



ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΘΕΣΣΑΛΙΑΣ

Σχολή Γεωπονικών Επιστημών

Τμήμα Γεωπονίας Φυτικής Παραγωγής & Αγροτικού
Περιβάλλοντος

ΠΡΟΓΡΑΜΜΑ ΜΕΤΑΠΤΥΧΙΑΚΩΝ ΣΠΟΥΔΩΝ

Επιστήμες και Συστήματα Αειφόρου Φυτικής Παραγωγής



**ΕΡΓΑΣΤΗΡΙΟ ΓΕΩΡΓΙΑΣ ΚΑΙ ΕΦΑΡΜΟΣΜΕΝΗΣ ΦΥΣΙΟΛΟΓΙΑΣ
ΦΥΤΩΝ**

ΜΕΤΑΠΤΥΧΙΑΚΗ ΔΙΑΤΡΙΒΗ ΕΙΔΙΚΕΥΣΗΣ

Επίδραση τεσσάρων επιπέδων αζωτούχου λίπανσης σε έξι
ποικιλίες σόργου.

ΧΑΜΧΟΥΓΙΑΣ ΓΕΩΡΓΙΟΣ

ΒΟΛΟΣ 2021

Επίδραση τεσσάρων επιπέδων αζωτούχου λίπανσης σε έξι ποικιλίες σόργου.

Χαμχούγιας Γεώργιος

Τριμελής Εξεταστική Επιτροπή

Δαναλάτος Νικόλαος, Καθηγητής, Επιβλέπων

Παυλή Ουρανία, Επ. Καθηγήτρια, Μέλος

Δημήτριος Μπαρτζιάλης, ΕΔΙΠ, Μέλος

Copyright © ΧΑΜΧΟΥΓΙΑΣ ΓΕΩΡΓΙΟΣ, 2021.

Με επιφύλαξη παντός δικαιώματος. All rights reserved.

Απαγορεύεται η αντιγραφή, αποθήκευση και διανομή της παρούσας διατριβής, εξολοκλήρου ή τμήματος αυτής, για εμπορικό σκοπό. Επιτρέπεται η ανατύπωση, αποθήκευση και διανομή για σκοπό μη κερδοσκοπικό, εκπαιδευτικής ή ερευνητικής φύσης, υπό την προϋπόθεση να αναφέρεται η πηγή προέλευσης. Η έγκριση της Μεταπτυχιακής Διατριβής Ειδίκευσης από το Τμήμα Γεωπονίας Φυτικής Παραγωγής και Αγροτικού Περιβάλλοντος του Πανεπιστημίου Θεσσαλίας δε δηλώνει αποδοχή των γνώμων του συγγραφέα.

ΠΡΟΛΟΓΟΣ

Η παρούσα Μεταπτυχιακή Διπλωματική Εργασία εκπονήθηκε στα πλαίσια του Προγράμματος Μεταπτυχιακών Σπουδών «Επιστήμες και Συστήματα Αειφόρου Φυτικής Παραγωγής» κατά τα έτη 2020 - 2021.

Η εργασία εκπονήθηκε υπό την επίβλεψη του κ. Δαναλάτου Νικόλαου, Καθηγητή του Τμήματος Γεωπονίας, Φυτικής Παραγωγής & Αγροτικού Περιβάλλοντος του Πανεπιστημίου Θεσσαλίας, με συνεξεταστές την κα Παυλή Ουρανία, Επίκουρη Καθηγήτρια του Εργαστηρίου Γενετικής Βελτίωσης Φυτών και τον Δρ. Μπαρτζιάλη Δημήτριο, μέλος ΕΔΙΠ του Εργαστηρίου Γεωργίας και Εφαρμοσμένης Φυσιολογίας Φυτών.

Αντικείμενο της εργασίας αποτελεί η επίδραση τεσσάρων επιπέδων αζωτούχου λίπανσης σε έξι ποικιλίες σόργου. Πιο συγκεκριμένα εξετάζονται ποσοτικά και ποιοτικά χαρακτηριστικά των ποικιλιών σόργου.

Εδώ θα ήθελα να ευχαριστήσω όλους όσους συνέβαλαν στην εκπόνηση της διπλωματικής μου εργασίας. Θα ήθελα να ευχαριστήσω τον επιβλέποντα της εργασίας, Καθηγητή κ. Δαναλάτο Νικόλαο, για την καθοδήγησή του. Επιπλέον, τον Δρ. Μπαρτζιάλη Δημήτριο για την πολύτιμη βοήθεια που προσέφερε σε κάθε στάδιο εκπόνησης της διατριβής μου και τον κ. Γιαννούλη Κυριάκο, Διδάκτορα του Πανεπιστημίου Θεσσαλίας για την καθοδήγηση του σχετικά με το τεχνικό μέρος της εργασίας. Χωρίς τη συμπαράσταση και συνεχή βοήθειά τους, η ολοκλήρωση αυτής της εργασίας δεν θα ήταν δυνατή.

Ακόμη, θα ήθελα να ευχαριστήσω τους συναδέλφους κυρίους Αποστολίνα Γεώργιο και Ταμβάκη Νικόλαο για τη συμβολή τους στο τεχνικό μέρος της εργασίας.

Τέλος, ευχαριστώ θερμά την οικογένεια και τους φίλους μου, για την κατανόηση και συμπαράσταση που έδειξαν κατά τη διάρκεια της εκπόνησης της εργασίας αυτής.

Περίληψη

Η παρούσα διπλωματική εργασία, με τίτλο «**Επίδραση τεσσάρων επιπέδων αζωτούχου λίπανσης σε έξι ποικιλίες σόργου**» έχει ως αντικείμενο την εξέταση ποσοτικών και ποιοτικών χαρακτηριστικών έξι ποικιλιών σόργου. Το πείραμα έλαβε χώρα στο Αγρόκτημα του Πανεπιστημίου Θεσσαλίας στο Βελεστίνο το έτος 2020. Το πειραματικό σχέδιο που χρησιμοποιήθηκε για την καλλιέργεια του σόργου ήταν τυχαιοποιημένες ομάδες τεμαχίων με υποτεμάχια (split-plot design). Κύρια τεμάχια ήταν οι έξι ποικιλίες σόργου και υποτεμάχια τα τέσσερα επίπεδα αζωτούχου λίπανσης (0, 8, 16 και 24 kg N/στρέμμα) σε τέσσερις επαναλήψεις. Τα αποτελέσματα έδειξαν πως η ποικιλία «4264» κατέγραψε την υψηλότερη απόδοση σε ξηρό βάρος με στατιστικά σημαντική διαφορά σε σχέση με τις υπόλοιπες και παράλληλα τα ποιοτικά της χαρακτηριστικά ήταν αξιοσημείωτα.

Λέξεις κλειδιά: βιομάζα, ποσοτικά, ποιοτικά χαρακτηριστικά, Θεσσαλία, Μεσόγειος

Abstract

The present dissertation, titled "**Effect of four levels of nitrogen fertilization on six varieties of sorghum**" aims to examine the quantitative and qualitative characteristics of six varieties of sorghum. The experiment took place at the Farm of the University of Thessaly in Velesino in the year 2020. The experimental design used for sorghum cultivation was split-plot design. The main plots were the six sorghum varieties and sub plots the four levels of nitrogen fertilization (0, 8, 16 and 24 kg N/stremma) in four replications. The results showed that the variety "4264" recorded the highest yield in dry weight with a statistically significant difference compared to the rest and at the same time its quality characteristics were remarkable.

Keywords: biomass, quantitative, qualitative characteristics, Thessaly, Mediterranean

Εγώ, ο Χαμχούγιας Γεώργιος, είμαι ο συγγραφέας αυτής της Μ.Δ.Ε. Αυτή η Μ.Δ.Ε. αντικατοπτρίζει την έρευνα που έγινε από εμένα και δεν έχει υποβληθεί (εξολοκλήρου ή μέρος της) σαν Μ.Δ.Ε. ή ως μέρος Διδακτορικής Διατριβής σε αυτό ή άλλο Μεταπτυχιακό Πρόγραμμα Σπουδών Ιδρυμάτων Τριτοβάθμιας Εκπαίδευσης του εσωτερικού ή εξωτερικού. Όποια συνεργασία καθώς και το μέγεθος αυτής δηλώνονται επακριβώς στο αντίστοιχο πεδίο αυτής της διατριβής. Επίσης έχω διαβάσει όλες τις βιβλιογραφικές αναφορές που παρατίθενται στο τέλος.

Ως επιβλέπων της έρευνας που περιγράφεται σε αυτή τη διατριβή, δηλώνω ότι όλοι οι όροι του Εσωτερικού Κανονισμού του Μεταπτυχιακού Προγράμματος Σπουδών του Τμήματος Γεωπονίας Φυτικής Παραγωγής και Αγροτικού Περιβάλλοντος έχουν τηρηθεί από τον κο Χαμχούγια Γεώργιο.

Υπογραφή επιβλέποντος Καθηγητή.

Περιεχόμενα

1. ΕΙΣΑΓΩΓΗ	σελ. 1
1.1. Γενικά	1
1.2. Ταξινόμηση	3
1.3. Χρήση	4
1.4. Βελτίωση του Σόργου	5
1.5. Βοτανικά και μορφολογικά χαρακτηριστικά	6
1.5.1. Ριζικό σύστημα	6
1.5.2. Βλαστός	7
1.5.3. Φύλλα	7
1.5.4. Αναπαραγωγικά όργανα	8
1.5.5. Καρπός	9
1.6. Επιμερή χαρακτηριστικά των καλλιεργουμένων τύπων	9
1.7. Στάδια Ανάπτυξης	11
1.7.1.1. Στάδιο φυταρίου	12
1.7.1.2. Στάδιο ανάπτυξης φόβης	12
1.7.1.3. Στάδιο άνθισης	13
1.7.2. Στάδια ανάπτυξης	14
1.8. Οικολογία και Περιβαλλοντικές απαιτήσεις	16
1.8.1. Κλίμα	17
1.8.2. Απαιτήσεις εδάφους	18
1.8.3. Ανάγκες σε βροχόπτωση	19
1.9. ΚΑΛΛΙΕΡΓΗΤΙΚΗ ΤΕΧΝΙΚΗ	20
1.9.1 Αμειψισπορά	20
1.9.2. Προετοιμασία του εδάφους	21
1.9.3. Σπορά	22
1.9.3.1. Ημερομηνία Σποράς	22
1.9.3.2. Βάθος Σποράς	23
1.9.3.3. Αποστάσεις Γραμμών	24
1.9.3.4. Πληθυσμός Φυτών	25
1.9.3.5. Επιλογή του υβριδίου	25

1.9.4. Λίπανση	26
1.9.4.1. Άζωτο	27
1.9.4.2. Φώσφορος	30
1.9.4.3. Κάλιο	32
1.9.4.4. Λοιπά θρεπτικά στοιχεία και ιχνοστοιχεία	33
1.9.5. Διαχείριση Ζιζανίων	34
1.9.6. Άρδευση	35
1.9.7. Συγκομιδή	37
1.9.8. Αποθήκευση	39
1.10. Αξιοποίηση και Χρήσεις της Καλλιέργειας	41
1.11. Οι Ποικιλίες	44
2. ΥΛΙΚΑ ΚΑΙ ΜΕΘΟΔΟΙ	45
3. ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ ΚΑΙ ΣΥΖΗΤΗΣΗ	48
4. ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ	62
5. ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ	63

1. ΕΙΣΑΓΩΓΗ

1.1. Γενικά

Το σόργο (*Sorghum bicolor* L.) ανήκει στα Αγρωστώδη (*Poaceae*). Χάρη στην ικανότητά του να αναπτύσσεται σε ξηρικές συνθήκες περιβάλλοντος με υψηλές θερμοκρασίες αποτελεί ένα από τα σπουδαιότερα σιτηρά που χρησιμοποιούνται για την ανθρώπινη διατροφή, ειδικά σε ημίξηρες και τροπικές περιοχές που δεν δύναται να καλλιεργηθούν άλλα σιτηρά όπως ο αραβόσιτος, το ρύζι ή το σιτάρι (Παπαστυλιανού et al. 2015).

Το σόργο είναι μια καλλιέργεια που προσαρμόζεται σε διάφορες συνθήκες. Θεωρείται πως είναι το πέμπτο σημαντικότερο καλλιεργούμενο δημητριακό στον κόσμο. Εικάζεται πως προέρχεται από το Σουδάν και την Αιθιοπία και η εξημέρωση του συνέβη πριν από 5000 χρόνια. Εξαπλώθηκε στην Ασία και την Αμερική ενώ σήμερα είναι μια από τις πιο διαδεδομένες καλλιέργειες στην Κίνα, την Ινδία και τις χώρες της Βόρειας και Νότιας Αμερικής. Το σόργο μεταφέρθηκε σε πολλά νέα οικοσυστήματα για να γίνει βασικό στοιχείο της τροφικής αλυσίδας για εκατομμύρια ανθρώπους. Το σόργο αποτελεί επίσης πηγή ζάχαρης, χρησιμοποιείται σε οικοδομικές κατασκευές και σαν πρώτη ύλη στη βιομηχανία. Η μεταβολή από τη συγκομιδή των άγριων φυτών με πολύ εγγενή μεταβλητότητα σε ένα βελτιωμένο φυτό για χρήση και βελτίωση από τον άνθρωπο είναι αποτέλεσμα διαχείρισης, με σταδιακή εξημέρωση (Kimber, 2000).

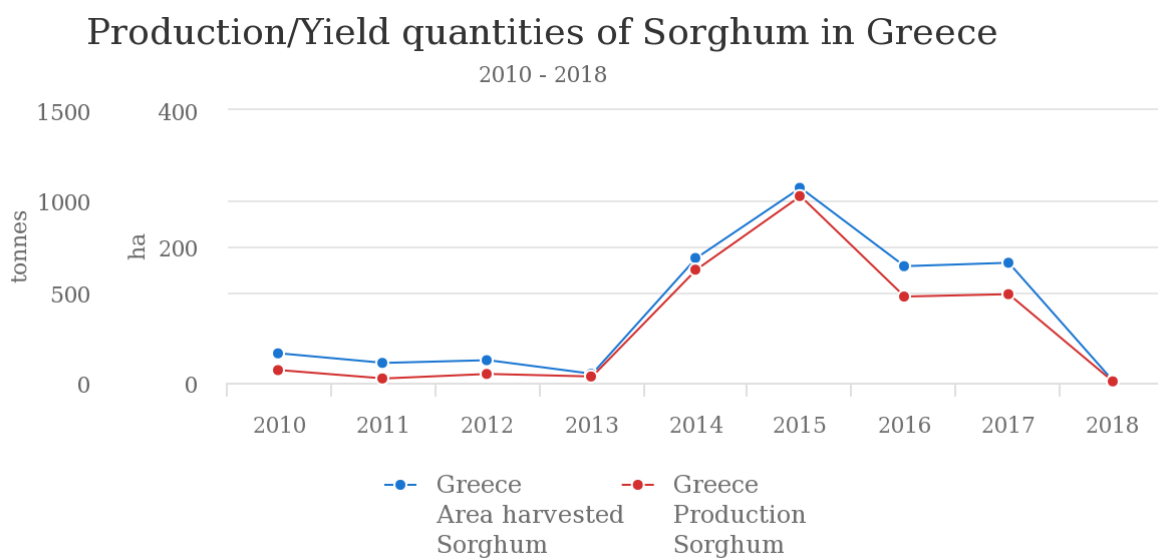
Σήμερα μπορεί να χρησιμοποιηθεί άμεσα ως ζωοτροφή ή ως πρώτη ύλη για την παραγωγή βιοκαυσίμων. Τα συστατικά του είναι πολύτιμη τροφή για την κτηνοτροφία και η ζάχαρη και η κυτταρίνη χρησιμοποιείται για την παραγωγή βιοκαυσίμων. Το σόργο παρουσιάζει τεράστια γενετική ποικιλομορφία και με την έρευνα υπάρχει συνεχής βελτίωση των ποικιλιών. Ακόμη, έχει μεγάλη ποικιλία σε φαινότυπο και το φωτοπεριοδισμό. Μια από τις σημαντικότερες ιδιότητες του σόργου, υψίστης σημασίας με την επερχόμενη κλιματική αλλαγή (Dempewolf et al. 2014), είναι η ικανότητα αντοχής και παραγωγής κόκκων σε θερμές και ξηρές συνθήκες που δεν θα μπορούσαν να ανταπεξέλθουν άλλες καλλιέργειες όπως ο αραβόσιτος με αποτέλεσμα να γίνει ολοένα και πιο σημαντική η έρευνα και καλλιέργεια του (Pierzynski 2020).

Το σόργο είναι μια ευέλικτη καλλιέργεια, είτε χρησιμοποιείται σε μέγεθος τάξης από τη γεωργία αυτοσυντήρησης είτε έως την εμπορική γεωργία. Η οικονομική ευημερία και ο φυσικός πλούτος κάθε κράτους καθορίζουν την ικανότητα διασφάλισης επαρκούς ποσότητας τροφίμων και τη διατροφική αξία τους. Οι αναπτυσσόμενες χώρες καλούνται όχι μόνο να αυξήσουν την παραγωγικότητα τους αλλά και να διασφαλίσουν τη διανομή, τη διάθεση και την

πρόσβαση όσο δυνατόν μεγαλύτερο αριθμό πολιτών σε θρεπτικά τρόφιμα. Το σόργο είναι μια σημαντική καλλιέργεια σε περιοχές με ακραίες συνθήκες εξασφαλίζοντας παραγωγικότητα και ανθεκτικότητα και επάρκεια τροφίμων εκεί που άλλες καλλιέργειες αποτυγχάνουν (Ciampitti and Vara Prasad 2020).

