

ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΘΕΣΣΑΛΙΑΣ  
ΣΧΟΛΗ ΓΕΩΠΟΝΙΚΩΝ ΕΠΙΣΤΗΜΩΝ  
ΔΙΑΤΜΗΜΑΤΙΚΟ ΠΡΟΓΡΑΜΜΑ ΜΕΤΑΠΤΥΧΙΑΚΩΝ ΣΠΟΥΔΩΝ  
ΤΜΗΜΑ ΓΕΩΠΟΝΙΑΣ ΦΥΤΙΚΗΣ ΠΑΡΑΓΩΓΗΣ ΚΑΙ ΑΓΡΟΤΙΚΟΥ  
ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝΤΟΣ  
ΕΡΓΑΣΤΗΡΙΟ ΓΕΩΡΓΙΑΣ ΚΑΙ ΟΙΚΟΛΟΓΙΑΣ ΦΥΤΩΝ ΜΕΓΑΛΗΣ  
ΚΑΛΛΙΕΡΓΕΙΑΣ.

### ΜΕΤΑΠΤΥΧΙΑΚΗ ΔΙΑΤΡΙΒΗ

**<<Αύξηση, ανάπτυξη και παραγωγικότητα του γλυκού και  
ινώδους σόργου κάτω από διαφορετικά επίπεδα άρδευσης  
και N-ούχου λίπανσης στη Δυτική Θεσσαλία >>.**



Επιβλέπων Καθηγητής: Νικ. Γ. Δαναλάτος, Καθηγητής

Επιμέλεια: Παπαντώνης Σταμάτης

Βόλος 2009

<<Αύξηση, ανάπτυξη και παραγωγικότητα του γλυκού και ινώδους σόργου κάτω από διαφορετικά επίπεδα άρδευσης και N-ούχου λίπανσης στη Δυτική Θεσσαλία >>.

**Εξεταστική επιτροπή:**

Νικ. Γ. Δαναλάτος

Καθηγητής

Θ. Α. Γέμτος

Καθηγητής

Ανθ. Δημήρκου

Αναπ. Καθηγήτρια

**Στην οικογένεια μου**

## Ευχαριστίες

Για την παρούσα ερευνητική εργασία αισθάνομαι την υποχρέωση να ευχαριστήσω θερμά πρώτα τον επιβλέποντα Καθηγητή μου κ. Νικόλαο Δαναλάτο, ο οποίος από τη στιγμή που μου ανέθεσε το θέμα της Μεταπτυχιακής μου διατριβής με καθοδηγούσε αδιάκοπα με τις πολύτιμες του υποδείξεις, συμβουλές και διορθώσεις για να φέρω εις πέρας την εργασία αυτή, όπως επίσης τον Καθηγητή και Διευθυντή του Εργαστηρίου Γεωργικής Μηχανολογίας κ. Θ. Γέμτο και την Αναπ. Καθηγήτρια και Διευθύντρια του Εργαστηρίου Εδαφολογίας κ. Ανθ. Δημήτρου για τις πολύτιμες συμβουλές τους και διορθώσεις στη Μεταπτυχιακή μου Διατριβή.

Ακόμη θα ήθελα να ευχαριστήσω τους γονείς μου για την αμέριστη συμπαράστασή τους και να τους εκφράσω την ευγνωμοσύνη μου. Ευχαριστίες επίσης εκφράζω στη συνάδελφό μου και υποψήφια διδάκτορα του Πανεπιστημίου Θεσσαλίας κ. Δημητριάδου Μαρία για την άριστη συνεργασία κατά τη διάρκεια του πειράματος και κατά την επεξεργασία των δεδομένων, στον κ. Αρχοντούλη Σωτήριο, Γεωπόνο, όπως επίσης και στη συνάδελφο και σύζυγό μου Λούτα Σταυρούλα για την ηθική της συμπαράσταση .

## Περίληψη

Στην παρούσα εργασία μελετήθηκε η αύξηση, η ανάπτυξη και το δυναμικό παραγωγής δύο υβριδίων σόργου, γλυκού cv. Dale και ινώδους cv. H133, σε πείραμα αγρού στον Παλαμά – Καρδίτσας (δυτική Θεσσαλική πεδιάδα) το 2006.

Ο κάθε πειραματικός αγρός περιελάμβανε 54 πειραματικά τεμάχια, με κύριο παράγοντα μελέτης τα δύο υβρίδια σόργου, υπό-παράγοντα τρία επίπεδα άρδευσης και υπό-υπό-παράγοντα τρία επίπεδα N-ούχου λίπανσης, σε πλήρως τυχαίοποιημένο παραγοντικό πειραματικό σχέδιο τριών επαναλήψεων χωρισμένο σε υποομάδες. Το ύψος των φυτών, ο δείκτης φυλλικής επιφάνειας, η χλωρά και ξηρή ουσία σε κάθε όργανο του φυτού, μετρήθηκαν σε καθορισμένα χρονικά διαστήματα κατά τη διάρκεια της καλλιεργητικής περιόδου. Τα αποτελέσματα απέδειξαν ότι η μεγαλύτερη απόδοση σε ξηρή βιομάζα της τάξης των 35 τόνων ανά εκτάριο μπορεί να επιτευχθεί ανεξάρτητα από τις εισροές σε νερό και θρεπτικά στοιχεία, εφόσον παρατηρήθηκε ότι το δυναμικό ανάπτυξης και παραγωγής ήταν υψηλό ακόμη και στα πειραματικά τεμάχια με τις χαμηλότερες εισροές σε νερό και θρεπτικά συστατικά.

Ο δείκτης φυλλικής επιφάνειας (LAI), ξεπέρασε την τιμή 6,0 σε όλες τις επαναλήψεις, ενώ παράλληλα το μέσο ύψος των φυτών ξεπέρασε τα 3,30 μέτρα. Τόσο υψηλή παραγωγικότητα αποδεικνύει ότι το σόργο μπορεί να καλλιεργηθεί σε κάποιες περιοχές της κεντρικής Ελλάδος, σε εδάφη με υψηλό υδροφόρο ορίζοντα, χωρίς άρδευση ή εντελώς συμπληρωματική και μέτρια λίπανση επί της γραμμής, ως εναλλακτική καλλιέργεια χαμηλών εισροών για παραγωγή ξηρής βιομάζας σε μορφή pellets, καθώς και παραγωγή βιοαιθανόλης με ζύμωση σακχάρων στο άμεσο μέλλον.

Λέξεις-κλειδιά: Γλυκό και Ινώδες σόργο, βιομάζα, βιοαιθανόλη, έδαφος, άρδευση, λίπανση, Ελλάδα.

## ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ

<b>1 ΕΙΣΑΓΩΓΗ.....</b>	<b>1</b>
<b>2 ΕΝΕΡΓΕΙΑΚΗ ΓΕΩΡΓΙΑ ΚΑΙ ΒΙΟΚΑΥΣΙΜΑ.....</b>	<b>5</b>
2.1 Η βιομάζα ως ενεργειακός πόρος .....	5
2.1.1 Μετατροπές της βιομάζας .....	7
2.1.2 Πλεονεκτήματα και μειονεκτήματα της ενεργειακής χρήσης της βιομάζας .....	10
2.2 Ενεργειακή γεωργία .....	11
2.2.1 Πλεονεκτήματα της ενεργειακής γεωργίας .....	12
2.2.2 Ενεργειακές καλλιέργειες .....	12
2.3 Βιοκαύσιμα .....	16
2.4 Σημερινή κατάσταση και προοπτικές .....	20
2.4.1 Βιοαιθανόλη .....	22
2.4.2 Βιοντήζελ .....	23
2.4.3 Προοπτικές .....	24
<b>3 ΤΟ ΓΛΥΚΟ ΚΑΙ ΤΟ ΙΝΩΔΕΣ ΣΟΡΓΟ ΩΣ ΕΝΕΡΓΕΙΑΚΑ ΦΥΤΑ .....</b>	<b>27</b>
<b>4 ΒΙΟΛΟΓΙΑ .....</b>	<b>30</b>
4.1 Βοτανική ταξινόμηση .....	30
4.2 Καταγωγή και εξάπλωση .....	30
4.3 Βοτανικά – μορφολογικά χαρακτηριστικά .....	31
4.3.1 Ριζικό σύστημα .....	31
4.3.2 Βλαστός .....	33
4.3.3 Φύλλα .....	36
4.3.4 Αναπαραγωγικά όργανα .....	37
4.3.5 Καρπός .....	38
4.4 Φαινολογία – Στάδια ανάπτυξης .....	40
4.4.1 Στάδια ανάπτυξης της καλλιέργειας .....	40
4.4.1.1 Στάδιο φυταρίου .....	41
4.4.1.2 Στάδιο βλαστικής ανάπτυξης .....	42
4.4.1.3 Στάδιο ανθοφορίας .....	42

4.4.1.4	Στάδιο ωρίμανσης .....	43
4.5	Οικολογία και περιβαλλοντικές απαιτήσεις .....	44
4.5.1	Οικολογία .....	44
4.5.2	Θερμοκρασία .....	45
4.5.3	Φωτοπερίοδος .....	45
4.5.4	Βροχόπτωση και υγρασία .....	46
4.5.5	Έδαφος .....	48
4.5.6	Ακτινοβολία .....	49
4.6	Ποικιλίες .....	51
4.6.1	Ποικιλίες γλυκού σόργου .....	51
4.6.2	Ποικιλίες ινώδους σόργου .....	52
<b>5</b>	<b>ΚΑΛΛΙΕΡΓΗΤΙΚΗ ΤΕΧΝΙΚΗ</b> .....	<b>53</b>
5.1	Αμειψισπορά .....	53
5.2	Προετοιμασία εδάφους .....	55
5.3	Σπορά .....	57
5.3.1	Πυκνότητα φυτών .....	57
5.3.2	Χρόνος σποράς .....	58
5.3.3	Έλεγχοι και χειρισμός του σπόρου .....	59
5.3.4	Μέθοδος σποράς .....	60
5.4	Άλλες καλλιεργητικές εργασίες .....	61
5.5	Ανόργανη θρέψη – Λίπανση .....	61
<b>6</b>	<b>ΣΚΟΠΟΣ ΤΗΣ ΜΕΛΕΤΗΣ</b> .....	<b>63</b>
<b>7</b>	<b>ΥΛΙΚΑ ΚΑΙ ΜΕΘΟΔΟΙ</b> .....	<b>65</b>
<b>8</b>	<b>ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ ΚΑΙ ΣΥΖΗΤΗΣΗ</b> .....	<b>73</b>
	<b>ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ</b> .....	<b>83</b>
	<b>ABSTRACT</b> .....	<b>86</b>
	<b>ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ</b> .....	<b>87</b>

## 1. ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Η παγκόσμια κατανάλωση ενέργειας αυξήθηκε κατά 17 φορές τον προηγούμενο αιώνα και η συγκέντρωση του CO<sub>2</sub> στην ατμόσφαιρα, το οποίο συμμετέχει σημαντικά στο φαινόμενο του θερμοκηπίου, αυξήθηκε κατά 27% τις δύο τελευταίες δεκαετίες φτάνοντας τα 360 ppm, ενώ στην ίδια περίοδο σημειώθηκε αύξηση της μέσης θερμοκρασίας της υδρογείου κατά 0,5 βαθμούς Κελσίου. Εάν κατά τα προσεχή έτη δεν μειωθεί η χρήση των ορυκτών καυσίμων, στην οποία οφείλονται κατά κύριο λόγο οι εκπομπές των αερίων CO<sub>2</sub>, SO<sub>2</sub> και NO<sub>x</sub> που αποτελούν βασικούς συντελεστές της ατμοσφαιρικής ρύπανσης, αναμένεται περαιτέρω θερμοκρασιακή αύξηση 2-5 βαθμούς Κελσίου και πιθανή αύξηση της στάθμης της θάλασσας κατά 1,8-2,4 μέτρα, ως αποτέλεσμα των συντελούμενων κλιματικών αλλαγών. Επίσης, η τρύπα του όζοντος το έτος 2000 έφτασε τα 28,3 εκατομμύρια τετραγωνικά χιλιόμετρα, έκταση τριπλάσια περίπου από αυτή των ΗΠΑ (UNEP, 2002).

Το 80% της συνολικά χρησιμοποιούμενης πρωτογενούς ενέργειας παγκοσμίως (United Nations, 2004) και το 87% περίπου της εμπορεύσιμης πρωτογενούς ενέργειας ικανοποιείται από ορυκτά καύσιμα. Ο ετήσιος μέσος ρυθμός αύξησης της κατανάλωσης πρωτογενούς ενέργειας σε παγκόσμιο επίπεδο για την περίοδο 1990-2001 ήταν 1,5% οπότε αναμένεται διπλασιασμός της παγκόσμιας κατανάλωσης ενέργειας μεταξύ 2000 και 2040 και τριπλασιασμός μέχρι το 2060 (United Nations, 2004). Μάλιστα, σύμφωνα με πολλούς ερευνητές, τα αποθέματα πετρελαίου και φυσικού αερίου αναμένεται να έχουν εξαντληθεί πριν τα μέσα του 21<sup>ου</sup> αιώνα (Klass, 2004).

Συγχρόνως, η χρήση της ενέργειας συμβάλει κατά 60% στην ανθρωπογενή συνεισφορά στο φαινόμενο του θερμοκηπίου (επιπλέον 15% η χρήση χημικών, 12% η γεωργία, 9% η αλλαγή χρήσεων γης και 4% άλλες ανθρωπίνες δραστηριότητες) ενώ η



ανθρωπογενής επίδραση στο φαινόμενο του θερμοκηπίου οφείλεται κατά 50% στις εκπομπές CO<sub>2</sub> (Demirbas, 2004). Υπολογίζεται ότι οι ετήσιες εκπομπές CO<sub>2</sub> στην ατμόσφαιρα είναι περίπου 26 δισεκατομμύρια τόνοι με το 80% να προέρχεται από την χρήση των ορυκτών καυσίμων (λιγνίτης, πετρέλαιο, φυσικό αέριο κ.α).

Η Διάσκεψη του Ρίο (1992), η υπογραφή του πρωτοκόλλου του Κιότο (1997) και η Πράσινη (1996) και η Λευκή Βίβλος (1997) για την Ενέργεια της Ευρωπαϊκής Ένωσης θεωρούνται γεγονότα – σταθμοί για την προώθηση της βιομάζας ως ενεργειακή πηγή. Η χρήση ανανεώσιμων πηγών ενέργειας, συμπεριλαμβανομένης της βιομάζας, αναμένεται να ελαχιστοποιήσει το φαινόμενο του θερμοκηπίου και τις συνεπαγόμενες αρνητικές επιπτώσεις του στον πλανήτη (European Environment Agency, 2004).

Η ενεργειακή γεωργία, η καλλιέργεια δηλαδή ενεργειακών φυτών, είναι ένας τομέας που εξελίσσεται ταχύτατα τα τελευταία χρόνια, λόγω της ιδιαίτερας ρυπογενούς επίδρασης των ορυκτών καυσίμων στο περιβάλλον, της εξάντλησης των αποθεμάτων πετρελαιοειδών και φυσικού αερίου του πλανήτη και του εξελισσόμενου αδιεξόδου της γεωργικής υπερπαραγωγής στις αναπτυγμένες χώρες. Το πρόγραμμα TERES II της ΕΕ προβλέπει ότι η ενέργεια 228 μεγατόνων ισοδύναμου πετρελαίου (ΜΤΙΠ) θα εξασφαλίζεται το έτος 2020 από ανανεώσιμες πηγές ενέργειας, από το οποίο το 31,1% θα προέρχεται από την ενεργειακή γεωργία. Στις ΗΠΑ προβλέπεται για το έτος 2030 ότι το 28% της ενέργειας θα καλύπτεται από ανανεώσιμες πηγές, το μισό δε αυτής θα προέρχεται από ενεργειακή γεωργία (Υπουργείο Γεωργίας, 2000).

Το έντονο ενδιαφέρον για βιώσιμη ανάπτυξη έχει ως αποτέλεσμα το πρόσφατο και συνεχώς αυξανόμενο ενδιαφέρον για την καλλιέργεια ειδών σόργου για ενεργειακούς σκοπούς. Τα τελευταία 15 χρόνια έχουν εκπονηθεί πολυάριθμες μελέτες και προγράμματα έρευνας και τεχνολογίας σε πολλές χώρες, κυρίως ευρωπαϊκές,

σχετικά με το ενεργειακό δυναμικό του γλυκού και του ινώδους σόργου, την προσαρμοστικότητα και παραγωγικότητα τους σε διαφορετικές οικολογικές συνθήκες και καλλιεργητικές πρακτικές, καθώς και την αξιοποίηση τους σε διάφορες άλλες βιομηχανικές χρήσεις.

Το γλυκό σόργο χαρακτηρίζεται από υψηλή περιεκτικότητα των στελεχών του σε σάκχαρα, ενώ το ινώδες έχει στελέχη με υψηλή περιεκτικότητα σε κυτταρίνες και ημικυτταρίνες. Το γλυκό και ινώδες σόργο είναι φυτά ανθεκτικά στην έλλειψη νερού, έχουν χαμηλές απαιτήσεις σε άζωτο και παρουσιάζουν πολύ υψηλή αποτελεσματικότητα χρήσης του νερού. Το υψηλό παραγωγικό δυναμικό τους, τόσο σε οριακές οικολογικές συνθήκες όσο και σε χαμηλά επίπεδα εισροών, είναι οι κύριοι λόγοι του συνεχώς αυξανόμενου ενδιαφέροντος των ερευνητών για τη χρήση τους ως ενεργειακές καλλιέργειες.

Το γλυκό σόργο χρησιμοποιείται για παραγωγή βιοαιθανόλης και παραγώγων της μέσω ζύμωσης των σακχάρων που περιέχονται στο χυμό του. Τα φυτικά υπολείμματα που παράγονται μετά την εξαγωγή του σακχαρούχου χυμού από τα στελέχη αποτελούν πρώτη ύλη για πυρολυτικά έλαια, στερεά καύσιμα και πέλλετς, βιοαέριο και βιο-υδρογόνο καθώς και λιγνοκυτταρινούχα υλικά για διάφορες μη ενεργειακές χρήσεις όπως για παραγωγή χαρτοπολτού και οργανικού λιπάσματος.

Τα τελευταία χρόνια υπάρχει έντονο ενδιαφέρον και για το ινώδες σόργο, για παραγωγή ενέργειας και χαρτιού. Μια ενδιαφέρουσα ενεργειακή εφαρμογή είναι η παραγωγή ηλεκτρισμού με καύση της παραγόμενης βιομάζας αλλά και γενικότερα η παραγωγή ξηρών καυσίμων και πέλλετς. Υπάρχει επίσης αυξανόμενο ενδιαφέρον για την παραγωγή βιοαιθανόλης από το φυτό, μέσω υδρόλυσης των κυτταρινούχων συστατικών του σε σάκχαρα και αλκοολικής ζύμωσης των σακχάρων.

Προς το παρόν τόσο το γλυκό όσο και το ινώδες σόργο δεν καλλιεργούνται ακόμη σε εμπορική κλίμακα στην Ευρώπη ενώ συνεχίζεται η πειραματική έρευνα για τα φυτά, ώστε να εισαχθούν στην αγροτική παραγωγή των ευρωπαϊκών χωρών.

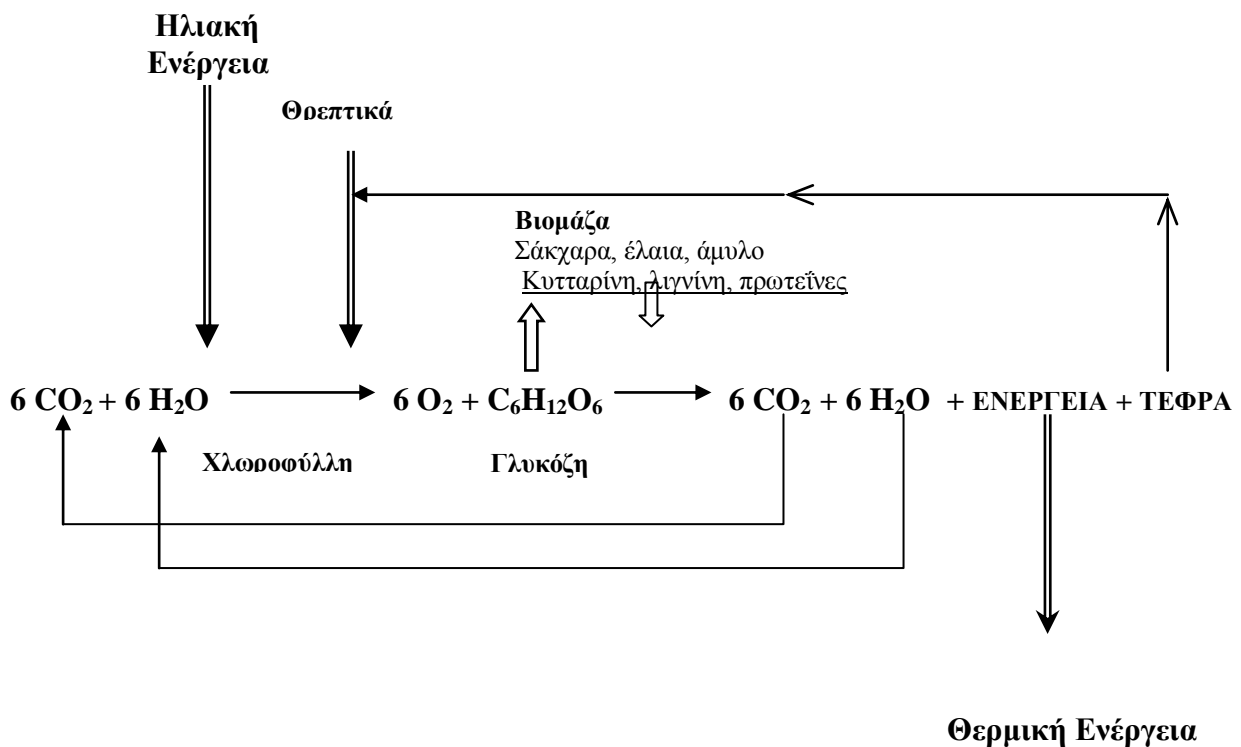
## 2. ΕΝΕΡΓΕΙΑΚΗ ΓΕΩΡΓΙΑ ΚΑΙ ΒΙΟΚΑΥΣΙΜΑ

### 2.1 Η Βιομάζα ως ενεργειακός πόρος

Βιομάζα είναι η μάζα βιολογικών υλικών που προέρχεται από ζωντανούς οργανισμούς και από βιολογικούς μετασχηματισμούς της ύλης.

Η βιομάζα είναι ανανεώσιμη, δηλαδή μετασχηματίζεται, καταστρέφεται και αναπαράγεται. Πρόκειται για έναν αέναο μετατροπέα της ηλιακής ενέργειας η οποία αποθηκεύεται σε χημική μορφή στα οργανικά προϊόντα της φωτοσύνθεσης. Η απόδοση μετατροπής της προσπίπτουσας ηλιακής ακτινοβολίας – ενέργειας σε χημική μέσω της φωτοσύνθεσης των φυτών είναι αρκετά χαμηλή και δεν ξεπερνά το 1-2%. Σύμφωνα με υπολογισμούς που έχουν γίνει το ποσοστό της ηλιακής ακτινοβολίας που μετατρέπεται σε καθαρή πρωτογενή βιομάζα στα χερσαία οικοσυστήματα του πλανήτη είναι κατά μέσο όρο 1% (Βερεσόγλου, 1996).

Οι περισσότερες μορφές βιομάζας συνίστανται από νερό και κυτταρίνες, ημικυτταρίνες και λιγνίνες σε διάφορες αναλογίες, και στις οποίες εμπεριέχεται η αποθηκευμένη χημική ενέργεια. Η τυπική χημική σύνθεση της βιομάζας είναι 50% άνθρακας, 43% οξυγόνο και 6% υδρογόνο και ο χημικός της τύπος είναι  $C_{6n}(H_2O)_{5n}$ . Η θερμική αξία της βιομάζας είναι 15-20 MJ/Kg. Ο κύκλος παραγωγής ενέργειας από βιομάζα είναι σχεδόν κλειστός κύκλος και δίνεται παρακάτω στο σχήμα 1.



**Σχήμα 1:** Ο κύκλος παραγωγής ενέργειας από βιομάζα ( El Bassam, 1998)

Μελέτες και έρευνες των Ηνωμένων Εθνών καθώς και Πολυεθνικών Εταιρειών εξόρυξης πετρελαίου και εμπορίας αυτού, καθώς και των παραγωγών του, έδειξαν ότι τα γνωστά σήμερα αποθέματα πετρελαίου αναμένεται να εξαντληθούν έως το 2027, και το σύνολο των αποθεμάτων του πετρελαίου και του φυσικού αερίου επαρκούν μέχρι τα μέσα του 21<sup>ου</sup> αιώνα. Τα σημερινά αποθέματα πετρελαίου υπολογίζονται στα 1,2 τρισεκατομμύρια βαρέλια ενώ αύξηση της διεθνούς τιμής του πετρελαίου κατά 10 δολάρια συντελεί σε επιβράδυνση τις παγκόσμιας οικονομίας κατά 0,5%. Ακόμη τα παγκόσμια αποθέματα σε κάρβουνο τα οποία είναι τεχνολογικά και οικονομικά εφικτό να εξορυχθούν επαρκούν για 200 περίπου χρόνια σύμφωνα με τον σημερινό ρυθμό εξόρυξης (IEA, 2001).

Η ενεργειακή κρίση του 1973 ώθησε τις κυβερνήσεις των κρατών να αναζητήσουν νέες λύσεις στο πρόβλημα της παραγωγής ενέργειας. Έγινε φανερό τότε ότι η βιομάζα αποτελεί μια σπουδαία πηγή ενέργειας, η οποία είναι δυνατόν να συμβάλει στην άρση του

ενεργειακού αδιεξόδου από την εξάντληση των αποθεμάτων του αργού πετρελαίου, του ορυκτού άνθρακα και του φυσικού αερίου. Μερική λύση αναμένεται να δοθεί και στο πρόβλημα υπερθέρμανσης του πλανήτη εξαιτίας του φαινομένου του θερμοκηπίου, με την μείωση των εκπομπών αερίων που ευθύνονται για την εμφάνιση του φαινομένου αυτού που οδηγεί στις δραματικές κλιματολογικές αλλαγές.

Έχει υπολογιστεί ότι παράγονται 220 δισεκατομμύρια τόνοι ξηρής βιομάζας παγκοσμίως κάθε χρόνο, ποσότητα που έχει ενεργειακό ισοδύναμο που αντιστοιχεί στο δεκαπλάσιο της παγκόσμιας κατανάλωσης ενέργειας.

Η βιομάζα για ενεργειακούς σκοπούς περιλαμβάνει κάθε τύπο που μπορεί να χρησιμοποιηθεί για παραγωγή στερεών, υγρών και αερίων καυσίμων. Ουσιαστικά όμως πρόκειται για δυο τύπους βιομάζας. Αυτοί είναι οι υπολειμματικές μορφές και η βιομάζα που παράγεται από ενεργειακές καλλιέργειες. Οι υπολειμματικές μορφές βιομάζας διακρίνονται σε (ΚΑΠΕ, 2004):

- Υπολείμματα που παραμένουν στον αγρό μετά τη συγκομιδή του κύριου προϊόντος. Τέτοιου είδους υπολείμματα είναι το άχυρο των σιτηρών, τα βαμβακοστελέχη, τα κλαδοδέματα κ.α.
- Υπολείμματα γεωργικών και δασικών βιομηχανιών όπως ελαιοπυρήνες, υπολείμματα εκκοκκισμού, πριονίδια κ.α.
- Απορρίμματα, αστικά και βιομηχανικά απόβλητα (οργανικά).

### **2.1.1 Μετατροπές της βιομάζας**

Η παλαιότερη χρήση της βιομάζας είναι η καύση παρουσία αέρα στους 1000 – 1500 βαθμούς Κελσίου. Χρησιμοποιείται κυρίως για

παραγωγή θερμότητας, σαν διεργασία όμως έχει χαμηλό βαθμό απόδοσης, κάτω από 40%. Ορισμένοι μόνο τύποι βιομάζας, όπως το ξύλο, είναι δυνατόν να χρησιμοποιηθούν απ' ευθείας με καύση για παραγωγή ενέργειας. Απαιτείται συνήθως επεξεργασία της βιομάζας πριν μετατραπεί σε καύσιμο. Υπάρχουν τριών ειδών διεργασίες της βιομάζας για παραγωγή ενέργειας:

#### 1. ΘΕΡΜΟΧΗΜΙΚΗ ΕΠΕΞΕΡΓΑΣΙΑ

- Ανθρακοποίηση (π.χ παραγωγή κάρβουνου)
- Πυρόλυση (π.χ παραγωγή υδρολυτικών ελαίων)
- Αεριοποίηση (π.χ παραγωγή αερίου)

#### 2. ΒΙΟΛΟΓΙΚΗ ΕΠΕΞΕΡΓΑΣΙΑ

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

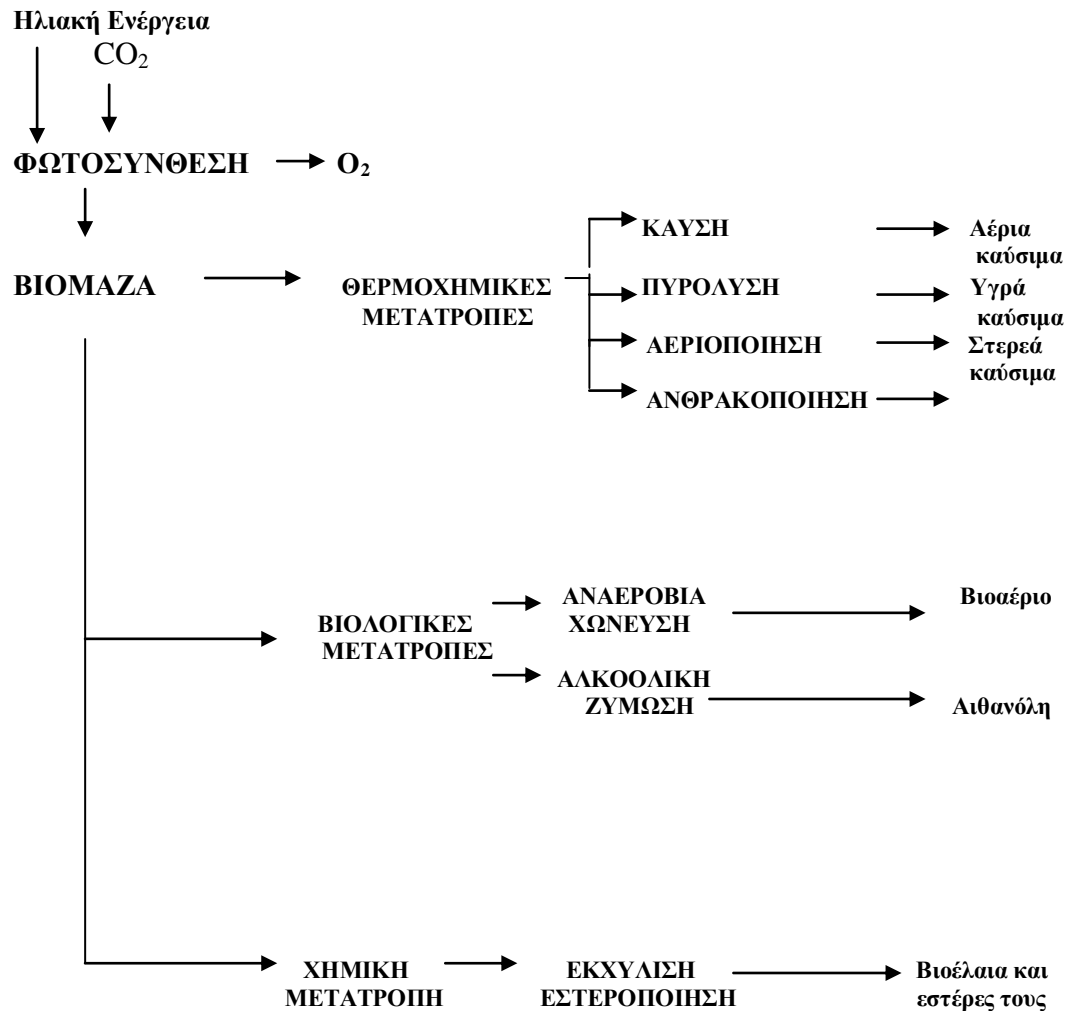
#### 3. ΧΗΜΙΚΗ ΕΠΕΞΕΡΓΑΣΙΑ

- Εκχύλιση ελαίων και εστεροποίηση των τριγλυκεριδίων (π.χ παραγωγή βιοκαυσίμου).

