση παραγωγής, θα πρέπει να γνωρίζουμε το επίπεδο και την διαθεσιμότητα και των υπολοίπων παραγόντων που επηρεάζουν την παραγωγή. Εφόσον μιλάμε για παραγωγή φυτικής μάζας, το ύψος της μέγιστης δυνατής παραγωγής που θα μπορούσε να επιτευχθεί, καθορίζεται από την θρέψη (ιδιαίτερα την αζωτούχο λίπανση), την ηλιοφάνεια αλλά και από άλλους παράγοντες, το επίπεδο της επάρκειας των οποίων, θα καθορίσει τις ανάγκες της καλλιέργειας για νερό, είτε από κατακρημνίσματα είτε από άρδευση.

Στο συμπέρασμα αυτό κατέληξε έρευνα (Stroup J. A., Sanderson M. A., et al. 2002), κατά την οποία εξετάστηκαν 2 ποικιλίες οικοτύπου πεδινών περιοχών (Alamo και Kanlow) και 2 ποικιλίες οικοτύπου ορεινών περιοχών (Blackwell και Caddo) ως προς τις αντιδράσεις και τον βαθμό επηρεασμού τους σε συνθήκες στρες νερού αλλά και αζώτου. Αναφέρουν λοιπόν, ότι υπάρχει σχέση επιπέδου λίπανσης αζώτου και των αναγκών για νερό. Μάλιστα στα χαμηλά επίπεδα αζώτου, η έλλειψη νερού επηρέασε την παραγωγή σε πολύ μικρότερο ποσοστό από ότι όταν υπήρχε υψηλή αζωτούχος λίπανση. Συγχρόνως και μεταξύ των ποικιλιών ίδιου οικοτύπου, επηρεάστηκε περισσότερο η πιο παραγωγική (Alamo). Επίσης παρατηρήθηκε πολύ καλύτερη αντίδραση των οικοτύπων πεδινών περιοχών από ότι των υψιπέδων, κάτι που ίσως έχει να κάνει με το γεγονός ότι ο φαινότυπος των πεδινών περιοχών εκφράζεται με βαθύτερο ριζικό σύστημα.

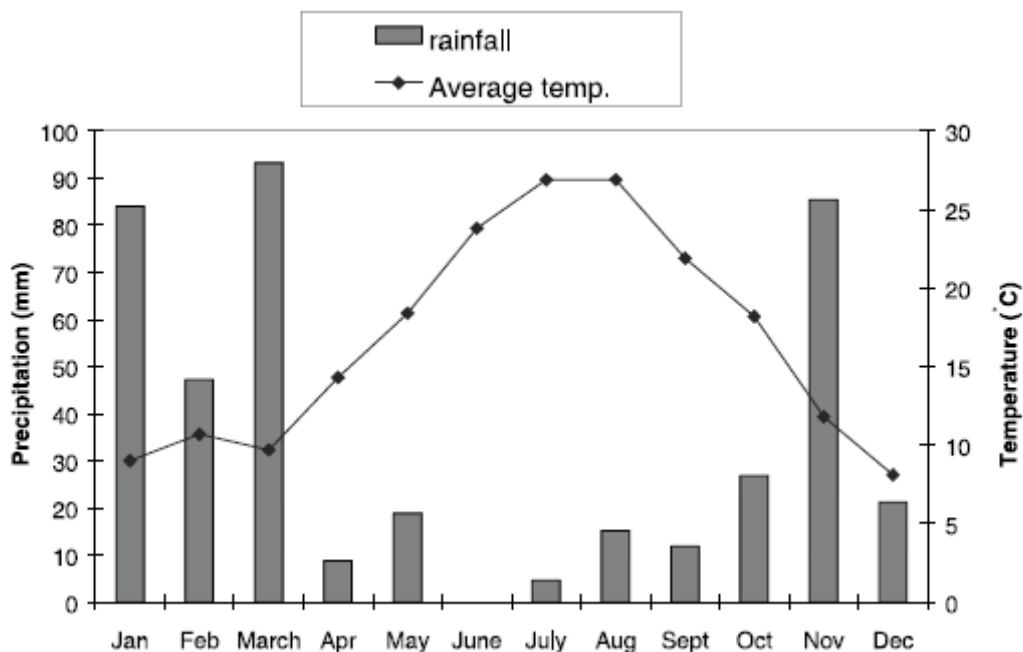
Προκύπτει λοιπόν, ότι το ερώτημα των αναγκών σε νερό είναι πολύπλοκο και η απάντηση ξεκινάει από την διαθεσιμότητα του πόρου, περνάει από την επιλογή ποικιλίας και

από τις εισροές σε λίπασμα και καταλήγει στο ύψος της μέγιστης δυνατής αναμενόμενης παραγωγής.

Ένα ιδιαίτερο χαρακτηριστικό του switchgrass, όπως έχει ήδη αναφερθεί, είναι το πλούσιο ριζικό του σύστημα το οποίο φθάνει σε βάθος 3 μέτρων στον οικότυπο των πεδινών περιοχών και το οποίο το βοηθά να εκμεταλλεύεται υγρασία από μεγαλύτερα βάθη εδάφους.

Αναφορές στη διεθνή βιβλιογραφία για πότισμα καλλιέργειας switchgrass, εγκατεστημένου για παραγωγή βιομάζας δεν υπάρχουν, παρά μόνο κατά τον έλεγχο της καλλιέργειας στη νότια Ιταλία. Έμμεσα μόνο είναι δυνατόν να αντληθούν κάποια στοιχεία Αυτό συμβαίνει γιατί η εκλογή της καλλιέργειας ως ενεργειακής έγινε, γιατί μπορεί να εξυπηρετήσει τον σκοπό των ικανοποιητικών αποδόσεων, σε συνδυασμό με χαμηλές εισροές σε αγροχημικά, λιπάσματα και νερό. Έτσι, οι περιοχές που επελέγησαν για πειραματισμό ειδικά στις ΗΠΑ, αλλά και στην Ευρώπη, μπορούσαν να ικανοποιήσουν ένα minimum αναγκών σε νερό, το οποίο μεταφράζεται σε βροχομετρικό ύψος 600mm με ικανοποιητική κατανομή, ώστε να καλύπτονται οι ανάγκες κατά την περίοδο Ιουνίου-Αυγούστου (McLaughlin S., Samson B. R, et al, 1996).

Τα πειράματα που έγιναν στην Ευρώπη περιλάμβαναν και περιοχές της Μεσογείου όπου η βροχόπτωση είναι λιγότερη από ότι στη Β. Ευρώπη, ιδιαίτερα κατά την κρίσιμη περίοδο των μέγιστων απαιτήσεων. Οι περιοχές που επιλέχτηκαν (Trisaia στην Ιταλία και Αλιάρτος της Ελλάδας) είχαν βροχομετρικά ύψη γύρω στα 400 mm κατανεμημένα περισσότερο στην περίοδο του χειμώνα. Στο διάγραμμα 5, φαίνεται το ύψος της βροχόπτωσης στην Trisaia και φαίνεται ότι η ετήσια κατανομή ταιριάζει με πολλές περιοχές της Ελλάδας. Στην περιοχή αυτή, κρίθηκε απαραίτητη μια επιπλέον παροχή $2400 \text{ m}^3 \text{ ha}^{-1} \text{ year}^{-1}$ (240 mm ανά στρέμμα και ανά έτος) με άρδευση.



Διάγραμμα 5. Ετήσια κατανομή βροχόπτωσης και θερμοκρασίας στην Trisaia της Ιταλίας κατά την διάρκεια πειράματος. (Piscioneri I., Pignatelli V., Palazzo S. et al. 2001)

Γενικά από πειράματα παραγωγής βιομάζας σε καλλιέργειες switchgrass, φαίνεται ότι ένα ετήσιο βροχομετρικό ύψος 600-800 mm είναι ιδανικό, με κατανομή τέτοια ώστε 300-400 mm να έχει η καλλιέργεια στην διάθεση της, κατά την περίοδο των αρχών Ιουνίου έως τα τέλη Αυγούστου (Brummer E.C., Burras C.L et al 2001, Piscioneri I., Pignatelli V., et al. 2001). Οι τιμές αυτές είναι ενδεικτικές, μια και όπως έχει αναφερθεί και άλλοι παράγοντες θα κρίνουν τις ανάγκες των φυτών σε νερό.

Από την άλλη, η αντοχή του switchgrass σε έλλειψη νερού είναι ικανοποιητική. Σε συγκριτικό πείραμα με καλλιέργεια Μίσχανθου αποδείχθηκε ότι σε συνθήκες έλλειψης νερού, η καλλιέργεια του switchgrass ανταποκρίνεται πολύ καλύτερα, όμως και εδώ έχουμε την περίπτωση ότι επηρεάστηκε περισσότερο το είδος με το μεγαλύτερο παραγωγικό δυναμικό (Heaton E, Voigt T.,et al, 2004).

5.4.7. ΣΥΓΚΟΜΙΔΗ

Η συγκομιδή του switchgrass για παραγωγή βιομάζας, σε πειράματα που έγιναν στην Ευρώπη, γινόταν μετά την πρώτη παγωνιά, ο χρόνος της οποίας εξαρτάται φυσικά από τα γεωγραφικά και τα κλιματικά στοιχεία της περιοχής (Eldersen H., Cristian D., 2004). Μια πρόιμη παγωνιά όμως μπορεί να μειώσει το μέγεθος της παραγόμενης βιομάζας, εάν τα φυτά δεν προλάβουν να ολοκληρώσουν τον βιολογικό τους κύκλο.

Όταν η συγκομιδή γίνει νωρίς το φθινόπωρο, πριν την παγωνιά και τον φυσιολογικό γηρασμό της καλλιέργειας, θα οδηγήσει σε χαμηλότερη χειμερινή διαβίωση και μειωμένη αναβλάστηση την Άνοιξη (Eldersen H., Cristian D., 2004).

Όταν η συγκομιδή καθυστερεί πολύ, υπάρχει μία υπολογίσιμη μείωση της παραγόμενης βιομάζας που μπορεί να φτάσει και το 20% (Christian D. G., Riche A. B. et al 2002).

Εφόσον η εγκατάσταση των φυτών γίνει κατά τον πρώτο χρόνο σωστά και χωρίς απώλειες, η κάλυψη του χωραφιού είναι πλήρης και σε συνδυασμό με την αναβλάστηση των φυτών, η οποία γίνεται μέσα στον Απρίλιο, δεν χρειάζεται ζιζανιοκτονία.

Η συγκομιδή γίνεται με κοινές χορτοκοπτικές και χορτοδετικές μηχανές. Η περιεκτικότητα σε υγρασία της συγκομιζόμενης βιομάζας δεν πρέπει να ξεπερνά το 15-20% εφόσον θα αποθηκευτεί (Eldersen H., Cristian D., 2004).

Το πλάγιασμα επηρεάζει την ταχύτητα πτώσης της υγρασίας και της φυσιολογικής ωρίμανσης, με αποτέλεσμα να επηρεάζει αρνητικά το ύψος της παραγομένης βιομάζας αλλά και την χειμερινή διαβίωση.

5.4.8. ΥΨΟΣ ΠΑΡΑΓΩΓΗΣ

Η εκμετάλλευση μίας εγκατεστημένης καλλιέργειας switchgrass έχει διάρκεια 10 έως 15 χρόνια. Το ύψος της παραγωγής βαίνει αυξανόμενο μέχρι τον 5^ο χρόνο της καλλιέργειας, όπου και κορυφώνεται. Σε θερμά όμως περιβάλλοντα, σε εδάφη ελαφρά και με καλλιέργεια οικοτύπων πεδινών περιοχών, η κορύφωση της παραγωγής μπορεί να επιτευχθεί από τον τρίτο χρόνο (Eldersen H., Cristian D., 2004).

Το ύψος παραγωγής του switchgrass εξαρτάται όπως είναι φυσικό από πολλούς παράγοντες που έχουν να κάνουν με την περιοχή που καλλιεργείται, με τον οικοτύπο και την ποικιλία, με τις εισροές κ.τ.λ. Στην παραγωγή βιοκαυσίμων από ενεργειακές καλλιέργειες, οι διαχειριστικές μέθοδοι που εφαρμόζονται είναι διαφορετικές από αυτές που εφαρμόζονται όταν η παραγωγή κατευθύνεται σε άλλες χρήσεις, με αποτέλεσμα και οι αποδόσεις να είναι διαφορετικές. Για παράδειγμα όταν το switchgrass κατευθύνεται για παραγωγή ζωοτροφής μπορεί να εφαρμοσθούν αραιά συστήματα σποράς που φθάνουν έως και 80cm μεταξύ των γραμμών, κάτι που ευνοεί την ανάπτυξη μεγαλύτερης φυλλικής επιφάνειας ανά φυτό και απαιτεί υψηλότερα ποσά λίπανσης. Το συγκεκριμένο σύστημα όμως δεν ευνοεί την μέγιστη παραγωγή ξηράς ουσίας για ενεργειακούς σκοπούς, με αποτέλεσμα στην περίπτωση αυτή να εφαρμόζεται σύστημα πυκνής φύτευσης με αποστάσεις 10-15 cm (Eldersen H., Cristian D. 2004).

Το εύρος των αποδόσεων ξηράς ουσίας για ενεργειακούς σκοπούς που έχει καταγραφεί στις ΗΠΑ, είναι 11-28 tha^{-1} με μέγιστη τους 35 tha^{-1} στην Αλαμπάμα (McLaughlin S. B., Kiniry J. R., et al 2006). Είναι σημαντικό να αναφερθεί ότι οι αποδόσεις αυτές αναφέρονται σε πειραματικά τεμάχια που αντιπροσώπευαν εδάφη χαμηλής έως μέσης γονιμότητας και στα οποία δεν καλλιεργούνταν είδη υψηλής οικονομικής απόδοσης όπως το καλαμπόκι και η σόγια (McLaughlin S. B., Kiniry J. R., 2006).

Στην Ευρώπη οι αποδόσεις κυμάνθηκαν από 6-25 tha^{-1} και οι μέγιστες καταγράφηκαν στις νότιες περιοχές. Άξιο προσοχής είναι όμως ότι η κορύφωση στην Ελλάδα έγινε τον δεύτερο χρόνο με 25 tha^{-1} ενώ η μείωση της παραγωγής ήταν καθολική τον τρίτο χρόνο του πειράματος.

6. ΠΕΙΡΑΜΑΤΙΚΑ ΔΕΔΟΜΕΝΑ ΑΠΟ ΤΗΝ ΕΥΡΩΠΗ

6.1. Μ. ΒΡΕΤΑΝΙΑ

Εκπονήθηκε το 1993 πείραμα αξιολόγησης 7 ποικιλιών switch grass διάρκειας 5 ετών στην εύκρατη παραθαλάσσια περιοχή της νότιας Αγγλίας Rothamsted Experimental Station Farm (Β.Γ.Π. 51°48'30", Δ.Γ.Μ. 0°21'10" υψόμετρο 128 m) και τα αποτελέσματα των πειραμάτων δημοσιεύθηκαν μόλις το 2002 (Christian D.G., Riche A.B. et al 2002). Η περιοχή, αν και σε βορειότερο γεωγραφικό πλάτος έχει ομοιότητες, τόσο όσον αφορά τις θερμοκρασίες αλλά και όσο αφορά τα ύψη βροχόπτωσης (μ.ο. 30 ετών 687 mm), με αρκετές βόρειες ηπειρωτικές περιοχές της Ελλάδας. Σημαντικές διαφορές είναι η κατανομή της βροχόπτωσης, η οποία είναι ομοιόμορφα κατανεμημένη όλους τους μήνες του έτους, ύψους 57 mm και με εύρος 47-69 mm(μ.ο. 30 ετών) και η φωτοπερίοδος λόγω του βορειότερου γεωγραφικού πλάτους. Η βλαστική περίοδος του switchgrass στη συγκεκριμένη περιοχή και για τις δοκιμαζόμενες ποικιλίες, ήταν από τέλος Απριλίου μέχρι τέλος Οκτώβρη. Η άνθηση έγινε για τους οικοτύπους των μεγαλύτερων υψομέτρων μεταξύ Ιουλίου και Αυγούστου, ενώ για αυτούς των πεδινών περιοχών, μεταξύ Αυγούστου και Σεπτεμβρίου. Οι ποικιλίες που ελέγχθηκαν στην διάρκεια αυτού του πειράματος παρουσιάζονται στον πίνακα 7.

Το έδαφος ήταν καλά αποστραγγιζόμενο, εύθρυπτο, αργιλοπηλώδες και γόνιμο. Τα πρώτα 23 cm περιείχαν άργιλο 20% και pH 7. Από το 1988 στον αγρό καλλιεργούνταν αροτριάες καλλιέργειες, με τελευταία την καλλιέργεια χειμερινού φασολιού. Το Μάιο του 1993 έγινε η βασική λίπανση με 100 kg ha⁻¹ P και 140 kg ha⁻¹ K (αναφέρονται ως κιλά θρεπτικών αλλά προφανώς εννοούνται μονάδες φωσφόρου και καλίου ανά εκτάριο).

