

ΤΜΗΜΑ ΓΕΩΠΟΝΙΑΣ ΦΥΤΙΚΗΣ ΠΑΡΑΓΩΓΗΣ  
& ΑΓΡΟΤΙΚΟΥ ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝΤΟΣ  
Αριθμ. Πρωτοκ: 397  
Ημερομηνία: 5-7-12

**ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΘΕΣΣΑΛΙΑΣ  
ΣΧΟΛΗ ΓΕΩΠΟΝΙΚΩΝ ΕΠΙΣΤΗΜΩΝ**

**ΤΜΗΜΑ ΓΕΩΠΟΝΙΑΣ ΦΥΤΙΚΗΣ ΠΑΡΑΓΩΓΗΣ ΚΑΙ  
ΑΓΡΟΤΙΚΟΥ ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝΤΟΣ**



**ΠΤΥΧΙΑΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ  
ΤΗΣ  
ΤΟΠΟΥΖΟΓΛΟΥ ΜΑΡΙΑΣ**

**ΘΕΜΑ**

**« ΣΟΡΓΟ, ΕΝΕΡΓΕΙΑΚΟ ΦΥΤΟ ΣΤΗΝ ΕΛΛΑΔΑ.  
ΣΥΝΘΗΚΕΣ ΑΝΑΠΤΥΞΗΣ ΚΑΙ ΚΑΛΛΙΕΡΓΕΙΑΣ »**

**ΕΠΗΒΛΕΠΩΝ: ΝΙΚΟΛΑΟΣ ΔΑΝΑΛΑΤΟΣ, ΚΑΘΗΓΗΤΗΣ**

---



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

Αριθ. Εισ.: 10939/1  
Ημερ. Εισ.: 11-09-2012  
Δωρεά: Συγγραφέα  
Ταξιθετικός Κωδικός: ΠΤ - ΦΠΑΠ  
2012  
ΤΟΠ

**ΠΤΥΧΙΑΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ  
ΤΗΣ  
ΤΟΠΟΥΖΟΓΛΟΥ ΜΑΡΙΑΣ**

**ΘΕΜΑ**

**« ΣΟΡΓΟ, ΕΝΕΡΓΕΙΑΚΟ ΦΥΤΟ ΣΤΗΝ ΕΛΛΑΔΑ. ΣΥΝΘΗΚΕΣ  
ΑΝΑΠΤΥΞΗΣ ΚΑΙ ΚΑΛΛΙΕΡΓΕΙΑΣ»**

**ΤΡΙΜΕΛΗΣ ΕΞΕΤΑΣΤΙΚΗ ΕΠΙΤΡΟΠΗ**

**ΕΠΙΒΛΕΠΩΝ: ΝΙΚΟΛΑΟΣ ΔΑΝΑΛΑΤΟΣ, ΚΑΘΗΓΗΤΗΣ**

**ΜΕΛΟΣ: ΑΒΡΑΑΜ ΧΑ, ΑΝ. ΚΑΘΗΓΗΤΗΣ**

**ΜΕΛΟΣ: ΔΗΜΗΤΡΙΟΣ ΜΠΑΡΤΖΙΑΛΗΣ ΔΙΔΑΣΚΩΝ ΠΔ407/80**

## Ευχαριστίες

Με την ολοκλήρωση της παρούσας πτυχιακής εργασίας, αισθάνομαι την ανάγκη να ευχαριστήσω ορισμένους ανθρώπους που συντέλεσαν ουσιαστικά σ' αυτή την προσπάθεια.

Τον Καθηγητή κ. Νικόλαο Δαναλάτο επιβλέποντα της πτυχιακής εργασίας μου για την ευκαιρία που μου έδωσε να ασχοληθώ με ένα τόσο ενδιαφέρον θέμα στα πλαίσια της πτυχιακής μου εργασίας.

Τον Αναπληρωτή Καθηγητή κ. Αβραάμ Χα, μέλος της τριμελούς επιτροπής της πτυχιακής μου εργασίας για την συμπαράσταση και την εμπιστοσύνη που μου έδειξε κατά τη διάρκεια της συγγραφής.

Τον κ. Δημήτριο Μπαρτζιάλη διδάσκοντα με το ΠΔ 407/80 μέλος της τριμελούς επιτροπής για τις χρήσιμες συμβουλές του κατά τη διάρκεια της συγγραφής.

Ιδιαίτερα θα ήθελα να ευχαριστήσω την κ. Ελπινίκη Σκουφογιάννη μέλος ΕΕΔΙΠ του Τμήματος Γεωπονίας Φυτικής Παραγωγής και Αγροτικού Περιβάλλοντος του Πανεπιστημίου Θεσσαλίας για την καδοδήγηση καθ' όλη τη διάρκεια της συγγραφής της εργασίας, για τις χρήσιμες και εύστοχες επισημάνσεις της και για την πολύτιμη και εμέριστη βοήθειά της τόσο κατά διεξαγωγή της συγέντρωσης του υλικού όσο και κατά τη διόρθωση του κειμένου.

Αισθάνομαι την ανάγκη να ευχαριστήσω την κ. Ασημώ Πανάγου μέλος ΕΕΔΙΠ του Τμήματος Γεωπονίας Φυτικής Παραγωγής και Αγροτικού Περιβάλλοντος του Πανεπιστημίου Θεσσαλίας για τις χρήσιμες συμβουλές της και για την πολύτιμη βοήθεια που μου πρόσφερε όλο αυτό το χρονικό διάστημα.

Επίσης θα ήθελα να ευχαριστήσω όλα τα μέλη ΔΕΠ του Τμήματος και ιδιαίτερα τη Γραμματεία για την εξυπηρέτηση που μου παρείχαν σε όλη τη διάρκεια των σπουδών μου.

## 1. ΕΙΣΑΓΩΓΗ

---

Η ενεργειακή γεωργία είναι ένας τομέας που εξελίσσεται ταχύτατα τα τελευταία χρόνια, λόγω της ιδιαίτερας ρυπογόνου επίδρασης των ορυκτών καυσίμων στο περιβάλλον, της εξάντλησης των αποθεμάτων ορυκτών καυσίμων του πλανήτη, του εξελισσόμενου αδιεξόδου της γεωργικής υπερπαραγωγής και της ανάγκης για διασφάλιση του ενεργειακού εφοδιασμού.

Το γλυκό και ινώδες σόργο είναι φυτά ανθεκτικά στην έλλειψη νερού, έχουν χαμηλές απαιτήσεις σε άζωτο και παρουσιάζουν πολύ υψηλή αποτελεσματικότητα χρήσης του νερού. Έχουν υψηλό παραγωγικό δυναμικό, τόσο σε οριακές οικολογικές συνθήκες όσο και με χαμηλά επίπεδα εισροών και ενδείκνυνται για αντικατάσταση συμβατικών καλλιεργούμενων φυτών στη Ν. Ευρώπη, στα πλαίσια της ενεργειακής γεωργίας.

Τα πειραματικά αποτελέσματα στη Ελλάδα δείχνουν την ύπαρξη συγκριτικού πλεονεκτήματος, σε επίπεδο στρεμματικών αποδόσεων, σε σχέση με τις χώρες της κεντρικής και βόρειας Ευρώπης, ενώ συγχρόνως το γλυκό και ινώδες σόργο είναι από τις πλέον υποσχόμενες ενεργειακές καλλιέργειες για τη χώρα μας.

Το γλυκό και το ινώδες σόργο μπορούν να χρησιμοποιηθούν για παραγωγή βιοαιθανόλης και βιομεθανόλης, στερεών καυσίμων (πελλέτες και μπρικέτες), ηλεκτρισμού, βιοαερίου και βιο-υδρογόνου καθώς και για παραγωγή ζωοτροφής, χαρτοπολτού και οργανικού λιπάσματος.

Σχετικά με την μελλοντική καλλιέργεια του γλυκού και ινώδους σόργου στην Ελλάδα, τα αποτελέσματα των πειραματικών εργασιών δείχνουν ότι μπορούν να καλλιεργηθούν από τις βορειότερες μέχρι τις νοτιότερες περιοχές της χώρας, τόσο σε εύφορα όσο και σε υποβαθμισμένα εδάφη. Επίσης φαίνεται ότι τα φυτά είναι δυνατόν να εισαχθούν στα διάφορα συστήματα εναλλαγής καλλιεργειών χωρίς ιδιαίτερο πρόβλημα, μπορεί να γίνει χρήση του υπάρχοντος γεωργικού εξοπλισμού και να επιτευχθεί υψηλό καθαρό ενεργειακό κέρδος από την καλλιέργεια.

## 2. ΒΟΤΑΝΙΚΗ ΤΑΞΙΝΟΜΗΣΗ ΚΑΙ ΚΑΤΑΓΩΓΗ

---

### 2.1 Βοτανική ταξινόμηση

Υποδιαιρείται το γένος σε τρία διαφορετικά είδη: *S. bicolor*, *S. halepense* και *S. prostratum*. Τα δύο τελευταία είδη περιλαμβάνουν αυτοφυή φυτά με πολύ ανεπτυγμένο ριζικό σύστημα, ετήσια και πολυετή, όπως το γνωστό δυσεξόντωτο ζιζάνιο "βέλιουρας" (Berenji & Dahlberg, 2004).

Σύμφωνα με το USDA δίνεται η παρακάτω βοτανική ταξινόμηση για το *S. bicolor*:

<b>Βασίλειο:</b>	<i>Plantae</i>
<b>Υποβασίλειο:</b>	<i>Tracheobionta</i>
<b>Άθροισμα:</b>	<i>Spermatophyta</i>
<b>Υποάθροισμα:</b>	<i>Magnoliophyta</i>
<b>Κλάση:</b>	<i>Liliopsida</i>
<b>Υποκλάση:</b>	<i>Commelinidae</i>
<b>Τάξη:</b>	<i>Cyperales</i>
<b>Οικογένεια:</b>	<i>Poaceae</i>
<b>Γένος:</b>	<i>Sorghum</i> Moench
<b>Είδος:</b>	<i>Sorghum bicolor</i> (L.) Moench

Το είδος *S. bicolor* περιλαμβάνει ετήσια φυτά, καλλιεργούμενα και μη και χαρακτηρίζεται από μεγάλη ποικιλομορφία. Υποδιαιρείται στα υποείδη *bicolor*, *drummondii* και *verticilliflorum*, από τα οποία μόνο το πρώτο (*Sorghum bicolor* ssp. *bicolor*) περιλαμβάνει καλλιεργούμενα είδη. Οι γνωστότερες ποικιλίες αναφέρονται κυρίως σε τρεις τύπους σόργου, το ινώδες, το σακχαρούχο και το καρποδοτικό.

### 2.2 Καταγωγή - Εξάπλωση

Ο πρόγονος των καλλιεργούμενων τύπων σόργου είναι το άγριο *S. bicolor* ssp. *arundinaceum* (= *S.b.verticilliflorum*) το οποίο εξημερώθηκε στην

αφρικανική ήπειρο (Smith & Frederiksen, 2000). Η μεγαλύτερη ποικιλομορφία εντοπίζεται στη ΒΑ Αφρική και ιδιαίτερα στην Αιθιοπία και το Σουδάν, σε ένα μεγάλο εύρος οικολογικών συνθηκών. Στη ΝΔ Αιθιοπία πιθανολογείται η πρώτη εξημέρωση του σόργου, που πρέπει να έγινε περί το 5000 π.Χ. (Smartt & Simmonds, 1995). Αναφέρεται ότι τροφουσλλέκτες στην Αφρική χρησιμοποιούσαν ζύμες σε σπόρους αυτοφυών αγρωστωδών, πιθανώς και σπόρους σόργου για παρασκευή ειδών άρτου.

Υπάρχουν δύο γενικώς αποδεκτές πιθανές οδοί μεταφοράς του σόργου από την Αφρική προς τη Μέση Ανατολή και την Ινδία, περίπου το 2000 π.Χ.: i) από την κοιλάδα του Νείλου μέσω της Ερυθράς Θάλασσας ή κατά μήκος των ακτών της Α. Μεσογείου (Smith & Frederiksen, 2000), ή ii) από την Αιθιοπία μέσω της Ερυθράς Θάλασσας στην Αραβική χερσόνησο και στη συνέχεια βόρεια και ανατολικά. Η παλαιότερη αναφορά για το σόργο στην Ινδία είναι στην κοιλάδα του Ινδού ποταμού στο τέλος της τρίτης χιλιετίας π.Χ - αρχές της δεύτερης χιλιετίας π.Χ (Smith & Frederiksen, 2000). Η εξάπλωση στην Κίνα τοποθετείται στην ίδια περίοδο με την Ινδία. Διάφορες ανασκαφές επιβεβαιώνουν την καλλιέργεια σόργου στην Κίνα τα τελευταία 5000 χρόνια και υποδεικνύουν ως πιθανή οδό μεταφοράς του τον «δρόμο του μεταξιού». Ο Zhijun Zhao (2000) αναφέρει την εύρεση σπόρων σόργου σε ανασκαφή του Donghuishan, οι οποίοι χρονολογήθηκαν με τη μέθοδο ισοτόπων άνθρακα περί το 3000 π.Χ ( $5000 \pm 159$  έτη) (Smith & Frederiksen, 2000). Αντίθετα, η εξάπλωση του σόργου προς δυμάς φαίνεται ότι καθυστέρησε. Για παράδειγμα, η καλλιέργεια στην Αίγυπτο ξεκίνησε κατά τη Ρωμαϊκή-βυζαντινή εποχή. Αν και υπάρχουν αναφορές ότι σόργο σαρωθροποιίας πρωτοκαλλιεργήθηκε από το Βενιαμίν Φραγκλίνο πριν το 1800, ο Martin (1936) αναφέρει ότι η πρώτη εισαγωγή του σόργου στην αμερική έγινε το 1853 από τη Γαλλία, όπου είχε προηγουμένως εισαχθεί από την Κίνα το 1851 (Undersander, 1990a, Smith & Frederiksen, 2000). Η συστηματική καλλιέργειά του εξαπλώθηκε σημαντικά, όταν οι τροπικές ποικιλίες μετά από βελτίωση προσαρμόστηκαν στα εύκρατα κλίματα με τις μεγάλες φωτοπεριόδους (Smartt & Simmonds, 1995).

### 3. ΒΟΤΑΝΙΚΑ - ΜΟΡΦΟΛΟΓΙΚΑ ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΤΙΚΑ

Το ύψος των φυτών 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.

#### 3.1 Ριζικό σύστημα

Το σόργο αναπτύσσει πολύ ισχυρό θυσανώδες 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 (Guiying et al., 2004).