Η επιλογή κάθε φορά της κατάλληλης μεθόδου προσδιορίζεται από την σχέση C/N και την περιεχόμενη στην βιομάζα υγρασία. Η θερμοχημικές μέθοδοι χρησιμοποιούνται για είδη βιομάζας με σχέση C/N > 30 και υγρασία μικρότερη του 50%, όπως στην περίπτωση των κυτταρινούχων ειδών. Αντίθετα για σχέση C/N < 30 και υγρασία της βιομάζας μεγαλύτερη του 50% καταλληλότερη μέθοδος κρίνεται η βιοχημική ως αποτέλεσμα μικροβιακής δράσης. Αξίζει να σημειωθεί ότι και η σχετική αναλογία κυτταρίνης / ημικυτταρίνης / λιγνίνης αποτελούν κριτικό παράγοντα καθορισμού της κατάλληλης μεθόδου επεξεργασίας για κάθε τύπο βιομάζας.

Η βιομάζα που χρησιμοποιείται για παραγωγή ενέργειας πρέπει να έχει χαμηλή περιεκτικότητα σε Cl, διότι πρόκειται για ισχυρά διαβρωτικό παράγοντα, σε K και Ca γιατί τα δύο αυτά στοιχεία

δημιουργούν ανεπιθύμητες επιστρώσεις στις σωληνώσεις , και σε Ν  
ώστε να μειωθούν οι εκπομπές  $\text{NO}_x$  και υγρασία γιατί μειώνεται η  
θερμογόνος δύναμη.



**Σχήμα 2:** Διεργασίες παραγωγής ενέργειας από βιομάζα (Βουρδουμπάς, 2002).



### 2.1.2 Πλεονεκτήματα και μειονεκτήματα της ενεργειακής χρήσης της βιομάζας.

Η βιομάζα αποτελεί μια από τις σημαντικότερες και πλέον υποσχόμενες φιλικές προς το περιβάλλον πηγές ενέργειας. Διαθέτει λοιπόν ορισμένα ισχυρά πλεονεκτήματα, παράλληλα όμως και αξιοπρόσεκτα μειονεκτήματα. Ορισμένα από τα πλεονεκτήματα της ενεργειακής χρήσης της βιομάζας είναι:

- Ουδέτερη επίπτωση στο φαινόμενο του θερμοκηπίου, αφού όση ποσότητα CO<sub>2</sub> εκλύεται κατά την καύση της βιομάζας τόση απορροφάται κατά την φωτοσύνθεση για την παραγωγή ισόποσης βιομάζας.
- Η παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας είναι συνεχής και δεν εξαρτάται από τις καιρικές συνθήκες όπως συμβαίνει με άλλες μορφές ανανεώσιμης ενέργειας π.χ ηλιακή, αιολική και υδροδυναμική.
- Εξαιτίας των χαμηλών συγκεντρώσεων θείου (0,1 – 0,2%) μειώνονται οι επιπτώσεις του φαινομένου της όξινης βροχής.
- Τα υγρά καύσιμα έχουν υψηλούς αριθμούς οκτανίων και παράλληλα χαμηλά επίπεδα αερίων ρύπων.
- Δημιουργούνται πολλά οφέλη στις τοπικές κοινωνίες λόγω αύξησης της τοπικής απασχόλησης, της κατανάλωσης εγχώριων πρώτων υλών κ.α.
- Η αξιοποίηση της βιομάζας μπορεί να γίνει με διάφορες μεθόδους και δίνει υγρά, στερεά και αέρια καύσιμα ανάλογα με τις εκάστοτε ανάγκες της αγοράς.

Δεν ήταν όμως δυνατό να μην διαθέτει και ορισμένα μειονεκτήματα. Η βιομάζα αποτελεί μικρής απόδοσης μετατροπέα της ηλιακής ενέργειας μόλις 1-2% ενώ παράλληλα τα υψηλά ποσοστά υγρασία που περιέχονται μειώνουν κατά πολύ την θερμική της αξία.

Γενικά η απόδοση της βιομάζας σε ενέργεια θα μπορούσε να χαρακτηριστεί χαμηλή έως μέτρια. Αποτέλεσμα των παραπάνω είναι να απαιτούνται μεγάλες ποσότητες βιομάζας για την παραγωγή ενέργειας και κατ' επέκταση τεράστιες εκτάσεις για την παραγωγή αυτών ποσοτήτων βιομάζας. Βέβαια το μειονέκτημα της χαμηλής ενεργειακής αξίας μπορεί εν μέρει να ισοσκελιστεί με την παραγωγή ενεργειακών καλλιεργειών που παρουσιάζουν υψηλές αποδόσεις σε χαμηλά επίπεδα ενεργειακών εισροών.

Προβλήματα παρουσιάζονται και κατά την επεξεργασία της βιομάζας λόγω της εποχικότητας και της διασποράς των πηγών παραγωγής της βιομάζας. Επίσης εξαιτίας της αλλοίωσης που μπορεί να υποστεί η βιομάζα ανακύπτουν προβλήματα προγραμματισμού και χρονικής ακρίβειας της παραγωγής. Δυσκολίες παρατηρούνται και κατά τη συλλογή μεταφορά και αποθήκευση της πρώτης ύλης. Υψηλό είναι και το κόστος παραγωγής της ενέργειας από τη βιομάζα εξαιτίας και του υψηλού κόστους των εγκαταστάσεων επεξεργασίας, κάτι που τα τελευταία χρόνια εξαλείφεται από την άνοδο της τιμής του πετρελαίου διεθνώς.

## **2.2 Ενεργειακή γεωργία**

Θεωρητικά, το 70% της σημερινής καλλιεργήσιμης έκτασης του πλανήτη μπορεί να παραχωρηθεί για παραγωγή βιοενέργειας χωρίς ταυτόχρονα να υπάρξει κίνδυνος μη κάλυψης των διατροφικών αναγκών μέχρι τα μέσα του 21<sup>ου</sup> αιώνα.

Οι ιδιαίτερα αρνητικές επιπτώσεις του φαινομένου του θερμοκηπίου και η μόλυνση του περιβάλλοντος που σε μεγάλο βαθμό οφείλονται στην χρήση ορυκτών καυσίμων, η εξάντληση των αποθεμάτων των πετρελαιοειδών και του φυσικού αερίου και το αδιέξοδο της γεωργικής υπερπαραγωγής στις αναπτυγμένες χώρες, καθιστούν την ενεργειακή γεωργία την μελλοντική ελπιδοφόρο λύση

του ενεργειακού προβλήματος. Συνέπεια των παραπάνω είναι οι εξελίξεις στον τομέα της ενεργειακής γεωργίας να είναι ταχύτατες.

### **2.2.1 Πλεονεκτήματα της ενεργειακής γεωργίας**

Τα πλεονεκτήματα της ενεργειακής γεωργίας μπορούν να διακριθούν σε οικονομικά, κοινωνικά και περιβαλλοντικά.

Συγκρινόμενη με την συμβατική γεωργία που έχει ως στόχο κυρίως την κάλυψη των διατροφικών και λοιπών καθημερινών αναγκών του ανθρώπου, η ενεργειακή γεωργία έχει σαφώς χαμηλότερες απαιτήσεις σε λιπάσματα και αγροχημικά για τον έλεγχο εχθρών και ζιζανίων. Επίσης μπορεί να εκμεταλλευτεί καλύτερα εδάφη με χαμηλή γονιμότητα, εμποδίζοντας και τη διάβρωση, και προσαρμόζεται καλύτερα σε συνθήκες χαμηλής εδαφικής υγρασίας και υδατικής καταπόνησης. Στα παραπάνω περιβαλλοντικά κυρίως αλλά και εν μέρει οικονομικά πλεονεκτήματα αξίζει να προσθέσουμε και ορισμένα κοινωνικό-οικονομικά οφέλη. Αυτά είναι η προσφορά εναλλακτικών καλλιεργητικών λύσεων, η ενδυνάμωση του αγροτικού χώρου, η αύξηση του αγροτικού εισοδήματος, η μείωση των περιφερειακών ανισοτήτων και η αναζωογόνηση των λιγότερο αναπτυγμένων γεωργικών οικονομιών, η εξασφάλιση της αειφόρου ανάπτυξης και τέλος η μείωση της εξάρτησης από το πετρέλαιο και η ασφάλεια στον εφοδιασμό ενέργειας (ΚΑΠΕ, 2004).

### **2.2.2 Ενεργειακές καλλιέργειες**

Σύμφωνα με τη Λευκή Βίβλο, στόχος της ΕΕ για το 2010 είναι οι ανανεώσιμες πηγές ενέργειας να καλύπτουν το 12% των ενεργειακών αναγκών από 6% που ήταν το 2000. Ο αντίστοιχος στόχος για τα βιοκαύσιμα είναι η παραγωγή τους να φθάσει τους 135 ΜΤΙΠ (μεγατόνους ισοδύναμου πετρελαίου) εκ των οποίων το ένα τρίτο θα

προέρχεται από τις ενεργειακές καλλιέργειες και τα άλλα δύο τρίτα από την χρήση γεωργικών και δασικών υπολειμμάτων. Για να γίνει κάτι τέτοιο πραγματικότητα απαιτείται η αποδέσμευση περίπου 100 εκατομμυρίων στρεμμάτων από άλλες χρήσεις και η παραγωγή σε αυτά ενεργειακών καλλιεργειών. Διάφορες έρευνες έδειξαν ότι η Ευρωπαϊκή Ένωση πριν την τελευταία διεύρυνση διαθέτει περίπου 200-250 εκατομμύρια γεωργικής γης.

Περισσότερα από 30 είδη φυτών που μελετώνται στην Ευρώπη για γεωργική χρήση προορίζονται για χρήση ως ενεργειακά φυτά. Τα τελευταία χρόνια μάλιστα έχει αναπτυχθεί ένα διευρυμένο δίκτυο αποτελούμενο από ερευνητικά κέντρα, ιδρύματα και πανεπιστήμια από όλη την Ευρώπη, με σκοπό την μελέτη και εισαγωγή των ενεργειακών καλλιεργειών στην γεωργική πραγματικότητα της Ευρώπης.

Οι ενεργειακές καλλιέργειες είναι καλλιεργούμενα ή αυτοφυή είδη παραδοσιακά ή νέα, τα οποία παράγουν ως κύριο προϊόν βιομάζα που μπορεί να χρησιμοποιηθεί για διάφορους ενεργειακούς σκοπούς (ΚΑΠΕ, 2004). Παραδοσιακές καλλιέργειες που μπορούν επίσης να χρησιμοποιηθούν για παραγωγή ενέργειας είναι το σιτάρι, το κριθάρι, ο αραβόσιτος, τα ζαχαρότευτλα, ο ηλίανθος κ.α. «Νέες» ενεργειακές καλλιέργειες είναι είδη με υψηλή παραγωγικότητα σε βιομάζα ανά μονάδα γης και διακρίνονται σε γεωργικές και δασικές. Περαιτέρω οι γεωργικές ενεργειακές καλλιέργειες διακρίνονται σε ετήσιες και πολυετείς.

Προκειμένου μία ενεργειακή καλλιέργεια να είναι ιδανική πρέπει να διαθέτει ορισμένα χαρακτηριστικά γνωρίσματα. Αυτά είναι:

- Υψηλή αποδοτικότητα χρήσης του νερού, των θρεπτικών συστατικών και της ηλιακής ακτινοβολίας.
- Υψηλό δυναμικό παραγωγής (μέγιστη παραγωγή ξηρής ουσίας / εκτάριο) και υψηλή ενεργειακή αξία (MJ/Kg).
- Χαμηλές ενεργειακές εισροές.

- Χαμηλό κόστος παραγωγής.
- Χαμηλές θρεπτικές απαιτήσεις και εισροές αγροχημικών.
- Αντοχή στην υδατική καταπόνηση.
- Ανθεκτικότητα σε εχθρούς και ασθένειες.
- Χαμηλή περιεκτικότητα σε υγρασία κατά τη συγκομιδή.
- Ελάχιστες δυνατές περιβαλλοντικές επιπτώσεις.
- Ευκολία εισαγωγής στο υπάρχον σύστημα εναλλαγής καλλιεργειών.
- Σταθερές αποδόσεις (ποσοτικά και ποιοτικά).
- Ανταγωνιστικό εισόδημα έναντι των άλλων καλλιεργειών.
- Χρήση του υπάρχοντος μηχανολογικού εξοπλισμού ή με μικρές μετατροπές αυτού.
- Διαθεσιμότητα κατάλληλου γενετικού υλικού (σπόροι, ριζώματα).

Μελέτες που πραγματοποιήθηκαν όλα αυτά τα χρόνια σε όλη την Ευρώπη έδειξαν πως στην Βόρεια και Δυτική Ευρώπη είναι περισσότερο αποδοτικές οι δασικές καλλιέργειες μικρού περιόδου κύκλου (*short rotation*), ενώ στην Δυτική Ευρώπη τα C<sub>3</sub> και στην Νότια Ευρώπη τα C<sub>4</sub> φυτά.

Η έρευνα γύρω από τις ενεργειακές καλλιέργειες ξεκίνησε στην Ελλάδα στις αρχές της προηγούμενης δεκαετίας. Η έρευνα αυτή έδειξε ότι στην Ελλάδα θα μπορούσαν να χρησιμοποιηθούν επιτυχώς για παραγωγή υγρών και στερεών βιοκαυσίμων οι καλλιέργειες:

#### A. Δασικές ενεργειακές καλλιέργειες

- Είδη ευκαλύπτου κυρίως *Eucalyptus globules* Labill και *Eucalyptus camaldulensis* Dehnh.
- Ψευδακακία (*Robinia pseudoacacia* L.)

#### B. Πολυετείς γεωργικές ενεργειακές καλλιέργειες

- Αγριαγκινάρα (*Cynara Brauncardunculus* L.)
- Καλάμι (*Arundo donax* L.)

- Μίσχανθος (*Miscanthus x giganteus* GREEF et DEU)
- Switchgrass - είδος κεχριού (*Panicum virgatum* L.)

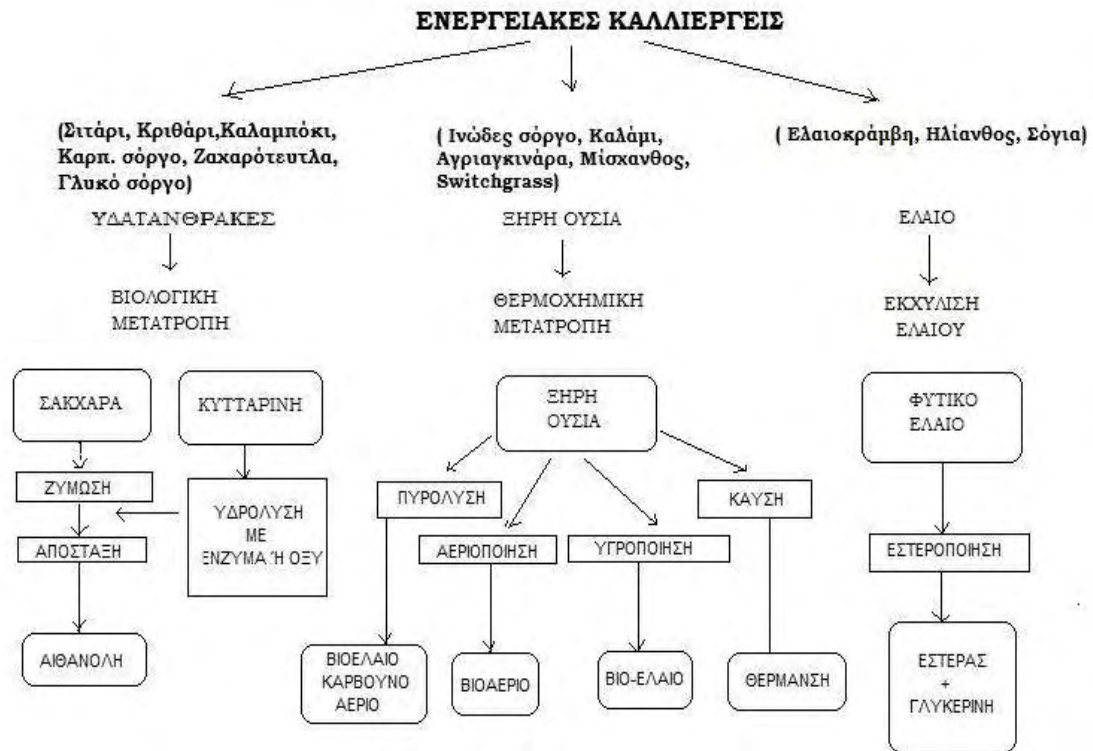
#### Γ. Ετήσιες γεωργικές ενεργειακές καλλιέργειες

- Αραβόσιτος (*Zea mays* L.)
- Γλυκό και ινώδες σόργο (*Sorghum bicolor* L.)
- Ελαιοκράμβη (*Brassica napus* L., *Brassica carinata* L. Braun)
- Ζαχαρότευτλα (*Beta vulgaris* L.)
- Ηλιανθος (*Helianthus annuus* L.)
- Κενάφ (*Hibiscus cannabinus* L.)
- Κριθάρι (*Hordeum sativum/ Vulgare* L.)
- Σιτάρι (*Triticum aestivum* L.)

Άλλα είδη που χρησιμοποιούνται ήδη ή που μελετώνται στην Ευρώπη για χρήση ως ενεργειακά φυτά, και έχουν δώσει ιδιαίτερα ενθαρρυντικά αποτελέσματα είναι τα *Salix* sp. (Ιτιά), *Secale cereale* (Σίκαλη) , *Triticale* (Τριπικάλε) , *Phalaris arundinacea*, *Populus* sp. (Λεύκα) , *Cannabis sativa* (Ημερη Κάνναβη) , *Alnus* sp. (Σκλήθρο) , *Helianthus tuberosus* (Κολοκάσι) και *Camelina sativa* (Ψευδολινάρι).

Η έρευνα αυτή σχεδόν δύο δεκαετίες στη χώρα μας έδειξε πως τα περισσότερα από τα παραπάνω είδη προσαρμόζονται πάρα πολύ καλά στις εδαφοκλιματικές συνθήκες της Ελλάδας και παρουσιάζουν υψηλές αποδόσεις. Ωστόσο, πολλές φορές οι αποδόσεις που επιτυγχάνονται σε πειραματικά τεμάχια, λόγω των άριστων επιπέδων άρδευσης, αζωτούχου λίπανσης και πυκνότητας σποράς, δεν επιβεβαιώνονται κατά την εγκατάσταση των καλλιεργειών σε εμπορική κλίμακα. Σύμφωνα με τα αποτελέσματα των ερευνών που διεξήχθησαν μέχρι σήμερα στη χώρα μας, οι παραγωγικότερες ενεργειακές καλλιέργειες είναι το καλάμι, η αγριαγκινάρα και το γλυκό σόργο, με παραγωγικό που ξεπερνά τους 3 τόνους ξηρής βιομάζας ανά στρέμμα. Από τις ετήσιες καλλιέργειες το γλυκό σόργο προορίζεται για την παραγωγή βιοαιθανόλης και η ελαιοκράμβη για παραγωγή βιοντήζελ. Από τις πολυετείς καλλιέργειες, το καλάμι και η αγριαγκινάρα ενδείκνυται

για παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας και για θέρμανση. Τα δύο αυτά φυτά αξιοποιούν εδάφη με υψηλή υπόγεια στάθμη νερού και ξερικά – χαμηλής γονιμότητας .



**Σχήμα 3:** Κύριες ενεργειακές καλλιέργειες, διεργασίες μετατροπής και βιοκαύσιμα.

## 2.3 Βιοκαύσιμα

Ανάλογα με την φυσική τους κατάσταση, τα βιοκαύσιμα διακρίνονται σε υγρά, στερεά και αέρια. Τα υγρά βιοκαύσιμα χρησιμοποιούνται κυρίως στις μεταφορές, τα στερεά για παραγωγή θερμικής και

ηλεκτρικής ενέργειας ενώ τα αέρια βιοκαύσιμα έχουν πολλαπλές χρήσεις. Η βιοαιθανόλη, το βιοντήζελ και το βιοαέριο είναι τα πιο κοινά βιοκαύσιμα από αγροτικούς πόρους.

Σημειώνεται ότι η μετατροπή της βιομάζας σε βιοκαύσιμα εξοικονομεί λιγότερη ενέργεια και η μείωση των εκπομπών αερίων του θερμοκηπίου είναι μικρότερη, σε σχέση με τη χρήση τους για άλλους ενεργειακούς σκοπούς ( π.χ. απευθείας καύση για ηλεκτροπαραγωγή ) λόγω της επιπλέον ενέργειας που απαιτείται για τη μετατροπή της βιομάζας σε βιοκαύσιμο. Επίσης, το γεγονός ότι ο λόγος εκροές/εισροές για τα στερεά βιοκαύσιμα είναι κατά πολύ μεγαλύτερος από αυτό των υγρών καυσίμων, υποδεικνύει ότι από περιβαλλοντικής πλευράς τα στερεά πλεονεκτούν των υγρών καυσίμων. Ωστόσο, η βιομάζα είναι ο μοναδικός ανανεώσιμος πόρος ενέργειας από τον οποίο μπορούν να παραχθούν υγρά καύσιμα για τις μεταφορές, γεγονός σημαντικό αν συνεκτιμηθεί ότι το 21% του συνόλου των εκπομπών αερίων θερμοκηπίου που συμβάλουν στη θέρμανση της υδρογείου οφείλεται στις μεταφορές, ενώ συγχρόνως οι απαιτούμενες ποσότητες καυσίμων για μεταφορές αναμένεται να αυξηθούν σημαντικά παγκοσμίως.

Ανάλογα με τη χρησιμοποιούμενη τεχνολογία, τα βιοκαύσιμα διακρίνονται σε πρώτης και δεύτερης γενιάς. Βιοκαύσιμα της πρώτης γενιάς είναι η αιθανόλη και το βιοντήζελ ενώ δεύτερης γενιάς το βιοντήζελ Fisher – Tropesch, η αιθανόλη από λιγνοκυτταρινούχες πρώτες ύλες ( π.χ άχυρο, ξύλο), το βιο-DME (διμεθυλαιθέρας) και το συνθετικό φυσικό αέριο ( Thuijl et al., 2003).

Τα πλέον ελκυστικά βιοκαύσιμα για τον τομέα των μεταφορών τόσο για την ΕΕ, όσο και για την Ελλάδα, φαίνεται να είναι το βιοντήζελ και η βιοαιθανόλη. Προς το παρόν είναι τα μοναδικά που παράγονται σε εμπορική κλίμακα, διατίθενται στην αγορά καυσίμων και στο εγγύς μέλλον φαίνεται ότι θα συνεχίσουν να αποτελούν τα μοναδικά βιοκαύσιμα κίνησης. Στον παρακάτω πίνακα γίνεται συγκριτική



παρουσίαση των χαρακτηριστικών των δύο βιοκαυσίμων σε σχέση με αυτά των ορυκτών υγρών καυσίμων που υποκαθιστούν.

**Πίνακας 1:** Σύγκριση χαρακτηριστικών των δύο κύριων βιοκαυσίμων με τα αντίστοιχα των ορυκτών υγρών καυσίμων που υποκαθιστούν (Thuijl et al. 2003).

<b>Ιδιότητες καυσίμων</b>	<b>Βιοντήζελ</b>	<b>Ντίζελ</b>	<b>Αιθανόλη</b>	<b>ΕΤΒΕ</b>	<b>Βενζίνη</b>
Χημικός τύπος	Μεθυλεστέρας	C <sub>12</sub> H <sub>26</sub>	C <sub>2</sub> H <sub>5</sub> OH	C <sub>4</sub> H <sub>9</sub> -OC <sub>2</sub> H <sub>5</sub>	C <sub>8</sub> H <sub>15</sub>
Μοριακό βάρος (Kg/kmol)	296	170-200	46	102	111
Αριθμός κετονίων	54	50	11	-	8
Αριθμός οκτανίων (RON)	-	-	109	118	97
Αριθμός οκτανίων (MON)	-	-	92	105	86
Τάση ατμών στους 15° C (KPa)	-	-	16.5	28	75
Πυκνότητα στους 15° C (Kg/l)	0.88	0.84	0.80	0.74	0.75
Ελάχιστη θερμική αξία (15° C- MJ/Kg)	37.3	42.7	26.4	36.0	41.3
Ελάχιστη θερμική αξία (15° C- MJ/l)	32.8	35.7	21.2	26.7	31
Στοιχειομετρική αναλογία αέρα/ καυσίμου(Kg αέρα / Kg καυσίμου)	12.3	14.53	9.0	-	14.7
Περιεκτικότητα οξυγόνου (% κ.β)	9.2-11.0	0-0.6	-	-	-
Κινηματικό ιξώδες (mm <sup>2</sup> /s) στους 20° C	7.4	4.0	-	-	-
Σημείο καύσης (° C)	91-135	77	-	-	-
Σημείο βρασμού (° C)	-	-	78	72	30-190

Το βιοντήζελ είναι μεθυλεστέρας που παράγεται κυρίως από ελαιούχους σπόρους ( ελαιοκράμβη, ηλίανθος, σόγια, κ.α) με μετεστεροποίηση των φυτικών ελαίων και παραγωγή εστέρων των τριγλυκεριδίων. Χρησιμοποιείται σε πετρελαιοκινητήρες μόνο του ή σε μίγμα με ντίζελ.

Η βιοαιθανόλη παράγεται από σακχαρούχα, κυτταρινούχα και αμυλούχα φυτά (σιτάρι, καλαμπόκι, σόργο, ζαχαρότευτλα, κ.α). Κύριος τρόπος παραγωγής της είναι η ζύμωση των αμυλούχων-σακχαρούχων συστατικών και ο διαχωρισμός της αιθανόλης με απόσταξη (ΚΑΠΕ, 2004). Χρησιμοποιείται για την αύξηση του αριθμού των οκτανίων της βενζίνης και για βελτίωση της ποιότητάς της, συνήθως σε μίγμα Ε10

(10% αιθανόλη + 90% βενζίνη). Η αυτοκινητοβιομηχανία πλέον διαθέτει στο εμπόριο μοντέλα ( FFV, Flexible Fuel Vehicle ) που χρησιμοποιούν μίγμα E85 ( 85% αιθανόλη + 15% βενζίνη ) ή οποιοδήποτε άλλο μίγμα αιθανόλης βενζίνης.

Άλλα βιοκαύσιμα είναι τα βιο- ETBE (αιθυλο-τριτοταγής βουτυλ-εστέρας) και βιο-METBE (μεθυλο-τριτοταγής βουτυλ-εστέρας) που παράγονται με μίξη 48% και 36% αιθανόλης με ισοβουτυλένιο, η βιομεθανόλη η οποία παράγεται με αεριοποίηση, το βιοαέριο που παράγεται με αναερόβια ζύμωση υγρής βιομάζας, το βιο-υδρογόνο και ο διμεθυλαιθέρας.

Κύρια πλεονεκτήματα των βιοκαυσίμων είναι ότι είναι CO<sub>2</sub> ουδέτερα, κατά την καύση τους εκπέμπονται μικρότερες ποσότητες ρύπων, είναι βιοαποδομήσιμα, και συμβάλλουν στην αειφορία, ενώ πρακτικά δεν παράγουν οξείδια του θείου. Επιπλέον, η αιθανόλη δεν περιέχει επικίνδυνους αρωματικούς υδρογονάνθρακες, ενώ πλεονεκτεί και στις εκπομπές μονοξειδίου και διοξειδίου του άνθρακα. Συγκεκριμένα η προσθήκη 5% αιθανόλης σε βενζίνη μειώνει κατά 7% τους αρωματικούς υδρογονάνθρακες και κατά 50% τις εκπομπές CO<sub>2</sub>. Επίσης η χρήση της βιοαιθανόλης και των βιοελαίων ως καύσιμα οδηγεί σε μείωση της φωτοχημικά σχηματιζόμενης αιθαλομίχλης στην ατμόσφαιρα. Εκτός από τη μείωση της μη σημειακής ρύπανσης που οφείλεται στις εκπομπές αερίων ρύπων, τα βιοκαύσιμα δεν προκαλούν σημαντική ρύπανση σε περιπτώσεις ατυχημάτων ή διαρροών πετρελαιοειδών. Η βιοαιθανόλη έχει πολύ χαμηλή τοξικότητα σε σχέση με τα πετρελαιοειδή και είναι άμεσα βιοαποδομήσιμη στο νερό και το έδαφος, ενώ τα βιοέλαια βιοαποδομούνται κατά 80% σε μόλις 28 ημέρες.

Ωστόσο, εντοπίζονται και ορισμένα κύρια μειονεκτήματα. Σε αυτά συγκαταλέγονται το υψηλό κόστος παραγωγής των βιοκαυσίμων με την υπάρχουσα τεχνολογία, καθιστώντας τα μη ανταγωνιστικά προς τα ορυκτά καύσιμα όπως επίσης και ότι απαιτούνται μεγάλες εκτάσεις καλλιεργήσιμης γης για την παραγωγή των πρώτων υλών.

Ειδικότερα, το βιοντήζελ και η βιοαιθανόλη έχουν κόστος (χωρίς να λαμβάνονται υπ' όψιν οι κρατικές ενισχύσεις) 2-3 φορές υψηλότερο από το αντίστοιχο των ορυκτών καυσίμων (ΚΑΠΕ, 2005). Μοναδική εξαίρεση αποτελεί η Βραζιλία όπου πλέον η βιοαιθανόλη που παράγεται από ζαχαροκάλαμο είναι ήδη ανταγωνιστική έναντι των ορυκτών υγρών καυσίμων. Για την ΕΕ τα παραγόμενα βιοντήζελ και βιοαιθανόλη καθίστανται ανταγωνιστικά με τιμές πετρελαίου 60€ και 90 € ανά βαρέλι αντίστοιχα, ενώ υπολογίζεται ότι η έρευνα και η τεχνολογική ανάπτυξη στον τομέα των βιοκαυσίμων θα επιφέρει μείωση του κόστους παραγωγής κατά 30% μετά το έτος 2010.

Σχετικά με τις απαιτούμενες εκτάσεις, για αντικατάσταση του 5% της βενζίνης από αιθανόλη και του 5% του πετρελαίου κίνησης από βιοντήζελ στην ΕΕ και τις ΗΠΑ, απαιτείται περίπου το 20% (5% για αιθανόλη και 15% για βιοντήζελ) και 21% (8% για αιθανόλη και 13% για βιοντήζελ) της συνολικής καλλιεργήσιμης έκτασης τους αντίστοιχα.