Με μία φυσική βιοποικιλότητα πού πηγάζει από τους διαφορετικούς τύπους (καρποδοτικό, χορτοδοτικό, γλυκό και βιοκαυσίμου) και την γεωγραφική εξάπλωση του σε 116 χώρες, συνολικά 44.773 βλαστοπλάσματα στο US Germplasm Resources Information Network (GRIN), το σόργο πρόκειται για μία μοναδική καλλιέργεια με πολλαπλές χρήσεις όπως τροφή, ζωοτροφή, καύσιμο και ίνες, μπορεί να καλλιεργηθεί σε πολλές περιοχές του πλανήτη και υπόκειται σε γενετική αλλαγή μέσω κλασικών και μοριακών προσεγγίσεων αναπαραγωγής (Perumal et al. 2020).

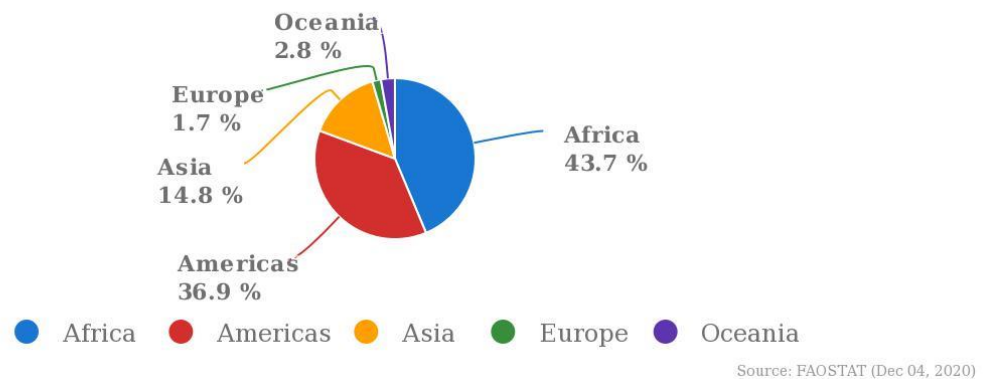
Το περισσότερο σόργο παράγεται συνολικά στην Αφρική, η χώρα που παράγει το περισσότερο σόργο είναι οι Ηνωμένες Πολιτείες της Αμερικής ενώ στην Ελλάδα καλλιεργούνται 30 στρ. και παράγονται 7 tn (FAOSTAT 2018).



Εικ. 1. Έκταση και απόδοση καλλιέργειας σόργου στην Ελλάδα (Πηγή: FAOSTAT).

Production share of Sorghum by region

Average 2010 - 2018



Εικ. 2. Κατανομή παραγωγής σόργου με βάση την απόδοση (Πηγή: FAOSTAT).

1.2. Ταξινόμηση

Η πρώτη σαφής γραπτή περιγραφή του σόργου έγινε από τον Πλίνιο γύρω στο 60-70 μ.Χ., ο οποίος περιέγραψε ένα σόργο με μαύρα βράκτια φύλλα, που είχε εισήχθη πρόσφατα στην Ιταλία από την Ινδία. Στη συνέχεια, έγινε περιγραφή και αναφορά του σόργου από τον Κάρολο Λινναίο το 1753 με το όνομα *Holcus* στο "Species Plantarum".

Ο Snowden (1936) έκανε την καθοριστική ταξινόμηση του σόργου. Όρισε 31 είδη, 158 ποικιλίες και 523 μορφές. Το σόργο έχει μεγάλη ποικιλομορφία. Τα πέντε υπογένη του είναι τα *Sorghum*, *Chaetosorghum*, *Heterosorghum*, *Parasorghum* και *Stiposorghum* και το καλλιεργούμενο σόργο είναι το *Sorghum bicolor* L. Moench (Lazarides et al. 1991; Celarier 1958). Οι Harlan και de Wet (1972) χώρισαν το είδος στους εξής τύπους: Bicolor, Caudatum, Durra, Guinea και Kafir με βάση τη μορφολογία των ταξιανθιών και των σταχυδίων.

Το **Bicolor** έχει επιμήκεις σπόρους και τα λέπυρα περιβάλλουν τους σπόρους. Από τους καλλιεργούμενους τύπους θεωρείται πως είναι ο στενότερος συγγενής των άγριων σόργων. Καλλιεργούνται για τον καρπό, ο οποίος χρησιμοποιείται συχνά στην παρασκευή μύρας. Γενικά η παραγωγή σπόρου είναι χαμηλή και δεν καλλιεργείται σε μικρές εκτάσεις. Συναντάται σε μικρή κλίμακα σχεδόν οπουδήποτε καλλιεργείται το σόργο.

Το **Caudatum** δεν έχει ομοιόμορφους σπόρους, είναι κοίλοι από τη μια πλευρά και καμπυλωτοί από την άλλη. Τα λέπυρα μπορούν να έχουν έως το μισό μήκος του σπόρου. Από γεωργική άποψη είναι από τους πιο σημαντικούς τύπους. Ο πιο σημαντικός ενδιάμεσος τύπος είναι το kafir-caudatum καθώς τα περισσότερα από τα σύγχρονα αμερικανικά υβρίδια σόργων ανήκουν σε αυτόν τον τύπο. Υπήρξε σημαντική πηγή βλαστικού πλάσματος σε προγράμματα

βελτίωσης στον κόσμο χάρη στην ικανότητα να κληροδοτεί το μέγεθος απόδοσης του, το έντονο χρώμα του σπόρου και ποιοτικό σπόρο στα υβριδικά παράγωγά του.

Το **Durra** έχει στρογγυλό σπόρο με πλατιά λέπυρα. Απαντάται κυρίως στην Αιθιοπία. Είναι ο μοναδικός τύπος σόργου στην Τουρκία, τη Συρία, το Ιράκ, το Ιράν, την Αραβική χερσόνησο και τη Βόρεια Αφρική. Ο τύπος αυτός συγκαταλέγει τις πιο εφήμερες, βραχείας περιόδου ποικιλίες όλων των σόργων. Μπορούν να καλλιεργηθούν στις πιο ξηρές περιοχές καθώς είναι ανθεκτικά στην ξηρασία.

Το **Guinea** έχει σπόρους με ποικίλο μέγεθος, πεπλατυσμένοι, με λογχοειδή λέπυρα και με μέγεθος ίσο ή μεγαλύτερο του σπόρου. Είναι τύπος της Δυτικής Αφρικής και ανάλογα με το μέγεθος του σπόρου διακρίνεται σε μεγάλους σπόρους (*conspicuum*), μεσαίους σπόρους (*guinea*) και μικρούς σπόρους (*margaritifera*). Πολλές από τις ποικιλίες αυτές έχουν καλή απόδοση και ως αποτέλεσμα είναι υψίστης σημασίας στη Δυτική Αφρική όπου παρέχει τροφή σε εκατομμύρια ανθρώπους.

Το **Kafir** έχει καρπό σχεδόν ομοιόμορφο σε σχήμα σφαιρικό. Κυριαρχεί στην Ανατολική Αφρική και από την Τασμάνια και προς το Νότο, όχι Βόρεια του Ισημερινού. “Τα kafir-durras δεν είναι σημαντικά μεταξύ των αυτόχθονων αφρικανικών σόργων, αλλά ήταν σημαντικά ως πηγές αναπαραγωγικού υλικού” (Dhalberg 2000; Harlan and de Wet 1972).

1.3. Χρήση

Στην πράξη, ανάλογα με τον τρόπο αξιοποίησης του χωρίζεται σε:

Καρποδοτικό σόργο: Είναι τα πιο κοντά (60-150 cm). Ο καρπός είναι ευμεγέθης και σφαιρικός και καταναλώνεται από τον άνθρωπο και διατίθεται στη θρέψη των ζώων.

Γλυκό σόργο: Τα στελέχη του γλυκού σόργου περιέχουν χυμό με έως και 17% σάκχαρα. Το ύψος τους κυμαίνεται από 3 με 6 m. Αξιοποιείται για την παραγωγή σιροπιού και αλκοόλης, όπου τελευταία παράγεται βιοαιθανόλη για χρήση ως καύσιμο.

Σόργο σαρωθροποιίας: Το σόργο σαρωθροποιίας φθάνει μέχρι τα 4,5 m. Μετά την αφαίρεση των κόκκων από τις ταξιανθίες, σχηματίζονται σκούπες (σάρωθρα). Οι σπόροι μπορούν να διατεθούν ως τροφή σε πτηνά.

Χορτοδοτικό σόργο: Το χορτοδοτικό σόργο έχει ύψος 2-3 m, δημιουργεί πολλά αδέρφια και αναπτύσσουν μεγάλη φυλλική μάζα. Αναβλαστάνουν εύκολα και μπορούν να δώσουν τρεις κοπές. Τα χλωρά μέρη μπορούν να χρησιμοποιηθούν για παραγωγή σανού ή άμεση κατανάλωση ή ενσίρωση (Παπαστυλιανού et al. 2015).

1.4. Βελτίωση του Σόργου

Τα περασμένα εξήντα χρόνια τουλάχιστον οι προσπάθειες βελτίωσης των φυτών έχουν εμπλουτίσει το γενετικό δυναμικό των δημητριακών (Maqbool et al. 2001) και έχουν αναπτυχθεί πολλά βελτιωμένα υβρίδια σόργου. Από το συνολικό καρποδοτικό σόργο που φυτεύτηκε σε όλο τον κόσμο το 48% πρόκειται για υβρίδια και οδήγησε σε 19% υψηλότερη απόδοση από ό,τι θα πρόκυπτε χωρίς τη χρήση υβριδίου (Duvick and Cassman 1999).

Το σόργο ως επί το πλείστον αυτογονιμοποιείται. Ο αέρας συμβάλλει στη γονιμοποίηση με τη μεταφορά της γύρης. Οι πρωταρχικές ποικιλίες σόργου που προήλθαν από τις προαναφερθείσες υπο και τροπικές περιοχές είχαν ύψος 3 – 5 m και ωρίμαζαν σε διάστημα 120 με 180 ημέρες.

Με την προσαρμογή των ποικιλιών για καλλιέργεια σε εύκρατες περιοχές και παράλληλα την ενσωμάτωση γονιδίων νανισμού προέκυψαν μικρότερες ποικιλίες με το ύψος τους να κυμαίνεται στα 1,2 – 2,5 m με αποτέλεσμα να αυξηθεί ο δείκτης συγκομιδής, να είναι πιο εύκολη η διαχείριση της καλλιέργειας και να διευκολυνθεί με την εκμηχάνιση της η συγκομιδή.

Η διαπίστωση των Stephens και Holland (1954) της κυτοπλασματικής αρρενοστεριότητας είχε ως αποτέλεσμα την δημιουργία εμπορικών υβριδίων και οδήγησε στην αύξηση των αποδόσεων τουλάχιστον κατά 300% στο διάστημα 1950 – 1990.

Οι Assefa και Staggenborg (2010) κατέληξαν στο συμπέρασμα πως υπήρξαν καλύτερα αποτελέσματα στην ξηρική καλλιέργεια του σόργου λόγω του ότι η βελτίωση των υβριδίων εστιάστηκε στην αύξηση της αντοχής στην έλλειψη του νερού. Πρότειναν ενδεδειγμένη διερεύνηση στα χαρακτηριστικά που ενίσχυσαν τα νεοανεπτυχθέντα υβρίδια να ανταποκριθούν καλύτερα στην καλλιέργεια με συνθήκες απουσίας νερού ως μια κατεύθυνση για τη συγκέντρωση των μελλοντικών ερευνών και πως η αύξηση του δυναμικού απόδοσης στις αρδευόμενες καλλιέργειες ίσως να ωφεληθεί από περισσότερο έλεγχο και επιλογή υβριδίων υπό επαρκείς εδαφοκλιματικές συνθήκες (Assefa and Staggenborg 2010).

Σήμερα, ανάλογα με τις εδαφοκλιματικές συνθήκες, την οικονομική κατάσταση και τους στόχους του παραγωγού καλλιεργούνται και τα υβρίδια και βελτιωμένες ποικιλίες (Παπακώστα - Τασοπούλου 2012).

1.5. Βοτανικά και μορφολογικά χαρακτηριστικά

Το σόργο (*S. bicolor*), αν και είναι ένα πολυετές αγρωστώδες που στις τροπικές περιοχές μπορεί να πραγματοποιηθούν πολλές κοπές, καλλιεργείται σαν ένα εαρινό ετήσιο αγρωστώδες φυτό (FAO 1995). Πολλαπλασιάζεται αγενώς. Το ύψος του μπορεί να φτάσει είναι 1 - 5 m. Το καρποδοτικό σόργο δίνει υψηλές αποδόσεις σε σπόρο και μικρό ύψος για διευκόλυνση της μηχανικής συγκομιδής. Αντιθέτως, το ινώδες και το γλυκό σόργο όσο έχουν μικρές αποδόσεις σε καρπό και μεγαλύτερο ύψος και επομένως δίνουν μεγαλύτερες αποδόσεις σε βλαστό. Τα στελέχη του ινώδους σόργου έχουν υψηλή περιεκτικότητα σε κυτταρίνες και ημικυτταρίνες ενώ τα στελέχη του γλυκού σόργου έχουν υψηλή περιεκτικότητα σε σάκχαρα (Παβέλη 2013).

1.5.1. Ριζικό σύστημα

Το ριζικό σύστημα είναι πυκνό ινώδες. Αποτελείται από λεπτές ρίζες ίσης διαμέτρου. Έχει μια εμβρυακή ρίζα που μεγαλώνει κάθετα προς τα κάτω, εκφύοντας πλευρικές ρίζες σε όλο της το μήκος. Είναι ενεργή καθ' όλη τη διάρκεια του βιολογικού κύκλου του φυτού, αλλά μετά τον σχηματισμό του μόνιμου ριζικού συστήματος παύει να έχει σημασία.

Οι μόνιμες ρίζες είναι τυχαίες και σχηματίζονται από οποιονδήποτε μη ριζικό ιστό. Εκφύονται κατά τη διάρκεια της φυσιολογικής ανάπτυξης και αναπτύσσονται διαδοχικά από τους κόμβους κοντά στο εδάφος.

Οι πλευρικές ρίζες είναι διακλαδισμένες, κυρίως εκείνες που βρίσκονται κοντά στο εδάφος. Το χρώμα τους εξαρτάται από το στάδιο ανάπτυξης και την ηλικία τους και μπορεί να είναι κοκκινωπό καφέ ή λευκό. Σε πολλές ποικιλίες σόργου οι ρίζες στήριξης μπορούν να φτάσουν ύψος 1,2 m πάνω από το έδαφος (Artschwager 1948).

Οι στηρικτικές ρίζες έχουν πράσινο χρώμα και είναι πιο μεγάλες από τις κανονικές ρίζες. Συμπεριφέρονται σαν τις τυπικές ρίζες όταν εισέλθουν στο έδαφος και το μέγεθος τους μειώνεται μέχρι να αποκτήσουν τη διάμετρο των κύριων πλευρικών.

Το επιφανειακό ριζικό σύστημα του σόργου είναι μεγάλο. Οι ρίζες εισχωρούν σε βάθος 0,9 – 1,2 m, μέχρι και 2 m. Είναι πιο ινώδεις από αυτές του καλαμποκιού και μπορεί να αναπτυχθούν δύο φορές περισσότερες πλευρικές ρίζες σε οποιοδήποτε στάδιο του βιολογικού κύκλου του, με αποτέλεσμα το φυτό να είναι αρκετά ανθεκτικό στην ξηρασία (Artschwager 1948).

Το εκτενές ριζικό σύστημα του σόργου και η ικανότητα του να αδρανοποιείται σε περιόδους έλλειψης νερού είναι ένα χαρακτηριστικό που του προσδίδει την ικανότητα να αντέχει την

ξηρασία. Γι' αυτό ενδείκνυται για καλλιέργεια σε οριακά ξηρικά συστήματα καλλιέργειας (Venkateswaran et al. 2018).

1.5.2. Βλαστός

Όπως και το καλαμπόκι, ο βλαστός του σόργου είναι κατακόρυφος κάλαμος. Αποτελείται από γόνατα και μεσογονάτια διαστήματα και ο αριθμός τους κυμαίνεται από 7 έως 20. Ένα φύλλο εκφύεται από ένα γόνατο. Το ύψος του εξαρτάται από την ποικιλία και μπορεί να είναι 0,5 – 5 m. Το μήκος των μεσογονατίων διαστημάτων ρυθμίζεται από τέσσερα υποτελή γονίδια. Δρουν προσθετικά και δεν επηρεάζεται από το είδος των γονιδίων (Quinby and Karper 1954). Η διάμετρος του βλαστού είναι 0,4 – 2,6 cm (Biosci et al. 2020).

Τα μεσογονάτια διαστήματα είναι πιο ομοιόμορφα και έχουν μεγαλύτερο μήκος στη μέση του βλαστού και μικρότερα κοντά στη βάση. Το κορυφαίο μεσογονάτιο που φέρει την ταξιανθία είναι και το πιο επίμηκες. Η επιφάνεια του μεσογονατίου είναι επικαλυμμένη με κερί που μπορεί να επισκιάσει το πράσινο χρώμα του βλαστού.

