



ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ  
ΘΕΣΣΑΛΙΑΣ

ΣΧΟΛΗ ΓΕΩΠΟΝΙΚΩΝ ΕΠΙΣΤΗΜΩΝ

ΤΜΗΜΑ ΦΥΤΙΚΗΣ ΠΑΡΑΓΩΓΗΣ ΚΑΙ ΑΓΡΟΤΙΚΟΥ ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝΤΟΣ

ΕΡΓΑΣΤΗΡΙΟ ΓΕΩΡΓΙΑΣ ΚΑΙ ΕΦΑΡΜΟΣΜΕΝΗΣ ΦΥΣΙΟΛΟΓΙΑΣ ΦΥΤΩΝ

ΠΤΥΧΙΑΚΗ ΔΙΑΤΡΙΒΗ

«Επίδραση του αζώτου στην αύξηση και ανάπτυξη του ενεργειακού σόργου στην  
Ανατολική Θεσσαλία»



ΕΠΙΒΛΕΠΩΝ ΚΑΘΗΓΗΤΗΣ : ΝΙΚΟΛΑΟΣ ΔΑΝΑΛΑΤΟΣ

ΦΟΙΤΗΤΗΣ : ΛΑΒΔΗΣ ΑΡΙΣΤΕΙΔΗΣ

ΒΟΛΟΣ 2019

## Ευχαριστίες

Αισθάνομαι την ανάγκη να εκφράσω τις ευχαριστίες μου απέναντι στο πρόσωπο των καθηγητών μου Δρ. Νικόλαο Δαναλάτο και Δρ. Δημήτριο Μπαρτζιάλη για την αμέριστη βοήθεια τους, τον χρόνο και την προσφορά τους για την αποπεράτωση αυτής της εργασίας.

Επίσης, θα ήθελα να εκφράσω ένα πολύ μεγάλο ευχαριστώ στους καθηγητές του εργαστήριου Γεωργίας την Δρ. Ελπινίκη Σκουφογιάννη και τον Δρ. Κυριάκο Γιαννούλη για την υπομονή, τη στήριξη και για όλες τις γνώσεις που μου παρείχαν όχι μόνο για την ολοκλήρωση της πτυχιακής μου διατριβής αλλά και για όλες τις γνώσεις που μου παρείχαν καθ' όλη την διάρκεια της φοιτητικής μου πορείας.

Θα ήθελα να ευχαριστήσω τον Καθηγητή κ. Ανέστη Καρκάνη, μέλος της τριμελούς επιτροπής της πτυχιακής μου εργασίας για τις χρήσιμες συμβουλές και την πολύτιμη βοήθεια που μου προσέφερε κατά την διόρθωση του κειμένου.

Τέλος, θα ήθελα να εκφράσω ένα μεγάλο και απέραντο ευχαριστώ στην οικογένεια μου που με την συμβολή τους με βοήθησαν να επιτύχω τους στόχους μου και να εκπληρώσω τα όνειρα μου.

Σας ευχαριστώ πολύ.

# Περίληψη

Η καλλιέργεια του σόργου τα τελευταία χρόνια αυξάνεται με ταχείς ρυθμούς. Οι πολλές χρήσεις του σόργου, είτε ως καρποδοτική καλλιέργεια, είτε ως χορτοδοτική καλλιέργεια, είτε ως ενεργειακή καλλιέργεια είναι οι κύριοι λόγοι που συντέλεσαν στην ταχεία εξάπλωσή του. Ειδικά η χρήση του για την παραγωγή βιοκαυσίμου, ως ενεργειακό φυτό δηλαδή, είναι ο κυριότερος λόγος αυτής της ραγδαίας αύξησης της καλλιέργειας του.

Στο πλαίσιο αυτό συντάσσεται και η παρούσα εργασία. Έρχεται να μελετήσει το σόργο ως ενεργειακό φυτό και την επίδραση της αζωτούχου λίπανσης σε αυτό. Για να εξυπηρετήσει τους σκοπούς της δομείται σε δύο κεφάλαια. Το πρώτο κεφάλαιο αναφέρεται στα γενικά χαρακτηριστικά του σόργου ως καλλιέργεια. Περιγράφονται στοιχεία που το χαρακτηρίζουν ως φυτό και τις απαιτήσεις που έχει, αλλά και η καλλιεργητική τεχνική που οδηγεί σε βέλτιστη απόδοση. Το δεύτερο κεφάλαιο αναφέρεται στις χρήσεις του σόργου και παρουσιάζει συγκεκριμένα στατιστικά στοιχεία που επιβεβαιώνουν την εξάπλωσή του.

Στο τρίτο κεφάλαιο παρουσιάζεται η διαδικασία του πειράματος δηλαδή όλες οι καλλιεργητικές επεμβάσεις που έγιναν από την εγκατάσταση έως και την συγκομιδή, καθώς επίσης και οι μετρήσεις που έγιναν.

Στα δύο τελευταία κεφάλαια παρουσιάζονται και σχολιάζονται τα αποτελέσματα του πειράματος και τα συμπεράσματα που εξήχθησαν από αυτό.

# Abstract

The cultivation of sorghum has been increasing rapidly in recent years. The many uses of sorghum, either as a fruit crop, as a crop or as an energy crop, are the main reasons for its rapid spread. Especially its use for the production of biofuels, as an energy plant, is the main reason for this rapid growth of its crop.

So the current thesis comes to study sorghum as an energy plant and the effect of nitrogen fertilization on it. In order to serve its purposes it is structured in two chapters. The first chapter refers to the general characteristics of sorghum cultivation. Describes the plant, describe its requirements and put down the main cultivation practices. The second chapter refers to the uses of sorghum, especially as an energy plant, and presents statistics about the increasing of sorghum cultivation.

The third chapter presents the process of the experiment, that is, all the cultivation operations that took place from installation to harvest, as well as the measurements made.

The last two chapters present and comment on the results of the experiment and the conclusions drawn from it.

# Πίνακας περιεχομένων

Περίληψη .....	3
Abstract .....	4
Κατάλογος εικόνων.....	8
Εισαγωγή .....	9
1 Το σόργο και η καλλιέργειά του .....	11
1.1 Ιστορική αναδρομή .....	11
1.2 Βοτανική ταξινόμηση .....	12
1.3 Μορφολογικά χαρακτηριστικά .....	14
1.3.1 Ριζικό σύστημα .....	15
1.3.2 Βλαστός .....	16
1.3.3 Φύλλα .....	19
1.3.4 Ταξιανθίες .....	20
1.3.5 Καρπός .....	21
1.4 Φαινολογία φυτού .....	22
1.4.1 Στάδιο έκπτυξης φυταρίου .....	22
1.4.2 Στάδιο βλαστικής ανάπτυξης .....	22
1.4.3 Στάδιο ανθοφορίας.....	23
1.4.4 Στάδιο ωρίμανσης .....	24
1.5 Περιβαλλοντικές απαιτήσεις καλλιέργειας.....	25
1.5.1 Θερμοκρασία .....	25
1.5.2 Φωτοπερίοδος .....	26
1.5.3 Ηλιακή ακτινοβολία.....	26
1.5.4 Βροχόπτωση και υγρασία.....	27
1.5.5 Εδαφολογικές απαιτήσεις .....	28
1.6 Καλλιεργητικές τεχνικές .....	28
1.6.1 Προετοιμασία εδάφους .....	28
1.6.2 Σπορά .....	29
1.6.3 Λίπανση .....	32
1.6.4 Άρδευση .....	33
1.6.5 Ζιζανιοκτονία .....	33

1.6.6	<i>Εχθροί και ασθένειες</i> .....	34
1.6.7	<i>Συγκομιδή</i> .....	34
1.7	<i>Αζωτούχος λίπανση</i> .....	35
2	<i>Χρήσεις και παραγωγή σόργου</i> .....	39
2.1	<i>Κατηγορίες σόργου αναλόγως της χρήσης του</i> .....	39
2.1.1	<i>Καρποδοτικό σόργο</i> .....	39
2.1.2	<i>Γλυκό σόργο</i> .....	40
2.1.3	<i>Σόργο σαρωθροποιίας</i> .....	40
2.1.4	<i>Χορτοδοτικό σόργο</i> .....	41
2.2	<i>Χρήσεις σόργου</i> .....	42
2.3	<i>Παραγωγή βιοκαύσιμου από σόργο</i> .....	43
2.4	<i>Στατιστικά στοιχεία παραγωγής σόργου</i> .....	47
3	<i>Υλικά και μέθοδοι</i> .....	50
3.1	<i>Στοιχεία πειράματος</i> .....	50
3.2	<i>Έδαφος πειραματικού αγρού</i> .....	50
3.3	<i>Καλλιεργητικές εργασίες</i> .....	51
3.4	<i>Εγκατάσταση καλλιέργειας</i> .....	51
3.5	<i>Λίπανση</i> .....	52
3.6	<i>Έλεγχος ζιζανίων και άρδευση</i> .....	53
3.7	<i>Έλεγχος εχθρών και ασθενειών</i> .....	53
3.8	<i>Μετεωρολογικά στοιχεία</i> .....	53
3.9	<i>Μετρήσεις προσδιορισμού χλωροφύλλης</i> .....	53
3.10	<i>Συγκομιδή</i> .....	54
3.11	<i>Μετρήσεις (NIR)</i> .....	55
4	<i>Αποτελέσματα</i> .....	57
4.1	<i>Καιρικές συνθήκες</i> .....	57
4.2	<i>Αύξηση, ανάπτυξη και απόδοση</i> .....	58
4.2.1	<i>Μετρήσεις βιομάζας</i> .....	58
4.2.2	<i>Μετρήσεις χλωροφύλλης</i> .....	63
4.2.3	<i>Μετρήσεις NIR στα φύλλα</i> .....	66
4.2.4	<i>Μετρήσεις NIR στους βλαστούς</i> .....	67
4.2.5	<i>Περιεχόμενη πρωτεΐνη στους ιστούς</i> .....	68

4.2.6	<i>Χρήση αζώτου</i> .....	71
5	Συμπεράσματα .....	74
	Βιβλιογραφία .....	76

## Κατάλογος εικόνων

Εικόνα 1: Ταξιανθίες 5 κύριων καλλιεργήσιμων ποικιλιών σόργου <sup>15</sup> .....	13
Εικόνα 2: Μορφολογία φυτού σόργου <sup>4</sup> .....	14
Εικόνα 3: Χαρακτηριστικά βλαστών – στελεχών διάφορων ποικιλιών σόργου <sup>5</sup> .....	17
Εικόνα 4: Μεσογονάτια διαστήματα και διάμετροι βλαστών σόργου <sup>5</sup> .....	18
Εικόνα 5: Ταξιανθίες σόργου <sup>5</sup> .....	20
Εικόνα 6: Δομή καρπού σόργου <sup>4</sup> .....	21
Εικόνα 7: Ταξικαρπία σόργου σε πλήρη ωρίμανση <sup>15</sup> .....	24
Εικόνα 8: Μηχανική σπορά σόργου <sup>5</sup> .....	31
Εικόνα 9: Απαιτήσεις λίπανσης σε σχέση με τις ημέρες από την βλάστηση <sup>8</sup> .....	36
Εικόνα 10: Μεταβολή της βιομάζας του σόργου αναλόγως της αζωτούχου λίπανσης και της άρδευσης <sup>11</sup> .....	37
Εικόνα 11: Αζωτούχος λίπανση που καταλήγει στα φυτά του σόργου <sup>11</sup> .....	37
Εικόνα 12: Καρποδοτικό σόργο <sup>2</sup> .....	40
Εικόνα 13: Σόργο σαρωθροποιίας <sup>2</sup> .....	41
Εικόνα 14: Χορτοδοτικό σόργο <sup>2</sup> .....	42
Εικόνα 15: Διαδικασία παραγωγής βιοαιθανόλης από τον χυμό σόργου <sup>13</sup> .....	44
Εικόνα 16: Εξαγωγή χυμού σόργου δια της συνθλίψεως <sup>13</sup> .....	44
Εικόνα 17: Παραγωγή βιοαιθανόλης από καλλιέργεια σόργου <sup>3</sup> .....	46
Εικόνα 18: Παραγωγή βιοαιθανόλης από την βαγάση <sup>13</sup> .....	47
Εικόνα 19: Παραγωγή βιοκαυσίμου από ενεργειακές καλλιέργειες <sup>16</sup> .....	48
Εικόνα 20: Εκτάσεις προς καλλιέργεια με γλυκό σόργο και δυναμικότητες εργοστασίων παραγωγής βιοαιθανόλης <sup>17</sup> .....	48
Εικόνα 21: Παραγωγή βιοαιθανόλης στην Ελλάδα <sup>17</sup> .....	49
Εικόνα 22: Πειραματικός αγρός στο Βελεστίνο .....	52
Εικόνα 23: Φορητός μετρητής χλωροφύλλης .....	54
Εικόνα 24: Φασματοφωτόμετρο .....	56



# Εισαγωγή

Η σύγχρονη ζωή των ανθρώπων είναι εξαρτημένη από την κατανάλωση ενέργειας. Σε όλες τις καθημερινές του δραστηριότητες ο άνθρωπος καταναλώνει ενέργεια. Για να δει χρησιμοποιεί ηλεκτρική ενέργεια. Για να κινηθεί καταναλώνει καύσιμα. Για να μαγειρέψει χρησιμοποιεί ηλεκτρική ενέργεια ή καταναλώνει καύσιμα. Την ίδια την ηλεκτρική ενέργεια την παράγει κυρίως καίγοντας ορυκτά καύσιμα.

Τα ορυκτά καύσιμα δημιουργήθηκαν στον πλανήτη γη εδώ και εκατοντάδες εκατομμύρια χρόνια. Η ύπαρξή τους είναι πεπερασμένη σε αριθμό και η αναπλήρωσή τους πρακτικά αδύνατη αφού για να ξαναδημιουργηθούν απαιτούν το ίδιο χρονικό διάστημα. Οι ανάγκες του ανθρώπου όμως αυξάνουν συνεχώς την ζήτηση σε ορυκτά καύσιμα. Αυτό αναμένεται να οδηγήσει στην εξάντλησή τους. Σύμφωνα με την ετήσια μελέτη της BP σχετικά με την επάρκεια των ορυκτών καυσίμων το πετρέλαιο και το φυσικό αέριο των επιβεβαιωμένων κοιτασμάτων επαρκούν για την κάλυψη της ζήτησης (με βάση τα σημερινά δεδομένα ζήτησης) για κάτι περισσότερο από πενήντα έτη.

Μια από τις λύσεις της επάρκειας των ορυκτών καυσίμων είναι η χρησιμοποίηση εναλλακτικών καυσίμων. Και ένα από τα σημαντικότερα εναλλακτικά καύσιμα είναι η βιοαιθανόλη. Η βιοαιθανόλη είναι οινόπνευμα (αιθανόλη) και είναι το αποτέλεσμα αλκοολικής ζύμωσης σακχάρων. Κατά την αλκοολική ζύμωση η γλυκόζη με το νερό μετατρέπονται σε οινόπνευμα, διοξείδιο του άνθρακα και νερό. Εν συνεχεία η βιοαιθανόλη χρησιμοποιείται ώστε να αραιώσει το καύσιμο κίνησης κατά ένα ποσοστό. Έτσι μειώνει συνολικά την κατανάλωση του ορυκτού καυσίμου που χρησιμοποιήθηκε ως πρώτη ύλη. Η βιοαιθανόλη μπορεί κατά την καύση της να εκλύει ρύπους όμως θεωρείται καύσιμο μηδενικών εκπομπών διοξειδίου του άνθρακα γιατί οι ρύποι που εκλύει έχουν ήδη καταναλωθεί από τα φυτά κατά την διεργασία της φωτοσύνθεσης. Παρόλο που ως καύσιμο είναι γνωστό από τις αρχές του 20<sup>ου</sup> αιώνα εντούτοις μερικά μειονεκτήματα που είχε οδήγησαν σε μηδενικές καταναλώσεις. Μέχρι την πρώτη πετρελαϊκή κρίση και την αύξηση της τιμής του πετρελαίου. Από το 1978 λοιπόν ξεκινάει να παράγεται εντατικά βιοαιθανόλη στις ΗΠΑ με όλο και μεγαλύτερους ρυθμούς. Σιγά σιγά εξαπλώνεται και σε άλλα κράτη έτσι πλέον σε όλο το ανεπτυγμένο κόσμο η βιοαιθανόλη αυξάνεται σταθερά ως καύσιμο κίνησης.

Η βιοαιθανόλη μπορεί να παραχθεί από την επεξεργασία φυτών. Φυτά τα οποία δύνανται να παράξουν βιοαιθανόλη είναι το καλαμπόκι, το ζαχαρότευτλο, το ζαχαροκάλαμο και το σόργο. Και εδώ εμπλέκεται λοιπόν το σόργο όντας ένα από τα σημαντικότερα ενεργειακά φυτά. Οπότε η καλλιέργεια του σόργου, τουλάχιστον τα τελευταία 20 χρόνια, στις ανεπτυγμένες χώρες, γίνεται για να χρησιμοποιηθεί ως ενεργειακό καύσιμο. Με αυτό τον τρόπο επιτυγχάνεται η κατανάλωση ενέργειας από τον άνθρωπο χωρίς την δαπάνη πόρων του πλανήτη. Βασικά υπάρχει μια δαπάνη πόρων που αφορούν τα συστατικά του εδάφους που καταναλώνει η καλλιέργεια μέχρι να συγκομιστεί ωστόσο είναι μικρή σε αριθμό αυτή η δαπάνη και κυρίως είναι αναπληρώσιμη είτε διαμέσου λίπανσης είτε διαμέσου εναλλαγής καλλιεργειών (αμειψισπορά).

Στο παραπάνω πλαίσιο αναγκαιότητας ύπαρξης εναλλακτικών λύσεων παραγωγής καυσίμων εντάσσεται και η παρούσα εργασία. Στόχος της παρούσας εργασίας είναι να συνδέσει την αποδοτικότητα του ενεργειακού σόργου σε βιομάζα για χρήση ως βιοκάυσιμο και η συσχέτιση της με την αζωτούχο λίπανση. Ταυτόχρονα θα εξετάσει άλλες συνέπειες που προκύπτουν από την αζωτούχο λίπανση του σόργου που έχει μελετηθεί. Δηλαδή σκοπός του πειράματος ήταν να βρεθεί ποιο από τα τέσσερα εφαρμοσθέντα επίπεδα αζώτου ήταν το ιδανικότερό για την καλλιέργεια, όσο αναφορά την ποιότητα και την απόδοση, αλλά και για τον ίδιο τον καλλιεργητή (Almodares , Hadi 2009, BP 2018).

# 1 Το σόργο και η καλλιέργειά του

## 1.1 Ιστορική αναδρομή

Το σόργο ως καλλιεργούμενη ποικιλία εμφανίστηκε στην Αφρική και ειδικότερα στις περιοχές των σημερινών Σουδάν και Αιθιοπίας. Προέκυψε από εξημέρωση του άγριου σόργου *S. bicolor ssp. arundinaceum*. Πιστεύεται ότι η εξημέρωση αυτή έγινε περί την 5<sup>η</sup> προ Χριστού χιλιετία και μάλλον στην Αιθιοπία. Μάλιστα υπάρχουν ιστορικές αναφορές χρήσης σπόρων σόργου για την παρασκευή ψωμιού.

Στην συνέχεια το σόργο βρέθηκε στην Ασία, τόσο στην μέση Ανατολή όσο και στις Ινδίες και την Κίνα. Αναφορές ιστορικές ορίζουν την μετάβαση του σόργου σε αυτές τις περιοχές περί τις αρχές της 2<sup>ης</sup> προ Χριστού χιλιετίας. Στην Κίνα μάλιστα, σε ανασκαφές, βρέθηκαν σπόροι σόργου οι οποίοι χρονολογήθηκαν στην προαναφερόμενη χρονική περίοδο. Ο τρόπος μεταφοράς του σόργου από την Αφρική σε αυτές τις περιοχές δεν έχει διευκρινιστεί πλήρως, οι επιστήμονες όμως πιστεύουν ότι έγινε είτε διαμέσου της κοιλάδας του Νείλου και ακολούθως από την ερυθρά θάλασσα ή την μεσόγειο θάλασσα είτε διαμέσου της ερυθράς θάλασσας από την Αιθιοπία στην αραβική χερσόνησο. Σε όλες τις παραπάνω αναφορές το σόργο εμφανίζεται κυρίως σε τροπικά κλίματα.

Το σόργο όμως ως φυτό έμεινε άγνωστο στον δυτικό κόσμο. Η εξάπλωσή του έγινε μόλις πριν περίπου 200 χρόνια. Ιστορικές αναφορές δείχνουν ότι το σόργο έφτασε διαμέσου εισαγωγής από την Κίνα, μόλις το 1851 στην Γαλλία. Ακολούθως έφτασε και στην Αμερική διαμέσου εισαγωγής από την Γαλλία το 1853. Βέβαια υπάρχουν αναφορές για προηγούμενη χρήση του σόργου στην Ευρωπαϊκή ήπειρο, και συγκεκριμένα για καλλιέργεια σόργου σαρωθροποιίας από τον Βενιαμίν Φραγκλίνο προ του 1800, οι οποίες όμως δεν διασταυρώνονται προς το παρόν ιστορικά. Η διασταύρωση των ποικιλιών και το εύκρατο κλίμα των χωρών της Ευρώπης και της Αμερικής που διακρίνεται από τις μεγάλες φωτοπεριόδους οδήγησε σε εξάπλωση και συστηματική καλλιέργεια του φυτού του σόργου (Παπακώστα – Τασοπούλου 2012, Παπαστυλιανού Παπασωτηρίου, Μπιλάλης, κ.α. 2015, Office of the Gene Technology Regulator 2017, Buschmann 2018).

## 1.2 Βοτανική ταξινόμηση

Το σόργο, *Sorghum*, είναι ένα γένος φυτών το οποίο περιλαμβάνει περίπου 50 είδη. Ανήκει στην κατηγορία των μονοκοτυλήδων αγγειόσπερμων αγρωστωδών φυτών και είναι μέρος της μεγάλης οικογένειας των σιτηρών. Το γένος του σόργου μπορεί να διακριθεί σε 5 υπογένη εκ των οποίων καλλιεργούμενο είναι μόνο το υπογένος *Sorghum*. Τα υπόλοιπα 4 υπογένη είναι τα *Heterosorghum*, *Chaetosorghum*, *Parasorghum* και *Stiposorghum*.

Στο καλλιεργήσιμο υπογένος *Sorghum* εντάσσονται 3 είδη. Τα είδη αυτά είναι το *Sorghum Halepense*, το *Sorghum propinquum* και το καλλιεργήσιμο *Sorghum bicolor*. Καλλιεργήσιμο είναι μόνο το είδος *bicolor* ενώ τα *halepense* και *propinquum* είναι αυτοφυή είδη, πολυετή εύρωστα ζιζάνια με έντονη ανάπτυξη και έμμονα ριζώματα. Μάλιστα από γενετική τροποποίηση της ποικιλίας *halepense* προέκυψε το ζιζάνιο βελιούρα, ένα από τα γνωστότερα, πιο επίμονα και δυσεξόντωτα ζιζάνια που υπάρχουν. Όλες οι καλλιεργήσιμες ποικιλίες είναι του είδους *Sorghum bicolor*. Οι καλλιεργήσιμες ποικιλίες του σόργου διακρίνονται σε 5 κύριες και 10 ενδιάμεσες. Οι κύριες ποικιλίες είναι οι *bicolor*, *caudatum*, *durra*, *guinea* και *kafir*. Οι δέκα ενδιάμεσες ποικιλίες προέκυψαν από διασταυρώσεις των 5 κύριων ποικιλιών.

Η διάκριση των ποικιλιών του καλλιεργούμενου σόργου γίνεται με βάση μορφολογικά χαρακτηριστικά του φυτού όπως τα σταχίδια, οι ταξιανθίες και οι καρποί τους. Τα κυριότερα χαρακτηριστικά κάθε ποικιλίας (εκ των πέντε κύριων ποικιλιών) δίνονται στις επόμενες παραγράφους.

Η ποικιλία *bicolor* έχει φυτά τα οποία έχουν χαλαρές ταξιανθίες και λέπυρα μακριά τα οποία καλύπτουν τους καρπούς κατά τα 3/4 κατ ελάχιστον. Αφήνουν ακάλυπτο το επάνω τμήμα του ώριμου καρπού ή μπορεί να τον καλύπτουν και πλήρως. Οι καρποί της ποικιλίας αυτής είναι επιμήκεις κατά βάση και σπανιότερα ωοειδείς, και σε κάθε περίπτωση είναι σχεδόν συμμετρικοί ως προς το ραχιαίο τους τμήμα.