Πίνακας 7. Οι ποικιλίες που ελέγχθηκαν στην Αγγλία (Christian D.G., Riche A.B. et al 2002)

Ποικιλία	Οικότυπος	Περιοχή στην Β. Αμερική
<i>Cave-in-rock</i>	Ενδιάμεσος	South Illinois, 38°
<i>Kanlow</i>	Lowland	Central Oklahoma. 35°
<i>Pathfinder</i>	Upland	Nebraska/Kansas, 40°
<i>Sunburst</i>	Upland	South Dakota. 44"
<i>Forestburg</i>	Upland	South Dakota. 44°
<i>Nebraska 28</i>	Upland	North Nebraska. 42°
<i>Dacotah</i>	Upland	North Dakota. 46°

Όσον αφορά την λίπανση σε άζωτο, χρησιμοποιήθηκε περιοχή «μάρτυρας» με 0 κιλά αζώτου ενώ στην εξεταζόμενη περιοχή εφαρμόστηκαν 60 kg ha⁻¹ N. Το συμπέρασμα του πειράματος, όσον αφορά το μέρος της σχέσης απόδοσης-αζωτούχου λίπανσης, ήταν ότι για όλες τις ποικιλίες δεν παρουσιάστηκε σημαντική διαφορά στις αποδόσεις μεταξύ της μηδενικής εφαρμογής και αυτής των 60 kg ha⁻¹ N. Ταυτόχρονα μετρήθηκε η ποσότητα του ανόργανου N σε βάθος 90cm και βρέθηκε 96,5 kg ha⁻¹. Τέσσερα χρόνια μετά ξανά-μετρήθηκε το επίπεδο του ανόργανου N στο έδαφος και βρέθηκε στο ίδιο (αρχικό) επίπεδο στις περιοχές όπου έγινε η εφαρμογή του λιπάσματος και δεδομένου ότι δεν επηρεάστηκε και το ύψος της παραγομένης βιομάζας, βγήκε το συμπέρασμα ότι η ποσότητα των 60 kg ha⁻¹ για το συγκεκριμένο έδαφος ήταν η ποσότητα διατήρησης του εδαφικού ανόργανου N. Όμως εκεί όπου δεν εφαρμόστηκε λίπασμα, το αντίστοιχο επίπεδο ανόργανου N ήταν 21% λιγότερο από την αρχική μέτρηση, ποσοστό που χαρακτηρίζεται μικρό μια και η αφαιρούμενη ποσότητα με την συγκομιδή νεκρών βλαστών, υπολογίστηκε σε 149 kg ha⁻¹ γεγονός που οδηγεί στο συμπέρασμα ότι εκτός από την εισαγωγή N με τα κατακρημνίσματα είχαμε και μετατροπή οργανικού αζώτου σε ανόργανο, μέρος του οποίου προήλθε από την νέκρωση ριζών και ριζιδίων της καλλιέργειας (Christian D.G., Riche A.B., et al, 2002).

Ο χρόνος συγκομιδής άλλαζε από χρονιά σε χρονιά και κυμάνθηκε για τα πέντε έτη του πειράματος από Οκτώβριο έως Φεβρουάριο. Συγκομιδή έγινε σε τρία στάδια του φυτού:

- 1) Όταν η φυτομάζα ήταν στο μέγιστο, λίγο μετά την άνθιση, με τους βλαστούς πράσινους (ΠΒ). Τον πρώτο χρόνο δεν έγινε αυτού του είδους η συγκομιδή.
- 2) Με την πρώτη ευκαιρία, όταν οι βλαστοί είχαν νεκρωθεί (NB).
- 3) Την δεύτερη και τρίτη χρονιά έγινε και μία συγκομιδή αργά τον χειμώνα για να ελεγχθεί η πιθανή απώλεια παραγωγής με το πέρασμα του χρόνου.

Τα αποτελέσματα φαίνονται στον πίνακα 8.

Πίνακας 8. Ετήσια παραγωγή ($t\ ha^{-1}$) ξηράς ουσίας (NB, νεκροί βλαστοί), χλωρής ουσίας (ΠΒ, πράσινοι βλαστοί) και ξηράς ουσίας αργά τον χειμώνα (AX) μεταξύ 1993-1997. (Christian D. G., Riche A. B. et al 2002).

ΠΟΙΚΙΛΙΑ	1993		1994		1995			1996		1997		ΣΥΝΟΛΟ
	NB*	ΠΒ*	NB	AX*	ΠΒ	NB	AX	ΠΒ	NB	ΠΒ	NB	NB
Cave-in-rock	1.66	8.84	7.25	6.20	10.20	8.07	6.45	11.97	10.50	16.12	11.32	38.8
Dacotah	1.23	8.2	4.98	4.18	5.50	5.49	4.26	5.78	5.38	9.46	8.82	25.10
Kanlow	1.90	7.00	5.47	5.64	-	6.22	4.90	14.21	11.63	19.03	13.97	39.19
Pathfinder	2.24	8.27	6.31	6.16	8.37	8.35	6.13	9.46	9.46	13.14	11.99	38.35
Sunbursl	1.19	8.23	6.49	4.96	7.57	7.51	5.46	9.35	7.98	15.34	10.45	33.62
Forestburg	1.50	8.72	6.90	6.26	8.16	8.04	5.91	7.79	10.84	12.04	12.90	40.18
Nebraska 28	1.53	7.56	6.61	5.66	9.13	7.95	5.79	9.15	9.92	14.94	13.51	39.52
M.O.	1.62	7.99	6.32	5.69	8.16	7.27	5.62	9.91	9.73	14.92	11.78	36.62

*NB νεκροί βλαστοί, ΠΒ πράσινοι βλαστοί, AX αργά τον χειμώνα συγκομιδή.

Η παράθεση του πίνακα γίνεται για να εξαχθεί μία εικόνα για το επίπεδο της παραγωγής κατά την διάρκεια του πειράματος, μια και οι ερευνητές κατέληξαν στο συμπέρασμα ότι δεν υπάρχει στατιστικά σημαντική διαφορά μεταξύ των ποικιλιών (Christian D. G., Riche A. B. et al 2002).

Κάνοντας γενικές παρατηρήσεις μπορούμε να πούμε ότι:

- Όλες οι ποικιλίες αύξησαν την παραγωγή τους με το πέρασμα του χρόνου και η κάθε μία επηρεάζονταν διαφορετικά από τις καιρικές συνθήκες κάθε χρονιάς.
- Το ύψος της παραγωγής έφτασε κατά μέσο όρο τους 12 τόνους ξηράς ουσίας και 15 τόνους χλωρής βιομάζας ανά εκτάριο και ανά έτος, χωρίς αυτό να σημαίνει ότι τον 5^ο χρόνο η καλλιέργεια απέδωσε το μέγιστο της παραγωγής.
- Η ποικιλία Kanlow είχε την μέγιστη απόδοση τον τελευταίο χρόνο με 14 τόνους ξηράς ουσίας και 19 τόνους χλωρής βιομάζας ανά εκτάριο και ανά έτος.
- Η καθυστέρηση της συγκομιδής και η μετάθεση της αργά τον χειμώνα μείωσε αισθητά την παραγωγή (κατά τον 3^ο χρόνο από 7,27 σε 5,61 τόνους ξηράς ουσίας ανά εκτάριο και ανά έτος).
- Επίσης θα πρέπει να σημειωθεί η πολλή χαμηλή παραγωγή κατά τον χρόνο της εγκατάστασης.

Σημαντική παράμετρος που ελέγχθηκε ήταν το πλάγιασμα, σε δύο στάδια ανάπτυξης, μετά την άνθιση και στα μέσα Οκτωβρίου. Όλες οι ποικιλίες ήταν επιρρεπείς, με το μικρότερο ποσοστό να το έχει η ποικιλία Kanlow η οποία τον Οκτώβριο σχεδόν μηδένισε το ποσοστό πλαγιάσματος, σε σχέση με αυτό που εμφάνιζε τον Αύγουστο, τόσο στα πειραματικά με λίπανση αζώτου, όσο και σε αυτά χωρίς (Christian D. G., Riche A. B. et al 2002).

6.2. ΒΟΡΕΙΑ ΕΥΡΩΠΗ

Τα ο 1998 ξεκίνησε τριετές πρόγραμμα αξιολόγησης του switchgrass στη βόρεια Ευρώπη, όπου μελετήθηκαν δύο τύποι δοκιμών: ο πρώτος είχε να κάνει στον έλεγχο στο φυτώριο περισσότερων των 15 ποικιλιών και ο δεύτερος είχε να κάνει με τον έλεγχο 5 ποικιλιών σε δύο ή τρία διαφορετικά επίπεδα λίπανσης (0, 75, και 150 kg N ha⁻¹). Οι περιοχές που επιλέχθηκαν ήταν: στις Κάτω Χώρες δύο (Wageningen και N.O. Polder) και από μία

περιοχή σε Γερμανία (Braunschweig) και Ηνωμένο Βασίλειο (Rothamsted). Τα γεωγραφικά δεδομένα, οι εδαφικές και κλιματικές συνθήκες των περιοχών αυτών, παρουσιάζονται στον πίνακα 9.

Πίνακας 9. Οι περιοχές πειραματισμού στη Β. Ευρώπη και κάποια στοιχεία που τις αφορούν. (Elbersen H.W, Christian D.G., et al, 2001)

	Wageningen	N.O. Polder	Rothamsted	Braunschweig
Γεωγ. Πλάτος	51°58´	52°38´	51°48´	52°18´
Μέση Θερ. Ιανουαρίου σε °C	1,8	1,4	3,1	0,4
Μέση Θερ. Ιουλίου σε °C	16,6	17,4	15,9	17,1
Βροχόπτωση σε mm	700	747	688	619
pH	5,2	7,5	7	6,5

Οι πέντε ποικιλίες που ελέγχθηκαν ως προς το επίπεδο παραγωγής και την αντίδραση στα διαφορετικά επίπεδα λίπανσης ήταν οι Blackwell, Carthage, Cave-in-Rock, Forestburg, Summer.

Τα επίπεδα παραγωγής ξηράς ουσίας που καταγράφηκαν, ήταν 2 τόνοι ξηράς ουσίας ανά εκτάριο το πρώτο έτος, 12 τόνοι το δεύτερο έτος και 18 τόνοι ανά εκτάριο το τρίτο έτος. Αυτό δείχνει:

- 1) Την πολύ μικρή παραγωγή του πρώτου χρόνου
- 2) Την απαίτηση σε χρόνο για να κορυφωθεί η παραγωγή

Πολύ καλά αποτελέσματα έδωσε η ποικιλία Carthage στις Κάτω Χώρες και στο Ηνωμένο Βασίλειο, αλλά έδωσε την χειρότερη παραγωγή στη Γερμανία. Γενικά, τα λιγότερο καλά αποτελέσματα έδωσαν όσες από τις βόρειες ποικιλίες ωρίμασαν πολύ νωρίς, αλλά και όσες από τις νότιες ποικιλίες δεν πρόλαβαν να ωριμάσουν (Elbersen H.W, Christian D.G., et al, 2001).

6.3. ΜΕΣΟΓΕΙΑΚΗ ΖΩΝΗ

Παράλληλα με την Β. Ευρώπη ξεκίνησε το ίδιο πείραμα, αλλά με άλλες ποικιλίες, μεγαλύτερου βιολογικού κύκλου, στην Ν. Ευρώπη και συγκεκριμένα στην περιοχή Trisaia της Ιταλίας και στην Αλίαρτο της Ελλάδας. Το ζητούμενο των πειραμάτων ήταν το ίδιο, δηλαδή ένας έλεγχος στο φυτώριο αρκετών ποικιλιών και ένας έλεγχος παραγωγικότητας 5 ποικιλιών σε τρία επίπεδα λίπανσης, 0, 75, και 150 kg N ha⁻¹. Στοιχεία των τοποθεσιών που ενδιαφέρουν παρουσιάζονται στον πίνακα 10.

Πίνακας 10. Γεωγραφικά και κλιματικά στοιχεία των περιοχών Trisaia και της Αλίαρτου, (Alexoroulou E., Sharma N., et al 2001, Piscioneri I., Pignatelli V. et al 2001, Sharma N., Piscioneri I., et al 2003).

	Trisaia	Αλίαρτο
Β. Γεωγ. Πλάτος	38 ⁰ 22'	40 ⁰ 09'
Υψόμετρο	114 m	30 m
Βροχ. Ύψος	400 mm	400 mm
Έδαφος	Πηλό-αμμώδες Χαμηλή Οργ. Ουσία	Πηλό-αμμώδες Χαμηλή Οργ. Ουσία

Οι ποικιλίες που δοκιμάστηκαν για την παραγωγή τους στην Ελλάδα ήταν οι: Alamo, Blackwell, Cave-in-Rock, Kanlow και Pangburn και στην Ιταλία οι: Alamo, Blackwell, Cave-in-Rock, Forestburg, Kanlow και τα πειραματικά τεμάχια (plot) ήταν 4 m² το καθένα και για κάθε ποικιλία (Alexoroulou E., Sharma N., et al 2001)

Στο φυτώριο δοκιμάστηκαν 10 ποικιλίες στην Ελλάδα (Caddo, Cathage, Cave-in-rock, Forestburg, Kanlow, SL 93-2, SL 93-3, SL 94-1, SU 94-1, Summer) ενώ στην Ιταλία δοκιμάστηκαν 15 ποικιλίες (Caddo, Cathage, Cave-in-rock, Kanlow, NU 94-2, Pangburn, SL 93-2, SL 93-3, SL 94-1, SU 94-1, Summer, Sunburst, Trailblazer, 9005439,9005438) και τα πειραματικά τεμάχια (plot) ήταν 2 m²

Η κοπή της βιομάζας γίνονταν μία φορά τον χρόνο, αμέσως μετά την πρώτη παγωνιά, ενώ χρειάστηκε να γίνει τον πρώτο χρόνο χημική ζιζανιοκτονία.

Τα αποτελέσματα που καταγράφηκαν στο φυτώριο, όσον αφορά το ύψος των φυτών τον πρώτο χρόνο, έδειξαν για την Ελλάδα έναν μέσο όρο 142,6 cm, σε αντίθεση με την Ιταλία, που ο μέσος όρος αντίστοιχα ήταν 91,5 cm, κάτι που αποδόθηκε από τους ερευνητές στο πιο γρήγορο φύτρωμα στην Ελλάδα. Η διαφορά αυτή συνεχίστηκε τον δεύτερο χρόνο αλλά με 30% αύξηση ύψους στην Ελλάδα και 64% στην Ιταλία. Τον τρίτο χρόνο το ύψος των φυτών μειώθηκε στην Ελλάδα κατά 14,2%, ενώ αυξήθηκε στην Ιταλία 15,5%. Τελικά στο τέλος του τρίτου χρόνου υπήρχε ένα εύρος τιμών ύψους από 153,3 έως 173,3 cm για την Αλίαρτο, ενώ το εύρος τιμών που καταγράφηκε στην Trisaia ήταν μεγαλύτερο και κυμάνθηκε από 140 έως 210 cm, (Piscioneri I., Pignatelli V. et al, 2001, Sharma N., Piscioneri I., et al, 2003). Το άνοιγμα του εύρους τιμών συνεχίστηκε και στον αριθμό αδερφιών τόσο ανά τετραγωνικό μέτρο επιφανείας, όσο και ανά φυτό, με αντίστοιχες τιμές για την Ελλάδα 1052 (ποικιλία Kanlow) έως 2075 (ποικιλία CIR) και 19,2 (ποικιλία SL 93-2) έως 30,3 (ποικιλία SU 94-1), ενώ για την Ιταλία οι τιμές ήταν 1034 (ποικιλία Sunburst) έως 2868 (ποικιλία Summer) για τον αριθμό αδερφιών ανά τ.μ. και 18,1 (ποικιλία NU 94-2) έως 59 (ποικιλία 9005439) για τον αριθμό αδερφιών ανά φυτό. Το ίδιο συνέβη και στην παραγωγή ξηράς ουσίας εκφρασμένη σε τόνους ανά εκτάριο (Alexoroulou E., Sharma N., et al, 2001).

Τα αποτελέσματα φαίνονται στους πίνακες 11 και 12.