Το ριζικό σύστημα αποτελείται από πλέγμα κύριων, δευτερογενών και στηρικτικών ριζών. Η πρωτογενής ρίζα αναπτύσσεται στο αρτίβλαστο (φωτ. 3.1-παράρτημα). Είναι η μοναδική εμβρυική ρίζα που αναπτύσσεται από το σπόρο κατά το φύτευμα και είναι προσωρινή. Πριν τη δημιουργία δευτερογενών ριζών, η πρωτογενής ρίζα είναι το κύριο όργανο πρόσληψης νερού και θρεπτικών στοιχείων από το έδαφος. Οι δευτερογενείς ρίζες αναπτύσσονται, μετά το σχηματισμό 3-4 φύλλων από το φυτό, από το πρώτο γόνατο της βάσης του στελέχους, κοντά στην επιφάνεια του εδάφους (Guiying et al., 2004, LAMNET, 2006a). Καθ' όλη τη διάρκεια του βιολογικού κύκλου του φυτού, οι δευτερογενείς ρίζες παρέχουν νερό και θρεπτικά στοιχεία.

Ο βαθμός ανάπτυξης και διείσδυσης του ριζικού συστήματος στο έδαφος εξαρτάται από συνδυασμό παραγόντων που σχετίζονται με το φυτό και το έδαφος, όπως για παράδειγμα την εδαφική αντίσταση, η οποία με τη σειρά της εξαρτάται από την κοκκομετρική σύσταση, τη δομή και την περιεχόμενη υγρασία του εδάφους (Tolk et al., 1997). Το ριζικό σύστημα αποτελεί το 10%-



12% του συνολικού ξηρού βάρους του φυτού (Grassi et al., 2004, LAMNET, 2006a).



**Φωτ. 3.1:** Πρωτογενείς ρίζες σε φυτάρια γλυκού σόργου ([www.ecoport.org](http://www.ecoport.org))



**Φωτ. 3.2:** Εναέριες ρίζες γλυκού σόργου ([www.biomatnet.org](http://www.biomatnet.org))



**Φωτ. 3.3:** Αδέρφια σε φυτό σόργου. (Καραμάνος, 1999)



**Φωτ. 3.4:** Φυτά σόργου διαφορετικού ύψους

Στη μεγάλη αποτελεσματικότητα του ριζικού συστήματος οφείλεται η αντοχή του σόργου στην ξηρασία. 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 ανεξαιρέτως τα στάδια ανάπτυξης ( Guiying *et al.*, 2004, LAMNET, 2006a). Επομένως υπάρχει μεγαλύτερη (περίπου διπλάσια) ικανότητα απορρόφησης νερού στο σόργο, σε σύγκριση με το καλαμπόκι.

Οι στηρικτικές ρίζες του φυτού ονομάζονται και εναέριες . Εκφύονται από τα πρώτα 4 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 ποικίλλει ανάλογα με τις περιβαλλοντικές συνθήκες και την ποικιλία. Εκτός από το στηρικτικό τους ρόλο, απορροφούν νερό και θρεπτικά στοιχεία από το έδαφος. Η δημιουργία αναχωμάτων (σαμάρια) κατά την καλλιέργεια του σόργου βελτιστοποιεί την αποτελεσματικότητα των εναέριων ριζών καθώς και τη στήριξη των φυτών (Guiying *et al.*, 2004).

### 3.2 Βλαστός

Κατά το στάδιο του "αδερφώματος" στη βάση του στελέχους σχηματίζονται 1-5 οφθαλμοί που δίνουν νέα στελέχη που ονομάζονται "αδέρφια" (Guiying *et al.*, 2004). Το αδελφωμα ευνοείται από σχετικά χαμηλές θερμοκρασίες (Undersander, 1990a) καθώς και από χαμηλές πυκνότητες φυτών (Berenguer & Faci, 2001, Habyarimana, 2004a). 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 φύτεμα ή οι προσβολές από έντομα και ασθένειες (Παπακώστα, 1996), ενώ είναι κύριος παράγοντας των σχετικά υψηλών αποδόσεων του σόργου σε βιομάζα όταν επικρατούν συνθήκες υδατικού στρες για την καλλιέργεια (Habyarimana, 2004a).

Ο βλαστός σχηματίζει γόνατα. Σε κάθε στελέχος σχηματίζονται από 10 ως 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 και πάλι μικρότερα, εκτός του τελευταίου μεσογονάτιου (κάτω από το φύλλο "σημαία") που είναι μεγάλο.

Το εξωτερικό μέρος του βλαστού καλύπτεται από ένα σκληρό και παχύ μεμβρανώδη ιστό που βρίσκεται κάτω από την επιδερμίδα. Αυτή 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 ιδιαίτερος ανθεκτικό τόσο στην ξηρασία όσο και σε υπερβολική υγρασία (Guiying *et al.*, 2004).

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 και τις συνθήκες ανάπτυξης (Guiying *et al.*, 2004, LAMNET, 2006a). Επίσης το ύψος του στελέχους εξαρτάται και από το μήκος των μεσογονατίων, το οποίο καθορίζεται από τέσσερις ανεξάρτητους γόνους που δρουν προσθετικά χωρίς να επηρεάζουν τον αριθμό των φύλλων ή τη διάρκεια του βιολογικού κύκλου (Smartt & Simmonds, 1995). Οι ποικιλίες μικρού βιολογικού κύκλου έχουν στελέχη μικρότερου ύψους από τις ποικιλίες μεγάλου βιολογικού κύκλου. Επίσης σε μεγαλύτερα γεωγραφικά πλάτη, η φωτοπερίοδος είναι μεγαλύτερη και το βλαστικό στάδιο ανάπτυξης των φυτών είναι μεγαλύτερης χρονικής διάρκειας, με αποτέλεσμα τα φυτά να αποκτούν μεγαλύτερο ύψος. Γενικά όταν γενότυποι σόργου καλλιεργούνται σε μικρότερα γεωγραφικά πλάτη, κοντά στον ισημερινό, τα φυτά γίνονται χαμηλότερα, ενώ σε βορειότερα πλάτη τα φυτά γίνονται ψηλότερα (Guiying *et al.*, 2004).

Οι ώριμοι βλαστοί του σόργου έχουν διάμετρο 1-5 cm (LAMNET, 2006a) και κυρίως 1,5-3 cm (Guiying *et al.*, 2004) και η βάση του βλαστού είναι πάντα μεγαλύτερης διαμέτρου από την κορυφή (Guiying *et al.*, 2004). Το βάρος του βλαστού ποικίλει ευρέως ανάλογα με την ποικιλία, την πυκνότητα φύτευσης,

το περιβάλλον και τις συνθήκες ανάπτυξης (Guiying *et al.*, 2004) φθάνοντας μέχρι και 3,6 kg (Beijing Green Energy Institute, 2005).

Τα σάκχαρα αποτελούν περίπου το 38-41% του ξηρού βάρους των στελεχών του γλυκού σόργου (Curt *et al.*, 1994, Dalianis *et al.*, 1994a, Curt *et al.*, 1995, EECI, 1999d, ΚΑΠΕ, 2004) ενώ στο ινώδες σόργο μόνο το 9-12% (ΚΑΠΕ, 2004). Το 98% των σακχάρων του γλυκού σόργου βρίσκεται στο στέλεχος και μόνο το 2% στα φύλλα και τα καρποφόρα όργανα (LAMNET, 2006a). Οι χλωροί βλαστοί του αποτελούνται κατά 65% από χυμώδη εντεριώνη πλούσια σε διαλυτά σάκχαρα και κατά 35% από φλοιό πλούσιο σε ίνες, λιγνίνη και φαινολικά οξέα (Billa *et al.*, 1997). Ο σακχαρικός τίτλος (Brix) του χυμού στο βλαστό εξαρτάται από την ποικιλία, έχει τιμές 7-24% (πίνακας 3.1) και επηρεάζεται επίσης από τις συνθήκες περιβάλλοντος και το χρόνο συγκομιδής, αν και στην ίδια ποικιλία, ο χυμός διαφορετικών φυτών μπορεί να έχει διαφορετικές τιμές Brix (Guiying *et al.*, 2004).

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 (Guiying *et al.*, 2004) ενώ οι αναπτυσσόμενοι βραχίονες μπορεί να φτάσουν σε μήκος 40 cm (Freeman *et al.*, 1973). Στο γλυκό σόργο η αφαίρεση της ταξιανθίας κατά την άνθιση έχει ως αποτέλεσμα τάση για αδέρφωμα, υψηλότερη περιεκτικότητα των βλαστών σε χυμό αλλά με μικρότερη περιεκτικότητα σε υδατοδιαλυτά σάκχαρα και σακχαρόζη (Rajendran *et al.*, 2000). Στην περίπτωση όμως που λάβει χώρα αφαίρεση της ταξικαρπίας κατά το στάδιο γάλακτος του σπόρου, επιταχύνεται η συσσώρευση των σακχάρων στο στέλεχος και μειώνεται το ποσοστό πλαγιάσματος των φυτών, συντελώντας σε πρωιμότερη και ευκολότερη συγκομιδή (Bitzer & Fox, 1994).

Μετά τη συγκομιδή και στελεχοκοπή της καλλιέργειας, μπορούν να αναπτυχθούν αδέρφια από κοιμώμενους οφθαλμούς των υπολειμμάτων των φυτών. Με σωστή διαχείριση αυτά τα αδέρφια μπορούν να εξελιχθούν σε νέα φυτά, τα οποία μάλιστα αναπτύσσονται ταχύτερα από τα σπορόφυτα, λόγω

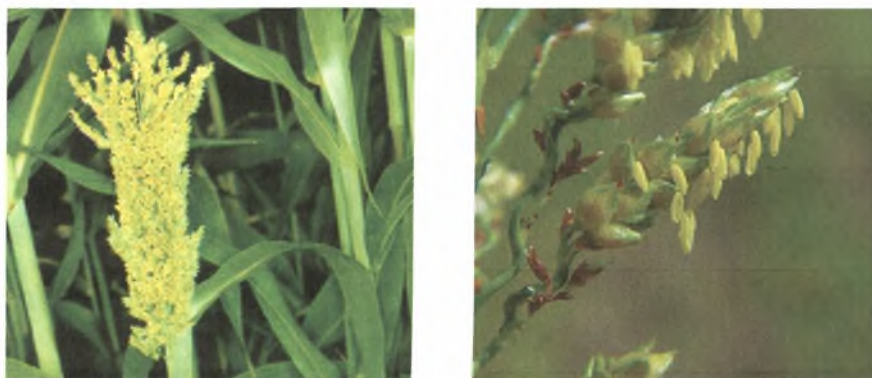
του ήδη καλά ανεπτυγμένου ριζικού συστήματος. Στην περίπτωση αυτή, οι αποδόσεις σε βιομάζα μπορεί να είναι αξιοσημειώτες. Έτσι, σε θερμές περιοχές στις οποίες δεν υπάρχει κίνδυνος παγετού, η καλλιέργεια μπορεί να συγκομιστεί δύο φορές (Guiying *et al.*, 2004).



**Φωτ. 3.5:** Τομές βλαστού και στελέχη γλυκού σόργου ([www.ecoport.org](http://www.ecoport.org))



**Φωτ. 3.6:** Φύλλα σόργου



**Φωτ. 3.7:** Ταξιανθία και άνθη σόργου ([www.images.google.com](http://www.images.google.com))

### 3.3 Φύλλα

Το σόργο έχει φύλλα που μοιάζουν με του καλαμποκιού αλλά είναι μικρότερα κατά 50-60% . Είναι απλά σε δίσειρη διάταξη (δίσειχη φυλλοταξία) κατ' εναλλαγή και αποτελούνται από το έλασμα, τον κολεό και το γλωσσίδιο. Ο κολεός έχει μεγάλο μήκος και μεγάλο τμήμα του είναι προσκολλημένο στο μεσογονάτιο διάστημα του βλαστού. Το έλασμα είναι πλατύ, λογχοειδές, οδοντωτό στις παρυφές του, με λεία επιφάνεια (Guiying *et al.*, 2004).

Τα φύλλα έχουν χαρακτηριστικά που φανερώνουν αντοχή στην ξηρασία. Συγκεκριμένα, φέρουν εφυμενίδα με κηρώδες επίχρισμα και πολλά μηχανικά κύτταρα στην άνω επιδερμίδα που προσδίδουν ικανότητα συστροφής του ελάσματος σε περιόδους ξηρασίας με αποτέλεσμα τη μειωμένη απώλεια νερού (Undersander, 1990a). 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>).

Το μήκος των φύλλων είναι 30-135 cm και το πλάτος 6-13 cm. Ο αριθμός των φύλλων είναι ίσος με τον αριθμό των γονάτων (Guiying *et al.*, 2004). Το φυτό έχει συνήθως 14-17 φύλλα, ενώ τα στομάτια είναι τοποθετημένα αμφίπλευρα (LAMNET, 2006a).

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 (Guiying *et al.*, 2004).

Το πρώτο φύλλο του φυταρίου είναι το μικρότερο και το μέγεθος των φύλλων αυξάνει σταδιακά ως το μέσο του φυτού όπου και 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 αυτή η θέση, τόσο μεγαλύτερη είναι η βλαστική περίοδος και τόσο υψηλότερη η απόδοση της

καλλιέργειας. Το τελευταίο φύλλο που εκφύεται ονομάζεται και φύλλο-σημαία (Guiying *et al.*, 2004).

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 ως 250 g. Τα φύλλα έχουν υψηλή περιεκτικότητα σε πρωτεΐνες και συνεπώς υψηλή θρεπτική αξία ως ζωοτροφή (Guiying *et al.*, 2004).

### 3.4 Αναπαραγωγικά όργανα

Η ταξιανθία εκφύεται από τον κολόο του φύλλου "σημαία. Η άνθιση 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 (Guiying *et al.*, 2004) και το μέγεθος της φτάνει σε μήκος και διάμετρο μέχρι 70 και 30 cm αντίστοιχα (LAMNET, 2006a). 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. Αναφέρεται ότι 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 (Guiying *et al.*, 2004).

### 3.5 Καρπός

Η ταξικαρπία φέρει μέχρι και 4000 σπόρους (LAMNET, 2006a). Ο καρπός είναι καρύοψη και αποτελείται από το περικάρπιο, το ενδοσπέρμιο και το έμβρυο. Ο καρπός περιβάλλεται από δύο λέπυρα τα οποία τα οποία μπορεί να απομακρύνονται εύκολα ή δύσκολα (δυσκολότερα στο γλυκό σόργο).

Το σχήμα και το χρώμα των σπόρων ποικίλει ανάλογα με την ποικιλία. Υπάρχουν σφαιροειδείς, ελλειψοειδείς, οβάλ κ.α. σχήματα σπόρων ενώ το χρώμα τους μπορεί να είναι λευκό, ανοιχτό κίτρινο, ροζ, κεραμιδι, από ανοιχτό έως σκούρο καφέ.