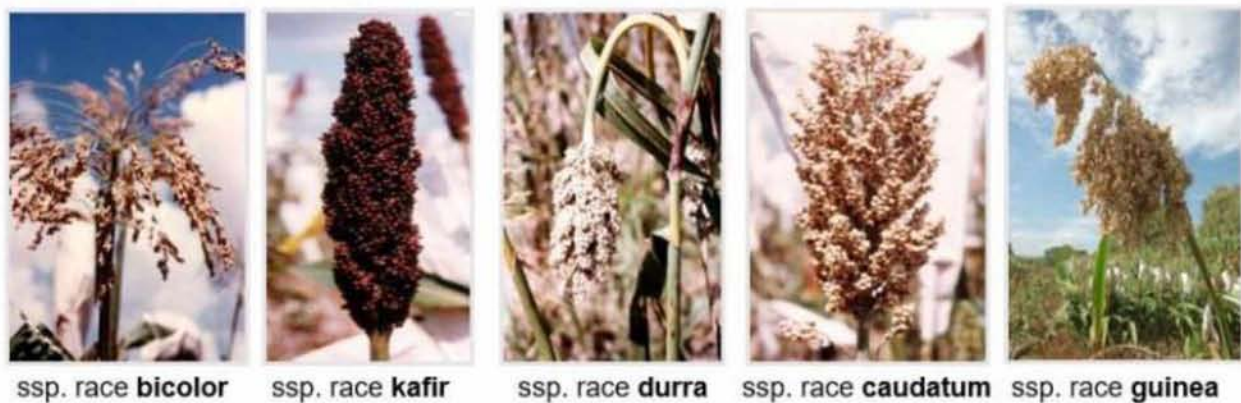
Η ποικιλία *caudatum* έχει ταξιανθίες μεγάλης ποικιλίας. Συναντούνται και χαλαρές ταξιανθίες, συναντούνται όμως και συμπαγείς. Η μορφή της ταξιανθίας της ποικιλίας αυτής είναι άμεσα συνδεδεμένη με τις καιρικές συνθήκες που επικρατούν στην περιοχή που βρίσκεται η καλλιέργεια. Τα λέπυρα καλύπτουν τους καρπούς περίπου κατά το 1/2. Οι καρποί δεν έχουν

καμιά συμμετρία. Στην μια τους πλευρά είναι στρόγγυλοι και προεξέχουν ενώ στην άλλη τους πλευρά είναι από επίπεδοι έως και κοίλοι.

Η τρίτη ποικιλία καλλιεργήσιμου σόργου είναι η ποικιλία *durra*. Η ποικιλία αυτή χαρακτηρίζεται από συμπαγείς ταξιανθίες και έχει λέπυρα τα οποία φέρουν μια εγκάρσια διαμόρφωση στο κεντρικό τους τμήμα. Χαρακτηρίζεται από σφαιρικούς ή ωοειδείς καρπούς οι οποίοι έχουν σφαιρική βάση.

Η ποικιλία *guinea* είναι η τέταρτη ποικιλία και μεταξύ των πέντε ποικιλιών είναι η πιο σπάνια. Διακρίνεται από χαλαρές ταξιανθίες και λέπυρα τα οποία σχηματίζουν γωνία 90 μοιρών με τους καρπούς και έχουν μήκος ίσο ή μεγαλύτερο από τους καρπούς. Οι καρποί της ποικιλίας αυτής έχουν πεπλατυσμένο σχήμα.

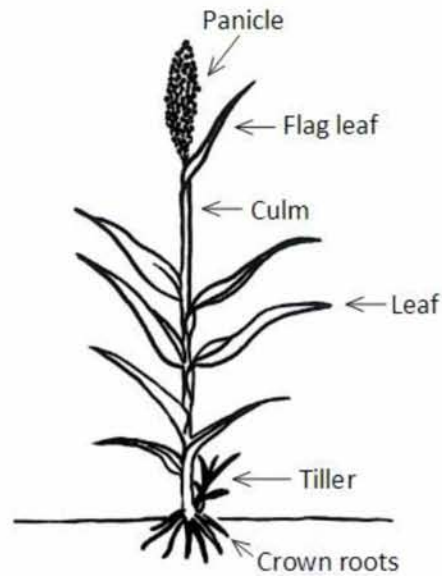
Η τελευταία ποικιλία καλλιεργούμενου σόργου είναι η ποικιλία *kafir*. Η ποικιλία αυτή χαρακτηρίζεται από συμπαγείς κατά βάση και σπανιότερα ημισυμπαγείς ταξιανθίες και λέπυρα μικρότερα σε μήκος από τους καρπούς αλλά με μήκος που ποικίλει και δεν είναι σταθερό από φυτό σε φυτό. Οι καρποί της ποικιλίας αυτής είναι σχεδόν συμμετρικοί και έχουν κατά βάση σφαιρικό σχήμα. Στην επόμενη εικόνα φαίνονται οι ταξιανθίες αυτών των πέντε κύριων ποικιλιών σόργου (Παπακώστα – Τασοπούλου 2012, Παπαστυλιανού Παπασωτηρίου, Μπιλάλης, κ.α. 2015, Office of the Gene Technology Regulator 2017, Buschmann 2018).



Εικόνα 1: Ταξιανθίες 5 κύριων καλλιεργήσιμων ποικιλιών σόργου <sup>15</sup>

### 1.3 Μορφολογικά χαρακτηριστικά

Το φυτό του σόργου είναι ένα φυτό με συγκεκριμένα μορφολογικά χαρακτηριστικά. Έχει ένα ύψος φυτών που κυμαίνεται μεταξύ 0,6 και 5 μέτρων αναλόγως της ποικιλίας. Το μεγαλύτερο ύψος συναντάται συνήθως τις ποικιλίες του γλυκού και του ινώδους σόργου. Συνήθως, χωρίς να είναι απόλυτο, οι ποικιλίες που έχουν μεγαλύτερο ύψος έχουν και καλύτερες αποδόσεις σε βλαστό αλλά χειρότερες αποδόσεις σε καρπό. Έτσι λοιπόν οι ποικιλίες καρποδοτικού σόργου είναι χαμηλότερες σε ύψος. Η ποικιλία του γλυκού σόργου πέραν του μεγάλου ύψους διακρίνεται και από την μεγάλη περιεκτικότητα των βλαστών του σε σάκχαρα. Η ποικιλία του ινώδους σόργου διακρίνεται από την μεγάλη πυκνότητα σε κυτταρίνες και ημικυτταρίνες του βλαστού του. Τα κύρια μέρη του φυτού του σόργου είναι το ριζικό σύστημα (root), ο βλαστός (culm), τα φύλλα (leaf) και οι ταξιανθίες (panicle). Όλα αυτά φαίνονται στην επόμενη εικόνα, μαζί με τα αδέλφια (tiller) και το φύλλο σημαία (flagleaf) (Guiying, Weibin, et. al 2004, Παπακώστα – Τασοπούλου 2012, Παπαστυλιανού Παπασωτηρίου, Μπιλάλης, κ.α. 2015, Office of the Gene Technology Regulator 2017).



Εικόνα 2: Μορφολογία φυτού σόργου <sup>4</sup>

### **1.3.1 Ριζικό σύστημα**

Το σόργο είναι ένα φυτό με πολύ έντονο ριζικό σύστημα. Η μορφή του ριζικού του συστήματος είναι έντονα θυσανώδης. Όσο το φυτό μεγαλώνει και η ρίζα ωριμάζει δημιουργείται μια πυριτική στήλη στην επιδερμίδα της ρίζας η οποία βελτιώνει την μηχανική της αντοχή. Αυτό δημιουργεί μια προστασία στο ριζικό σύστημα αυξάνοντας την διάρκεια ζωής του σε έντονες ξηρικές περιόδους.

Κατά το φύτεμα του σπόρου εμφανίζεται μια και μοναδική εμβρυική ρίζα, η πρωτογενής ρίζα η οποία είναι προσωρινή. Έχει ως σκοπό της να προσλαμβάνει νερό και θρεπτικά στοιχεία για το φυτό μέχρι να εμφανιστούν οι δευτερογενείς ρίζες, οι οποίες εμφανίζονται μετά τον σχηματισμό 3 – 4 φύλλων στο φυτό. Οι δευτερογενείς ρίζες εκφύουν από το πρώτο γόνατο του στελέχους που βρίσκεται κοντά στο έδαφος και είναι υπεύθυνες να παρέχουν στο φυτό νερό και τα απαραίτητα θρεπτικά στοιχεία που χρειάζεται σε όλη την περίοδο της ζωής του. Ο αριθμός των δευτερογενών ριζών που αναπτύσσονται είναι πολύ μεγάλος. Συγκριτικά με το καλαμπόκι το σόργο εμφανίζει διπλάσιο αριθμό δευτερογενών ριζών. Αυτό του επιτρέπει να έχει διπλάσια ικανότητα απορρόφησης νερού οπότε έχει και μεγαλύτερη αντοχή σε ξηρασία. Για λόγους σύγκρισης αναφέρεται ότι το σόργο και το καλαμπόκι έχουν περίπου της ίδιας έκτασης πρωτογενές ρίζωμα. Το ριζικό σύστημα ολοκληρώνεται με την ύπαρξη των στηρικτικών (εναέριων) ριζών. Οι ρίζες αυτές εμφανίζονται στα πρώτα 4 γόνατα του βλαστού, είναι δηλαδή ελεύθερες στον αέρα (για αυτό και ονομάζονται εναέριες) και επί της ουσίας στηρίζουν το φυτό. Για να επιτελέσουν αυτό το καθήκον τους έχουν μεγαλύτερο πάχος από τις δευτερογενείς ρίζες γεγονός που τις καθιστά ανθεκτικότερες σε μηχανικές φορτίσεις. Ο αριθμός των στηρικτικών ριζών μεταβάλλεται αναλόγως της ποικιλίας και των περιβαλλοντικών συνθηκών. Δευτερευόντως οι στηρικτικές ρίζες τροφοδοτούν το φυτό και με νερό και θρεπτικά στοιχεία λειτουργώντας συμπληρωματικά των δευτερευουσών ριζών.

Εν τέλει λοιπόν το ώριμο φυτό έχει ένα ριζικό σύστημα αποτελούμενο από ένα συνδυασμό, ένα σύμπλεγμα κύριων, δευτερογενών και στηρικτικών ριζών. Το βάθος που θα φτάσει η ρίζα και ο βαθμός ανάπτυξης της εξαρτάται από διάφορους παράγοντες. Σίγουρα η ποικιλία παίζει ρόλο καθώς φυτά μεγαλύτερου ύψους και βάρους έχουν μεγαλύτερο ριζικό σύστημα. Συνήθως το ριζικό σύστημα ενός φυτού σόργου σε πλήρη ανάπτυξη είναι το 10% του συνολικού βάρους (ξηρού βάρους) του φυτού. Πέραν της ποικιλίας ρόλο παίζουν και άλλοι παράγοντες με σημαντικότερους τους εδαφικούς. Στοιχεία του εδάφους όπως η περιεχόμενη

υγρασία, η σύσταση, η κοκκομετρία του εδάφους παίζουν ρόλο στο μέγεθος του ριζικού συστήματος (Guiying, Weibin, et. al 2004, Παπακώστα – Τασοπούλου 2012, Παπαστυλιανού Παπασωτηρίου, Μπιλάλης, κ.α. 2015, Office of the Gene Technology Regulator 2017).

### **1.3.2 Βλαστός**

Ο βλαστός του σόργου αποτελείται από 10 έως 20 γόνατα με συνηθέστερες τιμές να κυμαίνονται μεταξύ 14 και 17 γονάτων. Τα διαστήματα μεταξύ των γονάτων (μεσογονάτια) έχουν μεταβλητό μήκος. Τα διαστήματα που είναι στην βάση έχουν μικρότερο μήκος ενώ όσο ανεβαίνουμε στα κεντρικά τμήματα του βλαστού το μήκος τους μεγαλώνει. Στο τέλος όμως, στο ανώτερο τμήμα του φυτού, τα διαστήματα αυτά πάλι έχουν μειωμένο μήκος. Το τελευταίο μεσογονάτιο διάστημα όμως, που καταλήγει και στο φύλλο σημαία του φυτού, είναι πολύ μεγάλο.

Εξωτερικά ο βλαστός είναι καλυμμένος από ένα ιστό μεμβράνης. Ο ιστός αυτός είναι σκληρός και παχύς και βρίσκεται κάτω από την επιδερμίδα του φυτού. Πάνω από την επιδερμίδα υπάρχει μια λευκή σκόνη, κηρώδους υφής η οποία επί της ουσίας «υδρομονώνει» το φυτό αποτρέποντας την απώλεια υγρασίας, στοιχείο ιδιαίτερα σημαντικό σε έντονα ξηρικές περιόδους. Ταυτόχρονα όμως λειτουργεί και αντίστροφα μονωτικά μη επιτρέποντας στο φυτό να λάβει νερό σε περιπτώσεις ύπαρξης πλημμυρικών φαινομένων αποτρέποντας την καταστροφή του σε συνθήκες περίσσειας νερού.

Το ύψος των βλαστών του σόργου κυμαίνεται από 0,6 έως και πέντε μέτρα με κύριο χαρακτηριστικό που καθορίζει το ύψος του φυτού την ποικιλία. Διάφορες συνθήκες του περιβάλλοντος όπως η φωτοπερίοδος, η θερμοκρασία και η γονιμότητα του εδάφους παίζουν δευτερεύοντα ρόλο στην περαιτέρω αύξηση του ύψους των βλαστών. Για παράδειγμα φυτά που καλλιεργούνται σε μεγαλύτερα γεωγραφικά πλάτη τα οποία εμφανίζουν μεγαλύτερες φωτοπερίοδους τις εποχές καλλιέργειας εμφανίζουν μεγαλύτερο ύψος. Αντίθετα, φυτά της ίδιας ποικιλίας που καλλιεργούνται στις τροπικές περιοχές την ίδια περίοδο έχουν συνήθως μικρότερο ύψος. Πέραν της ποικιλίας σημαντικό ρόλο παίζει και ο φαινότυπος των φυτών. Υπάρχουν τέσσερεις ανεξάρτητοι γόννοι οι οποίοι καθορίζουν το μήκος των μεσογονάτιων διαστημάτων (χωρίς να μεταβάλλουν τον αριθμό τους) και λειτουργούν προσθετικά ο ένας στον άλλο. Συνήθως το ύψος των φυτών συνδέεται και με τον βιολογικό κύκλο του φυτού. Όσο μικρότερος είναι ο βιολογικός κύκλος του φυτού τόσο μικρότερος είναι και ο βλαστός. Στην επόμενη εικόνα



φαίνεται το ύψος διαφόρων ποικιλιών σόργου, το βάρος τους, το βάρος ως ποσοστό σε σχέση με το σύνολο του φυτού (το εναέριο τμήμα του φυτού) και η ποσότητα του χυμού που περιέχουν.

Variety	Length of stalk (cm)	Weight of stalk (g)	Stalk percentage of aboveground parts (%)	Percentage of juice (%)	Brix of juice (%)
'Italian'	238	465	69.92	62.25	7.9
'Rio'	321	530	64.24	51.19	12
'Wray'	291	685	74.46	72	12.5
'Keller'	320	800	73.06	67.42	19.3
'This'	390	950	84.07	64.92	13.9
'M-81E'	355	895	75.27	66.94	14.8
'Cowley'	324	825	73.99	61.4	18.9

Εικόνα 3: Χαρακτηριστικά βλαστών – στελεχών διάφορων ποικιλιών σόργου <sup>5</sup>

Η διάμετρος των βλαστών του σόργου κυμαίνεται, αναλόγως της ποικιλίας, από 1 έως και 5 εκατοστά. Σε όλες τις ποικιλίες όμως υπάρχει ένα κοινό χαρακτηριστικό, η διάμετρος στο κάτω μέρος του βλαστού είναι πάντα η μεγαλύτερη και όσο κινούμαστε προς το πάνω μέρος, μειώνεται βαθμιαία. Αναλόγως της ποικιλίας, του ύψους και της διαμέτρου του βλαστού καθορίζεται και το βάρος του. Μέγιστο βάρος των βλαστών του σόργου θεωρούνται τα 3,6kg. Το βάρος του βλαστού μπορεί να μεταβληθεί αναλόγως της πυκνότητας φύτευσης και των συνθηκών ανάπτυξης του φυτού. Από το ξηρό βάρος του βλαστού, περίπου το 40% αντιστοιχεί στα σάκχαρα στις ποικιλίες του γλυκού σόργου. Άλλωστε οι ποικιλίες αυτές συγκεντρώνουν το 98% των σακχάρων τους στους βλαστούς. Αντίθετα στο ινώδες σόργο μόνο το 10% του ξηρού του βάρους αντιστοιχεί σε σάκχαρα. Στην επόμενη εικόνα φαίνονται οι διαμέτροι των βλαστών διαφόρων ποικιλιών σόργου και ο αριθμός των γονάτων και οι αποστάσεις μεταξύ των γονάτων των βλαστών (η μέση απόσταση και η μέγιστη απόσταση).

Variety	Number of nodes	Average length between nodes (cm)	The longest length between nodes (cm)	Diameter at the middle part of the stalk (mm)
'Italian'	11.5	20.7	27	17.3
'Rio'	16.0	20.1	28	16.8
'Wray'	14.5	20.1	24	17.3
'Keller'	14.7	21.8	33	16.7
'Bailey'	16.0	21.6	27	18.3
'M-81E'	17.5	20.3	24	18.2
'Cowley'	17.0	19.1	30	17.7

Εικόνα 4: Μεσογονάτια διαστήματα και διάμετροι βλαστών σόργου <sup>5</sup>

Το σόργο είναι από τα φυτά τα οποία εμφανίζουν έντονο αδελφωμα. Στην βάση του βλαστού εμφανίζονται από 1 έως και 5 οφθαλμοί από τους οποίους εν συνεχεία εκπύσσονται νέοι βλαστοί. Έτσι πέραν του κεντρικού βλαστού υπάρχουν και άλλοι βλαστοί οι οποίοι ονομάζονται αδέρφια. Εν συνεχεία από τα αδέρφια μπορούν να αναπτυχθούν νέα αδέρφια και ούτω καθ' εξής. Ο αριθμός των αδελφιών εξαρτάται κυρίως από την πυκνότητα φύτευσης και την θερμοκρασία την εποχή βλάστησης. Συνήθως σχετικά χαμηλές θερμοκρασίες την εποχή της βλάστησης και αραιές φυτεύσεις δίνουν μεγαλύτερο αριθμό αδελφιών. Στην συνέχεια τα αδέρφια δημιουργούν το δικό τους ριζικό σύστημα στο οποίο στηρίζονται και συνάμα θρέφονται. Τα αδέρφια επί της ουσίας μπορούν να καλύψουν μέρος σπόρων που δεν έχουν βλαστάνει οπότε είναι σημαντικό οι ποικιλίες να μπορούν να παράξουν μεγάλο αριθμό αδελφιών. Ταυτόχρονα, σε περίπτωση που υπάρχουν συνθήκες έντονης παρουσίας νερού στην καλλιέργεια μπορούν να αναπτυχθούν όλα τα αδέρφια κάτι που οδηγεί σε υψηλές αποδόσεις παραγωγής βιομάζας, ιδιαίτερα επιθυμητές για τις ποικιλίες χορτοδοτικού σόργου. Αδέρφια μπορούν να σχηματιστούν και από οφθαλμούς που υπάρχουν στο κάτω μέρος του βλαστού και βρίσκονται σε κατάσταση ύπνωσης, μετά την συγκομιδή του σόργου. Απαραίτητη όμως είναι η κοπή των παλαιών βλαστών μετά την συγκομιδή. Έτσι λοιπόν επί των υπολειμμάτων της καλλιέργειας, με σωστή διαχείριση, τα αδέρφια μπορούν να αποτελέσουν μια νέα καλλιέργεια χωρίς να απαιτηθεί φύτευση. Μάλιστα τα αδέρφια που αναπτύσσονται χρησιμοποιούν το ήδη υπάρχον ανεπτυγμένο και ανθεκτικό ριζικό σύστημα κάτι που τους εξασφαλίζει ταχύτερη ανάπτυξη και υψηλότερη αντοχή. Σε περιοχές που δεν εμφανίζονται παγετοί την χειμερινή

περίοδο, λόγω της ύπαρξης των αδελφιών, η καλλιέργεια συγκομίζεται δύο φορές μειώνοντας στο μισό το κόστος φύτευσης.

Μετά την ωρίμανση του σπόρου οι ταξικαρπίες του φυτού αφαιρούνται. Αυτό επιτρέπει την έκπτυξη νέων οφθαλμών στο πάνω μέρος του βλαστού. Συνήθως οι οφθαλμοί αυτοί είναι 2 ή 3 και οι βραχίονες στους οποίους συγκρατούνται μπορούν να φθάσουν το μήκος των 40 εκατοστών. Οι νέοι οφθαλμοί μετά από την εμφάνιση ενός με δύο φύλλα, δίνουν μια νέα ταξιανθία. Εάν η αρχική ταξιανθία του φυτού αφαιρεθεί πριν την δημιουργία καρπών αυτό οδηγεί στην περαιτέρω ανάπτυξη αδελφιών. Ταυτόχρονα αυξάνει την περιεκτικότητα του βλαστού σε χυμό αλλά μειώνει τα ποσοστά σακχάρων που έχει (Guiying, Weibin, et. al 2004, Παπακώστα – Τασοπούλου 2012, Παπαστυλιανού Παπασωτηρίου, Μπιλάλης, κ.α. 2015, Meki, Ogoshi, et. al 2017, Office of the Gene Technology Regulator 2017).

### **1.3.3 Φύλλα**

Το φυλλικό σύστημα του σόργου είναι μια δίστοιχη φυλλοταξία. Επί της ουσίας λοιπόν τα φύλλα του σόργου είναι τοποθετημένα σε δυο σειρές, εκατέρωθεν του βλαστού και εμφανίζονται εναλλάξ. Τα φύλλα του σόργου ομοιάζουν των φύλλων του καλαμποκιού μόνο που είναι σχεδόν κατά το ήμισυ μικρότερα. Έχουν μήκος αναλόγως της ποικιλίας μεταξύ 30 και 135 εκατοστών και πλάτος από 6 έως και 13 εκατοστά. Συνήθως το μικρότερο είναι το πρώτο φύλλο του φυτού. Εν συνεχεία αυξάνεται το μέγεθός τους. Προς το κέντρο του φυτού εμφανίζονται τα μεγαλύτερα φύλλα. Στο πάνω μέρος του φυτού τα φύλλα μικραίνουν ξανά. Το τελευταίο φύλλο του φυτού ονομάζεται φύλλο σημαία. Ο αριθμός των φύλλων είναι όσος και ο αριθμός των γονάτων δηλαδή συνήθως μεταξύ 14 και 17. Συνήθως οι πρωιμότερες ποικιλίες έχουν μικρότερο αριθμό φύλλων σε σχέση με τις όψιμες ποικιλίες. Ο αριθμός των φύλλων επηρεάζεται και από την φωτοπερίοδο, έτσι συνήθως φυτά που βρίσκονται σε μεγαλύτερα γεωγραφικά πλάτη εμφανίζουν περισσότερα φύλλα εν συγκρίσει με τα φυτά της ίδιας ποικιλίας που βρίσκονται στον ισημερινό. Το βάρος των φύλλων συνήθως κυμαίνεται από 150 έως και 250 γραμμάρια.

Τα φύλλα είναι απλά και αποτελούνται από το έλασμα τον κολεό και το γλωσσίδιο. Το έλασμα είναι πλατύ, λογχοειδές και στις άκρες του έχει οδοντωτή μορφή. Η επιφάνειά του είναι λεία. Ο κολεός αποτελεί το μεγαλύτερο μήκος του φύλλου. Στην αρχή είναι προσκολλημένος στο βλαστό. Το τμήμα του κολεού που είναι προσκολλημένο στον βλαστό μπορεί να φτάσει έως

και το μισό του μήκους του. Τα στομάτια των φύλλων είναι τοποθετημένα και στις δύο πλευρές. Σε μερικές ποικιλίες τα φύλλα έχουν τριχίδια τα οποία προστατεύουν το σόργο από προσβολές εντόμων (Guiying, Weibin, et. al 2004, Παπακώστα – Τασοπούλου 2012, Παπαστυλιανού Παπασωτηρίου, Μπιλάλης, κ.α. 2015, Office of the Gene Technology Regulator 2017).

#### **1.3.4 Ταξιανθίες**

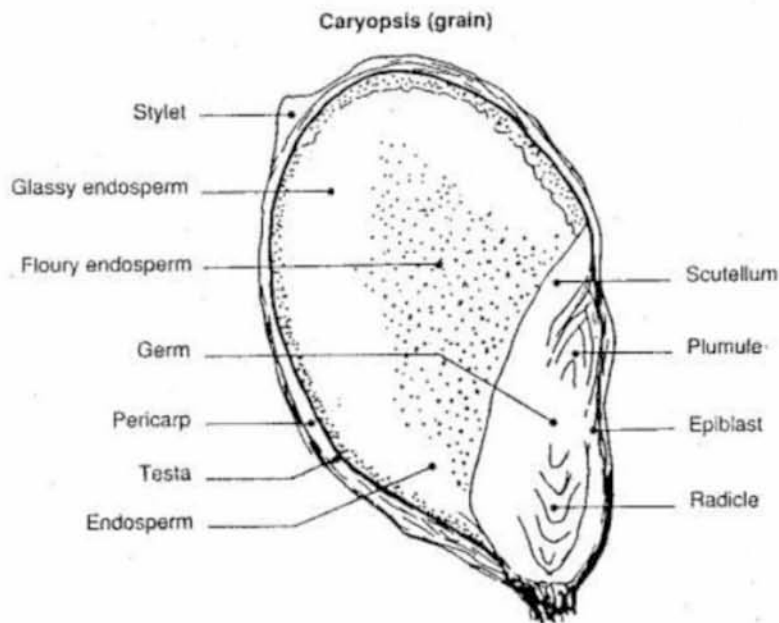
Οι ταξιανθίες του σόργου κάνουν την εμφάνισή τους από τον κολεό του τελευταίου φύλλου του φυτού, του φύλλου σημαία. Η άνθιση τους ξεκινάει συνήθως από την κορυφή και εν συνεχεία ανθίζει διαδοχικά μέχρι το κατώτερό της τμήμα. Το μέγεθος των ταξιανθιών φτάνει έως και τα 70 εκατοστά σε μήκος και τα 30 εκατοστά σε διάμετρο και είναι ανάλογο με την ποικιλία. Ποικιλίες με έντονη βλάστηση συνήθως δίνουν μεγαλύτερες ταξιανθίες αλλά και μικρότερη απόδοση σε σπόρο. Στην επόμενη εικόνα φαίνεται μια ποικιλία ταξιανθιών σόργου (Guiying, Weibin, et. al 2004, Παπακώστα – Τασοπούλου 2012, Παπαστυλιανού Παπασωτηρίου, Μπιλάλης, κ.α. 2015, Office of the Gene Technology Regulator 2017).