## **2.4 Σημερινή κατάσταση και προοπτικές**

Σήμερα η βιομάζα καλύπτει το 14-15% της συνολικά χρησιμοποιούμενης ενέργειας παγκοσμίως και είναι ο τέταρτος ενεργειακός πόρος. Είναι η σπουδαιότερη πηγή ανανεώσιμης ενέργειας αντιπροσωπεύοντας το 68% της παγκόσμιας παραγωγής ενέργειας από ανανεώσιμους πόρους ( United Nations, 2004). Η χρήση βιομάζας καλύπτει το 35% των αναγκών πρωτογενούς ενέργειας των αναπτυσσόμενων χωρών και το 3% των αναγκών των ανεπτυγμένων χωρών. Ο Διεθνής Οργανισμός Ενέργειας (IEA) υπολογίζει ότι περίπου 2,4 δισεκατομμύρια του πληθυσμού των αναπτυσσομένων χωρών εξαρτώνται από τη βιομάζα για την κάλυψη των πρωτογενών τους αναγκών (World Energy Outlook, 2006).

Σε ορισμένες χώρες το ποσοστό συμμετοχής της βιομάζας στην παραγωγή πρωτογενούς ενέργειας είναι ιδιαίτερα υψηλό, όπως για παράδειγμα στη Βραζιλία 23,4%, τη Φιλανδία 20,4%, και τη Σουηδία 17,5%. Μάλιστα η Σουηδία προγραμματίζει μέχρι το 2020 να αυξήσει το ποσοστό αυτό στο 40%.

Οι ΗΠΑ και η Βραζιλία έχουν τα μεγαλύτερα προγράμματα προώθησης της χρήσης των βιοκαυσίμων παγκοσμίως, με την ΕΕ να ακολουθεί στην Τρίτη θέση (World Energy Outlook, 2001). Με την ενθάρρυνση μέτρων πολιτικής η συνολική παραγωγή βιοκαυσίμων εκτιμάται ότι υπερβαίνει πλέον τα 35 δισεκατομμύρια λίτρα παγκοσμίως. Το κόστος διαφόρων μορφών βιοενέργειας δίνεται στον πίνακα 2.

**Πίνακας 2:** Κόστος διαφόρων μορφών βιοενέργειας

<b>Εκμετάλλευση Βιοενέργειας</b>	<b>Κόστος</b>
Θέρμανση	25€/MWh
Παραγωγή ξηρών καυσίμων (pellets)	80€/τόνο
Ηλεκτροπαραγωγή	40-50€/MWh
Βιοαιθανόλη	250€/τόνο (Βραζιλία 220€/τόνο)
Βιοϋδρογόνο	1500€/τόνο
Βιομεθανόλη	200-250€/τόνο

\* τιμές υπολογισμένες για το 2003

Στην ΕΕ η βιομάζα αντιπροσωπεύει τα δύο τρίτα (65%) των ανανεώσιμων πηγών ενέργειας και το 5,61% της συνολικά χρησιμοποιούμενης ενέργειας (EurObservER, 2006). Κατά την περίοδο 1999-2000 η παραγωγή θερμότητας και ηλεκτρικής ενέργειας από βιομάζα αυξήθηκε περίπου 2% και 9% ανά έτος αντίστοιχα, ενώ η παραγωγή βιοκαυσίμων οκταπλασιάστηκε. Η συνολική παραγωγή βιοκαυσίμων το 2005 ήταν 3,9 εκατομμύρια τόνοι, αυξημένη κατά 65,8% σε σχέση με το 2004, εκ των οποίων το 81,5% ήταν βιοντίζελ και το 18,5%

αιθανόλη (EurObservER, 2006). Επιπλέον παρήχθησαν περίπου 5 ΜΤΠΠ βιοαέριο κυρίως στη Βρετανία και τη Γερμανία. Υπολογίζεται ότι η έκταση που καλλιεργήθηκε το 2004 στην ΕΕ για παραγωγή βιοκαυσίμων ήταν 14 εκατομμύρια στρέμματα, ενώ το 2005 περίπου 18 εκατομμύρια στρέμματα.

Στην Ελλάδα, οι ανανεώσιμες πηγές ενέργειας αντιπροσωπεύουν το 5,2% της ενέργειας, με τη βιομάζα να αποτελεί το 67% αυτών, ενώ το 74% της ενέργειας από βιομάζα αφορά σε οικιακή χρήση. Για την Ελλάδα το 2005 ήταν η πρώτη χρονιά παραγωγής βιοντήζελ και παρήχθησαν 3000 τόνοι βιοκαυσίμου.

### **2.4.1 Βιοαιθανόλη**

Η παγκόσμια παραγωγή αιθανόλης (για όλους τους σκοπούς) το 2005 πλησίασε τα 46 δισεκατομμύρια λίτρα, με κύριες παραγωγούς χώρες τις ΗΠΑ και τη Βραζιλία να καλύπτουν το 70% περίπου της παγκόσμιας παραγωγής (16,4 και 16 δισεκατομμύρια λίτρα αντίστοιχα) (Ethanol Outlook, 2006). Το 2004 η παγκόσμια παραγωγή βιοαιθανόλης για χρήση ως καύσιμο ήταν περίπου 30 δισεκατομμύρια λίτρα.

Τα αντίστοιχα δεδομένα στην ΕΕ είναι σαφώς πολύ μικρότερα. Το 2005 η παραγωγή αιθανόλης ανήλθε σε 720.927 τόνους έναντι 422,754 τόνων το 2004. Παρατηρήθηκε δηλαδή μία αύξηση της τάξης του 70,5% με κύριες παραγωγούς χώρες την Ισπανία (240.000 τόνους) και τη Σουηδία (130.160 τόνους). Επίσης η παραγωγή ΕΤΒΕ, από εγχώρια και εισαγόμενη αιθανόλη έφτασε τους 1.940.000 τόνους (EurObservER, 2006).

Για την παραγωγή βιοαιθανόλης χρησιμοποιείται ως πρώτη ύλη το ζαχαροκάλαμο στη Βραζιλία, κυρίως αραβόσιτος στις ΗΠΑ, δημητριακά και ζαχαρότευτλα στην ΕΕ.

Στην Βραζιλία η οποία διαθέτει την πιο αναπτυγμένη βιομηχανία βιοκαυσίμων, περισσότερα από τα μισά αυτοκίνητα που κυκλοφορούν

χρησιμοποιούν αλκοόλη, ενώ τα υπόλοιπα καταναλίσκουν μίγμα βενζίνης – αλκοόλης σε αναλογία 80% - 20% αντίστοιχα. Η μέση ετήσια παραγωγή 12 δισεκατομμυρίων λίτρων αιθανόλης αντιστοιχεί σε εξοικονόμηση 73 εκατομμυρίων βαρελιών πετρελαίου για τη χώρα.

Στις ΗΠΑ το 12% που διατέθηκε το 2001 περιείχε αιθανόλη ως προσθετικό καυσίμου, εξοικονομώντας περίπου 2 δισεκατομμύρια δολάρια από εισαγωγές πετρελαίου και με συνολικό όφελος για τη γεωργική οικονομία περίπου 4,5 δισεκατομμύρια δολάρια (ΚΑΠΕ, 2004). Αξιοσημείωτο είναι ότι η παραγωγή αιθανόλης από 568 εκατομμύρια λίτρα το έτος 1981 έφτασε τα 16,14 δισεκατομμύρια λίτρα το έτος 2005, αυξήθηκε δηλαδή κατά 28 φορές περίπου (Ethanol Outlook, 2006) .

Τέλος η παγκόσμια ζήτηση για αιθανόλη αναμένεται να διπλασιαστεί μέσα στην επόμενη δεκαετία.

#### **2.4.2 Βιοντήζελ**

Η Ευρωπαϊκή Ένωση είναι μακράν η κύρια παραγωγός βιοντήζελ σε παγκόσμιο επίπεδο. Η παγκόσμια παραγωγή βιοντήζελ το 2003 ανήλθε στα 1,8 δισεκατομμύρια λίτρα περίπου. Το 2005 η παραγωγή βιοντήζελ στην ΕΕ έφτασε τους 3.184.000 τόνους έναντι 1.933.400 τόνων το 2004, πραγματοποιώντας μία αύξηση της τάξης του 64,7%. Η Γερμανία κατέχει το 52,4% της παραγωγής με 1.669.000 τόνους, ενώ 492.000 και 396.000 τόνοι παρήχθησαν από τη Γαλλία και την Ιταλία αντίστοιχα. Για το 2006 η παραγωγή αναμενόταν να φτάσει τα 6.000.000 τόνους (EurObservER, 2006). Αξίζει να σημειωθεί ότι η παραγωγή βιοντήζελ στην ΕΕ παρουσίασε μέση ετήσια αύξηση 34,5% κατά την περίοδο 1992-2003, η οποία αντιστοιχεί σε επίπεδο παραγωγής 26 φορές μεγαλύτερο από αυτό του έτους 1992(ΚΑΠΕ, 2004).

Το κόστος παραγωγής βιοντήζελ στις χώρες της ΕΕ είναι περίπου 0,5 €/lit ενώ προβλέπεται μακροπρόθεσμα μείωση του κατά 0,2 €/lit

συμπεριλαμβανομένης της αξίας των υποπροϊόντων του όπως είναι η γλυκερίνη (Thuijl et al, 2003).

Στις ΗΠΑ που είναι η δεύτερη παραγωγός βιοντήζελ σε παγκόσμιο επίπεδο, η παραγωγή από 25 εκατομμύρια γαλόνια το 2004 τριπλασιάστηκε και έφτασε τα 75 δισεκατομμύρια γαλόνια (περίπου 284 εκατομμύρια λίτρα) το 2005 (Canadian Renewable Fuels Association, 2006).

Για την παραγωγή βιοντήζελ, ως πρώτη ύλη χρησιμοποιείται κυρίως ελαιοκράμβη στις χώρες της ΕΕ και σόγια στις ΗΠΑ.

### **2.4.3 Προοπτικές**

Σύμφωνα με πλήθος μελετών, η βιομάζα θα καλύπτει στο μέλλον το 10-50% των παγκόσμιων αναγκών πρωτογενούς ενέργειας. Το ποσοστό αυτό είναι άμεσα συνδεδεμένο με παράγοντες όπως η διαθεσιμότητα πόρων, το κόστος της βιομάζας ως πρώτη ύλη, η τεχνολογική ανάπτυξη και το κόστος των μεθόδων μετατροπής της βιομάζας σε ενέργεια. Σημαντικό ρόλο παίζουν επίσης και κοινωνικοί παράγοντες.

Το πρόγραμμα TERES II της ΕΕ προβλέπει ότι ενέργεια 228 μεγατόνων ισοδύναμου πετρελαίου (ΜΤΙΠ) θα εξασφαλίζεται το έτος 2020 από ανανεώσιμες πηγές ενέργειας, από το οποίο το 31,1% θα προέρχεται από ενεργειακή γεωργία, το 24,5% από βιομάζα απορριμμάτων και το 15,2% από γεωργικά και δασικά υπολείμματα. Για την επίτευξη του στόχου από εγχώρια παραγωγή, θα χρειαστεί καλλιέργεια του 4% έως 13% των συνολικών γαιών της ΕΕ των 25, ανάλογα με την επιλογή των καλλιεργειών και την τεχνολογική ανάπτυξη που θα παρατηρηθεί.

Σύμφωνα με τη Λευκή Βίβλο, το 8% της ηλεκτρικής ενέργειας θα προέρχεται από βιομάζα το 2010. Σημαντικά θα είναι και τα κοινωνικό-οικονομικά οφέλη αφού η όλη διαδικασία παραγωγής βιοενέργειας θα δημιουργήσει στις χώρες της ΕΕ περίπου 200.000 νέες θέσεις εργασίας το 2010 που αναμένεται να φτάσουν τα 2 εκατομμύρια το 2020.

Μακροπρόθεσμα η Ευρωπαϊκή Επιτροπή αναμένει κάλυψη από βιομάζα του 20% των σημερινών αναγκών πρωτογενούς ενέργειας της ΕΕ, με περισσότερα από 200 εκατομμύρια στρέμματα να χρησιμοποιούνται στην καλλιέργεια ενεργειακών φυτών.

Κεντρικός μοχλός της ευρωπαϊκής πολιτικής στήριξης και προώθησης της βιοενέργειας είναι οι Οδηγίες 2003/30/ΕΚ για τα βιοκαύσιμα και 2003/96/ΕΚ για τη φορολόγηση της ενέργειας. Σύμφωνα με την Οδηγία 2003/30/ΕΚ, προβλέπεται αντικατάσταση του 2% των καυσίμων στις μεταφορές με βιοκαύσιμα το 2006, ενώ το ποσοστό για το 2010 ανέρχεται σε 5,75%. Η δεύτερη οδηγία προβλέπει φορολογικές μειώσεις – απαλλαγές υπέρ των βιοκαυσίμων, υπό ορισμένες προϋποθέσεις. Ακόμη η αποσύνδεση των οικονομικών ενισχύσεων από την παραγωγή με την ενδιάμεση αναθεώρηση της ΚΑΠ το 2003 θα συμβάλει στην ανάπτυξη των ενεργειακών καλλιεργειών στις χώρες της ΕΕ. Ορισμένα άλλα μέτρα για την προώθηση της ενεργειακής γεωργίας είναι η πρόβλεψη οικονομικής ενίσχυσης των ενεργειακών καλλιεργειών με 45€ / εκτάριο για 1,5 εκατομμύρια εκτάρια καθώς και η δυνατότητα χρήσης των εκτάσεων υποχρεωτικής αγρανάπαυσης για καλλιέργεια ενεργειακών φυτών. Επιπλέον το σύστημα εμπορίας δικαιωμάτων εκπομπών ρύπων και η φορολόγηση των εκπομπών αυτών αναμένεται να προάγει τη χρήση βιοενέργειας ( ΚΑΠΕ, 2006).

Οι ΗΠΑ αν και έχουν μόνο το 5% του πληθυσμού του πλανήτη καταναλώνουν το 25% της παγκόσμιας ενέργειας. Οι ανανεώσιμες πηγές ενέργειας αντιπροσωπεύουν το 6% της ενέργειας που καταναλώνεται με τη βιομάζα να αποτελεί το 47% αυτών (USDA, 2005). Για το 2030 προβλέπεται αύξηση από 6% σε 28% της ενέργειας που παράγεται από ανανεώσιμες πηγές, το μισό δε αυτής θα προέρχεται από την ενεργειακή γεωργία. Ένας ακόμη στόχος είναι η αντικατάσταση του 10% των καυσίμων στις μεταφορές με βιοκαύσιμα μέχρι το 2020.

Συμπερασματικά, οι προηγμένες χώρες, υποχρεωμένες εκ των πραγμάτων (διασφάλιση ενεργειακού εφοδιασμού, υπερπαραγωγή



γεωργικών προϊόντων, περιβαλλοντική ρύπανση), αναμένεται να αφιερώσουν πολύ μεγάλο μέρος του γεωργικού τους δυναμικού στην παραγωγή ενέργειας, ενώ μεγάλο ποσοστό των αναγκών προβλέπεται ότι θα καλύπτεται από τη χρήση βιομάζας για παραγωγή βιοενέργειας.

### 3. ΤΟ ΓΛΥΚΟ ΚΑΙ ΤΟ ΙΝΩΔΕΣ ΣΟΡΓΟ ΩΣ ΕΝΕΡΓΕΙΑΚΑ ΦΥΤΑ

Το σόργο είναι το τέταρτο σημαντικότερο σιτηρό μετά το σιτάρι, το ρύζι και το καλαμπόκι και χρησιμοποιείται κατά κύριο λόγο στην ανθρώπινη διατροφή και ως ζωοτροφή (Καραμάνος 1999).

Το σόργο (*Sorghum bicolor* L. Moench) διακρίνεται σε τέσσερις τύπους ανάλογα με τη χρήση του, τα χαρακτηριστικά του φυτού και των σπόρων:

- 1) Καρποδοτικό σόργο που καλλιεργείται για παραγωγή καρπού
- 2) Σόργο του Σουδάν που καλλιεργείται ως σανοδοτικό
- 3) Σακχαρούχο ή γλυκό σόργο
- 4) Σόργο σαρωθοποιίας που χρησιμοποιείται στην κατασκευή σαρώθρων

Τα υβρίδια του ινώδους ή κυτταρινούχου σόργου προέρχονται από διασταυρώσεις του καρποδοτικού σόργου με το σόργο σαρωθοποιίας.

Το ενδιαφέρον για βιώσιμη ανάπτυξη έχει ως αποτέλεσμα το πρόσφατο και συνεχώς αυξανόμενο ενδιαφέρον για την καλλιέργεια ειδών σόργου για ενεργειακούς σκοπούς. Τα τελευταία 15 χρόνια έχουν εκπονηθεί πολυάριθμες μελέτες και ερευνητικά προγράμματα σε πολλές χώρες, κυρίως ευρωπαϊκές, σχετικά με το ενεργειακό δυναμικό του γλυκού και του ινώδους σόργου, την προσαρμοστικότητα και την παραγωγικότητα τους σε διαφορετικές οικολογικές συνθήκες και καλλιεργητικές πρακτικές καθώς και την αξιοποίηση τους σε διάφορες άλλες βιομηχανικές χρήσεις.

Το γλυκό και το ινώδες σόργο είναι φυτά ανθεκτικά στην έλλειψη νερού, έχουν χαμηλές απαιτήσεις σε άζωτο και παρουσιάζουν πολύ υψηλή αποτελεσματικότητα χρήσης του νερού. Το υψηλό παραγωγικό δυναμικό των δύο αυτών γενοτύπων σόργου τόσο σε οριακές οικολογικές συνθήκες όσο και με χαμηλά επίπεδα εισροών είναι οι κύριοι λόγοι του συνεχώς αυξανόμενου ενδιαφέροντος των ερευνητών για την

καλλιέργεια. Επιπλέον αποτελούν πρώτη ύλη για ευρύ φάσμα προϊόντων ενεργειακών, βιομηχανικών, διατροφικών και ζωοτροφής. Συγχρόνως η καλλιέργεια έχει υψηλό δυναμικό απορρόφησης CO<sub>2</sub> από την ατμόσφαιρα. Ένα στρέμμα σόργου δεσμεύει περίπου 3,5 έως 4,5 τόνους CO<sub>2</sub> ανά καλλιεργητικό κύκλο.

Το γλυκό σόργο χρησιμοποιείται για παραγωγή βιοαιθανόλης και παραγώγων της μέσω ζύμωσης των σακχάρων που προέρχονται στο φυτικό χυμό του. Επίσης, μπορεί να χρησιμοποιηθεί και για παραγωγή κρυσταλλικής ζάχαρης. Τα υπολείμματα που παράγονται μετά την εξαγωγή του χυμού από τα στελέχη αποτελούν πρώτη ύλη για τη χαρτοβιομηχανία και για παραγωγή ενέργειας με καύση, πυρόλυση ή αεριοποίηση δίνοντας στερεά καύσιμα (πέλλετς), πυρολυτικά έλαια, βιοαέριο και μεθανόλη, ή για παραγωγή αιθανόλης μέσω υδρόλυσης των κυτταρινούχων υπολειμμάτων σε σάκχαρα και αλκοολικής ζύμωσης. Ακόμη, το γλυκό σόργο μπορεί να χρησιμοποιηθεί και για παραγωγή βιο-υδρογόνου. Η μεγάλη ποσότητα και η υψηλή θερμογόνο δύναμη των υπολειμμάτων μπορεί να καλύψει τις ενεργειακές ανάγκες τόσο της φυτικής παραγωγής όσο και της μετατροπής του γλυκού σόργου σε αλκοόλη (ΚΑΠΕ, 2004).

Αν και στο παρελθόν η έρευνα εστιάστηκε κυρίως στο γλυκό σόργο, εν τούτοις τα τελευταία χρόνια το ενδιαφέρον στράφηκε και προς το ινώδες σόργο, για παραγωγή ενέργειας και χαρτιού. Η παραγόμενη βιομάζα μπορεί να χρησιμοποιηθεί για παραγωγή ενέργειας με καύση ή αεριοποίηση, παραγωγή στερεών καυσίμων (κυρίως πέλλετς) για θέρμανση καθώς και για παραγωγή βιο-υδρογόνου. Μια ενδιαφέρουσα ενεργειακή εφαρμογή είναι η παραγωγή ηλεκτρισμού με καύση της βιομάζας του. Αυξημένο ενδιαφέρον υπάρχει και για παραγωγή βιοαιθανόλης από το φυτό, μέσω υδρόλυσης των κυτταρινούχων συστατικών του σε σάκχαρα και αλκοολικής ζύμωσης. Τέλος το ινώδες σόργο μπορεί να αποτελέσει μια καλή λύση για την αντικατάσταση των δασικών πρώτων υλών στην χαρτοβιομηχανία καθώς και για

παραγωγή οικοδομικών υλικών, ενώ μια άλλη βιομηχανική χρήση του είναι η παραγωγή ξυλόζης που αποτελεί πρώτη ύλη της χημικής βιομηχανίας αλλά και ξυλιτόλης που είναι υποκατάστατο της ζάχαρης.

Προς το παρόν τόσο το γλυκό όσο και το ινώδες σόργο δεν καλλιεργούνται ακόμη σε εμπορική κλίμακα στην Ευρώπη παρά μόνο σε πειραματικές καλλιέργειες, ενώ και η βιομηχανική μεταποίηση του βρίσκεται σε πιλοτικό στάδιο σε πολλές Ευρωπαϊκές χώρες.

## 4. ΒΙΟΛΟΓΙΑ

### 4.1 Βοτανική ταξινόμηση

Πριν την περιγραφή του σόργου από τον Linnaeus, αυτό αναφερόταν με διάφορες λατινικές ονομασίες όπως *Milium indicum* ή *Melica sive Sorghum*. Ο Πλίνιος έδωσε την πρώτη γραπτή περιγραφή του σόργου τον πρώτο αιώνα, ενώ δεν υπάρχει κάποια αξιόπιστη καταγεγραμμένη αναφορά μέχρι τον δέκατο τέταρτο αιώνα, εκτός από κάποια αναφορά του Κινέζου Wangzhen το 1313. Το 1753 ο Linnaeus κατέταξε το σόργο στο γένος *Holcus* ενώ αργότερα ο Moench διαφοροποίησε το γένος *Sorghum* από το γένος *Holcus*.

Το σόργο ανήκει στη φυλή *Andropogoneae* και στην υποφυλή *Sorghastrae*. Ο Garber (1950) θεώρησε ότι το γένος *Sorghum* είναι ένα από τα δύο που περιλαμβάνει η υποφυλή *Sorghastrae*. Επιπλέον πρότεινε την ύπαρξη έξι υπογενών στο *Sorghum* τα οποία συνέδεσε με τη γεωγραφική προέλευση και εξέλιξη του γένους. Η επικρατέστερη σήμερα άποψη υποδιαιρεί το γένος σε τρία διαφορετικά είδη: *S. bicolor*, *S. Halepense* και *S. propinquum*.

### 4.2 Καταγωγή και εξάπλωση

Πρόγονος των σημερινών καλλιεργούμενων τύπων σόργου θεωρείται το άγριο είδος *S. Bicolor ssp. Arundinaceum* το οποίο εξημερώθηκε στην αφρικανική ήπειρο και ιδιαίτερα στην περιοχή του Σουδάν και της Αιθιοπίας.

Από την Αφρική μέσω του ποταμού Νείλου και της Ερυθράς Θάλασσας εξαπλώθηκε στη Μέση Ανατολή, την Ινδία και την Κίνα πριν 5000 χρόνια περίπου όπως αυτό έγινε γνωστό από ανασκαφές στις περιοχές αυτές. Αντίθετα η εξάπλωση του σόργου προς δυσμάς καθυστέρησε αρκετά μέχρι τον δέκατο ένατο αιώνα. Η συστηματική

καλλιέργεια του εξαπλώθηκε σημαντικά όταν οι τροπικές ποικιλίες μετά από βελτίωση προσαρμόστηκαν στα εύκρατα κλίματα με τις μεγάλες φωτοπεριόδους (Καραμάνος, 1999) .

### **4.3 Βοτανικά – Μορφολογικά χαρακτηριστικά**

Το σόργο (*S.bicolor*) είναι αγενώς πολλαπλασιαζόμενο ετήσιο εαρινό αγρωστώδες φυτό. Το ύψος του κυμαίνεται από 1-5 μέτρα.

Τόσο το γλυκό όσο και το ινώδες σόργο έχουν συνήθως μεγαλύτερο ύψος και δίνουν υψηλές αποδόσεις σε βλαστό και μικρές αποδόσεις σε καρπό, συγκρινόμενα με το καρποδοτικό σόργο.

Το γλυκό σόργο χαρακτηρίζεται από υψηλή περιεκτικότητα σε σάκχαρα των στελεχών του, ενώ το ινώδες έχει στελέχη με υψηλή περιεκτικότητα σε κυτταρίνες και ημικυτταρίνες.

#### **4.3.1 Ριζικό σύστημα**

Το σόργο αναπτύσσει πολύ ισχυρό θυσσανώδες ριζικό σύστημα. Καθώς η ρίζα ωριμάζει, στην επιδερμίδα σχηματίζεται πυριτική στήλη η οποία εξασφαλίζει επαρκή μηχανική αντοχή κατά τη διάρκεια περιόδων ξηρασίας, προφυλάσσοντας το ριζικό σύστημα από καταστροφή ( Manual FAO).

Το ριζικό σύστημα αποτελείται από πλέγμα κύριων, δευτερογενών και στηρικτικών ριζών. Η πρωτογενής ρίζα αναπτύσσεται στο αρτίβλαστο. Είναι η μοναδική εμβρυική ρίζα που αναπτύσσεται από το σπόρο κατά το φύτερωμα και είναι προσωρινή. Πριν τη δημιουργία δευτερογενών ριζών, η πρωτογενής ρίζα είναι το κύριο όργανο πρόσληψης νερού και θρεπτικών στοιχείων από το έδαφος. Οι ώριμες ρίζες σόργου έχουν τυχαία διακλάδωση. Οι μόνιμες αυτές ρίζες έχουν πολυάριθμες διακλαδισμένες πλευρικές ρίζες που αναπτύσσονται στο έδαφος προς

όλες τις κατευθύνσεις. Το ριζικό σύστημα εκτείνεται τουλάχιστον 1,5 μέτρα γύρω από το φυτό, ο κύριος όγκος του συγκεντρώνεται στα πρώτα 90 εκατοστά του εδαφικού προφίλ αλλά φτάνει στο διπλάσιο βάθος (Manual FAO) .

Ο βαθμός ανάπτυξης και διείσδυσης του ριζικού συστήματος στο έδαφος εξαρτάται από συνδυασμό παραγόντων που σχετίζονται με το φυτό και το έδαφος, όπως η εδαφική αντίσταση, η οποία με τη σειρά της εξαρτάται από την κοκκομετρική σύσταση, τη δομή και την περιεχόμενη υγρασία του εδάφους. Το ριζικό σύστημα αποτελεί το 10% - 12% του συνολικού ξηρού βάρους του φυτού.

Γενικά το βάθος του ενεργού ριζοστρώματος σε πλήρως ανεπτυγμένα φυτά βρίσκεται μεταξύ 0,9 – 1,2 μέτρα ενώ οι ρίζες φτάνουν σε βάθος 1,8 – 2,7 μέτρα. Το κύριο ριζόστρωμα είναι σε μεγαλύτερο βάθος σε ξηρικές καλλιέργειες ( Καραμάνος,1999).

Ένας από τους σημαντικότερους παράγοντες που επηρεάζουν την αποτελεσματική χρήση του νερού και την αντοχή στην ξηρασία είναι η αποτελεσματικότητα του ριζικού συστήματος. Ενώ το πρωτογενές ριζικό σύστημα του καλαμποκιού και του σόργου είναι εξίσου εκτεταμένο, ωστόσο το σόργο σχηματίζει διπλάσιο αριθμό δευτερογενών ριζών, συγκριτικά με το καλαμπόκι, σε όλα ανεξαρτήτως των στάδια ανάπτυξης (Manual FAO, Καραμάνος, 1999). Επομένως υπάρχει μεγαλύτερη ικανότητα απορρόφησης νερού (σχεδόν διπλάσια) στο σόργο, σε σύγκριση με το καλαμπόκι. Αυτό έχει μεγάλη οικολογική σημασία εάν ληφθεί υπόψη ότι η φυλλική επιφάνεια του σόργου είναι η μισή από εκείνη του καλαμποκιού. Επίσης μεγάλη είναι και η απορροφητική ικανότητα του ριζικού συστήματος του σόργου.

Μετά το σχηματισμό 3-4 φύλλων από το φυτό, δευτερογενείς ρίζες αναπτύσσονται από το πρώτο γόνατο της βάσης του στελέχους, κοντά στην επιφάνεια του εδάφους. Καθ' όλη τη διάρκεια του κύκλου του φυτού οι δευτερογενείς ρίζες παρέχουν νερό και θρεπτικά στοιχεία. Σε πορώδη εδάφη σχηματίζεται πολύ αναπτυγμένο ριζικό σύστημα. Σε

ξηρά κλίματα, ο αριθμός δευτερογενών ριζών είναι μικρότερος, ωστόσο φτάνουν σε μεγαλύτερο βάθος και εκμεταλλεύονται την υγρασία που υπάρχει εκεί, παρέχοντας μεγάλη αντοχή των φυτών στην ξηρασία (Manual FAO) .

Οι στηρικτικές ρίζες του φυτού ονομάζονται και εναέριες. Εκφύονται από τα τέσσερα πρώτα γόνατα του στελέχους και αποτελούν τη βάση στήριξης του φυτού. Οι εναέριες ρίζες έχουν μεγαλύτερο πάχος και είναι πιο ανθεκτικές στη μηχανική καταπόνηση από τις υπόγειες, παρέχοντας ισχυρή στήριξη. Ο αριθμός τους ποικίλει ανάλογα με τις περιβαλλοντικές συνθήκες και την ποικιλία. Εκτός του στηρικτικού ρόλου, απορροφούν νερό και θρεπτικά στοιχεία από το έδαφος. Η δημιουργία αναχωμάτων κατά την καλλιέργεια του σόργου βελτιστοποιεί την αποτελεσματικότητα των εναέριων ριζών τόσο ως προς την στήριξη που αυτές παρέχουν στο φυτό όσο και ως προς την ικανότητα απορρόφησης νερού και θρεπτικών στοιχείων.

#### **4.3.2 Βλαστός**

Μετά το φύτευμα, αναπτύσσεται ο γονατώδης βλαστός, από τον οποίο εκφύονται τα «αδέρφια» από τη βάση του φυτού.

Τα ώριμα στελέχη του σόργου έχουν διάμετρο 1 - 5 εκατοστά ενώ η τυπική διάμετρος είναι 1,5 - 3 εκατοστά. Το βάρος του βλαστού ποικίλει ευρέως ανάλογα με την ποικιλία, την πυκνότητα φύτευσης, το περιβάλλον και τις συνθήκες ανάπτυξης και μπορεί να φτάσει μέχρι και 3,6 κιλά (Manual FAO). Στο γλυκό σόργο τα σάκχαρα αποτελούν περίπου το 38-41% του ξηρού βάρους των στελεχών, ενώ στο ινώδες μόνο το 9-12% (ΚΑΠΕ , 2004).

Στο γλυκό σόργο, οι χλωροί βλαστοί του αποτελούνται κατά 65% από χυμώδη εντεριώνη πλούσια σε διαλυτά σάκχαρα και κατά 35% από το φλοιό που είναι πλούσιος σε ίνες, λιγνίνη και φαινολικά οξέα. Ο βλαστός αποτελείται κατά 85% από νερό και σάκχαρα με το 98% των σακχάρων



του γλυκού σόργου να βρίσκεται στο στέλεχος και μόνο το 2% στα φύλλα και τα καρποφόρα όργανα. Ο σακχαρικός τίτλος (Brix) του χυμού στο βλαστό εξαρτάται από την ποικιλία, τις συνθήκες του περιβάλλοντος και το χρόνο συγκομιδής. Έχει τιμές 7-24% και μπορεί να διαφέρει ανάμεσα στα φυτά της ίδιας ποικιλίας (Manual FAO).