Πίνακας 11. Χαρακτηριστικά ανάπτυξης (ύψος φυτών, αριθμός αδερφιών ανά m² και ανά φυτό) και παραγωγή ξηράς ουσίας (t/ha) 10 ποικιλιών switchgrass στη Trisaia της Ιταλίας τα έτη, 1998,1999 και 2000. (Alexoroulou E., Sharma N., et al,2001)

Ποικιλίες	Τελικό Ύψος σε cm			Αρ. Αδερφιών/m ²			Αρ. Αδερφιών/φυτό			Παραγωγή Ξ.Ο. (t/ha)		
	1 ^{ος}	2 ^{ος}	3 ^{ος}	1 ^{ος}	2 ^{ος}	3 ^{ος}	1 ^{ος}	2 ^{ος}	3 ^{ος}	1 ^{ος}	2 ^{ος}	3 ^{ος}
Caddo	90	140	140		1047	2068		16.9	33.3	2.31	7.59	10.10
Cathage	80	163	180		1020	1134		19.6	21.8	2.51	7.60	9.42
CIR	100	143	160		960	2268		18.5	43.6	2.53	7.11	11.37
Kanlow	100	133	190		1141	1067		25.9	24.2	1.36	4.71	15.30
NU 94-2	90	190	150		1080	1467		133	18.1	2.98	8.33	10.83
Pangburn	110	217	200		600	1668		14.6	40,7	2.42	8.50	11.91
SL 93-2	100	200	210		1080	1367		27.7	35.0	2.03	8.50	20.16
SL93-3	100	107	210		747	1401		16.2	30.4	2.05	14.62	26.08
SL94-1	100	117	210		867	1301		16.4	24.5	2.38	9.96	14.90
SU 94-1	90	130	160		627	2868		7.4	33.7	2.99	10.35	15.76
Summer	75	147	150		900	1234		16.1	22.0	1.31	6.28	7.79
Sunburst	75	147	160		540	1034		10.6	20.2	0.87	3.45	8.20
Trailblazer	80	143	170		1261	2468		24.7	48.3	2.84	5.78	10.67
9005439		133	150		1167	1534		44.8	59.0		1.71	5.63
9005438		147	160		1141	1134		24.2	27.0		2.59	7.28
M.O.	91.5	150.5	173.3		945	1601		16.1	32.1	2.19	7.14	12.36

Πίνακας 12. Χαρακτηριστικά ανάπτυξης (ύψος φυτών, αριθμός αδερφιών ανά m² και ανά φυτό) και παραγωγή ξηράς ουσίας (t/ha) 10 ποικιλιών switchgrass, στην Αλίαρτο της Ελλάδας τα έτη, 1998,1999 και 2000. (Alexoroulou E., Sharma N., et al,2001)

Ποικιλίες	Τελικό Ύψος σε cm			Αρ. Αδερφιών/m ²			Αρ. Αδερφιών/φυτό			Παραγωγή Ξ.Ο. (t/ha)		
	1 ^{ος}	2 ^{ος}	3 ^{ος}	1 ^{ος}	2 ^{ος}	3 ^{ος}	1 ^{ος}	2 ^{ος}	3 ^{ος}	1 ^{ος}	2 ^{ος}	3 ^{ος}
Caddo	153.3	187.7	166.7	1174	1402	1107	9.2	27.5	21.7	10.7	20.1	20.1
Cathage	155.0	190.0	153.3	1190	1761	1613	9.6	25.7	23.5	15.2	18.9	17.5
CIR	146.3	186.7	153.3	1067	1920	2075	9.1	23.5	25.4	11.8	15.8	17.9
Forestburg	143.3	190.0	156.7	1056	1132	1337	9.8	20.0	23.6	13.2	19.0	18.4
Kanlow	133.3	180.0	160.0	832	1145	1052	10.0	25.6	23.5	10.4	17.1	21.3
SL 93-2	140.0	180.0	156.7	1070	1700	1229	9.4	26.5	19.1	11.6	16.8	16.7
SL 93-3	143.3	186.7	150.0	1090	1936	1428	10.1	30.3	22.3	12.4	19.0	17.8
SL 94-1	138.3	190.0	173.3	1070	1104	1153	9.2	21.6	22.6	9.4	15.8	18.8
SU 94-1	130.0	180.0	153.3	1032	1434	1544	8.1	28.1	30.3	8.5	14.0	11.3
Summer	143.3	183.3	166.7	989	1028	1053	8.7	24.2	24.8	12.1	21.1	19.3
M.O.	142.6	185.4	159.0	1057	1456	1359	9.3	25.3	23.6	11.53	17.76	17.91

Στα πειράματα παραγωγικότητας σε τρία διαφορετικά επίπεδα αζώτου (N₁=0 kg ha⁻¹, N₂=75 kg ha⁻¹ και N₃=150 kg ha⁻¹), όσον αφορά το ύψος των φυτών στην Ελλάδα το εύρος τιμών ήταν για τον πρώτο χρόνο 142 cm (CIR, Cave In Rock) έως 179 cm (Kanlow), 157 cm

(CIR N₁) έως 210 cm (Kanlow N₃) για τον δεύτερο χρόνο και 143 cm (Blackwell N₁) έως 213 cm. (Pangburn N₃) για τον τρίτο χρόνο. Για την Ιταλία το εύρος τιμών αντίστοιχα ήταν 50 cm (Forestburg N₂ and N₃) έως 105 cm (Alamo N₁ and N₂), 103 cm (Forestburg N₃) έως 187 cm (Alamo N₃, Kanlow N₂ and N₃) και 110 cm (Forestburg N₃) έως 200 cm (Alamo N₂ and Kanlow N₂). Το τελικό ύψος των φυτών στην Ελλάδα το πρώτο χρόνο ήταν πολύ μεγαλύτερο στην Ελλάδα, τον δεύτερο χρόνο αυξήθηκε 228% έναντι 87% στην Ιταλία, ενώ τον τρίτο χρόνο μειώθηκε κατά 5% στην Ελλάδα έναντι αύξησης 11% στην Ιταλία (Alexoroulou E., Sharma N., et al, 2001). Στον αριθμό αδερφιών ανά τετραγωνικό μέτρο στο τέλος του τρίτου χρόνου το εύρος των τιμών για την Ελλάδα ήταν 780 (Pangburn N₁) έως 2534 (Blackwell N₃), στην Ιταλία αντίστοιχα ήταν 734 (CIR N₂) έως 1901 (CIR N₁), ενώ για τον αριθμό αδερφιών ανά φυτό ο μέσος όρος στην Ελλάδα ήταν 17 και στην Ιταλία 15. Όσον αφορά την παραγωγή ξηράς ουσίας στην Ελλάδα, τον πρώτο χρόνο κυμάνθηκε από 6.8 t/ha (CIR) έως 12.3 t/ha (Alamo), τον δεύτερο χρόνο από 11 t/ha (CIR N₁) έως 25 t/ha (Pangburn N₃), ενώ τον τρίτο χρόνο από 11.4 t/ha (CIR N₁) έως 18.1 t/ha (Pangburn N₃). Οι αντίστοιχες τιμές για την Ιταλία ήταν 0.64 t/ha (Forestburg N₁) έως 5.33 t/ha (Alamo N₃), 4.09 t/ha (Forestburg N₃) έως 16.11 t/ha (Alamo N₂), και 6.36 t/ha (Forestburg N₁) έως 18.67 t/ha (Alamo N₂). Οι πιο παραγωγικοί γενότυποι ήταν η Alamo για την Ιταλία και η Pangburn για την Ελλάδα, ενώ οι λιγότερο παραγωγικοί ήταν αντίστοιχα οι Forestburg (6.6 t/ha) και Kanlow (14.3 t/ha).

Στους πίνακες 13 και 14 καθώς και στα διαγράμματα 6 και 7 εμφανίζονται όλα τα αποτελέσματα των πειραμάτων τόσο στην περιοχή της Ιταλίας όσο και στην περιοχή της Ελλάδας.

Πίνακας 13. Χαρακτηριστικά ανάπτυξης (ύψος φυτών, αριθμός αδερφιών ανά m² και ανά φυτό) και παραγωγή ξηράς ουσίας (t/ha) 5 ποικιλιών switchgrass στην Αλίαρτο της Ελλάδας τα έτη, 1998,1999 και 2000. (Alexoroulou E., Sharma N., et al,2001)

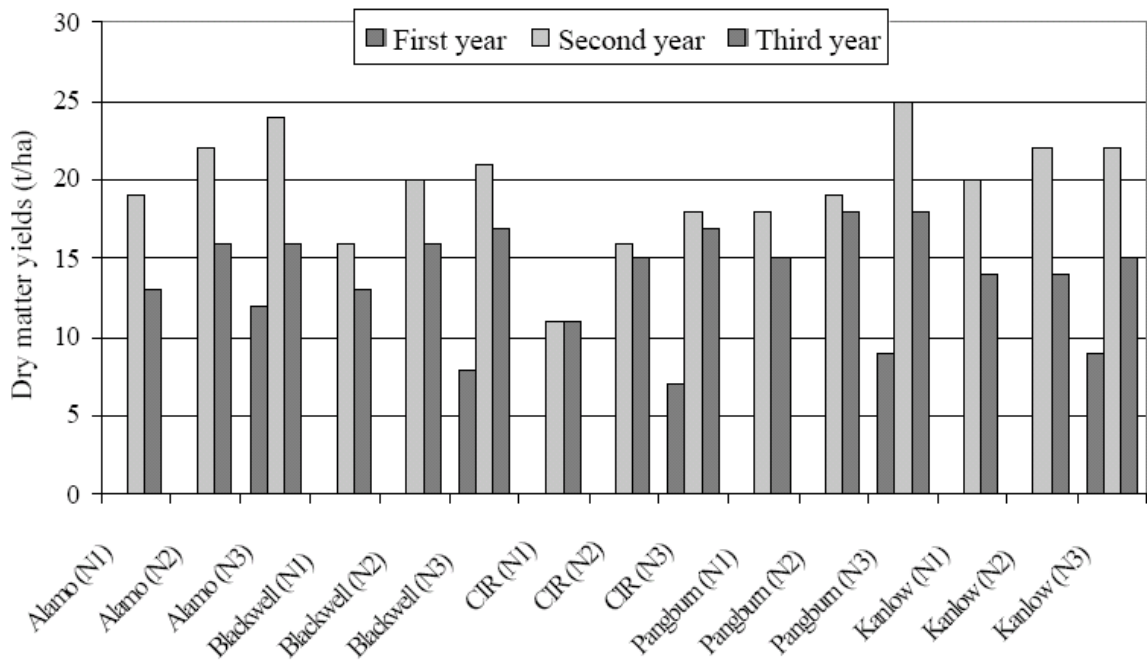
Ποικιλίες	Τελικό Ύψος σε cm			Αρ. Αδερφιών/m ²			Αρ. Αδερφιών/φυτό			Παραγωγή Ξ.Ο. (t/ha)		
	1 ^{ος}	2 ^{ος}	3 ^{ος}	1 ^{ος}	2 ^{ος}	3 ^{ος}	1 ^{ος}	2 ^{ος}	3 ^{ος}	1 ^{ος}	2 ^{ος}	3 ^{ος}
Alamo	160.5	192,2	164.4	922	1190	1068	10.0	14.7	16.0	12.27	23.64	15.96
Blackwell	145.5	170.0	148.9	1016	1707	2252	11.4	14.2	20.3	8.22	19.00	15.14
CIR	142.2	166.7	155.5	1001	1374	1546	9.9	14.2	17.0	6.77	14.87	14.33
Kanlow	175.1	201.1	186.7	786	937	920	9.5	10.5	15.0	8.71	20.91	16.87
Pangburn	178.8	206.70	182.2	878	1002	1019	9.1	11.9	16.0	8.81	21.55	15.08
0 kg N/ha*	-	191.7	160.7	-	-	1280	-	-	15.2	-	19.46	13.88
75 kg N/ha*	-	187.3	164.7	-	-	1271	-	-	17.2	-	19.02	15.52
150 kg N/ha	-	183.0	177.3	-	-	1530	-	-	18.2	-	21.52	17.03
M.O.	160.4	187.3	167.5	880	1242	1360	9.9	10.3	16.9	8.95	19.99	15.48

*Μέσοι Όροι όλων των ποικιλιών σε τρία επίπεδα λίπανσης ανά έτος δοκιμών.

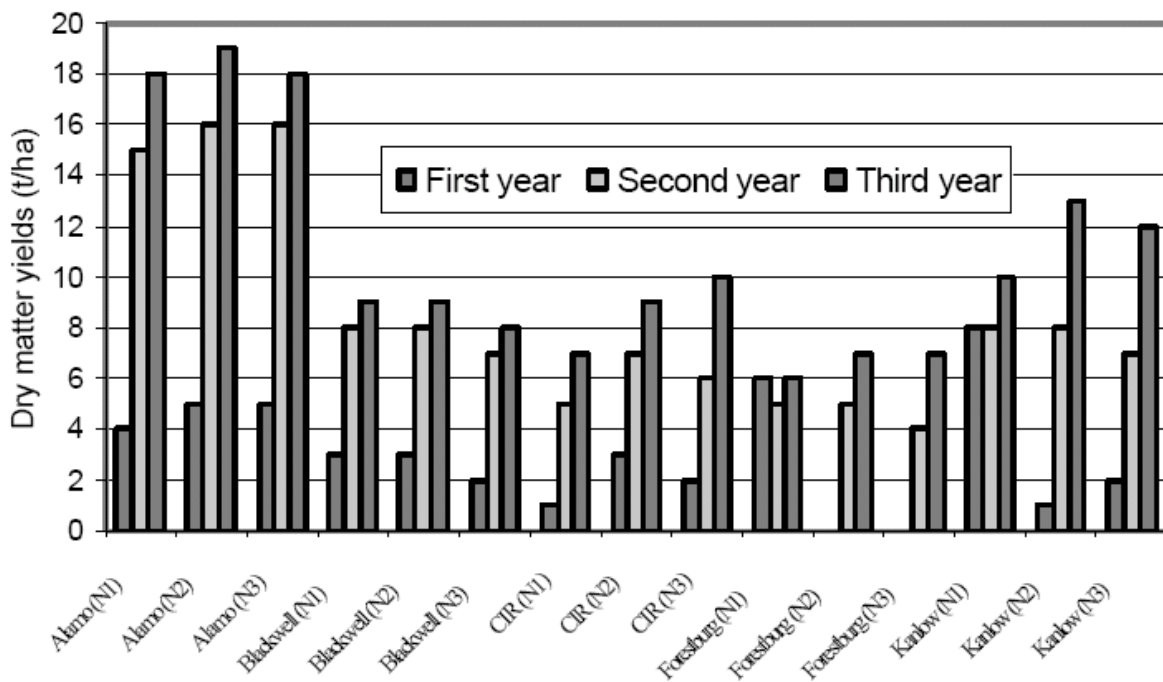
Πίνακας 14. Χαρακτηριστικά ανάπτυξης (ύψος φυτών, αριθμός αδερφιών ανά m² και ανά φυτό) και παραγωγή ξηράς ουσίας (t/ha) 5 ποικιλιών switchgrass στη Trisaia της Ιταλίας τα έτη, 1998,1999 και 2000. (Alexoroulou E., Sharma N., et al,2001, Piscioneri I., Pignatelli V. et al, 2001, Sharma N., Piscioneri I. et al, 2003).

Ποικιλίες	Τελικό Ύψος σε cm			Αρ. Αδερφιών/m ²			Αρ. Αδερφιών/φυτό			Παραγωγή Ξ.Ο. (t/ha)		
	1 ^{ος}	2 ^{ος}	3 ^{ος}	1 ^{ος}	2 ^{ος}	3 ^{ος}	1 ^{ος}	2 ^{ος}	3 ^{ος}	1 ^{ος}	2 ^{ος}	3 ^{ος}
Alamo	100.	179.0	190.0		1472	1179	10.1	12.3	4.83	15.46	17.96	
Blackwell	78.3	122.0	136.7		765	1423	7.6	14.7	2.61	7.75	8.86	
CIR	74.3	124.6	163.3		1005	1245	7.5	12.3	2.03	6.13	8.52	
Forestburg	60.0	112.3	140.0		960	1467	11.5	26.7	0.64	4.59	6.63	
Kanlow	82.7	182.3	186.7		765	1134	9.7	14.7	1.49	7.86	11.69	
0 kg N/ha*		148.4	174.0		1185	1387	11.4	13.8		8.16	9.95	
75 kg N/ha*		145.6	168.0		904	1201	11.6	15.2		8.96	11.16	
150 kg N/ha*		146.8	148.0		891	1281	9.6	17.4		7.96	11.09	
M.O.	79.1	146.9	163.3		993	1289	10.9	15.5	2.32	8.36	10.73	

*Μέσοι Όροι όλων των ποικιλιών σε τρία επίπεδα λίπανσης ανά έτος δοκιμών.



Διάγραμμα 6. Οι αποδόσεις των 5 ποικιλιών στα τρία επίπεδα λίπανσης, τα έτη 1998, 1999, 2000 στην Αλίαρτο. (Alexoroulou E., Sharma N., et al,2001)



Διάγραμμα 7. Οι αποδόσεις των 5 ποικιλιών στα τρία επίπεδα λίπανσης, τα έτη 1998, 1999, 2000 στην Trisaia. (Alexoroulou E., Sharma N., et al,2001).

Σαν συμπεράσματα στις δοκιμές φυτωρίου καταγράφονται η μεγαλύτερη παραγωγή ξηράς ουσίας στην Ελλάδα και το πιο γρήγορο ανέβασμα της παραγωγής χρόνο με τον χρόνο. Ταυτόχρονα οι κορυφαίες παραγωγές στις δύο χώρες προήλθαν από διαφορετικές ποικιλίες, μολονότι οι δύο περιοχές παρουσίαζαν πολλές ομοιότητες. (Alexoroulou E., Sharma N., et al 2001, Piscioneri I., Pignatelli V. et al 2001, Sharma N., Piscioneri I., et al 2003).

Στις δοκιμές παραγωγικότητας σε τρία διαφορετικά επίπεδα αζωτούχου λίπανσης, στην Ελλάδα παρατηρήθηκε μια στατιστικά σημαντική θετική συσχέτιση των αποδόσεων, με την αύξηση της λίπανσης με N, κάτι που δεν παρατηρήθηκε στην Ιταλία (Alexoroulou E., Sharma N., et al 2001, Piscioneri I., Pignatelli V. et al 2001, Sharma N., Piscioneri I., et al 2003).

Αξίζει βέβαια εδώ να γίνει μία παρατήρηση: την τρίτη χρονιά εμφανίσθηκε σοβαρή μείωση της παραγωγής σε όλες τις ποικιλίες (14% κατά μέσο όρο), γεγονός που δεν έχει αναφερθεί σε κανένα άλλο ερευνητικό πρόγραμμα και από τις δύο πλευρές του Ατλαντικού. Αυτό μάλλον έχει να κάνει με την πολύ γρήγορη κορύφωση της παραγωγής.