**Εικόνα 5: Ταξιανθίες σόργου <sup>5</sup>**

### 1.3.5 Καρπός

Οι ταξιανθίες του σόργου μετά την καρπόδεση μετατρέπονται σε ταξικαρπίες. Μια κοινή ταξικαρπία σόργου μπορεί να φτάσει σε περιεχόμενο έως και τους 4000 καρπούς. Οι καρποί του σόργου, όπως και οι καρποί όλων των σιτηρών είναι καρυόψη. Αποτελείται από το περικάρπιο, το ενδοσπέρμιο και το έμβρυο. Εξωτερικά του καρπού υπάρχουν δύο λέπυρα τα οποία τον καλύπτουν και σε ποικιλίες εκτός του καρποδοτικού σόργου δύσκολα απομακρύνονται. Το σχήμα των καρπών είναι ποικίλο με επικρατέστερους τους σφαιροειδείς, τους οβάλ και τους ελλειψοειδείς. Το χρώμα των καρπών επίσης ποικίλει. Εμφανίζονται καρποί σόργου χρώματος λευκού, κίτρινου, ροζ, ανοιχτού και σκούρου καφέ μεταξύ άλλων. Το βάρος των καρπών του σόργου είναι μεταξύ 16 και 28 γραμμαρίων. Το μεγαλύτερο βάρος εμφανίζεται στις ποικιλίες του καρποδοτικού σόργου και το μικρότερο στις ποικιλίες του γλυκού σόργου. Η δομή του καρπού του σόργου φαίνεται στην επόμενη εικόνα (Guiying, Weibin, et. al 2004, Παπακόστα – Τασοπούλου 2012, Παπαστυλιανού Παπασωτηρίου, Μπιλάλης, κ.α. 2015, Office of the Gene Technology Regulator 2017, Buschmann 2018).



Εικόνα 6: Δομή καρπού σόργου <sup>4</sup>

## **1.4 Φαινολογία φυτού**

Η ανάπτυξη του φυτού του σόργου διακρίνεται σε τέσσερα στάδια. Το πρώτο στάδιο είναι το στάδιο έκπτυξης του φυταρίου. Το δεύτερο είναι το στάδιο της βλαστικής ανάπτυξης του φυτού. Το τρίτο στάδιο είναι η αναπαραγωγική φάση του φυτού, το στάδιο της ανθοφορίας. Τέλος, το τέταρτο στάδιο είναι το στάδιο της ωρίμανσης του φυτού. Στις επόμενες υποενότητες περιγράφονται αυτά τα στάδια (Guiying, Weibin, et. al 2004, Παπακώστα – Τασοπούλου 2012).

### **1.4.1 Στάδιο έκπτυξης φυταρίου**

Το πρώτο στάδιο της ανάπτυξης του σόργου είναι το στάδιο της έκπτυξης του φυταρίου. Το στάδιο αυτό ξεκινάει με το φύτευμα του σπόρου και ολοκληρώνεται με την έναρξη της ταχείας ανάπτυξης των φυτών. Το φύτευμα του σπόρου γίνεται με την ύπαρξη υγρασίας στο έδαφος σε συνδυασμό με την κατάλληλη θερμοκρασία. Το φύτευμα γίνεται σε περίπου 7 με 10 μέρες όταν σπαρεί την άνοιξη και σε 2 έως 3 μέρες όταν η σπορά γίνεται το καλοκαίρι όπου υπάρχουν μεγαλύτερες θερμοκρασίες.

Αρχικά αναπτύσσεται το ριζικό σύστημα του φυτού. Σε πέντε εβδομάδες το ριζικό σύστημα έχει μήκος 1 μέτρου ενώ πλευρικά εκτείνεται σε μισό μέτρο. Εν συνεχεία ξεκινάει το αδελφωμα. Όταν εμφανιστούν 3 με 5 φύλλα στο φυτό τότε εκφύονται τα πρώτα αδελφια. Για τις ποικιλίες του γλυκού σόργου το αδελφωμα αυτό γίνεται ένα μήνα μετά το φύτευμα. Αυτό δείχνει βραδεία ανάπτυξη στο στάδιο του φυτρώματος το οποίο διαρκεί 50 ημέρες κάτι που χαρακτηρίζει το σόργο. Για αυτό τον λόγο αυτές τις μέρες είναι απαραίτητος ο έλεγχος των ζιζανίων και ο έλεγχος της άρδευσης και της λίπανσης ώστε να υπάρχει η σωστή υγρασία αλλά και τα απαραίτητα θρεπτικά στοιχεία στο έδαφος (Guiying, Weibin, et. al 2004, Παπακώστα – Τασοπούλου 2012).

### **1.4.2 Στάδιο βλαστικής ανάπτυξης**

Περίπου 50 ημέρες μετά το φύτευμα ξεκινάει το στάδιο της βλαστικής ανάπτυξης. Σε αυτό το στάδιο ξεκινάει η γρήγορη ανάπτυξη του φυτού. Αρχικά αυξάνεται έντονα η φυλλική επιφάνεια του φυτού και εν συνεχεία αυξάνεται τάχιστα το ύψος του βλαστού. Η διάρκεια του σταδίου της βλαστικής ανάπτυξης ποικίλει αναλόγως της ποικιλίας. Ποικιλίες μικρού βιολογικού κύκλου εμφανίζουν στάδια βλαστικής ανάπτυξης 30 ημερών ενώ ποικιλίες μεγάλου βιολογικού κύκλου εμφανίζουν στάδια βλαστικής ανάπτυξης υπερδιπλάσια, έως και 90 ημερών.

Οι ποικιλίες που έχουν μεγάλα στάδια βλαστικής ανάπτυξης χαρακτηρίζονται από υψηλότερα φυτά. Το στάδιο τερματίζεται με την έκπτυξη της ταξιανθίας.

Το στάδιο αυτό είναι πολύ σημαντικό για τα φυτά, ειδικά για φυτά στα οποία μας ενδιαφέρει ο όγκος της καλλιέργειας όπως για παράδειγμα το χορτοδοτικό σόργο. Η απόδοση της καλλιέργειας είναι πλήρως συσχετισμένη με την ορθή καλλιεργητική φροντίδα που πρέπει να ακολουθείται στο συγκεκριμένο στάδιο (Guiying, Weibin, et. al 2004, Παπακώστα – Τασοπούλου 2012, Meki, Ogoshi, et. al 2017).

### **1.4.3 Στάδιο ανθοφορίας**

Το στάδιο της ανθοφορίας ξεκινάει με την έκπτυξη της ταξιανθίας. Η ταξιανθία εκπτύσσεται με την εμφάνιση του τελευταίου φύλλου, του φύλλου σημαία. Από την στιγμή της έκπτυξης της ταξιανθίας μέχρι την ανθοφορία μεσολαβεί χρονικό διάστημα περίπου μιας εβδομάδας. Ακολούθως μετά από 2 έως 5 ημέρες ξεκινάει η άνθιση. Η άνθιση γίνεται από το πάνω μέρος της ταξιανθίας και ακολούθως κατεβαίνει προς τα κάτω. Αντίστοιχα, η άνθιση ξεκινάει από το εξωτερικό και οδηγείται προς το εσωτερικό της ταξιανθίας. Η διάρκεια της άνθησης είναι περίπου 1 ώρα για κάθε άνθος. Συνήθως τα άνθη ανοίγουν τη νύχτα ή τις πρώτες πρωινές ώρες και η ζωτικότητα τους εκμηδενίζεται μετά το πέρας 3 έως 6 ωρών.

Το σόργο είναι φυτό αυτογονιμοποιούμενο κατά βάση. Έτσι δεν απαιτείται η ύπαρξη επικονιαστών για την γονιμοποίησή του για αυτό και δεν υπάρχει πρόβλημα που τα άνθη του ανοίγουν κυρίως το βράδυ. Η σταυρογονιμοποίηση είναι μόνο σε ένα ποσοστό που δεν ξεπερνάει το 10% και αυτή γίνεται με τον άνεμο και όχι με την ύπαρξη εντόμων επικονιαστών. Συχνότερα γίνεται σταυρογονιμοποίηση στα υψηλότερα τμήματα των χαμηλότερων ταξιανθιών του φυτού.

Στο στάδιο της ανθοφορίας τα φυτά έχουν τις μεγαλύτερες απαιτήσεις σε υγρασία. Ειδικά ποικιλίες οι οποίες ανθίζουν την καλοκαιρινή περίοδο πρέπει να αρδεύονται τακτικά την περίοδο της άνθησης ώστε να είναι ικανοποιητική η ανθοφορία και η γονιμοποίηση (Guiying, Weibin, et. al 2004, Παπακώστα – Τασοπούλου 2012).

#### 1.4.4 Στάδιο ωρίμανσης

Με την λήξη της γονιμοποίησης και της ανθοφορίας ξεκινάει το στάδιο της ωρίμανσης, το στάδιο κατά το οποίο ο σπόρος αρχίζει και ωριμάζει. Το στάδιο της ωρίμανσης διαρκεί έως και ένα μήνα, αναλόγως της ποικιλίας του σόργου. Το στάδιο ωρίμανσης αποτελείται από το στάδιο του γάλακτος, το στάδιο του κηρού και στο στάδιο της πλήρους ωρίμανσης. Το στάδιο του γάλακτος είναι το στάδιο κατά το οποίο αυξάνεται το μέγεθος και το βάρος των σπόρων καθώς αυτοί λαμβάνουν θρεπτικά στοιχεία από το φυτό. Κατά το στάδιο αυτό οι σπόροι εσωτερικά έχουν ένα λευκό παχύρευστο γαλακτώδες υγρό. Ονομάζεται στάδιο του γάλακτος γιατί αν πιεστεί ο σπόρος σε αυτό το στάδιο τότε βγαίνει από τον σπόρο αυτό το λευκό υγρό που μοιάζει με γάλα. Το στάδιο κηρού είναι το στάδιο κατά το οποίο μειώνεται η υγρασία του σπόρου άρα και στο βάρος του. Αποτέλεσμα είναι ο σπόρος να ξηραίνεται και να σκληραίνει. Ονομάζεται στάδιο κηρού γιατί αν πιεστεί ο σπόρος τότε από αυτόν βγαίνει μια κηρώδης πάστα. Το τελευταίο τμήμα της ωρίμανσης είναι το επιμέρους στάδιο της πλήρους ωρίμανσης. Σε αυτό το στάδιο πλέον ο σπόρος έχει αποβάλει όλη την υγρασία του έτσι έχει ξεραθεί και ταυτόχρονα έχει σκληρύνει. Ταυτόχρονα ο σπόρος αποκτάει το τελικό του σχήμα και χρώμα. Στην επόμενη εικόνα φαίνεται μια ταξικαρπία σόργου σε πλήρη ωρίμανση (Guiying, Weibin, et. al 2004, Παπακόστα – Τασοπούλου 2012, Buschmann 2018).



Εικόνα 7: Ταξικαρπία σόργου σε πλήρη ωρίμανση <sup>15</sup>



## 1.5 Περιβαλλοντικές απαιτήσεις καλλιέργειας

Το σόργο είναι ένα φυτό εύκολα προσαρμόσιμο σε διάφορα κλίματα. Μπορεί ιστορικά να προήλθε από τροπικές περιοχές εντούτοις προσαρμόστηκε και καλλιεργείται και σε περιοχές με εύκρατα κλίματα. Η προσαρμογή του έγινε με αλλαγή των γονότυπων τού μέσω διασταυρώσεων. Έτσι συναντούμε τρεις κατηγορίες σόργου, προσαρμοσμένες έκαστη για διαφορετικά κλίματα, δηλαδή για διαφορετικές θερμοκρασίες και φωτοπεριόδους.

Η πρώτη κατηγορία είναι οι τροπικές ποικιλίες μεγάλου υψομέτρου. Είναι ποικιλίες που ευδοκούν στην τροπική ζώνη και μάλιστα σε υψηλά υψόμετρα, μεταξύ των 1600 και 2500 μέτρων. Αυτό σημαίνει ότι έχουν την ικανότητα να αναπτύσσονται ως φυτά σε χαμηλές θερμοκρασία και σε σταθερές φωτοπεριόδους. Η δεύτερη κατηγορία είναι οι πεδινές τροπικές ποικιλίες. Αυτές οι ποικιλίες αντέχουν στις υψηλές θερμοκρασίες που επικρατούν τόσο την ημέρα όσο και την νύκτα στην τροπική ζώνη. Αρέσκονται επίσης στις σταθερές φωτοπεριόδους που τους παρέχει η τροπική ζώνη. Η τρίτη κατηγορία είναι οι εύκρατες ποικιλίες. Οι ποικιλίες αυτές αναπτύσσονται άριστα στις ζεστές ημέρες των εύκρατων περιοχών χωρίς να έχουν πρόβλημα με τις σχετικά δροσερές νύκτες. Και φυσικά δεν επηρεάζονται από την μεταβολή της φωτοπεριόδου κατά την διάρκεια του έτους.

Οι περιβαλλοντικές απαιτήσεις της καλλιέργειας του σόργου, σε οποιανδήποτε εκ των τριών παραπάνω ποικιλιών ανήκει, μπορούν να διακριθούν σε απαιτήσεις θερμοκρασίας, φωτοπεριόδου, ηλιακής ακτινοβολίας, βροχόπτωσης και ειδικότερα υγρασίας, και εδαφολογικές. Στις επόμενες ενότητες γίνεται αναφορά σε αυτές τις απαιτήσεις (Παπακώστα – Τασοπούλου 2012, Office of the Gene Technology Regulator 2017).

### 1.5.1 Θερμοκρασία

Το σόργο γενικά απαιτεί υψηλές θερμοκρασίες κατά την καλλιεργητική του περίοδο. Για αυτό καλλιεργείται όλο τον χρόνο στις τροπικές περιοχές όπου υπάρχουν υψηλές θερμοκρασίες. Αντίθετα στις εύκρατες περιοχές καλλιεργείται από την άνοιξη έως το φθινόπωρο. Για να βλαστήσει το σόργο απαιτεί ελάχιστες θερμοκρασίες από 8 έως 10°C. Κατά την ανάπτυξη του φυτού απαιτούνται θερμοκρασίες από 20 έως 35°C, αναλόγως της ποικιλίας του φυτού και του σταδίου ανάπτυξής του. Οι ημεροβαθμοί που απαιτούνται για να ωριμάσει κάθε ποικιλία επίσης διαφέρουν και εξαρτώνται από τον βιολογικό κύκλο της ποικιλίας.

Ποικιλίες με μικρό βιολογικό κύκλο απαιτούν μόλις 1800 βαθμοημέρες για να ωριμάσουν ενώ ποικιλίες με μεγάλο βιολογικό κύκλο μπορούν να φτάσουν έως και τις 2500 βαθμοημέρες (Guiying, Weibin, et. al 2004, Παπακώστα – Τασοπούλου 2012, Office of the Gene Technology Regulator 2017).

### **1.5.2 Φωτοπερίοδος**

Το σόργο είναι φυτό που απαιτεί μικρές φωτοπερίόδους (μεγάλη διάρκεια νύκτας, μικρή διάρκεια ημέρας). Η άνθιση άλλωστε γίνεται κατά την νυκτερινή περίοδο ή τις πρώτες πρωινές ώρες. Συνήθως μια μεγάλη φωτοπερίοδος ευνοεί την βλαστική ανάπτυξη του φυτού ενώ μικρή φωτοπερίοδος ευνοεί την άνθιση του φυτού. Μια φωτοπερίοδος 14 ωρών είναι ικανοποιητική για την άνθηση. Οι διάφορες ποικιλίες του σόργου που έχουν αναπτυχθεί απαιτούν διαφορετικές φωτοπερίόδους.

Στις τροπικές περιοχές όπου πρωτοεμφανίστηκε το σόργο, σε περιοχές δηλαδή με μικρό γεωγραφικό πλάτος, όπου η φωτοπερίοδος είναι μικρή, ευνοείται η άνθηση του σόργου και αποκτούν πλεονέκτημα καρποδοτικές ποικιλίες σόργου. Αντίθετα, σε περιοχές με μεγάλο γεωγραφικό πλάτος όπως οι εύκρατες ζώνες του πλανήτη (μεταξύ των οποίων και η Ευρώπη, την Ελλάδα συμπεριλαμβανομένης) ευνοείται η βλαστική ανάπτυξη του σόργου και επικρατούν ποικιλίες χορτοδοτικές ή ποικιλίες γλυκού σόργου, ποικιλίες που καλλιεργούνται για την βιομάζα και όχι για τον καρπό τους (Guiying, Weibin, et. al 2004, Παπακώστα – Τασοπούλου 2012).

### **1.5.3 Ηλιακή ακτινοβολία**

Το σόργο ανήκει στην κατηγορία των φυτών C4 και μάλιστα στα μονοκοτυλήδονα. Αυτό συνεπάγεται ότι έχει μεγάλη φωτοσυνθετική ικανότητα εξαιτίας της διάταξης των κυττάρων των φύλων τους (η ανάλυση της οποίας ξεφεύγει των στόχων της παρούσας εργασίας). Το σόργο λοιπόν θεωρείται ως ένα από τα πιο αποδοτικά φωτοσυνθετικά φυτά του πλανήτη. Φωτοσυνθέτει με ρυθμό έως και 100 mg CO<sub>2</sub>/dm<sup>2</sup>h σε θερμοκρασίες μεταξύ 20 και 30°C (άριστες θερμοκρασίες φωτοσύνθεσης). Ο υψηλός φωτοσυνθετικός του ρυθμός οδηγεί σε μεγάλη παραγωγή βιομάζας, στοιχείο ιδιαίτερα ευνοϊκό για τις ποικιλίες σόργου που καλλιεργούνται με σκοπό την εκμετάλλευση της βιομάζας τους.

Το σόργο εμφανίζει ένα εξαιρετικό ποσοστό (για φυτό πάντα) μετατροπής της προσπίπτουσας σε αυτό ηλιακής ενέργειας σε βιομάζα το οποίο φτάνει το 2,3%. Ποικιλίες έντονης ανάπτυξης που χρησιμοποιούνται για παραγωγή βιομάζας όπως το γλυκό σόργο φτάνουν στο σημείο να παράγουν έως και 5 γραμμάρια ξηρής βιομάζας ανά MJ φωτοσυνθετικά ενεργούς ακτινοβολίας (PAR). Ενδεικτικά, άλλα ενεργειακά φυτά όπως ο ηλιάνθος φτάνουν μόλις τα 2,78 γραμμάρια ξηρής βιομάζας ανά MJ φωτοσυνθετικά ενεργούς ακτινοβολίας, αριθμός που είναι σχεδόν ο μισός σε σχέση με το σόργο. Ταυτόχρονα στο σόργο παράγονται ημερησίως σάκχαρα από την φωτοσύνθεση τα οποία αντιστοιχούν σε 4,8 λίτρα αιθανόλης όταν για παράδειγμα στο καλαμπόκι αντιστοιχούν σε 1,5 λίτρα, στο ένα τρίτο της ποσότητας του σόργου (Παπακώστα – Τασοπούλου 2012).

#### **1.5.4 Βροχόπτωση και υγρασία**

Το σόργο όπως ήδη έχει προαναφερθεί είναι πολύ ανθεκτικό σε μεγάλες περιόδους ξηρασίας εξαιτίας του πολύ πλούσιου και βαθιού του ριζικού συστήματος. Έτσι ευδοκίμει ακόμη και σε περιοχές με μέσο ετήσιο ύψος βροχής της τάξεως των 350mm. Εάν η βροχόπτωση πάντως είναι μικρότερη των 500mm και η άρδευση είναι προϋπόθεση για την λήψη ικανοποιητικής παραγωγής. Εάν η βροχόπτωση είναι μεγαλύτερη των 700mm δεν απαιτείται καθόλου άρδευση. Σε ενδιάμεσες βροχοπτώσεις είναι στην ευχέρεια του καλλιεργητή αν θα αρδεύσει το σόργο ώστε να βελτιώσει την απόδοσή του.

Το σόργο όμως, πέραν της μεγάλης αντοχής του στην ξηρασία έχει ακόμη ένα πολύ σημαντικό χαρακτηριστικό. Σε περιπτώσεις περιστασιακής έλλειψης υγρασίας και άρδευσης, ακόμη και σε μηδενικά επίπεδα, το φυτό δεν μαραίνεται αλλά πέφτει σε λήθαργο (αναστολή ανάπτυξης). Με τη εμφάνιση υγρασίας, είτε με επόμενη άρδευση είτε με βροχόπτωση, το φυτό βγαίνει από τον λήθαργο και συνεχίζει την ανάπτυξή του.

Τέλος, το σόργο, πέραν της αντοχής του σε έντονες ξηρασίες, παρουσιάζει και μεγάλη αντοχή σε περίσσεια νερού εξαιτίας της «υδρομόνωσης» που έχει ο βλαστός του. Έτσι αντέχει σε περιόδους με έντονες βροχοπτώσεις και στην εμφάνιση πλημμυρικών φαινομένων τα οποία δεν οδηγούν σε καταστροφή της καλλιέργειας. Για αυτό τον λόγο άλλωστε δεν έχει πρόβλημα με το τροπικό κλίμα των έντονων βροχοπτώσεων (Guiying, Weibin, et. al 2004, Habyarimana, Bonardi, et. al 2004, Παπακώστα – Τασοπούλου 2012, Office of the Gene Technology Regulator 2017).

### **1.5.5 Εδαφολογικές απαιτήσεις**

Το σόργο δεν έχει ιδιαίτερες εδαφολογικές απαιτήσεις. Είναι ένα φυτό το οποίο προσαρμόζεται πολύ εύκολα σε διάφορους τύπους και σε μεγάλο εύρος εδαφών. Καλλιεργείται από ελαφρά αμμώδη εδάφη σε έως και βαριά αργιλώδη εδάφη. Σίγουρα όμως το σόργο δεν συμπαθεί τα ψυχρά και πολύ υγρά εδάφη. Συνήθως οι μεγαλύτερες αποδόσεις εμφανίζονται στα εδάφη μέσης σύστασης, στα γόνιμα εδάφη. Σε εδάφη με pH από 5 έως και 8,5 μπορεί να καλλιεργηθεί το σόργο αλλά η ιδανική σύσταση του εδάφους είναι pH από 6,2 έως 7,8. Τέλος το σόργο εμφανίζει αντοχές και μπορεί να καλλιεργηθεί σε εδάφη με διάφορες συστάσεις. Αντέχει σε αλατούχα και αλκαλικά εδάφη. Αφού ξεπεράσει το στάδιο της ανάπτυξης δεν έχει κανένα πρόβλημα ούτε με τα αλατούχα εδάφη ούτε με εδάφη πλούσια σε ανθρακικό νάτριο (Habyarimana, Bonardi, et. al 2004, Παπακώστα – Τασοπούλου 2012, Office of the Gene Technology Regulator 2017).

## **1.6 Καλλιεργητικές τεχνικές**

Η καλλιέργεια του σόργου απαιτεί την ύπαρξη σειράς καλλιεργητικών τεχνικών ώστε να είναι αποδοτική. Οι τεχνικές αυτές έχουν να κάνουν με την προετοιμασία του εδάφους πριν την σπορά, την σπορά, άρδευση, την λίπανση, την ζιζανιοκτονία, την προστασία από ασθένειες και εχθρούς και την συγκομιδή.

### **1.6.1 Προετοιμασία εδάφους**

Το σόργο είναι ένα φυτό το οποίο προσαρμόζεται εύκολα σε μεγάλες ποικιλίες εδάφους όπως έχει αναφερθεί στην προηγούμενη ενότητα. Παρόλα αυτά προτιμάει τα βαθιά εδάφη τα οποία είναι καλής δομής και πλούσια σε οργανική ουσία. Τα θέλει να είναι καλοστραγγισμένα αλλά παρόλα αυτά να έχουν υψηλή υδατοχωρητικότητα. Αφού επιλεγεί το σωστό έδαφος θα πρέπει να προετοιμαστεί πριν την καλλιέργεια.

Η προετοιμασία γίνεται τον χειμώνα, την άνοιξη και πριν την σπορά και απαιτείται για την προετοιμασία όργωμα. Ο σκοπός της προετοιμασίας του εδάφους είναι η βελτίωση των ιδιοτήτων του γιατί με το όργωμα αυξάνεται ο αερισμός και το πορώδες του εδάφους. Επιπλέον καταστρέφονται τα ζιζάνια και με τον τρόπο αυτό αυξάνεται η υγρασία του αζώτου. Τέλος, με την προετοιμασία του εδάφους ενσωματώνονται με το έδαφος τα υπολείμματα της προηγούμενης καλλιέργειας κάτι που οδηγεί στην μείωση των ασθενειών και των εχθρών του σόργου πριν την σπορά. Ειδικά αν πριν την καλλιέργεια του σόργου προηγείται καλλιέργεια με

μεγάλο όγκο φυτικών υπολειμμάτων όπως το καλαμπόκι τότε είναι απολύτως απαραίτητο το χειμερινό όργωμα.

Πριν την σπορά απαιτείται ο λεπτοτεμαχισμός του εδάφους με την χρήση ελαφριού καλλιεργητή. Με αυτή την διαδικασία δημιουργείται η απαραίτητη σποροκλίση και αυξάνεται η υγρασία στο έδαφος ώστε να μπορέσει να αναπτυχθεί το νεαρό φυτάριο που θα προκύψει από την βλάστηση. Αυτή η διαδικασία αποφεύγεται μόνο σε αμμώδη εδάφη στα οποία ελλοχεύει ο κίνδυνος διάβρωσης του εδάφους από τους ανέμους. Η κατεργασία αυτή μπορεί να γίνει ταυτόχρονα με την σπορά αν υπάρχει μηχάνημα που μπορεί να υποστηρίξει την ταυτόχρονη δημιουργία λωρίδων και την σπορά.