Οι οφθαλμοί είναι είτε ελαφριά διογκωμένοι είτε είναι επίπεδοι με το μεσογονάτιο (Artschwager 1948). Αδέλφια σχηματίζουν οι οφθαλμοί που βρίσκονται χαμηλά προς το έδαφος.

Ο βλαστός περιέχει εντεριώνη που είτε είναι σκληρή είτε χυμώδης και η τελευταία μπορεί να είναι γλυκιά ή μη. Το αδελφωμα επηρεάζεται από την ποικιλία και την πυκνότητα φύτευσης. Το χορτοδοτικό σόργο είναι αυτό που αδελφώνει πιο πολύ και συγκεκριμένα το σόργο του Σουδάν. Τις πρώτες μέρες τα φυτά δεν αναπτύσσονται γρήγορα. Μετά από 30 ημέρες αναπτύσσονται πιο γρήγορα και αυξάνεται το μήκος των μεσογονατίων διαστημάτων. Η αύξηση αυτή ελαττώνεται τις τελευταίες μέρες πριν την άνθηση και όταν ανθίσει σταματά (Καραμάνος 1999). Αδέλφια παρατηρούνται όχι μόνο κατά τη βλαστική ανάπτυξη αλλά και κατά την άνθηση και μετά-ανθική περίοδο, κάτι που δεν παρουσιάζουν άλλα σιτηρά. Αυτές οι διακλαδώσεις δεν ωριμάζουν έγκαιρα με αποτέλεσμα να κωλύεται η συγκομιδή (Παπακώστα - Τασοπούλου 2012).

1.5.3. Φύλλα

Υπάρχουν πολλές ομοιότητες στο σχήμα των φύλλων του αραβοσίτου και του σόργου. Το φύλλο αποτελείται από τον κολεό, ο οποίος περιβάλλει το μεσογονάτιο διάστημα πάνω από τον κόμβο και το έλασμα. Σε σχέση με το καλαμπόκι, το σόργο αριθμεί 50% περισσότερα στομάτια σε κάθε φύλλο (Δαλιάνης 1983).

Ο αριθμός των φύλλων κυμαίνεται από 7 - 25 και εκφύονται εναλλάξ με απόκλιση 180°. Η διάρκεια της βλαστικής περιόδου συσχετίζεται άμεσα με τον αριθμό των φύλλων. Στις πρώιμες ποικιλίες συναντούμε 7 - 9 φύλλα, ενώ στις όψιμες μέχρι και 28. Δεν υπάρχει μεγάλη διακύμανση στο μήκος του ελάσματος μεταξύ των διάφορων ποικιλιών (Artschwager 1948).

Η άνω επιφάνεια του ελάσματος είναι λεία και η περιφέρεια του είναι οδοντωτή. Πάνω τους τα φύλλα φέρουν μηχανικά κύτταρα με τα οποία μπορούν να συστραφούν και να περιορίσουν τυχόν απώλειες νερού σε περιόδους ξηρασίας. Επιπλέον, τα μικρά στόματα και η κάλυψη της επιδερμίδας των φύλλων με κηρώδες επίχρισμα είναι χαρακτηριστικά που καθιστούν το σόργο ανθεκτικό στην ξηρασία (Παπακώστα - Τασοπούλου 2012).

1.5.4. Αναπαραγωγικά όργανα

Το φυτό του σόργου είναι μόνικο και μονόκλινο, σε αντίθεση με αυτό του καλαμποκιού που είναι μόνικο και δικλινές. Η ταξιανθία είναι φόβη οποία προεκτείνεται από το στέλεχος και ποικίλει ως προς το μέγεθος της και το πόσο συμπαγής είναι. Οι ταξιανθίες μπορεί να αναπτύσσονται είτε ευθύγραμμα προς τα πάνω, χαρακτηριστικό επιθυμητό για το οποίο έγινε βελτίωση ποικιλιών για την ομαλή διεξαγωγή μηχανικής συγκομιδής, είτε να γέρνουν προς τα κάτω. Ο κεντρικός άξονας της ταξιανθίας αποτελείται από κόμβους και μεσογονάτια. Από τους κόμβους εκφύονται διακλαδώσεις πρώτης τάξεως και από αυτές δεύτερης τάξεως από τις οποίες εκφύονται τα σταχύδια. Τα σταχύδια φέρονται κατά ζεύγη, ένα άμισχο (γόνιμο) και ένα έμισχο (άγονο). Το γόνιμο σταχύδιο αποτελείται από δύο παχιά λέπυρα και δύο άνθη, εκ των οποίων το ένα μόνο είναι γόνιμο. Το γόνιμο άνθος αποτελείται από τον χιτώνα και τη λεπίδα, δύο γλωχίνες, τρεις στήμονες και τον ύπερο. Ο ύπερος αποτελείται από μια μονόχωρη ωοθήκη και έναν βραχύ στύλο με στίγμα δισχιδές. Ο χιτώνας και η λεπίδα είναι λεπτοί και υμενώδεις. Εάν υπάρχει το άγονο τότε είναι προέκταση του χιτώνα του γόνιμου άνθους. Τα φυτά του σόργου ως επί το πλείστον είναι αυτογονιμοποιούμενα, συμβαίνει όμως και η σταυρογονιμοποίηση, σε χαμηλά ποσοστά όμως. Μεγαλύτερο είναι το ποσοστό φυσικής σταυρογονιμοποίησης στο σόργο του Σουδάν. Σε μία φόβη μπορεί να βρούμε 800 - 3.000 κόκκους (Παπακώστα - Τασοπούλου 2012).

Τα χαρακτηριστικά των ταξιανθιών έχουν μεγάλο εύρος ποικιλίας, από την χαλαρή, ανοιχτή φόβη των άγριων σόργων έως τις πολύ συμπαγείς κεφαλές ορισμένων βελτιωμένων ποικιλιών. Σε αυτά τα χαρακτηριστικά στηρίχθηκαν και οι Harlan και de Wet (1972) για να δημιουργήσουν μία απλούστερη ταξινόμηση. Θεώρησαν πως μια σειρά από επτά τύπους, από τα συμπαγή *duggas* με σφαιρική κεφαλή έως τις χαλαρές φόβες των άγριων ποικιλιών θα

εξυπηρετούσε τις ανάγκες τους Αυτοί οι βασικοί τύποι σταχυδίων είναι: durra, kafir, caudatum, guinea, bicolor, shattercane και άγρια.

1.5.5. Καρπός

Παρομοίως με τα άλλα σιτηρά ο καρπός του σόργου είναι καρύωση. Είναι μονόσπερμος, ξηρός, με περγαμηνοειδές περικάρπιο που ενώνεται με το σπέρμα. Το χρώμα του μπορεί να είναι άσπρο, μπεζ, κόκκινο, κίτρινο, καφέ και άλλα και επηρεάζεται από χρωστικές που βρίσκονται στο περικάρπιο. Πριν τη συγκομιδή ο σπόρος μπορεί να φέρει το περίβλημα του ή και όχι. Ο σπόρος αποτελείται από το περικάρπιο, το ενδοσπέρμιο και το έμβρυο. Αποτελείται από δύο κύρια μέρη, τον άξονα του εμβρύου και το ασπίδιο (Παπαστυλιανού et al. 2015).

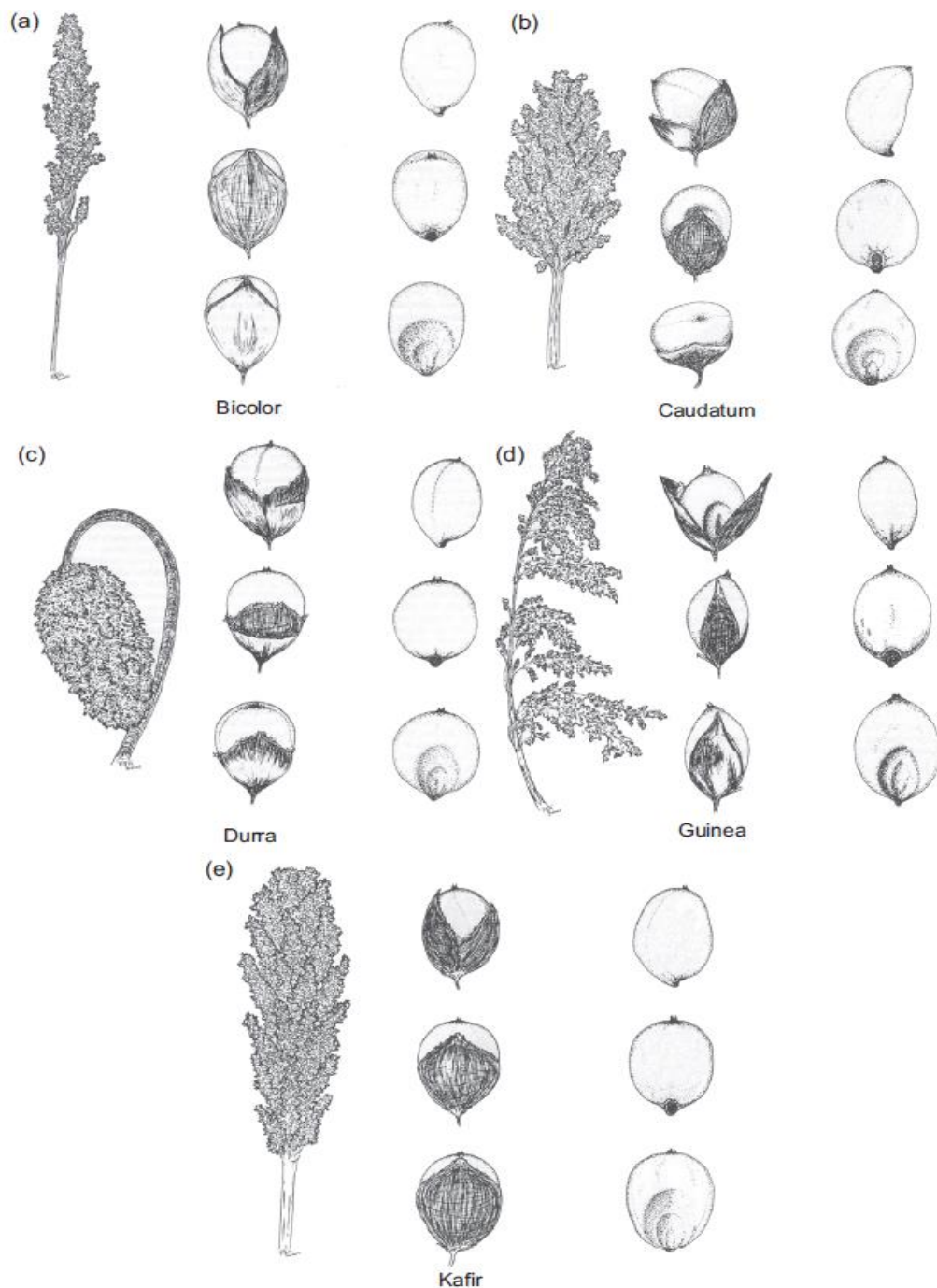
Το έμβρυο είναι μια μικρογραφία του φυτού και φέρει τις καταβολές των πρώτων οργάνων του και ο άξονας του εμβρύου περιλαμβάνει το ριζίδιο και το πτερίδιο που θα δώσουν το έναυσμα για νέα ανάπτυξη στο βλαστό και τις ρίζες. Το έμβρυο είναι πλούσιο σε δομικές πρωτεΐνες, λιπίδια και μέταλλα. Η κολεόρριζα περικλείει το ριζίδιο και το κολεόπτιλο περικλείει το πτερίδιο. Και τα δύο είναι μέρη του κεντρικού άξονα του εμβρύου και δρουν προστατευτικά. Το ασπίδιο περικλείει τον κεντρικό άξονα του εμβρύου, απαρτίζει το μεγαλύτερο τμήμα του και συνιστά την κοτύλη. Το ασπίδιο αποτελείται από έλαια και τα συστατικά του είναι καθοριστικής σημασίας στο φύτεμα και την πρώτη ανάπτυξη. Τα συστατικά του κόκκου είναι: 84% ενδοσπέρμιο, 10% έμβρυο και 6% περικάρπιο. Το κεντρικό περικάρπιο περιέχει έως και 3,7% της συνολικής περιεκτικότητας σε άμυλο. Το έμβρυο και το περικάρπιο έχουν 3 έως 4 φορές υψηλότερη περιεκτικότητα σε λυσίνη από το ενδοσπέρμιο. Η περιεκτικότητα του αμύλου στο ενδοσπέρμιο κυμαίνεται σε 22 - 24% αμυλόζη και 75 - 78% αμυλοπηκτίνη (Καραμάνος 1999).

Ανάλογα με την ποικιλία του σόργου παρατηρούνται διαφορές στη μορφή και το μέγεθος των κόκκων. Επίσης τα λέπυρα είναι δυνατό να αποσπαστούν από το σπόρο είτε με ευκολία ή όχι (Παπακώστα - Τασοπούλου 2012).

1.6. Επιμερή χαρακτηριστικά των καλλιεργουμένων τύπων

Χορτοδοτικό σόργο: Το χορτοδοτικό σόργο έχει ύψος 2-3 m. Τα υβρίδια παράγουν σχεδόν ίση ποσότητα για ενσίρωμα με το καλαμπόκι καταναλώνοντας 30% λιγότερο σε σχέση με αυτό. Έχουν σχεδιαστεί να δημιουργούν πολλά αδέρφια και αναπτύσσουν μεγάλη φυλλική μάζα. Αναβλαστάνουν εύκολα και μπορούν να δώσουν τρεις κοπές. Τα χλωρά μέρη μπορούν να

χρησιμοποιηθούν για παραγωγή σανού ή άμεση κατανάλωση ή ενσίρωση (Παπαστυλιανού et al. 2015; Παπακώστα - Τασοπούλου 2012).



Εικ. 3. Βασικοί Τύποι. (a) Bicolor, (b) Caudatum, (c) Durra, (d) Guinea, (e) Kafir. Από Mann, J. A., Kimber, C. T., Miller, F. R., 1983. The origin and early cultivation of sorghums in Africa. Texas Agric. Exp. Stn. Bull. 1454.

Καρποδοτικό σόργο: Είναι κοντά φυτά 60-150 cm για να διευκολύνουν την μηχανική συγκομιδή. Σε γενικές γραμμές ο βλαστός είναι σκληρός στην ωρίμανση. Ορισμένες ποικιλίες περιέχουν χυμό στο βλαστό τους και μπορούν να χρησιμοποιηθούν και για παραγωγή χόρτο αλλά και για ενσίρωση. Οι ταξιανθίες είναι ευμέγεθες και συμπαγής.

Γλυκό σόργο: Το ύψος τους κυμαίνεται από 3 με 6 m. Έχει γίνει βελτίωση για να μην πλαγιάζουν τα φυτά. Οι ταξιανθίες που φέρει είναι σκουρόχρωμες και έχουν μικρό μέγεθος. Αξιοποιείται για την παραγωγή σιροπιού και αλκοόλης, όπου τελευταία παράγεται βιοαιθανόλη για χρήση ως καύσιμο.

Σόργο σαρωθοποιίας: Το σόργο σαρωθοποιίας φθάνει μέχρι τα 4,5 m. Μετά την αφαίρεση των κόκκων από τις ταξιανθίες, σχηματίζονται σκούρες (σάρωθρα). Οι ταξιανθίες του μπορούν να φτάσουν από 50 έως 100 εκατοστά, κάτι που τα ξεχωρίζει από τους άλλους τύπους. Δεν καλλιεργούνται τα υβρίδια γιατί υπολείπονται ως προς την ποιότητα της ταξιανθίας και την απόδοση τις ποικιλίες (Παπαστυλιανού et al. 2015; Παπακώστα - Τασοπούλου 2012).

1.7. Στάδια Ανάπτυξης

Παράγοντες που επηρεάζουν το πόσο διαρκεί ο βιολογικός κύκλος του σόργου είναι ο τύπος του σόργου, εάν πρόκειται για υβρίδιο ή ποικιλία, το περιβάλλον στο οποίο καλλιεργείται, όπως η θερμοκρασία, η διάρκεια της ημέρας, το φως, το ύψος, οι εδαφοκλιματικές συνθήκες και άλλα. Σε εύκρατο κλίμα διαρκεί από 80 έως 120 ημέρες. Οι παλαιότερες ποικιλίες χρειαζόταν περισσότερες ημέρες για να ολοκληρώσουν το βιολογικό τους κύκλο, σε αντίθεση με τα νέα υβρίδια (Παπακώστα - Τασοπούλου 2012). Μεγάλη φωτοπερίοδος κωλύει την άνθηση και η επιρροή της επηρεάζεται από αρκετά γονίδια (Quinby 1974).

Για την σωστή κατανόηση της αύξησης και της ανάπτυξης σόργου καλό είναι να γίνει η αναγνώριση ορισμένων βασικών δομών του σόργου. Το κολεόπτυλο είναι το πρώτο φύλλο που εμφανίζεται μετά την έκπτυξη του φυτού από το έδαφος. Ξεχωρίζει από τα άλλα φύλλα επειδή στην άκρη του το φύλλο είναι στρογγυλό. Είναι ορατό μόνο όταν το φύλλο έχει ολοκληρώσει την ανάπτυξη και εμφανίζεται όταν συναντώνται η λεπίδα των φύλλων και το περίβλημα των φύλλων. Αυτή η διασταύρωση εμφανίζεται σε έναν κόμβο. Το τελικό φύλλο που σχηματίζεται στο φυτό είναι το φύλλο σημαίας και το μέγεθος του είναι μικρότερο από τα υπόλοιπα φύλλα. Στο τέλος εμφανίζεται η ταξιανθία εκφύεται από τη θήκη του φύλλου σημαίας που στηρίζεται από τον ποδίσκο. Οι Gerik et al. (2003) αναγνωρίζουν τρεις περιόδους ανάπτυξης και οι Vanderlip και Reeves (1972) εννέα στάδια ανάπτυξης.