Εξωτερικά ο βλαστός καλύπτεται από ένα σκληρό και παχύ μεμβρανώδη ιστό ενώ η επιδερμίδα του βλαστού καλύπτεται από λευκή κηρώδη σκόνη, η οποία έχει διπλό ρόλο. Αφενός εμποδίζει την απώλεια υγρασίας από το φυτό σε περιόδους ξηρασίας και αφετέρου δεν επιτρέπει την είσοδο νερού στο βλαστό σε συνθήκες περίσσειας νερού, κάνοντας το σόργο ιδιαίτερα ανθεκτικό τόσο στην ξηρασία όσο και σε συνθήκες υπερβολικής υγρασίας (Manual FAO).

Το ύψος των στελεχών ποικίλει από 0,6 - 5 μέτρα και εξαρτάται κυρίως από την ποικιλία και δευτερευόντως από τη γονιμότητα του εδάφους, τη θερμοκρασία, τη φωτοπερίοδο τις συνθήκες ανάπτυξης και το μήκος των μεσογονατίων διαστημάτων (Manual FAO).

Οι ποικιλίες μικρού βιολογικού κύκλου έχουν στελέχη μικρότερου ύψους από τις ποικιλίες μεγάλου βιολογικού κύκλου. Επίσης, σε μεγαλύτερα γεωγραφικά πλάτη όπου η φωτοπερίοδος είναι μεγαλύτερη και το βλαστικό στάδιο ανάπτυξης των φυτών είναι μεγαλύτερης χρονικής διάρκειας, τα φυτά αποκτούν μεγαλύτερο ύψος. Γενικά όταν οι γενότυποι του σόργου καλλιεργούνται σε μικρότερα γεωγραφικά πλάτη, κοντά στον ισημερινό, τα φυτά γίνονται κοντύτερα, ενώ βορειότερα τα φυτά αποκτούν μεγαλύτερο ύψος. (Manual FAO).

Στο στέλεχος σχηματίζονται από 10 έως 20 γόνατα. Τα μεσογονάτια διαστήματα είναι μικρότερα στη βάση και μεγαλύτερα στο μέσο του στελέχους. Στο ανώτερο τμήμα του βλαστού τα μεσογονάτια διαστήματα σταδιακά γίνονται μικρότερα αλλά το τελευταίο μεσογονάτιο (κάτω από το φύλλο «σημαία») είναι μακρύτερο. Η βάση του βλαστού είναι πάντα μεγαλύτερης διαμέτρου από την κορυφή (Manual FAO).

Από κάθε γόνατο εκφύεται ένα φύλλο. Στο γόνατο υπάρχει αυλάκωση, στην πλευρά που εκφύεται το φύλλο, που φέρει ένα μασχαλιαίο οφθαλμό. Ορισμένες ποικιλίες δεν έχουν τέτοιες αυλακώσεις και εμφανείς μασχαλιαίους οφθαλμούς. Γενικά οι μασχαλιαίοι οφθαλμοί είναι σε λήθαργο (Manual FAO).

Κατά το στάδιο του «αδερφώματος» στη βάση του στελέχους σχηματίζονται 1 - 5 οφθαλμοί που δίνουν νέα στελέχη που ονομάζονται «αδέρφια». Το αδελφωμα ευνοείται από σχετικά χαμηλές θερμοκρασίες καθώς και από χαμηλές πυκνότητες φυτών. Τα αδέρφια δημιουργούν ανεξάρτητο ριζικό σύστημα. Η ικανότητα των φυτών να παράγουν αδέρφια έχει μεγάλη πρακτική σημασία καθώς με το αδελφωμα είναι δυνατόν να αντισταθμιστεί το αραιό φύτευμα ή οι προσβολές από έντομα και ασθένειες (Παπακώστα, 1996-1997) ,ενώ είναι κύριος παράγοντας των σχετικά υψηλών αποδόσεων του σόργου σε βιομάζα όταν επικρατούν συνθήκες υδατικού στρες για την καλλιέργεια.

Αν μετά την ωρίμανση του σπόρου αφαιρεθεί η ώριμη ταξικαρπία του φυτού, τότε εκφύονται 2 - 3 νέοι οφθαλμοί στο ανώτερο τμήμα του στελέχους. Κάθε τέτοιος οφθαλμός μπορεί να δώσει νέα ταξιανθία μετά την έκπτυξη 1 - 2 φύλλων ενώ οι αναπτυσσόμενοι βραχίονες μπορεί να φτάσουν σε μήκος τα 40 εκατοστά (Manual FAO) .

Στο γλυκό σόργο η αφαίρεση της ταξιανθίας έχει ως αποτέλεσμα τάση για αδελφωμα, υψηλότερη περιεκτικότητα των βλαστών σε χυμό αλλά μικρότερη περιεκτικότητα σε υδατοδιαλυτά σάκχαρα και σακχαρόζη. Στην περίπτωση όμως που λάβει χώρα αφαίρεση της ταξικαρπίας κατά το στάδιο του γάλακτος του σπόρου, επιταχύνεται η συσσώρευση των σακχάρων στο στέλεχος και μειώνεται το ποσοστό πλαγιάσματος των φυτών, συντελώντας σε πρωιμότερη και ευκολότερη συγκομιδή της καλλιέργειας.

Μετά τη συγκομιδή και στελεχοκοπή της καλλιέργειας, μπορούν να αναπτυχθούν αδέρφια από κοιμώμενους οφθαλμούς των υπολειμμάτων των φυτών. Με τη σωστή διαχείριση αυτά τα αδέρφια

μπορούν να εξελιχθούν σε νέα φυτά, τα οποία μάλιστα αναπτύσσονται ταχύτερα από τα σπορόφυτα, λόγω του ήδη καλά αναπτυγμένου ριζικού συστήματος. Στην περίπτωση αυτή, οι αποδόσεις σε βιομάζα μπορεί να είναι αξιοσημείωτες. Έτσι σε θερμές περιοχές στις οποίες δεν υπάρχει κίνδυνος παγετού, η καλλιέργεια μπορεί να συγκομιστεί δύο φορές (Manual FAO).

### 4.3.3 Φύλλα

Το σόργο έχει φύλλα που μοιάζουν με του καλαμποκιού αλλά είναι μικρότερα κατά 50-60%. Είναι απλά σε δίσειρη διάταξη (δίστιχη φυλλοταξία), κατ' εναλλαγή και αποτελούνται από το έλασμα, τον κολεό και το γλωσσίδιο. Ο κολεός έχει μεγάλο μήκος και το μεγάλο τμήμα του είναι προσκολλημένο στο μεσογονάτιο διάστημα του βλαστού. Το έλασμα είναι πλατύ, λογχοειδές, οδοντωτό στις παρυφές του, με λεία επιφάνεια (Καραμάνος, 1999).

Τα φύλλα έχουν χαρακτηριστικά που φανερώνουν αντοχή στην ξηρασία. Συγκεκριμένα, φέρουν εφυμενίδα με κηρώδες επίχρυσμα και πολλά μηχανικά κύτταρα στην άνω επιδερμίδα που προσδίδουν ικανότητα συστροφής του ελάσματος σε περιόδους ξηρασίας με αποτέλεσμα τη μειωμένη απώλεια νερού. Επίσης, μπορεί να φέρουν τριχίδια τα οποία προσδίδουν αντοχή σε ορισμένους εντομολογικούς εχθρούς. Το μεσόφυλλο έχει την «πανικοειδή» μορφολογία του τύπου C<sub>4</sub> (Καραμάνος, 1999).

Το μήκος των φύλλων κυμαίνεται μεταξύ 30 - 135 εκατοστών και το πλάτος μεταξύ 6 - 13 εκατοστών. Ο αριθμός των φύλλων είναι ίσος με τον αριθμό των γονάτων. Το φυτό έχει συνήθως 14 - 17 φύλλα, ενώ τα στομάτια είναι τοποθετημένα αμφίπλευρα.

Οι πρώιμες ποικιλίες έχουν μικρότερο αριθμό φύλλων από τις όψιμες, ενώ η ίδια ποικιλία σχηματίζει μεγαλύτερο αριθμό φύλλων σε μεγαλύτερα γεωγραφικά πλάτη λόγω της μεγαλύτερης φωτοπεριόδου.

Κάθε φύλλο προσθέτει 3 - 4 ημέρες στην περίοδο της ανάπτυξης (Καραμάνος, 1999) .

Το πρώτο φύλλο του φυταρίου είναι μικρότερο και το μέγεθος των φύλλων αυξάνει σταδιακά ως το μέσο του φυτού όπου γίνεται μέγιστο, ενώ κατόπιν μειώνεται βαθμιαία προς την κορυφή. Η θέση του μεγαλύτερου φύλλου είναι συνήθως μεταξύ των φύλλων 5 - 13 ( από την κορυφή). Η θέση αυτή σχετίζεται στενά με τη βλαστική περίοδο των διαφόρων ποικιλιών και με την απόδοση διότι όσο χαμηλότερα βρίσκεται η θέση αυτή, τόσο μεγαλύτερη είναι η βλαστική περίοδος και τόσο υψηλότερη η απόδοση της καλλιέργειας. Το τελευταίο φύλο που εκφύεται ονομάζεται «φύλλο – σημαία».

Σε καλά διαχειριζόμενες καλλιέργειες γλυκού και ινώδους σόργου, ο δείκτης φυλλικής επιφάνειας (LAI) είναι 4 - 6 σε έναν έως δύο μήνες από το φύτευμα και ο αριθμός των φύλλων ανά φυτό μπορεί να φτάσει τα 22. Το μέσο νωπό βάρος των φύλλων ανά φυτό κυμαίνεται από 150 έως 250 γραμμάρια. Τα φύλλα έχουν υψηλή περιεκτικότητα σε πρωτεΐνες και συνεπώς υψηλή θρεπτική αξία ως ζωοτροφή (Manual FAO).

Σημαντικό στοιχείο που σχετίζεται με το υψηλό παραγωγικό δυναμικό της καλλιέργειας είναι ότι τα φύλλα παραμένουν πράσινα, άρα και φωτοσυνθετικά ενεργά, ακόμη και μετά την ωρίμανση της ταξικαρπίας.

#### **4.3.4 Αναπαραγωγικά όργανα**

Η ταξιανθία του σόργου είναι φόβη, βρίσκεται στην κορυφή του στελέχους και ανάλογα με την ποικιλία μπορεί να είναι από χαλαρή (αραιή) έως συμπαγής , ποικίλου μεγέθους και σχήματος. Ο κεντρικός άξονας φέρει πλάγιους βραχίονες όπου υπάρχουν σταχύδια (άνθη κατά ομάδες) κατά ζεύγη, ένα άμισχο (γόνιμο) και ένα έμμισχο (άγονο). Το γόνιμο σταχύδιο περιέχει δύο άνθη, ένα γόνιμο (το ανώτερο) και ένα στείρο (το κατώτερο). Το γόνιμο άνθος αποτελείται από τρεις στήμονες, μια ωοθήκη με δυο στήλους που καταλήγουν σε πτεροειδή στίγματα και

δύο γλωχίνες στη βάση της ωοθήκης. Το σταχύδιο περικλείεται από δύο δερματοειδή λέπυρα. Το γόνιμο άνθος έχει ένα στενό χιτώνα με βραχύ άγανο και μια μικρή λεπίδα. Το στείρο άνθος έχει συνήθως μόνο χιτώνα και όλα τα άλλα μέρη έχουν εκφυλισθεί (Καραμάνος, 1999).

Η ταξιανθία εκφύεται από τον κολεό του φύλλου «σημαία». Η άνθηση ξεκινά από την κορυφή της ταξιανθίας και συνεχίζει προς το κατώτερο τμήμα.

Στο γλυκό σόργο το νωπό βάρος της ταξιανθίας αποτελεί το 5,6-19,67% της συνολικής βιομάζας του φυτού. Το μέγεθος της φτάνει σε μήκος και διάμετρο μέχρι 70 και 30 εκατοστά αντίστοιχα. Γενικά οι ποικιλίες με υψηλή απόδοση σε βλαστό έχουν χαμηλή απόδοση σε σπόρο. Εξετάζεται η δυνατότητα δημιουργίας ποικιλιών με υψηλή απόδοση τόσο σε βλαστό όσο και σε σπόρο. Σε ποικιλίες γλυκού σόργου τα υψηλά επίπεδα σακχάρων διατηρούνται κατά την περίοδο της καρπόδεσης και η μεταφορά άνθρακα από τα σάκχαρα στους σπόρους είναι ασήμαντη (Manual FAO).

Μετά την άνθηση και τη γονιμοποίηση ακολουθεί ο σχηματισμός των σπόρων και της ταξικαρπίας και τελικά η ωρίμανση των σπόρων.

#### **4.3.5 Καρπός**

Η ταξικαρπία φέρει μέχρι και 4000 σπόρους. Ο καρπός είναι καρύοψη και αποτελείται από το περικάρπιο, την testa, το ενδοσπέρμιο και το έμβρυο. Ο καρπός περιβάλλεται από δύο λέπυρα τα οποία μπορεί να απομακρύνονται εύκολα ή δύσκολα (δυσκολότερα στο γλυκό σόργο) από την καρύοψη.

Το σχήμα και το χρώμα των σπόρων ποικίλει. Υπάρχουν σφαιροειδείς, ελλειψοειδείς, οβάλ κ.α σχήματα σπόρων ενώ το χρώμα τους μπορεί να είναι λευκό, ανοιχτό κίτρινο, ροζ, κεραμιδί, από ανοιχτό έως σκούρο καφέ, ανάλογα με την ποικιλία. Στον πίνακα 3 αναλύεται η χημική σύσταση των σπόρων του γλυκού σόργου.

**Πίνακας 3:** Χημική σύσταση σπόρων γλυκού σόργου

Συστατικά	Ποσότητα ( ανά 100 γραμ. σπόρου)*
Νερό	12,0 γραμμάρια
Πρωτεΐνες	10,0 γραμμάρια
Λίπη	3,7 γραμμάρια
Υδατάνθρακες	72,7 γραμμάρια
Ίνες	2,2 γραμμάρια
Τέφρα	1,5 γραμμάρια
Ασβέστιο (Ca)	22,0 mg
Φώσφορος (P)	242,0 mg
Σίδηρος (Fe)	3,8 mg
Νάτριο (Na)	8,0 mg
Κάλιο (K)	44,0 mg
Θειαμίνη	0,33 mg
Ριβοφλαβίνη	0,18 mg
Νιασίνη	3,9 mg

\*Θερμιδική αξία = 342 cal

Οι χρωστικές βρίσκονται στο περικάρπιο του σπόρου ή την testa. Το σκοτεινό χρώμα υποδηλώνει παρουσία τανίνης η οποία μειώνει την πεπτικότητα του καρπού ως ζωοτροφή. Το ενδοσπέρμιο αποτελείται από άμυλο (αμυλόζη και αμυλοπηκτίνη). Το κίτρινο ενδοσπέρμιο υποδηλώνει μεγάλη περιεκτικότητα σε καροτένια και επομένως υψηλή θρεπτική αξία (Καραμάνος, 1999).

Η περιεκτικότητα της testa σε τανίνη προσδίδει στο σπόρο ελαφρώς όξινο χαρακτήρα. Η τανίνη μπορεί να εξουδετερώσει την αλκαλικότητα οπότε αν ο σπόρος φυτευτεί σε αλκαλικό περιβάλλον, μπορεί να μειώσει τοπικά την αρνητική επίδραση της αλκαλικότητας στη βλάστηση του.

Ο σπόρος του γλυκού σόργου είναι μικρότερος από του καρποδοτικού σόργου. Το μέσο βάρος 1000 σπόρων είναι περίπου 21

γραμμάρια και κυμαίνεται από 16 - 28 γραμμάρια (25000 ως 61740 σπόροι / κιλό). Η καλλιέργεια του γλυκού σόργου αποδίδει τουλάχιστον 100 κιλά σπόρου ανά στρέμμα με τυπική παραγωγή 200 - 400 κιλά (Manual FAO) .

#### **4.4 Φαινολογία – Στάδια Ανάπτυξης**

Το γλυκό και το ινώδες σόργο παρουσιάζουν εξαιρετικά υψηλούς ρυθμούς ανάπτυξης έχοντας μέγιστο ρυθμό ανάπτυξης 40 - 60 g/m<sup>2</sup> ανά ημέρα, όταν ο αντίστοιχος ρυθμός ανάπτυξης των C<sub>3</sub> καλλιεργειών είναι 20 - 40 g/m<sup>2</sup> ανά ημέρα.

##### **4.4.1 Στάδια ανάπτυξης της καλλιέργειας**

Η γνώση των σταδίων ανάπτυξης της καλλιέργειας είναι χρήσιμη για τον καθορισμό του κατάλληλου χρόνου εκτέλεσης των καλλιεργητικών εργασιών όπως είναι η επιφανειακή λίπανση και η εφαρμογή εντομοκτόνων και ζιζανιοκτόνων. Επίσης η γνώση των κριτικών σταδίων του βιολογικού κύκλου, στα οποία τα φυτά είναι ευαίσθητα σε διάφορους παράγοντες, όπως το νερό και τα θρεπτικά στοιχεία, είναι αναγκαία για τη σωστή διαχείριση της καλλιέργειας (Παπακώστα, 1996-1997).

Το σόργο έχει ευδιάκριτα στάδια ανάπτυξης. Το βλαστικό στάδιο προηγείται της αναπαραγωγικής διαφοροποίησης. Στο στάδιο σχηματισμού των γονάτων (γονάτωμα) η βλαστική και η αναπαραγωγική ανάπτυξη συνυπάρχουν και το ύψος των φυτών τριπλασιάζεται. Πριν την άνθηση τα προϊόντα της φωτοσύνθεσης χρησιμοποιούνται για την βλαστική ανάπτυξη ενώ μετά την άνθηση, ο αποθησαυρισμός των σακχάρων στο βλαστό κυριαρχεί.

Τα βλαστικά στάδια ανάπτυξης του σόργου είναι τέσσερα: α) στάδιο φυταρίου, β) στάδιο βλαστικής ανάπτυξης, γ) αναπαραγωγική φάση και δ) στάδιο ωρίμανσης.

#### **4.4.1.1 Στάδιο φυταρίου**

Το στάδιο του φυταρίου διαρκεί από το φύτευμα του σπόρου μέχρι την έναρξη του γονατώματος.

Για το φύτευμα του σπόρου απαραίτητα είναι η ύπαρξη εδαφικής υγρασίας, επάρκειας οξυγόνου και κατάλληλες θερμοκρασίες. Όταν η σπορά γίνεται την άνοιξη ο σπόρος φυτρώνει συνήθως 7 - 10 ημέρες ενώ όταν γίνεται το καλοκαίρι απαιτούνται 2 - 3 ημέρες για το φύτευμα, λόγω των υψηλότερων θερμοκρασιών.

Το στάδιο αυτό χαρακτηρίζεται από έντονη ανάπτυξη του ριζικού συστήματος το οποίο σε πέντε εβδομάδες φτάνει σε βάθος 100 εκατοστών και πλευρικά σε ακτίνα 50 εκατοστών.

Το αδελφωμα λαμβάνει χώρα όταν τα φυτά βρίσκονται στο στάδιο των 3 - 5 φύλλων και για το γλυκό σόργο απαιτούνται περίπου 30 ημέρες από το φύτευμα. Γενικά οι ποικιλίες του γλυκού σόργου έχουν μεγαλύτερη τάση αδελφώματος. Αναφέρεται ότι η ποικιλία Brandes αδελφώνει περισσότερο από κάθε άλλη ποικιλία, δίνοντας 4 - 7 αδελφια ανά φυτό. Στην καλλιέργεια του γλυκού σόργου, το αδελφωμα δεν είναι επιθυμητό, λόγω της αρνητικής επίδρασης του στην ανάπτυξη του κυρίως βλαστού καθώς γίνεται κοντύτερος, λεπτότερος και πολύ πιο ευαίσθητος στο πλάγιασμα. Αντίθετα, ποικιλίες που παρουσιάζουν έντονο αδελφωμα είναι κατάλληλες για χορτοδοτικούς σκοπούς στην κτηνοτροφία (Παπακώστα, 2005).

Το σόργο έχει βραδεία ανάπτυξη κατά τα πρώτα στάδια, ειδικότερα κατά τις πρώτες 50 ημέρες από το φύτευμα και είναι αναγκαία για τα φυτά η ύπαρξη επαρκούς εδαφικής υγρασίας και θρεπτικών. Για το



λόγο αυτό είναι επιβεβλημένος ο έλεγχος των ζιζανίων στο ευαίσθητο αυτό στάδιο της καλλιέργειας.

#### **4.4.1.2 Στάδιο βλαστικής ανάπτυξης**

Τα φυτά εισέρχονται στο στάδιο βλαστικής ανάπτυξης περίπου 47-55 ημέρες από το φύτευμα.

Το στάδιο αυτό χαρακτηρίζεται αρχικά από ταχεία αύξηση της φυλλικής επιφάνειας των φυτών ενώ στην συνέχεια παρατηρείται ταχύτερη αύξηση του μήκους του βλαστού.

Η χρονική διάρκεια του βλαστικού σταδίου εξαρτάται από την ποικιλία. Σε πρώιμες ποικιλίες όπως η *Italian*, το στάδιο βλαστικής ανάπτυξης διαρκεί μόνο 30 ημέρες ενώ σε ποικιλίες μεγαλύτερου βιολογικού κύκλου όπως η *Mn 1500* διαρκεί 74 - 90 ημέρες, είναι δηλαδή 2 - 3 φορές μεγαλύτερο. Όσο μεγαλύτερο είναι το στάδιο αυτό, τόσο ψηλότερα γίνονται τα φυτά και αυξάνεται η παραγωγή βιομάζας (Manual FAO). Σε πειράματα ποικιλιών γλυκού σόργου στην Ελλάδα, ο μέγιστος ρυθμός συσσώρευσης βιομάζας στα φυτά ήταν κατά την περίοδο μεταξύ 45<sup>ης</sup> και 80<sup>ης</sup> ημέρας από το φύτευμα.

Κατά το στάδιο του γονατώματος γίνεται η αναπαραγωγική διαφοροποίηση των νεαρών φυτών. Η διαφοροποίηση της ταξιανθίας ξεκινά νωρίτερα στις πρώιμες ποικιλίες.

Το στάδιο της βλαστικής ανάπτυξης είναι κρίσιμο για την ανάπτυξη της καλλιέργειας. Οι καλλιεργητικές φροντίδες και η σωστή διαχείριση έχουν ιδιαίτερη σημασία καθώς επηρεάζουν άμεσα την τελική απόδοση σε βλαστό και σπόρο (Manual FAO).

#### **4.4.1.3 Στάδιο ανθοφορίας**

Μετά το τελευταίο φύλλο, το φύλλο «σημαία», ακολουθεί η έκπτυξη της ταξιανθίας. Μία εβδομάδα αργότερα ξεκινά η ανθοφορία και 2 - 5 ημέρες αργότερα η άνθηση. Τα άνθη ανοίγουν σταδιακά από την κορυφή προς τη βάση και από το εξωτερικό προς το εσωτερικό της ταξιανθίας. Κάθε άνθος παραμένει ανοιχτό για μία περίπου ώρα. Τα σταχύδια ανοίγουν τη νύχτα ή τις πρώτες πρωινές ώρες ενώ η ζωτικότητα των γυρεοκκόκων μειώνεται ταχύτατα και εκμηδενίζεται σε 3 - 6 ώρες (Καραμάνος, 1999).

Το σόργο είναι αυτογονιμοποιούμενο είδος. Σταυρογονιμοποίηση γίνεται με τη βοήθεια του ανέμου σε μικρό ποσοστό, το οποίο ανάλογα με την ποικιλία κυμαίνεται μεταξύ 0-10% με μέσο όρο περίπου 2%.

Στο γλυκό σόργο, η έναρξη συσσώρευσης σακχάρων αρχίζει με την έναρξη του αναπαραγωγικού σταδίου αλλά μεγιστοποιείται μετά την άνθηση.

Κατά το στάδιο της άνθησης, τα φυτά έχουν τις μέγιστες υδατικές ανάγκες. Επομένως πρέπει να εξασφαλίζεται η κάλυψη των υδατικών αναγκών της καλλιέργειας κατά την πλήρη άνθηση, ιδιαίτερα όταν αυτή πραγματοποιείται κατά τις ξηροθερμικές συνθήκες των καλοκαιρινών μηνών, με άρδευση της καλλιέργειας.

#### **4.4.1.4 Στάδιο ωρίμανσης**

Κατά το στάδιο της ωρίμανσης μπορούμε να διακρίνουμε τρία επιμέρους στάδια: το στάδιο του γάλακτος, το στάδιο της σκληρής ζύμης ή κηρού και το στάδιο της πλήρους ωρίμανσης.

##### **α) Στάδιο γάλακτος**

Μετά την ολοκλήρωση της γονιμοποίησης των ανθέων, ένα μέρος των θρεπτικών συστατικών του φυτού αποθησαυρίζονται στο στέλεχος και τα υπόλοιπα οδηγούνται στους σπόρους. Έτσι παρατηρείται ταχύτατη αύξηση του μεγέθους και του βάρους των σπόρων. Στο

στάδιο αυτό οι σπόροι είναι υδαρείς εσωτερικά, γεμάτοι με ένα λευκό γαλακτώδες και παχύρευστο υγρό. Αν ασκηθεί πίεση στο σπόρο εξέρχεται υγρό που μοιάζει με γάλα.

#### β) Στάδιο της σκληρής ζύμης ή κηρού

Η υγρασία και το νωπό βάρος του σπόρου μειώνεται ταχύτατα, ο σπόρος γίνεται λιγότερο υδαρής και σκληραίνει. Αν ασκηθεί πίεση στο σπόρο εξέρχεται μια κηρώδης πάστα.

#### γ) Στάδιο πλήρους ωρίμανσης

Ο σπόρος γίνεται ξηρός και σκληρός, η συσσώρευση ξηρής ουσίας φτάνει στο μέγιστο και ο σπόρος αποκτά την τελική του εμφάνιση και χρώμα. Από την άνθηση μέχρι την ωρίμανση απαιτούνται περίπου 30 ημέρες, ανάλογα με την ποικιλία.

## 4.5 Οικολογία και Περιβαλλοντικές απαιτήσεις

### 4.5.1 Οικολογία

Το σόργο παρά την τροπική του καταγωγή προσαρμόζεται εύκολα σε μεγάλο εύρος κλιματικών συνθηκών.

Ανάλογα με τις απαιτήσεις σε θερμοκρασία και φωτοπερίοδο οι διάφοροι γενότυποι του σόργου διακρίνονται σε τρεις ομάδες:

1) Τροπικά σόργα μεγάλων υψομέτρων: μπορούν να αναπτύσσονται και να αποδίδουν σε μεγάλα υψόμετρα στους τροπικούς και είναι ευαίσθητα στις φωτοπεριοδικές μεταβολές.

2) Εύκρατα σόργα: είναι προσαρμοσμένα σε ζεστές μέρες ( 25 - 34 βαθμοί Κελσίου) αλλά δροσερές νύχτες ( περίπου 19 βαθμοί Κελσίου )

και είναι σχετικά αδιάφορα στη φωτοπερίοδο με κρίσιμες τιμές μεταξύ 12 και 13,5 ωρών.

3) Τροπικά σόργα πεδινών περιοχών: έχουν απαιτήσεις σε υψηλές θερμοκρασίες τόσο την ημέρα όσο και τη νύχτα ( πάνω από 21 βαθμούς Κελσίου) και είναι ευαίσθητα στις φωτοπεριοδικές μεταβολές ( τυπικά μικρής ημέρας φυτά).

#### **4.5.2 Θερμοκρασία**

Το σόργο λόγω της καταγωγής του από τις τροπικές ζώνες, όπου και μπορεί να καλλιεργηθεί όλες τις εποχές απαιτεί υψηλές θερμοκρασίες. Σε υποτροπικές και εύκρατες ζώνες μπορεί να καλλιεργηθεί ως εαρινή καλλιέργεια.

Η ελάχιστη θερμοκρασία φυτρώματος είναι 8-10 βαθμοί Κελσίου ενώ οι θερμοκρασιακές απαιτήσεις διαφέρουν μεταξύ των ποικιλιών σόργου και κυμαίνονται μεταξύ 20 - 35 βαθμών Κελσίου. Η βασική θερμοκρασία ανάπτυξης του φυτού είναι 9 - 10 βαθμοί Κελσίου αν και για καλή εγκατάσταση της καλλιέργειας και ταχύτερη ανάπτυξη απαιτείται θερμοκρασία 14 – 15 βαθμών Κελσίου. Οι άριστες θερμοκρασίες ανάπτυξης σύμφωνα με κάποιους ερευνητές είναι 27 - 29 βαθμοί Κελσίου ενώ σύμφωνα με άλλους 33 - 34 βαθμοί Κελσίου.

Στο γλυκό σόργο η μεγάλη θερμοκρασιακή διαφορά μεταξύ ημέρας και νύχτας μετά την άνθιση, ευνοεί τη συσσώρευση σακχάρων στο βλαστό και θρεπτικών στοιχείων στο σπόρο (Manual FAO).

Από τη σπορά μέχρι την ωρίμανση ο αριθμός των βαθμοημερών που απαιτείται είναι διαφορετικός για κάθε ποικιλία. Υπάρχουν ποικιλίες 1500 μέχρι και 2500 βαθμοημερών.

#### **4.5.3 Φωτοπερίοδος**

Το σόργο είναι φυτό βραχείας ημέρας, στο οποίο η άνθιση προκαλείται από την ύπαρξη βραχέων ημερών (μακράς διάρκειας νύχτες), ενώ υπάρχει μεγάλη διακύμανση στη φωτοπερίοδο που απαιτείται από τις διάφορες ποικιλίες. Για την έναρξη της άνθισης απαιτείται φωτοπερίοδος 14 ωρών αν και υπάρχουν γενότυποι που δεν είναι φωτοευαίσθητοι.

Ημέρες μεγάλης φωτοπεριόδου ευνοούν τη βλαστική ανάπτυξη ενώ μικρή την αναπαραγωγική. Επομένως σε ζώνες μικρού γεωγραφικού πλάτους, με μικρή διάρκεια ημέρας, οι περισσότερες; Ποικιλίες γλυκού και ινώδους σόργου έχουν μικρότερες αποδόσεις σε βιομάζα. Είναι απαραίτητη η επιλογή του κατάλληλου γενοτύπου με την καλύτερη προσαρμογή στις τοπικές συνθήκες φωτοπεριόδου για την επίτευξη υψηλών αποδόσεων (Manual FAO).

Ο χρόνος συγκομιδής εξαρτάται άμεσα από το γενότυπο και το χρόνο σποράς. Σε περιοχές όπου οι συνθήκες περιβάλλοντος δεν επιτρέπουν μεγάλη διάρκεια καλλιεργητικής περιόδου πρέπει να χρησιμοποιούνται πρώιμες ποικιλίες (π.χ Italian), ενώ αντίθετα σε περιοχές μακράς καλλιεργητικής περιόδου συνίσταται η χρήση ποικιλιών μεγάλου βιολογικού κύκλου (π.χ Theis, Cowley) (Manual FAO).

#### **4.5.4 Βροχόπτωση και Υγρασία**

Το σόργο θεωρείται ως ένα από τα ανθεκτικότερα και παραγωγικότερα φυτά ακόμη και σε ημίξηρες περιοχές με ετήσιο ύψος βροχής 350 - 400 χιλιοστά.

Σε ξηρά κλίματα απαιτείται άρδευση όταν το ετήσιο ύψος βροχόπτωσης είναι μικρότερο από 500 χιλιοστά, ενώ όταν η βροχόπτωση ξεπερνά τα 700 χιλιοστά δεν χρειάζεται άρδευση της καλλιέργειας.