Η επεξεργασία του εδάφους γίνεται σε βάθος περί τα 20 εκατοστά. Βέβαια το βάθος επεξεργασίας μεταβάλλεται αναλόγως του είδους του εδάφους. Ειδική προσοχή απαιτείται κατά την σπορά ποικιλιών σόργου το καλοκαίρι. Σε αυτή την περίπτωση η προετοιμασία του εδάφους δεν πρέπει να γίνεται σε πολύ μεγάλα βάθη γιατί η βαθιά κατεργασία του εδάφους οδηγεί σε αυξημένες απώλειες υγρασίας που έχει ως αποτέλεσμα των περιορισμό της βλαστικότητας των σπόρων. Σε περίπτωση σποράς σε εδάφη τα οποία συχνά δημιουργούν κρούστα προτιμάται η δημιουργία αναχωμάτων και η σπορά επ' αυτών (Guíying, Weibin, et. al 2004, Παπακώστα – Τασοπούλου 2012).

### **1.6.2 Σπορά**

Κατόπιν της προετοιμασίας του εδάφους ακολουθεί η σπορά του σόργου. Η πυκνότητα της σποράς καθορίζει και την πυκνότητα των φυτών της τελικής καλλιέργειας. Αυτό βέβαια επηρεάζεται από την ποικιλία, την βλαστικότητα του σπόρου, την ποιότητα και την υγρασία του εδάφους και το κλίμα. Η απαιτούμενη πυκνότητα των φυτών της καλλιέργειας είναι λοιπόν σημαντική για την πυκνότητα της σποράς. Άλλωστε η σωστή πυκνότητα των φυτών της καλλιέργειας εξασφαλίζει την βέλτιστη απόδοσή της. Σε εύφορα εδάφη, πλούσια σε υγρασία απαιτείται μεγάλη πυκνότητα καθώς υπάρχει επάρκεια νερού και θρεπτικών στοιχείων στο έδαφος ώστε να μεγαλώσουν όλα τα φυτά. Σε άγονα και ξηρά εδάφη όμως τα στοιχεία αυτά είναι μειωμένα οπότε και η πυκνότητα των φυτών πρέπει να είναι μικρή ώστε να επαρκέσουν τα στοιχεία του εδάφους για την ανάπτυξη των φυτών. Αντίστοιχα, σε ποικιλίες οι οποίες παρουσιάζουν έντονη ανάπτυξη αδελφιών απαιτείται μικρή πυκνότητα των φυτών ώστε να έχουν χώρο να αναπτυχθούν τα αδελφια. Αντιθέτως, ποικιλίες με μικρή ανάπτυξη αδελφιών η

πυκνότητα των φυτών μπορεί να είναι μεγαλύτερη. Τέλος, η μεγάλη πυκνότητα φύτευσης φυτών οδηγεί σε αύξηση του πλαγιάσματος των φυτών κάτι που εμποδίζει την ορθή τους ανάπτυξη. Έτσι ποικιλίες ευαίσθητες στο πλάγιασμα (συνήθως ποικιλίες με ψηλά φυτά όπως το γλυκό σόργο) πρέπει να φυτεύονται με μικρότερη πυκνότητα φυτών. Επίσης το ίδιο πρέπει να γίνεται σε περιοχές με έντονους ανέμους οι οποίοι πλαγιάζουν τα φυτά.

Η πυκνότητα της σποράς όμως εξαρτάται και από την βλαστικότητα. Έτσι σπορές οι οποίες γίνονται νωρίς, σε χαμηλότερες θερμοκρασίες περιβάλλοντος έχουν μικρότερη βλαστικότητα σπόρου άρα απαιτούν μεγαλύτερη πυκνότητα φύτευσης ώστε να εξασφαλιστεί η έκπτυξη ικανού αριθμού φυταρίων. Αντίθετα, σπορές οι οποίες γίνονται το καλοκαίρι απαιτούν μικρότερο αριθμό σπόρων για να αναπτυχθούν τα ίδια φυτάρια.

Τέλος, ο αριθμός των σπόρων κατά την σπορά εξαρτάται και από το είδος της καλλιέργειας. Εάν η καλλιέργεια είναι αρδευόμενη, υπάρχει δηλαδή μεγαλύτερη διαθέσιμη ποσότητα υγρασίας, τότε μπορεί να γίνει πυκνή σπορά. Εάν η καλλιέργεια είναι ξηρική τότε η σπορά υποχρεωτικά πρέπει να είναι πιο αραιή ώστε να μπορούν να αναπτυχθούν τα φυτά. Γενικά απαιτούνται 2 με 2,5 κιλά σπόρων ανά στρέμμα σε αρδευόμενες καλλιέργειας και λιγότερο από 1 κιλό σπόρου ανά στρέμμα σε ξηρικές καλλιέργειες.

Οι αποστάσεις φύτευσης του σόργου κυμαίνονται αναλόγως της ποικιλίας και των χαρακτηριστικών της, αναλόγως της διαθέσιμης υγρασίας του εδάφους και αναλόγως του τύπου του εδάφους. Συνηθέστερα, το σόργο φυτεύεται σε γραμμές οι οποίες απέχουν μεταξύ τους από 75 εκατοστά έως ένα μέτρο. Οι αποστάσεις των φυτών στην γραμμή σποράς κυμαίνονται από 15 έως και 30 εκατοστά.

Η σπορά πλέον γίνεται μηχανικά με σπαρτικές μηχανές μικρών σιτηρών. Σε λιγότερο προηγμένες χώρες ακόμη η σπορά γίνεται με το χέρι. Στο τέλος της παραγράφου βλέπουμε την μηχανική σπορά σόργου. Κατά την σπορά το βάθος σποράς ρυθμίζεται μεταξύ 3 και 6 εκατοστών αναλόγως της εποχής σποράς. Σπορές ανοιξιάτικες γίνονται σε μικρότερα βάθη και σπορές καλοκαιρινές γίνονται σε όψιμες σπορές και σε σπορές σε ελαφρά και αμμώδη εδάφη. Πρέπει να αποφεύγεται η πολύ ρηχή σπορά γιατί οδηγεί σε μειωμένη ανάπτυξη του ριζικού συστήματος του φυτού το οποίο κατά συνέπεια οδηγεί σε μεγαλύτερο πλάγιασμα. Πρέπει να αποφεύγεται όμως και η πολύ βαθιά σπορά γιατί οδηγεί σε χαμηλότερη βλαστικότητα των σπόρων και τα φυτάρια που αναπτύσσονται είναι καχεκτικά.



**Εικόνα 8: Μηχανική σπορά σόργου<sup>5</sup>**

Η εποχή της σποράς είναι πολύ σημαντική για την σωστή βλάστηση. Γενικά το σόργο φυτεύεται όλο τον χρόνο στις τροπικές περιοχές και η επιλογή της εποχής σποράς είναι τέτοια ώστε να μην συμπίπτει με τις περιόδους των βροχοπτώσεων. Αντίθετα στις εύκρατες περιοχές η σπορά γίνεται μόνο την άνοιξη ώστε να υπάρχει η επαρκής υγρασία στο έδαφος για την έκπτυξη των φυτών.

Οι κυριότεροι παράγοντες που καθορίζουν την εποχή σποράς είναι η υγρασία του εδάφους και η θερμοκρασία καθώς είναι οι δύο σημαντικότεροι παράγοντες που επηρεάζουν την βλαστικότητα των σπόρων. Η απαιτούμενη υγρασία του εδάφους για σωστή βλάστηση είναι περί το 20%. Η θερμοκρασία στην οποία φυτρώνει το σόργο είναι οποιαδήποτε θερμοκρασία μεγαλύτερη των 8 – 10 βαθμών κελσίου αναλόγως της ποικιλίας. Βέβαια οι χαμηλές θερμοκρασίες οδηγούν σε καθυστέρηση της έκπτυξης του φυτού. Αυτό έχει ως συνέπεια πολλές φορές την καταστροφή αριθμού σπόρων ή και μικρών φυταρίων από εντομολογικές προσβολές ή από μύκητες εδάφους. Αντίθετα, η έκπτυξη του φυτού είναι πολύ πιο σύντομη σε άριστες θερμοκρασίες φύτευσης οι οποίες κυμαίνονται μεταξύ 20 και 30 βαθμών κελσίου. Παρόλα αυτά η σπορά δεν πρέπει να καθυστερεί πολύ ώστε να αυξηθεί η θερμοκρασία γιατί αυτό οδηγεί σε μείωση στην υγρασία του εδάφους με αποτέλεσμα εν τέλει την μικρότερη βλαστικότητα. Επίσης πολύ υψηλές θερμοκρασίες οδηγούν σε γρήγορη ανάπτυξη των φυταρίων με αποτέλεσμα την δημιουργία ψηλών φυτών με λεπτούς βλαστούς τα οποία έχουν μικρότερη απόδοση βιομάζας. Συνήθως η σπορά του σόργου γίνεται εν τέλει όταν η θερμοκρασία του εδάφους είναι περί τους 15 βαθμούς κελσίου σε βάθος 10 εκατοστών.

Πριν την σπορά είναι απαραίτητη η διαλογή των σπόρων έτσι ώστε να απομακρυνθούν σπόροι μικροί, σπασμένοι, προσβεβλημένοι από ασθένειες και από εχθρούς. Αυτό έχει ως αποτέλεσμα την απομάκρυνση σπόρων που δεν θα βλαστήσουν έτσι οδηγεί σε αύξηση της βλαστικότητας στην καλλιέργεια. Επίσης είναι απαραίτητη η απολύμανση των σπόρων ώστε να μειώνονται οι προσβολές από ασθένειες και εχθρούς. Ταυτόχρονα είναι απαραίτητη η ξήρανση των σπόρων. Αυτό οδηγεί στην εξάλειψη του λήθαργου των σπόρων και οδηγεί στην πρόωμη ωρίμανσή τους. Η ξήρανση πρέπει να γίνεται σε καλά αεριζόμενο χώρο με την πρόσπτωση σε αυτούς της ηλιακής ακτινοβολίας. Πέραν της ξήρανσης, η ηλιακή ακτινοβολία αυξάνει την διαπερατότητα του σπόρου σε νερό και οξυγόνο κάτι που οδηγεί σε αύξηση της βλαστικότητας των σπόρων. Χαρακτηριστικά η ηλιοξήρανση μπορεί να δώσει αυξημένη βλαστικότητα σπόρων έως και 10% ενώ αυξάνει και την ταχύτητα έκπτυξης του φυταρίου από 1 έως και 2 ημέρες. Τέλος, απαραίτητα πρέπει να γίνονται δοκιμές βλαστικότητας σε εργαστήριο ώστε να εξασφαλιστεί υψηλό ποσοστό βλαστικότητας. Πρέπει να επιλέγονται σπόροι οι οποίοι κατά τις δοκιμές σε εργαστήριο να εμφανίζουν βλαστικότητα πέραν του 85%. Αυτό είναι πολύ σημαντικό γιατί οι ίδιοι σπόροι όταν θα φυτευτούν θα βλαστάνουν κατά 60 με 70% καθώς η βλαστικότητα στην καλλιέργεια είναι πάντα μικρότερη από την βλαστικότητα στο εργαστήριο.

Το σόργο μπορεί να σπαρεί σε προγράμματα αμειψισποράς. Συνήθως προτιμάται αμειψισπορά με ψυχανθή καθώς το σόργο, εξαιτίας του μεγάλου ριζικού του συστήματος εξαντλεί το έδαφος με αποτέλεσμα να χρειάζεται ο εκ νέου εμπλουτισμός του. Τα ψυχανθή με τις μικρές απαιτήσεις σε θρεπτικά στοιχεία από το έδαφος και με την διαδικασία της αζωτοδέσμευσης που εκτελούν, είναι ιδανικά για να εμπλουτίσουν ξανά το έδαφος (Guiying, Weibin, et. al 2004, Habyarimana, Bonardi, et. al 2004, Παπακώστα – Τασοπούλου 2012)

### **1.6.3 Λίπανση**

Το σόργο είναι ένα φυτό που απαιτεί και λαμβάνει από το έδαφος μεγάλες ποσότητες θρεπτικών στοιχείων. Έτσι η λίπανση του εδάφους υποβοηθάει την ανάπτυξη του φυτού. Η καλλιέργεια του σόργου απαιτεί αζωτούχο και φωσφορική λίπανση. Αναλόγως της ποιότητας του εδάφους μεταβάλλονται οι απαιτήσεις σε λίπανση όμως σε γενικές γραμμές το σόργο απαιτείται περίπου 5 με 7 κιλά αζώτου ανά στρέμμα και 5 κιλά φωσφόρου. Η λίπανση είναι καλό να γίνεται σε μια δόση πριν ή μετά την σπορά σε πλούσια εδάφη. Αντίθετα, σε φτωχά, ελαφρά εδάφη προτιμάται η λίπανση σε δύο δόσεις, μια πριν την σπορά και μια ένα μήνα μετά την πρώτη. Με αυτό τον τρόπο παραμένει συνεχώς εμπλουτισμένο το έδαφος. Ειδικότερα για



την λίπανση με άζωτο στο σόργο θα αφιερωθεί μια ολόκληρη ενότητα, η επόμενη, καθώς είναι πολύ σημαντικό στοιχείο στην βελτίωση της παραγωγής (Guiying, Weibin, et. al 2004, Παπακώστα – Τασοπούλου 2012).

#### **1.6.4 Άρδευση**

Το σόργο μπορεί να χρησιμοποιηθεί είτε ως αρδευόμενη είτε ως ξηρική καλλιέργεια. Είναι ένα φυτό ανθεκτικό στην ξηρασία με αποτέλεσμα να μπορεί να καλλιεργηθεί σε ημίξηρες περιοχές. Παρόλα αυτά η άρδευση οδηγεί σε πολύ μεγαλύτερες στρεμματικές αποδόσεις, σε σημείο που να θεωρείται απαραίτητη ειδικά στις μεσογειακές χώρες όπου επικρατούν μεγάλες ξηρικές περιόδους το καλοκαίρι. Συνήθως ξεκινάει η άρδευση του σόργου λίγο μετά την σπορά και συνεχίζεται μέχρι την έναρξη της ωρίμανσης του φυτού. Στην Ελλάδα απαιτούνται περίπου 600 κυβικά μέτρα νερού ανά στρέμμα καλλιέργειας στο σύνολο της αρδευτικής περιόδου του σόργου.

Η άρδευση του σόργου μπορεί να γίνει είτε με κανόνι είτε με στάγδην άρδευση. Στην πρώτη περίπτωση, κατά την σπορά του σόργου πρέπει να προνοηθεί ώστε να παραμείνουν εντός της καλλιέργειας διάδρομοι στους οποίους μπορεί να κινηθεί το κανόνι ώστε να αρδεύει την καλλιέργεια. Στην δεύτερη περίπτωση θα πρέπει να ληφθεί υπόψη το ότι εάν τα φυτά πλαγιάζουν δεν θα μπορούν να εξαχθούν οι σταλακτηφόροι σωλήνες από την καλλιέργεια πριν την συγκομιδή. Έτσι πρέπει να επιλέγεται σε ποικιλίες με μικρό πλάγισμα (Habyarimana, Bonardi, et. al 2004, Παπακώστα – Τασοπούλου 2012).

#### **1.6.5 Ζιζανιοκτονία**

Το σόργο είναι ένα φυτό με πολύ έντονη ανάπτυξη έτσι είναι ισχυρός ανταγωνιστής των ζιζανίων με αποτέλεσμα πολύ σπάνια να υφίσταται σοβαρές ζημιές από τα ζιζάνια. Όταν αναπτυχθεί πλήρως αντεπεξέρχεται σχεδόν σε όλα τα ζιζάνια. Αντιθέτως, σε νεαρή ηλικία, τον πρώτο μήνα της βλάστησής του, δεν μπορεί να ανταγωνιστεί τα ζιζάνια έτσι απαιτείται ζιζανιοκτονία είτε με χρήση ζιζανιοκτόνων είτε με σκάλισμα. Βέβαια τα κέρδη από την καλλιέργεια του σόργου είναι μικρά έτσι πρέπει όσο είναι δυνατό να αποφεύγεται η ζιζανιοκτονία γιατί περιορίζει περισσότερο τα περιθώρια κέρδους της καλλιέργειας (Guiying, Weibin, et. al 2004, Παπακώστα – Τασοπούλου 2012, Office of the Gene Technology Regulator 2017).

### **1.6.6 Εχθροί και ασθένειες**

Το σόργο προσβάλλεται από τους ίδιους εχθρούς και τις ίδιες ασθένειες από τις οποίες προσβάλλεται το καλαμπόκι και το ζαχαροκάλαμο. Η εμφάνισή τους γίνεται λοιπόν σε περιοχές που καλλιεργούνται καλαμπόκι και ζαχαροκάλαμο. Σε περιοχές στις οποίες καλλιεργείται μόνο το σόργο σπάνια εμφανίζονται ασθένειες. Οι πιο σημαντικοί εχθροί του είναι το πράσινο σκουλήκι, οι σιδηροσκώληκες και η σεσάμια. Η σεσάμια είναι ένας εχθρός όπου η προνύμφη εισβάλλει στο στέλεχος του φυτού οδηγώντας το σε τοπική νέκρωση και εν συνεχεία σε σπάσιμο του βλαστού. Η προσβολή του σόργου από εχθρούς εξαρτάται από τις καιρικές συνθήκες και από τις γειτονικές καλλιέργειες που υπάρχουν.

Οι ασθένειες των φυτών του σόργου που συναντούνται συνήθως είναι οι τήξεις, το λιώσιμο των νεαρών φυταρίων, οι οποίες εμφανίζονται σε χαμηλές θερμοκρασίες, οι σηψιριζίες, το σάπισμα των ριζών οι οποίες οδηγούν σε νανισμό και ακόμη και σε θάνατο των φυτών και οι σήψεις των φυτών που οδηγούν σε έντονο πλάγιασμα και σε πρόωμη ωρίμανσή τους (Guiying, Weibin, et. al 2004, Παπακώστα – Τασοπούλου 2012, Office of the Gene Technology Regulator 2017).

### **1.6.7 Συγκομιδή**

Η συγκομιδή του σόργου πρέπει να γίνει την ορθή στιγμή, δηλαδή την στιγμή όπου η συσσώρευση βιομάζας και σακχάρων φτάσει στην μέγιστή τιμή της για τις χορτοδοτικές ποικιλίες και τις ποικιλίες παραγωγής ζάχαρης και βιοκαυσίμου. Συνήθως ο χρόνος αυτός είναι αμέσως μετά την ανάπτυξη της ταξιανθίας γιατί μετά την άνθηση το φυτό εμφανίζει την μεγαλύτερη συγκέντρωση σακχάρων. Οι ποικιλίες του σόργου και οι κλιματικές συνθήκες που επικρατούν μεταβάλλουν την ημερομηνία συγκομιδής γιατί μεταβάλλουν την ημερομηνία άνθισης του φυτού. Αντίθετα, στις ποικιλίες παραγωγής καρπού ο σωστός χρόνος συγκομιδής είναι μετά την ωρίμανση των σπόρων. Το ινώδες σόργο που χρησιμοποιείται για παραγωγή βιοκαυσίμου ως ξηρό συσσωμάτωμα (πέλλετ ή μπριγκέτα) πρέπει να συγκομιστεί όταν η υγρασία του είναι πολύ χαμηλή, μικρότερη του 15%. Εναλλακτικά μπορεί να συγκομιστεί χλωρό και εν συνεχεία να ακολουθήσει φυσική ή τεχνητή ξήρασή του.

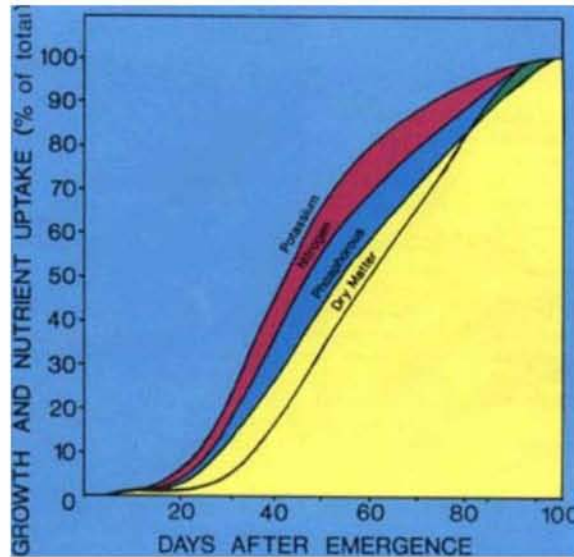
Ο τρόπος συγκομιδής επίσης διαφέρει αναλόγως του είδους του φυτού γιατί σε κάθε περίπτωση συγκομίζονται διαφορετικά στοιχεία του φυτού. Έτσι στο χορτοδοτικό σόργο συγκομίζεται ολόκληρο το υπέργειο τμήμα του φυτού, στο γλυκό σόργο συγκομίζεται και πάλι

ολόκληρο το υπέργειο τμήμα του φυτού και κυρίως οι μίσχοι στους οποίους συγκεντρώνονται τα σάκχαρα, στο σόργο σαρωθροποιίας συγκομίζεται η ταξιανθία και στο καρποδοτικό συγκομίζονται οι καρποί. Συνήθως στις μεσογειακές χώρες η συγκομιδή του σόργου γίνεται από τις αρχές Σεπτεμβρίου έως και τα μέσα Νοεμβρίου.

Η τεχνική συγκομιδής διαφέρει από είδος σε είδος. Στο γλυκό σόργο όπου απαραίτητος είναι ο χυμός του σόργου ο οποίος μάλιστα πρέπει να ληφθεί αμέσως μετά την συγκομιδή αφού καθυστέρηση 1 – 2 ημερών μειώνει στο ήμισυ τα σάκχαρα, η συγκομιδή γίνεται μηχανικά με μηχάνημα το οποίο συγκομίζει και ταυτόχρονα εξάγει τον χυμό του σόργου. Παλαιότερα που δεν ήταν διαθέσιμο αυτό το μηχάνημα η συγκομιδή γινόταν με ενσιρωτικές μηχανές αλλά λόγω του τεμαχισμού των βλαστών μειωνόταν η λαμβανόμενη ποσότητα σε σάκχαρα έως και το μισό (Guiying, Weibin, et. al 2004, Παπακώστα – Τασοπούλου 2012)

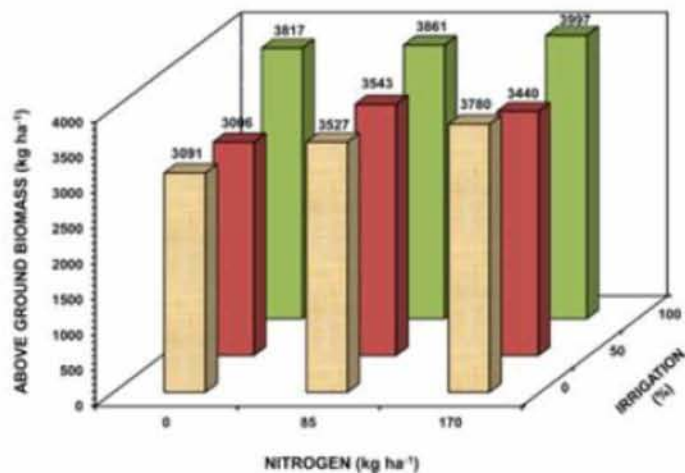
### **1.7 Αζωτούχος λίπανση**

Το σόργο, όπως και η πλειονότητα των σιτηρών, απαιτεί αζωτούχο λίπανση. Η αζωτούχος λίπανση είναι ένα πολύ σημαντικό μερίδιο των ενεργειακών εισροών που δέχεται μια καλλιέργεια. Στο σόργο η αζωτούχος λίπανση ξεπερνάει το 1/4 των ενεργειακών εισροών σε ορισμένες ποικιλίες. Ειδικά στο γλυκό και στο ινώδες σόργο που χρησιμοποιούνται για την παραγωγή βιοκαυσίμου, φτάνει έως το 27% των συνολικών ενεργειακών εισροών. Οι απαιτήσεις για λήψη αζώτου από το φυτό υπάρχουν στο σύνολο της διάρκειας ζωής του. Κυρίως όμως εντοπίζονται μετά την 30<sup>η</sup> ημέρα στο στάδιο ανάπτυξης του βλαστού του σόργου, στο στάδιο κατά το οποίο παράγεται και η μεγαλύτερη ποσότητα βιομάζας. Στην επόμενη εικόνα, με το ροζ χρώμα φαίνονται οι απαιτήσεις της καλλιέργειας σόργου σε σχέση με τις ημέρες από την βλάστησή του.