1.7.1.1. Στάδιο φυταρίου

Στο πρώτο στάδιο ανάπτυξης των σπορόφυτων πραγματοποιείται κυρίως φυτική ανάπτυξη. Το φυτό εκφύει φύλλα και σχηματίζει τα όργανα με σκοπό την τελική δημιουργία και ανάπτυξη σπόρου. Λόγω του ότι τα υβρίδια δεν επηρεάζονται πλέον από τη διάρκεια της ημέρας η διάρκεια του σταδίου φυταρίου επηρεάζεται πολύ από τη θερμοκρασία του αέρα και από το πλήθος των φύλλων που θα εκπτυχθούν. Ο μικρός αριθμός φύλλων έχει ως αποτέλεσμα τη γρήγορη ωρίμανση που συνεπάγεται με μικρότερη απόδοση σε σπόρο και ζωοτροφή. Τα πρώιμα υβρίδια σχηματίζουν γύρω στα 15 φύλλα ανά φυτό, τα υβρίδια μέσης ωρίμανσης 17 και τα όψιμα 19 φύλλα ανά φυτό. Σε αυτό το στάδιο το σόργο μπορεί να αντέξει παγωνιές, χαλάζι και έλλειψη νερού με μόνο μια μικρή πτώση στην απόδοση. Ημέρες με ανέφελο ουρανό και θερμοκρασίες μέχρι 18°C ευνοούν το αδελφωμα όταν το σόργο φέρει 4 με 6 φύλλα. Η αραιή φύτευση ευνοεί το αδελφωμα, γεγονός που μπορεί να αντισταθμίσει τυχόν μικρό αριθμό φυτών (Kelley 2004b).

1.7.1.2. Στάδιο ανάπτυξης φόβης

Στο δεύτερο στάδιο ανάπτυξης πραγματοποιείται ο σχηματισμός των αναπαραγωγικών οργάνων, της φόβης και τότε καθορίζεται ο αριθμός των σπόρων που θα φέρει κάθε φυτό. Καθώς αναπτύσσεται η φόβη είναι εμφανές ορισμένες προεξοχές 30 - 35 ημέρες μετά την έκπτυξη. Κρίνεται το πιο σημαντικό στάδιο για την παραγωγή σιτηρών διότι σε αυτό το διάστημα το κάθε φυτό θα σχηματίσει τα 2/3 της συνολικής παραγωγής σε σπόρο και αν οποιοδήποτε αίτιο σταματήσει την ανάπτυξη της φόβης θα προκαλέσει μείωση στον αριθμό των ανθιδίων που θα είναι δημιουργηθούν, με αποτέλεσμα την μικρότερη απόδοση σε σπόρο (Gerik 2003).

Σε αυτό το στάδιο ακραίες θερμοκρασίες, υπερβολική ή ελλιπή άρδευση ή η απουσία επαρκούς ποσότητας θρεπτικών ουσιών θα έχει αρνητικές επιπτώσεις στην παραγωγή. Επίσης αυξάνονται οι ανάγκες σε νερό και αν πρόκειται για αρδευόμενη καλλιέργεια πρέπει να τροφοδοτείται η απαραίτητη ποσότητα νερού σε αυτό το κρίσιμο στάδιο (Kelley 2004b).

Με το έναυσμα σχηματισμού της φόβης σε εκείνο το σημείο το φυτό παύει να εκπτύσσει καινούργια φύλλα και όλη η ενέργεια του συγκεντρώνεται στη δημιουργία των αναπαραγωγικών οργάνων. Το φυτό πια έχει εκπτύξει όλα τα φύλλα που θα φέρει μέχρι τη συγκομιδή, τα οποία όμως έχουν επιτύχει μόνο το 30% του τελικού μεγέθους τους. Τα φύλλα θα αυξηθούν μέχρι το τελικό τους μέγεθος παράλληλα με τα αναπαραγωγικά και φυτικά μέρη.

Το φύλλο σημαίας εμφανίζεται τελευταίο. Σε σχέση με τα άλλα φύλλα είναι μικρότερο και βρίσκεται κάτωθεν της φόβης. Όταν εκπτυχθεί το φύλλο σημαίας η φόβη είναι πλήρως ανεπτυγμένη και έτοιμη για άνθιση, τα φύλλα έχουν φτάσει το τελικό τους μέγεθος και το φυτό φέρει το 60% της τελικής ξηρής ουσίας του.

Ακόμη, σε εκείνο το χρονικό σημείο το σόργο απαιτεί το περισσότερο νερό. Έντονη έλλειψη νερού θα έχει ως αποτέλεσμα την ημιτελή άνθιση, με σοβαρές επιπτώσεις στην παραγωγή. Επίσης οι παραγωγοί θα πρέπει να αποφύγουν την οποιαδήποτε επεξεργασία του εδάφους για να μην επηρεάσουν αρνητικά την αύξηση του ριζικού συστήματος, που αυτό με τη σειρά του θα δυσκολέψει την πρόσληψη του νερού και θρεπτικών ουσιών (Gerik 2003).

1.7.1.3. Στάδιο άνθισης

Το τρίτο και τελευταίο στάδιο ξεκινά με την άνθιση και διαρκεί μέχρι τη φυσιολογική ωρίμανση. Η άνθιση, ανάλογα με την ποικιλία πραγματοποιείται 60 με 90 μέρες μετά το φύτευμα (Quinby 1974). Η θερμοκρασία, το μέγεθος της φόβης και ο τύπος σόργου που καλλιεργείται είναι οι κυριότεροι παράγοντες που επηρεάζουν τη διάρκεια της ανθοφορίας, η οποία είναι διαρκεί γύρω στις επτά ημέρες, αλλά κυμαίνεται από 2 έως 15 ημέρες (Stephens and Quinby 1934).

Με την έκπτυξη του κεφαλιού, πέντε με επτά ημέρες μετά παρουσιάζονται κίτρινοι ανθήρες. Η ανάπτυξη του ανθήρα λαμβάνει χώρα τις ακόλουθες τέσσερις με εννέα ημέρες. Σε αυτό το στάδιο είναι κρίσιμη περίοδος για την εξασφάλιση επαρκούς ποσότητας νερού και θα χρειαστεί για τις ακόλουθες δυο εβδομάδες μετά την άνθιση.

Μετά την ανθοφορία, οι κόκκοι χρειάζονται χρονικό διάστημα διάρκειας 25 με 45 ημερών για να περάσουν όλα τα στάδια ανάπτυξης (υδατώδης καρπός, στάδιο γάλακτος, στάδιο μαλακής ζύμης, στάδιο σκληρής ζύμης, στάδιο φυσιολογικής ωρίμανσης και στάδιο σκλήρυνσης του κόκκου). Κατά το στάδιο του γάλακτος επιτυγχάνουν το τελικό τους μέγεθος γύρω στις δέκα ημέρες μετά την ανθοφορία. Όταν φτάσει το μισό βάρος του στο στάδιο της μαλακής ζύμης έχουν περάσει 15 με 25 ημέρες μετά την ανθοφορία (κατά την άσκηση πίεσης σχεδόν καθόλου δεν εμφανίζεται υγρό). Σε αυτό το στάδιο ο κόκκος είναι έρμαιο των πτηνών. Στο στάδιο της σκληρής ζύμης, δεν μπορεί να συμπιεσθεί και έχει φτάσει περίπου τα 3/4 του τελικού του βάρους (Kelley 2004b).

Όταν ο σπόρος βρίσκεται στο στάδιο της μαλακής ή σκληρής ζύμης, η έλλειψη νερού προκαλεί τον κόκκο να συρρικνωθεί κόκκο και να έχει χαμηλό βάρος. Ο σπόρος είναι πια φυσιολογικά ώριμος όταν φτάσει το τελικό του βάρος και η υγρασία του σπόρου είναι κυμαίνεται στο 30 -

35%. Για να μην προκληθεί ζημιά στο σπόρο πρέπει να συγκομισθεί όταν η υγρασία του φθάσει το 20% (Kelley 2004b).

Το 85% της παραγόμενης ξηρής ουσίας του τελικού βάρους του κόκκου παράγεται στο στάδιο της άνθησης, ενώ το υπόλοιπο 15% στα δύο πρώτα στάδια. Υβρίδια με σπόρους με μεγάλο βάρος έχουν λιγότερους σπόρους. Ισχύει και το αντίστροφο.

Υπό ευνοϊκές συνθήκες καλλιέργειας αυξάνεται το ποσοστό του αδελφώματος. Εάν δεν περιορίσει τη δράση τους ο παραγωγός, παρόλο που παράγονται μερικοί ακόμα σπόροι, αυξάνεται η υγρασία των σπόρων σε μη επιτρεπτό επίπεδο με αποτέλεσμα να μην μπορούν να διατεθούν για πώληση, αποθήκευση ή παράδοση, με αποτέλεσμα να πρέπει να αναβληθεί η συγκομιδή για πολλές μέρες. Κατά συνέπεια υποβαθμίζεται σημαντικά η ποιότητα των σπόρου, μειώνοντας την τιμή πώλησης και το εισόδημα του παραγωγού. Δεν παράγονται αδέλφια όταν οι περιβαλλοντικές συνθήκες δεν είναι ευνοϊκές κατά τη συγκομιδή της καλλιέργειας (Gerik 2003).

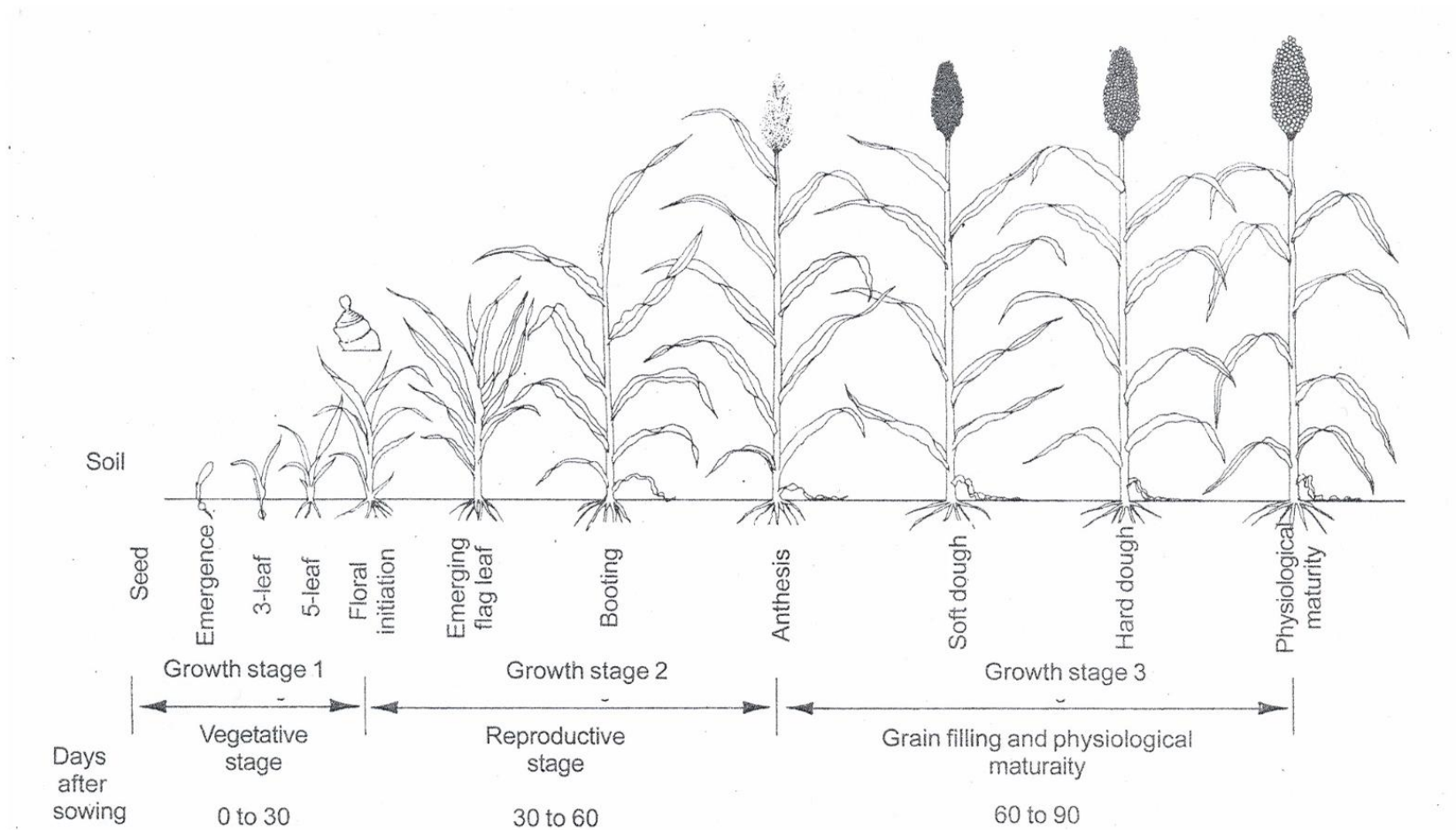
1.7.2. Στάδια ανάπτυξης

Στάδιο 0. Έκπτυξη 3-10 ημέρες μετά τη φύτευση. Επηρεάζεται από τη θερμοκρασία του εδάφους, την υγρασία, το βάθος φύτευσης και τη ζωτικότητα του σπόρου. Το φυτόμα στηρίζεται στα θρεπτικά αποθέματα του σπόρου.

Στάδιο 1. Ο κολεός του τρίτου φύλλου είναι ορατός και το σημείο ανάπτυξης παραμένει κάτω από το έδαφος. Η ταχύτητα ανάπτυξης σε αυτό το στάδιο ανάπτυξης εξαρτάται από τη θερμοκρασία του αέρα.

Στάδιο 2. Ο κολεός του πέμπτου φύλλου είναι ορατός και το φυτό αναπτύσσεται ταχύτατα. Το ριζικό σύστημα αναπτύσσεται γρήγορα και το πρώτο φύλλο (κολεόπτυλο) μπορεί να πέσει. Η ορθολογική διαχείριση των εντόμων, των ζιζανίων, του νερού και της επαρκούς ποσότητας θρεπτικών συστατικών μπορεί να συμβάλει σημαντικά στην αξιοποίηση του δυναμικού απόδοσης.

Στάδιο 3. Το φυτό στρέφεται από την φυτική ανάπτυξη στην αναπαραγωγή. Δεν παράγονται πλέον νέα φύλλα, συνεχίζουν όμως να μεγαλώνουν. Ο μίσχος αναπτύσσεται γρήγορα. Αυξάνεται σημαντικά η πρόσληψη θρεπτικών ουσιών καθώς αναπτύσσεται η κεφαλή.



Εικ. 4. Στάδια ανάπτυξης σόργου. Από Murty, D. S., Tabo R., Ajayi O, 1994. Sorghum hybrid seed production and management. ICRISAT Information Bulletin.

Η διαθεσιμότητα θρεπτικών ουσιών και νερού είναι κρίσιμη σε αυτό το σημείο. Το κλείσιμο του θόλου βοηθά στην καταπολέμηση των ζιζανίων.

Στάδιο 4. Το φύλλο σημαίας είναι ορατό. Η κεφαλή συνεχίζει την ανάπτυξη της και τα φύλλα έχουν φθάσει σχεδόν το 80% της συνολικής επιφάνειας τους.

Στάδιο 5. Τα φύλλα έχουν φθάσει το τελικό τους μέγεθος. Το κεφάλι είναι σχεδόν στο τελικό του μέγεθος. Έλλειψη νερού ή χρήση ζιζανιοκτόνου μπορεί να παρεμποδίσει την πλήρη έκπτυξη της κεφαλής, με αποτέλεσμα να μην πραγματοποιηθεί η επικονίαση.

Στάδιο 6. Ένα φυτό σόργου βρίσκεται σε άνθιση όταν ο ταχέως αναπτυσσόμενος μίσχος σπρώχνει το κεφάλι μέσω του φύλλου της σημαίας. Η καλλιέργεια βρίσκεται στα μισά της άνθιση όταν πάνω από 50% των φυτών στον αγρό βρίσκονται σε κάποιο στάδιο άνθισης. Ξεκινά το γέμισμα του σπόρου.

Στάδιο 7. Ο σπόρος συνεχίζει να γεμίζει. Βρίσκεται στο στάδιο της μαλακής ζύμης, θα συγκεντρώσει σχεδόν το 50% του τελικού ξηρού βάρους του. Τα παλαιότερα φύλλα θα συνεχίσουν να πέφτουν.

Στάδιο 8. Ο σπόρος έχει συγκεντρώσει τα $\frac{3}{4}$ του τελικού ξηρού βάρους του (στάδιο της σκληρής ζύμης). Η πρόσληψη θρεπτικών συστατικών θεωρείται πλήρης. Έλλειψη σημαντικής ποσότητας νερού σε αυτό το στάδιο οδηγεί σε ελαφρύ, σκασμένο σπόρο.