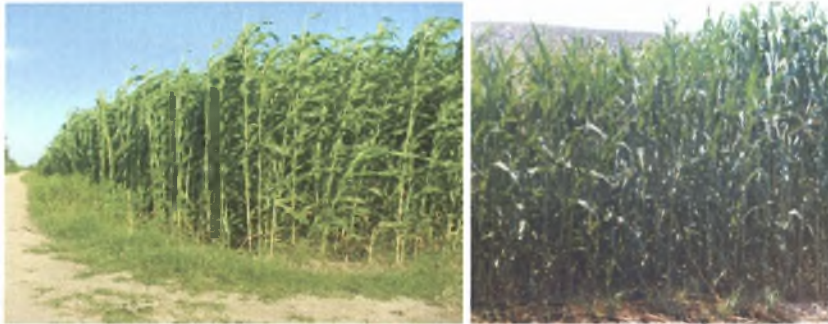
Οι χρωστικές βρίσκονται στο περικάρπιο του σπόρου. Το σκοτεινό χρώμα υποδηλώνει παρουσία ταννίνης, η οποία μειώνει την πεπτικότητα του καρπού ως ζωοτροφή. Κίτρινο ενδοσπέρμιο υποδηλώνει μεγάλη περιεκτικότητα σε καροτένια και επομένως υψηλή θρεπτική αξία. Το ενδοσπέρμιο αποτελείται από άμυλο (αμυλόζη και αμυλοπηκτίνη). Η περιεκτικότητα σε τανίνη προσδίδει στο σπόρο ελαφρώς όξινο χαρακτήρα. Η τανίνη μπορεί να εξουδετερώσει την αλκαλικότητα οπότε αν ο σπόρος φυτευτεί σε αλκαλικό έδαφος, μπορεί να μειώσει τοπικά την αρνητική επίδραση της αλκαλικότητας στη βλάστησή του (FAO, 1994).

Ο σπόρος του γλυκού σόργου είναι μικρότερος από του καρποδοτικού σόργου. Το μέσο βάρος 1000 σπόρων είναι περίπου 21g και κυμαίνεται από 16-28g (25000 ως 61740 σπόροι/kg) (FAO, 1994, LAMNET, 2006a). Η καλλιέργεια του γλυκού σόργου αποδίδει 200-400 kg σπόρου ανά στρέμμα (Grassi *et al.*, 2004).



**Φωτ. 3.15:** Βλαστική ανάπτυξη φυτών γλυκού σόργου





**Φωτ. 3.16:** Τελευταίο στάδιο βλαστικής ανάπτυξης φυτών γλυκού σόργου

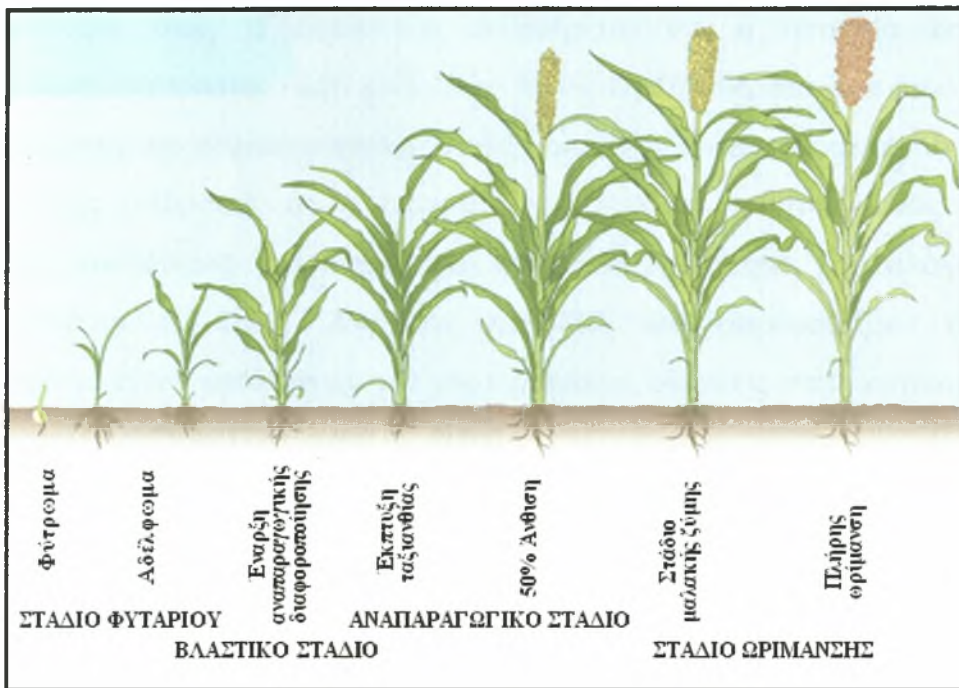


**Φωτ. 3.17:** Άνθιση και ανθοφορία (γλυκό σόργο)

#### 4. ΦΑΙΝΟΛΟΓΙΑ - ΣΤΑΔΙΑ ΑΝΑΠΤΥΞΗΣ

---

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



#### 4.1 Στάδιο φυταρίου

Το στάδιο του φυταρίου (φωτ. 3.12) διαρκεί από το φύτευμα του σπόρου μέχρι την έναρξη του γονατώματος.

Για το φύτευμα του σπόρου χρειάζεται η ύπαρξη κατάλληλης εδαφικής υγρασίας, επάρκειας οξυγόνου και κατάλληλες θερμοκρασίες. Όταν η σπορά γίνεται την άνοιξη ο σπόρος φυτρώνει συνήθως σε 7-10 ημέρες ενώ όταν γίνεται καλοκαίρι σε 2-3 ημέρες, λόγω υψηλότερων θερμοκρασιών (Guiying *et al.*, 2004).

Το στάδιο αυτό χαρακτηρίζεται από έντονη ανάπτυξη του ριζικού συστήματος το οποίο σε πέντε εβδομάδες φτάνει σε βάθος 100 cm και πλευρικά σε ακτίνα 50 cm. Οι Dercas & Liakatas (1999) αναφέρουν ότι, η αύξηση του ριζικού συστήματος του γλυκού σόργου (ποικιλία Keller) ήταν γραμμική τις πρώτες 46 ημέρες μετά το φύτευμα φθάνοντας σε βάθος 1,4 m, ενώ 84 ημέρες μετά το φύτευμα έφτασε σε βάθος 1,8 m.

Το αδέρφωμα λαμβάνει χώρα όταν τα φυτά βρίσκονται στο στάδιο 3-5 φύλλων και για το γλυκό σόργο απαιτούνται περίπου 30 ημέρες από το φύτευμα (φωτ. 3.13). Γενικά οι ποικιλίες του γλυκού σόργου έχουν

μεγαλύτερη τάση αδερφώματος. Αναφέρεται ότι η ποικιλία Brandes αδερφώνει περισσότερο από κάθε άλλη, δίνοντας 4-7 αδέρφια ανά φυτό. Στην καλλιέργεια του γλυκού σόργου, το αδέρφωμα δεν είναι επιθυμητό, λόγω της αρνητικής επίδρασης στην ανάπτυξη του κυρίως βλαστού καθώς αυτός γίνεται κοντύτερος, λεπτότερος και πολύ πιο ευαίσθητος στο πλάγιασμα (Guiying *et al.*, 2004). Αντίθετα, ποικιλίες που παρουσιάζουν έντονο αδέρφωμα είναι κατάλληλες για χορτοδοτικούς σκοπούς στην κτηνοτροφία (Παπακώστα, 1996, Guiying *et al.*, 2004).

Το σόργο έχει βραδεία ανάπτυξη κατά τα πρώτα στάδια (Dalianis *et al.*, 1994b, Chiaramonti *et al.*, 2000), ειδικότερα κατά τις πρώτες 50 ημέρες από το φύτευμα (Claassen *et al.*, 2004) και είναι αναγκαία για τα φυτά η ύπαρξη επαρκούς εδαφικής υγρασίας και θρεπτικών. Για το λόγω αυτό είναι επιβεβλημένος ο έλεγχος των ζιζανίων στο ευαίσθητο αυτό στάδιο της καλλιέργειας.

## 4.2 Στάδιο βλαστικής ανάπτυξης

Τα φυτά εισέρχονται στο στάδιο βλαστικής ανάπτυξης (φωτ. 3.14, 3.15, 3.16) περίπου 47-55 ημέρες από το φύτευμα (Guiying *et al.*, 2004).

Το στάδιο αυτό χαρακτηρίζεται αρχικά από ταχεία αύξηση της φυλλικής επιφάνειας των φυτών ενώ στη συνέχεια παρατηρείται ταχύτερη αύξηση του μήκους του βλαστού (Mastrorilli *et al.*, 1999).

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 μεγάλου βιολογικού κύκλου όπως η Mn 1500 διαρκεί 74-90 ημέρες, δηλαδή είναι 2-3 φορές μεγαλύτερο. Όσο μεγαλύτερο είναι το στάδιο αυτό, τόσο ψηλότερα γίνονται τα φυτά και αυξάνεται η παραγωγή βιομάζας (Guiying *et al.*, 2004). 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 (Dalianis *et al.*, 1994b).

Κατά το στάδιο του γονατώματος γίνεται η αναπαραγωγική διαφοροποίηση των νεαρών φυτών. Η διαφοροποίηση της ταξιανθίας ξεκινά νωρίτερα στις πρώιμες ποικιλίες (Guiying *et al.*, 2004).

Το στάδιο της βλαστικής ανάπτυξης είναι κρίσιμο για την ανάπτυξη της καλλιέργειας. Οι καλλιεργητικές φροντίδες και η σωστή διαχείριση είναι καίριας σημασίας και επηρεάζουν άμεσα την τελική απόδοση σε βλαστό και σπόρο (Guiying *et al.*, 2004). Στο διάγραμμα 3.3 φαίνεται η επίδραση προσωρινού υδατικού στρες κατά το στάδιο της βλαστικής ανάπτυξης, στο δείκτη φυλλικής επιφάνειας (LAI) και την τελική παραγωγή ξηρής βιομάζας του γλυκού σόργου.

### 4.3 Στάδιο ανθοφορίας

Μετά το τελευταίο φύλλο, το οποίο ονομάζεται φύλλο "σημαία" ακολουθεί η έκπτυξη της ταξιανθίας. Μία εβδομάδα αργότερα ξεκινά η ανθοφορία και 2- 5 ημέρες αργότερα η άνθιση. Τα άνθη ανοίγουν σταδιακά από την κορυφή προς τη βάση και από το εξωτερικό προς το εσωτερικό της ταξιανθίας. Κάθε άνθος παραμένει περίπου για μία ώρα ανοιχτό (Guiying *et al.*, 2004). Τα σταχύδια ανοίγουν τη νύχτα ή τις πρώτες πρωινές ώρες ενώ η ζωτικότητα των μειώνεται ταχύτατα και εκμηδενίζεται σε 3-6 ώρες.

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% (Miller & McBee, 1993).

Στο γλυκό σόργο, η έναρξη συσσώρευσης σακχάρων αρχίζει με την έναρξη του αναπαραγωγικού σταδίου αλλά μεγιστοποιείται μετά την άνθιση (Dolciotti *et al.*, 1998).

Κατά το στάδιο της άνθισης, τα φυτά έχουν τις μέγιστες υδατικές ανάγκες. Επομένως πρέπει να εξασφαλίζεται η κάλυψη των υδατικών αναγκών της καλλιέργειας κατά την πλήρη άνθιση, ιδιαίτερα όταν λαμβάνει

χώρα κατά τις καλοκαιρινές ξηροθερμικές συνθήκες, με άρδευση της καλλιέργειας (Guiying *et al.*, 2004).

#### **4.4 Στάδιο ωρίμανσης**

Κατά το στάδιο ωρίμανσης μπορούμε να διακρίνουμε τρία επιμέρους στάδια: το στάδιο γάλακτος, το στάδιο κηρού και το στάδιο πλήρους ωρίμανσης.

**Στάδιο γάλακτος :** Μετά την ολοκλήρωση της γονιμοποίησης των ανθέων, ένα μέρος των θρεπτικών συστατικών του φυτού αποθησαυρίζονται στο στέλεχος και ένα άλλο οδηγείται 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.

**Στάδιο σκληρής ζύμης ή κηρού:** Η υγρασία και το νωπό βάρος του σπόρου μειώνονται ταχύτατα, ο σπόρος γίνεται λιγότερο υδαρής και σκληραίνει. Αν ασκηθεί πίεση στο σπόρο, εξέρχεται μια κηρώδης πάστα.

**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 άνθιση μέχρι την ωρίμανση απαιτούνται περίπου 30 ημέρες, ανάλογα με την ποικιλία.

## 5. ΚΑΛΛΙΕΡΓΗΤΙΚΗ ΤΕΧΝΙΚΗ

---

### 5.1 Προετοιμασία εδάφους

Το σόργο προσαρμόζεται σε μεγάλο εύρος εδαφών αλλά ευνοούν βαθιά εδάφη, πλούσια σε οργανική ουσία, καλής δομής, καλοστραγγιζόμενα και υψηλής υδατοχωρητικότητας (Guiying *et al.*, 2004). Η προετοιμασία του εδάφους είναι παρόμοια με του καλαμποκιού (Undersander *et al.*, 1990b, Livingston & Coffman, 1995).

Η προετοιμασία του εδάφους, συμπεριλαμβανομένων της χρήσης δικοσβάρνας και οργώματος, γίνεται το χειμώνα, την άνοιξη και πριν τη σπορά και τους εξής σκοπούς:

α) τη βελτίωση των φυσικών ιδιοτήτων του εδάφους, αυξάνοντας το πορώδες, τον αερισμό και τη διηθητικότητα του εδάφους (Σφήκας, 1991, Guiying *et al.*, 2004)

β) την αύξηση της διαθέσιμης εδαφικής υγρασίας, μέσω της καταστροφής των ζιζανίων (Σφήκας, 1991, Guiying *et al.*, 2004) και

γ) την ενσωμάτωση με όργανο των υπολειμμάτων της προηγούμενης καλλιέργειας, η οποία συντελεί στη μείωση ζιζανίων, εντομολογικών εχθρών και ασθενειών (Guiying *et al.*, 2004, Gazaway & Mask, 2006b).

Είναι πολύ χρήσιμο να γίνεται χειμερινό όργωμα όταν προηγείται καλλιέργεια με μεγάλο όγκο φυτικών υπολειμμάτων, όπως για παράδειγμα αραβόσιτος (Undersander *et al.*, 1990a).