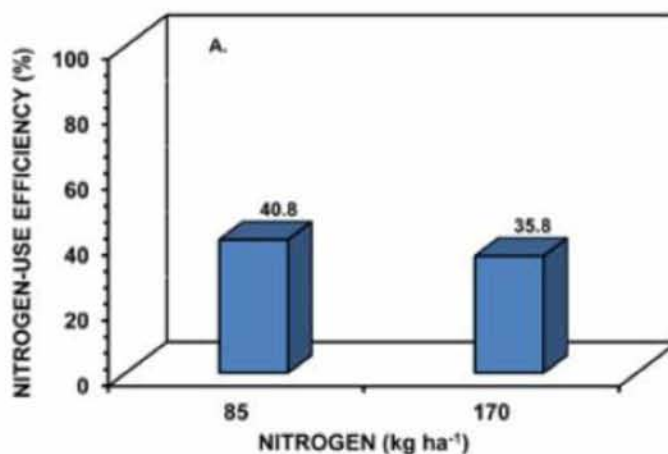
Εικόνα 9: Απαιτήσεις λίπανσης σε σχέση με τις ημέρες από την βλάστηση <sup>8</sup>

Το σόργο, εξαιτίας του πυκνού του ριζικού συστήματος έχει την δυνατότητα να λαμβάνει σχετικά μεγάλες ποσότητες αζώτου από το έδαφος. Συγκεκριμένα μπορεί να λαμβάνει έως και 9,7 kg αζώτου ανά στρέμμα από το έδαφος. Αυτό περιορίζει τις ανάγκες της αζωτούχου λίπανσης των καλλιεργειών του σόργου. Μια λίπανση της τάξεως των 5 με 10 kg αζώτου ανά στρέμμα θεωρείται συνήθως επαρκής. Υψηλότερες ποσότητες μπορούν να χρησιμοποιηθούν μόνο αν μετά από ανάλυση εδάφους προκύψουν πολύ χαμηλές ποσότητες αζώτου ή καλλιεργείτε σε φτωχά εδάφη όπως για παράδειγμα τα αμμώδη εδάφη. Σε αυτή την περίπτωση η ποσότητα αζώτου μπορεί να φτάσει και τα 15 kg ανά στρέμμα. Σύμφωνα με μελέτες που έγιναν σε ποικιλίες γλυκού σόργου παρατηρήθηκε ότι λίπανση με χρήση περισσότερων από 12 kg αζώτου ανά στρέμμα δεν επιφέρει επιπλέον κέρδη βιομάζας. Επίσης έδειξαν ότι λιπάνσεις με ποσότητες από 6 έως 12 kg αζώτου έχουν περίπου το ίδιο αποτέλεσμα, η αύξηση της βιομάζας είναι μικρή. Αντίθετα όμως η αύξηση της βιομάζας με αυτές τις ποσότητες λίπανσης είναι πολύ μεγάλη σε σύγκριση με την βιομάζα των φυτών σε μηδενική λίπανση ή με μικρές ποσότητες αζώτου, μικρότερες από 5 kg ανά στρέμμα. Επίσης μελέτες έδειξαν ότι είναι αυξημένη η αποτελεσματικότητα της αζωτούχου λίπανσης με νιτρικό άζωτο. Σε αυτή την περίπτωση η απόδοση είναι 1,4 έως 1,7 μεγαλύτερη σε σχέση με την αζωτούχο λίπανση με χρήση αμμωνιακού αζώτου ή αζώτου ουρίας. Στην επόμενη εικόνα φαίνεται η παραγωγή βιομάζας σε συνδυασμό με την αζωτούχο λίπανση και την άρδευση. Παρατηρείται ότι όσο μικρότερη είναι η άρδευση τόσο πιο απαραίτητη είναι η αζωτούχος λίπανση για την αύξηση της βιομάζας του σόργου.



Εικόνα 10: Μεταβολή της βιομάζας του σόργου αναλόγως της αζωτούχου λίπανσης και της άρδευσης <sup>11</sup>

Η αζωτούχος λίπανση που γίνεται στις καλλιέργειες του σόργου εκμεταλλεύεται από το ίδιο το σόργο μόνο κατά το ήμισυ. Οι υπόλοιπες ποσότητες χάνονται είτε λόγω διαφυγής στην ατμόσφαιρα είτε μέσω της έκπλυσης, της διάβρωσης του εδάφους και της επιφανειακής απορροής εξαιτίας των βροχοπτώσεων ή της άρδευσης της καλλιέργειας. Στις καλλιέργειες του σόργου έχουν υπολογιστεί πως οι απώλειες επί της συνολικής αζωτούχου λίπανσης οφείλονται κατά 15% λόγω της έκπλυσης του εδάφους, κατά 15% λόγω διαφυγής στην ατμόσφαιρα (με το 5% περίπου να οφείλεται στην απονιτροποίηση), κατά 10% λόγω διάβρωσης του εδάφους και κατά 10% λόγω επιφανειακής απορροής υδάτων. Στο επόμενο διάγραμμα φαίνεται η αποδοτικότητα της αζωτούχου λίπανσης δηλαδή το ποσοστό της αζωτούχου λίπανσης που φτάνει στην καλλιέργεια. Παρατηρούμε ότι όσο υψηλότερη είναι η λίπανση τόσο μεγαλύτερες είναι οι απώλειες.



Εικόνα 11: Αζωτούχος λίπανση που καταλήγει στα φυτά του σόργου <sup>11</sup>

Η ύπαρξη της αζωτούχου λίπανσης οδηγεί σε αύξηση της απόδοσης της καλλιέργειας του σόργου σε βιομάζα η οποία οφείλεται τόσο στην αύξηση της φυλλικής επιφάνειας του φυτού όσο και στην επιμήκυνση της χρονικής περιόδου κατά την οποία το φυτό φωτοσυνθέτει. Το δεύτερο καθιστά τα φυτά φωτοσυνθετικά αποτελεσματικότερα με αποτέλεσμα να εκμεταλλεύονται περισσότερη ηλιακή ακτινοβολία και να παράγουν περισσότερη βιομάζα.

Η αζωτούχος λίπανση όμως έχει και μερικά μειονεκτήματα. Το μεγαλύτερο είναι η αύξηση του πλαγιάσματος των φυτών εξαιτίας της αύξησης της φυλλικής τους επιφάνειας. Αυτό έχει ως τελικό αποτέλεσμα την αύξηση των βλαστών που σπάνε εξαιτίας του πλαγιάσματος του φυτού. Έχει παρατηρηθεί ότι σε μερικές ποικιλίες που έχουν ούτως ή άλλως μεγάλο ποσοστό πλαγιάσματος η χρήση αζωτούχου λίπανσης μπορεί να οδηγήσει ακόμη και σε διπλασιασμό των σπασμένων βλαστών εξαιτίας του πλαγιάσματος.

Επειδή το σόργο λαμβάνει από το έδαφος μεγάλες ποσότητες αζώτου ένα δεύτερο μειονέκτημα είναι ότι εξαντλεί το έδαφος με τα αποτελέσματα αυτά να φαίνονται στην επόμενη καλλιέργεια η οποία θα έχει μειωμένη απόδοση. Για αυτό τον λόγο οι καλλιέργειες που διαδέχονται το σόργο, ειδικά αν είναι πάλι καλλιέργειες σόργου, θα πρέπει να δέχονται αυξημένη αζωτούχο λίπανση. Το τελευταίο μειονέκτημα όμως μπορεί να εξαληφθεί εάν η καλλιέργεια που θα διαδεχθεί το σόργο να είναι καλλιέργεια καρποδοτικών ψυχανθών οι οποία εξαιτίας της αζωτοδέσμευσης όχι μόνο δεν απαιτεί αζωτούχο λίπανση αλλά εμπλουτίζει το έδαφος (με ποσότητες από 3 έως 6 kg αζώτου ανά στρέμμα) και το προετοιμάζει ώστε να δεχθεί την νέα καλλιέργεια σόργου. Για αυτό τον λόγο το σόργο μπορεί να καλλιεργηθεί σε σύστημα αμειψισποράς με ψυχανθή (Vanderlip 1993, Namooobe, Nanwal, et. al 2014, Oluwatoyin 2017, Sigua, Stone, et. al 2018).

## 2 Χρήσεις και παραγωγή σόργου

### 2.1 Κατηγορίες σόργου αναλόγως της χρήσης του

Το σόργο, αναλόγως της χρήσης του, κατηγοριοποιείται σε τέσσερεις ομάδες. Οι ομάδες αυτές είναι το καρποδοτικό σόργο, το γλυκό (ή ζαχαρούχο) σόργο, το σόργο σαρωθροποιίας και το χορτοδοτικό σόργο. Στις επόμενες υποενότητες γίνεται αναφορά σε αυτές τις τέσσερεις κατηγορίες (Παπαστυλιανού Παπασωτηρίου, Μπιλάλης, κ.α. 2015).

#### 2.1.1 Καρποδοτικό σόργο

Στην κατηγορία αυτή εντάσσονται ποικιλίες με φυτά χαμηλού ύψους από μισό έως και ενάμιση μέτρο και χοντρού στελέχους. Τα στελέχη του φυτού κατά την ωρίμανση τους είναι ξηρά και σκληρά έτσι δεν μπορούν να χρησιμοποιηθούν για χορτοδοσία (με εξαίρεση μερικές ποικιλίες), παρά μόνο για συλλογή των καρπών. Τα φύλλα των φυτών είναι μεγάλα και συνήθως έχουν πλατύ έλασμα ενώ οι ταξιανθίες είναι πυκνές, συμπαγείς και μεγάλου μεγέθους. Οι καρποί των ποικιλιών αυτών είναι μεγάλου μεγέθους και συνήθως σφαιρικοί. Το χρώμα τους είναι είτε λευκό είτε κίτρινο είτε κόκκινο είτε κάποια ενδιάμεση απόχρωση. Είναι ποικιλίες που επιτρέπουν την μηχανική συγκομιδή λόγω του χαμηλού τους ύψους. Η χρήση των φυτών αυτής της κατηγορίας είναι η παραγωγή καρπών. Παρακάτω φαίνεται το καρποδοτικό σόργο, μικρό σε ύψος αλλά με ταξικαρπίες πυκνές, πλούσιες σε καρπούς (Παπαστυλιανού Παπασωτηρίου, Μπιλάλης, κ.α. 2015).



**Εικόνα 12: Καρποδοτικό σόργο <sup>2</sup>**

### **2.1.2 Γλυκό σόργο**

Η κατηγορία αυτή χαρακτηρίζεται από ποικιλίες με πολύ μεγάλα ύψη φυτών, από 3 έως και 6 μέτρα. Τα φυτά αυτά έχουν στελέχη τα οποία είναι χυμώδη και γλυκά. Μάλιστα η περιεκτικότητα των στελεχών σε σάκχαρα μπορεί να φτάσει έως και το 17%. Τα φυτά αυτά εμφανίζουν μικρότερες ταξιανθίες σε σχέση με την ποικιλία του καρποδοτικού σόργου. Οι ταξιανθίες αυτές μπορεί να είναι είτε πυκνές είτε αραιές και διακρίνονται για το σκούρο τους χρώμα. Ο καρπός των ποικιλιών αυτών είναι μικρότερος σε σχέση με τον καρπό του καρποδοτικού σόργου και διατηρεί το περιβλήμα του ακόμη και μετά τον αλωνισμό. Η χρήση των φυτών αυτής της κατηγορίας είναι κυρίως η παραγωγή σιροπιού. Μια δευτερεύουσα χρήση είναι η παραγωγή βιοκαυσίμων (Παπαστυλιανού Παπασωτηρίου, Μπιλάλης, κ.α. 2015).

### **2.1.3 Σόργο σαρωθροποιίας**

Στην κατηγορία αυτή εντάσσονται φυτά σόργου με αρκετά μεγάλο ύψος το οποίο φτάνει έως και τα 4,5 μέτρα. Τα φυτά αυτά έχουν ξυλώδη στελέχη. Ο κεντρικός άξονας του φυτού ο οποίος φέρει και την ταξιανθία είναι μικρός σε μήκος, όμως είναι πολύ μεγάλες σε μήκος οι διακλαδώσεις του. Στον κεντρικό άξονα υπάρχουν από 7 έως 9 κόμβοι και τα μεσογονάτια διαστήματα είναι πολύ μικρά. Από αυτούς τους κόμβους εκφύουν διακλαδώσεις μήκους από μισό έως και ένα μέτρο. Οι καρποί είναι ατρακτοειδούς σχήματος και διατηρούν τα περιβλήματά τους ακόμη και μετά την συγκομιδή, καλύπτοντας τα 2/3 του σπόρου, έχοντας κοκκινωπό ή



καστανό χρώμα. Η ποικιλία αυτή χρησιμοποιείται για την παραγωγή σάρωθρων (σκούπες). Τα σάρωθρα γίνονται από την ταξιανθία του σόργου, αφού αφαιρεθούν οι καρποί. Οι σπόροι που προκύπτουν από τους καρπούς δεν πετάγονται, χρησιμοποιούνται ως ζωοτροφή σε διάφορα πουλιά. Στην επόμενη εικόνα φαίνεται το σόργο σαρωθροποιίας (Παπαστυλιανού Παπασωτηρίου, Μπιλάλης, κ.α. 2015).



Εικόνα 13: Σόργο σαρωθροποιίας<sup>2</sup>

#### **2.1.4 Χορτοδοτικό σόργο**

Τα φυτά του χορτοδοτικού σόργου έχουν μέτριο ύψος, από 2 έως 3 μέτρα. Έχουν λεπτό στέλεχος αλλά έχουν το χαρακτηριστικό της παραγωγής μεγάλου αριθμού αδελφιών. Ως φυτά χαρακτηρίζονται από την μεγάλη φυλλική τους μάζα και από την ικανότητά τους να αναβλαστάνουν μετά τις κοπές. Συνήθως οι ποικιλίες του χορτοδοτικού σόργου δίνουν έως τρεις κοπές. Έχουν καρπούς ατρακτοειδούς μορφής οι οποία ακόμη και μετά το πέρας του αλωνίσματος παραμένουν τελείως καλυμμένοι από τα περιβλήματά τους. Τα φυτά του χορτοδοτικού σόργου χρησιμοποιούνται είτε για άμεση κατανάλωση (ως χλωρή φυτική μάζα), για ενσίρωση ή για παραγωγή σανού. Για να γίνουν περισσότερο εύγευστα τα φυτά, άρα και ευκολότερα καταναλώσιμα από τα ζώα, έχουν παρουσιαστεί διασταυρώσεις χορτοδοτικού σόργου με γλυκό σόργο με χαρακτηριστικότερη ποικιλία το γλυκό σόργο του Σουδάν. Στην επόμενη εικόνα φαίνεται χορτοδοτικό σόργο. Παρατηρείται το πολύ μεγάλο ύψος των φυτών και η μεγάλη βιομάζα τους σε σχέση με τις προηγούμενες ποικιλίες (Παπαστυλιανού Παπασωτηρίου, Μπιλάλης, κ.α. 2015).



**Εικόνα 14: Χορτοδοτικό σόργο <sup>2</sup>**

## **2.2 Χρήσεις σόργου**

Το σόργο έχει αρκετές χρήσεις ως σιτηρό. Καταρχήν είναι ένα σιτηρό το οποίο χρησιμοποιείται κατά κόρον στην διατροφή των ανθρώπων στις τροπικές περιοχές του πλανήτη. Ειδικά στις τροπικές περιοχές με λίγη βροχόπτωση είναι το κύριο σιτηρό. Οι κυριότερες περιοχές στις οποίες χρησιμοποιείται το σόργο για την διατροφή των ανθρώπων είναι η υποσαχάρια Αφρική και η Ασία, οι περιοχές της Ασίας που γειτνιάζουν του ισημερινού. Οι σπόροι του σόργου που χρησιμοποιούνται στην διατροφή έχουν λευκό χρώμα, αλέθονται και έτσι παράγεται αλεύρι. Από το αλεύρι του σόργου παράγονται εν συνεχεία κυρίως αρτοσκευάσματα. Σόργο χρησιμοποιείται επίσης για την παρασκευή βύνης και εν συνεχεία μύρας καθώς και βιομηχανικού άμυλου. Επιπλέον, ειδικά από τις ποικιλίες του γλυκού σόργου, από τον χυμό που περιέχουν στο βλαστό με τις υψηλές ποσότητες σακχάρων, παράγονται σιρόπι και ζάχαρη. Βέβαια η ποσότητα της ζάχαρης που παράγεται από το σόργο είναι μικρή για αυτό και θεωρείται ασύμφορη η καλλιέργεια σόργου για παραγωγή ζάχαρης. Αντιθέτως το σιρόπι χρησιμοποιείται ως γλυκαντική ύλη.

Αντίθετα, στην Ευρώπη και στην βόρεια Αμερική το σόργο χρησιμοποιείται κατά βάση ως ζωοτροφή. Οι καρποί του σόργου ζωοτροφής έχουν συνήθως κόκκινο χρώμα. Χορηγούνται στα ζώα είτε ολόκληροι είτε αλεσμένοι σε διάφορα μεγέθη κόκκου. Χρησιμοποιούνται κυρίως για το τάισμα πουλερικών, γουρουνιών και βοοειδών. Εκτός των σπόρων όμως χρησιμοποιείται και η βιομάζα που προκύπτει από το φυτό ως τροφή. Χρησιμοποιείται είτε ως νωπή ζωοτροφή

είτε ως ενσιρωμένη ζωοτροφή είτε ως σανός. Ως νωπή ζωοτροφή ενδείκνυται για γουρούνια και άλογα ενώ πρέπει να αποφεύγεται για αμνοερίφια. Ως ενσιρωμένη ζωοτροφή ή ως σανός μπορεί να χρησιμοποιηθεί για την διατροφή όλων των ζώων.

Τέλος το σόργο έχει δύο πολύ ειδικές εφαρμογές άσχετες με όλες τις προηγούμενες. Η πρώτη προέρχεται ειδικά από τις ποικιλίες σόργου σαρωθροποιίας, από τις οποίες παράγονται σκούπες. Λαμβάνονται οι ταξιανθίες του σόργου και από αυτές δημιουργούνται οι σκούπες. Από ένα στρέμμα σόργου σαρωθροποιίας μπορούν να κατασκευαστούν έως και 350 σκούπες. Η δεύτερη προέρχεται ειδικά από τις ποικιλίες γλυκού σόργου. Από αυτές όπως προείπαμε παράγεται σιρόπι. Το σιρόπι όμως, αντί να χρησιμοποιηθεί σε γλυκαντικά μπορεί να υποστεί αλκοολική ζύμωση. Το αποτέλεσμα είναι η παραγωγή βιοαιθανόλης δηλαδή βιοκαυσίμου το οποίο χρησιμοποιείται για την κίνηση των οχημάτων (Παπαστυλιανού Παπασωτηρίου, Μπιλάλης, κ.α. 2015, Office of the Gene Technology Regulator 2017, Buschmann 2018).

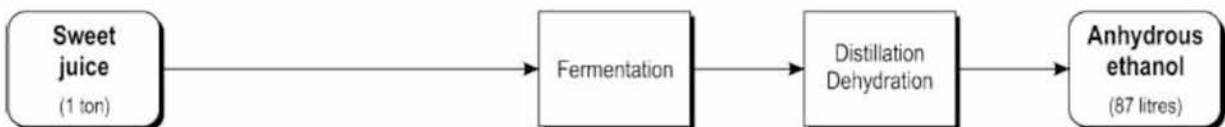
### **2.3 Παραγωγή βιοκαυσίμου από σόργο**

Η παραγωγή βιοκαυσίμου από σόργο είναι μια διαδικασία καλά μελετημένη και εφαρμοσμένη τα τελευταία 40 έτη (από το 1978 και εντεύθεν) με πρωτοπόρο τις ΗΠΑ. Η διαδικασία παραγωγής του βιοκαυσίμου έχει μερικά σημαντικά στάδια τα οποία αναλύονται παρακάτω.

Το πρώτο στάδιο είναι η συγκομιδή του σόργου. Όπως έχει προαναφερθεί, κατά την συγκομιδή του γλυκού σόργου τα σάκχαρα μειώνονται έως και 50% κατά τον τεμαχισμό και την ενσίρωση της βιομάζας. Πέραν τούτου, κάθε ώρα που περνάει η βιομάζα «στεγνώνει», αποξεραίνεται, χάνει τους χυμούς της, χυμούς από τους οποίους παράγεται η βιοαιθανόλη. Για αυτό είναι απαραίτητη η άμεση μεταφορά της βιομάζας στο εργοστάσιο επεξεργασίας, αμέσως μετά την κοπή. Στις ΗΠΑ έχουν αναπτυχθεί ειδικές μηχανές συγκομιδής οι οποίες ταυτόχρονα με την κοπή του σόργου εξάγουν και τον χυμό περιορίζοντας σημαντικά τις απώλειες. Το κόστος των μηχανών αυτών όμως είναι προς το παρόν απαγορευτικό για τους Έλληνες αγρότες. Για αυτό οι καλλιέργειες σόργου που χρησιμοποιούνται για την παραγωγή βιοκαυσίμων στην Ελλάδα τοποθετούνται κοντά στα εργοστάσια (σε αποστάσεις ει δυνατόν μικρότερες των 20km) για να περιορίσουν τον χρόνο μεταφοράς άρα και τις απώλειες χυμού.

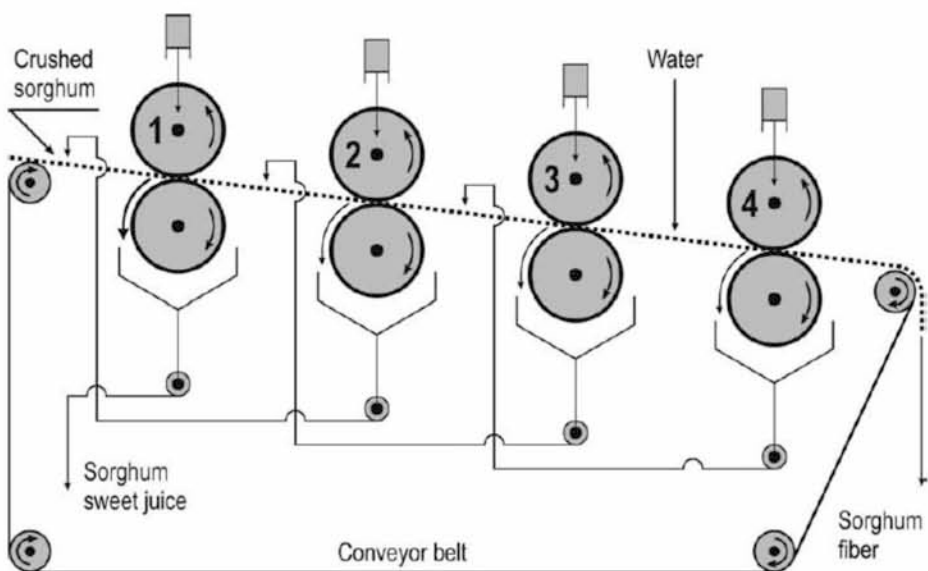
Εν συνεχεία, μόλις το σόργο φτάσει στην μονάδα επεξεργασίας, γίνεται διαλογή των σπόρων οι οποίοι οδηγούνται για παραγωγή ζωοτροφής. Σε σύγχρονες μονάδες ακόμη και οι

καρποί οδηγούνται σε σύνθλιψη και από τους χυμούς που παράγουν γίνεται μια ζύμωση σε άλλο χώρο και παράγεται και από εκεί βιοαιθανόλη. Η διαδικασία παραγωγής βιοαιθανόλης από τον χυμό του σόργου διαγραμματικά φαίνεται παρακάτω.



Εικόνα 15: Διαδικασία παραγωγής βιοαιθανόλης από τον χυμό σόργου<sup>13</sup>

Μετά τον διαχωρισμό των καρπών παραμένει προς παραγωγή καυσίμου μόνο η βιομάζα, ο βλαστός του φυτού. Ακολούθως ο βλαστός αυτός τεμαχίζεται σε πολύ μικρά τεμάχια, σε μορφή αλεύρου, και εν συνεχεία συνθλίβεται ανάμεσα σε δύο περιστρεφόμενους κυλίνδρους. Κατά την διαδικασία αυτή εξάγεται ο χυμός από τον βλαστό ο οποίος και περισυλλέγεται ώστε να οδηγηθεί για αλκοολική ζύμωση. Ταυτόχρονα χρησιμοποιείται νερό ώστε να εκπλυθούν τα υπολείμματα και να συλλεχθεί όσο το δυνατό μεγαλύτερη ποσότητα σακχάρων από τον βλαστό. Τα κυτταρινούχα τμήματα του βλαστού (τα φυτικά δηλαδή υπολείμματα) ονομάζονται βαγάσση και οδηγούνται προς διαφορετική επεξεργασία. Με αυτή την διαδικασία εξάγεται σύμφωνα με μελέτες το 87% των σακχάρων του βλαστού. Στην επόμενη εικόνα φαίνεται η διαδικασία εξαγωγής χυμού από τον βλαστό του σόργου.