Στάδιο 9. Τα φυτά σόργου είναι φυσιολογικά ώριμα. Η υγρασία των κόκκων είναι 25 - 35% ανάλογα με τον τύπο σόργου και τις συνθήκες ανάπτυξης (Vanderlip and Reeves 1972).

1.8. Οικολογία και Περιβαλλοντικές απαιτήσεις

Λαμβάνοντας υπόψιν την ιστορική εξάπλωση και διασπορά της καλλιέργειας του σόργου αντιλαμβανόμαστε τα βιολογικά και οικολογικά χαρακτηριστικά που τροποποίησαν την καλλιέργεια στην τωρινή μορφή της (Mann et al. 1983). Η συνεχής βελτίωση που γίνεται στο φυτό έχει ως αποτέλεσμα να καλλιεργείται το σόργο σήμερα σε ποικίλες εδαφοκλιματικές συνθήκες ανά τον κόσμο, ικανό να ανταπεξέλθει σε διάφορες αντιξοότητες (Kimber 2000). Το σόργο όμως κατάγεται από τροπική περιοχή και είναι C4 φυτό και η θερμοκρασία, το φως και ο φωτοπεριοδισμός επηρεάζουν την ανάπτυξη του (Lumsden 2002).

Η ανάπτυξη του σόργου επηρεάζεται γενικά από τις εξής περιβαλλοντικές συνθήκες:

Φωτοπερίοδος: το σόργο είναι φυτό βραχείας φωτοπεριόδου. Οι περισσότεροι τύποι σόργου επιρρεπής στη φωτοπερίοδο ανθίζουν όταν η ημέρα διαρκεί δώδεκα ώρες. Επειδή δεν υπάρχει ουσιαστική διακύμανση στη διάρκεια της ημέρας στις τροπικές περιοχές, αυτοί οι τύποι φυτών είναι εξαιρετικά ευαίσθητοι στη φωτοπερίοδο σε σύγκριση με τύπους σόργου που καλλιεργούνται σε εύκρατες περιοχές (Dingkuhn et al. 2008).

Βροχόπτωση. Το σόργο μπορεί να αναπτυχθεί σε περιοχές με βροχόπτωση. Επίσης, αναπτύσσεται καλά σε ημίξηρες περιοχές. Μπορεί να αντικαταστήσει το καλαμπόκι σε πολύ ξηρές περιοχές που δεν μπορεί να αναπτυχθεί. Το σόργο ανθίζει όταν δε βρέχει σε έντονα εποχιακά κλίματα. Σε περιοχές που η άρδευση γίνεται με φυσικό κατακλυσμό ολοκληρώνει το βιολογικό κύκλο του κατά τη διάρκεια της περιόδου ξηρασίας.

Υψόμετρο. Το φυτό μπορεί να αναπτυχθεί μέχρι και σε 3000 μέτρα. Αυτό οφείλεται στην ανθρώπινη παρέμβαση.

Θερμοκρασία. Το φυτό νεκρώνεται σε θερμοκρασίες κάτω των 0°C. Το φύτρωμα του σπόρου συμβαίνει σε θερμοκρασίες από 10 έως 35°C. Ιδανική θερμοκρασία ανάπτυξης είναι 30°C. Το σόργο είναι φυτό ανθεκτικό σε υψηλές θερμοκρασίες λόγω της καταγωγής του από τροπική περιοχή. Η συνεχής βελτίωση της καλλιέργειας επιτρέπει την καλλιέργεια του και σε εύκρατες περιοχές.

Τύπος εδάφους. Το σόργο μπορεί να καλλιεργηθεί σε ποικίλα εδάφη. Μπορεί να καλλιεργηθεί σε ελαφριά, αμμώδη εδάφη μέχρι και βαριά πηλώδη εδάφη, με εύρος pH εδάφους από 5,0 έως 8,5 (Kimber 2000).

1.8.1. Κλίμα

Με βάση τον Hansen 2002 το κλίμα είναι ο κυριότερος παράγοντας που επηρεάζει την παραγωγή τροφίμων. Θεωρούσε πως η γεωργία, από όλες τις ανθρώπινες δραστηριότητες, επηρεαζόταν πιο πολύ από τον καιρό.

Το σόργο πρόκειται για μια εαρινή καλλιέργεια και λόγω της τροπικής της καταγωγής χρειάζεται υψηλές θερμοκρασίες για καλή αύξηση και ανάπτυξη. Το εύρος της μέσης, ιδανικής θερμοκρασίας για το σόργο είναι 21 - 35°C για τη βλάστηση των σπόρων, 26 - 34°C για βλαστική ανάπτυξη και ανάπτυξη και 25 - 28°C για την αναπαραγωγική ανάπτυξη (Maiti 1996). Η ελάχιστη θερμοκρασία για φύτρωμα του σπόρου είναι 7 - 10°C. Μερικοί τύποι του σόργου βρίσκονται σε λήθαργο ακόμη και σε ένα μήνα μετά τη συγκομιδή (Παπακώστα - Τασοπούλου 2012). Σε θερμοκρασία 15°C, τέσσερις στους πέντε σπόρους βλασταίνουν σε

διάστημα 10 με 12 ημερών. Ιδανικές συνθήκες για φύτευση περιλαμβάνουν αρκετή ποσότητα νερού στο έδαφος και η θερμοκρασία του εδάφους να είναι ίση ή μεγαλύτερη των 15°C σε βάθος 10 cm. Η θερμοκρασία επηρεάζει σημαντικά την εξέλιξη της καλλιέργειας μετά τη βλάστηση. Το σόργο επιτυγχάνει την καλύτερη δυνατή αύξηση και ανάπτυξη σε θερμοκρασία που κυμαίνεται μεταξύ 27 με 30°C. Η καλλιέργεια όμως μπορεί να εξελιχθεί και με θερμοκρασίες έως 21°C, χωρίς κάποια σημαντική μείωση στην ανάπτυξη και την απόδοση.

Ακραίες υψηλές θερμοκρασίες επηρεάζουν αρνητικά την απόδοση. Υψηλές θερμοκρασίες σε όλες τις ώρες της ημέρας κωλυσιεργούν το σχηματισμό των οργάνων των ανθέων. Όταν το φυτό του σόργου στο στάδιο που φέρει 4 με 6 ώριμα φύλλα εκτεθεί σε θερμοκρασίες χαμηλότερες των 18°C θα εκπτύξουν πλευρικούς βλαστούς. Όμως φυτά κατά τη διάρκεια ή μετά το πέρας του σταδίου των 8 φύλλων, η κυριαρχία της κορυφής θα παρεμποδίζει την έκπτυξη των πλευρικών βλαστών.

Οι θερμοκρασίες υπό του μηδενός είναι καταστροφικές για το φυτό και ως αποτέλεσμα το σόργο πεθαίνει. Μέχρι και τρεις εβδομάδες μετά το φύτευμα το σόργο μπορεί να επανέλθει εάν εκτεθεί σε θερμοκρασία έως και - 5°C, ενώ νεκρώνεται σε θερμοκρασία - 7°C. Τα φυτά μεγαλύτερα από 3 εβδομάδες δεν υπομένουν εξίσου καλά τις χαμηλές θερμοκρασίες και συχνά νεκρώνονται στους 0°C (*Sorghum: Production Guideline* 2010).

1.8.2. Απαιτήσεις εδάφους

Το σόργο καλλιεργείται ως επί το πλείστον εκεί σε εδάφη που δεν κρίνονται κατάλληλα για τον αραβόσιτο. Πρόκειται για εδάφη ρηχά με λίγες δυνατότητες, που αποτελούνται κυρίως από άργιλο. Τα φυτά του σόργου δεν αναπτύσσονται καλά σε αμμώδη εδάφη πλην της παρουσίας υπεδάφους με βαριά υφή. Το σόργο ανταποκρίνεται καλύτερα στα αλκαλικά άλατα σε σχέση με άλλες καλλιέργειες σιτηρών και ως αποτέλεσμα μπορεί να αναπτυχθεί καλά σε εδάφη με pH (KCl) που κυμαίνεται μεταξύ 5,5 και 8,5. Έδαφος που περιέχει άργιλο σε ποσοστό που κυμαίνεται μεταξύ 10 και 30% θεωρείται ιδανικό για την καλλιέργεια του σόργου (*Sorghum: Production Guideline* 2010).

Το σόργο μπορεί να αναπτυχθεί σε όξινα εδάφη. Ιδανικό pH για το σόργο κυμαίνεται μεταξύ 6,2 και 7,8. Αν το pH του εδάφους είναι χαμηλότερο του 5,7 τότε πρέπει να γίνει βελτίωση με ασβέστη. Το σόργο αντιμετωπίζει καλύτερα περιστάσεις λιμναζόντων νερών σε σχέση με τον αραβόσιτο, αρκεί να είναι σύντομης διάρκειας (Παπακώστα - Τασοπούλου 2012).

1.8.3. Ανάγκες σε βροχόπτωση

Κατά τη διάρκεια της καλλιεργητικής περιόδου οι ανάγκες του σόργου σε νερό κυμαίνονται από 450 έως 650 mm (Critchley et al. 1991). Λόγω της ανθεκτικότητας του στην ξηρασία η καλλιέργεια του συναντάται σε περιοχές πολύ ξηρές για τον αραβόσιτο. Τυχόν ξηρασία στην αρχή της καλλιέργειας αποτρέπει τον σχηματισμό των οργάνων των ανθέων, με αποτέλεσμα το φυτό να παράγει μόνο βλάστηση μέχρις ότου οι περιβαλλοντικές συνθήκες να ευνοήσουν την έκπτυξη φύλλων και ανθέων. Ξηρασία μετά το σχηματισμό των ανθέων περιορίζει την ανάπτυξη του φυλλικού συστήματος. Χάρη στο βαθύ ριζικό του σύστημα το σόργο μπορεί να αντλήσει νερό από βαθύτερα σημεία στο έδαφος (*Sorghum: Production Guideline* 2010).

Λόγω του ότι η καλλιέργεια του σόργου συναντάται σε τόπους με λίγες βροχοπτώσεις είναι πιθανό να παρουσιαστεί θέμα με την αλατότητα. Είναι πιο ανθεκτικό από τον αραβόσιτο, λίγο περισσότερο από το σιτάρι και είναι πιο ευαίσθητο σε σχέση με το βαμβάκι. Για το σόργο το όριο πάνω από το οποίο μειώνεται η απόδοση είναι $6,8 \text{ dS m}^{-1}$ (Cothren et al. 2000) και για κάθε μονάδα πάνω από αυτό το όριο επήλθε πτώση στην απόδοση κατά 10% (Francois et al. 1984).

Σε ξηρές περιοχές τα παρακάτω χαρακτηριστικά του σόργου το κάνουν να υπερτερεί σε σχέση με τον αραβόσιτο:

- ❖ Ο αραβόσιτος σταυρογονιμοποιείται. Έντονη ξηρασία σε αυτό το διάστημα μεταξύ μπορεί να οδηγήσει σε άγονα αυτιά χωρίς κόκκους. Το σόργο αυτογονιμοποιείται και παράγει κεφάλια για περισσότερο καιρό επειδή τα αναπαραγωγικά όργανα αναπτύσσονται μερικές εβδομάδες πριν. Ως αποτέλεσμα, η επικονίαση και η γονιμοποίηση δεν επηρεάζονται σημαντικά από τυχόν σύντομες περιόδους ξηρασίας. Σε μακροχρόνια έλλειψη νερού, το σόργο παράγει ευάριθμα και μικρά κεφάλια, λίγες όμως περιπτώσεις χωρίς πυρήνες.
- ❖ Η ισορροπία μεταξύ του πληθυσμού των φυτών και της επάρκειας νερού είναι πολύ σημαντική για τον αραβόσιτο αλλά όχι τόσο για το σόργο. Όταν υπάρχει επάρκεια νερού στο έδαφος, τα κεφάλια μεγαλώνουν και παράγονται και από πλάγιους βλαστούς. Σε περιπτώσεις έλλειψης νερού, παράγονται λιγότεροι πλάγιοι βλαστοί και τα κεφάλια είναι μικρά. Αυτό σημαίνει ότι ο παραγωγός αραβόσιτου αποφασίζει αν επιδιώκει πυκνή φύτευση για υψηλές αποδόσεις ή αραιή φύτευση για την αποφυγή ζημίας από την ξηρασία. Ενώ οι παραγωγοί σόργου φυτεύουν πυκνά για υψηλές αποδόσεις.

- ❖ Χάρη στη μορφολογία του, το φύλλωμα του σόργου αντιστέκεται στην ξηρασία. Εάν τα δυο φυτά βρεθούν στο ίδιο επίπεδο έλλειψης νερού τα φύλλα του σόργου χάνουν μικρότερη ποσότητα νερού που περιέχουν στα φύλλα τους σε σχέση με τα φύλλα του αραβόσιτου ίσως επειδή τα φύλλα και οι μίσχοι του σόργου φέρουν κηρώδης επίχρωση. Η επίχρωση αυτή προσδίδει στο φύλλο μια κολλώδη εμφάνιση που ομοιάζει σαν παγωμένη (Carter et al. 1990).

1.9. ΚΑΛΛΙΕΡΓΗΤΙΚΗ ΤΕΧΝΙΚΗ

Ορισμένες ιδιότητες της μορφολογίας του σόργου μπορεί να απαιτούν ορισμένες μόνο καλλιεργητικές πρακτικές ή να επηρεάζονται μόνο με αυτές (Cothren et al. 2000) όπως για παράδειγμα το αδελφωμα, η ριζοβολία και σε ποιο βαθμό γεμίζει ο κόκκος. Άλλα μορφολογικά χαρακτηριστικά συναντώνται μόνο σε ορισμένα υβρίδια, όπως η απόχρωση του φυτού και του σπόρου, η εμφάνιση των ελύτρων και ο τύπος της φόβης. Τα μορφολογικά χαρακτηριστικά του σόργου επενεργούν στις καλλιεργητικές πρακτικές που θα πρέπει να εφαρμοστούν με τους εξής τρόπους:

- Εάν το σόργο φυτευτεί σε αυλάκια, ανάχωμα ή επίπεδο έδαφος ο τρόπος φύτευσης του σόργου μπορεί να επηρεάσει την ανάπτυξη και τη σταθερότητα των στηρικτικών ριζών.
- Η εφαρμογή αζωτούχου λιπάσματος επηρεάζεται από τις ρίζες που βρίσκονται πλησίον της επιφάνειας του εδάφους και ο χρόνος εφαρμογής.
- Πότε θα αρδευτεί (και αν εφαρμοστεί άρδευση).
- Η επιλογή του υβριδίου επηρεάζεται από τις περιβαλλοντικές συνθήκες της περιοχής και τα έντομα – εχθρούς.
- Η αλλαγή του χρώματος των κόκκων δεν επηρεάζεται μόνο από την ωρίμανση του (ορισμένοι παραγωγοί που προς το τέλος της καλλιεργητικής περιόδου χρησιμοποιούν εσφαλμένα το χρώμα του κόκκου για να κρίνουν την ωριμότητα του ή την τελευταία άρδευση, αν πρόκειται για αρδευόμενη καλλιέργεια. Οι παραγωγοί θα πρέπει να κατανοούν σε ποιο στάδιο ανάπτυξης βρίσκονται οι κόκκοι και να ελέγξουν την υγρασία του εδάφους. (Trostle and Peterson 2019).

1.9.1 Αμειψισπορά

Ανάλογα με την κάθε περιοχή που καλλιεργείται το σόργο αλλάζει και το σύστημα καλλιέργειας. Μπορούμε να επιλέξουμε είτε μονοκαλλιέργεια είτε διαφορετικό σύστημα αμειψισποράς. Εάν εξασφαλίζεται η παροχή νερού στην καλλιέργεια είτε με άρδευση είτε από

βροχόπτωση μπορεί να καλλιεργείται το σόργο μονοκαλλιέργεια όσο δίνει υψηλές αποδόσεις. Για να είναι όμως αποτελεσματική η μονοκαλλιέργεια του πρέπει να πραγματοποιούνται σωστά όλες οι γεωργικές εργασίες, για παράδειγμα εφαρμογή κατάλληλης ποσότητας λιπάσματος, νερού, σωστή καταπολέμηση εχθρών κ.λπ. Η ποιότητα του εδάφους δεν υποβαθμίζεται σημαντικά με τη μονοκαλλιέργεια σόργου (Παπακώστα - Τασοπούλου 2012).

Το σόργο μπορεί να συνδυαστεί με οποιαδήποτε καλλιέργεια σε ένα σύστημα αμειψισποράς. Η εναλλαγή της σόγια με το σόργο είχε ως αποτέλεσμα την αύξηση στην απόδοση σε σπόρο, την βελτίωση των φυσικών χαρακτηριστικών του εδάφους (Gakale and Clegg 1987), αλλαγή στην περιεχόμενη υγρασία του εδάφους (Roder et al. 1989) και να εμπλουτίσουν το έδαφος με άζωτο (Bagayoko et al. 1992).

Παρομοίως, εναλλαγή σόργο και βαμβάκι οδήγησε σε υψηλότερες αποδόσεις και στις δύο καλλιέργειες (Cothren et al. 2000). Επίσης μπορεί να εφαρμοστεί σύστημα σιτάρι – σόργο ή αραβόσιτος – σόργο, αν και ως εαρινή καλλιέργεια στην Ελλάδα μπορεί να εναλλαχθεί μόνο με φυτά που καλλιεργούνται την άνοιξη (Καραμάνος 1999).