Είναι απαραίτητος ο λεπτοτεμαχισμός του εδάφους πριν τη σπορά, με ελαφρύ καλλιεργητή ή δισκάρτρο, ώστε να δημιουργηθεί κατάλληλη σποροκλίνη και επαρκής υγρασία για την ανάπτυξη των φυταρίων, διότι οι σπόροι είναι αρκετά μικρού μεγέθους (Amaducci *et al.*, 2004, Guiying *et al.*, 2004). Η κατεργασία με καλλιεργητή ή δισκάρτρο πρέπει να αποφεύγεται σε αμμώδη εδάφη λόγω του κινδύνου διάβρωσης του εδάφους από τον άνεμο (Livingston & Coffman, 1995).

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 υγρασίας του εδάφους αναπτύχθηκαν τεχνικές μειωμένης κατεργασίας του εδάφους. Η μειωμένη κατεργασία επιτυγχάνεται με δύο κυρίως τρόπους. Κατά τον πρώτο τρόπο γίνεται μια ελαφρά κατεργασία του επιφανειακού στρώματος του εδάφους με καλλιεργητή ή δισκάρωτρο λίγο πριν το χρόνο σποράς. Κατά το δεύτερο τρόπο με σύνθετο μηχάνημα γίνεται κατεργασία του εδάφους σε λωρίδες και συγχρόνως σπορά στις λωρίδες αυτές (Παπακώστα, 1996).

Το βάθος της επεξεργασίας με καλλιεργητή εξαρτάται από τον τύπο του εδάφους αλλά γενικά πρέπει να είναι γύρω στα 20 cm (Freeman *et al.*, 1973, Guiying *et al.*, 2004).

Σε περίπτωση που η σπορά καθυστερήσει και γίνει καλοκαίρι, χρειάζεται προσοχή στην προετοιμασία του εδάφους διότι βαθειά κατεργασία προκαλεί αυξημένη απώλεια της εδαφικής υγρασίας (Guiying *et al.*, 2004).

## 5.2 Σπορά

### 5.2.1 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 μεγιστοποίηση των αποδόσεων (Guiying *et al.*, 2004). Ως εκ τούτου συστήνεται υψηλότερη πυκνότητα φυτών σε εδάφη εύφορα και με επάρκεια υγρασίας σε σχέση με άγονα και ξηρά εδάφη (Guiying *et al.*, 2004, Habyarimana, 2004a).

Σε ποικιλίες που παρουσιάζουν έντονη τάση αδελφώματος η πυκνότητα φυτών που απαιτείται είναι μικρότερη (Duke, 1983), όπως επίσης και στις μικρόκαρπες ποικιλίες (Guiying *et al.*, 2004). Επίσης οι υψηλές πυκνότητες συντελούν σε αύξηση του ποσοστού πλαγιάσματος των φυτών (EECI, 1999b),

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 σπόρων ανά στρέμμα σε σχέση με τις θερινές, ενώ για πρώιμες σπορές όπου η θερμοκρασία εδάφους είναι χαμηλή ή όταν είναι γνωστή η παρουσία επιζήμιων εντόμων εδάφους, συστήνεται υψηλότερη πυκνότητα φυτών (Guiying *et al.*, 2004).

Στο γλυκό σόργο οι αποστάσεις σποράς είναι 75-100 cm μεταξύ των γραμμών και 15-30 cm επί της γραμμής σποράς, ανάλογα με την ποικιλία και την υγρασία του εδάφους. Σε ξηρική καλλιέργεια με μικρή πυκνότητα σποράς απαιτείται λιγότερο από 1 kg σπόρου ανά στρέμμα, ενώ σε αρδευόμενη καλλιέργεια και πυκνή σπορά περίπου 2-2,5 kg σπόρου ανά στρέμμα

Για την Ελλάδα συστήνεται σπορά του γλυκού και ινώδους σόργου σε αποστάσεις 70 cm μεταξύ των γραμμών και 10-20 cm επί της γραμμής σποράς και απαιτούνται 3-5 kg σπόρου ανά στρέμμα (EECI, 1999c, EECI, 1999f).

## 5.2.2 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 °C (Guiying *et al.*, 2004) και η άριστη μεταξύ 20 °C και 30 °C (Duke, 1983, LAMNET, 2006a). Το φύτευμα επιτυγχάνεται σε 5 ημέρες όταν η θερμοκρασία εδάφους είναι 18-21 °C

Όταν η σπορά γίνεται σε χαμηλότερες των απαιτούμενων θερμοκρασίες, τότε το φύτευμα καθυστερεί σημαντικά και υπάρχει ο κίνδυνος καταστροφής μεγάλου ποσοστού των σπόρων ή των φυταρίων από έντομα και μύκητες εδάφους (Duke, 1983, Guiying *et al.*, 2004). 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 φυτάρια αναπτύσσονται γρηγορότερα με αποτέλεσμα να δίνουν φυτά λεπτοστέλεχα με μειωμένη απόδοση, λόγω μικρότερης διάρκειας του βλαστικού σταδίου ανάπτυξης (Guiying *et al.*, 2004).

Ο καλύτερος χρόνος για τη σπορά γλυκού σόργου είναι όταν η θερμοκρασία του εδάφους, σε βάθος 10 cm, είναι μεγαλύτερη από 12-13 °C (Duke, 1983, LAMNET, 2006a) και η εδαφική υγρασία είναι 18-20% (Guiying *et al.*, 2004), ενώ για το ινώδες απαιτείται θερμοκρασία εδάφους πάνω από 15 °C (EECI, 1999c). Στο διάγραμμα παρουσιάζονται τα αποτελέσματα εργαστηριακών δοκιμών σχετικά με την επίδραση της θερμοκρασίας στο φύτευμα των σπόρων 12 γενοτύπων σόργου.

Σε περιπτώσεις θερινής σποράς, αυτή πρέπει να γίνεται αμέσως μετά τη συγκομιδή της προηγούμενης καλλιέργειας, ιδιαίτερα αν αυτή είναι σιτάρι, διότι τότε εξασφαλίζεται υψηλή εδαφική υγρασία (Guiying *et al.*, 2004).

### 5.2.3 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 (Guiying *et al.*, 2004).

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

βλαστικότητα μπορεί να αυξηθεί 5-10% με την ηλιοαποξήρανση ενώ τα φυτάρια εμφανίζονται 1-2 ημέρες νωρίτερα (Guiying *et al.*, 2004).

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' ό τι στον αγρό. Το ποσοστό βλαστικότητας πρέπει να είναι γνωστό ώστε ο παραγωγός να μπορεί να επιτύχει την σωστή πυκνότητα φυτών (Guiying *et al.*, 2004). Η ελάχιστη βλαστική ικανότητα ενός ικανοποιητικού δείγματος σπόρων στο εργαστήριο είναι 85-90 %.

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 των υβριδίων διατίθεται απολυμασμένος.

#### 5.2.4 Μέθοδος σποράς

Η σπορά γίνεται κυρίως μηχανικά με σπαρτικές μικρών σιτηρών ή βαμβακιού και αραβοσίτου. Το βάθος σποράς πρέπει να είναι 3-6 cm. Το μικρότερο βάθος συνιστάται σε πρώιμη σπορά κατά την οποία η υγρασία του εδάφους είναι επαρκής και η θερμοκρασία χαμηλή (Παπακώστα, 1996), ενώ η βαθύτερη σπορά γίνεται σε ελαφρά, αμμώδη εδάφη (Undersander *et al.*, 1990a). Σπορά σε μεγάλο βάθος μπορεί να προκαλέσει μειωμένη φυτρωτικότητα και καχεκτικά φυτάρια, ενώ με πολύ ρηχή σπορά (<1.3 cm) πιθανώς να προκληθεί μειωμένη ανάπτυξη του ριζώματος με αποτέλεσμα προβλήματα πλαγιάσματος της καλλιέργειας κατά το στάδιο της ωριμότητας (Smith & Frederiksen, 2000).

Τέλος σε συμπιεσμένα εδάφη ή εδάφη που η δημιουργία επιφανειακής κρούστας είναι συχνή, τα καλύτερα αποτελέσματα δίνει η καλλιέργεια σε αναχώματα (Freeman *et al.*, 1973, Mask & Morris, 1991).

### 6.1 Χρήσεις της καλλιέργειας

Ανάλογα με το σκοπό για τον οποίο πρόκειται να χρησιμοποιηθεί η παραγόμενη βιομάζα του γλυκού και ινώδους σόργου, απαιτείται κατάλληλη μετασυλλεκτική διαχείριση της πρώτης ύλης για τη μετατροπή σε ενεργειακά και άλλα προϊόντα.

#### 6.1.1 Χρήσεις του γλυκού σόργου

Το γλυκό σόργο χρησιμοποιείται για παραγωγή βιοαιθανόλης και παραγώγων της, μέσω ζύμωσης των σακχάρων που περιέχονται στο φυτικό χυμό του. Ο σακχαρούχος χυμός μπορεί να χρησιμοποιηθεί και ως πρώτη ύλη για παραγωγή κρυσταλλικής ζάχαρης (Woods, 2001, Gnansounou *et al.*, 2005, Kangama & Rumei, 2005a, Kangama & Rumei, 2005b). Επίσης, το γλυκό σόργο μπορεί να χρησιμοποιηθεί ως πρώτη ύλη για παραγωγή βιο-υδρογόνου (Claassen *et al.*, 2004).

Τα υπολείμματα που παράγονται μετά την εξαγωγή του χυμού από τα στελέχη αποτελούν πρώτη ύλη για παραγωγή ενέργειας με καύση, πυρόλυση ή αεριοποίηση (Jannsens *et al.*, 1994) δίνοντας στερεά καύσιμα (pellets), πυρολυτικά έλαια, βιοαέριο και μεθανόλη (Buxton *et al.*, 1999, BioMatNet, 2000) ή για παραγωγή αιθανόλης μέσω υδρόλυσης των κυτταρινούχων υπολειμμάτων σε σάκχαρα και αλκοολικής ζύμωσης (Mc Bee *et al.*, 2004, Faaij, 2006).

Η μεγάλη ποσότητα και η υψηλή θερμογόνος δύναμη των υπολειμμάτων μπορεί να καλύψει τις ενεργειακές ανάγκες τόσο της φυτικής παραγωγής όσο και της μετατροπής του γλυκού σόργου σε αλκοόλη (ΚΑΠΕ, 2004).

Τα υποπροϊόντα της καλλιέργειας και της παραγωγής αιθανόλης, δηλαδή ο καρπός, τα φύλλα, οι ρίζες και τα υπολείμματα της ζύμωσης,

μπορούν να χρησιμοποιηθούν για διάφορους σκοπούς εκτός από ενεργειακούς. Από τις ρίζες, τα φύλλα και τα υπολείμματα μπορεί να παραχθεί οργανικό λίπασμα με κομποστοποίηση (Negro *et al.*, 1994, Negro *et al.*, 1999, Grassi *et al.*, 2004, Kangama & Rumei, 2005a, Chiaramonti *et al.*, 2006, Grassi *et al.*, 2006). Οι καρποί μπορούν να χρησιμοποιηθούν ως απευθείας τροφή ή ζωοτροφή, ενώ στην περίπτωση που χρησιμοποιηθούν για παραγωγή αιθανόλης, τα υπολείμματα της απόσταξης (DDG, distilled dried grains) μπορούν να χρησιμοποιηθούν για παραγωγή διατροφικών συμπληρωμάτων φυτικών πρωτεϊνών (Chiaramonti *et al.*, 2002, European Commission, 2003b, Kangama & Rumei, 2005a, Chiaramonti *et al.*, 2006).

Σχετικά με τη χρήση των λιγνοκυτταρινούχων υπολειμμάτων από την παραγωγή αιθανόλης, αυτά εκτός από οργανικό λίπασμα ή παραγωγή ενέργειας, είναι δυνατόν να χρησιμοποιηθούν για βιομηχανική παραγωγή χαρτοπολτού (Rajvanshi & Nimbkar, 2001, BFAP, 2005, Kangama & Rumei, 2005a, Chiaramonti *et al.*, 2006), οικοδομικών υλικών, ενεργού άνθρακα (Grassi *et al.*, 2006) και ξυλιτόλης που χρησιμοποιείται ως γλυκαντικό (Qiabi *et al.*, 1994)

### 6.1.2 Χρήσεις του ινώδους σόργου

Η παραγόμενη βιομάζα από το ινώδες σόργο μπορεί να χρησιμοποιηθεί για παραγωγή ενέργειας με καύση ή αεριοποίηση (Amaducci *et al.*, 2004), παραγωγή στερεών καυσίμων (κυρίως pellets) για θέρμανση (EECI, 1999c, Monti & Venturi, 2003) ή βιο-υδρογόνου (Grassi & Vasen, 2004).

Μια ενδιαφέρουσα ενεργειακή εφαρμογή είναι η παραγωγή ηλεκτρισμού με καύση της παραγόμενης βιομάζας (BioMatNet, 2000, Monti & Venturi, 2003). Υπάρχει επίσης αυξανόμενο ενδιαφέρον για την παραγωγή βιοαιθανόλης από το φυτό, μέσω υδρόλυσης των κυτταρινούχων συστατικών του σε σάκχαρα και αλκοολικής ζύμωσης (EECI, 1999c, Υπουργείο Γεωργίας, 2000).

Τέλος το ινώδες σόργο μπορεί να αποτελέσει μια καλή λύση για την αντικατάσταση των δασικών πρώτων υλών στην χαρτοβιομηχανία (EECI, 1999c, EECI, 2000j, Amaducci *et al.*, 2004, Berenji & Dahlberg, 2004) καθώς και για παραγωγή οικοδομικών υλικών (EECI, 1999c, Amaducci *et al.*, 2004), ενώ μια εναλλακτική βιομηχανική χρήση του είναι η παραγωγή ξυλιτόλης (Qiabi *et al.*, 1994).

## 6.2 Παραγωγή μη ενεργειακών προϊόντων

### 6.2.1 Παραγωγή ζάχαρης

Η παραγωγή ζάχαρης γίνεται από το σακχαρούχο χυμό του γλυκού σόργου. Η σύσταση των σακχάρων του χυμού τυπικά είναι 85% σακχαρόζη, 9% γλυκόζη και 6% φρουκτόζη. Κρυσταλλική ζάχαρη μπορεί να παραχθεί μόνο από τη σακχαρόζη (Gnansounou *et al.*, 2005). Για το λόγω αυτό πρέπει ο χυμός να περιέχει υψηλό ποσοστό σακχαρόζης επί του συνόλου των διαλυτών σακχάρων. Γενικά ο χυμός πρέπει να έχει περιεκτικότητα τουλάχιστον 9% σε σακχαρόζη και τουλάχιστον το 75% του συνόλου των διαλυτών σακχάρων του χυμού (Brix) να αποτελείται από σακχαρόζη (Woods, 2001). Εάν δεν ικανοποιούνται οι παραπάνω προϋποθέσεις σχετικά με την ποιότητα του σακχαρούχου χυμού, η παραγωγή κρυσταλλικής ζάχαρης από γλυκό σόργο είναι αντιοικονομική σε βιομηχανική κλίμακα. Ως κατάλληλες ποικιλίες για παραγωγή ζάχαρης αναφέρονται οι Keller, Wray και Cowley (Beijing Green Energy Institute, 2005).