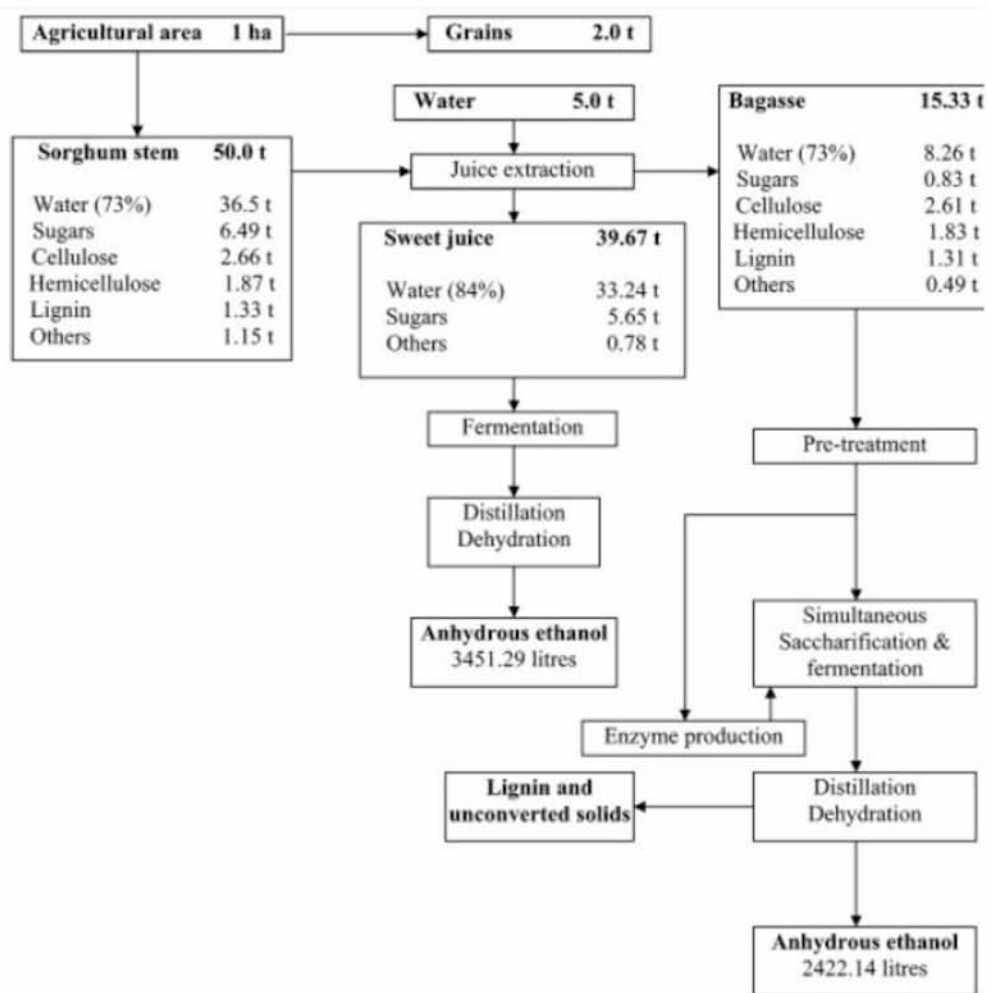


Εικόνα 16: Εξαγωγή χυμού σόργου δια της συνθλίψεως<sup>13</sup>

Εν συνεχεία ο χυμός απαιτεί άμεση επεξεργασία οπότε οδηγείται για αλκοολική ζύμωση. Ο χυμός πριν φτάσει στην αλκοολική ζύμωση πρώτα φιλτράρεται καθώς περιέχει διαλυτά και αδιάλυτα στερεά. Το φιλτράρισμα γίνεται με βρασμό. Κατά τον βρασμό τα υλικά που πήζουν ανεβαίνουν στην επιφάνεια του χυμού με την μορφή αφρού και αφαιρούνται (ζάφρισμα χυμού). Η ταχύτητα του βρασίματος είναι πολύ σημαντική ώστε να γίνει σωστό ζάφρισμα του χυμού και να μην παραμείνουν υπολείμματα. Ακολούθως παστεριώνεται και καταλήγει στον χώρο της ζύμωσης.

Η αλκοολική ζύμωση του χυμού γίνεται σε ανοξειδωτους αντιδραστήρες και αφού εισαχθούν στον χυμό ένζυμα που εκτελούν την ζύμωση. Ταυτόχρονα η ζύμωση ελέγχεται διαμέσου της παροχής οξυγόνου στους αντιδραστήρες. Κατά την διάρκεια της ζύμωσης το pH της δεξαμενής είναι μεταξύ 4 και 5 και η θερμοκρασία μεταξύ 33 και 35°C. Αποτέλεσμα της ζύμωσης είναι να παραχθεί περίπου 10% βιοαιθανόλη στο τελικό προϊόν το οποίο επίσης περιέχει την βιομάζα των μικροοργανισμών της ζύμωσης και διάφορα άλλα αδιάλυτα συστατικά.

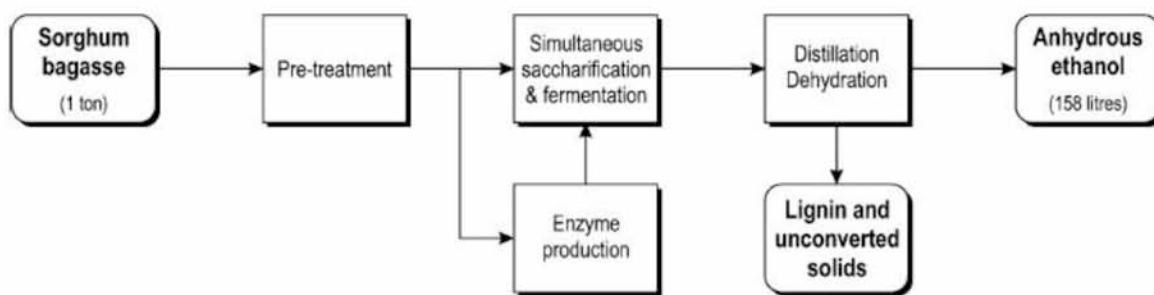
Εν συνεχεία λοιπόν η βιοαιθανόλη πρέπει να διαχωριστεί από τα παραπάνω υπολείμματα. Ο διαχωρισμός γίνεται είτε με φυγοκέντρωση είτε με διήθηση. Ακολούθως θα πρέπει από το προϊόν αυτό να ληφθεί η βιοαιθανόλη και αυτό γίνεται με την διαδικασία της απόσταξης. Η απόσταξη γίνεται σε συνήθως τέσσερις στήλες απόσταξης (τετραβάθμια) και γίνεται με εφαρμογή θερμικής ενέργειας. Αποτέλεσμα της απόσταξης είναι η παραγωγή ενός προϊόντος με περιεκτικότητα σε βιοαιθανόλη 95%. Το προϊόν αυτό διατίθεται στην αγορά ως ένυδρη βιοαιθανόλη. Εναλλακτικά γίνεται αφυδάτωση του προϊόντος αυτού και παράγεται άνυδρη βιοαιθανόλη με ποσοστό βιοαιθανόλης στο τελικό προϊόν 99,5%. Η απόδοση της παραπάνω διεργασίας παραγωγής βιοαιθανόλης έχει βαθμό απόδοσης 94% και σε κάθε τόνο χυμού παράγονται 87 λίτρα άνυδρης βιοαιθανόλης. Περίπου ένα στρέμμα καλλιέργειας γλυκού σόργου εν τέλει αποδίδει 670 με 900 λίτρα βιοαιθανόλης. Στην επόμενη εικόνα φαίνεται η παραγωγή βιοαιθανόλης σε καλλιέργεια ενός εκταρίου, αριθμητικά με τις παραγόμενες ποσότητες σε κάθε στάδιο όπως προέκυψε από μελετητική πειραματική καλλιέργεια.



Εικόνα 17: Παραγωγή βιοαιθανόλης από καλλιέργεια σόργου <sup>3</sup>

Τα υπολείμματα του βλαστού τα οποία ονομάζονται βαγάσση δεν είναι απορρίμματα. Αντιθέτως χρησιμοποιούνται και πάλι για ενεργειακή εκμετάλλευση ως ξηρή πλέον βιομάζα. Έτσι από την βαγάσση μπορεί να δημιουργηθούν συσσωματώματα (πέλλετ) ή μπριγκέτες τα οποία χρησιμοποιούνται ως καύσιμα για παραγωγή θερμότητας. Επίσης από αναερόβια χώνευση της βαγάσσης μπορεί να παραχθεί βιοαέριο το οποίο να χρησιμοποιηθεί για παραγωγή ηλεκτρισμού και θερμότητας διαμέσου αεριοστρόβιλων και καυστήρων αερίου. Και φυσικά μπορεί η βαγάσση να χρησιμοποιηθεί επίσης για παραγωγή βιοκαυσίμων, αιθανόλης και μεθανόλης μέσω υδρόλυσης της βαγάσσης. Η υδρόλυση θα αποσυνθέσει το φυτό σε σάκχαρα τα οποία μετά οδηγούνται σε αλκοολική ζύμωση με την διαδικασία που περιγράφεται παραπάνω για τον χυμό του σόργου. Περίπου ένα 20 – 30% της συνολικής βιομάζας θα παραμείνει ως βιομάζα μετά την υδρόλυση, ονομάζεται λιγνίνη και χρησιμοποιείται κατευθείαν ως καύσιμο.

Τέλος, η βαγάσση μπορεί να χρησιμοποιηθεί και η ίδια κατευθείαν ως καύσιμο η ίδια και με την καύση της να παραχθεί είτε ηλεκτρισμός είτε θερμότητα είτε συνδυασμός των δύο. Σε ποικιλίες ινώδους σόργου των οποίων ο βλαστός είναι πλούσιος σε κυτταρίνη ενώ δεν περιέχει μεγάλες ποσότητες χυμού, η βαγάσση είναι σημαντικότερη πηγή ενέργειας από τον χυμό του σόργου. Προς το παρόν όμως η παραγωγή βιοαιθανόλης από την βαγάσση είναι σε πειραματικό στάδιο και οι βιομηχανίες παραγωγής ελάχιστες εξαιτίας του μεγάλου κόστους και της μικρής σχετικά απόδοσης. Στην επόμενη εικόνα φαίνεται διαγραμματικά η διαδικασία παραγωγής βιοαιθανόλης από την βαγάσση ενώ στην προηγούμενη φαίνεται ότι η βαγάσση μπορεί να δώσει πολύ μεγαλύτερες ποσότητες βιοαιθανόλης από τον ίδιο τον χυμό του σόργου (Gnansounou, Dauriat, et. al 2005, Almodares , Hadi 2009, Shen, Zeng, et. al 2011, Erdurmus, Yusel, et. al 2018, Μακρής, Κέκος, κ.α. 2019)



Εικόνα 18: Παραγωγή βιοαιθανόλης από την βαγάσση <sup>13</sup>

#### 2.4 Στατιστικά στοιχεία παραγωγής σόργου

Το σόργο χρησιμοποιείται πλέον κατά βάση ως βιοκαύσιμο. Αυτό γίνεται γιατί σε σχέση με τα υπόλοιπα φυτά τα οποία παράγουν βιοαιθανόλη έχει την μεγαλύτερη απόδοση ανά στρέμμα. Συγκεκριμένα παράγει έως και 900 λίτρα βιοκαυσίμου ανά στρέμμα την ίδια στιγμή που τα τεύτλα παράγουν 600 λίτρα, ο αραβόσιτος 270 και το σιτάρι έως 240. Περίπου τα 2/3 της παραγωγής αιθανόλης από το σόργο προέρχονται από τον χυμό του φυτού και το υπόλοιπο 1/3 από την επεξεργασία της βαγάσσης. Ο παρακάτω πίνακας δίνει τις αποδόσεις σε παραγωγή βιοκαυσίμων των σημαντικότερων ενεργειακών καλλιεργειών της Ελλάδος.

Βιοκαύσιμο	Πρώτη Ύλη	Απόδοση (κιλά/στρ.)	Απόδοση σε βιοκαύσιμο (κιλά/στρ.)	Απόδοση σε βιοκαύσιμο (λίτρα/στρ.)
Βιοντήζελ	Ηλίανθος	120 - 300	40 - 70	43 - 75
	Ελαιοκράμβη	120 - 300	40 - 83	43 - 90
	Βαμβάκι	120 - 160	17 - 23	18 - 25
	Σόγια	160 - 240	27 - 41	29 - 44
Βιοαιθανόλη	Σιτάρι	150 - 800	36 - 190	45 - 240
	Αραβόσιτος	900	213	270
	Τεύτλα	6.000	475	600
	Σόργο	7.000 - 10.000	553 - 790	675 - 900

Εικόνα 19: Παραγωγή βιοκαυσίμου από ενεργειακές καλλιέργειες <sup>16</sup>

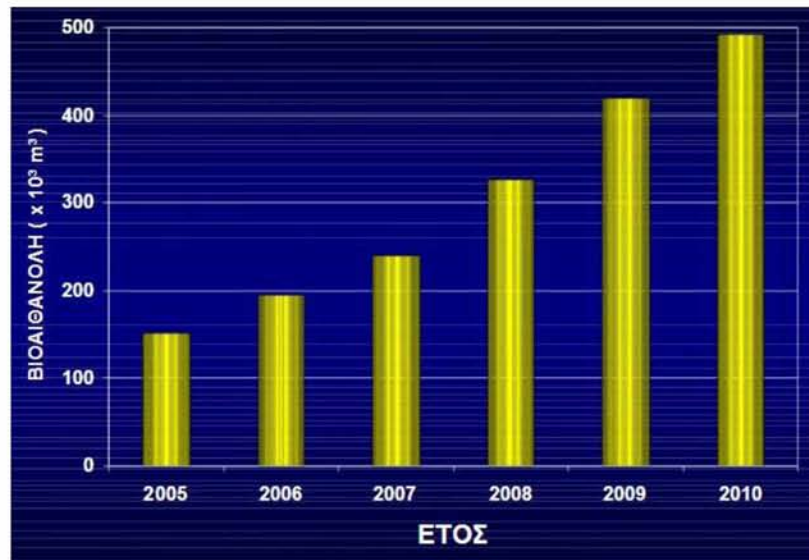
Στην Ελλάδα το 2007 υπήρχαν εγκατεστημένα εργοστάσια παραγωγής βιοαιθανόλης από σόργο συνολικής δυναμικότητα 250000 m<sup>3</sup> βιοαιθανόλης. Υπάρχουν σε όλους τους νομούς της χώρας όπου καλλιεργείται το σόργο. Παρατηρείται όμως ότι οι κύριες περιοχές καλλιέργειας είναι η Θράκη, ο Θεσσαλικός κάμπος και μερικοί νομοί της Μακεδονίας όπως ο νομός Σερρών και ο νομός Πέλλας. Στον επόμενο πίνακα φαίνονται οι δυναμικότητες των εργοστασίων παραγωγής βιοαιθανόλης στην Ελλάδα και τα στρέμματα καλλιέργειας γλυκού σόργου τα οποία μπορούν να εξυπηρετήσουν.

ΔΙΑΜΕΡΙΣΜΑ	ΝΟΜΟΣ	ΚΑΛΛΙΕΡΓΟΥΜΕΝΗ ΕΚΤΑΣΗ (βαμβάκι + καλαμπόκι, 2003) (στρέμματα)	ΕΚΤΑΣΗ ΠΡΟΣ ΚΑΛΛΙΕΡΓΕΙΑ ΜΕ ΣΟΡΓΟ (στρέμματα)	ΜΕΓΙΣΤΗ ΔΥΝΑΜΙΚΟΤΗΤΑ ΕΡΓΟΣΤΑΣΙΩΝ (x 1000 m <sup>3</sup> / έτος)				
				50	100	15	200	250
ΘΡΑΚΗ	Έβρου	360.000	308.000			0		
	Ξάνθης	200.000	154.000					
	Ροδόπης	285.000	231.000					
ΜΑΚΕΔΟΝΙΑ	Δράμας	220.000	154.000					
	Ημαθίας	213.000	154.000					
	Καβάλας	184.000	154.000					
	Κιλκίς	138.000	77.000					
	Πέλλης	273.500	231.000					
ΘΕΣΣΑΛΙΑ	Σερρών	570.000	385.000					
	Καρδίτσας	660.000	385.000					
	Λαρίσης	760.000	385.000					
	Μαγνησίας	118.500	77.000					
ΑΤΤΙΚΗ	Τρικάλων	250.000	231.000					
	Βοιωτίας	215.000	154.000					
ΠΕΛΟΠ/ΣΟΣ	Ηλείας	185.000	154.000					

Εικόνα 20: Εκτάσεις προς καλλιέργεια με γλυκό σόργο και δυναμικότητες εργοστασίων παραγωγής βιοαιθανόλης <sup>17</sup>



Στην Ελλάδα η βιοαιθανόλη έχει μια συνεχή αυξητική τάση. Παρατηρείται τριπλασιασμός της παραγόμενης ποσότητας μεταξύ των ετών 2005 και 2010. Και με δεδομένο ότι η κυριότερη καλλιέργεια παραγωγής βιοαιθανόλης είναι το σόργο η ίδια αύξηση ακολουθεί και τις καλλιέργειες του σόργου.



Εικόνα 21: Παραγωγή βιοαιθανόλης στην Ελλάδα <sup>17</sup>

Βέβαια σε σχέση με την υπόλοιπη Ευρωπαϊκή Ήπειρο τα ποσοστά της Ελλάδας είναι χαμηλά. Το 2006 μόλις μετά βίας η δυναμικότητά παραγωγής βιοαιθανόλης ήταν στην πρώτη δεκάδα των χωρών της ευρωπαϊκής ένωσης. Όμως η περαιτέρω ανάπτυξη που ακολούθησε τα τελευταία χρόνια είχε ως αποτέλεσμα την βελτίωση της κατάστασης στην χώρα (Ελευθεριάδης 2019, Μακρής, Κέκος, κ.α. 2019).

## 3 Υλικά και μέθοδοι

### 3.1 Στοιχεία πειράματος

Το πείραμα έλαβε χώρα στο αγρόκτημα του Τμήματος Γεωπονίας Φυτικής Παραγωγής και Αγροτικού Περιβάλλοντος του Πανεπιστημίου Θεσσαλίας στην περιοχή του Βελεστίνου κατά την χρονική περίοδο 2017. Στην πειραματική έκταση που χρησιμοποιήθηκε έγινε έλεγχος της επίδρασης της λίπανσης με διαφορετικά επίπεδα αζώτου στην καλλιέργεια του ενεργειακού σόργου(*Sorghum bicolor*).

Όσον αφορά την περιοχή εγκατάστασης της καλλιέργειας, το αγρόκτημα έχει γεωγραφικό πλάτος 39°23', γεωγραφικό μήκος 22°45' και βρίσκεται σε υψόμετρο 50m από την επιφάνεια της θάλασσας. Επιπλέον το κλίμα που επικρατεί στην περιοχή του αγροκτήματος είναι ένα τυπικό μεσογειακό κλίμα με θερμά ξηρά καλοκαίρια και ψυχρούς και υγρούς χειμώνες.

### 3.2 Έδαφος πειραματικού αγρού

Το έδαφος του πειραματικού αγρού είναι καλά στραγγιζόμενο, ασβεστόχο, ιλαιοαργιλοπηλώδους υφής και ανήκει στην υποομάδα των Typic Xerochrepts. Στην περιοχή επικρατούν συνθήκες εδαφικής υγρασίας *aridic* και εδαφικής θερμοκρασίας *thermic*. Τα εδάφη αυτά έχουν αμμοαργιλοπηλώδη έως αργιλώδη υφή και κοκκομετρική σύσταση μετρίως λεπτόκοκκη έως λεπτόκοκκη. Η κατάσταση υδρομορφίας είναι καλή και εκφράζεται με β' βαθμό αποστράγγισης, ο οποίος βελτιώνεται με το βάθος του εδάφους, εξαιτίας της πορώδους σύστασής του. Τα ανθρακικά άλατα υπάρχουν στην εδαφοτομή σε χαμηλά επίπεδα και εμφανίζουν τάση μετακίνησης και έκπλυσης προς τα βαθύτερα στρώματα του εδάφους. Το pH του εδάφους είναι αλκαλικό (7,9-8,2) χωρίς όμως να προκαλεί προβλήματα στην καλλιέργεια. Το πορώδες είναι καλά ανεπτυγμένο και η οργανική ουσία είναι επαρκής μέχρι το βάθος των 60cm (USDA 2019).

### 3.3 Καλλιεργητικές εργασίες

Σε αυτό το στάδιο είναι σκόπιμο να αναφερθούν οι προσπαρτικές φροντίδες που εφαρμόστηκαν στο έδαφος έτσι ώστε να επιτευχθούν οι ιδανικότερες συνθήκες για το φύτευμα του σπόρου και την μετέπειτα ανάπτυξη του φυτού. Η καλλιεργητική τεχνική που εφαρμόστηκε ήταν παρόμοια με αυτή της καλλιέργειας του αραβόσιτου. Ειδικότερα, για την προετοιμασία του εδάφους πραγματοποιήθηκαν όλες οι ενδεδειγμένες καλλιεργητικές φροντίδες όπως φθινοπωρινό όργωμα, καλλιεργητής μεσαίου τύπου τον Ιανουάριο, δισκοσβάρνισμα και καλλιεργητής ελαφρού τύπου προετοιμασίας. Ακολουθώντας αυτές τις καλλιεργητικές τεχνικές επιτεύχθηκαν οι επιθυμητές συνθήκες υγρασίας, αερισμού και επαφής του σπόρου με το έδαφος.

### 3.4 Εγκατάσταση καλλιέργειας

Πριν την εγκατάσταση της καλλιέργειας είναι απαραίτητο να αναφερθεί πως στο πειραματικό τεμάχιο του αγροκτήματος είχε προηγηθεί η καλλιέργεια του ψυχανθούς, *Pisum sativum*, κτηνοτροφικό μπιζέλι του οποίου η απόδοση σε βιομάζα ήταν 700kg/στρ.

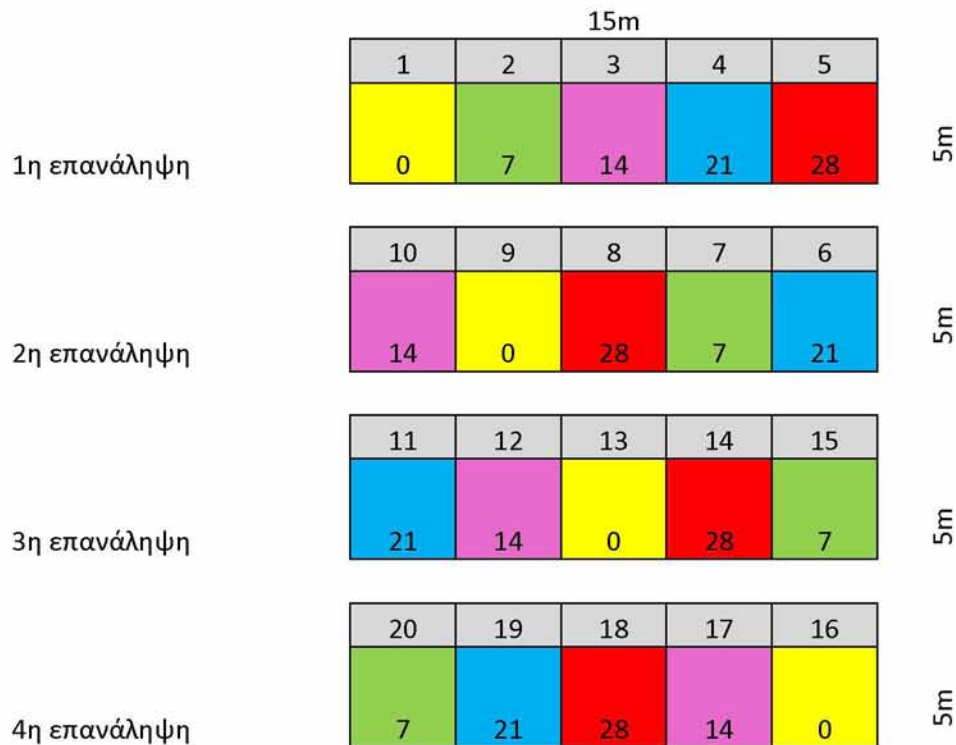
Για την εγκατάσταση της καλλιέργειας χρησιμοποιήθηκε ένα τυχαιοποιημένο σχέδιο μονοπαραγοντικό με πέντε επίπεδα αζώτου σε τέσσερις επαναλήψεις. Η συνολική έκταση στην οποία έλαβε χώρο το πείραμα ήταν περίπου 0,5 στρέμματα. Η σπορά πραγματοποιήθηκε στις 20/6/2017 και έγινε με πνευματική σπαρτική μηχανή με τέσσερις σπαρτικές κεφαλές. Πιο αναλυτικά, οι αποστάσεις μεταξύ των γραμμών σποράς ήταν 0,75 m και πάνω στην γραμμή σποράς ήταν 0,08 m. Η ποσότητα του σπόρου που χρησιμοποιήθηκε ήταν 1kg/στρ και η καλλιεργούμενη ποικιλία ήταν *Sorghum bicolor*.

Κάθε επανάληψη περιλάμβανε σε τυχαία σειρά τους εξής συνδυασμούς λιπαντικών μονάδων :

1. Μάρτυρας με μηδενική λίπανση
2. Βασική λίπανση με 7 μονάδες αζώτου με το λίπασμα 46-0-0 και μηδενική επιφανειακή λίπανση
3. Βασική λίπανση με 14 μονάδες αζώτου με το λίπασμα 46-0-0 και μηδενική επιφανειακή λίπανση

4. Βασική λίπανση με 14 μονάδες αζώτου με το λίπασμα 46-0-0 και επιφανειακή λίπανση με 7 μονάδες αζώτου με το 46-0-0
5. Βασική λίπανση με 14 μονάδες αζώτου με το λίπασμα 46-0-0 και επιφανειακή λίπανση με 14 μονάδες αζώτου με το 46-0-0

Πειραματικό σχέδιο



Εικόνα 22: Πειραματικός αγρός στο Βελεστίνο

### 3.5 Λίπανση

Όπως έχει προαναφερθεί, σκοπός του πειράματος είναι η επίδραση της αζωτούχου λίπανσης στην καλλιέργεια του σόργου. Στο πείραμα εφαρμόστηκαν τέσσερα διαφορετικά επίπεδα αζώτου (N) τα οποία ήταν :7, 14, 21, 28. Η πρώτη εφαρμογή έγινε στις 25/07/2017 όπου προστέθηκαν 7 μονάδες αζώτου σε όλα τα πειραματικά τεμάχια εκτός του μάρτυρα και επιπλέον 7 μονάδες αζώτου στα πειραματικά τεμάχια όπου θα εφαρμοστούν λιπαντικές μονάδες ίσες ή μεγαλύτερες από 14. Το λίπασμα το οποίο χρησιμοποιήθηκε ήταν η ουρία 46-0-0. Οι λοιπές λιπαντικές μονάδες συμπληρώθηκαν στις 23/08/2017 με το λίπασμα 46-0-0. Η εφαρμογή όλων των λιπάνσεων έγινε με το χέρι.

### **3.6 Έλεγχος ζιζανίων και άρδευση**

Όσον αφορά τα ζιζάνια, δεν πραγματοποιήθηκε μεταφυτρωτική εφαρμογή ζιζανιοκτόνου διότι ο πληθυσμός των ζιζανίων ήταν μικρός, καταπολεμήθηκαν όμως χειρονακτικά στα πρώτα στάδια ανάπτυξης των φυτών.