Το μεγαλύτερο πλεονέκτημα της καλλιέργειας του σόργου είναι ότι ακόμα και κάτω από συνθήκες περιστασιακής διακοπής αρδευτικού

νερού και ολικής έλλειψης υγρασίας δεν επέρχεται μόνιμη μάρανση αλλά αναστολή της αύξησης (λήθαργος) μέχρι την επόμενη βροχή ή εφαρμογή άρδευσης. Λόγω της αντοχής του στην ξηρασία ο Arnon (1972) το αποκαλεί «καμήλα του φυτικού βασιλείου» (Καραμάνος, 1999).

Σε συνθήκες έλλειψης νερού παρατηρούνται πολυάριθμες φυσιολογικές και βιοχημικές αλλαγές στα φυτά και πολυάριθμα γονίδια εκφράζονται δρώντας προστατευτικά. Η μεγάλη αντοχή του σόργου στην ξηρασία οφείλεται σε διάφορα μορφολογικά και φυσιολογικά χαρακτηριστικά όπως:

- Στο πολύ ανεπτυγμένο και αποτελεσματικό ριζικό σύστημα σε συνδυασμό με τη σχετικά μικρή φυλλική επιφάνεια, η οποία για παράδειγμα είναι η μισή από τη συνολική φυλλική επιφάνεια του καλαμποκιού.
- Σε μορφολογικά χαρακτηριστικά των φύλλων που μειώνουν τις απώλειες νερού όπως παχιά εφυμενίδα με κηρώδες υδρόφοβο επίχρισμα και μηχανικά κύτταρα που προκαλούν τύλιγμα των φύλλων για μείωση της διαπνοής.
- Στον αποτελεσματικό έλεγχο από τα στόματα της ανταλλαγής αερίων ( $\text{CO}_2$ ,  $\text{O}_2$ , υδρατμών) μεταξύ φυτού και ατμόσφαιρας. Τα στόματα κλείνουν σε τιμές του υδατικού δυναμικού των φύλλων αρνητικότερες από άλλα φυτά, γεγονός που επιτρέπει στα φυτά να φωτοσυνθέτουν ακόμη και όταν το νερό είναι πολύ περιορισμένο.
- Το οσμωτικό δυναμικό του κυτταρικού χυμού είναι πολύ αρνητικό και επιτρέπει απορρόφηση νερού και σε περιόδους έντονης εδαφικής ξηρασίας. Επίσης διαθέτει μηχανισμούς μείωσης του οσμωτικού δυναμικού σε περιόδους που το νερό είναι περιορισμένο (οσμωρυθμιστική ικανότητα) (Καραμάνος, 1999).

Μάλιστα, το γλυκό σόργο έχει υψηλότερη αποδοτικότητα χρήσης νερού μεταξύ των καλλιεργούμενων φωτοσυνθετικού τύπου  $\text{C}_4$  φυτών, όπως για παράδειγμα ο αραβόσιτος και το καρποδοτικό σόργο, τόσο

σε συνθήκες επάρκειας όσο και σε συνθήκες έλλειψης νερού, γεγονός που υποδεικνύει ότι επιτυγχάνει αποδοτικότερη χρήση του άνθρακα, έχοντας συγχρόνως μικρότερες υδατικές απώλειες. Η υπεροχή αυτή του γλυκού σόργου πιθανώς να οφείλεται σε μικρότερες απώλειες C κατά την αναπνοή.

Το σόργο εμφανίζει μεγάλη αντοχή και σε συνθήκες περίσσειας νερού, ιδίως κατά το στάδιο της ωριμότητας (Καραμάνος, 1999).

#### 4.5.5 Έδαφος

Το σόργο προσαρμόζεται καλά σε μεγάλο εύρος εδαφών. Μπορεί να καλλιεργηθεί σε εδάφη από ελαφρά αμμώδη μέχρι και βαριά αργιλώδη. Ωστόσο, οι καλύτερες αποδόσεις, όπως και στα περισσότερα καλλιεργούμενα φυτά, επιτυγχάνονται σε μέσης σύστασης και γόνιμα εδάφη. Ψυχρά και υγρά εδάφη δεν ευνοούν την ανάπτυξη της καλλιέργειας. Επίσης πρέπει να αποφεύγονται τα κακοστραγγιζόμενα εδάφη για καλλιέργεια ινώδους σόργου.

Το pH επηρεάζει τη διαθεσιμότητα των θρεπτικών στοιχείων και κατά συνέπεια την ανάπτυξη της καλλιέργειας. Το εύρος του pH για την καλλιέργεια του σόργου είναι 5 - 8,5 με άριστες τιμές 6,2 έως 7,8. Ειδικότερα για την καλλιέργεια του γλυκού σόργου συστήνεται το pH του εδάφους να είναι μεγαλύτερο από 5,8.

Είναι χαρακτηριστική η αντοχή του σόργου σε αλατούχα και αλκαλικά εδάφη. Αναφέρεται αντοχή του σόργου σε εδάφη με υψηλή αλατότητα, ιδίως μετά το αρχικό στάδιο ανάπτυξης (μετά το στάδιο των 4 - 6 φύλλων), ενώ σε τέτοιες συνθήκες ενδείκνυται η καλλιέργεια σε αναχώματα. Επίσης έχει υψηλή ανθεκτικότητα στο ανθρακικό νάτριο. Το φύλλωμα του σόργου είναι ανθεκτικό και σε υψηλές συγκεντρώσεις αλάτων ( Na, Cl) του αρδευτικού νερού κατά την εφαρμογή

καταιονισμού, λόγω της πολύ αργής συσσώρευσης αλάτων δια μέσου των φύλλων (Manual FAO).

#### 4.5.6 Ακτινοβολία

Η φωτοσυνθετική ικανότητα των  $C_4$  φυτών είναι μεγαλύτερη από τα  $C_3$ , ενώ μεταξύ των  $C_4$  φυτών τα μονοκοτυλήδονα (στα οποία ανήκει και το σόργο) είναι φωτοσυνθετικώς αποδοτικότερα από τα δικοτυλήδονα.

Σε σχέση με τα  $C_3$  φυτά, τα  $C_4$  διαθέτουν διαφορετική ανατομική διάταξη των κυττάρων των φύλλων και διαφορετικούς μοριακούς εξοπλισμούς, με αποτέλεσμα σχεδόν να μην φωτοαναπνέουν ενώ τα κύτταρα του μεσόφυλλου λειτουργούν σαν μια ισχυρή αντλία δέσμευσης  $CO_2$  (συσσωρεύεται έως 50 φορές περισσότερο  $CO_2$ ). Παράλληλα, η ύπαρξη ενός δεύτερου ενζύμου (PEP- καρβοξυλάση) εκτός από τη Rubis-CO, καθιστά τα  $C_4$  φυτά ικανά να φωτοσυνθέτουν ικανοποιητικά σε ξηροθερμικές συνθήκες, κατά τις οποίες το κλείσιμο των στομάτων προκαλεί πολύ μικρές συγκεντρώσεις  $CO_2$  στο εσωτερικό των φύλλων. Έτσι η ύπαρξη στα  $C_4$  φυτά του κύκλου Hatch – Slack (κύτταρα μεσόφυλλου) πριν τον κύκλο Calvin-Benson (κύτταρα στεφάνης) οδηγεί στην περίπου διπλάσια κατά μέσο όρο φωτοσυνθετική αποδοτικότητα. Επιπλέον, τα  $C_4$  φυτά έχουν υψηλότερη αποδοτικότητα χρήσης νερού και αζώτου σε σχέση με τα  $C_3$  φυτά.

Το σόργο ως τροπικό  $C_4$  μονοκοτυλήδονο φυτό έχει πολύ υψηλή φωτοσυνθετική ικανότητα και χρησιμοποιεί αποδοτικότερα το  $CO_2$ . Μάλιστα, είναι από τα φωτοσυνθετικώς αποδοτικότερα  $C_4$  φυτά του πλανήτη. Ο ρυθμός καθαρής φωτοσύνθεσης (καθαρή αφομοίωση  $CO_2$ ) για το γλυκό και το ινώδες σόργο ανέρχεται σε 70 - 100 mg  $CO_2$  dm<sup>-2</sup> h<sup>-1</sup> και η άριστη θερμοκρασία φωτοσύνθεσης είναι 20 - 30 βαθμοί Κελσίου, όταν τα φυτά τύπου  $C_3$  παρουσιάζουν μέγιστο ρυθμό μόνο 20 - 50 mg  $CO_2$  dm<sup>-2</sup> h<sup>-1</sup>. Συνεπώς, συνθήκες υψηλής ηλιακής ακτινοβολίας σε συνδυασμό με υψηλές θερμοκρασίες ανάπτυξης που ευνοούν τις



διεργασίες φωτοσύνθεσης καθώς και ύπαρξη επαρκούς εδαφικής υγρασίας, έχουν ως αποτέλεσμα υψηλή παραγωγή βιομάζας.

Είναι αξιοσημείωτο ότι σε ποικιλίες γλυκού και ινώδους σόργου που μελετήθηκαν, βρέθηκε ότι όλες είχαν αξιοσημείωτη περίσσεια σε PEP-καρβοξυλάση, μέχρι τριπλάσιες ποσότητες, σε σχέση με τις ποσότητες που απαιτούνται για αν υποστηρίξουν μέγιστους ρυθμούς φωτοσύνθεσης των φυτών (Καράταγλης, 1994).

Κατά την καλλιεργητική περίοδο το γλυκό σόργο έχει 2,3% απόδοση μετατροπής της ηλιακής ενέργειας (προσπίπτουσα ακτινοβολία) σε χημική (βιομάζα). Επίσης έχει από τις υψηλότερες αποδοτικότητες χρήσης της ηλιακής ακτινοβολίας και κατά μέσο όρο παράγει 3,4 – 3,7 γραμμάρια ξηρής βιομάζας ανά MJ φωτοσυνθετικά ενεργούς ηλιακής ακτινοβολίας (PAR) που απορροφάται από το φυτό (Manual FAO). Στον πίνακα 4 παρουσιάζεται η αποδοτικότητα χρήσης της ηλιακής ακτινοβολίας του γλυκού σόργου σε σχέση με τη φωτοσυνθετική αποδοτικότητα ενεργειακών και άλλων καλλιεργειών.

**Πίνακας 4:** Σύγκριση της φωτοσυνθετικής αποδοτικότητας του γλυκού σόργου άλλα είδη καλλιεργούμενων φυτών.

Είδος φυτού	Φωτοσυνθετική αποδοτικότητα (g ξ.ο / MJ PAR)
Γλυκό σόργο	3,4 - 4,96
Καρποδοτικό σόργο	2,4 – 3,39
Αραβόσιτος	2,1 – 3,2
Ζαχαροκάλαμο	2,7
Μίσχανθος	3,4 – 4,09
Φυτά C <sub>3</sub> (μέση τιμή)	2,0
Ηλίανθος	2,05 – 2,78
Σόγια	1,6 – 1,72
Κενάφ	2,45 – 2,46

## 4.6 Ποικιλίες

Ο κύριος στόχος των προγραμμάτων βελτίωσης του σόργου είναι η αύξηση των αποδόσεων σε βιομάζα. Τα επιθυμητά χαρακτηριστικά και τα κριτήρια επιλογής σε προγράμματα βελτίωσης για τη δημιουργία νέων ποικιλιών ενεργειακών σόργων είναι: α) υψηλό δυναμικό παραγωγής βιομάζας, β) υψηλή περιεκτικότητα σακχάρων και υψηλό ποσοστό σακχαρόζης, γ) περιορισμένο ύψος, δ) μεγάλη διάμετρος βλαστού, ε) αντοχή σε εχθρούς, ασθένειες και στο πλάγιασμα, στ) υψηλή και πρόωμη ζωτικότητα, ζ) υψηλό ποσοστό μονοστέλεχων φυτών (μειωμένη τάση αδελφώματος), η) αντοχή σε χαμηλές θερμοκρασίες ιδίως κατά τα πρώτα στάδια ανάπτυξης και θ) αντοχή στην έλλειψη και την περίσσεια νερού.

Ειδικότερα για την Ευρώπη, γίνονται προσπάθειες για επιλογή γενοτύπων με υψηλή αποτελεσματικότητα χρήσης του αζώτου για μείωση των εισροών της καλλιέργειας και αντοχή σε χαμηλές θερμοκρασίες ιδίως κατά τα πρώτα στάδια ανάπτυξης της καλλιέργειας, ώστε να επιμηκυνθεί η περίοδος συγκομιδής και να διευρυνθεί χρονικά η παροχή πρώτης ύλης στις μονάδες επεξεργασίας. Επίσης για τις μεσογειακές συνθήκες, είναι σημαντική η δημιουργία ανθεκτικών γενοτύπων στην ξηρασία, οι οποίοι να έχουν υψηλό δυναμικό παραγωγής υπό συνθήκες έλλειψης νερού. Έμμεσα κριτήρια επιλογής τέτοιων γενοτύπων είναι ο μέγιστος χρόνος παραμονής της φυλλοστιβάδας σε φωτοσυνθετική δραστηριότητα, το ύψος των φυτών και μέσος έως μεγάλος βιολογικός κύκλος.

### 4.6.1 Ποικιλίες γλυκού σόργου

Το γλυκό σόργο έχει την ικανότητα να συσσωρεύει σάκχαρα στο βλαστό, κυρίως σακχαρόζη, γλυκόζη και φρουκτόζη.

Αν η χρήση της καλλιέργειας γλυκού σόργου είναι η παραγωγή βιοαιθανόλης οι αναλογίες σακχάρου και αμύλου δεν ενδιαφέρουν διότι και τα δύο ζυμώνονται με τελικό προϊόν την αλκοόλη.

Το γλυκό σόργο παρουσιάζει έντονη τάση για πλάγιασμα ενώ το πρόβλημα γίνεται εντονότερο με υψηλά επίπεδα αζωτούχου λίπανσης και άρδευσης. Το πλάγιασμα των φυτών μπορεί να αποτελεί αιτία σοβαρής μείωσης των αποδόσεων σε περιοχές που επικρατούν καταιγίδες ή ισχυροί άνεμοι. Αναφέρεται ότι η χρήση του Ethernon, το οποίο είναι ρυθμιστής ανάπτυξης, μείωσε το ποσοστό πλαγιάσματος του γλυκού σόργου, προκαλώντας μείωση του μήκους των μεσογονατίων της βάσης και του μέσου ύψους των φυτών, χωρίς να επηρεάσει αρνητικά την παραγωγή σε βιομάζα και σάκχαρα.

#### **4.6.2 Ποικιλίες ινώδους σόργου**

Τα υβρίδια του ινώδους σόργου προέρχονται από διασταυρώσεις του καρποδοτικού σόργου με το σόργο σαρωθροποιίας και λόγω του φαινομένου της ετέρωσης παρουσιάζουν υψηλό δυναμικό παραγωγής.

Αντίθετα με το γλυκό, το ινώδες σόργο έχει χαμηλή περιεκτικότητα σε διαλυτά σάκχαρα και το ενεργειακό δυναμικό του βασίζεται κυρίως στην υψηλή περιεκτικότητα του σε λιγνοκυτταρινούχα συστατικά. Ο ινώδης βλαστός του, εξασφαλίζει μεγάλη αντοχή στο πλάγιασμα των φυτών και δεν παρουσιάζονται προβλήματα όπως στην περίπτωση του γλυκού σόργου (ΚΑΠΕ, 2004).

## 5. ΚΑΛΛΙΕΡΓΗΤΙΚΗ ΤΕΧΝΙΚΗ

Το γλυκό και το ινώδες σόργο είναι εν δυνάμει καλλιέργειες με μεγάλη προσαρμοστικότητα και υψηλές αποδόσεις ωστόσο, για να επιτευχθεί αυτό είναι απαραίτητη η εφαρμογή κατάλληλων καλλιεργητικών πρακτικών διαχείρισης της καλλιέργειας.

Σε δεδομένο περιβάλλον, οι εκροές μιας καλλιέργειας εξαρτώνται αποκλειστικά από τις εφαρμοζόμενες καλλιεργητικές τεχνικές ενώ συγχρόνως μέσω των κατάλληλων πρακτικών μπορεί να επέλθει και μείωση των ενεργειακών εισροών μιας καλλιέργειας.

Η διαχείριση της καλλιέργειας πρέπει να εναρμονίζεται κατά το δυνατόν με τις πρακτικές της αειφόρου γεωργίας και να αποβλέπει σε βέλτιστη παραγωγή με τις ελάχιστες εισροές, τόσο για οικονομικούς όσο και για περιβαλλοντικούς λόγους.

Η βέλτιστη αγρονομική διαχείριση και η κατά περίπτωση καταλληλότερες καλλιεργητικές τεχνικές αποτελούν αντικείμενο συνεχούς έρευνας για το γλυκό και το ινώδες σόργο, τόσο για τη βελτιστοποίηση του οικονομικού αποτελέσματος και του καθαρού ενεργειακού κέρδους από την καλλιέργεια, όσο και για την προστασία των αγροοικοσυστημάτων και του περιβάλλοντος γενικότερα.

### 5.1 Αμειψισπορά

Στις μεσογειακές χώρες ο βιολογικός κύκλος του γλυκού και του ινώδους σόργου (140 - 160 ημέρες) επιτρέπει τη σπορά κάποιας χειμερινής καλλιέργειας.

Σύμφωνα με τους Monti and Venturi (2003), η τριετής μονοκαλλιέργεια δεν ελάττωσε τις αποδόσεις μη αρδευόμενης καλλιέργειας γλυκού και ινώδους σόργου.

Ο Καραμάνος (1999) αναφέρει ότι το σόργο μπορεί να ακολουθήσει οποιοδήποτε φυτό και οι Grassi et al. (2004) αναφέρουν ότι το γλυκό

σόργο μπορεί να ακολουθεί χειμερινά σιτηρά και να ακολουθείται από καλαμπόκι, τεύτλα ή ηλίανθο. Σύμφωνα όμως με το Bioenergy Holchajn συνίσταται να μην είναι αραβόσιτος η προηγούμενη ή η αμέσως επόμενη καλλιέργεια.

Έχει παρατηρηθεί ότι όταν προηγείται σανοδοτικό ψυχανθές έχει πιο ευεργετικά αποτελέσματα στο σόργο από κάποιο καρποδοτικό σιτηρό, επειδή εξοικονομείται εδαφική υγρασία τουλάχιστον κατά 30 - 50% και το έδαφος έχει υψηλότερο επίπεδο γονιμότητας. Επίσης, η εναλλαγή χειμερινής καλλιέργειας ψυχανθούς ή σίκαλης σε κεκλιμένα εδάφη μετά τη συγκομιδή του σόργου μειώνει τη διάβρωση του εδάφους, ενώ η καλλιέργεια ψυχανθούς ελέγχει καλύτερα την έκπλυση του αζώτου και αυξάνει τη διείσδυση του νερού στο έδαφος (Καραμάνος, 1999).

Τα αποτελέσματα σχετικών μελετών στις οποίες εφαρμόστηκαν 19 συστήματα εναλλαγής καλλιεργειών, στα οποία συμμετείχαν γλυκό και ινώδες σόργο, σόγια, σιτάρι, ελαιοκράμβη, κουκιά, καλαμπόκι και κολοκάσι (*Jerusalem artichoke*), συνοψίζονται στα εξής:

- ❖ Στο γλυκό σόργο δεν παρατηρήθηκε σημαντική μείωση των αποδόσεων του σε όλες τις εναλλαγές καλλιεργειών που συμμετείχε καθώς και σε τριετή μονοκαλλιέργεια. Οι καλύτερες αποδόσεις βιομάζας και σακχάρων ήταν μετά από σιτάρι – κουκιά και σιτάρι – σόγια. Δεν συστήνεται καλλιέργεια ελαιοκράμβης μετά το γλυκό σόργο.
- ❖ Στο ινώδες σόργο η τριετής μονοκαλλιέργεια είχε αποτέλεσμα τη μείωση της απόδοσης κατά το τρίτο έτος. Οι καλύτερες αποδόσεις ήταν μετά από σιτάρι – σόγια ή σόγια – σιτάρι. Δεν συστήνεται καλλιέργεια σίτου μετά το ινώδες σόργο.
- ❖ Οι αποδόσεις γλυκού και ινώδους σόργου αυξάνονται όταν προηγείται καλλιέργεια σιταριού, ενώ για την αποφυγή μείωσης των αποδόσεων σίτου ενδείκνυται ενδιάμεση καλλιέργεια ψυχανθούς (κουκιά, σόγια) μεταξύ ινώδους ή γλυκού σόργου και σιταριού.

Οι επιδράσεις του σόργου είναι αρνητικές στα φυτά που ακολουθούν, κυρίως λόγω της εξάντλησης από το ισχυρό ριζικό σύστημα της εδαφικής υγρασίας και των θρεπτικών στοιχείων, ιδίως σε πτωχά και ξηρά εδάφη (Παπακώστα, 2005). Επίσης το σόργο αφήνει τον αγρό σε κακή κατάσταση από πλευράς δομής. Οι βώλοι διασπώνται δύσκολα λόγω της ξηρότητας τους και λόγω των πολυπληθών ριζιδίων που εγκλωβίζουν το χώμα, για το λόγο αυτό χρειάζεται ιδιαίτερη προσοχή στην προετοιμασία του εδάφους για την επόμενη καλλιέργεια. Μια πρόσθετη δυσμενής επίδραση φαίνεται να οφείλεται σε φαινόμενα αλληλοπάθειας του σόργου. Εκχυλίσματα από βλαστούς και ρίζες σόργου ήταν περισσότερο τοξικά σε αρτίβλαστα σιταριού συγκριτικά με αντίστοιχα εκχυλίσματα από αραβόσιτο, σιτάρι και βρώμη. Συνίσταται επομένως να ακολουθούν το σόργο εαρινές καλλιέργειες (Καραμάνος, 1999).

Η χρήση του σόργου σε συστήματα εναλλαγής καλλιεργειών έχει και ευεργετικά αποτελέσματα διότι μειώνει τη διάβρωση του εδάφους, λόγω της συγκράτησης από το εκτεταμένο ριζικό του σύστημα.

## **5.2 Προετοιμασία εδάφους**

Το σόργο προσαρμόζεται σε μεγάλο εύρος εδαφών αλλά ευνοούν βαθιά εδάφη, πλούσια σε οργανική ουσία, καλής δομής, καλοστραγγιζόμενα και υψηλής υδατοχωρητικότητας. Η προετοιμασία του εδάφους είναι παρόμοια με του καλαμποκιού.

Η προετοιμασία του εδάφους, συμπεριλαμβανομένων της χρήσης δισκοσβάρνας και οργώματος, γίνεται το χειμώνα, την άνοιξη και πριν τη σπορά και έχει τρεις σκοπούς:

α) τη βελτίωση της εδαφικής δομής, αυξάνοντας το πορώδες, τον αερισμό και τη διηθητικότητα του εδάφους,

β) την αύξηση της διαθέσιμης εδαφικής υγρασίας, ειδικά σε άνυδρες περιοχές, μέσω της απομάκρυνσης των ζιζανίων και

γ) την ενσωμάτωση με όργωμα των υπολειμμάτων της προηγούμενης καλλιέργειας, η οποία συντελεί στη μείωση ζιζανίων, εντομολογικών εχθρών και ασθενειών.

Διατήρηση επαρκούς εδαφικής υγρασίας επιτελείται κυρίως με χειμωνιάτικες κατεργασίες που αυξάνουν τη διηθητικότητα του εδάφους και καταστρέφουν τα ζιζάνια (υνάροτρα, δισκάροτρα, καλλιεργητής).

Είναι πολύ χρήσιμο να γίνεται χειμερινό όργωμα όταν προηγείται καλλιέργεια με μεγάλο όγκο φυτικών υπολειμμάτων όπως το καλαμπόκι. Είναι απαραίτητο το ψιλοχωμάτισμα του εδάφους πριν τη σπορά, με ελαφρύ καλλιεργητή ή δισκοσβάρνα, ώστε να δημιουργηθεί κατάλληλη σποροκλίση και επαρκής υγρασία για την ανάπτυξη των φυταρίων, διότι οι σπόροι είναι αρκετά μικρού μεγέθους.

Το ψιλοχωμάτισμα με ελαφρύ καλλιεργητή ή δισκοσβάρνα πρέπει να αποφεύγεται σε αμμώδη εδάφη λόγω του κινδύνου διάβρωσης του εδάφους από τον άνεμο.

Τα τελευταία χρόνια, για τη μείωση του κόστους παραγωγής, την αποφυγή της διάβρωσης ιδίως των επικλινών εδαφών και τη διατήρηση της οργανικής ουσίας και της εδαφικής υγρασίας αναπτύχθηκαν τεχνικές μειωμένης κατεργασίας του εδάφους. Η μειωμένη κατεργασία επιτυγχάνεται με δυο κυρίως τρόπους. Κατά τον πρώτο τρόπο γίνεται μια ελαφρά κατεργασία του επιφανειακού στρώματος του εδάφους με καλλιεργητή ή δισκοσβάρνα λίγο πριν το χρόνο σποράς. Κατά το δεύτερο τρόπο με σύνθετο μηχάνημα γίνεται η κατεργασία του εδάφους σε λωρίδες και στη συνέχεια σπορά στις λωρίδες αυτές. Γενικώς το βάθος κατεργασίας εξαρτάται από τον τύπο του εδάφους, αλλά γενικά δεν πρέπει να υπερβαίνει τα 20 εκατοστά (Παπακώστα, 1996-1997).

Επίσης η απουσία ζιζανίων από τον αγρό κατά την εποχή σποράς είναι απαραίτητη προϋπόθεση για την καλή εγκατάσταση της καλλιέργειας, δεδομένου ότι η αρχική ανάπτυξη του σόργου είναι βραδεία. Έχει επομένως μεγάλη σημασία ο χρόνος της τελευταίας κατεργασίας που πρέπει να βρίσκεται πολύ κοντά στο χρόνο σποράς.

## 5.3 Σπορά

### 5.3.1 Πυκνότητα φυτών

Η πυκνότητα φυτών εξαρτάται από τη βλαστικότητα του σπόρου, την ποιότητα εδάφους, το ποσοστό εδαφικής υγρασίας, το κλίμα και την ποικιλία. Η σωστή πυκνότητα φυτών είναι σημαντική για την μέγιστη αξιοποίηση της γονιμότητας του εδάφους, της υγρασίας, της ηλιοφάνειας και για τη μεγιστοποίηση των αποδόσεων. Ως εκ τούτου συστήνεται υψηλότερη πυκνότητα φυτών σε εδάφη εύφορα και με επάρκεια υγρασίας σε σχέση με άγονα και ξηρά εδάφη.

Σε ποικιλίες που παρουσιάζουν έντονη τάση αδελφώματος η πυκνότητα φυτών που απαιτείται είναι μικρότερη, όπως επίσης και στις μικρόκαρπες ποικιλίες. Επίσης οι υψηλές πυκνότητες συντελούν στην αύξηση του πλαγιάσματος των φυτών, οπότε σε ποικιλίες ευαίσθητες στο πλάγιασμα (κυρίως γλυκού σόργου) ή σε περιοχές με ισχυρούς ανέμους πρέπει να προτιμούνται μικρότερες πυκνότητες σποράς για ελαχιστοποίηση των απωλειών.

Στις εαρινές σπορές απαιτείται μεγαλύτερη ποσότητα σπόρου ανά στρέμμα σε σχέση με τις θερινές, ενώ για πρώιμες σπορές όπου η θερμοκρασία του εδάφους είναι χαμηλή ή όταν είναι γνωστή η παρουσία επιζήμιων εντόμων εδάφους, συστήνεται μεγαλύτερη πυκνότητα φυτών.

Στο γλυκό σόργο οι αποστάσεις σποράς είναι 0,75 – 1,00 μέτρο μεταξύ των γραμμών και 0,10 – 0,30 μέτρα επί της γραμμής σποράς, ανάλογα με την ποικιλία και την υγρασία του εδάφους (Καραμάνος, 1999) .

Για την Ελλάδα συστήνεται σπορά του γλυκού και ινώδους σόργου σε αποστάσεις 0,75 μέτρα μεταξύ των γραμμών και 0,125 μέτρα επί της γραμμής σποράς και απαιτούνται 300 – 500 γραμμάρια σπόρου ανά στρέμμα.



### 5.3.2 Χρόνος σποράς

Το σόργο στις εύκρατες περιοχές σπέρνεται την άνοιξη, ενώ στις τροπικές όλο το χρόνο, ανάλογα με την περίοδο των βροχοπτώσεων.

Ο χρόνος σποράς πρέπει να προσδιορίζεται με βάση τη θερμοκρασία και την υγρασία του εδάφους. Η ελάχιστη θερμοκρασία φυτρώματος είναι 8 – 10 βαθμοί Κελσίου και η άριστη μεταξύ 20 και 30 βαθμών Κελσίου. Το φύτευμα επιτυγχάνεται σε 5 ημέρες όταν η θερμοκρασία εδάφους είναι 18 – 21 βαθμοί Κελσίου.

Όταν η σπορά γίνεται σε χαμηλότερες των απαιτούμενων θερμοκρασίες, τότε το φύτευμα καθυστερεί σημαντικά και υπάρχει κίνδυνος καταστροφής μεγάλου ποσοστού των σπόρων ή των σποροφύτων από έντομα και μύκητες του εδάφους. Στην περίπτωση που η σπορά καθυστερήσει, η θερμοκρασία του εδάφους είναι μεν υψηλότερη, αλλά το ποσοστό βλαστικότητας μειώνεται λόγω έλλειψης υγρασίας στο έδαφος, ενώ τα σπορόφυτα αναπτύσσονται γρηγορότερα με αποτέλεσμα να δίνουν φυτά λεπτοστέλεχα με μειωμένη απόδοση, λόγω μικρότερης διάρκειας του βλαστικού σταδίου ανάπτυξης.

Ο καλύτερος χρόνος για τη σπορά γλυκού σόργου είναι όταν η θερμοκρασία του εδάφους, σε βάθος 10 εκατοστών, είναι μεγαλύτερη από 12 - 13 βαθμοί Κελσίου και η εδαφική υγρασία είναι 18 - 20 %, ενώ για το ινώδες σόργο απαιτείται θερμοκρασία εδάφους πάνω από 15 βαθμούς Κελσίου. Σύμφωνα με τον Καραμάνο (1999), η σπορά του σόργου στην Ελλάδα πρέπει να γίνεται όταν η θερμοκρασία εδάφους σταθεροποιηθεί στους 16 βαθμούς Κελσίου και χρονικά τοποθετείται περίπου δυο εβδομάδες μετά τη σπορά του αραβοσίτου.

Στις περιπτώσεις θερινής σποράς, αυτή πρέπει να γίνεται αμέσως μετά τη συγκομιδή της προηγούμενης καλλιέργειας, ιδιαίτερα αν αυτή είναι σιτάρι, διότι εξασφαλίζεται υψηλή εδαφική υγρασία (Manual FAO).

### 5.3.3 Έλεγχοι και χειρισμός του σπόρου

Για επιτυχή σπορά, είναι απαραίτητο να γίνουν οι παρακάτω έλεγχοι και χειρισμοί των σπόρων, ώστε να εξασφαλιστεί υψηλή βλαστική ικανότητα και σωστή πυκνότητα φυτών, χωρίς κενά επί των γραμμών σποράς.

1) Επιλογή των σπόρων: κατά τη διαλογή, απορρίπτονται σπόροι μικροί, λεπτοί, σπασμένοι, προσβεβλημένοι από εχθρούς και ασθένειες ώστε να εξασφαλιστεί υψηλό ποσοστό βλαστικότητας και φυτρώματος.

2) Ξήρανση σπόρων: η ξήρανση εξαλείφει το λήθαργο των σπόρων και προκαλεί την πρόωμη ωρίμανση του. Η ξήρανση γίνεται είτε σε καλά αεριζόμενο αποθηκευτικό χώρο είτε με τη φυσική μέθοδο της ηλιοαποξήρανσης. Η τελευταία μέθοδος μάλιστα, αυξάνει τη διαπερατότητα της επιδερμίδας του σπόρου στο νερό και το οξυγόνο, με αποτέλεσμα την αύξηση της βιωσιμότητας και της βλαστικότητας των σπόρων. Το ποσοστό βλαστικότητας μπορεί να αυξηθεί 5 – 10% με την ηλιοαποξήρανση ενώ τα σπορόφυτα εμφανίζονται 1 – 2 ημέρες νωρίτερα.