Το πρώτο στάδιο της παραγωγής κρυσταλλικής ζάχαρης από το γλυκό σόργο περιλαμβάνει την εξαγωγή του φυτικού χυμού από τα στελέχη και η διαδικασία περιγράφεται αναλυτικά σε επόμενη παράγραφο. Η διαδικασία παραγωγής ζάχαρης από το σακχαρούχο χυμό, όπως αυτή περιγράφεται από τους Kangama & Rumei (2005b) και Gnansounou *et al.*, (2005) αποτελείται από τρία στάδια (σχήμα 10.1). Αρχικά γίνεται καθαρισμός του χυμού κατά την οποία γίνεται ασβέστωση (προσθήκη ασβεστούχου γαλακτώματος) και

προσθήκη CO<sub>2</sub> και ακολουθεί διήθηση (φιλτράρισμα ιζήματος ανθρακικού ασβεστίου). Στο επόμενο στάδιο γίνεται συμπύκνωση του χυμού μέσω εξάτμισης, ο οποίος από 15% περιεκτικότητας σε σάκχαρα συμπυκνώνεται μέχρι συγκέντρωσεως 70% σε σάκχαρα. Κατά το τελευταίο στάδιο γίνεται υπερκορεσμός του πυκνού διαλύματος και κρυστάλλωση υπό κενό (*vacuum*). Η κρυσταλλική ζάχαρη λαμβάνεται με φυγοκέντρηση και ξήρανση ενώ παράγεται συγχρόνως και πυκνό σιρόπι το οποίο κρυσταλλώνεται περαιτέρω. Τελικά παράγεται εκτός από ζάχαρη και μελάσα που αποθηκεύεται για άλλες χρήσεις.

### 6.2.2 Παραγωγή χαρτιού και ξυλιτόλης

Το ινώδες σόργο καθώς και τα υπολείμματα αποχύμωσης του γλυκού σόργου αποτελούν πρώτη ύλη για την παραγωγή πολύ καλής ποιότητας χαρτιού. Ο χαρτοπολτός παράγεται από την ινώδη κυτταρινούχο βιομάζα κατόπιν κατάλληλης επεξεργασίας.

Η απόδοση σε χαρτοπολτό είναι μεγαλύτερη από ινώδες σόργο σε σχέση με αυτή από υπολείμματα και πριν την παραγωγή του τελικού προϊόντος γίνεται λεύκανση του χαρτοπολτού με χημικές ή ενζυμικές μεθόδους (Belayachi & Delmas, 1997).

Σχετικά με τα υπολείμματα ότι η καλύτερη ποιότητα χαρτιού παράγεται από μίγμα χαρτοπολτών της αποχύμωσης, η καλύτερη ποιότητα χαρτιού παράγεται από μίγμα 30% χαρτοπολτού υπολειμμάτων γλυκού σόργου και 70% χαρτοπολτού από φλοιό δημητριακών (Beijing Green Energy Institute, 2005).

Στο ινώδες σόργο πριν από την παραγωγή του χαρτοπολτού είναι απαραίτητος ο διαχωρισμός των κυτταρινούχων ινών από την εντεριώνη του φυτού (Qiabi *et al.*, 1994, Belayachi & Delmas, 1997). Από την εντεριώνη, η οποία αποτελείται από ημικυτταρίνη, μπορεί μέσω όξινης υδρόλυσης με θειικό ή υδροχλωρικό οξύ να γίνει παραγωγή ξυλόζης, η οποία αποτελεί

πρώτη ύλη στη χημική βιομηχανία αλλά και πρώτη ύλη για παραγωγή ξυλιτόλης που χρησιμοποιείται ως υποκατάστατο ζάχαρης (Qiabi *et al.*, 1994).

### 6.2.3 Παραγωγή οργανικού λιπάσματος

Μια εναλλακτική χρήση των υπολειμμάτων της αποχύμωσης του γλυκού σόργου είναι η χρήση τους για παρασκευή οργανικού λιπάσματος (χούμου) και χρησιμοποίηση για την αύξηση της οργανικής ουσίας του εδάφους.

Τα υπολείμματα (πίνακας 10.1) έχουν υψηλή αναλογία C/N, περίπου 90, δηλαδή είναι πλούσια σε οργανικό C αλλά πολύ φτωχά σε θρεπτικά στοιχεία (Negro *et al.*, 1994). Η απευθείας διάθεση των υπολειμμάτων στον αγρό δεν συνιστάται λόγω του κινδύνου πρόκλησης φυτοτοξικότητας και ακινητοποίησης του εδαφικού αζώτου (Negro *et al.*, 1999). Φυτοτοξικές ουσίες δημιουργούνται μέσω του μικροβιακού μεταβολισμού κυρίως σε αναερόβιες συνθήκες εδάφους (Negro *et al.*, 1994). Για τους παραπάνω λόγους η απαιτείται κομποστοποίηση των υπολειμμάτων με λυματολάσπη από βιολογικούς καθαρισμούς ή με κόπρανα ζώων, τα οποία είναι πλούσια σε άζωτο και άλλα θρεπτικά στοιχεία. Τα παραγόμενα μίγματα (πίνακας 6.4) αποτελούν πολύ καλής ποιότητας οργανικά λιπάσματα (Negro *et al.*, 1994, Negro *et al.*, 1999).

## 6.3 Παραγωγή ενεργειακών προϊόντων

### 6.3.1 Παραγωγή αιθανόλης

Η κύρια χρήση του γλυκού σόργου είναι η παραγωγή βιοαιθανόλης με ζύμωση του σακχαρούχου χυμού των στελεχών. Η τελική απόδοση της καλλιέργειας σε αιθανόλη εξαρτάται από την ποικιλία, τη χρησιμοποιούμενη τεχνολογία στην καλλιεργητική πρακτική, τη μέθοδο μετατροπής και το είδος των χρησιμοποιούμενων ζυμών (Nan & Ma, 1989, Βουρδουμπάς, 1999).

Τα τελευταία χρόνια υπάρχει έντονη ερευνητική δραστηριότητα για την παραγωγή βιοαιθανόλης από λιγνοκυτταρινούχες πρώτες ύλες, αλλά σε βιομηχανική κλίμακα βρίσκεται προς το παρόν σε πιλοτικό στάδιο. Στην περίπτωση που επαληθευτεί η οικονομικότητα της παραγωγή αιθανόλης από λιγνοκυτταρινούχες πρώτες ύλες, θα γίνει ιδιαίτερα ελκυστική η βιομηχανική παραγωγή αιθανόλης από ινώδες σόργο και από τα υπολείμματα αποχύμωσης του γλυκού σόργου.



**Φωτ. 10.1:** Μονάδα παραγωγής ηλεκτρισμού με καύση βιομάζας ([www.nrel.gov](http://www.nrel.gov))



**Φωτ. 10.2:** Μονάδα συμπαραγωγής ηλεκτρισμού με καύση βιομάζας ([www.nrel.gov](http://www.nrel.gov))



**Φωτ. 10.3:** Μονάδα παραγωγής ηλεκτρισμού με αεριοποίηση βιομάζας ([www.nrel.gov](http://www.nrel.gov))



**Φωτ. 10.4:** Μονάδα παραγωγής βιοαιθανόλης. Δεξιά οι πύργοι απόσταξης ([www.nrel.gov](http://www.nrel.gov))



Η εξαγωγή του σακχαρούχου χυμού γίνεται συνήθως μηχανικά με πίεση. Αρχικά τα στελέχη λεπτοτεμαχίζονται και το αλεσμένο προϊόν οδηγείται σε ένα σύστημα περιστρεφόμενων κυλίνδρων, όπου γίνεται αποχύμωση και με την προσθήκη νερού γίνεται έκπλυση και συλλογή του υδατικού σακχαρούχου διαλύματος. Με τη συγκεκριμένη μέθοδο παραλαμβάνεται το 87% των σακχάρων από τα στελέχη (Gnansounou *et al.*, 2005). Μετά την εξαγωγή του χυμού απαιτείται άμεση επεξεργασία, ενώ σε αντίθετη περίπτωση απαιτείται ψύξη για τη συντήρησή του (Mays *et al.*, 1997).

Στο επόμενο στάδιο ακολουθεί η ζύμωση του σακχαρούχου υδατικού διαλύματος. Η διαδικασία της αλκοολικής ζύμωσης είναι σταδιακή και χρησιμοποιείται μια διάταξη διαδοχικών δεξαμενών ζύμωσης και μίας τελικής δεξαμενής (ουδέτερη). Στην πρώτη δεξαμενή ζύμωσης (ζυμωτήρας) η συγκέντρωση αλκοόλης φτάνει το 6-7 % (κατ' όγκο) ενώ στον τελευταίο ζυμωτήρα η συγκέντρωση φτάνει στο 91 % (κατ' όγκο) (Gnansounou *et al.*, 2005, Kangama & Rumei, 2005a).

Κατά τη ζύμωση των σακχάρων το pH πρέπει να είναι 4-5 (Βουρδουμπάς, 1999) και η θερμοκρασία 33-35 °C (Gnansounou *et al.*, 2005, Kangama & Rumei, 2005a, Kangama & Rumei, 2005b). Η ανάπτυξη των ζυμών ελέγχεται με παροχή οξυγόνου στους ζυμωτήρες ενώ συγχρόνως παρέχονται φώσφορος (φωσφορικό οξύ) και άζωτο ως θρεπτικά συστατικά (Gnansounou *et al.*, 2005, Kangama & Rumei, 2005b). Για τη ζύμωση χρησιμοποιούνται συνήθως διάφορα στελέχη του *Saccharomyces cerevisiae* (Gibbons *et al.*, 1986, Christakopoulos *et al.*, 1993, Rajvanshi & Nimbkar, 2001).

Στο τελικό προϊόν της ζύμωσης εκτός από αλκοόλη περιέχονται και αδιάλυτα συστατικά καθώς και η βιομάζα του μικροοργανισμού. Έτσι είναι αναγκαίος ο καθαρισμός με φυγοκέντρηση ή διήθηση. Αφού γίνει ο καθαρισμός με φυγοκέντρηση το υγρό οδηγείται στην τελική δεξαμενή και γίνεται η διαχωρισμός και ανάκτηση της καθαρής αιθανόλης.

Ανάλογα με το σκοπό, η αιθανόλη ως τελικό προϊόν μπορεί να είναι ένυδρη (95% v/v) ή άνυδρη (99,5% v/v). Η διαδικασία παραλαβής της αιθανόλης είναι το τελευταίο στάδιο παραγωγής και περιλαμβάνει απόσταξη

και αφυδάτωση με εφαρμογή θερμικής ενέργειας (Gnansounou *et al.*, 2005). Το τελευταίο αυτό στάδιο είναι από τα πλέον ενεργοβόρα στάδια της παραγωγικής διαδικασίας και αποτελεί κρίσιμο ανασταλτικό παράγοντα στην εμπορική ανάπτυξη της παραγωγής βιοαιθανόλης (Λόης και Αναστασόπουλος, 2006). Γίνονται προσπάθειες ανάπτυξης μονάδων απόσταξης που να τροφοδοτούνται από ηλιακούς συλλέκτες (Rajvanshi & Nimbkar, 2001).

Τα απόβλητα της ζύμωσης και της απόσταξης έχουν υψηλό ρυπαντικό φορτίο και είναι δύσκολα επεξεργάσιμα (Ρουκάς, 1992, Βουρδουμπάς, 1999). Η επεξεργασία τους με φυσικές, χημικές και βιολογικές μεθόδους (Ρουκάς, 1992). Στη Βραζιλία έχουν υιοθετηθεί δύο πρακτικές για την επεξεργασία των υγρών αποβλήτων της βιομηχανικής παραγωγής αιθανόλης από ζαχαροκάλαμο. Η πρώτη μέθοδος αφορά τη συλλογή των αποβλήτων σε δεξαμενές και εξάτμιση του νερού. Κατά τη δεύτερη πρακτική γίνεται διασπορά τους με ψεκασμό σε καλλιέργειες ζαχαροκάλαμου (Βουρδουμπάς, 1999).

Σχετικά με την παραγωγή αιθανόλης από λιγνοκυτταρινούχες πρώτες ύλες, βασίζεται στην αξιοποίηση των πολυσακχαριτών που περιέχονται στην πρώτη ύλη, δηλαδή της κυτταρίνης και ημικυτταρίνης. Επειδή δεν είναι δυνατή η απευθείας ζύμωση των πολυσακχαριτών, πρέπει να γίνει διάσπασή τους σε απλά σάκχαρα.

Το πρώτο στάδιο της παραγωγής περιλαμβάνει υδρόλυση της κυτταρίνης με τη χρήση οξέος (πχ θειικό οξύ) ή ενζύμων και παραγωγή μίγματος γλυκόζης και ξυλόζης (ΕΛΚΕΠΑ, 1986, Wereko-Brobby & Hagen, 1996, Johansson *et al.*, 1998, Faaij, 2006). Στη συνέχεια τα σάκχαρα ζυμώνονται και παράγεται αιθανόλη.

Η λιγνίνη που μένει σαν υπολείμμα της υδρόλυσης και είναι 20-30% της ολικής βιομάζας, μπορεί να χρησιμοποιηθεί για την παραγωγή ενέργειας με καύση ή πυρόλυση (ΕΛΚΕΠΑ, 1986, Kangama & Rumei, 2005a).

Η όξινη υδρόλυση της κυτταρίνης γίνεται υπό πίεση (ατμός, 10 atm) για 20-30 λεπτά ενώ η ενζυμική υδρόλυση γίνεται με ένζυμα (κυτταρινάσες) που παράγονται από μύκητες, βακτήρια και πρωτόζωα (Λόης & Αναστασόπουλος, 2006).