Η άρδευση επιτεύχθηκε με την χρήση σταλακτηφόρων σωλήνων, οι οποίοι τοποθετήθηκαν στις δύο μεσαίες σειρές κάθε πειραματικού τεμαχίου.

### **3.7 Έλεγχος εχθρών και ασθενειών**

Στον αγρό δεν πραγματοποιήθηκε καμία επέμβαση ούτε με χημικό αλλά ούτε και με μηχανικό τρόπο, διότι δεν παρατηρήθηκε κάποιος σημαντικός αριθμός εχθρών και ασθενειών προς αντιμετώπιση.

### **3.8 Μετεωρολογικά στοιχεία**

Τα μετεωρολογικά δεδομένα προέρχονται από το μετεωρολογικό σταθμό του Εργαστηρίου Γεωργικής Υδραυλικής που είναι εγκατεστημένος στο αγρόκτημα του Τμήματος Γεωπονίας Φυτικής Παραγωγής και Αγροτικού Περιβάλλοντος στο Βελεστίνο. Οι μέσες κλιματικές τιμές θερμοκρασίας και βροχόπτωσης είναι για την περιοχή της Ν. Αγχιάλου διότι δεν υπάρχουν στοιχεία για την ευρύτερη περιοχή του Βελεστίου.

### **3.9 Μετρήσεις προσδιορισμού χλωροφύλλης**

Κατά την διάρκεια του πειράματος πραγματοποιήθηκε μέτρηση χλωροφύλλης σε όλα τα πειραματικά τεμάχια δύο φορές. Η πρώτη μέτρηση έγινε στις 4/08/2017 και η δεύτερη στις 23/10/2017. Οι μετρήσεις έγιναν με τη βοήθεια φορητού μετρητή χλωροφύλλης και λήφθηκαν δέκα τιμές από το κάθε τεμάχιο.



Εικόνα 23: Φορητός μετρητής χλωροφύλλης

### 3.10 Συγκομιδή

Η μελέτη της αύξησης και ανάπτυξης των φυτών πραγματοποιήθηκε με μια δειγματοληψία-κοπή στο τέλος της καλλιεργητικής περιόδου. Για να προσδιοριστεί όμως ο καταλληλότερος χρόνος κοπής των φυτών του σόργου, έγιναν μικρές δειγματοληψίες φυτών από τον αγρό, κατά την διάρκεια του πειράματος. Κάθε δειγματοληψία περιλάμβανε την κοπή ενός φυτού, τον τεμαχισμό του, την τοποθέτηση του σε σακούλα, την μέτρηση του βάρους του και τέλος την ξήρανση του στο ξηραντήριο του αγροκτήματος. Η ξήρανση των δειγμάτων γινόταν σε θερμοκρασία 50 °C. Η ξήρανση θεωρείτο περατωμένη όταν δεν μεταβαλλόταν το βάρος των δειγμάτων σε σχέση με την προηγούμενη μέτρηση, μετά την παρέλευση μίας ημέρας. Συνολικά πραγματοποιήθηκαν 4 δειγματοληψίες στις 3/10/2017, 17/10/2017, 20/10/2017, 25/10/2017 όπου και σταθεροποιήθηκε το βάρος των δειγμάτων και τα φυτά του σόργου ήταν έτοιμα για συγκομιδή. Η συγκομιδή των φυτών έγινε στις 3/11/2017. Κατά την συγκομιδή κοβόντουσαν δύο φυτά από κάθε πειραματικό τεμάχιο, ζυγίζόντουσαν, γινόταν διαλογή, δηλαδή διαχωρισμός των φύλλων, των βλαστών και των ανθοταξιών, αποθηκεύονταν σε σακούλα και τοποθετούνταν στο ξηραντήριο για ξήρανση.

### 3.11 Μετρήσεις (NIR)

Μετά την ολοκλήρωση της συγκομιδής και ξήρανσης των φυτών πάρθηκε δείγμα από κάθε σακούλα (φύλλα, βλαστοί), και έγινε θρυμματισμός των δειγμάτων έτσι ώστε να επιτευχθεί ανάλυση των πρωτεϊνών με την βοήθεια ενός φασματοφωτόμετρου (NIR).

Η ανάλυση αφορούσε τα φύλλα και τους βλαστούς με σκοπό τον προσδιορισμό του ολικού αζώτου (N) και στη συνέχεια το ποσοστό της περιεχόμενης πρωτεΐνης, αλλά και για την εκτίμηση της αποτελεσματικότητας χρήσης των λιπασμάτων. Οι παράγοντες που λήφθηκαν υπόψη στην ανάλυση του φασματοφωτόμετρου ήταν: τεφρά στο φύλλο ή στο βλαστό (ASH), η πρωτεΐνη φύλλων ή βλαστών αντίστοιχα (leaf protein or steam), ο παράγοντας ουδέτερης αντιδράσεως ίνας (NDF), ο όξινης αντιδράσεως ίνας (ADF), ο ακατέργαστης ίνας (Crude fiber), λίπη (Fat), ασβέστιο (Calcium) και φώσφορο (Phosphorus).

Οι παράγοντες ουδέτερης αντιδράσεως ίνας (NDF), όξινης αντιδράσεως ίνας (ADF) και ακατέργαστης ίνας (Crude fiber) υποδηλώνουν ποιοτικά χαρακτηριστικά του φυτού τα οποία σχετίζονται με την ηλικία και το στάδιο ανάπτυξης της καλλιέργειας. Οι τιμές NDF και ADF εκτιμούν την περιεκτικότητα των ζωοτροφών σε λιγνίνη, κουτίνη, ημικυτταρίνες και αδιάλυτα ανόργανα συστατικά. Η μόνη τους διαφορά είναι ότι το πρώτο χρησιμοποιεί διάλυμα ουδέτερης αντιδράσεως ενώ το δεύτερο χρησιμοποιεί διάλυμα όξινης αντιδράσεως.



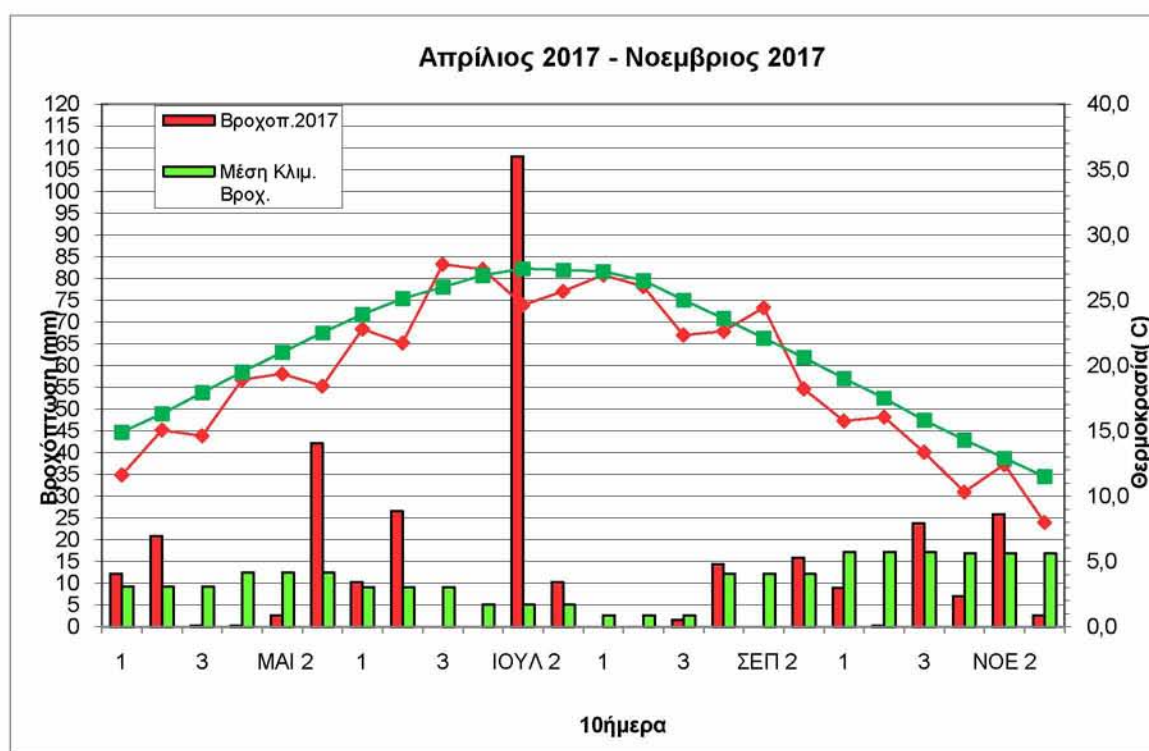
**Εικόνα 24: Φασματοφωτόμετρο**



## 4 Αποτελέσματα

### 4.1 Καιρικές συνθήκες

Στο διάγραμμα που ακολουθεί παρουσιάζονται οι καιρικές συνθήκες που επικράτησαν στην περιοχή του αγροκτήματος καθ' όλη την διάρκεια του πειράματος.



**Διάγραμμα 1:** Μέση θερμοκρασία αέρα και βροχόπτωση ανά δεκαήμερο, το 2017 στο Βελεστίνο.

Όπως είναι εμφανές και στο Διάγραμμα 1, κατά την σπορά της καλλιέργειας δηλαδή περί το πρώτο 10ήμερο του Ιουνίου οι θερμοκρασίες που επικράτησαν ήταν χαμηλές για την εποχή. Αυτό είχε σαν αποτέλεσμα την οψίμιση του φυτρώματος της καλλιέργειας του σόργου χωρίς όμως να επηρεάσει αρνητικά την φυτρωτικότητα του.

Κατά το στάδιο της αύξησης και ανάπτυξης η καλλιέργεια έχει τις μεγαλύτερες ανάγκες σε νερό. Αυτή η περίοδος για τη συγκεκριμένη καλλιέργεια εκτιμάται περί τα μέσα Ιουλίου. Το

δεύτερο δεκαήμερο του Ιουλίου το ύψος βροχής κυμάνθηκε στα 108mm οπότε οι καιρικές συνθήκες που επικράτησαν ήταν ευνοϊκές για την καλλιέργεια του σόργου.

Τέλος, θα μπορούσε να σημειωθεί ότι το 2017 ήταν μια ευνοϊκή καλλιεργητική περίοδος για την καλλιέργεια του σόργου. Αν εξαιρέσουμε την περίοδο σποράς κατά το υπόλοιπο της καλλιέργειας οι θερμοκρασίες που επικρατούσαν ήταν ευνοϊκές, καθώς το φυτό έχει άριστη θερμοκρασία ανάπτυξης τους 27 -32 °C και όπως φαίνεται και στο διάγραμμα οι θερμοκρασίες κυμαινόντουσαν σε αυτά τα πλαίσια. Επίσης, το σόργο σαν καλλιέργεια δεν έχει ιδιαίτερες απαιτήσεις σε υγρασία παρά μόνο κατά τα μέσα Ιουλίου που όπως προαναφέρθηκε εκείνη την περίοδο στην περιοχή του Βελεστίνου είχαμε αυξημένες βροχοπτώσεις.

## 4.2 Αύξηση, ανάπτυξη και απόδοση

Σε αυτό το κεφάλαιο θα ακολουθήσει παρουσίαση και σχολιασμός των αποτελεσμάτων του πειράματος σε σχέση με την αύξηση, ανάπτυξη και την απόδοση του σόργου.

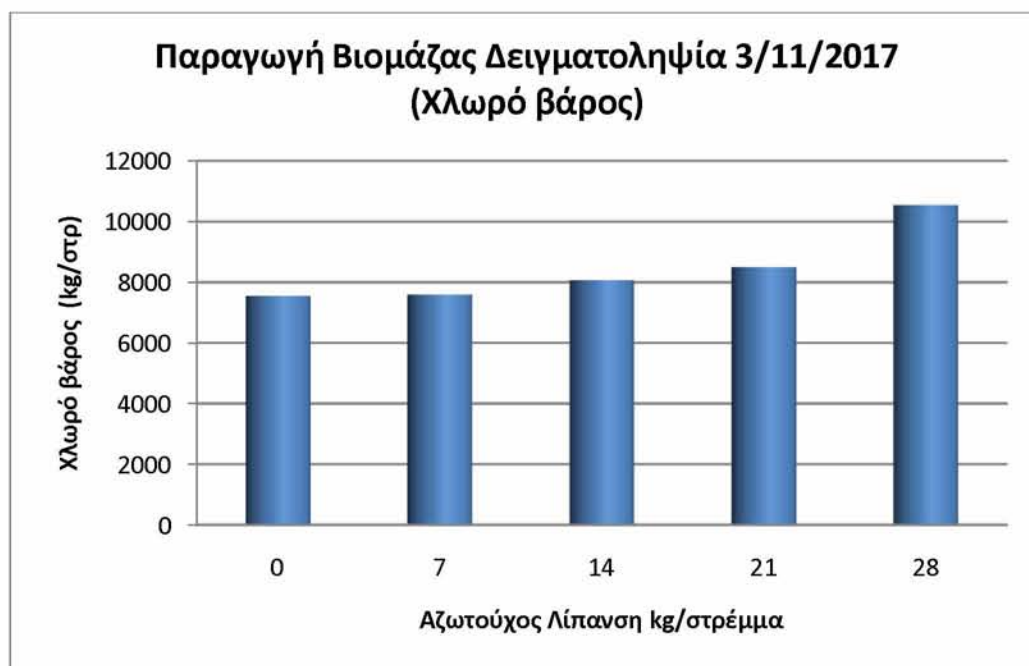
### 4.2.1 Μετρήσεις βιομάζας

Στον πίνακα που ακολουθεί (Πίνακας 1) παρουσιάζονται τα αποτελέσματα της στατιστικής ανάλυσης που προέκυψαν από την κοπή του σόργου στις 03/11/2017.

Παραγωγή Βιομάζας Δειγματοληψία 3/11/2017						
Μεταχείριση		Χλωρό βάρος (kg/στρ)	Ξηρό βάρος (kg/στρ)	Ξηρό βάρος βλαστών (kg/στρ)	Ξηρό βάρος φύλλων (kg/στρ)	Ξηρό βάρος σπόρων (kg/στρ)
Αζωτούχος Λίπανση kg/στρέμμα	0	7545	2598	1988	527	83
	7	7591	2417	1861	513	43
	14	8071	2528	1941	534	52
	21	8499	2926	2301	567	58
	28	10549	3744	2928	707	109
ΕΣΔ <sub>05</sub>		ns	ns	ns	ns	ns
CV (%)		30,3	39,5	39,4	29,0	77,4

Πίνακας 1: Χλωρό βάρος, ξηρό βάρος, ξηρό βάρος βλαστών, ξηρό βάρος φύλλων, ξηρό βάρος σπόρων υπό διαφορετικά επίπεδα αζωτούχου λίπανσης.

Το πρώτο χαρακτηριστικό που αναλύθηκε στην καλλιέργεια ήταν η απόδοση σε χλωρό βάρος. Στον παραπάνω πίνακα (Πίνακας 1), παρουσιάζονται τα αποτελέσματα της αλληλεπίδρασης των διαφορετικών επιπέδων αζώτου που εφαρμόστηκαν στην καλλιέργεια του σόργου, τα οποία δεν παρουσιάζουν στατιστικά σημαντικές διαφορές μεταξύ τους. Την μεγαλύτερη απόδοση είχε το πειραματικό τεμάχιο στο οποίο εφαρμόστηκαν 28 μονάδες αζώτου (10549 kg/στρ) και την μικρότερη απόδοση το πειραματικό τεμάχιο στο οποίο δεν εφαρμόστηκε λίπανση.



**Διάγραμμα 1: Γραφική απεικόνιση των αποτελεσμάτων διαφορετικών επιπέδων αζωτούχου λίπανσης ως προς το χλωρό βάρος**

Το δεύτερο χαρακτηριστικό που αναλύθηκε για την καλλιέργεια ήταν η αλληλεπίδραση των διαφορετικών επιπέδων αζώτου σε σχέση με το ξηρό βάρος. Όπως και με το χλωρό βάρος τα αποτελέσματα δεν παρουσίασαν στατιστικά σημαντικές διαφορές μεταξύ τους. Το πειραματικό τεμάχιο με την μεγαλύτερη απόδοση ήταν αυτό στο οποίο εφαρμόστηκαν οι 28 μονάδες αζώτου (3744kg/στρ) και το πειραματικό τεμάχιο με την μικρότερη απόδοση ήταν αυτό

στο οποίο εφαρμόστηκαν 7 μονάδες αζώτου (2417 kg/στρ) με πολύ μικρή διαφορά από τον μάρτυρα.



**Διάγραμμα 2: Γραφική απεικόνιση των αποτελεσμάτων διαφορετικών επιπέδων αζωτούχου λίπανσης ως προς το ξηρό βάρος**

Στον Πίνακα 1 παρουσιάζονται επίσης και τα αποτελέσματα της αλληλεπίδρασης των διαφορετικών επιπέδων αζωτούχου λίπανσης στο βάρος ξηρών βλαστών τα οποία δεν παρουσιάζουν στατιστικά σημαντικές διαφορές μεταξύ τους. Όπως και πριν την μεγαλύτερη απόδοση είχε το πειραματικό τεμάχιο στο οποίο εφαρμόστηκαν 28 μονάδες αζώτου (2928 kg/στρ), και την μικρότερη απόδοση είχε το πειραματικό τεμάχιο με στο οποίο εφαρμόστηκαν οι 7 μονάδες αζώτου (1861 kg/στρ) πάλι με πολύ μικρή διαφορά από τον μάρτυρα.



**Διάγραμμα 3: Γραφική απεικόνιση των αποτελεσμάτων διαφορετικών επιπέδων αζωτούχου λίπανσης ως προς το ξηρό βάρος βλαστών**

Ακόμη, στον Πίνακα 1 φαίνονται τα δεδομένα του συνδυασμού της διαφορετικής δόσης αζωτούχου λίπανσης ως προς το ξηρό βάρος των φύλλων, τα οποία και όπως και όλα τα προηγούμενα δεν παρουσίασαν στατιστικά σημαντικές διαφορές μεταξύ τους. Στις αποδόσεις σε ξηρό βάρος των φύλλων, την μεγαλύτερη απόδοση κατείχε και πάλι το πειραματικό τεμάχιο με τις περισσότερες λιπαντικές μονάδες, με μικρή διαφορά από τα υπόλοιπα πειραματικά τεμάχια.



**Διάγραμμα 4:** Γραφική απεικόνιση των αποτελεσμάτων διαφορετικών επιπέδων αζωτούχου λίπανσης ως προς το ξηρό βάρος φύλλων

Τα τελευταία αποτέλεσμα τα οποία παρουσιάζονται στον Πίνακα 1 είναι η αλληλεπίδραση των διαφορετικών επιπέδων αζωτούχου λίπανσης στο βάρος του ξηρού σπόρου, τα οποία επίσης δεν εμφάνισαν στατιστικά σημαντικές διαφορές μεταξύ τους. Την μεγαλύτερη απόδοση κατείχε και πάλι το πειραματικό τεμάχιο στο οποίο εφαρμόστηκαν οι 28 λιπαντικές μονάδες αζώτου (109 kg/στρ). Παρατηρείται επίσης πώς το πειραματικό τεμάχιο στο οποίο δεν εφαρμόστηκε καθόλου λίπασμα είχε μεγαλύτερη απόδοση από αυτά στα οποία εφαρμόστηκαν 7, 14, 21 μονάδες. Αυτό οφείλεται στο γεγονός ότι δεν υπήρχαν ταξικαρπίες σε όλα τα πειραματικά τεμάχια.



**Διάγραμμα 5:** Γραφική απεικόνιση των αποτελεσμάτων διαφορετικών επιπέδων αζωτούχου λίπανσης ως προς το ξηρό βάρος σπόρων

#### 4.2.2 Μετρήσεις χλωροφύλλης

Στον παρακάτω πίνακα (Πίνακας 2) παρουσιάζονται τα αποτελέσματα από τις δύο μετρήσεις χλωροφύλλης που πραγματοποιήθηκαν στην καλλιέργεια σε σχέση με τα διαφορετικά επίπεδα αζωτούχου λίπανσης που εφαρμόστηκαν. Η πρώτη μέτρηση πραγματοποιήθηκε στις 23/08/2017 και η άλλη στις 4/10/2017.

Μετρήσεις Χλωροφύλλης			
Μεταχείριση	Χλωροφύλλη 23/8/2017	Χλωροφύλλη 4/10/2017	
Αζωτούχος Λίπανση kg/στρέμμα	0	37,7	35,4
	7	42,4	33,8
	14	55,3	43,6
	21	48,7	46,5
	28	56,8	49,4
ΕΣΔ <sub>0,05</sub>	ns	ns	
CV (%)	20,7	23,8	

## Πίνακας 2 : Μετρήσεις χλωροφύλλης

Όπως φαίνεται και στον Πίνακα 2 οι μετρήσεις χλωροφύλλης που πραγματοποιήθηκαν στις 23/08/2017 δεν παρουσίασαν στατιστικά σημαντικές διαφορές μεταξύ τους. Σε αυτές τις μετρήσεις φαίνεται η διαφορά χλωροφύλλης μεταξύ του πειραματικού τεμαχίου με την μηδενική εφαρμογή αζωτούχου λίπανσης και τιμή 37,7 και του πειραματικού τεμαχίου με την εφαρμογή 28 μονάδων αζωτούχου λίπανσης και τιμή 56,8. Το πειραματικό τεμάχιο με την μηδενική εφαρμογή αζώτου είχε το μικρότερο ποσό χλωροφύλλης και αυτό με την εφαρμογή 28 μονάδων το μεγαλύτερο.



Διάγραμμα 6: Μέτρηση χλωροφύλλης 23/08/2017

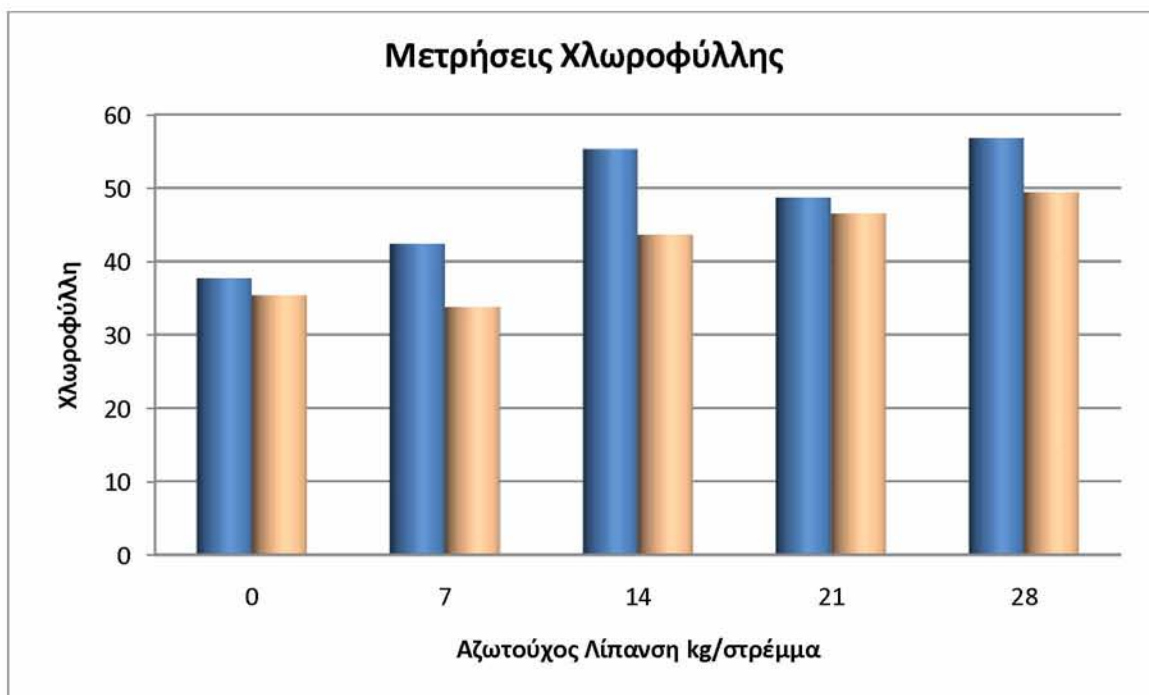
Στη μέτρηση της χλωροφύλλης που πραγματοποιήθηκε στις 4/10/2017 τα αποτελέσματα της χλωροφύλλης σε σχέση με την αλληλεπίδραση διαφορετικών επιπέδων αζώτου δεν παρουσιάζουν στατιστικά σημαντικές διαφορές μεταξύ τους. Όπως και στην προηγούμενη μέτρηση χλωροφύλλης την μεγαλύτερη τιμή είχε το πειραματικό τεμάχιο στο οποίο εφαρμόστηκαν 28 μονάδες αζώτου με τιμή 49,4, και την μικρότερη τιμή το τεμάχιο στο οποίο δεν εφαρμόστηκε αζωτούχος λίπανση, με τιμή 35,4.





**Διάγραμμα 7: Μέτρηση χλωροφύλλης 4/10/2017**

Αν γίνει σύγκριση των δύο μετρήσεων χλωροφύλλης που πραγματοποιήθηκαν στις 23/08/2017 και στις 4/10/2017 παρατηρείτε ότι και στις δύο το πειραματικό τεμάχιο με μηδενική αζωτούχο λίπανση είχε την μικρότερη τιμή και αυτό με την εφαρμογή 28 μονάδων αζώτου την μεγαλύτερη. Επίσης οι διαφορές στην τιμή της χλωροφύλλης και στις δύο μετρήσεις, για όλες τις εφαρμοσθέντες ποσότητες αζώτου, ήταν μικρές. Τέλος, παρατηρούμε ότι οι τιμές της χλωροφύλλης που πάρθηκαν στις 4/10/2017 είναι μικρότερες από αυτές που πάρθηκαν στις 23/08/2017. Αυτό οφείλεται στο γεγονός ότι η πρώτη μέτρηση πραγματοποιήθηκε κατά την περίοδο όπου το φυτό βρισκόταν σε πλήρη ανάπτυξη και τα φύλλα βρίσκονται στην καλύτερη φάση του βιολογικού τους κύκλου, ενώ η δεύτερη πραγματοποιήθηκε λίγο πριν την συγκομιδή όπου το φυτό έχει σχεδόν ολοκληρώσει τον κύκλο του.