1.9.2. Προετοιμασία του εδάφους

Το έδαφος στο οποίο θα καλλιεργηθεί το σόργο πρέπει να είναι ζεστό, υγρό, καλά αεριζόμενο και ψιλοχωματισμένο ώστε η επαφή των σπόρων με το έδαφος να ευνοεί τη γρήγορη βλάστηση, λόγω του ότι οι σπόροι είναι μικρότερη του αραβόσιτου. Για να επιτευχθούν τέτοιες συνθήκες στο έδαφος μπορούν να εφαρμοστούν διάφορα επίπεδα οργώματος και φύτευσης, από το παραδοσιακό μέχρι και καμία επέμβαση πριν από τη φύτευση (Carter et al. 1990). Η ιδανική σποροκλίση πρέπει να:

- Διαχειρίζεται τα ζιζάνια,
- Διατηρεί το επίπεδο υγρασίας,
- Βελτιώνει ή έστω να διατηρεί τη δομή του εδάφους,
- Προστατεύει το έδαφος από τη διάβρωση,
- Μπορεί να οργωθεί και να πραγματοποιηθεί η σπορά με τον υπάρχον εξοπλισμό.

Το όργωμα πραγματοποιείται με σκοπό την αύξηση της απόδοσης. Πρέπει όμως η ενέργεια αυτή να μην οδηγεί στην υποβάθμιση και διάβρωση του εδάφους από το νερό και τον άνεμο (Shroyer et al. 1998).

Η προετοιμασία του εδάφους καλό είναι να πραγματοποιηθεί αμέσως μετά τη συγκομιδή της προηγούμενης καλλιέργειας για να υπάρχει διαθέσιμος χρόνος για την διαχείριση των ζιζανίων, την αποσύνθεση των υπολειμμάτων της προηγούμενης καλλιέργειας, τη διήθηση και αποθήκευση υγρασίας στο έδαφος και τη σύσφιξη του εδάφους. Για την προετοιμασία του εδάφους πριν από τη σπορά πρέπει να συμβούν οι παρακάτω καλλιεργητικές πρακτικές:

- υπολείμματα, όπως για παράδειγμα στελέχη της προηγούμενης καλλιέργειας καταστρέφονται, εφαρμογή δισκοσβάρνας και όργωμα το φθινόπωρο ή το χειμώνα
- Έλεγχος των πληθυσμών των χειμερινών ζιζανίων είτε με χημικά μέσα είτε μηχανικά.
- Στη σπορά το έδαφος θα πρέπει να είναι σταθερό αλλά να έχει και υγρασία, ειδάλως θα πρέπει να συμπιεστεί για να έρθει ο σπόρος σε επαφή με το έδαφος και να αξιοποιήσει τη λίγη υγρασία που υπάρχει. Ακόμη, με αυτό τον τρόπο εξασφαλίζεται πως η θερμοκρασία γύρω από τον σπόρο δεν θα πέσει (*Sorghum: Production Guideline* 2010).

Η καλλιέργεια του σόργου χωρίς όργωμα δίνει καλύτερα αποτελέσματα σε μέτρια προς καλά στραγγιζόμενα εδάφη. Τα εδάφη διατηρούν την υγρασία τους κατά τη διάρκεια της καλλιεργητικής περιόδου εάν δεν οργωθούν. Η ικανότητα συγκράτησης του νερού σε συνθήκες ξηρασίας θα ευνοήσει την καλλιέργεια. Την εποχή της φύτευσης όμως οι σπόροι καθυστερούν να βλαστήσουν, τα φυτά αργούν να ωριμάσουν και οι κόκκοι είναι έρμια σε παράσιτα για μεγαλύτερο χρονικό διάστημα. Αυτές οι συνθήκες έχουν ως αποτέλεσμα μικρότερες αποδόσεις σε αγρό που δεν έχει οργωθεί. Ο κίνδυνος είναι μεγαλύτερος όταν η άνοιξη είναι υγρή και δροσερή και τα εδάφη δεν στραγγίζονται καλά. Το μειωμένο όργωμα και η καλλιέργεια σε αναχώματα δίνει καλύτερα αποτελέσματα (Shroyer et al. 1998).

1.9.3. Σπορά

1.9.3.1. Ημερομηνία Σποράς

Η καλύτερη θερμοκρασία για το φύτεμα του σπόρου του σόργου είναι 30°C. Είναι πιθανό όμως πως τυχόν αντίξοες καιρικές συνθήκες μπορεί να αναγκάσουν τον παραγωγό να σπείρει όταν το έδαφος δεν είναι σε κατάσταση που να ευνοεί την αύξηση και ανάπτυξη με αποτέλεσμα να χρειαστεί να επαναληφθεί η σπορά (Heiniger et al. 1997). Η ημέρα της σποράς μπορεί να αναβληθεί τόσο καιρό που ο παράγωγος αναγκαστικά θα πρέπει να επιλέξει υβρίδιο πρώιμης ωρίμανσης. Για την επίτευξη της μέγιστης δυνατής απόδοσης και οικονομικού κέρδους πρέπει

να καθοριστεί η επίδραση της ημερομηνίας φύτευσης και της ωριμότητας του καλλιεργούμενου υβριδίου.

Η γνώση της ιδανικής ημερομηνίας φύτευσης του σόργου είναι πολύ σημαντική γιατί έτσι η καλλιέργεια θα μπορέσει να αποφέρει τη μέγιστη δυνατή απόδοση και κέρδος για τον παραγωγό. Οι Conley and Wiebold (2003) βρήκαν πως η σπορά πριν ή μετά τα μέσα Μαΐου είχε μικρή επιρροή στην απόδοση και αυτή η επιρροή δεν εμφανιζόταν κάθε χρόνο που έλαβε χώρα το πείραμα και θεώρησαν πως υπάρχει ένα μεγάλο χρονικό διάστημα που μπορεί να γίνει η σπορά. Επιπλέον, έκριναν πως οι παραγωγοί δεν χρειάζεται να χρησιμοποιήσουν πρώιμης ωρίμανσης υβρίδια αν τυχόν η σπορά έχει αναβληθεί μέχρι τα μέσα Ιουνίου.

Οι Allen and Musick (1993) βρήκαν πως η απόδοση σε σπόρο ήταν κατά μέσο όρο υψηλότερη και για τα δύο εξεταζόμενα υβρίδια με εξασφάλιση επαρκής ποσότητας νερού όταν η σπορά έγινε στις 23 Μαΐου. Όταν η σπορά έγινε στις 5 Μαΐου (νωρίς) με άρδευση, το υβρίδιο μεσοπρόθεσμης ωρίμανσης ήταν λίγο πιο αποδοτικό από το υβρίδιο μέσης ωρίμανσης. Όταν η σπορά έγινε τον Ιούνιο, βρήκαν το υβρίδιο μέσης ωρίμανσης λίγο πιο αποδοτικό. Όταν μειώθηκε η άρδευση, το υβρίδιο μέσης ωρίμανσης λίγο πιο αποδοτικό από το μεσοπρόθεσμο. Σε συνθήκες ξηρασίας χωρίς καμία άρδευση μετά τη βλάστηση, το υβρίδιο μέσης ωρίμανσης ήταν πιο αποδοτικό. Κατέληξαν στο συμπέρασμα αν η σπορά γίνει το Μάιο με επάρκεια νερού, και τα δύο υβρίδια, ανεξαρτήτως χρόνου ωρίμανσης αποδίδουν ικανοποιητικά. Όταν όμως η σπορά γίνει το Ιούνιο, το υβρίδιο μέσης ωρίμανσης αποδώσει ικανοποιητικά είτε με επαρκή ποσότητα νερού ή περιορισμένη.

1.9.3.2. Βάθος Σποράς

Ο πιο σημαντικός σκοπός της σποράς είναι να φυτευτούν οι σπόροι του σόργου όσο πιο κοντά στην επιφάνεια του εδάφους γίνεται και παράλληλα να εξασφαλισθεί καλή επαφή με το έδαφος. Η σπορά του σόργου μπορεί να γίνει νωρίς την άνοιξη, επειδή τότε τα εδάφη έχουν χαμηλές θερμοκρασίες και είναι υγρά και υπάρχει η πιθανότητα της βροχής αμέσως μετά τη σπορά. Ο σπόρος πρέπει να φυτευτεί σε βάθος 2 με 2,5 cm. Αν το σόργο φυτευτεί τις επόμενες εβδομάδες που οι θερμοκρασίες του εδάφους αυξάνονται τότε ο σπόρος μπορεί να φυτευτεί σε βάθος μέχρι και 4 cm, οπου είναι και το μέγιστο δυνατό βάθος σποράς. Τα φυτά του σόργου μπορούν να εκπτυχθούν όταν ο σπόρος φυτευτεί σε βάθος μεγαλύτερο από 4 cm, αλλά τα φυτά καθυστερούν στην έκπτυξη και ο τελικός πληθυσμός φυτών μπορεί να είναι περιορισμένος.

Πριν από την έκπτυξη, το σόργο για την επιβίωση του στηρίζεται αποκλειστικά στα θρεπτικά στοιχεία στον σπόρο που είναι αποθηκευμένα στο ενδοσπέρμιο. Τα φυτά που καθυστερούν

στην έκπτυξη κινδυνεύουν να εξαντλήσουν αυτά τα αποθηκευμένα θρεπτικά στοιχεία στα οποία στηρίζονται για την αρχική ανάπτυξη τους αμέσως μετά την έκπτυξη. Εδάφη τα οποία είναι πολύ ξηρά για φύτευμα σπόρου ή τόσο υγρά που δεν μπορεί να καλυφθεί ο σπόρος θα πρέπει να αναβληθεί η σπορά μέχρι να γίνουν πιο έχουν ευνοϊκές οι συνθήκες του εδάφους (Kelley 2004a).

Γενικά, το καλύτερο βάθος φύτευσης ποικίλει ανάλογα με τις ιδιότητες του εδάφους και την υδατική του κατάσταση. Σε βαριά εδάφη η σπορά σε βάθος 2,5 cm θα έχει ικανοποιητικό αποτέλεσμα. Σε ελαφρύτερα, αμμώδη εδάφη εάν ο σπόρος φυτευτεί σε βάθος 5 cm θα φυτρώσει χωρίς δυσκολία. Ο σπόρος του σόργου μπορεί να φυτρώσει εάν φυτευτεί σε βάθος μεγαλύτερο από 5 cm, αλλά τα φυτά καθυστερούν στην έκπτυξη και ο τελικός πληθυσμός φυτών μπορεί να είναι περιορισμένος. Έπειτα πρέπει να καλυφθεί καλά ο σπόρος με το έδαφος για να διευκολυνθεί το φύτευμα του (Shroyer et al. 1998).

1.9.3.3. Αποστάσεις Γραμμών

Οι πιο πολλοί τύποι σόργου σπέρνονται με απόσταση 75 cm μεταξύ των σειρών επειδή και άλλες καλλιέργειες όπως το καλαμπόκι αποδίδουν καλά με αυτόν τον τρόπο, και επειδή τα περισσότερα μηχανήματα έχουν κατασκευαστεί έτσι. Μέχρι τώρα σειρές με απόσταση 75 cm είναι η χρυσή τομή ανάμεσα στις στενότερες σειρές που δεν αποδίδουν περισσότερο κάθε χρονιά από αυτές με 75 cm και επειδή οι σειρές με απόσταση 75 cm επιτυγχάνουν μεγαλύτερες αποδόσεις από σειρές με απόσταση μεγαλύτερη των 75 cm. Καλλιέργειες με πιο πυκνή φύτευση σκιάζουν το έδαφος νωρίτερα παρεμποδίζοντας έτσι την ανάπτυξη ζιζανίων και προστατεύουν το έδαφος από τη διάβρωση (Shroyer et al. 1998).

Οι Turgut et al. (2005) παρατήρησαν πτώση στις αποδόσεις καθώς αυξανόταν οι αποστάσεις επι της γραμμής και η μέγιστη απόδοση επιτεύχθηκε όταν το κάθε φυτό είχε 10 - 20 cm απόσταση μεταξύ τους πάνω στη γραμμή.

Το σόργο μπορεί να καλλιεργηθεί σε ένα μεγάλο εύρος περιοχών, η κάθε μία με διαφορετικές εδαφοκλιματικές συνθήκες. Σε περιοχές με λίγες βροχοπτώσεις και σε τύπους εδαφών που δεν συγκρατούν καλά νερό προτείνονται σειρές με μεγαλύτερες αποστάσεις, ενώ σε περιοχές με πολλές βροχοπτώσεις και βαθιά γόνιμα εδάφη προτείνεται πιο πυκνή φύτευση (*Sorghum: Production Guideline* 2010).

1.9.3.4. Πληθυσμός Φυτών

Η λάθος κατεργασία του εδάφους, η έλλειψη νερού, τα έντομα και οι ασθένειες επηρεάζουν αρνητικά την ανάπτυξη του σόργου. Ως αποτέλεσμα θα πρέπει να αυξηθεί η ποσότητα του σπόρου (*Sorghum: Production Guideline* 2010).

Η ποσότητα του σπόρου εξαρτάται από το ύψος των βροχοπτώσεων, το είδος του εδάφους, την υγρασία και το πόσο γόνιμο είναι. Ο αριθμός των σπόρων ανά kg κυμαίνεται από 4.500 έως 9.000. Παλιότερα οδηγίες για την σπορά δίδονταν με κιλά σπόρου ανά στρέμμα. Σε υβρίδια με μικρό σπόρο αυτό οδηγούσε στην υπερφύτευση. Όταν ο πληθυσμός των φυτών είναι πολύ υψηλός οι ρίζες δεν αναπτύσσονται σωστά και έχει ως αποτέλεσμα τις μικρότερες αποδόσεις. Ο πιο ακριβής τρόπος για τη σπορά του σόργου είναι να επιλέξουμε τον επιθυμητό αριθμό φυτών και να προσαρμόσουμε τον ρυθμό πτώσης των σπόρων, με δεδομένο την απόσταση των σειρών.

Χορτοδοτικό Σόργο. Ο αριθμός των φυτών ανά στρέμμα καθορίζεται ανάλογα με τον τρόπο που θα χρησιμοποιηθεί η καλλιέργεια μετά τη συγκομιδή. Αυτές είναι:

- i. **Βόσκηση:** Προτείνεται χρήση 5 kg σπόρων ανά στρέμμα, αδιάλειπτη σπορά επι της γραμμής, με αποστάσεις μεταξύ των γραμμών 15 – 20 cm.
- ii. **Σανός:** Προτείνεται χρήση 4 kg σπόρων ανά στρέμμα, με αποστάσεις μεταξύ των γραμμών 30 – 40 cm. Με μεγαλύτερη ποσότητα σπόρου μειώνεται η διάμετρος των στελεχών και επιταχύνεται η αποξήρανση.
- iii. **Ενσίρωση:** Προτείνεται χρήση 2,5 - 3 kg σπόρων ανά στρέμμα, με αποστάσεις μεταξύ των γραμμών 70 – 80 cm και επι της γραμμής 10 – 15 cm (Παπουτσή - Κωστοπούλου 1992). Οι αποδόσεις του σόργου είναι μεγαλύτερες όταν ο πληθυσμός των φυτών είναι μεγάλος και σε μικρές αποστάσεις μεταξύ των σειρών (Eilrich et al. 1964).

1.9.3.5. Επιλογή του υβριδίου

Η επιλογή του κατάλληλου υβριδίου σόργου, ανάλογα με τους στόχους της καλλιέργειας, πρέπει να γίνει αφού ληφθούν υπόψιν αρκετοί αγρονομικοί παράγοντες. Η γνώση των προκλήσεων που θα κληθεί να αντιμετωπίσει η καλλιέργεια αποσκοπεί στην αποφυγή των κινδύνων, αντιμετωπίζοντας καταστάσεις ανομβρίας κατά τη διάρκεια των πιο κρίσιμων σταδίων ανάπτυξης των φυτών, όπως την άνθιση και το σχηματισμό των κόκκων. Τα υβρίδια ποικίλουν στην απόκριση τους σε διάφορες εδαφοκλιματικές συνθήκες, που καλό είναι να

γνωρίζει ο παραγωγός, για παράδειγμα την ποσότητα σπόρου που θα πρέπει να χρησιμοποιήσει. Ωφέλιμο είναι να γνωρίζει τη δυνατότητα απόδοσης του αγροτεμαχίου καθώς και το πιθανό ύψος κατακρημνισμάτων κατά τη διάρκεια της καλλιεργητικής περιόδου ώστε να καταλήξει στην ορθότερη επιλογή (*Sorghum: Production Guideline* 2010).

Φυσικά, η απόδοση αποτελεί πρωταρχικό μέλημα του παραγωγού στην επιλογή του υβριδίου, αλλά ο χρόνος μέχρι την ωρίμανση, η αντοχή του στελέχους στο πλάγιασμα και η ανταπόκριση στις ασθένειες είναι εξίσου σημαντικοί παράγοντες που πρέπει να ληφθούν υπόψιν. Συνήθως στις περισσότερες περιπτώσεις προτείνεται ένα υβρίδιο όψιμης ωρίμανσης. Σε παρόμοιες συνθήκες που ευνοούν την ανάπτυξη, το κατάλληλο υβρίδιο όψιμης ωρίμανσης σε γενικές γραμμές θα αποδώσει καλύτερα από ένα καλό υβρίδιο πρώιμης ωρίμανσης.