Τα τελευταία χρόνια γίνεται μεγάλη έρευνα για ανάπτυξη οικονομικών μεθόδων υδρόλυσης και εφαρμογή σε βιομηχανική κλίμακα. Η μέθοδος υδρόλυσης με χρήση οξέων είναι ακριβή ενώ σχετικά με τη χρήση ενζύμων, η παραγωγή τους είναι επίσης ακριβή ενώ δεν έχει επιβεβαιωθεί η αποτελεσματικότητα σε βιομηχανικό επίπεδο (Faaij, 2006). Πρόσφατες μελέτες δείχνουν ότι ο μύκητας *Richoderma reesi* μπορεί να χρησιμοποιηθεί για την παραγωγή των περισσότερων ενζύμων που απαιτούνται (Mc Bee *et al.*, 2004).

Στην Ευρώπη ξεκίνησε το 2004 να λειτουργεί πιλοτικά στη Σουηδία μονάδα παραγωγής αιθανόλης από δασικά υπολείμματα, άχυρο και άλλα κυτταρινούχα υπολείμματα (ΚΑΠΕ, 2004), ενώ τέτοιες μονάδες ξεκίνησαν να λειτουργούν επίσης στην Ισπανία (φωτ. 10.6) και τη Δανία (COM, 2006). Επίσης έχει αναπτυχθεί μια νέα τεχνολογία ενζυμικής υδρόλυσης στον Καναδά (Voss, 2004) όπου και έχει ξεκινήσει βιομηχανική παραγωγή αιθανόλης από δασικά υπολείμματα και άχυρο (Mc Bee *et al.*, 2004).

Τέλος, έρευνα γίνεται και για την παραγωγή αιθανόλης από γλυκό σόργο με ταυτόχρονη ζύμωση (one-step) σακχάρων και κυτταρίνης. Στην περίπτωση αυτή χρησιμοποιούνται μίγματα καλλιέργειών μικροοργανισμών, όπως για παράδειγμα μίγμα *Fusarium oxysporum* και στελεχών *Saccharomyces cerevisiae* (Christakopoulos *et al.*, 1993). Αντίστοιχες προσπάθειες γίνονται και στη χώρα μας. Αναφέρεται ότι σύμφωνα με τα πρώτα αποτελέσματα, με την εφαρμογή της συγκεκριμένης μεθόδου οι παραγωγή αλκοόλης από την καλλιέργεια του σόργου ανέρχεται σε 1000 λίτρα/στρ. όταν με απλή ζύμωση του σακχαρούχου χυμού αναμένονται αποδόσεις 650-800 λίτρα/στρ. (Υπουργείο Ανάπτυξης, 2004).

### 6.3.2 Παραγωγή στερεών καυσίμων

Η κύρια χρήση του ινώδους σόργου είναι προς το παρόν για την παραγωγή στερεών καυσίμων. Στερεά καύσιμα μπορούν να παραχθούν και από τα υπολείμματα αποχύμωσης του γλυκού σόργου.

Όπως προαναφέρθηκε, το ινώδες σόργο μετά τη συγκομιδή δεματοποιείται και αποθηκεύεται. Η ξηρή βιομάζα μπορεί να χρησιμοποιηθεί είτε απευθείας για καύση και παραγωγή θερμότητας ή ηλεκτρισμού είτε να μετατραπεί σε πελλέτες κατόπιν συμπίεσης. Η συμπιεσμένη αυτή μορφή είναι κατάλληλη για αποθήκευση, μεταφορά και ποικίλες χρήσεις όπως για ηλεκτροπαραγωγή μέσω καύσης ή αεριοποίηση, παραγωγή βιο-υδρογόνου με θερμοχημική μετατροπή καθώς και ως καύσιμο θέρμανσης.

Η παραγωγή των pellets γίνεται σε αντίστοιχες μονάδες επεξεργασίας.. Τα δέματα ή η λεπτοτεμαχισμένη βιομάζα εισέρχονται στο μηχάνημα πελλετοποίησης και το τελικό προϊόν είναι κυλινδρικά pellets διαμέτρου 1,5 cm και μήκους 4 cm, έχουν περιεκτικότητα σε υγρασία λιγότερο από 10% και πυκνότητα 800 kg/m<sup>3</sup> (Barbucci *et al.*, 1994).

Όπως προαναφέρθηκε, γίνονται δοκιμές θεριζοαλωνιστικής μηχανής η οποία συγχρόνως μετατρέπει την ξηρή βιομάζα σε πελλέτες πυκνότητας 500 kg/m<sup>3</sup>.

Πρόσφατα αναπτύχθηκε σε εμπορική κλίμακα μια νέα τεχνολογία πελλετοποίησης χαμηλής θερμοκρασίας (70°C) με δυναμικότητα παραγωγής 1-5 τόνους/ώρα. Τα παραγόμενα pellets έχουν διάμετρο 1-1,2 cm, μήκος 4 cm, υγρασία περίπου 10% και ειδικό βάρος 1,5 gr/cm<sup>3</sup>. Η πυκνότητά τους είναι 600-700 kg/m<sup>3</sup> (Grassi & Vasen, 2004).

Επίσης εκτός από τη μετατροπή σε πελλέτες είναι δυνατή η παραγωγή μεγαλύτερων τεμαχίων συμπιεσμένης βιομάζας, τις μπριγκέτες (briquettes), οι οποίες είναι κατάλληλες για μεγάλης ισχύος καυστήρες πάνω από 500 kW. Η διάμετρος των μπριγκέτων είναι 0,6-1,6 cm, το μήκος τους 6,5 mm ενώ έχουν πυκνότητα 650-700 kg/m<sup>3</sup> (LAMNET, 2006d). Η παραγωγή στερεών

καυσίμων σε μορφή pellets επιτρέπει διανομή και αποθήκευση των στερεών καυσίμων παραπλήσια με αυτή των υγρών καυσίμων και καθιστά δυνατή τη χρήση του γλυκού και ινώδους σόργου και για οικιακή θέρμανση ή θέρμανση κτιρίων και άλλων εγκαταστάσεων όπως για παράδειγμα βιομηχανικών ή θερμοκηπιακών μονάδων. Για το σκοπό αυτό έχουν αναπτυχθεί και διατίθενται σε εμπορική κλίμακα οικιακές θερμάστρες και καυστήρες pellets για κεντρική θέρμανση.

Σύμφωνα με τους González *et al* (2006), τα pellets από μίγματα γλυκού ή ινώδους σόργου με άλλα είδη φυτικής βιομάζας (πχ κλαδοδέματα αμυγδαλιάς, καλάμι κ.α) αύξησαν την απόδοση καύσης και μείωσαν την παραγωγή τέφρας σε οικιακό καυστήρα (12 KW), σε σχέση με pellets αμιγώς παρασκευασμένα από βιομάζα σόργου.

Αναφορικά με την ηλεκτροπαραγωγή από βιομάζα, γενικά προτιμώνται τα συστήματα συμπαραγωγής θερμότητας και ηλεκτρισμού γιατί επιτυγχάνουν υψηλούς βαθμούς απόδοσης της τάξης του 70-80%. Η βιομάζα είτε χρησιμοποιείται για την παραγωγή ατμού και παράγεται ηλεκτρική ενέργεια με ατμοστρόβιλο, είτε αεριοποιείται και τα αέριος καύσεως παράγουν ηλεκτρική ενέργεια με αεριοστρόβιλο (Βουρδουμπάς, 1999).

### 6.3.3 Παραγωγή βιοαερίου και βιο-υδρογόνου

Η παραγωγή βιοαερίου γίνεται με μεθανική ζύμωση της βιομάζας και τελικό προϊόν της αναερόβιας μετατροπής της κυτταρίνης μεθάνιο και CO<sub>2</sub>. Η παραπάνω διεργασία γίνεται με τη βοήθεια μίγματος καλλιιεργειών μικροοργανισμών και ως πρώτη ύλη μπορεί να είναι η βιομάζα ινώδους σόργου ή τα κυτταρινούχα υπολείμματα του γλυκού σόργου. Σε πρώτο στάδιο γίνεται υδρόλυση της οργανικής ουσίας προς απλά σάκχαρα και τελικά σε H<sub>2</sub>, CO<sub>2</sub> και οργανικά οξέα. Η υδρόλυση γίνεται με χρήση υδρολυτικών βακτηριδίων ή υδρολυτικών ενζύμων. Στη συνέχεια σε δεύτερο αντιδραστήρα παράγεται μεθάνιο με τη δράση μεθανογόνων βακτηρίων, και ταυτόχρονη κατανάλωση H<sub>2</sub> (ΕΛΚΕΠΑ, 1986, Claassen *et al.*, 2004). Η

παραγωγή βιο-υδρογόνου μπορεί να γίνει με πρώτη ύλη γλυκό και ινώδες σόργο με βιολογική ή θερμοχημική μετατροπή.

Στη πρώτη περίπτωση η διαδικασία είναι παρόμοια με τη μεθανική ζύμωση, με τη διαφορά ότι δεν χρησιμοποιούνται μεθανογόνα βακτήρια αλλά θερμοφιλα ή φωτοετερότροφα βακτήρια και το τελικό προϊόν είναι το  $H_2$ . Ο σακχαρούχος χυμός ζυμώνεται απευθείας ενώ για την κυτταρίνη προηγείται υδρόλυση. Οι (Claassen *et al.*, 2004) αναφέρουν σχετικά με την παραγωγή  $H_2$  από γλυκό σόργο στη χώρα μας ότι με χρήση του βακτηρίου *Caldicellulosiruptor saccharolyticus*, η τελική απόδοση ανά στρέμμα καλλιέργειας ήταν 210 kg  $H_2$ , εκ των οποίων 130 kg παράχθηκαν από το σακχαρούχο χυμό και 80 kg από τα υπολείμματα της αποχύμωσης. Για την ζύμωση των υπολειμμάτων προηγήθηκε υδρόλυση της κυτταρίνης.

Κατά τη θερμοχημική μετατροπή, η οποία έχει δοκιμαστεί για υπολείμματα αποχύμωσης γλυκού σόργου, η διαδικασία περιλαμβάνει τέσσερα στάδια (Grassi & Vasen, 2004). Στο πρώτο στάδιο ξηραίνονται και συμπιέζονται τα υπολείμματα και παράγονται πελλέτες υγρασίας 10%. Στο επόμενο στάδιο γίνεται ανθρακοποίηση των pellets σε θερμοκρασία 450-500 °C. Ακολουθεί το τρίτο στάδιο, όπου παράγεται συνθετικό βιοαέριο (SNG) σύστασης 60%  $H_2$  και 40%  $CO$ , σε αντιδραστήρα αεριοποίησης θερμοκρασίας 800-900°C. Από 1 kg ανθρακοποιημένων pellets παράγονται περίπου 0,6 kg βιοαερίου. Στο τελευταίο στάδιο γίνεται καταλυτική μετατροπή του  $CO$  σε  $CO_2$  και  $H_2$  με την επίδραση υψηλής θερμοκρασίας και ατμού. Το τελικό προϊόν της θερμοχημικής μεθόδου μετατροπής είναι 99,99%  $H_2$ .

#### 6.4 Αξιοποίηση της καλλιέργειας

Η οικονομικότητα και η σκοπιμότητα της καλλιέργειας του σόργου ως ενεργειακού φυτού, εκτός από την οικονομική βιωσιμότητα σε επίπεδο γεωργικής εκμετάλλευσης μέσω των στρεμματικών αποδόσεων και του κόστους παραγωγής, είναι άρρηκτα συνδεδεμένη με την οικονομικότητα των

μεταποιητικών μονάδων που με τη σειρά της εξαρτάται από το μέγεθος της μονάδας και την διαμορφούμενη τιμή πώλησης του βιοκαυσίμου.

Η βιομηχανική χρήση της βιομάζας του γλυκού και ινώδους σόργου μπορεί να γίνει είτε μέσω μικρών μονάδων μεταποίησης είτε με μεγάλης δυναμικότητας βιομηχανικές μονάδες παραγωγής βιοενέργειας ή βιοκαυσίμων. Πιθανές δυσκολίες είναι η εποχικότητα της γεωργικής παραγωγής (2-3 μήνες) και το γεγονός ότι η βιομάζα είναι αλλοιώσιμη, που συντελούν σε προβλήματα προγραμματισμού και χρονικής ακρίβειας.

Η σταθερή παροχή πρώτης ύλης κατά τη διάρκεια λειτουργίας των μονάδων παραγωγής βιοενέργειας ή βιοκαυσίμων είναι κρίσιμος παράγοντας για τη βιωσιμότητά τους. Γι' αυτό απαιτείται συνδυασμός ετήσιων και πολυετών ενεργειακών καλλιεργειών για διεύρυνση του χρόνου παροχής πρώτης ύλης και ασφαλή τροφοδοσία των παραγωγικών μονάδων (ΚΑΠΕ, 2004). Η καλύτερη λύση τόσο για τα προβλήματα που προαναφέρθηκαν όσο και για την βελτιστοποίηση της παραγωγικής αλυσίδας είναι τα ολοκληρωμένα σχήματα παραγωγής και τα οποία είναι μεγάλης κλίμακας υβριδικές μονάδες (Duke, 1983, ΚΑΠΕ, 2004, Panoutsou, 2004, BID, 2005).

Από το 1998 έχει ξεκινήσει στην Ευρωπαϊκή Ένωση η μελέτη σκοπιμότητας, η τεchnοοικονομική ανάλυση και η περιβαλλοντική μελέτη σχετικά με τη δημιουργία μεγάλης κλίμακας ολοκληρωμένων σχημάτων παραγωγής που βασίζονται στην καλλιέργεια του γλυκού σόργου (Chiaramonti *et al.*, 2002, EUBIA, 2002, Vasen & Grassi, 2004). Για το σκοπό αυτό υπάρχει συνεργασία μεταξύ ΕΕ και Κίνας και έχουν γίνει προκαταρκτικές μελέτες για δύο διαφορετικά σχήματα βιοδιυλιστηρίων, ένα με συγκέντρωση των επιμέρους μονάδων παραγωγής σε μία περιοχή και ένα δεύτερο με δημιουργία μικρότερων περιφερειακών μονάδων σε αγροτικές περιοχές (EUBIA, 2002, Vasen & Grassi, 2004, Chiaramonti *et al.*, 2006). Μάλιστα, έχει μελετηθεί και η εφαρμογή παρόμοιων σχεδίων σε αγροτικές περιοχές, για χωριά με πληθυσμό 100-5000 κατοίκων (Grassi *et al.*, 2006, LAMNET, 2006c).

Σύμφωνα με τα συμπεράσματα των παραπάνω μελετών, η δημιουργία των βιοδιυλιστηρίων είναι οικονομικά βιώσιμη και η παραγωγή αιθανόλης είναι εφικτή με κόστος 200-250 \$/t (Grassi *et al.*, 2002). Με το κόστος της υπάρχουσας τεχνολογίας, τα μικρά αποκεντρωμένα σχήματα δεν είναι οικονομικά βιώσιμα προς το παρόν (EUBIA, 2002).