7. ΕΝΕΡΓΕΙΑΚΗ ΧΡΗΣΗ ΤΟΥ SWITCHGRASS

7.1. ΕΝΕΡΓΕΙΑΚΗ ΧΡΗΣΗ ΤΗΣ ΒΙΟΜΑΖΑΣ

Όπως προαναφέρθηκε, η βιομάζα μπορεί να μετατραπεί σε ενέργεια με θερμοχημική μετατροπή (απευθείας καύση, πυρόλυση και αεριοποίηση), ή με ζύμωση των περιεχομένων υδρογονανθράκων και την παραγωγή μεθανίου και βιοαιθανόλης (McKendry P., 2002, Hamelinck C.N., Hooijdonk van G., 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 είναι που καθορίζουν τελικά την καταλληλότητα και το είδος της χρήσης της παραγόμενης βιομάζας. (McLaughlin S., Samson B. R., et al 1996)

7.1.1 ΠΑΡΑΓΩΓΗ ΒΙΟΑΙΘΑΝΟΛΗΣ

Η βιομηχανία παραγωγής βιοαιθανόλης χρησιμοποιεί δύο ειδών πρώτες ύλες για την παραγωγή βιοαιθανόλης: την παραγωγή από χλωρή βιομάζα πλούσια σε άμυλο ή ζάχαρα όπως το καλαμπόκι ή το γλυκό σόργο και την παραγωγή από βιομάζα προερχόμενη είτε από υπολείμματα καλλιεργειών είτε από φυτά καλλιεργούμενα για τον σκοπό αυτό, χρησιμοποιώντας την κυτταρίνη, την ημικυτταρίνη και την λιγνίνη. Η παραγωγή αιθανόλης από κυτταρινούχα υποστρώματα με την βοήθεια διαφόρων τεχνολογιών ενζυματικής υδρόλυσης, κατά τις οποίες πολυσακχαρίτες διασπώνται σε μονοσακχαρίτες (γλυκόζη, φρουκτόζη) είναι μια διαδικασία που συνεχώς βελτιώνεται. Οι μονοσακχαρίτες αποτελούν την πρώτη ύλη για την παραγωγή αιθανόλης (Dien B. S., Jung H G., et al 2006).

Το 80% του ξηρού βάρους των ποωδών ενεργειακών φυτών αποτελείται από κυτταρίνη (30%-50%), από ημικυτταρίνη (πολυσακχαρίτες των κυτταρικών τοιχωμάτων σε ποσοστό 10%-40%) και από λιγνίνη (5%-20%) από τα οποία με ενζυματική υδρόλυση εκμεταλλεύσιμα είναι μόνο η κυτταρίνη και η ημι-κυτταρίνη, ενώ η τεχνολογία ενεργειακής εκμετάλλευσης της λιγνίνης διαρκώς βελτιώνεται, προσπάθεια ιδιαίτερως σημαντική, αφού έχει μεγάλο ενεργειακό δυναμικό (26.1 GJt^{-1}) που πλησιάζει αυτή του κάρβουνου (McLaughlin S. B. and Walsh M. E 1998).

Αναλύσεις που έγιναν από το National Renewable Laboratory (NREL) των ΗΠΑ, έδειξαν ότι το switchgrass είναι πολύ κατάλληλο υπόστρωμα για παραγωγή αιθανόλης και με υψηλή παραγωγικότητα που αναφέρεται στα 280 lt^{-1} (McLaughlin S.B., Samson B.R., et al 1996), ενώ νεότερες αναφορές την ανεβάζουν στα 329 lt^{-1} (Varvel G.E., Vogel K.P., et al 2007).

Το καθαρό ενεργειακό κέρδος υπό μορφή αιθανόλης, προερχόμενη από καλλιέργεια switchgrass, έχει βρεθεί ότι είναι 55% υψηλότερο από αυτήν που παράγεται από καλαμπόκι, την κύρια καλλιέργεια που χρησιμοποιείται αυτή την στιγμή στις ΗΠΑ για την παραγωγή αιθανόλης (McLaughlin S. B. και Walsh M. E 1998).

7.1.2. ΚΑΥΣΗ

Το ενεργειακό περιεχόμενο των switchgrass είναι συγκρίσιμο με αυτό του ξύλου, με σημαντικά χαμηλότερη αρχική περιεκτικότητα σε υγρασία. Τρία είναι τα βασικά χαρακτηριστικά που καθορίζουν την καταλληλότητα των ενεργειακών καλλιεργειών για καύση ή αεριοποίηση : το συνολικό περιεχόμενο ενέργειας, η περιεκτικότητα σε υγρασία και η χημική σύνθεση της στάχτης που παράγεται στην καύση (McLaughlin S., Samson B. R., et al, 1996).

Το συνολικό περιεχόμενο ενέργειας, καθορίζει την μέγιστη ποσότητα θερμότητας που μπορεί να παραχθεί και τελικά, την ποσότητα ηλεκτρικής ενέργειας που μπορεί να δημιουργηθεί από την καύση. Για το switchgrass το περιεχόμενο ενέργειας, αναφέρεται ως 16,4 GJt⁻¹ D.M. στην Iowa των ΗΠΑ σε βόρειο γεωγραφικό πλάτος όμοιο με την Ελλάδα (Lemus R., Brummer E C., et al, 2002), 17,4 GJt⁻¹ D.M σε περιοχές του Καναδά (Madakadze I.C., Stewart K., et al, 1998) και 18,4 GJt⁻¹ D.M. σε πειράματα στην Αλαμπάμα των ΗΠΑ (McLaughlin S., Samson B. R., et al, 1996).

Το περιεχόμενο υγρασίας κατά την συγκομιδή επηρεάζει το κόστος μεταφοράς και διαχείρισης καθώς και το ανακτήσιμο επίπεδο ενέργειας. Το switchgrass συνήθως συγκομίζεται σε μεγάλες μπάλες με περιεχόμενη υγρασία 13%-15%. Αυτό το ποσοστό της υγρασίας υποβιβάζει το ενεργειακό επίπεδο του switchgrass σε λιγότερο από 18 GJt⁻¹.

Η περιεκτικότητα της βιομάζας του switchgrass, όπως και βιομάζας που προέρχεται από άλλες καλλιέργειες, σε νάτριο, κάλιο, ασβέστιο, χλώριο και μαγνήσιο, επιδρά στην θερμική επεξεργασία, επηρεάζοντας την θερμοκρασία καύσης, την περιεκτικότητα σε στάχτη και την διάβρωση των χώρων καύσης (Fahmi R., Bridgwater A.V., et al, 2007). Το κύριο χαρακτηριστικό της στάχτης που προάγει την διάβρωση είναι το αλκαλικό περιεχόμενο και η παρουσία πυριτικών αλάτων. Αυτά τα συστατικά χαμηλώνουν το σημείο τήξης της στάχτης με αποτέλεσμα να προσκολλάται στα εσωτερικά τοιχώματα του καυστήρα.

Όσον αφορά το ποσοστό της στάχτης, αυτό αναφέρεται 4,5% (McLaughlin S., Samson B. R., et al 1996), καθώς και 6% σε πείραμα 20 διαφορετικών ποικιλιών με τις πιο αποδοτικές, Alamo με και Kanalow να έχουν το μικρότερο ποσοστό 5,2% και 5,4% αντίστοιχα (Lemus R., Brummer E C., et al, 2002). Υπάρχουν αναφορές για ποσοστό στάχτης κάτω και του 2,5% (Samson R. and Mehdi B, 1998) με ιδιαίτερες μεταχειρίσεις τόσο κατά την επιλογή εδάφους (αμμώδη), ποικιλίας (Alamo), εποχή συγκομιδής (πολύ αργά τον χειμώνα). Στον πίνακα 15 φαίνεται ο μέσος όρος 20 ποικιλιών switchgrass που

συγκομίσθηκαν τα έτη 1998, 1999, και 2000 στην Iowa των ΗΠΑ, ως προς το περιεχόμενο της κυτταρίνης, ημικυτταρίνης, αζώτου και στάχτης.

Πίνακας 15. Μέσος όρος ημι-κυτταρίνης κυτταρίνης, αζώτου και στάχτης 20 ποικιλιών switchgrass που συγκομίσθηκαν τα έτη 1998, 1999, και 2000 στην Iowa των ΗΠΑ (σε gr kg⁻¹)

ΠΟΙΚΙΛΙΑ	ΗΜΙΚΥΤΤ.	ΚΥΤΤΑΡΙΝΗ	N	ΣΤΑΧΤΗ
Alamo	328	381	4.9	52
Blackwell	319	375	5.1	62
Cave-In-Rock	320	378	5.1	60
Caddo	318	371	5.5	61
Carthage	319	365	5.5	64
Forestburg	326	366	5.7	67
HDMDC3	322	364	5.7	70
HYLDC3	319	364	5.7	62
IAGT	307	364	5.1	63
IALM	311	367	4.8	63
Kanlow	328	385	4.6	54
NL932	327	369	5.1	61
NU942	335	364	5.4	62
Pathfinder	324	371	5.4	63
SU92ISO	319	375	5.4	66
SU94	320	369	6.2	59
Shawnee	311	372	5.5	60
Shelter	314	372	5.1	66
Sunburst	323	371	5.5	65
Trailblazer	325	368	5.9	64
ΜΕΣΟΣ ΟΡΟΣ	321	371	5.4	62

Μία μορφή στην οποία μετατρέπεται η βιομάζα του switchgrass για απευθείας καύση σε βιομηχανική, αλλά και σε μικρότερη κλίμακα, ακόμα και οικιακή, είναι αυτή των pellets (πέλλετς). Κατά την διαδικασία μετατροπής, η συγκομισμένη βιομάζα μεταφέρεται σε ειδική βιομηχανική εγκατάσταση και εκεί με διάφορες τεχνικές οι οποίες περιλαμβάνουν οπωσδήποτε πίεση, δημιουργούνται συσσωματώματα μεγάλης πυκνότητας (περισσότερο από 600 kg m⁻³) χαμηλής υγρασίας (λιγότερο από 8%) διαμέτρου συνήθως 6-8 mm και μήκους

12-15 mm (Mani S., Tabil L. G., et al 2006). Μετατρέπεται με τον τρόπο αυτό η βιομάζα σε μορφή που ευκολότερα μπορεί να μεταφερθεί, να αποθηκευτεί και γενικά να διαχειριστεί κατά την διαδικασία της καύσης της.

Οι πελλέτες από switchgrass παρουσιάζουν ποσοστό στάχτης από 2,5 έως 4% (McLaughlin S., Samson B. R., et al, 1996, Lemus R., Brummer E C., et al, 2002) με το χαμηλότερο ποσοστό να προέρχεται από βιομάζα που συγκομίσθηκε σε ελαφριά εδάφη.

8. ΕΝΕΡΓΕΙΑΚΟ ΙΣΟΖΥΓΙΟ ΤΟΥ SWITCHGRASS

Μία σημαντική παράμετρος όλων των ενεργειακών καλλιεργειών, είναι η καθαρή ενέργεια που παράγεται. Ελέγχεται δηλαδή η ικανότητα τους να αντισταθμίσουν την ενέργεια που καταναλώνεται σε όλα τα στάδια της παραγωγής τους και να αποδώσουν τελικά θετικό ενεργειακό ισοζύγιο.

Ασφαλώς το καλλιεργητικό σύστημα που ακολουθείται, το είδος της καλλιέργειας, η χρήση της παραγόμενης βιομάζας είναι παράγοντες που επηρεάζουν αυτή την ενεργειακή απόδοση.

Πίνακας 16. Καθαρό ενεργειακό κέρδος (GJ/ha^{-1}) σε ενεργειακές καλλιέργειες υψηλών εισροών και αναμενόμενες υψηλές αποδόσεις (P. Venturi και G. Venturi, 2003).

ΚΑΛΛΙΕΡΓΕΙΑ	ΑΠΟΔΟΣΗ tha^{-1} D.M.	ΘΕΡΜΙΚΗ ΑΞΙΑ GJ/t^{-1}	ΣΥΝΟΛΟ ΕΚΡΟΩΝ GJ/ha^{-1}	ΕΙΣΡΟΕΣ GJ/ha^{-1}	ΑΝΑΛΟΓΙΑ (εκρ/εισρ)	ΚΑΘΑΡΟ ΕΝΕΡΓΕΙΑΚΟ ΚΕΡΔΟΣ GJ/ha^{-1}
Ινώδες σόργο	30	16,9	507	25	20,3	482
Καλάμι	35	17,3	605,5	22	27,5	583,5
Μίσχανθος	30	17,7	531	22	24,1	509
Αγριαγκινάρα	15	16,8	252	22	11,5	230
Switchgrass	25	17,4	435	22	19,8	413

Στον πίνακα 16 γίνεται ένας υπολογισμός του ενεργειακού ισοζυγίου μερικών ενεργειακών καλλιεργειών με βάση: τις αναμενόμενες αποδόσεις στη χώρα μας, την θερμική αξία της παραγόμενης βιομάζας, σε καλλιεργητικό σύστημα μέγιστων εισροών, το οποίο για τις ετήσιες καλλιέργειες έχει υπολογισθεί 25 GJ/ha^{-1} και για τις πολυετείς 22 GJ/ha^{-1} (P. Venturi και G. Venturi, 2003).

Ενδιαφέρον παρουσιάζει η σύγκριση μεταξύ καλαμποκιού και switchgrass που επιχειρούν οι McLaughlin S. B. και Walsh M. E. (1998), της ενεργειακής ροής (εισροών-εκροών) κατά την παραγωγή βιοιθανόλης και παρουσιάζεται στον πίνακα 17.

Πίνακας 17. Συγκριτική ενεργειακή ροή στην παραγωγή της αιθανόλης από το switchgrass και το καλαμπόκι (McLaughlin S. B. και Walsh M. E., 1998)

ΔΙΑΔΙΚΑΣΙΑ	ΚΑΛΑΜΠΟΚΙ GJ ha ⁻¹ year ⁻¹	SWITCHGRASS GJ ha ⁻¹ year ⁻¹
ΕΚΡΟΕΣ ΠΑΡΑΓΩΓΗΣ	18,9	17,8
ΕΝΕΡΓΕΙΑ ΒΙΟΜΑΖΑΣ ^a	149,5	220,2
ΑΝΑΛΟΓΙΑ (εκρ. /εισρ.)	7,9	12,3
ΕΚΡΟΕΣ ΠΑΡΑΓΩΓΗΣ ΑΙΘΑΝΟΛΗΣ ^b	47,9	10,2
ΠΑΡΑΓΟΜΕΝΗ ΕΝΕΡΓΕΙΑ ΑΙΘΑΝΟΛΗΣ ^c	67,1 ^d	104,4 ^e
ΟΛΙΚΗ ΑΝΑΛΟΓΙΑ ΕΝΕΡΓΕΙΑΣ (εκρ. /εισρ.)	1,21	4,43
ΚΑΘΑΡΟ ΕΝΕΡΓΕΙΑΚΟ ΚΕΡΔΟΣ	21%	343%

a Υπολογίσθηκε απόδοση 13,5 tha⁻¹ για το switchgrass και 301 Bu (7.6t)ha⁻¹ για το καλαμπόκι το οποίο έχει 18,9 GJha⁻¹ ενέργεια στις ίνες που δεν προσμετράται.

b Η ενέργεια που απαιτείται για παραγωγή ίσης ποσότητας αιθανόλης

c Η παραγωγή αιθανόλης είναι 2963 lha⁻¹ για το καλαμπόκι και 4487 lha⁻¹ για το switchgrass, η ενέργεια αιθανόλης 23,3 kJ l⁻¹ με απόδοση αιθανόλης 386 lt⁻¹ για το καλαμπόκι και 333 lt⁻¹ για το switchgrass.

d Περιλαμβάνει εκροές 18,9+67,1(GJha⁻¹) και εισροές 47,9 +14,2(GJha⁻¹) όπου 14,2(GJha⁻¹) για το υποπροϊόν της παραγωγής αιθανόλης

e Περιλαμβάνει εκροές 17,8+104,4(GJha⁻¹) και εισροές 10,2 +19,8 (GJha⁻¹) όπου 19,8(GJha⁻¹) για την καύση της λιγνίνης του switchgrass

Το κέρδος της επιστροφής καθαρής ενέργειας από την παραγωγή πολυετών καλλιεργειών, άρα και του switchgrass, προκύπτουν από μειωμένες επενδύσεις ενέργειας σε όλα τα βήματα παραγωγής και μετατροπής της καλλιέργειας, που οδηγούν στον σχηματισμό αιθανόλης. Αυτό περιλαμβάνει μειωμένη ενέργεια που απαιτείται για γεωργική παραγωγή, αυξημένη ενέργεια στην βιομάζα που παράγεται και μειωμένη ενέργεια για να μετατραπεί η βιομάζα σε αιθανόλη. Με βάση λοιπόν αυτά, 55% περισσότερη ενέργεια αιθανόλης μπορεί να παραχθεί ανά εκτάριο καλλιεργώντας switchgrass από ότι μια ετήσια καλλιέργεια σαν το καλαμπόκι (McLaughlin S. B. και Walsh M. E., 1998).

9. ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝΤΙΚΟ ΟΦΕΛΟΣ ΤΗΣ ΚΑΛΛΙΕΡΓΕΙΑΣ

Η βελτίωση της εδαφικής ποιότητας κατά την καλλιέργεια του switchgrass είναι ένα γεγονός που υποστηρίζουν πρόσφατες εδαφολογικές μελέτες τους Bioenergy Feedstock Development Programs (BFDP) των ΗΠΑ, ενώ ταυτόχρονα παρατηρήθηκε μία αύξηση της ποσότητας και βελτίωση της ποιότητας της οργανικής ουσίας του εδάφους (SOM, Soil Organic Matter) μετά από μόνο τέσσερα χρόνια καλλιέργειας στην Virginia, γεγονότα που αποδίδονται στο πλούσιο ριζικό σύστημα της καλλιέργειας (McLaughlin S., Samson B. R, et al, 1996).

Μελέτες στο Auburn University των ΗΠΑ, που αφορούσαν την παραγωγή φυτικής μάζας από το ριζικό σύστημα των φυτών switchgrass, έδειξαν ότι παρήχθησαν 8 tha^{-1} ξηράς ουσίας στα πρώτα 75 cm εδάφους, ενώ συγκεκριμένα για την ποικιλία Alamo στα πρώτα 15 cm παρήχθησαν 4 tha^{-1} (Lee D.K., Doolittle J.J. et al, (2007).

Το έδαφος σε κάθε περίπτωση δεσμεύει μεγάλη ποσότητα από CO₂ και σύμφωνα με υπολογισμούς είναι 10 φορές περισσότερη από αυτήν που ελευθερώνεται από την καύση των ορυκτών καυσίμων (Raich J.W.and Tufekcioglu A., 2000). Άρα 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 W.H. and Andrews J.A., 2000). Παράλληλα, όλες οι καλλιεργητικές πρακτικές επηρεάζουν την εν λόγω ικανότητα του εδάφους, αφού επηρεάζουν χαρακτηριστικά του όπως θερμοκρασία, υγρασία, τον λόγο C/N ή την μικροβιακή δραστηριότητα (Frank A.B., Liebig M.A., et al 2002).

Η αζωτούχος λίπανση που προστέθηκε για την παραγωγή βιομάζας από switchgrass βρέθηκε ότι δεν επηρέασε την ικανότητα του εδάφους για δέσμευση ούτε αύξησε τις εκπομπές CO₂ προς την ατμόσφαιρα (Frank A.B., Liebig M.A., et al 2002).

Σε μελέτη που έγινε για την περιεκτικότητα του εδάφους σε οργανικό άνθρακα, μεταξύ καλλιέργειας switchgrass και ποικίλων εδαφών όπου καλλιεργούνταν διάφορα είδη για χρήσεις παραδοσιακές, βρέθηκε ότι η περιεκτικότητα του εδάφους με καλλιέργεια switchgrass, περιείχε μεγαλύτερη ποσότητα οργανικού άνθρακα, ιδιαίτερα στα βάθη 60-90cm και 90-120cm, με διαφορά που έφτανε τα 7.74 και 4.35 tha^{-1} (Liebig M.A., Johnson H.A, et al 2005). Στο ίδιο αποτέλεσμα κατέληξαν και άλλοι ερευνητές, οι οποίοι βρήκαν την μέγιστη διαφορά, (1.01 $\text{kg C m}^{-2} \text{yr}^{-1}$) μεταξύ 60-90cm (Frank A.B., Berdahl J.D., et al 2004). Στον πίνακα 18 φαίνεται το βάρος 8 ποικιλιών switchgrass σε διάφορα βάθη εδάφους.

Πίνακας 18. Βάρος των ριζών 8 ποικιλιών switchgrass σε διάφορα βάθη εδάφους σε kg DM ha^{-1} (Bransby D. I., McLaughlin S. B et al, 1998)

ΠΟΙΚΙΛΙΑ	ΒΑΘΟΣ ΕΔΑΦΟΥΣ ΣΕ cm					
	0-15	15-30	30-45	45-60	60-75	ΣΥΝΟΛΟ
Alamo	4171	1 195	704	504	1113	7687
Blackwell	5126	1362	492	322	318	7620
Cave-in-Rock	3705	974	616	492	455	6242
Kanlow	3214	1390	335	694	654	6787
Kansas	3269	1291	426	387	500	5873
Pathfinder	7144	1379	626	605	641	9797
Summer	4499	1344	746	615	373	7577
Trailblazer	3252	1016	615	520	744	6147

Άλλες σημαντικές επιδράσεις της καλλιέργειας έχουν να κάνουν με την ρύπανση από νιτρικά και την προφύλαξη από διάβρωση. Σε πείραμα στο Κάνσας των ΗΠΑ το switchgrass μείωσε την διάβρωση κατά 98% και την επιφανειακή απορροή των νιτρικών (NO_3^-) κατά 38%, σε σχέση με παραδοσιακές καλλιέργειες και βελτίωσε σημαντικά την ποιότητα των υπόγειων υδάτων (Nelson R. G., Ascough J. C. et al 2006).

10. ΟΙΚΟΝΟΜΙΚΗ ΠΡΟΣΕΓΓΙΣΗ ΤΟΥ SWITCHGRASS

10.1. ΟΙΚΟΝΟΜΙΚΗ ΑΝΑΛΥΣΗ ΤΗΣ ΚΑΛΛΙΕΡΓΕΙΑΣ

Η καλλιέργεια του switchgrass στην Ευρώπη, άρχισε να μελετάται πρόσφατα ενώ στις ΗΠΑ εξετάζεται ως ενεργειακή καλλιέργεια μόλις τα τελευταία 10-15 χρόνια.

Κάποιες μελέτες στην Β. Αμερική δείχνουν ότι η καλλιέργεια του switchgrass, έχει το μικρότερο κόστος ανά τόνο παραγόμενης ξηρής βιομάζας, σε σύγκριση τόσο με ετήσιες όσο και με πολυετείς ενεργειακές καλλιέργειες (Downing M. and Graham R.L, 1996, Hanegraaf M.C., Biewinga E.E. et al 1998, Hallam A., Anderson I.C. et al, 2001). Σε πρόσφατη μελέτη οι McLaughlin και Kszos (2005), αναφέρουν ότι με τιμή παραγωγού 44\$ ανά τόνο ξηρής βιομάζας η καλλιέργεια θα μπορούσε να ήταν πιο αποδοτική σε ένα σύνολο έκτασης 13 εκατομμυρίων εκταρίων καλλιεργούμενων με παραδοσιακές καλλιέργειες, στις ΗΠΑ. Η μελέτη αυτή δημιουργεί θετικές προσδοκίες για την καλλιέργεια, δεδομένου ότι άλλες μελέτες αναφέρουν τιμή παραγωγού 56\$ ανά τόνο ξηρής βιομάζας (Hallam A., Anderson I.C. et al, 2001).

Εξετάζοντας την οικονομικότητα μιας καλλιέργειας, είναι εύκολα αντιληπτό ότι πολλοί παράγοντες την επηρεάζουν, τόσο ο καθένας ξεχωριστά όσο και αλληλεπιδρώντας μεταξύ τους. Ξεχωρίζοντας κάποιους από αυτούς τους παράγοντες, με βάση την σημαντικότητα της επίδρασης τους στο οικονομικό αποτέλεσμα, μπορούμε να πούμε ότι κύριο ρόλο έχουν:

- Το κόστος εγκατάστασης το οποίο διαφέρει σημαντικά από περιοχή σε περιοχή και εξαρτάται τόσο από την τιμή του σπόρου η οποία στην βιβλιογραφία αναφέρεται από 12\$/ kgr (Monti A., Fazio S., et al, 2007) έως 27\$/kgr (Heaton E, Voigt T. Et al 2004), όσο και από την ποσότητα του χρησιμοποιούμενου σπόρου, η οποία με την

σειρά της εξαρτάται από τον οικότυπο και την ποικιλία, τις αποστάσεις φύτευσης και την περιοχή καλλιέργειας και όπως έχουμε ήδη δει, κυμαίνεται από 7 kg ha⁻¹ έως 20kg ha⁻¹. Έτσι κατ' αντιστοιχία το κόστος σπόρου κυμαίνεται από 84\$ha⁻¹ έως 540\$ ha⁻¹.

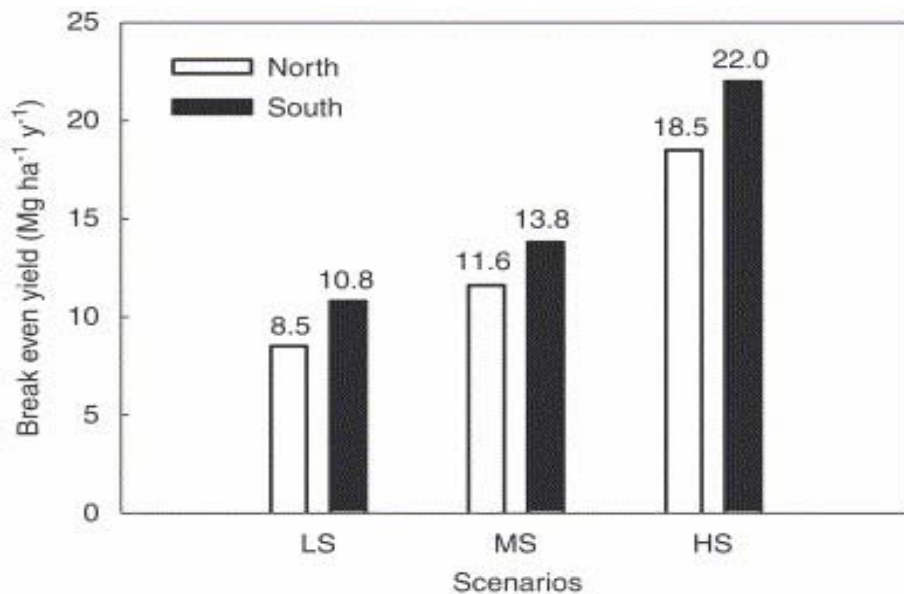
- Οι εφαρμοζόμενες διαχειριστικές πρακτικές οι οποίες καθορίζουν το κόστος παραγωγής. Η ζώνη καλλιέργειας στην οποία αναφερόμαστε, οι εδαφικές και κλιματικές συνθήκες οι οποίες επικρατούν σε μια περιοχή, το μέγιστο ύψος παραγωγής που μπορεί να επιτευχθεί σε συνδυασμό με τον καθορισμό του ύψους των εισροών ώστε να υπάρχει καθαρό οικονομικό αλλά και περιβαλλοντικό αποτέλεσμα, είναι επιμέρους παράγοντες που καθορίζουν τις διαχειριστικές πρακτικές (Monti A., Venturi P. et al, 2001), άρα και το κόστος παραγωγής.
- Το ύψος της αναμενόμενης παραγωγής, το οποίο κυμαίνεται μέσα σε ένα ευρύ φάσμα τιμών από 7 t ha⁻¹ - 35 t ha⁻¹ (Christian D. G., Riche A. B. et al 2002, Eldersen H., Cristian D., et al 2004, Fike J.H., David P., et al 2006), με τις μεγαλύτερες αποδόσεις να εμφανίζονται στην περιοχή της Αλαμπάμα των ΗΠΑ και στην Ευρώπη στην περιοχή της Ελλάδας. Το εύρος αυτό των τιμών της παραγόμενης βιομάζας, οφείλεται σε πλήθος παραγόντων όπως την ποικιλία, την περιοχή και τις επικρατούσες εδαφο-κλιματικές συνθήκες, από το καθοριζόμενο ως οικονομικά ωφέλιμο ύψος εισροών κ.τ.λ.
- Η καθαρή τιμή πώλησης ανά μονάδα συγκομισμένου προϊόντος με εξαιρούμενα τυχόν κόστη μεταφοράς και αποθήκευσης, η οποία εξαρτάται κυρίως από την τιμή των υπολοίπων ενεργειακών προϊόντων και ιδιαίτερα του αργού πετρελαίου, από την προσφορά και ζήτηση για τέτοιας μορφής ενέργειας, από εφαρμοζόμενες πολιτικές είτε παραγωγής ενέργειας από βιομάζα είτε κατανάλωσης. Οι πιο πρόσφατες τιμές που αναφέρονται στην διεθνή βιβλιογραφία είναι τα 44\$t⁻¹

(McLaughlin και Kszos 2005) η οποία μεταφράζεται σε 33€ t⁻¹ (με σχέση 1,33\$=1€) και τα 55€ t⁻¹ (Monti, Fazio et al, 2007) όπου μεταφράζεται σε 73\$ t⁻¹.

Είναι λοιπόν άμεσα αποδεκτό από τα παραπάνω, ότι το ύψος της παραγωγής που ισοσκελίζει το κόστος (Break-Even Yield) είναι διαφορετικό από περιοχή σε περιοχή, πόσο μάλλον μεταξύ των δύο πλευρών του Ατλαντικού.

Δεδομένου λοιπόν όλων αυτών των παραγόντων που τελικά επηρεάζουν την οικονομικότητα της καλλιέργειας, ιδιαίτερη αξία έχει η μελέτη που έγινε στην νότια Ευρώπη και πιο συγκεκριμένα στην Ιταλία, από τους Monti, Fazio, και άλλους ερευνητές (2007) βασιζόμενη στο μοντέλο Biomass Economic Evaluation-BEE, (Soldatos PG, Lychnaras V, et al, 2003), με το οποίο μπορεί να γίνει οικονομική ανάλυση ενεργειακών καλλιεργειών τόσο ετήσιων όσο και πολυετών. Για να ξεπεραστεί το πρόβλημα της επίδρασης της διαφορετικότητας των περιοχών (κόστος γης, απόδοση καλλιέργειας, ύψος απαιτούμενων εισροών, διαθέσιμα εργατικά χέρια κ.ά.), ακόμα και μέσα στην ίδια την Ιταλία, όπου έλαβε χώρα το πείραμα, έγινε προσπάθεια υπολογισμού του κόστους με διαφορετικά σενάρια, ένα για την βόρεια και ένα για την νότια Ιταλία, ενώ για κάθε μία περιοχή, δημιουργήθηκαν τρία επιμέρους σενάρια εισροών: χαμηλό, μεσαίο και υψηλό. Σημαντική παράμετρος του πειράματος είναι το μέγεθος των ερευνητικών τεμαχίων που έφταναν τα 8,6 ha. Σκοπός του πειράματος ήταν να υπολογισθεί το ύψος της παραγωγής που θα ισοσκελίζει τα ετήσια έξοδα (Break-Even Yield, BEY), λαμβάνοντας υπόψη ως τιμή τα 55€ t⁻¹, καθώς και την ενίσχυση των 45€ ha⁻¹ που λαμβάνει ο παραγωγός από την Ε.Ε. για καλλιέργεια ενεργειακών φυτών. Ο δε υπολογισμός των ετήσιων εξόδων έλαβε υπόψη το γεγονός ότι η καλλιέργεια είναι πολυετής, επιμερίζοντας τα έξοδα εγκατάστασης, στα 15 χρόνια ζωής και παραγωγής της καλλιέργειας συμπεριλαμβανομένου του χρηματοοικονομικού κόστους, του ετήσιου κόστους της γης, του κόστους της εργασίας, ενώ για το κόστος του αναγκαίου εξοπλισμού, υπολογίσθηκαν οι δαπάνες (συντήρηση, καύσιμα, αποσβέσεις) με βάση την θεώρηση ότι

ήταν ιδιόκτητος. Υπολογίσθηκαν έτσι οι ετήσιες ισοδύναμες δαπάνες (Annual Equivalent Cost AEC), οι οποίες και υπολογίσθηκαν για τα τρία διαφορετικά σενάρια εισροών, χαμηλές (Ls), μεσαίες (Ms), υψηλές (Hs), αντίστοιχα σε 511€, 686€, 1060€, για την βόρεια και 640 €, 804€ και 1257€ για την νότια Ιταλία.



Διάγραμμα 8. Ύψος της παραγωγής (Break-Even Yield, tha^{-1}) που ισοσκελίζει τα ετήσια έξοδα σε τρία διαφορετικά σενάρια εισροών, χαμηλές (Ls), μεσαίες (Ms), υψηλές (Hs), στη βόρεια (north) και στη νότια (south) Ιταλία με υπολογιζόμενη τιμή παραγωγού τα 55€ t^{-1} ξηρής ουσίας και 45€ ha^{-1} ενίσχυση από την Ε.Ε. (Monti A., Fazio S., et al 2007)

Εξετάζοντας τα αποτελέσματα της εργασίας και ειδικότερα το τμήμα που αφορά το σενάριο των υψηλών εισροών και την νότια Ιταλία, όπου επικρατούν συνθήκες που μοιάζουν με τις ελληνικές θα δούμε ότι κοστολογείται η άρδευση με 452€ ha^{-1} και καλύπτει το 36% του AEC (Monti A., Fazio S., et al 2007). Για την αξία της σύγκρισης με τις ελληνικές συνθήκες, αναφέρουμε ότι το κόστος άρδευσης στην χώρα μας δεν είναι τόσο υψηλό αλλά είναι περίπου 40% -50% λιγότερο (European Commission 2001).

Το αποτέλεσμα που τελικά προκύπτει είναι ότι στις συνθήκες της νότιας Ιταλίας, με τα κόστη που επικρατούν εκεί και με τιμή παραγωγού 55€ t^{-1} , απαιτούνται 22 tha^{-1} για να ισοσκελισθούν τα έξοδα.