3) Δοκιμές βλαστικότητας: για τον προσδιορισμό του ποσοστού βλαστικότητας των σπόρων γίνονται εργαστηριακές δοκιμές, αν και το ποσοστό αυτό είναι πάντα υψηλότερο στο εργαστήριο απ'ότι στον αγρό. Το ποσοστό βλαστικότητας πρέπει να είναι γνωστό ώστε ο παραγωγός να μπορεί να επιτύχει την σωστή πυκνότητα φυτών. Η ελάχιστη βλαστική ικανότητα ενός ικανοποιητικού δείγματος σπόρων στο εργαστήριο είναι 85 – 90% (Manual FAO).

Υπολογίζεται ότι το 60 – 70% των σπόρων εξελίσσονται σε φυτά στον αγρό.

Είναι απαραίτητη η εφαρμογή μυκητοκτόνων και εντομοκτόνων στο σπόρο για αποφυγή προσβολών. Συνήθως ο σπόρος υβριδίων διατίθεται απολυμασμένος και επενδεδυμένος.

### 5.3.4 Μέθοδος σποράς

Η σπορά γίνεται κυρίως μηχανικά με σπαρτικές μικρών σιτηρών ή βαμβακιού και αραβοσίτου. Το βάθος σποράς δεν πρέπει να υπερβαίνει το 5πλάσιο της μεγαλύτερης διαμέτρου του σπόρου (από 1,5 έως 3 εκατοστά). Το μικρότερο βάθος σποράς συνίσταται σε πρώιμη σπορά κατά την οποία η υγρασία του εδάφους είναι επαρκής και η θερμοκρασία χαμηλή, ενώ η βαθύτερη σπορά γίνεται σε ελαφρά, αμμώδη εδάφη. Σπορά σε μεγάλο βάθος μπορεί να προκαλέσει μειωμένη φυτρωτικότητα και καχεκτικά φυτάρια, ενώ με πολύ ρηχή σπορά (< 1,3 εκατοστά) πιθανώς να προκληθεί μειωμένη ανάπτυξη του ριζώματος με αποτέλεσμα προβλήματα πλαγιάσματος της καλλιέργειας κατά το στάδιο της ωριμότητας (Παπακώστα, 1996-1997).

Οι σπαρτικές μικρών σιτηρών μειονεκτούν ως προς τη δυνατότητα ακριβούς ελέγχου της ποσότητας σπόρου, παρουσιάζεται σχετική ανομοιομορφία ως προς το βάθος σποράς ενώ οι τροχοί τους είναι μικροί και η συμπίεση του εδάφους μετά τη σπορά ατελής. Για το λόγο αυτό προτείνονται κυρίως για σπορά ποικιλιών σανοδοτικού σόργου. Οι σπαρτικές βαμβακιού και αραβοσίτου (πνευματικές) επιτρέπουν ακριβή έλεγχο της ποσότητας του σπόρου, ομοιόμορφο βάθος σποράς και καλύτερη συμπίεση του εδάφους, οπότε βελτιώνονται και οι συνθήκες υγρασίας στη σποροκλίνη.

Όταν το έδαφος είναι πολύ ξηρό οι σπαρτικές πρέπει να φέρουν αυλακωτήρες οι οποίοι απομακρύνουν το επιφανειακό ξηρό έδαφος και σπέρνουν στον πυθμένα των αυλακιών όπου η υγρασία είναι υψηλότερη.

Τέλος σε συμπιεσμένα εδάφη ή εδάφη που η δημιουργία επιφανειακής κρούστας είναι συχνή, τα καλύτερα αποτελέσματα δίνει η καλλιέργεια σε αναχώματα (Καραμάνος, 1999).

#### 5.4 Άλλες καλλιεργητικές εργασίες

Σε περίπτωση που βρέξει πριν το φύτευμα και επικρατήσει μεγάλη ηλιοφάνεια τότε μπορεί να δημιουργηθεί μια αδιαπέραστη κρούστα στην επιφάνεια του εδάφους, ιδίως σε πολύ ψιλοχωματισμένο έδαφος. Στην περίπτωση αυτή πρέπει να γίνει κατεργασία του εδάφους με μηχανικό καλλιεργητή, σε μικρό βάθος και κοντά στις γραμμές σποράς, έτσι ώστε να αφαιρεθεί η κρούστα, να αυξηθεί η θερμοκρασία και ο αερισμός του εδάφους και να μειωθούν τα ζιζάνια και οι προσβολές από ασθένειες.

Μετά το φύτευμα είναι ωφέλιμο να γίνει σκάλισμα μεταξύ των γραμμών σποράς συνήθως με μηχανικό σκαλιστήρι. Το σκάλισμα ρυθμίζει την υγρασία και τη θερμοκρασία του εδάφους, προάγει την ανάπτυξη των φυταρίων, περιορίζει τα ζιζάνια, βελτιώνει τον αερισμό του εδάφους και μειώνει τις προσβολές από εχθρούς και ασθένειες. Επίσης προάγει τη δημιουργία δευτερογενών ριζών και ισχυρότερου ριζικού συστήματος.

#### 5.5 Ανόργανη θρέψη – Λίπανση

Οι απαιτήσεις για λίπανση εξαρτώνται κυρίως από τον τύπο του εδάφους, από την προηγούμενη καλλιέργεια και το ύψος βροχόπτωσης. Βασική συνιστώσα της αποτελεσματικότητας της λίπανσης και της μέγιστης αξιοποίησης της από την καλλιέργεια είναι η ορθολογική άρδευση. Για παράδειγμα περίσσεια νερού στην καλλιέργεια οδηγεί σε απώλειες λόγω έκπλυσης νιτρικού Ν. Επίσης ο ρυθμός πρόσληψης και οι απαιτούμενες ποσότητες των ανόργανων θρεπτικών στοιχείων διαφέρουν μεταξύ των σταδίων ανάπτυξης της καλλιέργειας.

Για το γλυκό και το ινώδες σόργο, ανάλογα με τη γονιμότητα του εδάφους, απαιτείται λίπανση με 5 – 15 κιλά Ν, 3 – 6 κιλά Ρ και 6 – 12 κιλά Κ ανά στρέμμα, με το γλυκό σόργο να έχει μεγαλύτερες θρεπτικές ανάγκες σε Κ.

Η εφαρμογή λιπασμάτων καλό είναι να γίνεται σε δύο δόσεις για μεγαλύτερη αποτελεσματικότητα χρησιμοποίησης τους, ιδιαίτερα σε αμμώδη εδάφη που οι απώλειες μέσω της έκπλυσης είναι υψηλές. Το σύνολο των φωσφορικών και καλιούχων λιπασμάτων και το 30 – 50% της ποσότητας του Ν δίνεται ως βασική λίπανση, η οποία βοηθά για γρήγορη αρχική ανάπτυξη των φυταρίων και το υπόλοιπο Ν ως επιφανειακή λίπανση. Το Ν στην πρώτη περίπτωση συνιστάται να δίνεται σε αμμωνιακή μορφή η οποία δεν εκπλύνεται εύκολα ενώ στην επιφανειακή λίπανση σε νιτρική μορφή που είναι άμεσα αφομοιώσιμη από τα φυτά (Παπακώστα, 1996-1997, Θεριός, 1996).

Για την επίτευξη υψηλών αποδόσεων βιομάζας και σακχάρων πρέπει να γίνεται επιφανειακή λίπανση της καλλιέργειας στον κατάλληλο χρόνο. Το σόργο παρουσιάζει τις μεγαλύτερες θρεπτικές ανάγκες κατά το στάδιο της ανθοφορίας και καρποφορίας. Η επιφανειακή λίπανση πρέπει να εφαρμόζεται όταν τα φυτά έχουν ύψος 20 – 25 εκατοστά και οπωσδήποτε πριν αποκτήσουν ύψος 70 εκατοστών, ενώ συστήνεται να ακολουθείται από κατεργασία του εδάφους με μηχανικό σκαλιστήρι μεταξύ των γραμμών.

## 6. ΣΚΟΠΟΣ ΤΗΣ ΜΕΛΕΤΗΣ

Στην συγκεκριμένη ερευνητική εργασία θα γίνει προσπάθεια δημιουργίας ενός μοντέλου ανάπτυξης της καλλιέργειας των δύο ειδών σόργου ως προς τις ποσότητες άρδευσης και λίπανσης.

Έγινε σύγκριση ως προς την απόδοση και τα υπόλοιπα στοιχεία ανάπτυξης της καλλιέργειας ( ύψος φυτών, LAI, SLA ) μεταξύ των διαφορετικών μεταχειρίσεων. Συγκεκριμένα εφαρμόσθηκαν άρδευση και αζωτούχος λίπανση σε διάφορους συνδυασμούς για να προσεγγίσουμε το μέγιστο της παραγωγής σε ξηρή βιομάζα χρησιμοποιώντας έναν από αυτούς, όπως αναφέρονται στο κεφάλαιο Υλικά και Μέθοδοι.

Μελετώντας το συγκεκριμένο πείραμα, ο ουσιαστικότερος σκοπός του ήταν να δημιουργήσουμε ένα μοντέλο ανάπτυξης για μια καλλιέργεια που φαίνεται προσοδοφόρα, η οποία θα αντικαταστήσει τα χειμερινά σιτηρά που καλλιεργούνται σήμερα με οριακό κέρδος σε όλη την Ελλάδα. Αυτό γιατί η συγκεκριμένη καλλιέργεια δεν απαιτεί διαφορετικό μηχανολογικό εξοπλισμό από αυτόν των σιτηρών, είναι καλλιέργεια χαμηλών εισροών (σχετικά με το καλαμπόκι) και έχει προοπτικές ως ενεργειακή καλλιέργεια γιατί οι ανάγκες σε ενέργεια φιλική προς το περιβάλλον όλο και παρουσιάζει αυξανόμενη ζήτηση. Η έρευνα που αφορά τα αγρονομικά χαρακτηριστικά της καλλιέργειας του σόργου πιστεύουμε ότι θα φανεί χρήσιμη στους Έλληνες σιτοκαλλιεργητές που αγωνιούν για τις μελλοντικές χρήσεις της γης τους.

Θα ήταν παράληψη να μην αναφέρουμε στο σημείο αυτό ότι πρόκειται για μια καλλιέργεια «φιλική» προς το περιβάλλον αφού σχεδόν μηδενίζονται οι εισροές αγροχημικών και περιορίζονται στο ελάχιστο οι εισροές λιπασμάτων, που λόγω της υπερβολικής χρήσης τους τα προηγούμενα χρόνια δημιούργησαν δυσεπίλυτα προβλήματα στα

καλλιεργούμενα εδάφη και στον υδροφόρο ορίζοντα, είτε ρυπαίνοντας τον με νιτρικά είτε εξαντλώντας τα αποθέματα του.

## 7. ΥΛΙΚΑ ΚΑΙ ΜΕΘΟΔΟΙ

Το πείραμα αγρού πραγματοποιήθηκε στη Δυτική Θεσσαλική πεδιάδα ( Παλαμάς - Καρδίτσας, με συντεταγμένες 39° 25 N και 22° 05 E, 107 m υψόμετρο από την επιφάνεια της θάλασσας ) το 2006.

Συγκεκριμένα εγκαταστάθηκε πείραμα καλλιέργειας του σόργου στην περιοχή του Παλαμά Καρδίτσας. Επιλέχθηκε η περιοχή αυτή για την ποιότητα του εδάφους (Aquic Xerofluvent) και την στάθμη νερού στον υπόγειο υδροφόρο ορίζοντα. Το έδαφος στον Παλαμά κατόπιν των εδαφολογικών αναλύσεων έδειξε ότι είναι πηλώδες (40-42% πηλό, 40-41% άμμο και 18-19%) με οργανική ουσία 1% σε βάθος 50 εκατοστών και pH=8,0. Πάρθηκαν εδαφικά δείγματα του πειραματικού αγρού στα βάρη 0 – 20 εκατοστά και 20 – 40 εκατοστά 2 ημέρες πριν τη σπορά και πριν εφαρμοστεί η βασική λίπανση. Ο συγκεκριμένος αγρός καλλιεργούνταν τα τελευταία τέσσερα χρόνια με βαμβάκι και η στάθμη του υπόγειου νερού στην αρχή της καλλιεργητικής περιόδου ήταν στα 2,20 μέτρα και στο τέλος της στα 3,0 μέτρα. Αυτό φάνηκε μετά από διάνοιξη δυο εδαφικών κατατομών.

Κατά το πειραματικό έτος (Μάιος 2006 - Νοέμβριος 2006) της έρευνας έγινε σπορά των δύο ειδών σόργου και συγκεκριμένα το ινώδες (υβρίδιο H133) και το γλυκό (ποικιλία Dale), σε ένα πειραματικό σχέδιο 2x3x3 split-split-plot διαχωρισμένων υποτεμαχίων, όπου εφαρμόστηκαν τρία επίπεδα άρδευσης ( $I_0, I_1, I_2$ ), τρία επίπεδα αζωτούχου λίπανσης ( $N_0, N_1, N_2$ ) σε τρεις επαναλήψεις (54 plots). Η διάταξη των πειραματικών τεμαχίων με τους διάφορους συνδυασμούς μεταχειρίσεων απεικονίζεται παρακάτω:



<b>49</b> $V_1I_1N_2$	<b>50</b> $V_1I_3N_2$	<b>51</b> $V_1I_2N_2$	<b>52</b> $V_2I_1N_1$	<b>53</b> $V_2I_3N_1$	<b>54</b> $V_2I_2N_1$
<b>48</b> $V_1I_1N_1$	<b>47</b> $V_1I_3N_1$	<b>46</b> $V_1I_2N_1$	<b>45</b> $V_2I_1N_2$	<b>44</b> $V_2I_3N_2$	<b>43</b> $V_2I_2N_2$
<b>37</b> $V_1I_1N_3$	<b>38</b> $V_1I_3N_3$	<b>39</b> $V_1I_2N_3$	<b>40</b> $V_2I_1N_3$	<b>41</b> $V_2I_3N_3$	<b>42</b> $V_2I_2N_3$

## ΔΙΑΔΡΟΜΟΣ (Πλάτος 3 m)

<b>36</b> $V_2I_1N_2$	<b>35</b> $V_2I_3N_2$	<b>34</b> $V_2I_2N_2$	<b>33</b> $V_1I_1N_1$	<b>32</b> $V_1I_3N_1$	<b>31</b> $V_1I_2N_1$
<b>25</b> $V_2I_1N_3$	<b>26</b> $V_2I_3N_3$	<b>27</b> $V_2I_2N_3$	<b>28</b> $V_1I_1N_3$	<b>29</b> $V_1I_3N_3$	<b>30</b> $V_2I_2N_3$
<b>24</b> $V_2I_1N_1$	<b>23</b> $V_2I_3N_1$	<b>22</b> $V_2I_2N_1$	<b>21</b> $V_1I_1N_2$	<b>20</b> $V_1I_3N_2$	<b>19</b> $V_1I_2N_2$

## ΔΙΑΔΡΟΜΟΣ (Πλάτος 3 m)

<b>13</b> $V_1I_1N_3$	<b>14</b> $V_1I_3N_3$	<b>15</b> $V_1I_2N_3$	<b>16</b> $V_2I_1N_3$	<b>17</b> $V_2I_3N_3$	<b>18</b> $V_2I_2N_3$
<b>12</b> $V_1I_1N_2$	<b>11</b> $V_1I_3N_2$	<b>10</b> $V_1I_2N_2$	<b>9</b> $V_2I_1N_1$	<b>8</b> $V_2I_3N_1$	<b>7</b> $V_2I_2N_1$
<b>1</b> $V_1I_1N_1$	<b>2</b> $V_1I_3N_1$	<b>3</b> $V_1I_2N_1$	<b>4</b> $V_2I_1N_2$	<b>5</b> $V_2I_3N_2$	<b>6</b> $V_2I_2N_2$

$V_1$  = Ποικιλία γλυκού σόργου Dale  $V_2$  = Υβρίδιο ινώδους σόργου H 133.

$N_1$  = 0 μονάδες N,  $N_2$  = 6 μονάδες N και  $N_3$  = 12 μονάδες N.

$I_1$  = Άρδευση 0% της  $ET_m$ ,  $I_2$  = Άρδευση 50% της  $ET_m$  και  $I_3$  = Άρδευση 50% της  $ET_m$ .

Τα τρία επίπεδα άρδευσης είναι τα εξής: ένα μηδενικό ( $I_0$ ), και δύο με διαφορετικές δόσεις ( $I_1, I_2$ ) στα οποία η πρώτη  $I_1=50\%$  της ETm (ETm=maximum Evapotranspiration) και η δεύτερη  $I_2=100\%$  της ETm και υπολογίζονταν αντίστοιχα προς την εκάστοτε ET. Καθ' όλη τη διάρκεια του πειράματος λαμβάνονταν πλήρη κλιματικά δεδομένα από μετεωρολογικό σταθμό που διευκόλυναν τον υπολογισμό της εξατμισοδιαπνοής. Ο πειραματικός αγρός αρδεύτηκε με την μέθοδο της στάγδην άρδευσης.

Τα επίπεδα της αζωτούχου λίπανσης που εφαρμόστηκαν είναι τα εξής:  $N_0=0$  kg/στρ (μάρτυρας),  $N_1= 6$  kg/στρ,  $N_2 =12$  kg/στρ. Χρησιμοποιήθηκαν αμμωνιακά αζωτούχα λιπάσματα (ουρία του τύπου 46-0-0 με παρεμποδιστή νιτροποίησης). Η επιφανειακή εφαρμογή του αζωτούχου λιπάσματος πραγματοποιήθηκε περίπου ένα μήνα μετά τη σπορά στις 20/06/2006 σε κάθε πειραματικό τεμάχιο που είχε καθοριστεί από το πειραματικό σχέδιο ως αναφορά τα επίπεδα ( $N_0, N_1, N_2$ ). Το ύψος των φυτών τη συγκεκριμένη περίοδο ήταν περίπου στα 50cm.

Οι τρεις επαναλήψεις θεωρήθηκαν απαραίτητες για να επιβεβαιώσουν την ακρίβεια των στοιχείων.

Κάθε πειραματικό τεμάχιο είχε έκταση περίπου 30 τ.μ. (συγκεκριμένα 33,0 τ.μ.) ώστε να είναι αρκετά τα φυτά που θα αναπτυχθούν για να γίνουν οι κοπές και μετρήσεις φυσιολογικών και άλλων χαρακτηριστικών.

Πριν τη σπορά προηγήθηκε κατεργασία του εδάφους με άροτρο και δισκοσβάρνα, εδαφοληψία και ανάλυση των δειγμάτων και στη συνέχεια ακολούθησε εφαρμογή βασικής λίπανσης μόνο P και K (λίπασμα τύπου P - K σε ποσότητες 5 μονάδων/στρ και 15 μονάδων/στρ αντίστοιχα). Συγκεκριμένα χρησιμοποιήθηκε το λίπασμα τύπου 0-20-20 σε ποσότητα 25 kg/στρ και επιπλέον το λίπασμα τύπου 0-0-50 σε ποσότητα 20 kg/στρ. Έπειτα ακολούθησε ενσωμάτωση του βασικού λιπάσματος.

Η εγκατάσταση της καλλιέργειας πραγματοποιήθηκε στις 18/05/2006 στον Παλαμά με πνευματική σπαρτική μηχανή τύπου Cascardo σε αποστάσεις σποράς 0,75 μέτρα μεταξύ των γραμμών και 0,14 μέτρα φυτό από φυτό πάνω στη γραμμή ( περίπου 9,3 φυτά m<sup>-2</sup>), χρησιμοποιώντας το γρανάζι που είναι για σπορά τεύτλων και σε βάθος περίπου 2 εκατοστά με αποτέλεσμα στις 31/5/2006 να πετύχουμε ποσοστό φυτρώματος 100%.

Μετά τη σπορά (μια ημέρα μετά) εφαρμόστηκε μετασπαρτικό προφυτρωτικό ζιζανιοκτόνο της ομάδας των τριαζινών Mentor ( Cinazin) σε ποσότητα περίπου 500 ml/στρ.



Εικόνα 1: Παλαμάς. Στάδιο της καλλιέργειας κατά το οποίο έγινε επιφανειακή εφαρμογή αζωτούχου λιπάσματος.

Καθ' όλη τη διάρκεια της καλλιεργητικής περιόδου, δεν έγινε καμιά επέμβαση για φυτοπροστασία, διότι δεν υπήρξε κανένα πρόβλημα προσβολής της καλλιέργειας από εχθρούς και ασθένειες.

Για τις εφαρμογές της άρδευσης, χρησιμοποιήθηκε ένα σύστημα άρδευσης με σταγόνες σχετικά υψηλής ακρίβειας. Οι ανάγκες σε νερό και οι ποσότητες νερού άρδευσης υπολογίστηκαν με βάση την μέγιστη εξατμισοδιαπνοή (ET<sub>m</sub>) και τα φυτά της καλλιέργειας ποτίζονταν κατά προσέγγιση κάθε 7 - 10 ημέρες με 45 - 70 χιλιοστά νερού σε κάθε εφαρμογή. Η ισοδυναμία της ποσότητας του νερού άρδευσης και της

εξατμισοδιαπνοής, καθώς και άλλα αγρονομικά και κλιματικά χαρακτηριστικά παρατίθενται στον πίνακα 5.

**Πίνακας 5** :Ημερομηνίες φαινολογικών σταδίων, μετεωρολογικά δεδομένα κατά της καλλιεργητικής περιόδου και στοιχεία της εφαρμογής άρδευσης στην περιοχή του Παλαμάς Καρδίτσας το έτος 2006.

Ημερομηνία 50% του φυτρώματος.	25/05/2006
Ημερομηνία έκπτυξης του 50% των ανθοφόρων ταξιανθιών.	18/08/2006
Πυκνότητα επιζώντων φυτών (φυτά / m <sup>2</sup> )	8,7 ±0,2
Μέση τιμή θερμοκρασίας αέρα (°C)	23,29
Μέση τιμή σχετικής υγρασίας (%)	65,01
Αθροιστική ακτινοβολία (Gj m <sup>2</sup> )	3,34
Μέση ταχύτητα ανέμου (m s <sup>-1</sup> )	1,38
I <sub>3</sub> – Εφαρμοζόμενη άρδευση (mm) <sup>α</sup>	438
ETm (Εκτιμώμενη σε mm) <sup>α</sup>	400
Eo (Εξάτμιση) (mm) <sup>α</sup>	470
Αποτελεσματική βροχή (mm)	
Από το φύτερωμα μέχρι τον Σεπτέμβριο	49
Από τον Σεπτέμβριο μέχρι την φυσιολογική ωρίμανση των φυτών.	210
Ύψος υπόγειας στάθμης νερού (cm) <sup>β</sup>	
Στο φύτερωμα	190
Στην την άνθηση	320

<sup>α</sup>: Από 11/7 έως 12/09/06

<sup>β</sup>: μετρήθηκε με σωλήνα, το πραγματικό ύψος της υπόγειας στάθμης ήταν ελαφρώς υψηλότερο.

Οι παράμετροι αύξησης (ύψος φυτών, δείκτης φυλλικής επιφάνειας, ειδική φυλλική επιφάνεια), αλλά πολύ περισσότερο η συσσώρευση και κατανομή ξηρής βιομάζας στα διάφορα μέρη του φυτού (φύλλα και βλαστοί) μετρούνταν συχνά κατά τη συγκομιδή σε όλη τη διάρκεια της περιόδου ανάπτυξης και συγκεκριμένα στις ημερομηνίες 20/6, 8/7, 27/7, 18/8, 10/9 και 11/11 του έτους 2006, όπως φαίνεται στις εικόνες 2 έως 6. Κάθε φορά κατά τη συγκομιδή, το δείγμα με τα φυτά που λαμβάνονταν, διαχωρίζονταν στα διάφορα φυτικά μέρη (φύλλα, βλαστούς και ταξιανθίες) και ζυγίζονταν επί τόπου στον αγρό με

ζυγαριά ακριβείας. Ο δείκτης φυλλικής επιφάνειας (πράσινα φύλλα) μετρούνταν στο εργαστήριο Γεωργίας του Πανεπιστημίου Θεσσαλίας χρησιμοποιώντας έναν φορητό αυτόματο μετρητή επιφάνειας φύλλων (LI-COR model LI-3000A). Έπειτα τα δείγματα ξηραίνονταν σε κλίβανο σε θερμοκρασία 90 βαθμούς Κελσίου για 2-6 ημέρες περίπου για να απομακρυνθεί η υγρασία και στη συνέχεια ζυγίζονταν ξανά για να προσδιοριστεί το ξηρό βάρος ανά φυτό.



Εικόνες 2: Πείραμα αγρού – Παλαμάς 8/7/2006



Εικόνες 3: Πείραμα αγρού – Παλαμάς 27/7/2006



Εικόνα 4: Πείραμα αγρού – Παλαμάς 18/8/2006



Εικόνα 5: Πείραμα αγρού – Παλαμάς 10/9/2006

Καθ' όλη τη διάρκεια της καλλιεργητικής περιόδου με τακτικές στελεχοκοπές προσδιορίζονταν η ολική ξηρή ουσία (Total dry matter), τα ξηρά βάρη φύλλων και βλαστών (Leaf and stalk dry weight), ο πληθυσμός των φυτών, το ύψος του βλαστού, το χλωρό και ξηρό βάρος, το ύψος των φυτών, ο δείκτης φυλλικής επιφάνειας (LAI), η ειδική φυλλική επιφάνεια (SLA), ο αριθμός των φύλλων ανά στέλεχος και ο αριθμός των αδελφιών ανά φυτό. Αυτό όμως που έχει ιδιαίτερη

σημασία και διαφαίνεται και στα διαγράμματα είναι η κατανομή της ξηρής ουσίας στα υπέργεια μέρη του φυτού.

Για όλες τις μετρήσεις και τα δεδομένα που πάρθηκαν, πραγματοποιήθηκε ανάλυση παραλλακτικότητας (ANOVA), κάνοντας χρήση του στατιστικού πακέτου MSTAT-C. Πίνακες της ανάλυσης παραλλακτικότητας παρατίθενται στο παράρτημα.



Εικόνα 6: Πείραμα αγρού – Παλαμάς 19/11/2006

Τα καιρικά δεδομένα καθ' όλη τη διάρκεια του πειράματος όπως ακτινοβολία, θερμοκρασία αέρος, ώρες ηλιοφάνειας, ύψος βροχής, ταχύτητα ανέμου, σχετική υγρασία και εξάτμιση καταγράφηκαν με ακρίβεια στον φορητό και αυτόματο μετεωρολογικό σταθμό, που είναι εγκατεστημένος στον πειραματικό αγρό.

## 8. ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ - ΣΥΖΗΤΗΣΗ

Γενικά η υπό μελέτη περιοχή χαρακτηρίζεται από το τυπικό μεσογειακό κλίμα με θερμά και ξηρά καλοκαίρια και ψυχρούς και υγρούς χειμώνες. Καθ' όλη τη διάρκεια της καλοκαιρινής περιόδου (Ιούνιος - Αύγουστος 2006), η θερμοκρασία του αέρα κυμαινόταν μεταξύ 18 βαθμών Κελσίου τη νύχτα και 32 βαθμών Κελσίου την ημέρα κ.μ.ο., ενώ παράλληλα καταγράφηκε μόνο περίπου 50 χιλιοστά βροχόπτωσης. Κατά τις μεσημβρινές ώρες σε όλη τη διάρκεια του καλοκαιριού η σχετική υγρασία έπεφτε γύρω στο 35%, με αποτέλεσμα να παρατηρούνται μεγάλες απώλειες νερού από τη διαπνοή της καλλιέργειας καθώς και από την έντονη εξάτμιση του εδάφους. Το φθινόπωρο του 2006 παρατηρήθηκαν αρκετές δροσερές, υγρές και νεφοσκεπείς ημέρες. Συγκεκριμένα, ο μέσος όρος της θερμοκρασίας του αέρα τους μήνες Οκτώβριο και Νοέμβριο ήταν περίπου 16 και 8 βαθμοί Κελσίου αντίστοιχα, και συνολικά το ύψος βροχόπτωσης έφτασε τα 210 χιλιοστά στη διάρκεια των τριών αυτών μηνών (πίνακας 5). Τα παραπάνω είχαν μεγάλο αντίκτυπο στην παραγωγή βιομάζας από το σόργο, αφού η ανάπτυξη σταμάτησε και αυτό γιατί παράλληλα είχαμε έντονη διαπνοή, ειδικά στην περίπτωση του γλυκού σόργου (διάγραμμα 1-4 , πίνακας 8).

Παρά την ορατή διαφορά στην ανάπτυξη ως προς το ύψος των φυτών μεταξύ των 2 ποικιλιών του σόργου κατά τα πρώιμα φαινολογικά στάδια, τα φυτά και των 2 ποικιλιών μεγάλωναν σε ύψος περίπου 3 εκατοστά την ημέρα κατά το μήνα Ιούνιο και 5,5 - 6,0 εκατοστά την ημέρα έως αργά τον Ιούλιο. Έτσι στις 27 Ιουλίου του 2006 κατά μέσο όρο το ύψος των φυτών του γλυκού σόργου ήταν 2,1 μέτρα και του ινώδους ήταν 2,47 μέτρα.





Εικόνα 7: Πείραμα αγρού –Παλαμάς 27/7/2006

Τα φυτά συνέχισαν να αυξάνονται με σχετικά βραδύτερο ρυθμό (4 - 4,5 εκατοστά ανά ημέρα) μέχρι τα μέσα Αυγούστου, έχοντας σαν αποτέλεσμα στο τέλος του Αυγούστου τα φυτά να φτάσουν το μέγιστο ύψος τους περίπου τα 3,30 μέτρα (πίνακας 6). Μικρή ήταν και η επίδραση της άρδευσης στην ανάπτυξη των φυτών ως προς το ύψος κατά τη διάρκεια της καλλιεργητικής περιόδου, όμως δεν ήταν στατιστικά σημαντική. Η ανάπτυξη των φυτών ως προς το ύψος δεν επηρεάστηκε από τα διαφορετικά επίπεδα N-ούχου λίπανσης (πίνακας 6). Η συγκριτική υπεροχή του ινώδους έναντι του γλυκού σόργου φάνηκε κατά καιρούς και σε άλλες επιστημονικές μελέτες.



Εικόνα 8: Πείραμα αγρού –Παλαμάς 18/8/2006

**Πίνακας 6:** Το ύψος των φυτών του σόργου σε cm στις τρεις επαναλήψεις της άρδευσης, της αζωτούχου λίπανσης και των δύο γενοτύπων – ποικιλιών στην κεντρική Ελλάδα (Παλαμάς Καρδίτσας) το 2006.