Με την παραδοχή ότι τα μέχρι σήμερα πειραματικά δεδομένα δε θα διαφέρουν ιδιαίτερα από αυτά που θα ληφθούν στη γεωργική πράξη και με βασική προϋπόθεση τη λειτουργία μεταποιητικής μονάδας υπό τη μορφή βιοδιυλιστηρίου (αξιοποίηση όλων των παραπροϊόντων), η παραγωγή βιοαιθανόλης από γλυκό σόργο εμφανίζεται βιώσιμη και επικερδής ακόμη και με μέγεθος μονάδος για παραγωγή 10 εκατομμύρια λίτρα ετησίως, που απαιτεί καλλιέργεια 10-12.000 στρεμμάτων. Τέτοιου μεγέθους μονάδες είναι εφικτό να δημιουργηθούν και από ομάδες καλλιεργητών. Οι μονάδες αυτής της μορφής θα μπορούσαν να κατανεμηθούν ισόρροπα σε μεγάλο τμήμα της χώρας παρέχοντας τα αντίστοιχα κοινωνικοοικονομικά πλεονεκτήματα στην κάθε περιοχή. Αξίζει να σημειωθεί ότι στην αντίστοιχη περίπτωση χρήσης αραβόσιτου στη χώρα μας, για την επίτευξη οικονομικής βιωσιμότητας απαιτούνται ιδιαίτερα μεγάλες μονάδες παραγωγής αιθανόλης, ετήσιας δυναμικότητας 100 εκατομμύρια λίτρα με επενδυτικό κόστος πάνω από 100 εκατομμύρια ευρώ.

Η εμπλοκή των γεωργών μπορεί να είναι αυτοδύναμη όπως προαναφέρθηκε ή σε σχήματα κοινών επιχειρήσεων με μη αγρότες επιχειρηματίες. Στην περίπτωση μη συμμετοχής στον τομέα της μεταποίησης, αλλά ενασχόλησης των παραγωγών μόνο με τον πρωτογενή τομέα, το μοντέλο της συμβολαιακής γεωργίας είναι το μόνο ενδεικνυόμενο.



## ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

---

- Amaducci, S., Monti, A. and Venturi, G. (2004). Non-structural carbohydrates and fibre components in sweet and fibre sorghum as affected by low and normal input techniques. *Industrial Crops and Products* 20: 111-118.
- Ανώνυμος (2006). 1ο Πανελλήνιο Αγροτικό Συνέδριο - Συμπεράσματα. *ΓΕΩΡΓΙΑ-Κτηνοτροφία* 3: 15-26.
- Barbucci, P., Andreuccetti, P., Frati, G., Bacchiet, P., Vannucci, D. and Pari, L. (1994). Energy crops harvesting: fiber sorghum, kenaf, *Arundo donax*, *Miscanthus*, *Cynara cardunculus*. In D. O. Hall, G. Grassi and H. Scheer (eds.), *Biomass for Energy and Industry*, 7th E.C. Conference. Bochum: Ponte Press, pp. 38-41.
- Beijing Green Energy Institute (2005). Introduction of sweet sorghum. Διαθέσιμο στον διαδικτυακό τόπο: <http://www.sustainable-agro.com/english/EN-tgl1.htm>.
- Belayachi, L. and Delmas, M. (1997). Sweet sorghum bagasse: a raw material for the production of chemical paper pulp. Effect of depithing. *Industrial Crops and Products* 6: 229-232.
- Berenguer, M. J. and Faci, J. M. (2001). Sorghum (*Sorghum bicolor* L. Moench) yield compensation processes under different plant densities and variable water supply. *European Journal of Agronomy* 15: 43-55.
- Berenji, J. and Dahlberg, J. (2004). Perspectives of sorghum in Europe. *Journal of Agronomy and Crop Science* 190: pp. 332-338.
- BFAP (2005). Bio-ethanol production in South Africa - An objective analysis. Bureau for Food and Agricultural Policy's. Διαθέσιμο στον διαδικτυακό τόπο:  
[www.bfap.co.za/pdfs/BFAP%20report%20on%20bioethanol%20production%20in%20SA.pdf](http://www.bfap.co.za/pdfs/BFAP%20report%20on%20bioethanol%20production%20in%20SA.pdf).

- BID (2005). Biomass Industry Day - General Conclusions. 20 October 2005, Paris, France. Διαθέσιμο: [www.conferencebiomass.com/Biomass2005/pdf/14th\\_EBCE\\_BID\\_Report.pdf](http://www.conferencebiomass.com/Biomass2005/pdf/14th_EBCE_BID_Report.pdf)
- Billa, E., Koullas, D. P., Monties, B. and Koukios, E. G. (1997). Structure and composition of sweet sorghum stalk components. *Industrial Crops and Products* 6:297-302.
- Biomatnet (1997). Innovative Harvesting and Sugar-Juice Separating Machine for Sweet Sorghum and Fibre Sorghum (FAIR-CT95-0069, Final report November 1997, Summary). Διαθέσιμο στο: <http://www.biomatnet.org/secure/Fair/F329.htm#final>.
- BioMatNet (2000). SORGHUM: Environmental studies on sweet and fibre sorghum sustainable crops for biomass and energy. 2000 Progress Report Executive Summary (FAIR-CT96-1913). Διαθέσιμο στο διαδίκτυο: <http://www.biomatnet.org/secure/Fair/R1913.htm>
- Bitzer, M. J. and Fox, J. D. (1994). Production of sweet sorghum for syrup in Kentucky. AGR-122. Cooperative Extension Service, University of Kentucky, College of Agriculture. Διαθέσιμο στο: <http://www.ca.uky.edu/agc/pubs/agr/agr122/agr122.pdf>
- Βουρδουμπάς, Γ. (1999). Χρήση της βιομάζας για παραγωγή ενέργειας. ΤΕΙ Χανίων. Διαθέσιμο στον διαδικτυακό τόπο: [www.chania.teiher.gr](http://www.chania.teiher.gr)
- Buxton, D. R., Anderson, I. C. and Hallam, A. (1999). Performance of sweet and forage sorghum grown continuously, double-cropped with winter rye, or in rotation with soybean and maize. *Agronomy Journal* 91: 93-101.
- Chiaramonti, D., Grimm, H.-P., El Bassam, N. and Cendagorta, M. (2000). Energy crops and bioenergy for rescuing deserting coastal area by desalination: feasibility study. *Bioresource Technology* 72: 131-146.
- Chiaramonti, D., Agterberg, A., Grassi, G., Grimm, H.-P. and Coda, B. (2002). Large bioethanol project from sweet sorghum in China and Italy

(ECHIT): description of site, process schemes and main products. Paper presented at the 12th European Conference on Biomass for Energy, Industry and Climate Protection, 17-21 June 2002, Amsterdam, The Netherlands. Διαθέσιμο στον διαδικτυακό τόπο:

www.wip-munich.de/downloads/dissemination/selected\_publications/Bioethanol\_complex.pdf.

Chiaramonti, D., Grassi, G., Nardi, A. and Grimm H.-P. (2006). [Ανακτήθηκε: 18/2/2006] Διαθέσιμο στο διαδίκτυο: <http://www.biomass.govtools.us/pdfs/bcota/abstracts/30/z160.pdf>

Christakopoulos, P., Li, L.-W., Kekos, D. and Macris, B. J. (1993). Direct conversion of sorghum carbohydrates to ethanol by a mixed microbial culture. *Bioresource Technology* 45: 89-92.

Claassen, P.A.M., de Vrije, T., Budde, M.A.W., Koukios, E.G., Glynos, A. and Reczey, K. (2004). Biological hydrogen production from sweet sorghum by thermophilic bacteria. Proceedings of the 2nd World Conference on Biomass for Energy, Industry and Climate Protection, 10-14 May 2004, Rome, Italy (in press).

COM (2006). Στρατηγική της ΕΕ για τα βιοκαύσιμα. Επιτροπή των Ευρωπαϊκών Κοινοτήτων. Διαθέσιμο στο διαδίκτυο: [http://ec.europa.eu/agriculture/biomass/biofuel/com2006\\_34\\_el.pdf](http://ec.europa.eu/agriculture/biomass/biofuel/com2006_34_el.pdf)

Curt, M. D., Fernandez, J. and Martinez, M. (1994). Potential of sweet sorghum crop for biomass and sugars production in Madrid (Spain) (pp. 632-635). In D. O. Hall, G. Grassi and H. Scheer (eds.), *Biomass for Energy and Industry*, 7th E.C. Conference. Ponte Press, Bochum.

Curt, M. D., Fernandez, J. and Martinez, M. (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: 401-409.

Dalianis, C., Christou, M., Sooter, S., Kyritsis, S., Zafiris, Ch. and Samiotakis, G. (1994a). Effect of irrigation and nitrogen fertilization rates on growth and productivity of sweet sorghum. (pp. 1220-1228). In D. O. Hall, G. Grassi and H. Scheer (eds.), *Biomass for Energy and Industry*, 7th E.C. Conference. Ponte Press, Bochum.

Dalianis, C., Christou, M., Sooter, S., Kyritsis, S., Zafiris, Ch. and Samiotakis, G. (1994b). Growth and productivity of sweet sorghum in Greece. (pp. 636-642). In D. O. Hall, G. Grassi and H. Scheer (eds.), *Biomass for Energy and Industry*, 7th E.C. Conference. Ponte Press, Bochum.

Dercas, N. and Liakatas, A. (1999). Sorghum water loss in relation to irrigation treatment. *Water Resources Management* 13: 39-57.

Dolciotti, I., Mambelli, S., Grandi, S. and Venturi, G. (1998). Comparison of two sorghum genotypes for sugar and fiber production. *Industrial Crops and Products* 7: 265-272.

Duke, J. A. (1983). *Sorghum bicolor* (L.) Moench. Handbook of energy crops. Διαθέσιμο στο διαδίκτυο: [http://www.hort.purdue.edu/newcrop/duke\\_energy/Sorghum\\_bicolor.html](http://www.hort.purdue.edu/newcrop/duke_energy/Sorghum_bicolor.html)

EECI (1999b). Effect of plant on growth, productivity and sugar yields of sweet sorghum in Greece. European Energy Crops Internetwork. Διαθέσιμο στον διαδικτυακό τόπο: <http://www.eeci.net/archive/biobase/B10473.html>

EECI (1999c). Fiber sorghum, a promising annual crop for biomass production in Greece. European Energy Crops Internetwork. Διαθέσιμο στο: [www.eeci.net/archive/biobase/B10466.html](http://www.eeci.net/archive/biobase/B10466.html)

- EECI (1999d). Outlooks of sweet sorghum crop for ethanol production in Spain based on varietal results in multilocal trials. European Energy Crops Internetwork. Διαθέσιμο στον διαδικτυακό τόπο: <http://www.eeci.net/archive/biobase/B10191.html>
- EECI (1999f). Sweet sorghum a promising annual crop for Greece. European Energy Crops Internetwork. Διαθέσιμο στο διαδίκτυο: <http://www.eeci.net/archive/biobase/B10467.html>
- EECI (2000j). Sorghum fibre : a new annual crop. European Energy Crops Internetwork. Διαθέσιμο στον διαδικτυακό τόπο: <http://www.eeci.net/archive/biobase/B10280.html>
- El Bassam, N. (1998). C3 and C4 plant species as energy sources and their potential impact on environment and climate. *Renewable Energy* 15: 205-210.
- ΕΛΚΕΠΑ (1986). Το ενεργειακό δυναμικό της βιομάζας γεωργικών και δασικών υποπροϊόντων - έρευνα στον ελληνικό χώρο. Μ. Αποστολάκη, Σ. Κυρίτσης και Χ. Σούτερ. Ελληνικό Κέντρο Παραγωγικότητας, Αθήνα.
- EUBIA (2002). Special issue: ECHI-T project (Newsletter, September 2002). Διαθέσιμο στον διαδικτυακό τόπο: [www.eubia.org](http://www.eubia.org)
- European Commission (2003b). European bioenergy projects 1999-2002: Project synopses  
 Διαθέσιμο στο: [http://ec.europa.eu/research/energy/pdf/european-bio-energy-projects\\_en.pdf](http://ec.europa.eu/research/energy/pdf/european-bio-energy-projects_en.pdf)
- Faaij, A. P. C. (2006). Bio-energy in Europe: changing technology choices. *Energy Policy* 34: 322-342.
- FAO (1994). The energy integrated system of the shenyang agricultural university: A possible solution for the energetic problem in the northeast region of China. Food and Agriculture Organization of the United Nations. Διαθέσιμο στον διαδικτυακό τόπο: <http://www.fao.org/docrep/T4470E/t4470e00.htm#Contents>

- Freeman, K. C., Broadhead, D. M. and Zummo, N. (1973). Culture of sweet sorghum for sirup production. U. S. Department of Agriculture, Agriculture Handbook No. 411. Διαθέσιμο στο διαδίκτυο: <http://www.wvu.edu/~agexten/forglvst/Bulletins/441a.pdf>
- Gazaway, W. S. and Mask, P. L. (2006b). Disease and nematode control. Auburn University. [Ανακτήθηκε: 8/3/2006]. Διαθέσιμο στο: [www.aces.edu/dept/grain/sorghCON.php](http://www.aces.edu/dept/grain/sorghCON.php)
- Gibbons, W. R., Westby, C. A. and Dobbs, T. L. (1986). Intermediate-scale, semicontinuous solid-phase fermentation process for production of fuel ethanol from sweet sorghum. *Applied and Environmental Microbiology*, Vol. 51, No. 1: 115-122.
- Gnansounou, E., Dauriat, A. and Wyman, C. E. (2005). Refining sweet sorghum to ethanol and sugar: economic trade-offs in the context of North China. *Bioresource Technology* 96: 985-1002.
- González, J. F., González-García, C. M., Ramiro, A., Ganán, J., Ayuso, A. and Turegano, J. (2006). Use of energy crops for domestic heating with a mural boiler. (*Fuel Processing Technology*, article in press).
- Grassi, G., Fjallstrom, T. & Qiong, Z. (2002). Large-scale integration of bioenergy with petrochemical complexes. 12th European Conference on Biomass for Energy, Industry and Climate Protection, 17-21 June 2002, Amsterdam, The Netherlands. Διαθέσιμο στον διαδικτυακό τόπο: <http://p9719.typo3server.info/224.0.html>
- Grassi, G. and Vasen, N. (2004). Low cost biohydrogen from solid biomass. Proceedings of the 2nd World Conference on Biomass for Energy, Industry and Climate Protection, 10-14 May 2004, Rome, Italy (in press).
- Grassi, G., Tondi, G. and Helm, P. (2006). Small size commercial bioenergy technologies as instrument of rural development. *ETA Renewable Energies*. [Ανακτήθηκε: 8/3/2006] Διαθέσιμο:

[http://p14177.typo3server.info/uploads/media/Bioenergy\\_complex\\_for\\_magazine.pdf](http://p14177.typo3server.info/uploads/media/Bioenergy_complex_for_magazine.pdf)

Guiying, L. Weibin, G., Hicks, A. and Chapman, K. R. (2004). A training manual for sweet sorghum-Under the FAO project TCP/CPR/0066. eArticle ID 172. EcoPort version by P. Griffiee. Διαθέσιμο: <http://ecoport.org/ep?SearchType=earticleView&earticleId=172&page=-2>

Habyarimana, E., Bonardi, P., Laureti, D., Di Bari, V., Consentino, S. and Lorenzoni, C. (2004a). Multilocational evaluation of biomass sorghum hybrids under two stand densities and variable water supply in Italy. *Industrial Crops and Products* 20:3-9

IACT (1998). Environmental studies on sweet and fibre sorghum sustainable crops for biomass and energy. (Contract FAIR-CT96-1913). 1st Annual Report-Individual progress reports for the period from 01/02/1997 to 31/01/1998.