Διάγραμμα 8: Μετρήσεις χλωροφύλλης στις 23/08/2017 και στις 4/10/2017

#### 4.2.3 Μετρήσεις NIR στα φύλλα

Στον πίνακα που ακολουθεί (Πίνακας 3) παρουσιάζονται τα αποτελέσματα των μετρήσεων NIR στα φύλλα.

Μετρήσεις NIR Φύλλα									
Μεταχείριση		Πρωτεΐνη φυλλων	Τέφρα φύλλου	Ουδέτερη απορυπαντική ίνα φύλλου	Όξινη απορυπαντική ίνα φύλλου	Ακατέργαστη ίνα φύλλου	Λίπος φύλλου	Ασβέστιο φύλλου	Φόσφορος φύλλου
Αζωτούχος Λίπανση	0	5,05	9,38	52,77	31,66	35,54	1,525	0,27	0,125
	7	5,48	9,225	53,11	31,89	35,36	1,552	0,285	0,14
	14	6,11	9,315	52,69	31,52	34,34	1,605	0,2875	0,1475
	21	6,77	9,415	52,99	31,74	33,29	1,593	0,3025	0,165
	28	5,39	9,433	54,1	32,5	35,34	1,55	0,295	0,145
ΕΣΔ <sub>0,05</sub>		ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns
CV (%)		20,8	4,3	1,8	2	3,8	4,2	5,4	11,6

Πίνακας 3: Μετρήσεις NIR στα φύλλα

Όπως παρατηρείται στον Πίνακα 3 όπου γίνεται ανάλυση των φύλλων υπό διαφορετικούς παράγοντες για τα διάφορα επίπεδα αζώτου που εφαρμόστηκαν στην καλλιέργεια δεν παρουσιάζονται στατιστικά σημαντικές διαφορές μεταξύ των διαφορετικών μεταχειρίσεων. Αυτά τα αποτελέσματα είναι χαρακτηριστικά της γενετικής παραλλακτικότητας του φυτού.

#### 4.2.4 Μετρήσεις NIR στους βλαστούς

Στον πίνακα που ακολουθεί (Πίνακας 4) παρουσιάζονται τα αποτελέσματα των μετρήσεων NIR στους βλαστούς.

Μετρήσεις NIR Βλαστός									
Μεταχείριση	Πρωτεϊνη βλαστών	Τέφρα βλαστών	Ουδέτερη απορυπαντική ίνα βλαστού	Όξινη απορυπαντική ίνα βλαστού	Ακατέργαστη ίνα βλαστού	Λίπος βλαστού	Ασβέστιο βλαστού	Φώσφορος βλαστού	
Αζωτούχος Δίπλανση	0	5,05	5,26	52,77	31,66	35,54	1,525	0,27	0,125
	7	5,48	5,5	53,11	31,89	35,36	1,552	0,285	0,14
	14	6,11	5,74	52,69	31,52	34,34	1,605	0,2875	0,1475
	21	6,77	6,13	52,99	31,74	33,29	1,593	0,3025	0,165
	28	5,39	5,61	54,1	32,5	35,34	1,55	0,295	0,145
ΕΣΔ <sub>.05</sub>	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	
CV (%)	20,8	8,3	1,8	2	3,8	4,2	5,4	11,6	

Πίνακας 4: Μετρήσεις NIR στους βλαστούς

Όπως παρατηρείται στον Πίνακα 4 όπου γίνεται ανάλυση των φύλλων υπό διαφορετικούς παράγοντες για τα διάφορα επίπεδα αζώτου που εφαρμόστηκαν στην καλλιέργεια δεν παρουσιάζονται στατιστικά σημαντικές διαφορές μεταξύ των διαφορετικών μεταχειρίσεων. Αυτά τα αποτελέσματα είναι χαρακτηριστικά της γενετικής παραλλακτικότητας του φυτού.

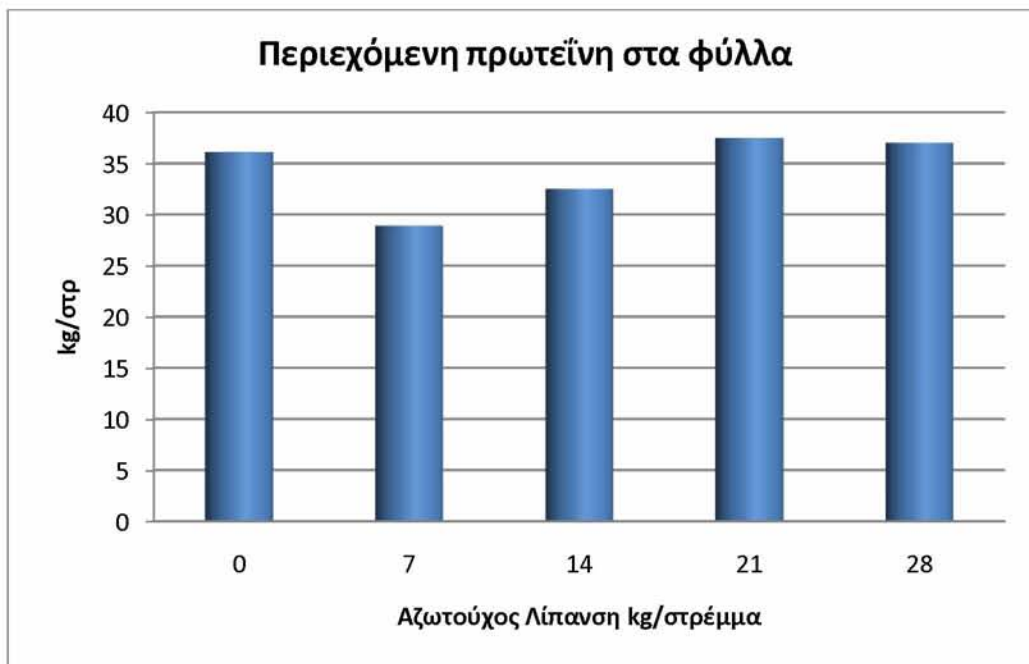
#### 4.2.5 Περιεχόμενη πρωτεΐνη στους ιστούς

Στον πίνακα που ακολουθεί (Πίνακας 5) παρουσιάζονται τα αποτελέσματα της περιεχόμενης πρωτεΐνης στα φύλλα και στους βλαστούς.

Περιεχόμενη πρωτεΐνη στους ιστούς					
Μεταχείριση		Περιεχόμενη πρωτεΐνη στα φύλλα (kg/στρ)	Περιεχόμενη πρωτεΐνη στους βλαστούς (kg/στρ)	Ολική περιεχόμενη πρωτεΐνη (kg/στρ)	Ολική περιεχόμενη πρωτεΐνη %
Αζωτούχος Λίπανση kg/στρέμμα	0	36,1	21,5	57,6	1,58
	7	28,9	19,8	48,6	1,81
	14	32,5	24,7	57,1	2,32
	21	37,5	31,4	68,9	2,65
	28	37	40,6	77,6	2,19
ΕΣΔ <sub>0,05</sub>		ns	ns	ns	ns
CV (%)		33,5	62,8	39,2	30

Πίνακας 5: Μέτρηση περιεχόμενης πρωτεΐνης στους ιστούς

Όσον αφορά την περιεχόμενη πρωτεΐνη στα φύλλα τα αποτελέσματα που λήφθηκαν δεν είχαν στατιστικά σημαντικές διαφορές μεταξύ τους. Την μεγαλύτερη περιεκτικότητα σε πρωτεΐνη είχε το πειραματικό τεμάχιο στο οποίο εφαρμόστηκαν 21 μονάδες αζώτου(37,5 kg/στρ) με διαφορά μόλις 0,5 kg/ στρ από το πειραματικό τεμάχιο στο οποίο εφαρμόστηκαν 28 μονάδες αζώτου. Την μικρότερη περιεκτικότητα σε πρωτεΐνη είχε το πειραματικό τεμάχιο στο οποίο εφαρμόστηκαν 7 μονάδες αζώτου (28,9 kg/στρ) ενώ το τεμάχιο στο οποίο δεν προστέθηκαν λιπαντικές μονάδες αζώτου είχε περιεκτικότητα ίση με 36,1 kg/στρ.



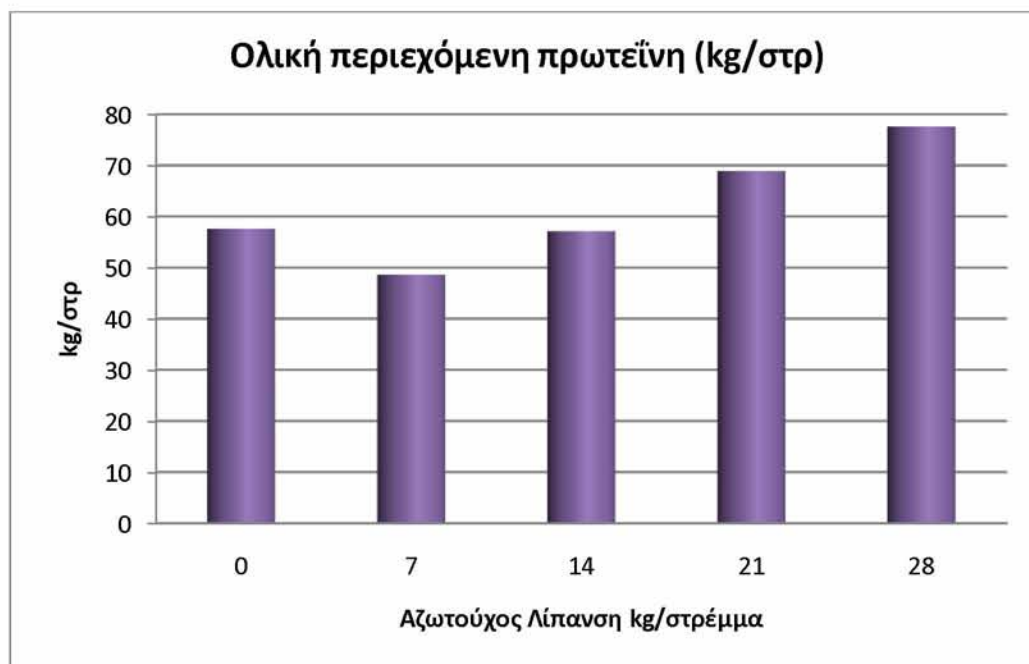
**Διάγραμμα 9: Μέτρηση περιεχόμενης πρωτεΐνης στα φύλλα**

Στον Πίνακα 5 παρουσιάζεται επίσης η περιεχόμενη πρωτεΐνη στους βλαστούς. Οι μετρήσεις αυτές δεν παρουσίασαν στατιστικά σημαντικές διαφορές μεταξύ τους. Αν γίνει μια σύγκριση με την περιεχόμενη πρωτεΐνη στα φύλλα προκύπτει πως σε όλα τα εφαρμοσθέντα επίπεδα αζώτου εκτός από τα πειραματικά τεμάχια στα οποία εφαρμόστηκαν 28 λιπαντικές μονάδες αζώτου, η περιεχόμενη πρωτεΐνη στους βλαστούς είναι μικρότερη από την περιεχόμενη πρωτεΐνη στα φύλλα. Επιπλέον η μεγαλύτερη ποσότητα πρωτεΐνης στους βλαστούς είναι αυτή του πειραματικού τεμαχίου στο οποίο εφαρμόστηκαν 28 λιπαντικές μονάδες αζώτου και είναι ίση με 40,6 kg/στρ και η μικρότερη αυτή του πειραματικού τεμαχίου που εφαρμόστηκαν 7 λιπαντικές μονάδες και είναι ίση με 19,8 kg/στρ.



**Διάγραμμα 10: Μέτρηση περιεχόμενης πρωτεΐνης στους βλαστούς**

Τέλος, στον Πίνακα 5 παρουσιάζεται η ολική περιεχόμενη πρωτεΐνη σε κιλά ανά στρέμμα και %. Τα αποτελέσματα της ολικής περιεχόμενης πρωτεΐνης δεν παρουσιάζουν στατιστικά σημαντικές διαφορές μεταξύ τους. Όπως παρατηρείται η μεγαλύτερη περιεκτικότητα σε ολική περιεχόμενη πρωτεΐνη ανήκει στο πειραματικό τεμάχιο με τις 28 λιπαντικές μονάδες και ισούται με 77,6 ενώ η μικρότερη ανήκει στο πειραματικό τεμάχιο με τις 7 λιπαντικές μονάδες αζώτου και ισούται με 48,6.



Διάγραμμα 11: Ολική περιεχόμενη πρωτεΐνη στα φύλλα και στους βλαστούς

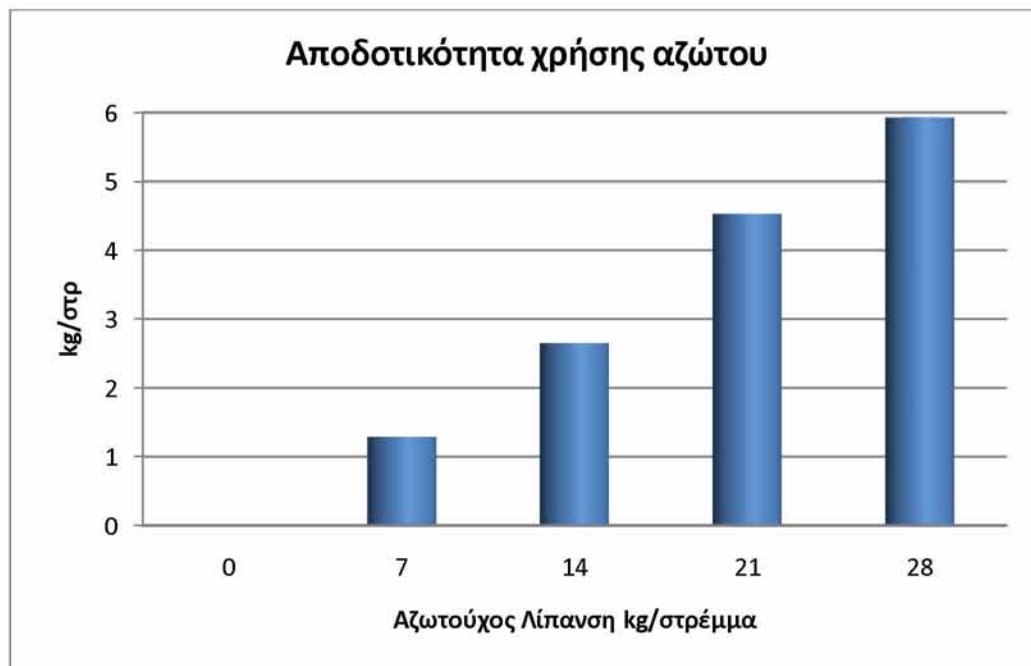
#### 4.2.6 Χρήση αζώτου

Στον παρακάτω πίνακα (Πίνακας 6) παρουσιάζονται τα αποτελέσματα για την χρήση του αζώτου.

Χρήση αζώτου		
Μεταχείριση	Αποδοτικότητα χρήσης αζώτου (kg/στρ)	Χρήση αζώτου %
Αζωτούχος Λίπανση kg/στρέμμα	0	0
	7	1,29
	14	2,65
	21	4,53
	28	5,93
ΕΣΔ <sub>0,05</sub>	ns	ns
CV (%)	121,9	102,9

Πίνακας 6: Χρήση αζώτου

Στην πρώτη στήλη παρουσιάζεται η αποδοτικότητα της χρήσης του αζώτου σε κιλά ανά στρέμμα (kg/στρ). Τα αποτελέσματα αυτά δεν εμφάνισαν στατιστικά σημαντικές διαφορές μεταξύ τους.



Διάγραμμα 12: Αποδοτικότητα χρήσης αζώτου

Στη δεύτερη στήλη του Πίνακα 6 δίνεται το ποσοστό % της χρήσης του αζώτου στην καλλιέργεια του σόργου. Εδώ παρατηρείται ότι η χρήση του αζώτου για όλα τα πειραματικά τεμάχια κυμάνθηκε γύρω στο 20%. Αυτό σημαίνει ότι τα φυτά εκμεταλλεύτηκαν μόνο το 20% του αζώτου που τους χορηγήθηκε.





Διάγραμμα 13: Χρήση αζώτου %

## 5 Συμπεράσματα

Στο κεφάλαιο αυτό θα συζητηθούν τα αποτελέσματα της εργασίας.

Όπως έχει προαναφερθεί σκοπός της συγκεκριμένης εργασίας είναι η μελέτη της επίδρασης διαφορετικών επιπέδων αζώτου στην αύξηση και ανάπτυξη του ενεργειακού σόργου. Με λίγα λόγια σκοπός μας ήταν να βρούμε ποιο από τα τέσσερα εφαρμοσθέντα επίπεδα αζώτου είναι το ιδανικότερο για την καλλιέργεια, όσο αναφορά την ποιότητα και την απόδοση, αλλά και τον ίδιο τον καλλιεργητή.

Με βάση τα αποτελέσματα που προέκυψαν παρατηρούμε ότι στην παραγωγή βιομάζας υπάρχει διαφορά ανάμεσα στα διαφορετικά επίπεδα αζώτου, αλλά η διαφορά είναι τόσο μικρή που μας οδηγεί στο συμπέρασμα ότι η αζωτούχος λίπανση δεν προσφέρει κάποιο αξιόλογο κέρδος στην παραγωγή βιομάζας. Επίσης, το πειραματικό τεμάχιο με την μεγαλύτερη απόδοση ήταν αυτό στο οποίο εφαρμόστηκαν 28 λιπαντικές μονάδες αζώτου.

Επίσης στα αποτελέσματα που προέκυψαν από τη στατιστική ανάλυση των μετρήσεων πρωτεΐνης στους ιστούς, φαίνεται πως υπάρχει διαφορά και στην περιεχόμενη πρωτεΐνη στα φύλλα, αλλά και στους ιστούς, διαφορά όμως η οποία είναι ελάχιστη. Έτσι όσο αναφορά την πρωτεΐνη καταλήγουμε στο συμπέρασμα πως η αζωτούχος λίπανση στην καλλιέργεια του ενεργειακού σόργου δεν προσφέρει κάποια αύξηση στις περιεκτικότητες των ποιοτικών χαρακτηριστικών.

Τέλος αυτό που θα μπορούσαμε να συμπεράνουμε σαν γενικό συμπέρασμα είναι πως η μοναδική δόση λίπανσης η οποία είχε θετική επίδραση στην αύξηση της απόδοσης και της ποιότητας του ενεργειακού σόργου είναι αυτή των 28 λιπαντικών μονάδων αζώτου. Έχοντας όμως πολύ μικρές διαφορές από τα υπόλοιπα επίπεδα αζώτου που εφαρμόστηκαν, και κυρίως από τον μάρτυρα, και λαμβάνοντας υπόψη και την προηγηθείσα καλλιέργεια καταλήγουμε στο συμπέρασμα πως η αζωτούχος λίπανση έχει ουδέτερη επίδραση στην αύξηση και ανάπτυξη της καλλιέργειας του ενεργειακού σόργου. Επίσης είναι εμφανές πως η προηγούμενη καλλιέργεια, δηλαδή το κτηνοτροφικό μπιζέλι, με το οποίο έγινε χλωρή λίπανση στον αγρό ανέβασε τα επίπεδα αζώτου με αποτέλεσμα η καλλιέργεια του σόργου να εκμεταλλευτεί μόνο το 20% του

αζώτου που του χορηγήθηκε σε όλα τα πειραματικά τεμάχια. Άρα, πραγματοποιώντας χλωρή λίπανση με μπιζέλι υπάρχει η δυνατότητα αποφυγής πραγματοποίησης αζωτούχου λίπανσης στην καλλιέργεια του σόργου.

# Βιβλιογραφία

## Ελληνική

- Ελευθεριάδης, Ι., «Δυνατότητες καλλιέργειας των ενεργειακών φυτών στον Ελληνικό χώρο», Παρουσίαση, Κέντρο Ανανεώσιμων Πηγών Ενέργειας. Λήψη από:  
<http://www.lignite.gr/events/eleftheriadis.pdf> (22/05/2019) [16]
- Θεοδωρακοπούλου, Α., 2007, «Καλλιέργεια γλυκού σόργου Sorghum bicolor (L) Moench cv. Keller για παραγωγή βιοκαυσίμου», Παρουσίαση, Πρόγραμμα Κοινοτικής Πρωτοβουλίας BIOSIS. Λήψη από:  
<https://docplayer.gr/8229912-Omilia-kalliergeia-glykoy-sorgoy.html> (29/05/2019). [19]
- Μακρής, Β., Κέκος, Δ., Χριστακόπουλος, Π., «Καινοτομίες στην παραγωγή βιοαιθανόλης ως βιοκαυσίμου», Εργαστήριο βιοτεχνολογίας, Εθνικό Μετσόβιο Πολυτεχνείο. Λήψη από:  
[http://library.tee.gr/digital/m2067/m2067\\_makris.pdf](http://library.tee.gr/digital/m2067/m2067_makris.pdf) (22/05/2019) [17]
- Παπακώστα – Τασοπούλου, Δ., 2012, «Σιτηρά και ψυχανθή», Εκδόσεις Σύγχρονη Παιδεία, Θεσσαλονίκη. [1]
- Παπαστυλιανού Παπασωτηρίου, Π., Μπιλάλης, Δ., Τραυλός, Η., Παπαθεοχάρη, Α., 2015, «Ειδική Γεωργία II», Ebook, Αποθετήριο Κάλλιπος, Σύνδεσμος Ελληνικών Ακαδημαϊκών Βιβλιοθηκών, Αθήνα. Λήψη από:  
<https://repository.kallipos.gr/handle/11419/5155> (20/05/2019). [2]

## Ξένη

- Almodares, A., Hadi, M. R., 2009, «Production of bioethanol from sweet sorghum: A review», African Journal of Agricultural Research, Vol. 4 (9), pp772-780. [3]
- BP, 2018, «Statistical Review of World Energy 2017», Annual Edition. Λήψη από: <https://www.bp.com/content/dam/bp/business-sites/en/global/corporate/pdfs/energy-economics/statistical-review/bp-stats-review-2018-full-report.pdf> (29/05/2019) [18]
- Buschmann, M., 2018, «Diversity of Sorghum», Presentation, 2<sup>nd</sup> European Sorghum Congress. Λήψη από: <https://www.sorghum-id.com/content/uploads/2018/11/0-1-magdalena-bushmann-introduction-presentation-of-different-types-of-sorghum-debouches.pdf> (22/02/2019). [15]
- Erdurmus, C., Yusel, C., Cinar, O., Yegin, A.B., Oten, M., 2018, «Bioethanol and Sugar Yields of Sweet Sorghum», The International Journal of Engineering and Science, Vol. 7(11), pp21-26. [12]
- Gnansounou, E., Dauriat, A., Wyman, C.E., 2005, «Refining sweet sorghum to ethanol and sugar: economic trade-offs in the context of North China», Bioresource Technology, Vol. 96, pp985-1002. [13]
- Guiying, L., Weibin, G., Hicks, A., Chapman, K. R., 2004, «A training manual for sweet sorghum», FAO Project TCP/CPR/0066. [5]
- Habyarimana, E., Bonardi, P., Laureti, D., Di Bari, V., Cosentino, S., Lorenzoni, C., 2004, «Multilocational evaluation of biomass sorghum hybrids under two stant desnties and variable water supply in Italy», Industrial Crops and Products, Vol. 20, pp3-9. [7]
- Meki, M. N., Ogoshi, R.M., Kiniry, J. R., Grow, S. E., Youkhana, A. H., Nakahata, M. H., Littlejohn, K., 2017, «Performance evaluation of biomass sorghum in Hawaii and Texas», Indusrial Crops and Products, Vol. 103, pp257-266. [6]
- Namooobe, C., Nanwal, R.K., Kumar, P., 2014, «Productivity and economics of sorghum varieties for grain as influenced by nitrogen levels in sandy loam soil», International Journal of Natural Sciences Research, Vol 2(1), pp5-11. [10]
- Office of the Gene Technology Regulator, 2017, «The biology of Sorghum bicolor (L.) Moench subsp. Bicolor (Sorghum)», Department of Health, Australian Government. [4]

- Oluwatoyin, O., 2017, «Sweet Sorghum and Nitrogen Fertilizer Application – A Review», Journal of Agricultural Science, Vol 2, pp28-35. [9]
- Shen, F., Zeng, Y., Deng, S., Liu, R., 2011, «Bioethanol production from sweet sorghum stalk juice with immobilized yeast», Procedia Environmental Studies, Vol. 11, pp782-789. [14]
- Sigua, G. C., Stone, K. C., Bauer, P. J., Szogi, A. A., 2018, «Biomass and Nitrogen Use Efficiency of Grain Sorghum with Nitrogen and Supplemental Irrigation», Agronomy Journal, Vol 110, pp1119-1127. [11]
- Vanderlip, R. L., 1993, «How a Sorghum Plant Develops», Kansas State University, USA. [8]
- USDA, 2019, <<Plant Database: Sorghum Moench>>, Natural Resources Conservation Service, United States Department of Agriculture. Internet Database. Λήψη από: <https://plants.usda.gov/core/profile?symbol=sorgh2> (15/07/2019) [20]