Ημερομηνία	8/7	27/7	18/8	10/9
$I_1$	117	219	304	320
$I_2$	117	223	315	345
$I_3$	117	244	341	330
$P$	1,00	0,16	0,09	0,29
LSD	ns	ns	ns	ns
$N_1$	102	227	321	321
$N_2$	118	240	313	332
$N_3$	130	219	327	342
$P$	0,0019	0,08	0,9	0,3
LSD	14,7	ns	ns	ns
$V_1$	83	210	308	330
$V_2$	151	247	333	333
$P$	0,03	0,19	0,29	0,9
LSD	50,8	ns	ns	ns

LSD: Ελάχιστη σημαντική διαφορά όταν  $P < 0,05$  , ns: όχι σημαντική

Ο δείκτης φυλλικής επιφάνειας των καλλιεργειών αυξανόταν αρχικά με βραδύ ρυθμό για να φτάσει περίπου το 2,7 στις αρχές Ιουλίου (πίνακας 7). Ακολουθώντας συνεχώς αυξανόμενο ρυθμό τον Ιούλιο και τον Αύγουστο έφτασε την τιμή 6,7 στις 27 Ιουλίου και την μεγαλύτερη τιμή κοντά στο 8,0 στις 18 Αυγούστου. Στη συνέχεια παρά το γηρασμό των φύλλων και τη μείωση της ειδικής φυλλικής επιφάνειας, ο LAI αν και μειώνονταν παρέμενε σε υψηλά επίπεδα (κλειστή φυλλοστοιβάδα) κατά το τέλος της βλαστικής περιόδου. Όπως φαίνεται και στον (πίνακα 7), η εξέλιξη του LAI ήταν άμεσα συσχετιζόμενη με την άρδευση και την εφαρμοζόμενη N-ούχο λίπανση.

**Πίνακας 7:** Οι τιμές του LAI των φυτών του σόργου στις τρεις επαναλήψεις της άρδευσης, της αζωτούχου λίπανσης και των δύο γενοτύπων – ποικιλιών στην κεντρική Ελλάδα (Παλαμάς Καρδίτσας) το 2006.

Ημερομηνία	8/7	27/7	18/8	10/9	11/11*
$I_1$	2,652	6,808	8,286	5,948	0
$I_2$	2,652	6,808	7,957	7,037	0
$I_3$	2,652	6,521	7,103	6,210	0
$P$	1,00	0,7	0,26	0,29	1,00
LSD	ns	ns	ns	ns	ns
$N_1$	2,217	6,491	7,540	6,580	0
$N_2$	2,780	6,759	7,915	6,398	0
$N_3$	2,960	6,887	7,891	6,217	0
$P$	0,18	0,3	0,22	0,19	1,00
LSD	ns	ns	ns	ns	ns
$V_1$	2,632	5,845	6,954	6,183	0
$V_2$	2,672	7,579	8,610	6,613	0
$P$	0,8	0,24	0,32	0,5	1,00
LSD	ns	ns	ns	ns	ns

LSD: Ελάχιστη σημαντική διαφορά όταν  $P < 0,05$  , ns: όχι σημαντική

\* Την ημέρα αυτή όλα τα φύλλα ήταν ξερά και κίτρινα.

Οι τιμές του LAI τόσο για το γλυκό όσο και για το ινώδες σόργο, οι οποίες καταγράφηκαν κατά την εξέλιξη του πειράματος, ήταν σαφώς υψηλότερες από τιμές οι οποίες μετρήθηκαν σε άλλες επιστημονικές εργασίες. Όπως φαίνεται, η ανάπτυξη και το δυναμικό παραγωγής του σόργου έχει επιτευχθεί. Ο μέσος όρος των τιμών της ειδικής φυλλικής επιφάνειας (SLA) ξεκίνησε από 21,53 τετραγωνικά μέτρα ανά κιλό στη συγκομιδή στις 8/7 και έφτασε στην τιμή 17.09, 17.68 και 11.89 τετραγωνικά μέτρα ανά κιλό στις συγκομιδές κατά τις 27/7, 18/8 και 10/9 αντίστοιχα. Οι τιμές ήταν παρόμοιες για τους δύο γενοτύπους και δε φάνηκε να επηρεάζονται από την άρδευση και την N-ούχο λίπανση.

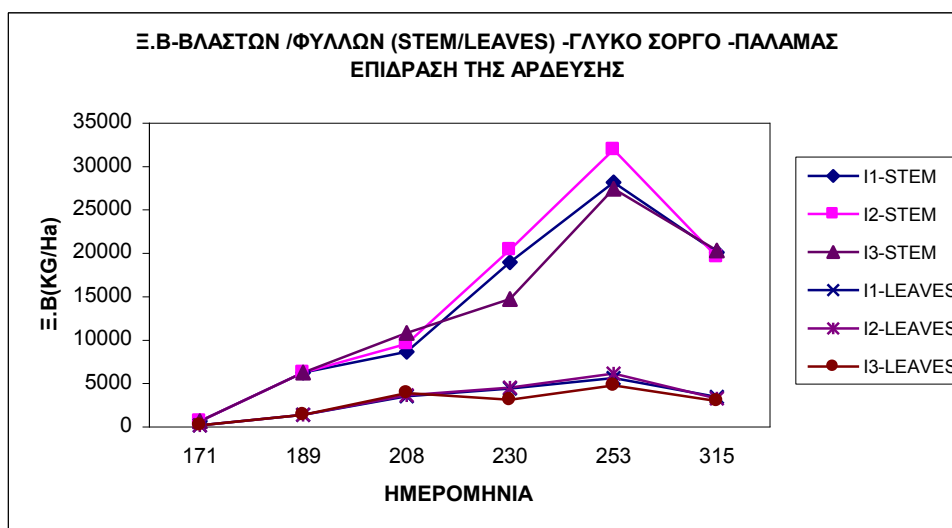
**Πίνακας 8:** Το ολικό ξηρό βάρος του σόργου (Kg/ha) στις τρεις επαναλήψεις της άρδευσης, της αζωτούχου λίπανσης και των δύο γενοτύπων – ποικιλιών στην κεντρική Ελλάδα (Παλαμάς Καρδίτσας) το 2006.

Ημερομηνία	8/7	27/7	18/8	10/9	11/11
$I_1$	9130	18735	26094	32655	25918
$I_2$	9130	16169	26108	37310	27909
$I_3$	9130	18787	22575	31661	24140
$P$	1,00	0,4	0,17	0,35	0,38
LSD	ns	ns	ns	ns	ns
$N_1$	7193	17490	24111	35827	24715
$N_2$	10713	18564	24891	34321	28637
$N_3$	9485	17367	25775	31477	24615
$P$	0,03	0,37	0,1	0,32	0,27
LSD	2621	ns	ns	ns	ns
$V_1$	7371	13092	21769	34421	22956
$V_2$	10889	22702	28082	33330	29023
$P$	0,06	0,12	0,2	0,8	0,29
LSD	ns	ns	ns	ns	ns

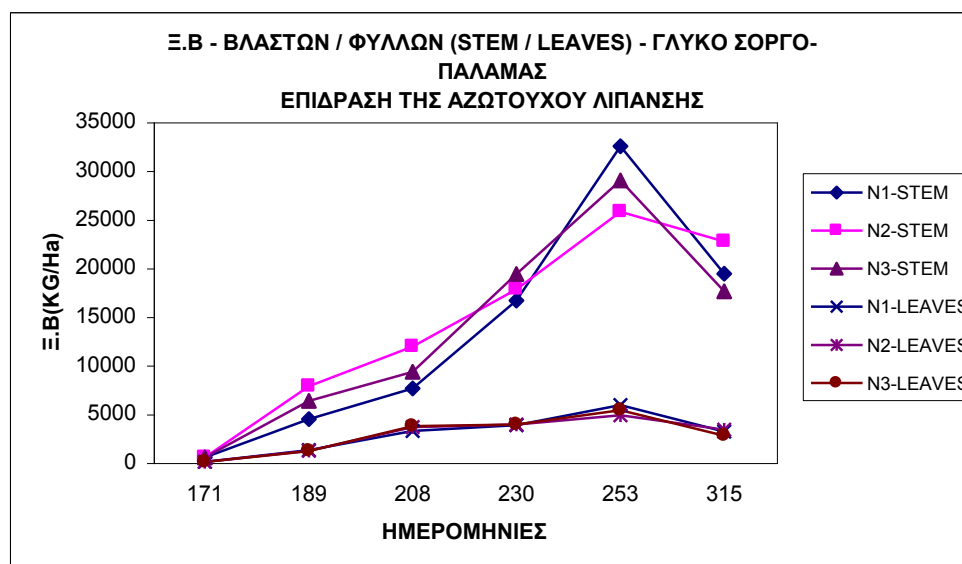
LSD: Ελάχιστη σημαντική διαφορά όταν  $P < 0,05$  , ns: όχι σημαντική

Στον πίνακα 8 και στα διαγράμματα 1-4 φαίνεται ο υψηλός ρυθμός ανάπτυξης και παραγωγής βιομάζας και των 2 ποικιλιών σόργου στην υπό μελέτη περιοχή. Ο ρυθμός αυτός της ανάπτυξης και της παραγωγής βιομάζας εξαρτάται κατά πολύ από την άρδευση και την αζωτούχο λίπανση, και κυμάνθηκε μεταξύ 460 - 470 κιλά ανά εκτάριο ανά ημέρα τον μήνα Ιούλιο, την τελευταία εβδομάδα του Αυγούστου και τον Σεπτέμβριο, ενώ έπεσε στα 370 κιλά ανά εκτάριο ανά ημέρα κατά τη διάρκεια των τριών πρώτων εβδομάδων του Αυγούστου (μέσες τιμές), δείχνοντας έτσι το υψηλό παραγωγικό δυναμικό της καλλιέργειας καθ' όλη τη διάρκεια της καλλιεργητικής περιόδου. Η πτώση που παρατηρήθηκε στο ρυθμό ανάπτυξης τον Αύγουστο οφείλεται στις υψηλές θερμοκρασίες του αέρα και τις σημαντικές απώλειες νερού από

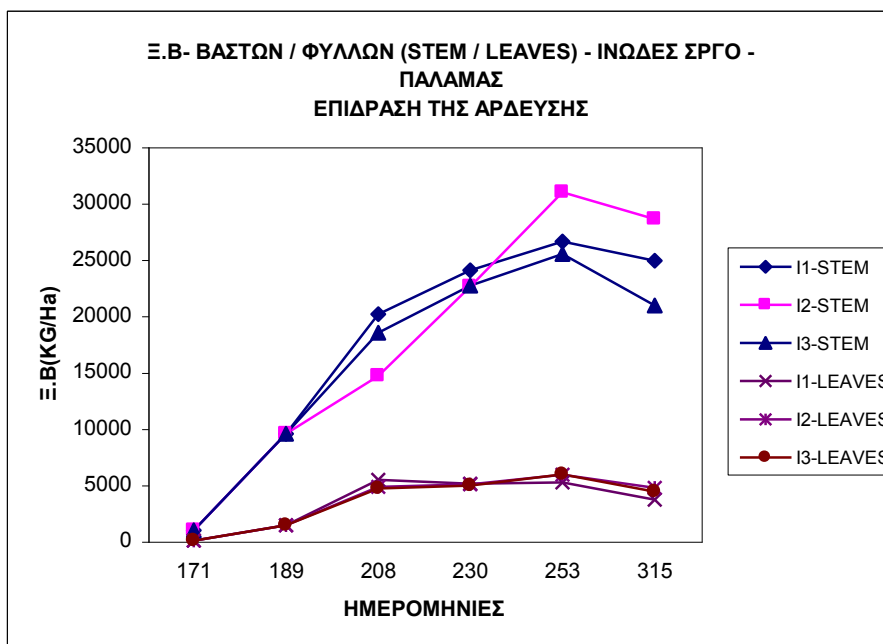
τη διαπνοή που επικράτησαν την περίοδο αυτή. Η μέγιστη συνολική υπέργεια παραγωγή βιομάζας παρατηρήθηκε κατά την άνθιση (10/9) και έφτασε κατά μέσο όρο τους 34 τόνους ξερής βιομάζας ανά εκτάριο, η οποία είναι από τις μεγαλύτερες που αναφέρθηκαν στη λεκάνη της Μεσογείου.



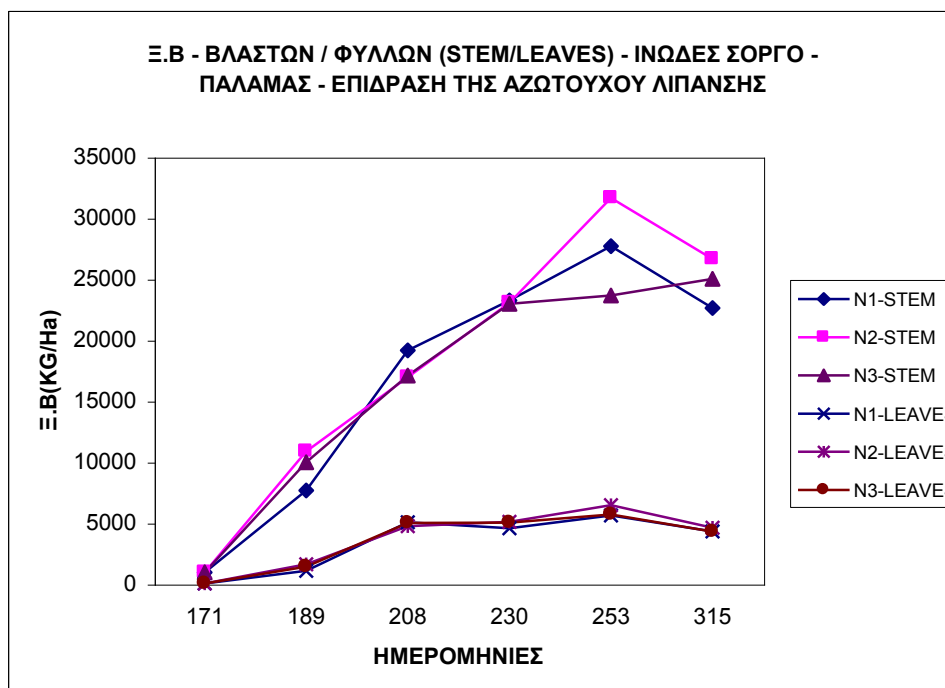
**Διάγραμμα 1:** Ξηρό βάρος βλαστών και φύλλων γλυκού σόργου στις τρεις επαναλήψεις της άρδευσης ( I<sub>1</sub>: 0%, I<sub>2</sub>: 50% και I<sub>3</sub>: 100% Etm).



**Διάγραμμα 2:** Ξηρό βάρος βλαστών και φύλλων γλυκού σόργου στις τρεις επαναλήψεις της αζωτούχου λίπανσης ( N<sub>1</sub>: 0, N<sub>2</sub>: 60 και N<sub>3</sub>: 120 Kg N ανά εκτάριο ).



**Διάγραμμα 3:** Ξηρό βάρος βλαστών και φύλλων ινώδους σόργου στις τρεις επαναλήψεις της άρδευσης (  $I_1$ : 0%,  $I_2$ : 50% και  $I_3$ : 100% Etm)



**Διάγραμμα 4:** Ξηρό βάρος βλαστών και φύλλων ινώδους σόργου στις τρεις επαναλήψεις της αζωτούχου λίπανσης (  $N_1$ : 0,  $N_2$ : 60 και  $N_3$ : 120 Kg N ανά εκτάριο ).

Κατά την άνθιση σε μετρήσεις στις 27/9, οι βλαστοί αντιπροσώπευαν το 82% της συνολικής βιομάζας (δηλαδή 34 τόνους ανά εκτάριο) και τα φύλλα το υπόλοιπο 18% ( Διαγράμματα 1-4: μέσος όρος των 2 γενοτύπων και για τις τρεις εφαρμογές άρδευσης και N-ούχου λίπανσης).



Εικόνα 9: Πείραμα αγρού –Παλαμάς 18/8/2006. Έντονο πλάγιασμα στα πειραματικά τεμάχια με τα υψηλότερα επίπεδα άρδευσης και N-ούχου λίπανσης.

Κατά τη διάρκεια της άνθισης, η περιεκτικότητα των φυτικών σε νερό κυμαίνονταν στο 81,5%, ενώ η μέση απόδοση σε χλωρή βιομάζα ήταν 135,4 τόνοι ανά εκτάριο. Δύο μήνες αργότερα, η περιεκτικότητα των φυτών σε νερό μειώθηκε σε 72% και η απόδοση σε χλωρή βιομάζα ανέρχονταν σε 124,4 τόνους ανά εκτάριο. Την ημέρα της συγκομιδής (15/12) η περιεκτικότητα σε υγρασία μειώθηκε σε 67,7% και η απόδοση σε χλωρή βιομάζα, η οποία συλλέχθηκε με αυτοκινούμενη σιλοκοπτική μηχανή ήταν 80,2 τόνοι ανά εκτάριο ή 26 τόνοι ξηρής βιομάζας ανά εκτάριο. Αυτή η μείωση της τάξης του 24% στην παραγωγή βιομάζας οφείλεται:

- α) στη γήρανση και το πέσιμο των φύλλων,
- β) στην αναπνοή συντήρησης των βλαστών και
- γ) στο ύψος κοπής (20-30 cm επάνω από το έδαφος ).



Εικόνα 10: Πείραμα αγρού –Παλαμάς 19/11/2006

Κάνοντας έναν πρόχειρο υπολογισμό του κόστους παραγωγής του ινώδους σόργου στο υπό μελέτη τεμάχιο, και εφαρμόζοντας άρδευση και λίπανση στις μικρότερες δόσεις το συνολικό κόστος της καλλιέργειας ανήλθε περίπου σε 525 € ανά εκτάριο το οποίο αναλύεται ως εξής:

- Όργωμα →3 € ανά στρέμμα
- 3 σβαρνίσματα →3 € ανά στρέμμα
- Σπορά →1,5 € ανά στρέμμα
- Σπόρος →3 € ανά στρέμμα
- Βασική λίπανση →18 € ανά στρέμμα
- Επιφανειακή λίπανση (με 6 μονάδες N) →8 € ανά στρέμμα
- Ζιζανιοκτονία →4 € ανά στρέμμα
- Άρδευση →12 € ανά στρέμμα

Δεν συμπεριλαμβάνεται στο κόστος το κόστος χρήσης γής, η εργασία και ο μηχανολογικός εξοπλισμός γιατί είναι ίδιο σε όλες τις καλλιέργειες.

Επιπλέον 300 € ανά εκτάριο για συγκομιδή και μεταφορά. Με ενδεικτική τιμή ξηρής βιομάζας στο χωράφι 60 € ανά τόνο, και κοινοτική ενίσχυση στα 45 € ανά εκτάριο, η ακαθάριστη πρόσοδος ανέρχεται περίπου σε 1605 € ανά εκτάριο, οπότε το καθαρό κέρδος ανέρχεται σε 1080 € ανά εκτάριο.



Από τα παραπάνω προκύπτει ότι το σόργο αποτελεί μια ανταγωνιστική εναλλακτική καλλιέργεια μειωμένων εισροών για την παραγωγή βιοκαυσίμων στην Ελλάδα στο προσεχές μέλλον. Πρέπει να αναφερθεί ξανά ότι η πτώση στο ρυθμό ανάπτυξης της καλλιέργειας (ή ακόμη και οι αρνητικές τιμές στο ρυθμό ανάπτυξης οι οποίες καταγράφηκαν μετά τα μέσα Σεπτεμβρίου και ειδικά για το γλυκό σόργο, οφείλονται στις ιδιαίτερα δυσμενείς καιρικές συνθήκες που επικράτησαν κατ' εξαίρεση τη συγκεκριμένη χρονιά. Σε μια μέση χρονιά το υψηλότερο δυναμικό παραγωγής αναμένεται περί τα τέλη Οκτωβρίου με μέσα Νοεμβρίου. Τελικά και βασιζόμενοι σε όλα τα παραπάνω ο προσδιορισμός του κατάλληλου χρόνου συγκομιδής της καλλιέργειας χρειάζεται περαιτέρω έρευνα.

Επίσης αξίζει να αναφερθεί, ότι οι αυξημένες εισροές λιπασμάτων και αρδευτικού νερού στην καλλιέργεια του σόργου, όχι μόνο αυξάνουν δυσανάλογα το κόστος παραγωγής, αλλά και δημιουργούν έντονο πλάγιασμα ιδιαίτερα στο ινώδες σόργο (εικόνα 9). Έτσι έχουμε απώλειες φύλλων τα οποία πέφτουν καθώς δυσχεραίνεται και η συγκομιδή αφού σημαντικό μέρος της βιομάζας παραμένει στο έδαφος. Όπως αποδείχθηκε και από τη συγκεκριμένη μελέτη, ο συνδυασμός της αζωτούχου λίπανσης των 6 μονάδων ανά στρέμμα, και η εφαρμογή νερού άρδευσης που να καλύπτει το 50% της εξατμισοδιαπνοής επιφέρει τη μεγαλύτερη πρόσοδο για την καλλιέργεια στην περιοχή της Θεσσαλίας.

## Βιβλιογραφία

**Alexopoulou E., Christou M. and M. Mardikis 2002d.** Evaluation of switchgrass varieties in Greece. Presented in the 12<sup>th</sup> European Biomass Conference, 17-21 June 2002, Amsterdam, Volume I, 353 – 356.

**Alexopoulou E. and M. Christou. 2004.** Year effect on switchgrass biomass production. 2<sup>nd</sup> World Conference and Technology Exhibition on Biomass for Energy, Industry and Climate Protection, 10-14 May 2004, Rome, Italy.

**Barbanti Lorenzo, Silvia Grandi, Angela Vecchi and Gianpietro Venturi, 2006 .** Sweet and fibre sorghum (*Sorghum bicolor* (L.) Moench), energy crops in the frame of environmental protection from excessive nitrogen loads. *European. J. Agronomy* 25, pp30–39.

**Βερεσόγλου Δ., 2002.** Οικολογία. Εκδόσεις «έλλα».

**Βουρδουμπάς Ι., 2002.** Εισαγωγή στις τεχνολογίες της ενεργειακής αξιοποίησης της βιομάζας.

**Curt M. D, J. Fernandez and M. Martinez, 1995.** Productivity and Water Use efficiency of Sweet Sorghum [*Sorghum bicolor* (L) Moench]] cv "Keller" in relation to water regime. *Biomass and Bioenergy* Vol. 8, No. 6, pp. 401-409.

**Demirbas Ayhan, 2004.** Combustion characteristics of different biomass fuels. Published by Elsevier Science Ltd. 2004.

**Dolciotti Ivano, Stefania Mambelli, Silvia Grandi and Gianpietro Venturi, 1998.** Comparison of two Sorghum genotypes for sugar and fiber production. *Industrial Crops and Products* 7, pp265–272.

**Εθνική Στατιστική Υπηρεσία Ελλάδας (ΕΣΥΕ)- 2002. Αθήνα, Ελλάδα.**

**El Bassam N., 1998.** Fundamentals of sustainability in agriculture production systems and global food security. In: El Bassam, N., Behl, R.K., Prochnow, B. (Eds), *Proc. of the Int. Conference Sustainable Agriculture for Food, Energy and Industry*, 1. pp 616 – 621.

**European Energy Crops InterNetwork (EECI), <http://www.eeci.net>, EC Countries, Europe (1998-2000).**

**FAO. 2008d.** Biofuels: back to the future? by U.R Fritsche, SOFA 2008 background paper. Unpublished. Rome.

**FAO. 2008g.** How good enough biofuel governance can help rural livelihoods: making sure that biofuel development works for small farmers and communities, by O. Dubois. SOFA 2008 background paper. Unpublished. Rome.

**Habyarimana E., D. Laureti, M. De Ninno and C. Lorenzoni, 2004.** Performances of biomass sorghum [*Sorghum bicolor* (L.) Moench] under different water regimes in Mediterranean region. *Industrial Crops and Products* (20), pp23–28.

**Θεριός Ι., 1996.** Ανόργανη θρέψη και λιπάσματα. Εκδόσεις Δεδούση.

**IENICA, Report from the state of Greece.** Forming part of the IENICA project, 1999. Prepared by E.G. Koukios & N.D. Diamantidis, National Technical University of Athens, Department of Chemical Engineering.

**Καβαδάκης Γ., Νικολάου Α., Αλεξοπούλου Ε., Νατιώτη Ε., Μήτσιου Χ., Πανούτσου Κ. και Ν. Δαναλάτος , 2000.** Ανάπτυξη και παραγωγικότητα βιομάζας και σακχάρων καλλιέργειας γλυκού σόργου (cv. Keller) στην κεντρική Ελλάδα. Βόλος. 2<sup>ο</sup> Συνέδριο Γεωργικής Μηχανικής.

**Καραμάνος Ι. Ανδρέας, 1999.** Τα σιτηρά των θερμών κλιμάτων. Εκδόσεις Παπαζήση.

**Καράταγλης Σ., 1994.** Φυσιολογία φυτών. Εκδόσεις Art of Text.

**Κέντρο Ανανεώσιμων Πηγών Ενέργειας [ΚΑΠΕ] (2008).** Ενεργειακές καλλιέργειες για την παραγωγή υγρών και στερεών καυσίμων στην Ελλάδα. Οδηγίες για την ανάπτυξη μιας αειφόρου βιομηχανίας. <http://www.cres.gr/Kape/publications>.

**Klass L. Donald, 2004.** Biomass for Renewable Energy and Fuels. Published in the *Encyclopedia of Energy*, published by Elsevier, Inc. 2004.

**Mastrorilli M., N. Kate, G. Rana and I Steduto, 1995.** Sweet sorghum in Mediterranean climate: radiation use and biomass water use efficiencies. *Industrial Crops and Products* 3, pp253-260.

**Monti A., Venturi G., 2003.** Comparison of the energy performance of fibre sorghum, sweet sorghum and wheat monocultures in northern Italy. *European journal of Agronomy*.

**Νικολάου Α., Ναματοβ Ε., Καβαδάκης Γ., Τσιώτας Κ., Πανούτσου Κ., και Ν. Δαναλάτος 2000.** Αξιολόγηση της ανάπτυξης και παραγωγικότητας οκτώ γενοτύπων σόργου για παραγωγή βιομάζας και ενέργειας. Βόλος. 2<sup>ο</sup> Συνέδριο Γεωργικής Μηχανικής.

**Παπακώστα Δέσποινα, 1996-1997.** Σημειώσεις Ειδικής Γεωργίας Ι (Σιτηρά, Ψυχανθή, Χορτοδοτικά Φυτά). Αριστοτέλειο Πανεπιστήμιο Θεσσαλονίκης.

**Παπακώστα Δέσποινα, 2005.** Ψυχανθή (Καρποδοτικά, Χορτοδοτικά). Εκδόσεις Σύγχρονη Παιδεία.

**Πανούτσου Κ., Λυχνάρης Β., Ναματοβ Ε. και Α. Νικολάου. 2005.** Βιοκαύσιμα στην Ελλάδα. Δυνατότητες παραγωγής και περιβαλλοντικές επιπτώσεις. 3<sup>ο</sup> Εθνικό Συνέδριο. RENES, 23-25 Φεβρουαρίου 2005. Αθήνα.

**Panoutsou C. 2004.** Strategic analysis for the future implementation of energy crops. 2<sup>nd</sup> World Conference and Technology Exhibition on Biomass for Energy, Industry and Climate Protection, 10-14 May 2004, Rome, Italy.

**Panoutsou C. and I. Papamichail. 2004.** Bioenergy in Greece. 2<sup>nd</sup> World Conference and Technology Exhibition on Biomass for Energy, Industry and Climate Protection, 10-14 May 2004, Rome, Italy.

**Παπουτσή – Κωστοπούλου, Ε. 1985.** Σόργο χορτοδοτικό. Έντυπο Υπουργείου Γεωργίας, Διεύθυνση Γεωργικής Εκπαίδευσης και Πληροφοριών, Αθήνα.

**Siemons R., Berg D., Nikolaou A., Chesney I. and H. Rohrer. 2004.** Bioenergy's role in the EU energy market: a 2010 – 2020 perspective. 2<sup>nd</sup> World Conference and Technology Exhibition on Biomass for Energy, Industry and Climate Protection, 10-14 May 2004, Rome, Italy.

**Thuijl et al, 2003.** Strategic niche management for biofuels: Analyzing past experiments for developing new biofuel policies.

### **World Energy Outlook**

[www.bioenergy.org](http://www.bioenergy.org) Τελευταία ενημέρωση Ιούλιος 2008

[www.cres.gr](http://www.cres.gr) Τελευταία ενημέρωση Ιούλιος 2008

[www.fao.org](http://www.fao.org) Τελευταία ενημέρωση Ιούλιος 2008

[www.minagric.gr](http://www.minagric.gr) Τελευταία ενημέρωση Ιούλιος 2008

[www.unep.org](http://www.unep.org) Τελευταία ενημέρωση Ιούλιος 2008

[www.iea.org](http://www.iea.org) (**International Energy Agency**) Τελευταία ενημέρωση Ιούλιος 2008

[www.un.org](http://www.un.org) (**United Nations Organization**) Τελευταία ενημέρωση Ιούλιος 2008

[www.eea.europa.eu](http://www.eea.europa.eu) (**European Environment Agency**) Τελευταία ενημέρωση Ιούλιος 2008

[www.eurobserv-er.org](http://www.eurobserv-er.org) Τελευταία ενημέρωση Ιούλιος 2008

[www.ethanolproducer.com](http://www.ethanolproducer.com) Τελευταία ενημέρωση Ιούλιος 2008

[www.usda.gov](http://www.usda.gov) Τελευταία ενημέρωση Ιούλιος 2008

[www.Journals.Cambridge.org](http://www.Journals.Cambridge.org) Τελευταία ενημέρωση Ιούλιος 2008

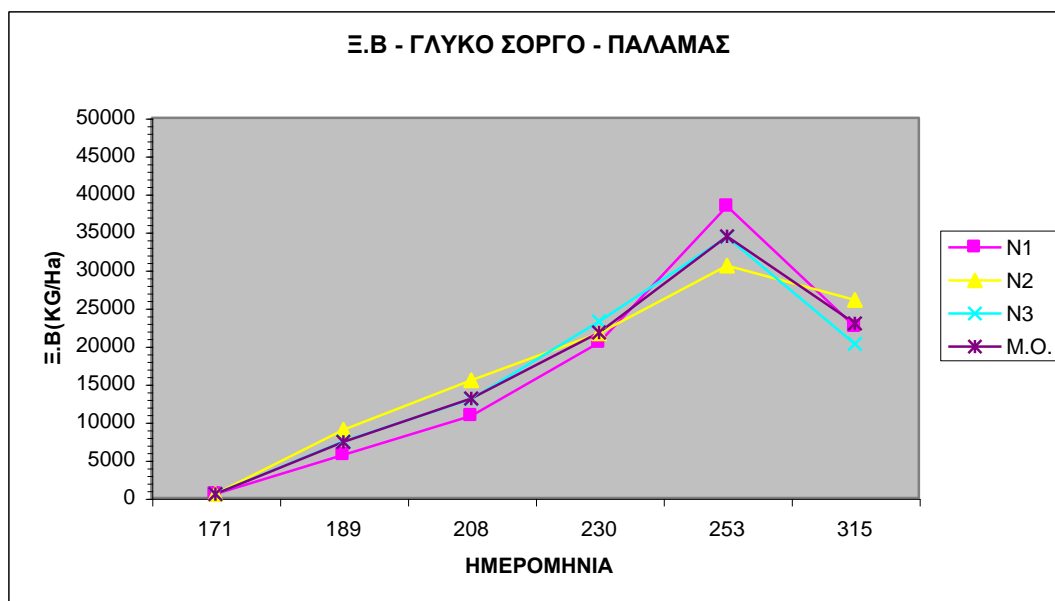
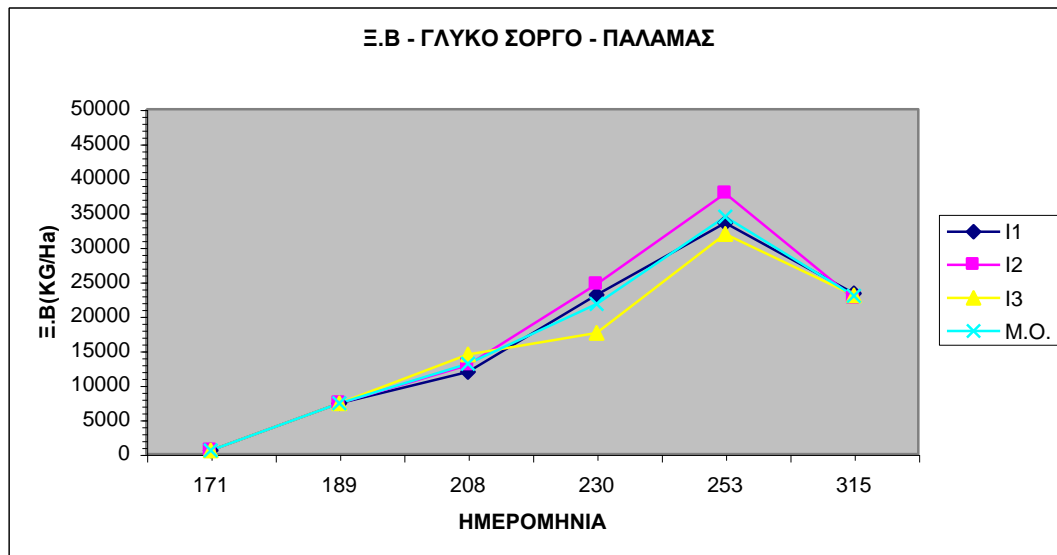
[www.Canadacleanfuels.com](http://www.Canadacleanfuels.com) Τελευταία ενημέρωση Ιούλιος 2008

**ABSTRACT:** The potential growth and productivity of sweet [*Sorghum bicolor* (L.) Moench, cv. Dale] and fiber (*S. bicolor* L., hybrid. H133) sorghum was investigated in a field experiment carried out on a deep, fertile, loamy soil with aquic moisture regime (Aquic Xerofluvent) in western Thessaly (Central Greece) in 2006. The field experiment comprised a 2 (two sorghum cultivars) x 3 (irrigation inputs) x 3 (N-applications) factorial completely randomized split-split-plot design in three blocks. Plant height, LAI, fresh and dry matter per plant organ was measured in subsequent harvests throughout the growing period. The results demonstrated that maximum dry biomass in the order of 35 t ha<sup>-1</sup> could be obtained, irrespectively of irrigation and fertilization inputs, signalling potential growth and productivity even in the plots receiving the lowest inputs. The leaf area index exceeded 6.0 for all treatments whereas plant height exceeded 3.30 m. Such high productivity figures demonstrate that sorghum may be particularly introduced in central Greek soils with an aquic moisture regime under none to only supplemental irrigation and modest fertilization inputs in line to the alternative, low-input, sustainable agriculture for solid (pellets) and liquid (bio-ethanol) biofuel production in the immediate future.