IEEP (2005). Bioenergy production and provision chains. Document number: MEACAP WP3 D7b, Published: Jun 30, 2005. Institute for European Environmental Policy. Διαθέσιμο: [www.ieep.org.uk/publications/pdfs/meacap/WP3/WP3D7b\\_bioenergy.pdf](http://www.ieep.org.uk/publications/pdfs/meacap/WP3/WP3D7b_bioenergy.pdf)

Jannsens, M., Meekers, E. and Chapelle, J. (1994). An energetic fallow in Wallonia: the case of sweet sorghum and sugar beet (pp. 685-689). In D. O. Hall, G. Grassi and H. Scheer (eds.), *Biomass for Energy and Industry*, 7th E.C. Conference. Ponte Press, Bochum.

Johansson, B.T., Kelly, H., Reddy, K.N.A., Williams, H.R. (1998). *Renewable energy sources for fuels and electricity*. Island Press, Washington.

Kangama, C. O. and Rumei, X. (2005a). Introduction of sorghum (*Sorghum bicolor* (L.) Moench) into China. *African Journal of Biotechnology*, Vol. 4 (7): 575-579.

- Kangama, C. O. and Rumei, X. (2005b). Production of crystal sugar and alcohol from sweet sorghum. *African Journal of Food Agriculture and Nutritional Development*, Vol. 5: 1-5.
- ΚΑΠΕ (2004). Ενεργειακές καλλιέργειες για την παραγωγή υγρών και στερεών βιοκαυσίμων στην Ελλάδα. Κέντρο Ανανεώσιμων Πηγών Ενέργειας. Διαθέσιμο στο: [www.cres.gr](http://www.cres.gr)
- LAMNET (2006a). Brochures and leaflets: Sweet sorghum - One of the best world food-feed-energy crop. Latin America Thematic Network on Bioenergy. [Ανακτήθηκε: 8/3/2006] Διαθέσιμο: [http://p9719.typos3server.info/uploads/media/LAMNET\\_-\\_sweet\\_sorghum.pdf](http://p9719.typos3server.info/uploads/media/LAMNET_-_sweet_sorghum.pdf).
- LAMNET (2006b). Technological leaflets: Biofuel for transport. Latin America Thematic Network on Bioenergy. [Ανακτήθηκε: 8/3/2006] Διαθέσιμο στο διαδίκτυο: [https://dspace.ist.utl.pt/bitstream/2295/53781/1/LAMNET\\_biofuels\\_for\\_transport\\_2004.pdf](https://dspace.ist.utl.pt/bitstream/2295/53781/1/LAMNET_biofuels_for_transport_2004.pdf)
- LAMNET (2006c). Technological leaflets: Modern bioenergy village complex- Integrated production of food, animal feed, energy. Latin America Thematic Network on Bioenergy. [Ανακτήθηκε: 8/3/2006] [www.bioenergy-lamnet.org/publications/source/leaflets/Village.pdf](http://www.bioenergy-lamnet.org/publications/source/leaflets/Village.pdf)
- Livingston, S. D. and Coffman, C. D. (1995). Syrup sorghums for Texas. L-5146, Texas Agricultural Extension Service, The Texas A & M University System, College Station. Διαθέσιμο στο: <http://sanangelo.tamu.edu/agronomy/sorghum/l5146.pdf>.
- Λόης, Ε. και Ανασασόπουλος, Γ. (2006). Χρήση του βιοντήζελ και της βιοαιθανόλης ως υποκατάστατων του πετρελαίου κίνησης & της βενζίνης. Παρουσίαση στην Ημερίδα ΗΜΕΡΙΔΑ ΜΕΤΑΦΟΡΕΣ & ΑΕΙΦΟΡΙΑ - Δυνατότητες, Κατευθύνσεις, Προοπτικές (28 Ιουνίου 2006). Κέντρο Ανανεώσιμων Πηγών Ενέργειας. Διαθέσιμο στο διαδικτυακό τόπο: [http://www.cres.gr/kape/publications/pdf/treatise/8\\_EMP\\_Anastasopoulos.pdf](http://www.cres.gr/kape/publications/pdf/treatise/8_EMP_Anastasopoulos.pdf)



- Mask, P. L. and Morris, W. C. (1991). Sweet sorghum culture and syrup production. Circular ANR-625. Alabama Cooperative Extension Service, Auburn University. Διαθέσιμο στον διαδικτυακό τόπο: <http://www.aces.edu/pubs/docs/A/ANR-0625/>.
- Massacci, A., Battistelli, A. and Loreto, F. (1996). Effect of drought stress on photosynthetic characteristics, growth and sugar accumulation of field-growth sweet sorghum. Abstract. *Australian Journal of Plant Physiology* 23(3): 331-340.
- Mastrorilli, M., Katerji, N. and Rana, G. (1999). Productivity and water use efficiency of sweet sorghum as affected by soil water deficit occurring at different vegetative growth stages. *European Journal of Agronomy* 11: 207-215.
- Mays, D. A., Buchanan, W., Bradford, B. N. and Giordano, P. M. (1997). Fuel production potential of several agricultural crops. Purdue University. Διαθέσιμο στον διαδικτυακό τόπο: <http://www.hort.purdue.edu/newcrop/proceedings1990/v1-260.html>
- Mc Bee, W. E., Gregg, D. J. and Saddler, J. N. (2004). Progress in the commercialization of lignocellulosics-to-ethanol. Proceedings of the 2nd World Conference on Biomass for Energy, Industry and Climate Protection, 10-14 May 2004, Rome, Italy (in press).
- Miller, F. R. and McBee, G. G. (1993). Genetics and management of physiologic systems of sorghum for biomass production. *Biomass and Bioenergy*, Vol.5, No1:41-49.
- Nan, L. and Ma, J. (1989). Research on sweet sorghum and its synthetic application. *Biomass* 20: 129-139.
- Negro, M. J., Solano, M., L., Carrasco, J. E. and Blanco, M. J. (1994). Laboratory composting assays of sweet sorghum bagasse with different additives (pp. 1110-1113). In D. O. Hall, G. Grassi and H. Scheer (eds.), *Biomass for Energy and Industry*, 7th E.C. Conference. Ponte Press, Bochum.

- Negro, M. J., Solano, M. L., Ciria, P. and Carrasco, J. (1999). Composting of sweet sorghum bagasse with other wastes. *Bioresource Technology* 67: 89-92.
- Panoutsou, C. and Papamichael, I. (2004). Bioenergy in Greece. Proceedings of the 2nd World Conference on Biomass for Energy, Industry and Climate Protection, 10-14 May 2004, Rome, Italy (in press).
- Παπακώστα, Δ. (1996). Σημειώσεις ειδικής γεωργίας Ι (σιτηρά, ψυχανθή, χορτοδοτικά φυτά). Πανεπιστημιακές σημειώσεις, Θεσσαλονίκη.
- Qiabi, A., Rigal, L. and Gaset, A. (1994). Comparative studies of hemicellulose hydrolysis processes: application to various lignocellulosic wastes. *Industrial Crops and Products* 3: 95-102.
- Rajendran, C., Ramamoorthy, K. and Backiyarami, S. (2000). Effect of deheading on juice quality characteristics and sugar yield of sweet sorghum. *Journal of Agronomy and Crop Science* 185: 23-26.
- Rajvanshi, A.K., and Nimbkar, N. (2001). Sweet sorghum R&D at the Nimbkar Agricultural Research Institute (NARI). Διαθέσιμο στον διαδικτυακό τόπο: <http://nariphaltan.virtualave.net/sorghum.htm>.
- Ρουκάς, Τ. (1992). Βιοτεχνολογία τροφίμων. Υπηρεσία Δημοσιευμάτων ΑΠΘ, Θεσσαλονίκη.
- Smartt, J. and Simmonds, N. W. (eds) (1995). Evolution of crop plants (2nd edition). Longman Singapore Publishers (Pte) Ltd., Singapore.
- Smith, C. W. and Frederiksen, R. A. (eds) (2000). Sorghum: origin, history, technology and production. John Wiley & Sons, Inc., USA.
- Σφήκας, Α. Γ. (1991). Γενική Γεωργία. Υπηρεσία Δημοσιευμάτων ΑΠΘ, Θεσσαλονίκη.
- Undersander, D. J., Lueschen, W. E., Smith, L. H., Kaminski, A. R., Doll, J. D., Kelling, K A. and Oplinger, E. S. (1990a). Sorghum-for syrup. Alternative Field Crops Manual. Extension, Cooperative Extension, University of

- Wisconsin - Center for Alternative Plant & Animal Products and the Minnesota Extension Service, University of Minnesota. Διαθέσιμο στο: <http://www.hort.purdue.edu/newcrop/afcm/syrup.html>
- Undersander, D. J., Smith, L. H., Kaminski, A. R., Kelling, K. A. and Doll, J. D. (1990b). Sorghum-forage. Alternative Field Crops Manual. Extension, Cooperative Extension, University of Wisconsin - Center for Alternative Plant & Animal Products and the Minnesota Extension Service, University of Minnesota. Διαθέσιμο στον διαδικτυακό τόπο: <http://www.hort.purdue.edu/newcrop/afcm/forage.html>
- Vasen, N. and Grassi, G. (2004). The project echit. Large scale production of bioethanol from sweet sorghum. Proceedings of the 2nd World Conference on Biomass for Energy, Industry and Climate Protection, 10-14 May 2004, Rome, Italy (in press).
- Venturi, P. and Venturi, G. (2003). Analysis of energy comparison for crops in european agricultural systems. *Biomass and Bioenergy* 25: 235-255.
- Voss, A. (2004). Bio-fuels: biomass based blending components for transport fuels. Proceedings of the 2nd World Conference on Biomass for Energy, Industry and Climate Protection, 10-14 May 2004, Rome, Italy (in press).
- Wereko-Brobby, C.Y. and Hagen, E.B., (Eds) (1996). Biomass conversion and technology. John Wiley & Sons, New York.
- Woods, J. (2001). The potential for energy production using sweet sorghum in southern Africa. *Energy for Sustainable Development*, Vol. 5, No 1: 31-38.
- Υπουργείο Ανάπτυξης (2006). Δελτίο Τύπου, Αθήνα, 10 Απριλίου 2006. Διαθέσιμο στο:[http://www.parliament.gr/sioufas/press/Deltia/2006/4\\_2006/\(10-04-06\)kausima.doc](http://www.parliament.gr/sioufas/press/Deltia/2006/4_2006/(10-04-06)kausima.doc)
- Υπουργείο Γεωργίας (2000). Ενεργειακή Γεωργία - Βιομάζα (Κεφάλαιο 4). Πρακτικά συνεδρίου συνάντησης εργασίας "Γεωργία και Περιβάλλον".

## ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ

ΕΙΣΑΓΩΓΗ.....	4
2. ΒΟΤΑΝΙΚΗ ΤΑΞΙΝΟΜΗΣΗ ΚΑΙ ΚΑΤΑΓΩΓΗ.....	5
2.1 Βοτανική ταξινόμηση.....	5
2.2 Καταγωγή - Εξάπλωση .....	5
3. ΒΟΤΑΝΙΚΑ - ΜΟΡΦΟΛΟΓΙΚΑ ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΤΙΚΑ.....	7
3.1 Ριζικό σύστημα .....	7
3.2 Βλαστός .....	9
3.3 Φύλλα.....	13
3.4 Αναπαραγωγικά όργανα.....	14
3.5 Κarpός.....	14
4. ΦΑΙΝΟΛΟΓΙΑ - ΣΤΑΔΙΑ ΑΝΑΠΤΥΞΗΣ.....	16
4.1 Στάδιο φυταρίου .....	16
4.2 Στάδιο βλαστικής ανάπτυξης.....	18
4.3 Στάδιο ανθοφορίας .....	19
4.4 Στάδιο ωρίμανσης.....	20
5. ΚΑΛΛΙΕΡΓΗΤΙΚΗ ΤΕΧΝΙΚΗ.....	21
5.1 Προετοιμασία εδάφους .....	21
5.2 Σπορά.....	22
5.2.1 Πυκνότητα φυτών .....	22
5.2.2 Χρόνος σποράς .....	23
5.2.3 Έλεγχοι και χειρισμός του σπόρου .....	24
5.2.4 Μέθοδος σποράς.....	25
6. ΑΞΙΟΠΟΙΗΣΗ ΚΑΙ ΧΡΗΣΕΙΣ ΤΗΣ ΚΑΛΛΙΕΡΓΕΙΑΣ.....	26
6.1 Χρήσεις της καλλιέργειας.....	26
6.1.1 Χρήσεις του γλυκού σόργου.....	26
6.1.2 Χρήσεις του ινώδους σόργου.....	27
6.2 Παραγωγή μη ενεργειακών προϊόντων.....	28
6.2.1 Παραγωγή ζάχαρης.....	29
6.2.2 Παραγωγή χαρτιού και ξυλιτόλης.....	30
6.2.3 Παραγωγή οργανικού Λιπάσματος.....	30
6.3 Παραγωγή ενεργειακών προϊόντων.....	30
6.3.1 Παραγωγή αιθανόλης.....	30
6.3.2 Παραγωγή στερεών καυσίμων .....	35
6.3.3 Παραγωγή βιοαερίου και βιο-υδρογόνου.....	36
6.4 Αξιοποίηση της καλλιέργειας.....	37
ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ.....	40





ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΘΕΣΣΑΛΙΑΣ  
ΒΙΒΛΙΟΘΗΚΗ



004000111663