Ο υπολογισμός της οικονομικότητας μιας ενεργειακής καλλιέργειας είναι δύσκολη, δεδομένου ότι όπως είδαμε εξαρτάται από πλήθος παραγόντων μερικοί από τους οποίους είναι ευμετάβλητοι (τιμές παραγωγού).

10.2. ΟΙΚΟΝΟΜΙΚΗ ΑΞΙΑ ΤΗΣ ΒΙΟΜΑΖΑΣ-ΥΠΟΛΟΓΙΣΜΟΣ

Στο ερώτημα ποια είναι η δίκαιη τιμή παραγωγού, μία σύγκριση με το πετρέλαιο και με βάση την αξία ανά αποδιδόμενη θερμική μονάδα μπορεί να βοηθήσει, ώστε να εξεταστεί η σχέση (μη αναλογική βέβαια) της τιμής της βιομάζας με την χρηματιστηριακή τιμή του αργού πετρελαίου.

Η θερμική αξία του πετρελαίου είναι 42 GJ t^{-1} (εκφρασμένη σε βάρος προϊόντος) και αφού ένα βαρέλι πετρελαίου ζυγίζει 0.129t θα έχει θερμική αξία 5,42 GJ (Monti A., Fazio S., et al, 2007). Η μέση τιμή του βαρελιού αργού πετρελαίου το 2007 είναι τα 70\$, άρα για θερμική απόδοση 1GJ χρειάζεται ποσότητα πετρελαίου αξίας 12,92\$.

Η αποδοτικότητα του πετρελαίου στην ηλεκτροπαραγωγή είναι 38-40%, ενώ της βιομάζας 20-25% (US Department of Energy 2007) που σημαίνει για την παραγωγή 1GJ ηλεκτρικής ενέργειας απαιτείται ποσότητα πετρελαίου με θερμική αξία 2,5 GJ και αντίστοιχα ποσότητα βιομάζας με θερμική αξία 4GJ. Οι ποσότητες αυτές των δύο συγκρινόμενων ενεργειακών πηγών, εφόσον παράγουν την ίδια ποσότητα ηλεκτρικής ενέργειας θα είναι της ίδιας αξίας.

Η ποσότητα πετρελαίου που έχει θερμική αξία 2,5 GJ (και με απόδοση 40% θα μετατραπεί σε 1GJ ηλεκτρικής ενέργειας), κοστίζει 32,3\$ ($2,5\text{GJ} \times 12,92\$/\text{GJ}^{-1}$) και ταυτόχρονα αυτό είναι το κόστος της βιομάζας που θα περιέχει ενεργειακό δυναμικό 4GJ. Η θερμική αξία της βιομάζας του switchgrass είναι $16,7 \text{ GJt}^{-1}$ (Monti A., Fazio S., et al, 2007), οπότε η αξία της βιομάζας είναι $134,8\$/\text{t}^{-1}$ ($[16,7 \text{ GJt}^{-1} \times 32,3\$/4\text{GJ}]$) ή 103,7€ (ισοτιμία €/€ στο 1,30).

Η προσέγγιση αυτή έχει αξία στο να δούμε που περίπου θα ήταν μία δίκαιη τιμή παραγωγού, μια και όπως είδαμε από αυτήν εξαρτάται κατά πολύ το επίπεδο της παραγωγής πάνω από το οποίο υπάρχει πραγματικό κέρδος για τον παραγωγό. Από την τιμή αυτή θα πρέπει να αφαιρέσουμε τα μεταφορικά έξοδα και το κόστος αποθήκευσης.

Εάν η συγκομιζόμενη βιομάζα μετατραπεί σε pellets, τότε θα πρέπει να αφαιρεθούν 60€ ανά τόνο ξηρής ουσίας (προσωπική επικοινωνία με μονάδα παραγωγής στο νομό Λάρισας), ως κόστος μεταφορικών, μεταποίησης, εμπορίας και εμπορικού κέρδους μεταποιητή. Έτσι προκύπτει τιμή παραγωγού 73,3€ (103,3€-60€) ανά τόνο ξηρής ουσίας.

10.3. ΟΙΚΟΝΟΜΙΚΗ ΠΡΟΣΕΓΓΙΣΗ ΣΤΑ ΔΕΔΟΜΕΝΑ ΤΗΣ ΕΛΛΑΔΑΣ

10.3.1. ΜΕΘΟΔΟΛΟΓΙΑ

Για να γίνει μία οικονομική προσέγγιση για τα δεδομένα της χώρα μας θα θεωρήσουμε ότι η τιμή 55€ t⁻¹ D.M. (Monti A., Fazio S., et al 2007) είναι μία τιμή κοντά στην πραγματικότητα.

Θεωρούμε καταρχήν ότι θα γίνει εγκατάσταση καλλιέργειας switchgrass σε πρόγραμμα υψηλών εισροών. Δεν θα συμπεριλάβουμε έξοδα γης (τεκμαρτό ή ενοίκιο) γιατί σύμφωνα με την νέα ΚΑΠ οι δικαιούχοι της ενιαίας ενίσχυσης θα πρέπει να κατέχουν και να δηλώνουν συγκεκριμένη έκταση γης, οπότε το κόστος γης είναι υποχρεωτικό ακόμα και αν δεν καλλιεργούν.

Δεν θα συμπεριλάβουμε έξοδα αποσβέσεων των μηχανημάτων γιατί υπάρχει άμεση εξάρτησης τους από το μέγεθος ή την ιπποδύναμη, την ηλικία, το είδος της χρήσης, τα προγράμματα επιδότησης αγοράς, το μέγεθος της εκμετάλλευσης κ.ά. , ούτε εργατικό κόστος γιατί σε επαγγελματίες αγρότες εξαρτάται από το μέγεθος της εκμετάλλευσης για να υπολογισθεί ως κόστος ευκαιρίας (το κόστος των αγαθών που θα παρήγαγε αν

χρησιμοποιούσε τον χρόνο απασχόλησης του στην καλλιέργεια switchgrass). Θα υπολογίσουμε όμως, εργατικές ώρες ανειδίκευτων εργατών, για την φόρτωση κατά την συγκομιδή.

Θεωρούμε ότι όλες οι καλλιεργητικές εργασίες (όργωμα, προετοιμασία, σπορά, κυλίνδρισμα, ράντισμα ζιζανιοκτόνου, κόψιμο και δέσιμο της βιομάζας) γίνονται με ίδια μέσα.

Θα υπολογίσουμε το κόστος εγκατάστασης χωριστά και θα το ανάγουμε σε ετήσιες ισοδύναμες δαπάνες (Annual Equivalent Cost AEC) λαμβάνοντας ως χρόνο εκμετάλλευσης της καλλιέργειας τα 15 χρόνια (Monti A., Fazio S., et al 2007) και θα προστεθούν στα έξοδα κάθε χρονιάς τα οποία και τελικά θα υπολογισθούν.

Τέλος θα υπολογισθεί το ύψος της παραγωγής που θα ισοσκελίζει τα ετήσια έξοδα (Break-Even Yield, BEY)

10.3.2.ΥΠΟΛΟΓΙΣΜΟΣ ΚΟΣΤΟΥΣ ΕΓΚΑΤΑΣΤΑΣΗΣ

Υπολογίζουμε το κόστος εγκατάστασης ανά εκτάριο, με την βοήθεια μελέτης υπολογισμού αντίστοιχου κόστους που έγινε στην Ιταλία, ενώ όπου χρειάστηκε και ειδικά στις τιμές των εφοδίων, έγινε επιτόπια έρευνα στην αγορά του νομού Σερρών.

Στον πίνακα 19 γίνεται ο υπολογισμός του κόστους εγκατάστασης. Βλέπουμε λοιπόν ένα κόστος εγκατάστασης $438,60\text{€ ha}^{-1}$ ή 44€ ανά στρέμμα το οποίο για πολυετή καλλιέργεια είναι χαμηλό, αν συγκριθεί με άλλες πολυετής καλλιέργειες (π.χ. Μίσχανθο).

Πίνακας 19. Υπολογισμός κόστους εγκατάστασης switchgrass ανά εκτάριο στην Ελλάδα

	ΠΕΡΙΓΡΑΦΗ	ΜΟΝΑΔΑ	ΠΟΣΟΤΗΤΑ	ΤΙΜΗ ΑΝΑ ΜΟΝΑΔΑ ^b	ΚΟΣΤΟΣ
ΚΑΥΣΙΜΑ	DIESEL	ΛΙΤΡΟ	180 ^a	0,62 €	111,60 €
ΣΠΟΡΟΣ	-	ΚΙΛΟ	8 ^e	11,50 ^e €	92,00 €
ΛΙΠΑΣΜΑ	20-10-10	50 ΚΙΛΑ	10 ^c	20,00 €	200,00 €
ΖΙΖΑΝΙΟΚΤΟΝΟ	BROMINAL 12/36 EC ^{a,d}	ΛΙΤΡΟ	2,5	12,00 €	30,00 €
ΖΙΖΑΝΙΟΚΤΟΝΟ	ROUNDAP 36% ^{a,d}	ΛΙΤΡΟ	1	8,00 €	8,00 €
ΣΥΝΟΛΟ					441,60 €

a Monti A., Fazio S., et al 2007

b Οι τιμές ανά μονάδα είναι από επιτόπια έρευνα αγοράς στην περιοχή των Σερρών

c Η ποσότητα του λιπάσματος εξαρτάται από εδαφολογική ανάλυση και υπολογισμό των απαιτήσεων. Για τις ανάγκες του υπολογισμού θεωρήσαμε ότι η βασική λίπανση που ακολουθείται στο καλαμπόκι αντιπροσωπεύει μία θεωρητική λίπανση για πρόγραμμα υψηλών εισροών.

d Brominal 12/36 EC με δραστικές mecoprop 36% + bromoxynil 12% και Roundap 36% με δραστική glyphosate

e Monti A., Fazio S., et al 2007 Χρησιμοποιήθηκαν 8 κιλά σπόρου ποικιλίας Alamo

10.3.4. ΕΤΗΣΙΟ ΚΑΛΛΙΕΡΓΗΤΙΚΟ ΚΟΣΤΟΣ ΚΑΙ ΥΨΟΣ ΠΑΡΑΓΩΓΗΣ ΠΟΥ ΙΣΟΣΚΕΛΙΖΕΙ ΤΑ ΕΤΗΣΙΑ ΕΞΟΔΑ

Κατά τον υπολογισμό του ετήσιου καλλιεργητικού κόστους, θεωρούμε καταρχήν ότι η εκμετάλλευση αρδεύεται από δίκτυο διανομής πληρώνοντας ένα πάγιο τέλος στο τοπικό ΤΟΕΒ. Οι υπόλοιποι τρόποι άρδευσης που χρησιμοποιούνται στην Ελλάδα είναι είτε από γεώτρηση οπότε το κόστος για 300 mm άρδευσης αυξάνεται κατά 50% (χρησιμοποιείται ηλεκτρική ενέργεια με ειδικά τιμολόγια), είτε με άντληση από επιφανειακά ύδατα (ποτάμι, κανάλι κτλ) χρησιμοποιώντας μηχανές πετρελαίου, οπότε το κόστος τριπλασιάζεται σε σχέση με το πάγιο από δίκτυο.

Θα υπολογισθεί το κόστος σύμφωνα με τον τρόπο άρδευσης που επικρατεί στον νομό Σερρών, δηλαδή με πάγια πληρωμή αλλά θα υπολογισθεί και το ετήσιο ισοδύναμο ύψος παραγωγής για να ισοσκελισθούν τα έξοδα και για τους τρεις τρόπους ποτίσματος.

Στον πίνακα 20 γίνεται ο υπολογισμός του ετήσιου καλλιεργητικού κόστους ανά εκτάριο καλλιέργειας switchgrass και συγχρόνως το ύψος παραγωγής που ισοσκελίζει τα ετησία έξοδα

Πίνακας 20. Υπολογισμός ετήσιου καλλιεργητικού κόστους ανά εκτάριο καλλιέργειας switchgrass.

ΕΙΔΟΣ	ΠΕΡΙΓΡΑΦΗ	ΜΟΝΑΔΑ	ΠΟΣΟΤΗΤΑ	ΤΙΜΗ ΑΝΑ ΜΟΝΑΔΑ	ΚΟΣΤΟΣ
ΚΑΥΣΙΜΑ	DIESEL	ΛΙΤΡΟ	140 ^b	0,62 €	86,80 €
ΛΙΠΑΣΜΑ	46-0-0 ΣΑΚΟΣ 50ΚΙΛΩΝ		5	20,00 €	100,00 €
ΕΡΓΑΤΙΚΑ	ΑΝΕΙΔΙΚΕΥΤΟΙ ΩΡΑ		12 ^b	10,00 €	120,00 €
ΝΕΡΟ	ΠΑΓΙΟ	ΣΤΡΕΜΜΑ	10 ^c	15,00 €	150,00 €
ΕΤΗΣΙΕΣ ΙΣΟΔΥΝΑΜΕΣ ΔΑΠΑΝΕΣ (ΓΙΑ 15 ΧΡΟΝΙΑ)					29,44€
ΣΥΝΟΛΟ ΕΤΗΣΙΩΝ ΚΑΛΛΙΕΡΓΗΤΙΚΩΝ ΕΞΟΔΩΝ					399,44 €
ΕΤΗΣΙΑ ΕΝΙΣΧΥΣΗ ΕΝΕΡΓΕΙΑΚΩΝ ΚΑΛΛΙΕΡΓΕΙΩΝ					45,00€
ΤΕΛΙΚΑ ΕΤΗΣΙΑ ΕΞΟΔΑ ΚΑΛΛΙΕΡΓΕΙΑΣ					355,44€
<i>ΥΨΟΣ ΠΑΡΑΓΩΓΗΣ ΠΟΥ ΙΣΟΣΚΕΛΙΖΕΙ ΤΑ ΕΤΗΣΙΑ ΕΞΟΔΑ^a</i>					6,44 tha ⁻¹ D.M.

^a Τιμή παραγωγού 55€ t⁻¹ ha⁻¹ D.M.(Monti A., Fazio S., et al 2007)

^b Monti A., Fazio S., et al 2007

^c ΤΟΕΒ ΣΕΡΡΩΝ (προσωπική επικοινωνία)

Η δαπάνη για άρδευση όπως βλέπουμε και από τον πίνακα αποτελεί σημαντικό κομμάτι των εξόδων, μια και στον συγκεκριμένο υπολογισμό καλύπτει το 38% των ετήσιων καλλιεργητικών εξόδων, ενώ ταυτόχρονα επιλέχθηκε η οικονομικότερη μέθοδος άρδευσης. Στον πίνακα 21 φαίνεται το ετήσιο καλλιεργητικό κόστος στα τρία διαφορετικά συστήματα ποτίσματος και το αντίστοιχο ύψος παραγωγής που ισοσκελίζει το κόστος αυτό.

Πίνακας 21. Κόστος άρδευσης και σύνολο τελικών ετήσιων καλλιεργητικών εξόδων (Τ.Ε.Κ.Ε.) του switchgrass και το αντίστοιχο ύψος παραγωγής που απαιτείται για να ισοσκελισθούν τα έξοδα αυτά.

	ΚΟΣΤΟΣ ΑΡΔΕΥΣΗΣ ^a (€ ha-1)	Τ.Ε.Κ.Ε.(€ ha ⁻¹)	ΠΟΣΟΣΤΟ ΕΠΙ ΤΩΝ Τ.Ε.Κ.Ε.	ΥΨΟΣ ΠΑΡΑΓΩΓΗΣ ΠΟΥ ΙΣΟΣΚΕΛΙΖΕΙ ΤΑ Τ.Ε.Κ.Ε.(t ha ⁻¹ D.M.)
ΔΙΚΤΥΟ	150	355,44	42%	6,44
ΓΕΩΤΡΗΣΗ ^a	220 ^b	424,44	52%	7,72
ΜΗΧΑΝΗ ΑΝΤΛΗΣΗΣ DIESEL	450 ^b	654,44	69%	11,90

^a Χρήση ηλεκτρικού ρεύματος για άντληση με ειδική τιμή για γεωργικές εκμεταλλεύσεις

^b Προσωπική επικοινωνία με παραγωγούς για κόστος άρδευσης 3000 m³ha⁻¹year⁻¹

Παρατηρούμε λοιπόν ότι το ύψος της ετήσιας παραγωγής που ισοσκελίζει τα ετήσια έξοδα είναι μόλις $6,44 \text{ tha}^{-1} \text{ D.M.}$ για άρδευση από δίκτυο διανομής νερού αν και καλύπτει το 42% των ετήσιων καλλιεργητικών εξόδων, ενώ ανεβαίνει σημαντικά στα $11,90 \text{€ tha}^{-1} \text{ D.M.}$ καλύπτοντας αντίστοιχα το 69% των εξόδων, όταν η άρδευση γίνεται από επιφανειακά ύδατα με αντλητικά συστήματα που καταναλώνουν πετρέλαιο. Το αντίστοιχο κόστος άρδευσης στην Ιταλία, για υψηλών εισροών καλλιεργητικό σύστημα υπολογίστηκε στα 452€ ενώ καλύπτει το 36% των ετήσιων καλλιεργητικών εξόδων συμπεριλαμβανομένου όμως του κόστους γης. (Monti A., Fazio S., et al, 2007).