Εάν η ανάπτυξη των επιφανειακών ριζών δεν ήταν εύκολη προηγούμενες χρονιές, οι παραγωγοί θα πρέπει να ελέγξουν ενδελεχώς τις τιμές ενός συγκεκριμένου υβριδίου για την δύναμη του στελέχους, την αντοχή στη μακροφομίνα (*Macrophomina phaseolina*) και τη φουζαρίωση (*Fusarium moniliforme*), μυκητολογικές ασθένειες που είναι υπεύθυνες για τη σήψη των στελεχών και ως αποτέλεσμα το πλάγιασμα των φυτών και την ικανότητα του να διατηρεί το πράσινο χρώμα του. Αυτά τα στοιχεία προϋδεάζουν τον παραγωγό για τη γενική ικανότητα και συμπεριφορά του υβριδίου να υπομένει σε αντίξοες συνθήκες κατά την ανάπτυξη του και στη συγκομιδή (Kelley 2004a).

1.9.4. Λίπανση

Η παραγωγή τροφίμων και η ικανοποίηση των αναγκών του σημερινού πληθυσμού απαιτεί την χρήση λιπασμάτων που περιέχουν φωσφόρο, άζωτο και κάλιο σε γεωργικές καλλιέργειες προκειμένου να διατηρηθεί η απόδοση των καλλιεργειών και όπου είναι δυνατό να αυξηθεί (Cordell et al. 2009). Μπορούμε να τροποποιήσουμε τη γονιμότητα του εδάφους και να επιτευχθεί αύξηση των αποδόσεων με την προσθήκη ανόργανων λιπασμάτων, θα πρέπει όμως να δοθεί προσοχή σε περιοχές που υπάρχει έλλειψη νερού. Η δόση και ο τρόπος εφαρμογής του λιπάσματος διαφέρουν σε σχέση με περιοχές που δεν αντιμετωπίζουν πρόβλημα λειψυδρίας. Το λίπασμα θα πρέπει να δοθεί με τέτοιο τρόπο έτσι ώστε τα φυτά να μπορούν εύκολα να έχουν πρόσβαση και να το αξιοποιήσουν αποτελεσματικά (Sebnie et al. 2020).

Η προσθήκη της κοπριάς ως εδαφοβελτιωτικό σε έρευνες για το σόργο έχει δείξει να βελτιώνει τις φυσικές ιδιότητες του εδάφους (Eghball 2000), αυξάνει την ικανότητα του εδάφους να συγκρατεί νερό και θρεπτικά συστατικά (Sweeten and Mathers 1985), εμπλουτίζει το έδαφος με θρεπτικά συστατικά (Binder et al. 2002) και οδηγεί σε υψηλότερες αποδόσεις σιτηρών

(Roder et al. 1989). Η εφαρμογή αζώτου οδηγεί στην αύξηση των αποδόσεων του σόργου επειδή καλύπτει τις θρεπτικές ανάγκες της καλλιέργειας (Kaye et al. 2007).

Είναι εφικτή η αύξηση της παραγόμενης ποσότητας κόκκων με την εφαρμογή ακόμη μεγαλύτερης ποσότητας λιπασμάτων (Myers 1978).

Οι απαιτήσεις στη γονιμότητα του εδάφους είναι παραπλήσιες με εκείνες του αραβόσιτου με τους ίδιους στόχους απόδοσης, αν και το σόργο είναι συνήθως πιο αποτελεσματικό στην αξιοποίηση του φωσφόρου και καλίου (Undersander et al. 1990).

1.9.4.1. Άζωτο

Το άζωτο είναι το πιο άφθονο θρεπτικό συστατικό στα φυτά. Αποτελεί το 2 έως 4% της ξηρής ουσίας των φυτών. Εκτός από τη διαδικασία της αζωτοδέσμευσης που λαμβάνει χώρα στα ψυχανθή, τα φυτά απορροφούν το άζωτο είτε ως το νιτρικό ιόν (NO_3^-) είτε το κατιόν του αμμωνίου (NH_4^+). Είναι συστατικό της χλωροφύλλης και αποτελεί βασικό συστατικό όλων των πρωτεϊνών. Σε αυτό οφείλεται το σκούρο πράσινο χρώμα του στελέχους και των φύλλων, η ζωηρή ανάπτυξη, η διακλάδωση / το αδέλφωμα, η αύξηση του μεγέθους και της απόδοσης (FAO 2006).

Η έλλειψη αζώτου στα φυτά προκαλεί σημαντική μείωση στο ρυθμό ανάπτυξης, παρουσιάζουν μικρή και καχεκτική εμφάνιση, τα φύλλα είναι μικρά και το αδέλφωμα κακό. Επειδή είναι συστατικό της χλωροφύλλης, ένδειξη της έλλειψης του είναι το κίτρινο ή χλωρό χρώμα των φύλλων και παρουσιάζεται στα κατωτέρα φύλλα, ενώ τα ανώτερα φύλλα διατηρούνται πράσινα καθώς μετακινείται σε αυτά το άζωτο από παλαιότερα φύλλα. Όταν η έλλειψη είναι σημαντική τα φύλλα καφετιάζουν και νεκρώνονται, κάτι που οδηγεί στην πτώση της απόδοσης των καλλιεργειών και στην περιεκτικότητα σε πρωτεΐνες.

Περιπτώσεις τοξικότητας λόγω προσθήκης υπερβολικής ποσότητας αζώτου δεν είναι τόσο ξεκάθαρες όσο αυτές της έλλειψης. Η βλαστική περίοδος διαρκεί περισσότερο, με αποτέλεσμα να καθυστερεί η ωρίμανση των καλλιεργειών. Υψηλή συγκέντρωση NH_4^+ μπορεί να είναι τοξική, ειδικά όταν το διάλυμα είναι αλκαλικό (FAO 2006).

Το άζωτο θεωρείται πως είναι το πιο σημαντικό στοιχείο για την αύξηση και ανάπτυξη ενός φυτού καθώς συμμετέχει σε πολλές λειτουργίες του και σε ζωτικής σημασίας διαδικασίες ανάπτυξης. Σε σχέση με τα λοιπά θρεπτικά στοιχεία η απουσία αζώτου στην παραγωγή μιας καλλιέργειας πλήττει πιο έντονα την τελική απόδοση. Σε ξηρές ή ημι-ξηρές περιοχές όπου το νερό είναι περιοριστικός παράγοντας στην καλλιέργεια, τα εδάφη συνήθως περιέχουν μικρές

ποσότητες οργανικής ουσίας και θρεπτικών συστατικών. Για να επιτευχθεί μια οικονομικά ορθή παραγωγή, το άζωτο παίζει σημαντικό ρόλο σε αυτές τις περιοχές (Joorabi et al. 2016).

Ο παράγοντας που καθορίζει τις ανάγκες μιας καλλιέργειας σε άζωτο γίνεται ολοένα και πιο σημαντικός για τον υπολογισμό της οικονομικής και περιβαλλοντικής βιωσιμότητας των αγρο-οικοσυστημάτων (Gardner et al. 1994).

Όσον αφορά το σόργο, το άζωτο θεωρείται πως είναι το κυριότερο θρεπτικό συστατικό για την αύξηση και την παραγωγικότητα του σόργου και αν δεν υπάρχει άλλος περιοριστικός παράγοντας επηρεάζει περισσότερο τις αποδόσεις (Gerik et al. 2014).

Ορισμένα φυσιολογικά χαρακτηριστικά και η απόδοση του σόργου επηρεάζονται σημαντικά από τη διαθεσιμότητα του αζώτου στο φυτό. Η αζωτούχος λίπανση αυξάνει τις αποδόσεις του σόργου (Oprea et al. 2016). Επίσης αυξάνει την ποσότητα της παραγόμενης ζωοτροφής και την ποιότητα της (Gardner et al. 1994).

Οι Nielsen και Halvorson (1991) ανέφεραν αύξηση στη βιομάζα πάνω από την επιφάνεια του εδάφους, αύξηση στο δείκτη φυλλικής επιφάνειας και του αριθμού των φύλων. Αυτό πραγματοποιήθηκε με αυξημένη αζωτούχο λίπανση και είχε ως αποτέλεσμα αύξηση στην απόδοση σε σπόρο.

Το άζωτο είναι ο πιο σημαντικός περιοριστικός παράγοντας που επηρεάζει την ανάπτυξη και την απόδοση του σόργου. Σε φυτά που έχει προστεθεί άζωτο παρατηρήθηκε πως έχουν σκούρο πράσινο χρώμα, τα φύλλα τους είναι μεγαλύτερα, τα στελέχη έχουν μεγαλύτερη διάμετρο και πυκνό θόλο μέχρι και το 5^ο στάδιο ανάπτυξης (πριν την έκπτυξη της κεφαλής). Το σόργο ανταποκρίνεται θετικά από την προσθήκη του αζώτου αυξάνοντας την απόδοση σε σπόρο. Αυτό παρατηρήθηκε και σε άλλα δημητριακά με την προσθήκη αζωτούχου λιπάσματος σε ημί-άνυδρες περιοχές (Bayu et al. 2002; Myers 1978), όπως πρόκειται και για το Μεσογειακό κλίμα (Kottek et al. 2006).

Υπάρχουν ενδείξεις ότι η αύξηση της παραγωγής σε σπόρο σε ημί άνυδρες περιοχές οφείλεται στην καλύτερη αξιοποίηση του νερού από ένα βαθύτερο ριζικό σύστημα και στη μείωση της επιφανειακής εξάτμισης του νερού από το έδαφος που προέκυψε από την μεγαλύτερη παραγωγή βιομάζας. Έρευνες σε ημι-άνυδρες περιοχές στον αραβόσιτο έδειξαν επίσης ότι η αζωτούχος λίπανση οδήγησε τόσο στην αύξηση των στελεχών όσο και στο ριζικό σύστημα, με αποτέλεσμα μια μεγάλη αύξηση της αποτελεσματικότητας χρήσης νερού (Shamudzarira 1994). Αυτό τονίζει τον σημαντικό ρόλο που θα μπορούσε να διαδραματίσει το άζωτο στην αύξηση

της παραγωγής του σόργου σε περιοχές με περιορισμένη βροχόπτωση. Με την αζωτούχο λίπανση επιπλέον παρατηρήθηκε σπουδαία αύξηση στο βάρος της φόβης (Bayu et al. 2002).

Η απόδοση σε φύλλα και στελέχη σε μορφή υπολειμμάτων επηρεάστηκε κυρίως θετικά από την αζωτούχο λίπανση όσο αυξανόταν η ποσότητα. Επίσης η συνολική απόδοση επιφανειακής βιομάζας αυξήθηκε σημαντικά με συνεχή αύξηση της ποσότητας N λιπάσματος. Ακόμη η εφαρμογή αζωτούχου λιπάσματος αύξησε τη συγκέντρωση και την πρόσληψη των περισσότερων θρεπτικών συστατικών σε κόκκους και στη βιομάζα (Hons et al. 1986).

Οι Ganyo et al. (2019) διαπίστωσαν πως σε ξηρές και ημιξηρές περιοχές η αζωτούχος λίπανση για την παραγωγή σόργου θα πρέπει να συνδυάζει το ρυθμό λίπανσης και το χρόνο της εφαρμογής με βάση τον κύκλο του γενοτύπου, την υπάρχουσα περιεκτικότητα αζώτου στο έδαφος και την συχνότητα των βροχοπτώσεων για να επιτευχθεί η βέλτιστη απόδοση σε σπόρο και σε βιομάζα. Ο χρόνος και ο ρυθμός εφαρμογής του λιπάσματος είχε σπουδαία επίδραση στην ανάπτυξη των φυτών (δυναμικό βιομάζας). Η καθυστερημένη προσθήκη επιτρέπει στα φυτά του σόργου, που μέχρι τότε είχαν υποστεί στρες λόγω της έλλειψης του λιπάσματος να επανέλθει σε τέτοιο επίπεδο σαν να είχε εφαρμοστεί στην έναρξη της καλλιεργητικής περιόδου. Γίνεται αντιληπτό λοιπόν ότι η εφαρμογή της βασικής λίπανσης κατά την επιμήκυνση των στελεχών ίσως να είναι ωφέλιμη για τα φυτά του σόργου. Ακόμη, διαπίστωσαν πως ένα από τα υβρίδια, το Fadda, ανταποκρίθηκε διαφορετικά στη λίπανση από τις άλλες ποικιλίες για παραγωγή βιομάζας και επωφελήθηκε από την αναβολή της βασικής εφαρμογής αζώτου μέχρι τη βλαστική περίοδο.

Για την παραγωγή σε σπόρο, η λίπανση με μειωμένο ρυθμό εφαρμοζόμενη προς το τέλος της καλλιεργητικής περιόδου ήταν πιο αποδοτική σε σχέση με την εφαρμογή με κανονικό ρυθμό στο τέλος της καλλιεργητικής περιόδου σε συνθήκες με επαρκή υγρασία, που σημαίνει πως δεν πρέπει να εφαρμόζονται μεγάλες ποσότητες λιπασμάτων σε υγρές συνθήκες. Επίσης βρήκαν πως η εφαρμογή αζωτούχου λίπανσης πιο μετά στην καλλιεργητική περίοδο είχε ως αποτέλεσμα μεγαλύτερη απόδοση σε σπόρο από τη συνιστώμενη καλλιεργητική πρακτική σε περιοχές με μικρό δυναμικό απόδοσης. Όλα τα υβρίδια στην μελέτη των Ganyo et al. (2019) αποδίδουν περισσότερο αν η λίπανση εφαρμοστεί πιο μετά στην καλλιεργητική περίοδο και με άρδευση μετά την εφαρμογή του λιπάσματος. Επιπλέον οι ποικιλίες με μεγάλο βιολογικό κύκλο έδειξαν καλύτερη απόκριση σε εδάφη φτωχά σε άζωτο ενώ τα υβρίδια ανταποκρίνονται σε καθυστερημένη εφαρμογή λιπάσματος και μικρότερη ποσότητα λιπάσματος χωρίς να επηρεάζονται από τους εδαφικούς τύπους (Ganyo et al. 2019).

Χορτοδοτικό. Η συγκέντρωση του αζώτου αυξήθηκε με την αύξηση της αζωτούχου λίπανσης και η μέγιστη συσσώρευση αζώτου ήταν 16,1 kg N ανά στρέμμα με ρυθμό 19,6 kg ανά στρέμμα. Η συνολική αποτελεσματικότητα χρήσης N και η φαινόμενη ανάκτηση N μειώθηκαν με την αύξηση της ποσότητας N (Beyaert and Roy 2005).

Σε ξηρική καλλιέργεια 3 - 6 kg N/στρ. είναι επαρκή. Σε αρδευόμενη καλλιέργεια το σόργο αποκρίνεται μέχρι και 20 kg N/στρ. Εάν πρόκειται για ενσίρωμα χρειάζεται 20 – 22 kg N/στρ. (Παπακώστα - Τασοπούλου 2012) ενώ για χορτοδοτική καλλιέργεια 8 - 16 kg N/στρ. στη σπορά και 8 kg N/στρ. μετά από κάθε κοπή (Παπουτσή - Κωστοπούλου 1992).

1.9.4.2. Φώσφορος

Ο φωσφόρος συναντάται σε πολύ μικρότερες συγκεντρώσεις στα φυτά (σε σύγκριση με το άζωτο και το κάλιο) και η συγκέντρωση του στην ξηρή ουσία των φυτών κυμαίνεται περίπου στο 10 – 20% εκείνης του αζώτου. Ο φωσφόρος είναι ουσιαστικός για την αύξηση των φυτών, την κυτταρική διαίρεση, την ανάπτυξη των ριζών, την ανάπτυξη σπόρων και φρούτων και την πρόωπη ωρίμανση. Συμμετέχει σε πολλές ενώσεις, όπως τα έλαια και τα αμινοξέα.

Είναι εμφανής η έλλειψη φωσφόρου στην ανάπτυξη των φυτών, καθώς την περιορίζει αισθητά. Καθυστερεί την αύξηση, το αδέλφωμα, την ανάπτυξη των ριζών και επιβραδύνει την ωρίμανση. Με μεγάλη συγκέντρωση φωσφόρου τα φυτά μπορεί να εκδηλώσουν συμπτώματα τοξικότητας. Συναντώνται συνήθως ως υδατώδες άκρο στους ιστούς των φύλλων, ο οποίος στη συνέχεια νεκρώνεται. Σε πολύ σοβαρές περιπτώσεις, η τοξικότητα φωσφόρου μπορεί να προκαλέσει το θάνατο του φυτού (FAO 2006).

Τα υπάρχοντα αποθέματα φωσφορικών πετρωμάτων εικάζεται πως θα εξαντληθούν τα επόμενα 50 - 100 χρόνια (Steen 1998; Smil 2000). Η βιομηχανία λιπασμάτων έχει αναγνωρίσει πως η ποιότητα των αποθεμάτων έχει υποβαθμιστεί και το κόστος της εξόρυξης, της επεξεργασίας και της μεταφοράς συνεχώς αυξάνεται. Για να ανταπεξέλθει με τις ολοένα αυξανόμενες ανάγκες σε τρόφιμα λόγω της ταχείας αύξησης του πληθυσμού τον 20^ο αιώνα, το guano (περιττώματα πουλιών που είχαν κατατεθεί κατά τις προηγούμενες χιλιετίες) και αργότερα ο φωσφορικός βράχος εφαρμόστηκαν εκτενώς στις καλλιέργειες τροφίμων (Smil 2000).