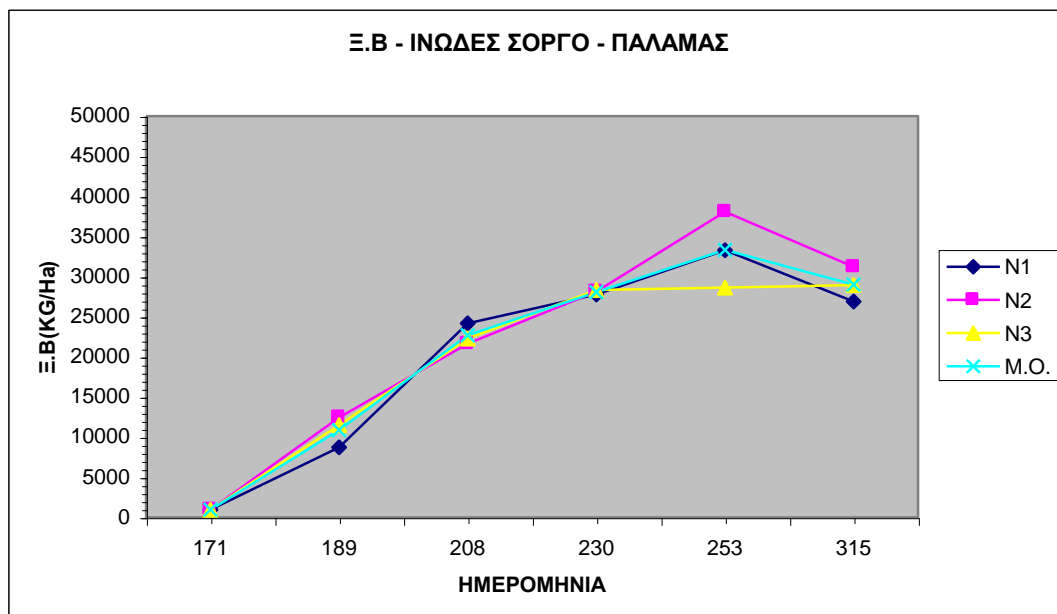
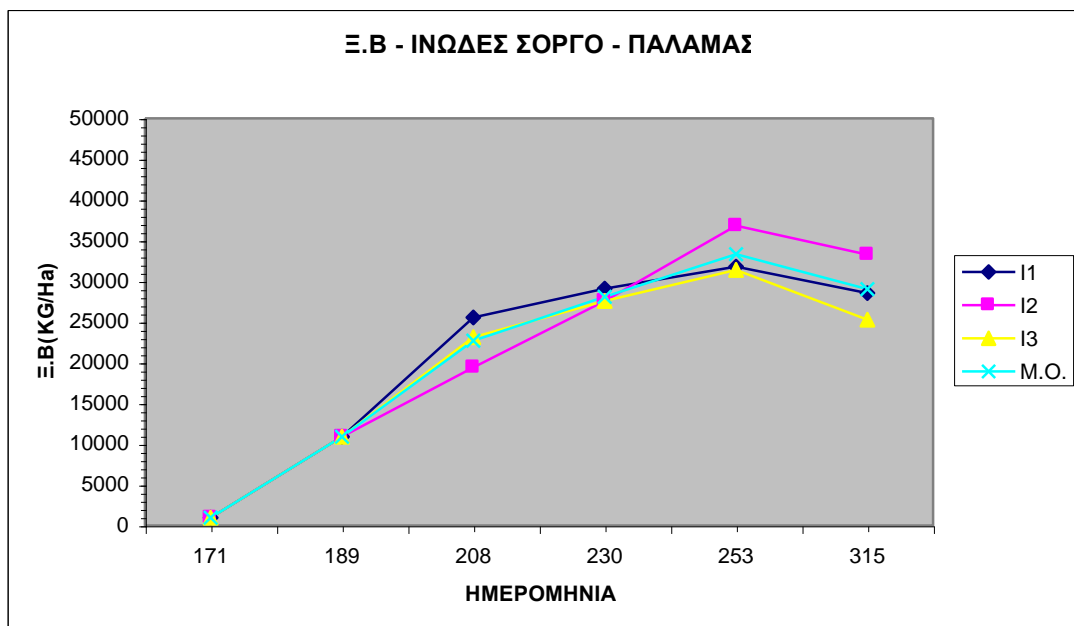
Keywords: Sweet and fibre sorghum, biomass, biofuel, aquic soil, irrigation, fertilization, Greece.

**ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ**

Ξ.Β (Kg/Ha)- ΠΑΛΑΜΑΣ-ΓΛΥΚΟ ΣΟΡΓΟ								
ΗΜΕΡΟΜΗΝΙΑ	I1	I2	I3	M.O.	N1	N2	N3	M.O.
171	530	530	530	530	530	530	530	530
189	7371	7371	7371	7371	5666	8981	7468	7371
208	11916	12915	14445	13092	10795	15486	12996	13092
230	23091	24642	17575	21769	20441	21653	23213	21769
253	33529	37804	31929	34421	38368	30569	34325	34421
315	23293	22565	23009	22956	22525	26059	20283	22956
M.O.	16622	17638	15810	<b>16690</b>	16387	17213	16469	<b>16690</b>

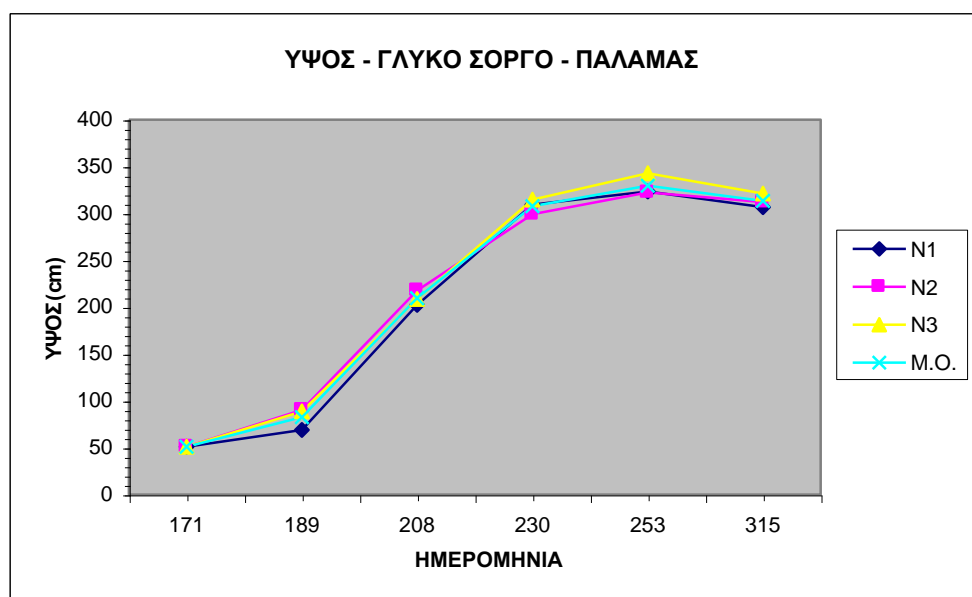
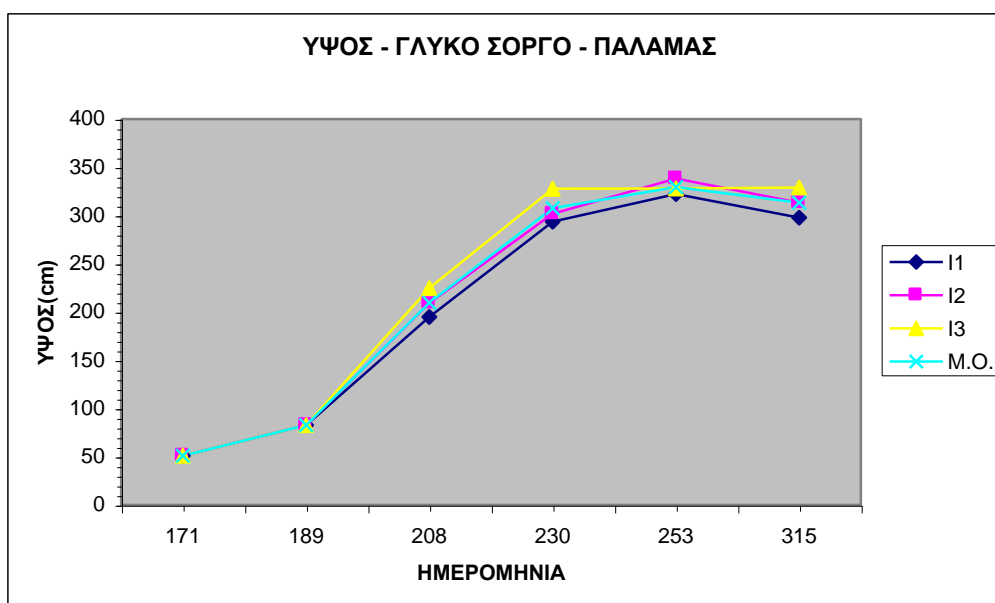


Ξ.Β (ΚΓ/ΗΑ)- ΠΑΛΑΜΑΣ-ΙΝΩΔΕΣ ΣΟΡΓΟ								
ΗΜΕΡΟΜΗΝΙΑ	I1	I2	I3	M.O	N1	N2	N3	M.O.
171	960	960	960	960	960	960	960	960
189	10889	10889	10889	10889	8720	12446	11503	10889
208	25554	19423	23129	22702	24186	21643	22278	22702
230	29097	27574	27575	28082	27780	28129	28337	28082
253	31781	36815	31393	33330	33287	38074	28628	33330
315	28543	33253	25272	29023	26904	31216	28948	29023
M.O.	21137	21486	19870	<b>20831</b>	20306	22078	20109	20831

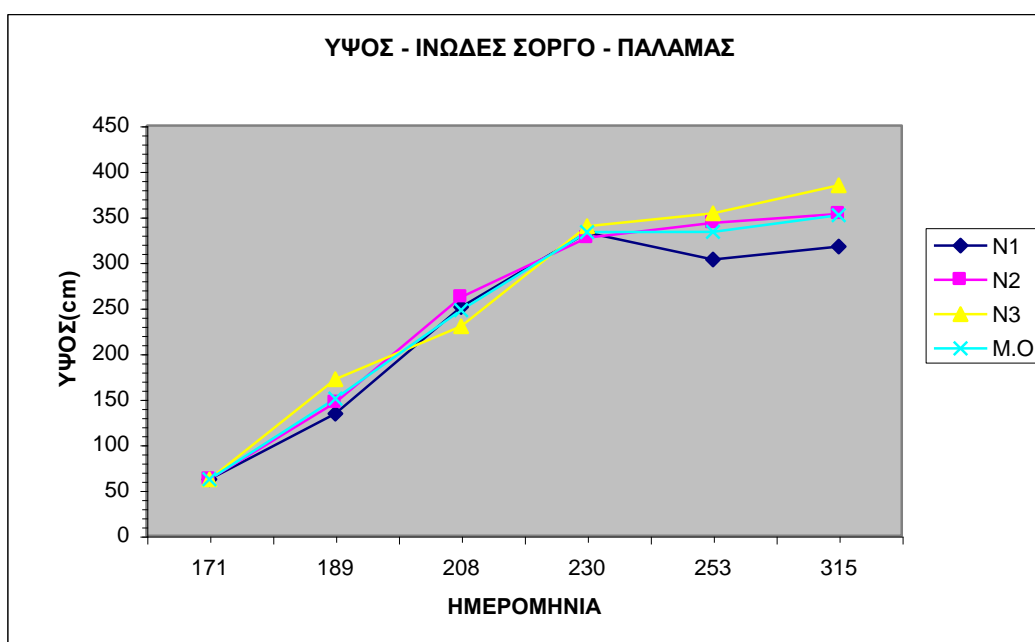
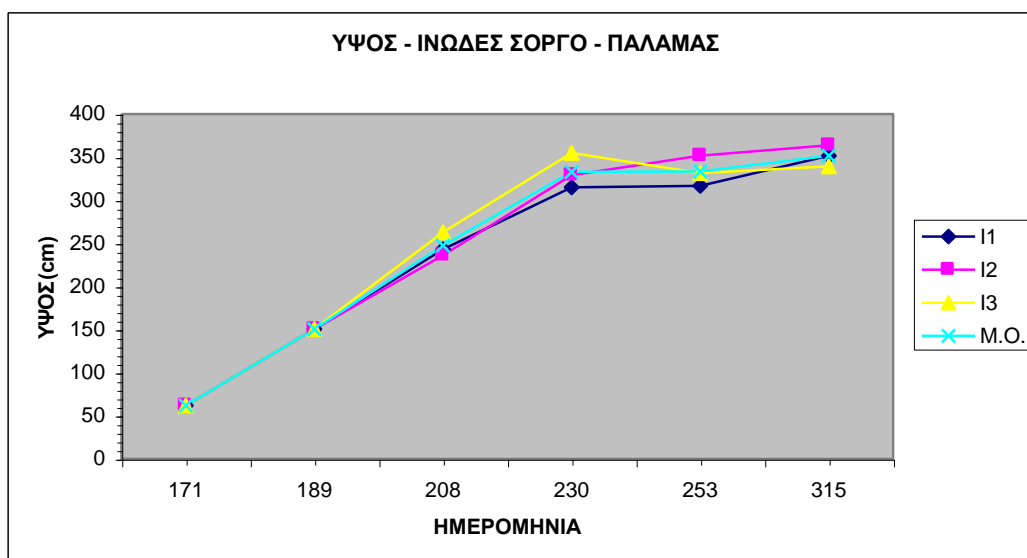




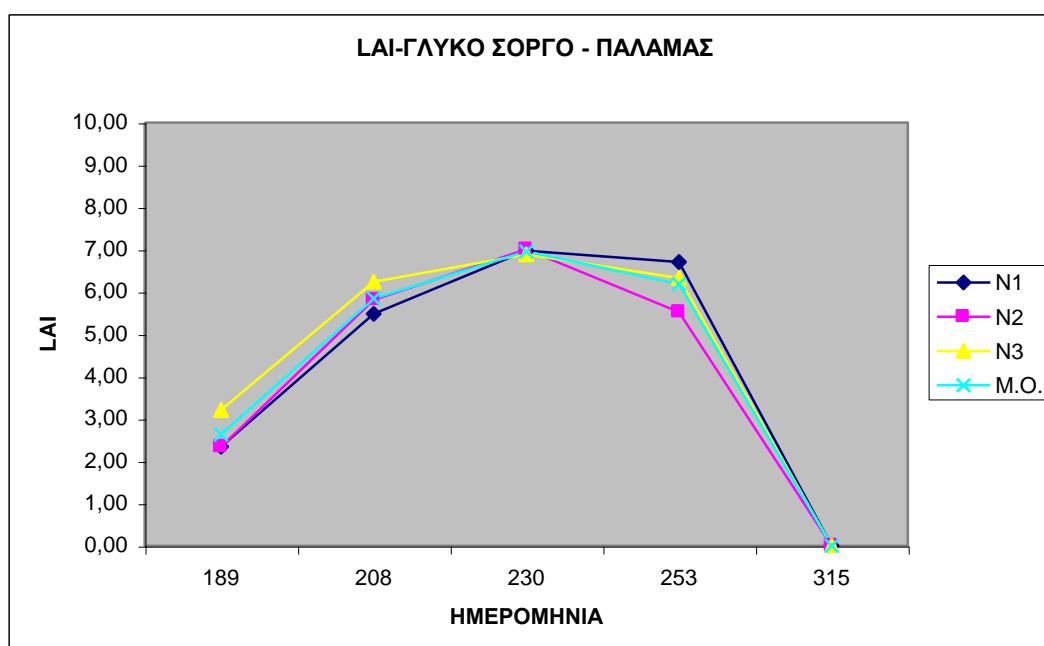
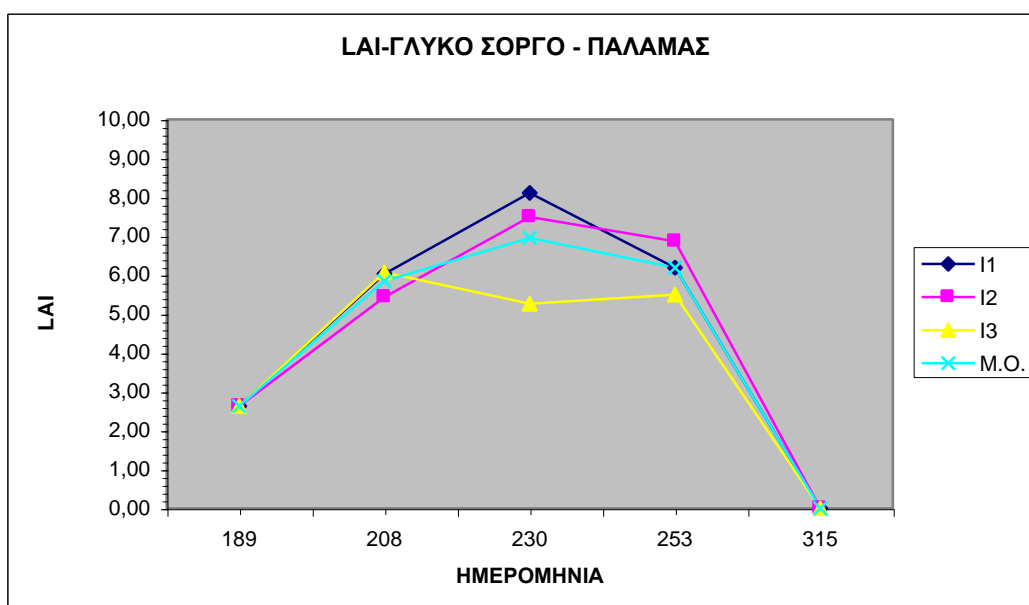
ΥΨΟΣ(cm)- ΠΑΛΑΜΑΣ-ΓΛΥΚΟ ΣΟΡΓΟ								
ΗΜΕΡΟΜΗΝΙΑ	I1	I2	I3	M.O.	N1	N2	N3	M.O.
171	51	51	51	51	51	51	51	51
189	83	83	83	83	69	90	89	83
208	195	209	225	210	202	218	209	210
230	294	302	328	308	309	299	315	308
253	322	338	328	330	323	322	343	330
315	298	313	329	313	307	312	321	313
M.O.	238	249	258	249	242	248	255	249



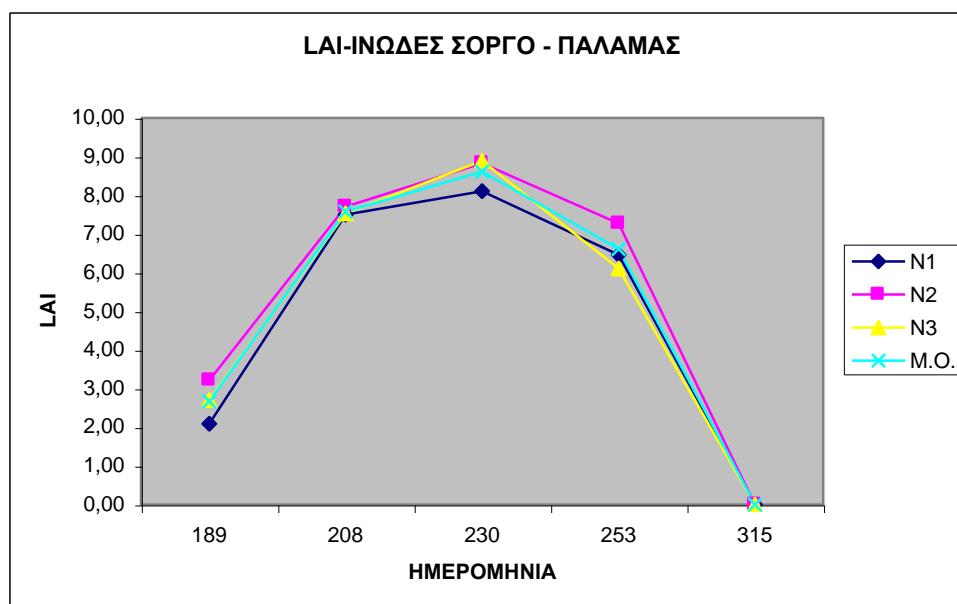
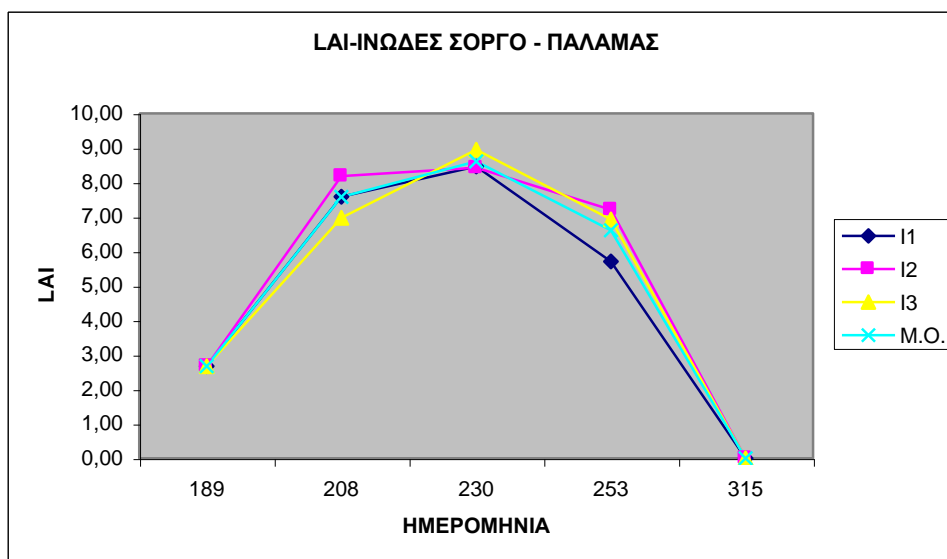
ΥΨΟΣ(cm)- ΠΑΛΑΜΑΣ-ΙΝΩΔΕΣ ΣΟΡΓΟ								
ΗΜΕΡΟΜΗΝΙΑ	I1	I2	I3	M.O.	N1	N2	N3	M.O.
171	62	62	62	62	62	62	62	62
189	151	151	151	151	134	146	172	151
208	243	236	263	247	251	262	230	247
230	315	329	355	333	333	327	340	333
253	317	352	332	333	303	343	354	333
315	352	364	339	352	317	353	384	352
M.O.	275	286	288	<b>283</b>	268	286	296	<b>283</b>



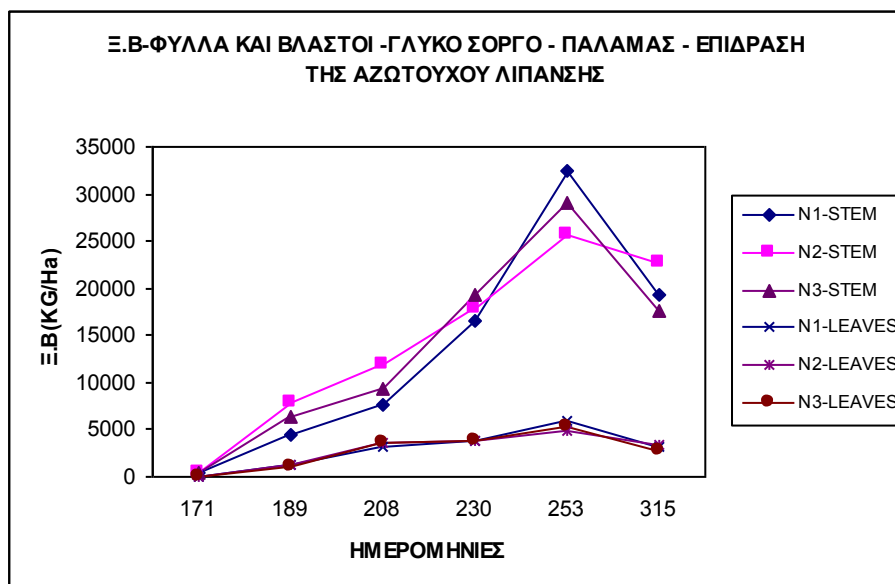
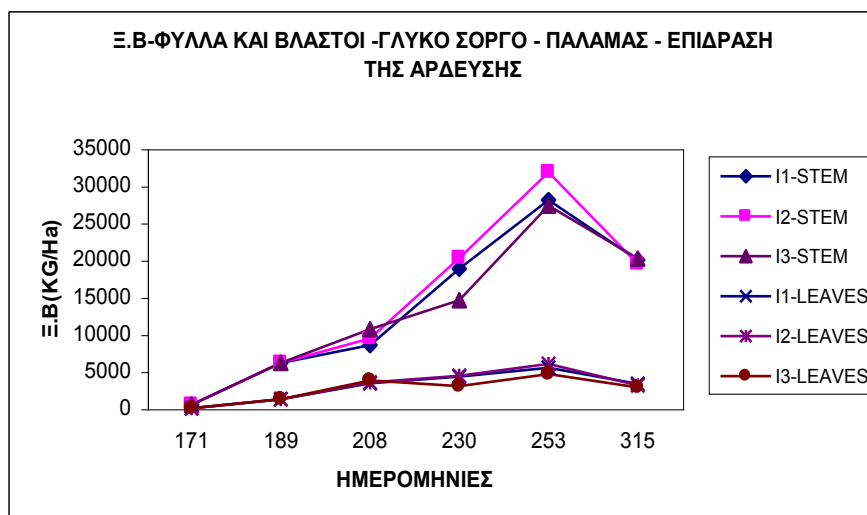
LAI- ΠΑΛΑΜΑΣ-ΓΛΥΚΟ ΣΟΡΓΟ								
ΗΜΕΡΟΜΗΝΙΑ	I1	I2	I3	M.O.	N1	N2	N3	M.O.
189	2,63	2,63	2,63	2,63	2,34	2,34	3,21	2,63
208	6,03	5,43	6,07	5,84	5,48	5,81	6,24	5,84
230	8,11	7,49	5,26	6,95	6,97	7,00	6,89	6,95
253	6,19	6,87	5,49	6,18	6,71	5,52	6,32	6,18
315	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
M.O.	4,59	4,48	3,89	<b>4,32</b>	4,30	4,14	4,53	<b>4,32</b>



LAI- ΠΑΛΑΜΑΣ-ΙΝΩΔΕΣ ΣΟΡΓΟ								
ΗΜΕΡΟΜΗΝΙΑ	I1	I2	I3	M.O.	N1	N2	N3	M.O.
189	2,67	2,67	2,67	2,67	2,09	3,22	2,71	2,67
208	7,58	8,18	6,97	7,58	7,50	7,71	7,53	7,58
230	8,46	8,42	8,95	8,61	8,11	8,83	8,89	8,61
253	5,71	7,21	6,92	6,61	6,46	7,27	6,11	6,61
315	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
M.O.	4,88	5,30	5,10	5,09	4,83	5,40	5,05	5,09



Ξ.Β (ΚΓ/ΗΑ)- ΠΑΛΑΜΑΣ-ΓΛΥΚΟ ΣΟΡΓΟ								
<b>ΒΛΑΣΤΟΙ</b>								
ΗΜΕΡΟΜΗΝΙΑ	I1	I2	I3	M.O.	N1	N2	N3	M.O.
171	504	504	504	504	504	504	504	504
189	6129	6129	6129	6129	4423	7807	6307	6179
208	8525	9417	10676	9539	7573	11886	9286	9582
230	18816	20251	14579	17882	16620	17765	19330	17905
253	28049	31801	27305	29052	32477	25753	28971	29067
315	19974	19450	20175	19866	19363	22701	17556	19873
M.O.	16299	17410	15773	16494	16091	17182	16290	16521
<b>ΦΥΛΛΑ</b>								
171	26	26	26	26	26	26	26	26
189	1242	1242	1242	1242	1242	1174	1161	1192
208	3391	3497	3770	3553	3222	3600	3710	3510
230	4275	4391	2996	3888	3822	3888	3883	3864
253	5479	6003	4624	5369	5890	4816	5354	5353
315	3319	3115	2834	3089	3162	3358	2727	3082
M.O.	3541	3650	3093	3428	3468	3367	3367	3401



Ξ.Β (KG/HA)- ΠΑΛΑΜΑΣ-ΙΝΩΔΕΣ ΣΟΡΓΟ								
ΒΛΑΣΤΟΙ								
ΗΜΕΡΟΜΗΝΙΑ	I1	I2	I3	M.O.	N1	N2	N3	M.O.
171	931	931	931	931	931	931	931	931
189	9496	9496	9496	9496	7657	10847	9965	9490
208	20126	14634	18468	17743	19140	16924	17067	17711
230	24023	22564	22652	23080	23229	23049	22947	23075
253	26582	30930	25476	27663	27682	31631	23638	27650
315	24880	28551	20886	24772	22606	26626	24997	24743
<b>M.O.</b>	<b>21021</b>	<b>21235</b>	<b>19396</b>	<b>20551</b>	<b>20063</b>	<b>21815</b>	<b>19723</b>	<b>20534</b>
ΦΥΛΛΑ								
171	29	29	29	29	29	29	29	29
189	1394	1394	1394	1394	1062	1599	1538	1400
208	5428	4790	4661	4959	5045	4719	5210	4991
230	5075	5010	4922	5002	4551	5080	5390	5007
253	5199	5885	5916	5667	5605	6443	4990	5679
315	3663	4702	4386	4250	4298	4590	3951	4280
<b>M.O.</b>	<b>4152</b>	<b>4356</b>	<b>4256</b>	<b>4255</b>	<b>4112</b>	<b>4486</b>	<b>4216</b>	<b>4271</b>