10.3.5. ΣΥΓΚΡΙΣΗ ΜΕ ΠΑΡΑΔΟΣΙΑΚΕΣ ΚΑΛΛΙΕΡΓΕΙΕΣ

Σύμφωνα με την νέα ΚΑΠ οι παραγωγοί τυγχάνουν ενιαίας ενίσχυσης από δικαιώματα που τους αναγνωρίστηκαν με βάση την περίοδο αναφοράς 2001-2003. Έτσι δεν υπάρχει σήμερα συγκεκριμένο ύψος ενίσχυσης για συγκεκριμένη καλλιέργεια, αλλά πλέον ορίστηκε ως ενιαία τιμή του δικαιώματος (τα οποία δίνονται από το εθνικό απόθεμα), τα 750€ ha^{-1} . Σύνδεση με την παραγωγή υπάρχει μόνο με την καλλιέργεια του βαμβακιού και του ρυζιού.

Εδώ θα επιχειρηθεί μία σύγκριση της οικονομικής απόδοσης του switchgrass με τις καλλιέργειες του βαμβακιού και του καλαμποκιού, οι οποίες είναι από τις αποδοτικότερες ετήσιες καλλιέργειες στην χώρα μας.

Ως απόδοση της καλλιέργειας του switchgrass θα ληφθούν οι 25 tha^{-1} που παρατηρήθηκαν μόλις τον δεύτερο χρόνο καλλιέργειας στην Αλίαρτο και ταυτόχρονα η μέγιστη παραγωγή των 35 tha^{-1} που αναφέρθηκε σε πειράματα στις ΗΠΑ, μια και η χώρα μας παραδοσιακά ξεπερνά τις αποδόσεις αυτές σε αντίστοιχες καλλιέργειες C4 φυτών, οπότε θεωρείται βάσιμη η πιθανότητα όχι μόνο να φτάσουμε αλλά και να ξεπεράσουμε αυτές τις αποδόσεις.

Πίνακας 22 . Ετήσιο κέρδος προ φόρων τόκων και αποσβέσεων (€ ha⁻¹) δύο παραδοσιακών καλλιεργειών και του switchgrass.

	ΒΑΜΒΑΚΙ	ΚΑΛΑΜΠΟΚΙ	SWITCGRASS	
ΥΨΟΣ ΠΑΡΑΓΩΓΗΣ tha ⁻¹	3,5 ^a	12 ^a	25 ^b	35 ^c
ΤΙΜΗ € t ⁻¹	350 ^a	140 ^a	55 ^d	55 ^d
ΣΥΝΔΕΜΕΝΗ ΕΝΙΣΧΥΣΗ € ha ⁻¹	540 ^e		45 ^e	45 ^e
ΣΥΝΟΛΟ ΕΣΟΔΩΝ € ha ⁻¹	1765	1680	1420	1970
ΕΤΗΣΙΟ ΚΑΛΛΙΕΡΓΗΤΙΚΟ ΚΟΣΤΟΣ € ha ⁻¹	926,3 ^f	941,8 ^f	399,44	399,44
ΕΤΗΣΙΟ ΚΕΡΔΟΣ ΠΡΟ ΦΟΡΩΝ ΤΟΚΩΝ ΚΑΙ ΑΠΟΣΒΕΣΕΩΝ € ha ⁻¹	838,7	738,2	1020,56	1570,56

a Το ύψος παραγωγής και οι τιμές διάθεσης αναφέρονται στις υψηλότερες που παρατηρήθηκαν το έτος 2006 και ταυτόχρονα είναι από τις υψηλότερες της τελευταίας τριετίας (προσωπική επικοινωνία με την ΕΑΣ Σερρών).

b Elbersen H. W, Christian D.G., et al 2001.

c McLaughlin S. B., Kiniry J. R., et al 2006.

d Monti A., Fazioa S., et al 2007.

e Η ενίσχυση που θα λάβει ο παραγωγός αν καλλιεργήσει τις συγκεκριμένες καλλιέργειες, πλέον των δικαιωμάτων του. Για τα ενεργειακά φυτά ορίσθηκε στα 45 € ha⁻¹

f Τα κόστη υπολογίζονται στους πίνακες 1 και 2 του παραρτήματος

Πίνακας 23. Οικονομική σύγκριση δύο πιθανών αποδόσεων switchgrass με τις καλλιέργειες του βαμβακιού και καλαμποκιού

		SWITCH GRASS	ΒΑΜΒΑΚΙ	ΕΠΙΠΛΕΟΝ ΚΕΡΔΟΣ ha ⁻¹	ΚΑΛΑΜΠΟΚΙ	ΕΠΙΠΛΕΟΝ ΚΕΡΔΟΣ
ΣΕΝΑΡΙΟ ΑΠΟΔΟΣΗΣ	25 tha ⁻¹	1020,5 ^a €		181,9€ ή 22%		282,4€ ή 38,2%
	35 tha ⁻¹	1.570,6 €	838,7 ^a €	731,9€ ή 87,3%	738,2 ^a €	832,4€ ή 112,8%

a Η εξαγωγή των στοιχείων έγινε από τον πίνακα 23

Το ύψος παραγωγής και οι τιμές διάθεσης που αναφέρονται, είναι οι υψηλότερες που παρατηρήθηκαν το έτος 2006 και είναι από τις υψηλότερες της τελευταίας τριετίας. Όπως παρατηρούμε από τους πίνακες 23 και 24, στο σενάριο των $25\text{tha}^{-1}\text{ year}^{-1}$, το επιπλέον κέρδος για την καλλιέργεια του switchgrass ανέρχεται σε 182 €ha^{-1} ενώ στο σενάριο των $35\text{tha}^{-1}\text{ year}^{-1}$ η διαφορά φτάνει τα 732 €ha^{-1} ή 87% επιπλέον κέρδος. Για την καλλιέργεια του καλαμποκιού οι αντίστοιχες διαφορές είναι $282,4\text{ €ha}^{-1}$ και $832,4\text{ €ha}^{-1}$ ή 112,8% επιπλέον κέρδος.

11.ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ

Οι περισσότερες από τις πειραματικές μελέτες που έγιναν για το switchgrass ως ενεργειακό φυτό, εκτελέστηκαν κατά την διάρκεια της προηγούμενης δεκαετίας, όπου οι ιστορικές τιμές του αργού πετρελαίου ήταν σε ιστορικά χαμηλές τιμές (έως και 10\$ το βαρέλι το 1999), αλλά και οι τεχνολογίες βιοκαυσίμων ήταν υπό ανάπτυξη και στα πρώτα τους βήματα.

Σήμερα οι πιέσεις για ανάπτυξη εναλλακτικών μορφών καυσίμων έρχονται τόσο από τις τιμές (70\$ το βαρέλι το 2007 και προβλέψεις για πολύ υψηλότερες τιμές τα αμέσως επόμενα χρόνια), όσο και από το μέγεθος των περιβαλλοντικών επιπτώσεων από την χρήση του πετρελαίου.

Το switchgrass είναι μία καλλιέργεια που μπορεί να επιλεγεί για ενεργειακούς σκοπούς, αφού έχει πολύ καλά χαρακτηριστικά που ευνοούν την επιλογή του αυτή. Συγκεκριμένα έχει πολύ μεγάλο εύρος εδαφικών και κλιματικών συνθηκών στις οποίες αναπτύσσεται ικανοποιητικά, κάτι που βοηθάει την ευδοκίμηση του σε σχετικά άγονα εδάφη, αμμώδη ή όξινα εκεί όπου οι παραδοσιακές καλλιέργειες έχουν πολύ χαμηλές αποδόσεις. Αντέχει στην έλλειψη νερού, μια και εκμεταλλεύεται μεγάλο βάθος εδάφους, έχει χαμηλές ανάγκες σε φώσφορο και κάλιο, ενώ οι ανάγκες του σε άζωτο δεν ξεπερνούν αυτές των παραδοσιακών καλλιεργειών σε συνθήκες σαν τις ελληνικές, όπου μπορούν να επιτευχθούν και οι κορυφαίες αποδόσεις. Έχει πολύ χαμηλές ανάγκες σε αγροχημικά και μόνο κατά την χρονιά εγκατάστασης. Εμπλουτίζει το έδαφος με C συμβάλλοντας στην μείωση του ατμοσφαιρικού CO₂, και ως πολυετής καλλιέργεια έχει ευνοϊκές επιδράσεις στη διάβρωση των εδαφών.

Στις ΗΠΑ δίνουν μεγάλη σημασία στην καλλιέργεια του switchgrass, καθώς θεωρούν ότι η ανάπτυξη της βιομηχανίας βιοαιθανόλης και η γενετική βελτίωση της καλλιέργειας θα

οδηγήσουν σε πολύ μεγαλύτερες αποδόσεις αιθανόλης ανά στρέμμα, ενώ ήδη αποτελεί πρώτη επιλογή για την παραγωγή βιομάζας για την καύση σε μονάδες ηλεκτροπαραγωγής.

Η Ευρώπη με την σειρά της, έβαλε ψηλά τον πήχη της χρήσης της βιομάζας για το έτος 2020, με αποτέλεσμα να αναπτύσσεται η έρευνα, η οποία συμπεριέλαβε και το switchgrass, το οποίο ως C4 φυτό φαίνεται να ευδοκμεί καλύτερα στον μεσογειακό χώρο.

Τα στοιχεία και η έρευνα στην Ελλάδα, όσον αφορά το switchgrass, είναι σχετικά λίγα και η καλλιέργεια άγνωστη, ενώ οι παράγοντες που επηρεάζουν την απόδοση της, πολλοί. Έτσι και αλλιώς η αναγκαιότητα για περαιτέρω έρευνα στη χώρα μας είναι πρόδηλη, λόγω των δεσμεύσεων που έχουμε αναλάβει και όχι μόνο. Το ίδιο πρόδηλο είναι ότι η έρευνα πρέπει να συμπεριλάβει και την καλλιέργεια του switchgrass.

ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

1. **Addiscott, T.M., Whithmore A.P., Powlson D.S., (1993).** Farming, Fertilizers and the Nitrate Problem. *Applied Geography*, Volume 13, Pages 196-197
2. **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.
3. **Alexopoulou E., Sharma N., Christou M., Piscioneri M., Mardikis I. and V. Pigniatelli (2001).** Switchgrass in the Mediterranean region *European Commission Final Report FAIR 5-CT97-3701*
4. **Bassam N. El (1998).** C₃ and C₄ plant species as energy sources and their potential impact on environment and climate *Renewable Energy*, Volume 15, Pages 205-210
5. **Bransby D. I., McLaughlin S. B and Parrish D. J (1998).** A review of carbon and nitrogen balances in switchgrass grown for energy. *Biomass and Bioenergy*, Volume 14, Pages 379-384.
6. **Brummer E.C., Burras C.L., Duffy M.D, and. Moore K.J (2001).** Switchgrass Production in Iowa: Economic Analysis, Soil Suitability, and Varietal Performance *Iowa State University for U.S. DEPARTMENT OF ENERGY under contract DE-AC05-00OR22725*
7. **Buhler D. D., Netzer D.A, Riemenschneider D.E. and Hartzler R. G. (1998)** Weed management in short rotation poplar and herbaceous perennial crops grown for biofuel production *Biomass and Bioenergy*, Volume 14, Pages 385-394
8. **Christian B., McCormick K., Deurwaarder E. and Kåberger T. (2007).** Biofuels for transport in Europe: Lessons from Germany and the UK. *Energy Policy*, Volume 35, Pages 2256-2267.

9. **Christian D. G., Riche A. B. and Yates N. E. (2002)** The yield and composition of switchgrass and coastal panic grass grown as a biofuel in Southern England *Bioresource Technology*, Volume 83, Pages 115-124

10. **Commission of the European Communities (2001).** Η ευρωπαϊκή πολιτική μεταφορών με ορίζοντα το έτος 2010: η ώρα των επιλογών-Λευκή βίβλος *Επίσημη Εφημερίδα της Ευρωπαϊκής Ένωσης COM/2001/0370 τελικό*. Διαθέσιμο στην ιστοσελίδα <http://eur-lex.europa.eu/LexUriServ/LexUriServ.do?uri=COM:2001:0370:FIN:EL:HTML>

11. **Commission of the European Communities (2005)** Σχέδιο δράσης για τη βιομάζα *COM(2005) 628 τελικό* Διαθέσιμο στην ιστοσελίδα http://eur-lex.europa.eu/LexUriServ/site/el/com/2005/com2005_0628el01.pdf

12. **Commission of the European Communities (2006)** Ευρωπαϊκή στρατηγική για αειφόρο, ανταγωνιστική και ασφαλή ενέργεια.-Πράσινη Βίβλος *COM/2006/105* τελικό, Διαθέσιμο στην ιστοσελίδα http://ec.europa.eu/energy/green-paper-energy/index_en.htm

13. **Commission of the European Communities (2006).** Report From The Commission To The Council on the review of the energy crops scheme *COM(2006) 500 final*, Brussels.

14. **Corn Products International Inc. (2007)** Historical Prices Διαθέσιμο στην ιστοσελίδα <http://finance.yahoo.com>

15. **Dien B. S., Jung H G., Vogel K. P., Casler M. D., Lamb J. F.S., Iten L., Mitchell R. B. and Sarath G.(2006)** Chemical composition and response to dilute-acid pretreatment and enzymatic saccharification of alfalfa, reed canarygrass, and switchgrass. *Biomass and Bioenergy*, Volume 30, Issue 10, Pages 880-891

16. **DOE.** Energy Information Administration *Official Energy Statistics from U.S. Government* Διαθέσιμο στην ιστοσελίδα <http://www.eia.doe.gov/emeu/aer/inter.html>

17. **Downing M..and Graham R.L, (1996).** The potential supply and cost of biomass from energy crops in the Tennessee valley authority region, *Biomass and Bioenergy* Volume 11, Pages 283–303.

18. **Elbersen H.W, Christian D.G., El Bassem N., Yates N.E., Bacher W., Sauerbeck G., Alexopoulou E., Sharma N., Piscioneri I., De Visser P. and Van den Berg D.(2001)** Switchgrass variety choice in Europe *European Commission Final Report FAIR 5-CT97-3701*

19. **Elbersen H.W, Christian D.G., Yates N. E., El Bassem N., and Sauerbeck G., (2001)** Switchgrass in NW Europe. *European Commission Final Report FAIR 5-CT97-3701*

20. **Eldersen 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.

21. **European Commission (2000).** Biomass: an energy resource for the European Union. *Community research 5*. Office for official publications of the European Communities, Luxembourg.

22. **European Commission (2001)** Switchgrass (*Panicum virgatum* L.) as an alternative energy crop in Europe Initiation of a productivity network *Final Report FAIR 5-CT97-3701* διαθέσιμο στην ιστοσελίδα: <http://www.switchgrass.nl>.

23. **European Commission (2006)** Innovation and technological development in energy. Barometers EurObserv'ER Διαθέσιμο στην ιστοσελίδα http://ec.europa.eu/energy/res/publications/barometers_en.htm

24. **European Environment Agency (2006)** The European Community's initial report under the Kyoto Protocol *Technical report No 10/2006* Διαθέσιμο στην ιστοσελίδα http://reports.eea.europa.eu/technical_report_2006_10/en

25. **European Environment Agency (2007)** Transport and environment: on the way to a new common transport policy *Technical report No 1/2007* Διαθέσιμο στην ιστοσελίδα http://reports.eea.europa.eu/eea_report_2007_1/en

26. **European Parliament (2003).** Production capacity of the renewable energies in the European Union, *Directorate-General For Research Working Paper*

27. **Fahmi R., Bridgwater A.V., Darvell L.I., Jones J.M., Yates N., Thain S. and Donnison I.S. (2007).** The effect of alkali metals on combustion and pyrolysis of Lolium and Festuca grasses, switchgrass and willow. *Fuel*, Volume 86, Pages 1560-1569
28. **Fike J.H., David P. J., Wolf D.D., Balasko J. A., Green J.T., Rasnake M. and Reynolds J.H., (2006)** Long-term yield potential of switchgrass-for-biofuel systems. *Biomass and Bioenergy*, Volume 30, Pages 198-206
29. **Frank A.B., Berdahl J.D., Hanson J.D., Liebig M.A. and Johnson H.A., (2004)** Biomass and carbon partitioning in switchgrass, *Crop Science* Volume 44, Pages 1391–1396.
30. **Frank A.B., Liebig M.A. and Hanson J.D, (2002).**Soil carbon dioxide fluxes in northern semiarid grasslands, *Soil Biology & Biochemistry* Volume 34 Pages 1235–1241.
31. **Hallam A., Anderson I.C. and Buxton D.R., (2001).** Comparative economic analysis of perennial, annual, and intercrops for biomass production, *Biomass and Bioenergy* Volume 21 Pages 407–424.
32. **Hamelinck C.N., Hooijdonk van G. and. Faaij A.P.C, (2005).** Ethanol from lignocellulosic biomass: techno-economic performance in short-, middle-, and long-term, *Biomass & Bioenergy* Volume 28 Pages 384–410
33. **Hanegraaf M.C., Biewinga E.E. and Van Der Bijl G.,(1998)** Assessing the economical and ecological sustainability of energy crops, *Biomass and Bioenergy* Volume 15, Pages 345–355
34. **Heaton E, Voigt T. and Long S. (2004)** A quantitative review comparing the yields of two candidate C₄ perennial biomass crops in relation to nitrogen, temperature and water. *Biomass and Bioenergy*, Volume 27, Pages 21-30
35. **Hopkins A.A., Vogel K.P., Moore K.J., Johnson K.D., Carlson I.T. (1995),** Genotypic variability and genotype X environment interactions among switchgrass accessions from the midwestern USA. *Crop Science* Volume 35 Pages 565–571.

36. **Johansson, B.T., Kelly, H., Reddy K.N.A., Williams, H.R. (1998).** Renewable energy sources for fuels and electricity. Island Press, Washington.
37. **Kiniry J.R., Cassida K.A., Hussey M.A., Muir J.P., Ocumpaugh W.R., Read J.C., Reed R.L., Sanderson M.A., Venuto B.C.and. Williams J.R, (2005).** Switchgrass simulation by the ALMANAC model at diverse sites in the southern US. *Biomass and Bioenergy*, Volume 29, Pages 419-425
38. **Klass, D. L. (2004).** Biomass for renewable energy and fuels. *Encyclopedia of Energy*, Volume 1, Pages 193-212
39. **Lee D.K., Doolittle J.J. and Owens V.N., (2007).** Soil carbon dioxide fluxes in established switchgrass land managed for biomass production *Soil Biology and Biochemistry*, Volume 39, Pages 178-186
40. **Lemus R., Brummer E C., Moore K. J., Molstad N. E., Burras C. L and Barker M. F. (2002).** Biomass yield and quality of 20 switchgrass populations in southern Iowa, USA *Biomass and Bioenergy*, Volume 23, Pages 433-442
41. **Lewandowski I., Scurlock J.O., 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*, Volume 25, Pages 335-361
42. **Liebig M.A., Johnson H.A., Hanson J.D. and Frank A.B, (2005).**Soil carbon under switchgrass stands and cultivated cropland *Biomass and Bioenergy*, Volume 28, Pages 347-354.
43. **Luger, E. (1997).** Energy crop species in Europe. Διαθέσιμο στην ιστοσελίδα: http://www.bl.t.bmlf.gv.at/vero/artikel/artik013/Energy_crop_species+.pdf
44. **Ma Z., Wood C.W. and Bransdy D.I. (2001)** Impact of row spacing, nitrogen rate, and time on carbon partitioning of switchgrass. *Biomass and Bioenergy*, Volume 20, Pages 413-419
45. **Madakadze I.C., Stewart K., Peterson P.R., Coulman B.E., Samson R.and Smith D.L., (1998).** Light interception, use-efficiency and energy yield of switchgrass

(*Panicum virgatum* L.) grown in a short season area. ***Biomass and Bioenergy*** Volume 15, Pages 475–482.

46. **Mani S., Tabil L. G. and Sokhansanj S. (2006)** Effects of compressive force, particle size and moisture content on mechanical properties of biomass pellets from grasses ***Biomass and Bioenergy***, Volume 30, Pages 648-654
47. **McKendry P., (2002).** Energy production from biomass (Part 2): conversion technologies, ***Bioresource Technology*** Volume 83, Pages. 47–54.
48. **McLaughlin S. B. and Walsh M. E (1998).**Evaluating environmental consequences of producing herbaceous crops for bioenergy ***Biomass and Bioenergy***, Volume 14, Pages 317-324
49. **McLaughlin S. B., Kszos L. A., (2005).** Development of switchgrass (*Panicum virgatum*) as a bioenergy feedstock in the United States ***Biomass and Bioenergy*** Volume 28 Pages 515–535
50. **McLaughlin S. B., Kiniry J. R, Taliaferro C. M. and Ugarte De La Torre D. (2006).** Projecting Yield and Utilization Potential of Switchgrass as an Energy Crop. ***Advances in Agronomy***, Volume 90, Pages 267-297
51. **McLaughlin S., Samson B. R, Bransby D., Wiselogle A. (1996).** Evaluating Physical, Chemical, And Energetic Properties Of Perennial Grasses As Biofuels ***The Seventh National Bioenergy Conference*** September 15-20, 1996, Nashville, Tennessee.
52. **Michael D. Duffy and Virginie Y. Nanhou (2002)** Costs of Producing Switchgrass for Biomass in Southern Iowa Διαθέσιμο στην ιστοσελίδα <http://www.hort.purdue.edu/newcrop/ncnu02/pdf/duffy-267.pdf>
53. **Monti A, Pritoni G, Venturi G. (2004)** Evaluation of 18 genotypes of switchgrass for energy destination in northern Italy. ***2nd Conference on Biomass for Energy, Industry and Climate Protection***, 10-14 May 2004 Rome Italy Pages. 240–243.

54. **Monti A., Fazio S., Lychnaras V., Soldatos P and Venturia G.,(2007).** A full economic analysis of switchgrass under different scenarios in Italy estimated by BEE model. *Biomass and Bioenergy* Volume 31, Pages 177-185
55. **Monti A., Venturi P. and Elbersen H. W. (2001)** Evaluation of the establishment of lowland and upland switchgrass (*Panicum virgatum* L.) varieties under different tillage and seedbed conditions in northern Italy. *Soil and Tillage Research*, Volume 63, Pages 75-83
56. **Nelson R. G., Ascough J. C. and Langemeier M. R. (2006).** Environmental and economic analysis of switchgrass production for water quality improvement in northeast Kansas *Journal of Environmental Management*, Volume 79, Pages 336-347
57. **Ollier C. (2006).** Less cereals and sugar beet, more rape seeds in eu-25 for 2005 *EUROSTAT - Statistics in focus agriculture and fisheries* .
58. **Piscioneri I., Pignatelli V., Palazzo S. and Sharma N. (2001).** Switchgrass production and establishment in the Southern Italy climatic conditions. *Energy Conversion and Management*, Volume 42, Pages 2071-2082
59. **Raich J.W.and Tufekcioglu A., (2000).** Vegetation and soil respiration: correlations and controls. *Biogeochemistry*, Volume 48, Pages 71–90.
60. **Reynolds J. H., Walker C. L. and Kirchner M. J (2000).** Nitrogen removal in switchgrass biomass under two harvest systems. *Biomass and Bioenergy*, Volume 19, Pages 281-286
61. **Roger S., Sudhagar M., Robert B., Shahab S., Diego Q., Segundo U., Veronica R., Claudia L. H., (2005).** The Potential of C₄ Perennial Grasses for Developing a Global *BIOHEAT Industry Critical Reviews in Plant Sciences*, Volume 24, Pages 461 - 495
62. **Ronald Steenblik (2006).** Liberalisation of Trade in Renewable Energy and Associated Technologies: Biodiesel, Solar Thermal and Geothermal Energy *Organisation for Economic Co-operation and Development (OECD) Trade and Environment*, Working Paper No. 2006-01

63. **Samson R. and Mehdi B, (1998).** Strategies to reduce the ash content in perennial grasses. Resource Efficient Agricultural Production Canada Διαθέσιμο στην ιστοσελίδα http://www.reap-canada.com/online_library/Reports%20and%20Newsletters/Bioenergy/24%20Strategies%20to.pdf
64. **Sanderson M. A., Reed R. L,(1996).** Switchgrass as a sustainable bioenergy crop. *Bioresource Technology*, Volume 56, Pages 83-93.
65. **Sanderson MA, Reed R.L. (2000).** Switchgrass growth and development: water, nitrogen, and plant density effects. *Journal of Range Management 2000*, Volume 53 Pages 221–227. Διαθέσιμο στην ιστοσελίδα <http://jrm.library.arizona.edu/jrm/>
66. **Schlesinger W.H. and Andrews J.A., (2000).** Soil respiration and the global carbon cycle. *Biogeochemistry* Volume 48, Pages 7–20.
67. **Sharma N., Piscioneri I., Pignatelli V. (2003).** An evaluation of biomass yield stability of switchgrass (*Panicum virgatum* L.) cultivars. *Energy Conversion and Management*, Volume 44, Pages 2953-2958
68. **Soldatos PG, Lychnaras V, Assimakis D. (2003)** BEE (Biomass Economic Evaluation) Methodology. *Agricultural University of Athens Laboratory of Agribusiness Management*, Διαθέσιμο στην ιστοσελίδα <http://www.bee.aua.gr>.
69. **Spitzer, J., Ahamer, G., Weiss, C. and Fankhauser, G. (1994).** Consequences of an enhanced use of biomass fuels on the CO₂ concentration in the atmosphere. *Biomass for Energy and Industry*, 7th E.C. Conference. Ponte Press, Bochum. Pages 72-77
70. **Stroup J. A., Sanderson M. A., Muir J. P., McFarland M. J. and Reed R. L. (2003).** Comparison of growth and performance in upland and lowland switchgrass types to water and nitrogen stress *Bioresource echnology*, Volume 86, Pages 65-72
71. **US Department of Energy (2007).** Electrical Power Generation *Energy Efficiency and Renewable Energy* Διαθέσιμο στην ιστοσελίδα http://www1.eere.energy.gov/biomass/electrical_power.html

72. **US Department of Energy:** Energy efficiency and renewable Energy
<http://www.eere.energy.gov/>
73. **Varvel G.E., Vogel K.P., Mitchell R.B., Follett R.F. and Kimble J.M.(2007)**
Comparison of corn and switchgrass on marginal soils for bioenergy *Biomass and Bioenergy*, In Press
74. **Venendaal, R., Jorgensen, U. and Foster, A. (1997).** European energy crops: A synthesis. *Biomass and Bioenergy*, Volume. 13, Pages 147-185.
75. **Venturi, P. and Venturi G., (2003),** Analysis of energy comparison for crops in European agricultural systems. *Biomass and Bioenergy*, Volume 25, Pages 235-255
76. **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*, Volume 101, Pages 232-239
77. **Walsh M.E., (1998).** US bioenergy crop economic analysis: status and needs, *Biomass and Bioenergy* Volume 14 Pages. 341–350.
78. **Wesseler J.(2007).** Opportunities (‘costs) matter: A comment on Pimentel and Patzek “Ethanol production using corn, switchgrass, and wood; biodiesel production using soybean and sunflower” *Energy Policy*, Volume 35,Pages 1414-1416
79. **Wolf, D.D. and Fiske D.A.,(1995).** Planting and managing switchgrass for forage, wildlife, and conservation. *Virginia Cooperative Extension* Pages 418-013. Διαθέσιμο στην ιστοσελίδα. <http://www.ext.vt.edu/pubs/forage/418-013/418-013.html>
80. **Αντωνοπούλου Γ. (2006).** Διδακτορική Διατριβή. Ανάπτυξη ολοκληρωμένης διεργασίας παραγωγής υδρογόνου και βιοαερίου από ενεργειακή καλλιέργεια γλυκού σόργου. Πανεπιστήμιο Πατρών-Πάτρα
81. **Βερεσόγλου, Δ. Σ. (1996).** Σημειώσεις γενικής οικολογίας. Υπηρεσία Δημοσιευμάτων Α.Π.Θ., Θεσσαλονίκη.
82. **Βουρδούμπας, Γ. (1999).** Χρήση της βιομάζας για παραγωγή ενέργειας. ΤΕΙ Χανίων. Διαθέσιμο στον διαδικτυακό τόπο: www.chania.teiher.gr

83. **Γενική Γραμματεία Εθνικής Στατιστικής Υπηρεσίας** Στατιστικά στοιχεία πρωτογενή τομέα. Διαθέσιμο στην ιστοσελίδα, <http://www.statisticsgr/StatMenu.asp>
84. **Κέντρο Ανανεώσιμων Πηγών Ενέργειας-ΚΑΠΕ (2006)** Ενεργειακές καλλιέργειες για την παραγωγή υγρών και στερεών βιοκαυσίμων στην Ελλάδα. Διαθέσιμο στην ιστοσελίδα: http://www.cres.gr/kape/pdf/download/energy_crops_2006_L.pdf
85. **Οδηγία 2003/30/EK** Σχετικά με την προώθηση της χρήσης βιοκαυσίμων ή άλλων ανανεώσιμων καυσίμων για τις μεταφορές. *Ευρωπαϊκό Κοινοβούλιο* Διαθέσιμο στην ιστοσελίδα
http://europa.eu.int/eur-lex/pri/el/oj/dat/2003/l_123/l_12320030517e100420046.pdf
86. **Υπουργείο Ανάπτυξης (2007)** Έγκριση κατανομής για το 2007 114000 χιλιόλιτρων αυτούσιου βιοντίζελ που υπόκεινται στο ειδικό φορολογικό καθεστώς των διατάξεων του Άρθρου 78 παράγραφος 6 του Ν. 2960/2001 όπως ισχύει, σύμφωνα με τις διατάξεις του άρθρου 15Α του Ν. 3054/2002 όπως ισχύει. *Γενική Διεύθυνση Ενέργειας* Απόφαση Αρ. Πρωτ.: Δ1/Α/3495, Διαθέσιμο στην ιστοσελίδα:
[http://www.ypan.gr/docs/D.T.\(16-2-07\)KYA%20Biodizel2007.pdf](http://www.ypan.gr/docs/D.T.(16-2-07)KYA%20Biodizel2007.pdf)

ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ

Α. ΠΙΝΑΚΕΣ

Πίνακας 1 Παραρτήματος: Υπολογισμός καλλιεργητικών εξόδων βαμβακιού (προσωπική έρευνα)

ΕΙΔΟΣ	ΜΟΝΑΔΑ	ΠΕΡΙΓΡΑΦΗ	ΠΟΣΟΤΗΤΑ	ΤΙΜΗ ΑΝΑ ΜΟΝΑΔΑ	ΣΥΝΟΛΟ
ΚΑΥΣΙΜΑ	ΛΙΤΡΑ	DISEL	110	0,62	68,2
ΛΙΠΑΣΜΑ	ΚΙΛΑ	.20-10-10	400	0,35	140
ΕΠΙΦ.ΛΙΠΑΣΜ	ΚΙΛΑ	25-0-0.	200	0,3	60
ΣΠΟΡΟΣ	ΚΙΛΑ	ΕΙΣΑΓΩΓΗΣ ΕΠΕΝΔ.	20	6,5	130
ΖΙΖΑΝΙΟΚΤΟΝΟ	ΚΙΛΑ	fluometuron 90%	2	22,5	45
ΖΙΖΑΝΙΟΚΤΟΝΟ	ΛΙΤΡΑ	trifluralin 48%	2	5	10
ΖΙΖΑΝΙΟΚΤΟΝΟ	ΛΙΤΡΑ	quizalofop-p-ethyl 5%	2	23	46
ΡΥΘΜΙΣΤΗΣ	ΛΙΤΡΑ	mepiquat 5%	1	7	7
ΩΡΙΜΑΝΣΗ	ΛΙΤΡΑ	ethephon 48%	2,5	9	22,5
ΑΠΟΦΥΛΛΩΣΗ	ΚΙΛΑ	thidiazuron 50%	0,4	69	27,6
ΝΕΡΟ-ΠΑΓΙΟ	ΣΤΡΕΜΜΑ		10	15	150
ΜΗΧΑΝΗ					
ΣΥΓΚΟΜΙΔΗΣ	ΣΤΡΕΜΜΑ		10	22	220
ΣΥΝΟΛΟ:					926,3

Πίνακας 2 Παραρτήματος: Υπολογισμός καλλιεργητικών εξόδων καλαμποκιού (προσωπική έρευνα)

ΕΙΔΟΣ	ΜΟΝΑΔΑ	ΠΕΡΙΓΡΑΦΗ	ΠΟΣΟΤΗΤΑ	ΤΙΜΗ ΑΝΑ ΜΟΝΑΔΑ	ΣΥΝΟΛΟ
ΚΑΥΣΙΜΑ	ΛΙΤΡΑ	DISEL	100	0,62	62
ΛΙΠΑΣΜΑ	ΚΙΛΑ	27-9-0+1,5Zn	500	0,4	200
ΕΠΙΦ.ΛΙΠΑΣΜ	ΚΙΛΑ	25-0-0	500	0,3	150
ΣΠΟΡΟΣ	ΚΙΛΑ	ΕΙΣΑΓΩΓΗΣ ΕΠΕΝΔ.	27	6,4	172,8
ΖΙΖΑΝΙΟΚΤΟΝΟ	ΛΙΤΡΟ	alachlor 33,6% + terbuthylazine 14,4%	7	9	63
ΖΙΖΑΝΙΟΚΤΟΝΟ	ΛΙΤΡΟ	nicosulfuron 4%	1,2	45	54
ΝΕΡΟ-ΠΑΓΙΟ	ΣΤΡΕΜΜΑ		10	15	150
ΜΗΧΑΝΗ					
ΣΥΓΚΟΜΙΔΗΣ	ΣΤΡΕΜΜΑ		10	9	90
ΣΥΝΟΛΟ:					941,8

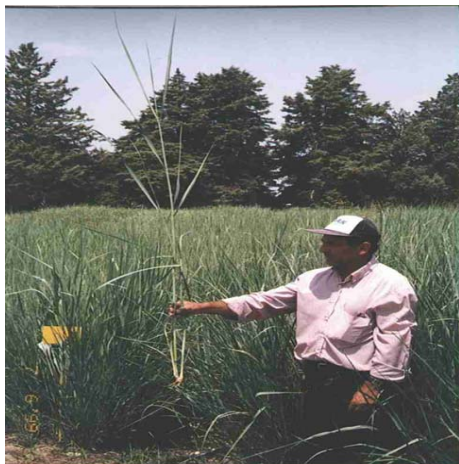
B. ΕΙΚΟΝΕΣ



Switchgrass, Braunschweig, Germany 1998



Switchgrass, Rothamsted, UK, August 1998



Φυτό switchgrass



σπόροι



καλλιέργεια



Δεματοποίηση σε μεγάλες μπάλλες (450 kg)



pellets