Τα φυτά χρειάζονται φωσφόρο για να αναπτυχθούν σωστά. Ο φωσφόρος πρόκειται για στοιχείο του περιοδικού πίνακα που δεν μπορεί να αντικατασταθεί με κάποιο άλλο και ως αποτέλεσμα είναι ζωτικής σημασίας για την καλλιέργεια των τροφίμων (Steen 1998). Από τη συνολική

παραγόμενη ποσότητα φωσφόρου (περίπου 148 εκατομμύρια τόνοι φωσφορικών πετρωμάτων κάθε χρόνο), το 90% της παραγόμενης ποσότητας αυτής θα χρησιμοποιηθεί για την παραγωγή τροφίμων (Smil 2000). Η ζήτηση του φωσφόρου ενδέχεται να αυξηθεί κατά 50 - 100% έως το 2050 λόγω της αυξημένης παγκόσμιας ζήτησης για τρόφιμα και την αλλαγή της διατροφής (Steen 1998).

Ο φωσφόρος, όπως το πετρέλαιο, συγκαταλέγεται στους μη ανανεώσιμους πόρους. Όμως συνεχίζεται η υπερβολική φωσφορική λίπανση σε πολλές γεωργικές καλλιέργειες, που οδηγεί στην έκπλυση και απορροή, καθώς και στη ανούσια συσσώρευση στα εδάφη (Steen 1998). Τα εναπομείναντα δυνητικά αποθέματα είναι κατώτερης ποιότητας ή πιο δαπανηρά στην εξόρυξη τους (Cordell et al. 2009).

Η σύγχρονη γεωργία δεν μπορεί να διατηρήσει τις αποδόσεις χωρίς το φώσφορο. Το ζενίθ της παγκόσμιας παραγωγής φωσφόρου εικάζεται πως θα επιτευχθεί το 2030, ενώ η ζήτηση του φωσφόρου θα συνεχίσει να αυξάνεται. Η ημερομηνία της μέγιστης αυτής παραγωγής φωσφόρου ίσως να μην είναι ακριβής, ωστόσο αναγνωρίζεται ευρέως στη βιομηχανία λιπασμάτων ότι η ποιότητα των υπολοίπων φωσφορικών αποθεμάτων υποβαθμίζεται και το κόστος παραγωγής αυξάνεται (Cordell et al. 2009).

Στο σόργο, η εφαρμογή φωσφορικού λιπάσματος αυξάνει την απόδοση (Oprea et al. 2016; Sweeney et al. 2011). Επιπλέον αυξάνει τον αριθμό των συγκομισμένων κεφαλών (Sweeney et al. 2011).

Οι Bayu et al. (2002) βρήκαν πως η συνολική απόδοση σε επιφανειακή βιομάζα δεν ανταποκρίθηκε στην εφαρμογή φωσφόρου. Δεν παρατηρήθηκαν σημαντικές επιδράσεις από την αλληλεπίδραση αζώτου και φωσφόρου στη συνολική απόδοση της επιφανειακής βιομάζας. Η απόδοση στα υπολείμματα της καλλιέργειας δεν επηρεάστηκε από τη λίπανση με φώσφορο, ούτε στις αλληλεπιδράσεις αζώτου και φωσφόρου.

Εάν το έδαφος είναι πλούσιο σε φώσφορο τότε η καλλιέργεια του σόργου δεν επηρεάζεται από περαιτέρω λίπανση με φώσφορο (Bayu et al. 2002; Hons et al. 1986), ενώ σε περίπτωση που το έδαφος είναι πτωχό σε φώσφορο τότε η αντίδραση του στη λίπανση με φώσφορο μπορεί να είναι σημαντική (Sweeney et al. 2011).

Στα φυτά σόργου που έχει προστεθεί φωσφόρο τείνουν να είναι υψηλότερα, με μεγαλύτερα φύλλα και πυκνό θόλο σε σχέση με τα φυτά που δεν έχει γίνει προσθήκη P (Bayu et al. 2002).

Στο χορτοδοτικό σόργο, όσο μεγαλύτερη είναι η εφαρμοζόμενη ποσότητα φωσφόρου τόσο υψηλότερη είναι και η συσσώρευση, όμως, όσο περισσότερη ποσότητα εφαρμόζεται τόσο μειώνεται η αποδοτικότητα ανάκτησης του στοιχείου. Ακόμη, η φωσφορούχος λίπανση δεν επηρεάζει τη θρεπτική αξία της ζωοτροφής, ειδικά όταν τα επίπεδα του εδαφικού φωσφόρου είναι επαρκή για την ανάπτυξη του σόργου (Restelatto et al. 2017).

Μια συγκομιδή χορτοδοτικού σόργου 1,25 με 1,75 τόνων θα αφαιρέσει περίπου 4,5 kg P₂O₅/στρ (Undersander et al. 1990). Λίπανση με φώσφορο δεν είναι πάντα απαραίτητη (Παπακώστα - Τασοπούλου 2012).

1.9.4.3. Κάλιο

Μετά το άζωτο, το κάλιο είναι το δεύτερο πιο άφθονο θρεπτικό συστατικό στα φυτά. Η περιεκτικότητα του είναι 4 - 6 φορές μεγαλύτερη από τα λοιπά μακροθρεπτικά συστατικά όπως το φώσφορο, ασβέστιο, μαγνήσιο και θείο. Το κάλιο εμπλέκεται στη λειτουργία πάνω από 60 ενζύμων, στη φωτοσύνθεση, την κίνηση των προϊόντων της στα αποθηκευτικά όργανα, στην καλύτερη αξιοποίηση του νερού και κάνει τα φυτά πιο ανθεκτικά σε διάφορα παράσιτα, ασθένειες και την έλλειψη νερού ή χαμηλές θερμοκρασίες. Δρα στη λειτουργία των στομάτων και κατ' επέκταση αυτού στην αναπνοή και διαπνοή.

Το κάλιο είναι κατ' εξοχήν ευκίνητο μέσα στο φυτό. Κατά συνέπεια, τα συμπτώματα τροφοπενίας που εμφανίζονται αρχικά στα ελάσματα των παλαιότερων φύλλων και μάλιστα, περιφερειακά του φύλλου. Στα πρώτα στάδια εμφανίζεται μια περιφερειακή χλώρωση, η οποία, καθώς προχωρεί η τροφοπενία, μετατρέπεται σε νέκρωση, ενώ ταυτόχρονα κινείται προς το κέντρο του ελάσματος με προοπτική να καλύψει όλη την επιφάνεια του (FAO 2006).

Τα φυτά που εμφανίζουν έλλειψη είναι μικρόσωμα και έχουν μικρότερα μεσογονάτια διαστήματα, αργή και καχεκτική ανάπτυξη, έχουν μικρότερες αποδόσεις (Leigh and Wyn Jones 1984), αδύναμα στελέχη και είναι επιρρεπή στο πλάγιασμα, είναι πιο ευαίσθητα σε εχθρούς και ασθένειες, ζαρωμένους κόκκους και γενικά τα προϊόντα της καλλιέργειας είναι υποβαθμισμένης ποιότητας. Με την καθυστερημένη ανάπτυξη των φυτών συναντάμε συνήθως και αυξημένο ρυθμό αναπνοής, που προκαλεί απώλεια νερού σε σχέση με την παραγόμενη ξηρά ουσία. Ο ρυθμός διαπνοής μπορεί να γίνει ανεξέλεγκτος και τα φυτά μπορεί να υποφέρουν από την ξηρασία (FAO 2006).

Το κάλιο δεν επηρεάζει σημαντικά το βάρος του πυρήνα ούτε και τους πυρήνες / κεφαλές. Η σήψη των στελεχών περιορίζεται με καλιούχο λίπανση (Sweeney et al. 2011). Το κάλιο σε

συνδυασμό με το άζωτο αυξάνει επίσης την απόδοση του σόργου καλύτερα από μόνο αζωτούχο λίπανση (Pholsen and Sornsungnoen 2004).

Η αζωτούχος λίπανση μπορεί να αυξήσει το ύψος του στελέχους, το νωπό βάρος του στελέχους και το συνολικό νωπό βάρος κατά το στάδιο της φυσιολογικής ωρίμανσης με ή χωρίς την παρουσία λιπάσματος καλίου. Οι Almodares et al. (2008) βρήκαν πως η επίδραση του καλίου στα προαναφερθέντα χαρακτηριστικά ήταν ουσιαστική μόνο όταν η ποσότητα του λιπάσματος αζώτου ήταν μεγαλύτερη από αυτή του μάρτυρα.

Επιπλέον, η αυξημένη συσσώρευση ξηρού βάρους σε διάφορα μέρη του φυτού οφείλεται στην επαρκή παροχή καλίου στην καλλιέργεια κατά τη διάρκεια της καλλιεργητικής περιόδου. Σε γενικές γραμμές, οι αποδόσεις των καλλιεργειών μειώνονται σημαντικά σε εδάφη με έλλειψη καλίου (Almodares et al. 2008).

Το κάλιο συμμετέχει και έχει ευνοϊκή επίδραση στη μετακίνηση των φωτοσυνθετικών προϊόντων από τα παραγωγικά όργανα προς τα αποθηκευτικά (Mengel 1980).

Μεγάλο ποσοστό του καλίου που απαιτείται από το καρποδοτικό σόργο παραμένει στον αγρό στα υπολείμματα της καλλιέργειας, το οποίο μπορεί να επιστραφεί στο έδαφος. Η συνολική ποσότητα του καλίου που αφαιρείται με τη συγκομιδή των κόκκων ήταν μικρότερη από εκείνη του αζώτου και του φωσφόρου (Whitney 1998).

Για της Ελληνικές συνθήκες λίπανση με κάλιο δεν είναι πάντα απαραίτητη και συστήνεται η εφαρμογή της μόνο όταν εμφανίζονται συμπτώματα έλλειψης του (Παπακώστα - Τασοπούλου 2012).

1.9.4.4. Λοιπά θρεπτικά στοιχεία και ιχνοστοιχεία

Το θείο (S) αποτελεί βασικό μακροθρεπτικό συστατικό. Είναι συστατικό των αμινοξέων και μεταβολιτών και παίζει κυρίαρχο ρόλο στην ανάπτυξη των φυτών και την αντοχή σε αντιξοότητες (Rausch and Wachter 2005).

Ο σίδηρος (Fe) είναι το πιο απορροφούμενο ιχνοστοιχείο συστατικό από το σόργο. Ο σίδηρος είναι το πιο περιοριστικό ιχνοστοιχείο, όπως παρατηρήθηκε στο χορτοδοτικό (Cavalcante et al. 2018). Αντιθέτως, υψηλές συγκεντρώσεις σιδήρου μπορεί να περιορίσουν τη συσσώρευση του μαγγανίου (Mn) στο σόργο (Santi et al. 2006, όπως αναφέρεται στους Cavalcante et. al (2018)).

Ο ψευδάργυρος (Zn) είναι το δεύτερο συσσωρευμένο ιχνοστοιχείο, το οποίο μπορεί να σχετίζεται με την υψηλή ευαισθησία του σόργου στην ανεπάρκεια Zn (Santos et al. 2009, όπως αναφέρεται στους Cavalcante et. al (2018)).

Ο χαλκός (Cu) είναι το ιχνοστοιχείο που απορροφάται στις μικρότερες ποσότητες.

Η συνολική προσροφημένη ποσότητα μακροστοιχείων και ιχνοστοιχείων, με φθίνουσα σειρά είναι: K > N > Ca > Mg > S > P > Fe > Zn > Mn > Cu.

Από τα διάφορα φυτικά μέρη, οι μίσχοι συγκεντρώνουν τις περισσότερες θρεπτικές ουσίες, στη συνέχεια τα φύλλα και οι ταξιανθίες, λόγω της υψηλότερης συσσώρευσης ξηρής ουσίας (Cavalcante et al. 2018).

Το ασβέστιο, το μαγνήσιο και το θείο είναι τα δευτερεύοντα μακροστοιχεία και σε γενικές γραμμές βρίσκονται σε επαρκείς ποσότητες στα εδάφη, εκτός εάν δειγματοληψίες φυτών και εδάφους δείξουν ανεπάρκεια. Η ποσότητα ασβεστίου και μαγνησίου σε δειγματοληψίες εδάφους βρίσκεται συνήθως επαρκή, εφόσον ικανοποιούνται οι ανάγκες σε ασβέστη (Espinoza 2004).

1.9.5. Διαχείριση Ζιζανίων

Ο ανταγωνισμός των ζιζανίων με το σόργο οδηγεί σε χαμηλότερες συγκομιδές, προκαλεί απώλειες συγκομιδής και αυξάνεται στη σποροκλίνη η περιεκτικότητα σε σπόρους. Ήπια προσβολή από ζιζάνια στην έναρξη της καλλιεργητικής περιόδου είναι αρκετή για σημαντική πτώση στην απόδοση. Το σόργο δεν αναπτύσσονται γρήγορα και δεν ανέχεται ανταγωνισμό από τα περισσότερα ζιζάνια (Smith and Scott 2004).

Η διαχείριση των ζιζανίων στην καλλιέργεια του σόργου δεν είναι απλή και πραγματοποιείται καλύτερα με μια ολοκληρωμένη προσέγγιση χρησιμοποιώντας την αμειψισπορά, ορθές καλλιεργητικές πρακτικές, ζιζανιοκτονία με χημικά μέσα και όπου χρειάζεται, όργωμα για τη διευκόλυνση των φυτών του σόργου να ανταγωνιστούν τα ζιζάνια.

Η αμειψισπορά είναι ο πιο αποτελεσματικός τρόπος αντιμετώπισης του βέλιουρα (*Sorghum halepense*), επειδή κάθε καλλιέργεια διαφέρει ανάλογα με το χρόνο εφαρμογής και τους τύπους ζιζανιοκτόνων και οργώματος. Η εφαρμογή ζιζανιοκτόνων την κατάλληλη στιγμή που διευκολύνουν τη διαχείριση των ζιζανίων σε σύστημα αμειψισποράς και κατά τις περιόδους αγρανάπαυσης είναι ουσιαστικές για τη μείωση της παρουσίας των ζιζανίων αυτών σε πληθυσμούς εύκολα διαχειρίσιμους. Η αμειψισπορά με καλλιέργειες που επιτρέπουν τη χρήση

προφυτρωτικών και μεταφυτρωτικών ζιζανιοκτόνων είναι δυνατόν να αναχαιτίσουν την σποροπαραγωγή κατά τη διάρκεια αυτής της καλλιεργητικής περιόδου. Επειδή η φυτρωτική ικανότητα των σπόρων πολλών αγρωστώδων ζιζανίων είναι σχετικά μικρή, η διαχείριση των ζιζανίων για 4 - 5 χρόνια μειώνει σημαντικά τον πληθυσμό των ζιζανίων σε μελλοντικές καλλιέργειες.

Ένα προφυτρωτικό ζιζανιοκτόνο με καλή αντιμετώπιση των αγρωστώδων είναι απαραίτητο για τον επαρκή έλεγχο των ετήσιων αγρωστώδων ζιζανίων στο σόργο. Το σόργο πρέπει να είναι απαλλαγμένο από ζιζάνια για τις πρώτες τέσσερις έως πέντε εβδομάδες μετά τη σπορά για να μην μειωθεί η απόδοση λόγω του ανταγωνισμού με ζιζάνια (Ciampitti et al. 2020).

Χορτοδοτικό. Μηχανικά: Υβρίδια Sudangrass και sorghum-sudangrass που η σπορά τους γίνεται σε καλά προετοιμασμένο, ζεστό έδαφος αναπτύσσονται γρήγορα και καλά ακόμη και με την παρουσία ετήσιων ζιζανίων. Η διαχείριση των ζιζανίων μπορεί να γίνει με όργανο αν η οι σειρές απέχουν 50 cm ή περισσότερο.

Χημικά: Εάν τα ζιζάνια προκαλούν προβλήματα, ίσως κριθεί απαραίτητη η χρήση ζιζανιοκτόνων για τη διαχείριση των ζιζανίων έως ότου σχηματιστεί ένας πλήρης θόλος φύλλων (Undersander et al. 1990).

1.9.6. Άρδευση

Στο Μεσογειακό κλίμα, όπου οι περισσότερες βροχοπτώσεις λαμβάνουν χώρα κυρίως το χειμώνα, το νερό αποτελεί περιοριστικό παράγοντα στην απόδοση των καλλιεργειών και ιδιαίτερα για τις εαρινές καλλιέργειες όπως το σόργο (Garofalo and Rinaldi 2013). Η έλλειψη νερού στο σόργο μπορεί να οδηγήσει στη μειωμένη αποτελεσματικότητα μετατροπής της προσπίπτουσας ηλιακής ακτινοβολίας σε ξηρή ουσία, αν και η ηλιακή ακτινοβολία αποτελεί άφθονο παράγοντα στο Μεσογειακό περιβάλλον (Dercas and Liakatas 2007).

Το σόργο αντιδρά στην ημερομηνία εφαρμογής και στην ποσότητα του νερού άρδευσης, με εμφανή περιορισμό της ανάπτυξης και της συσσώρευσης ξηρής ουσίας με τη σταδιακή μείωση της περιεκτικότητας του εδάφους σε νερό (Lewis et al. 1974). Ο περιορισμός της εδαφικής υγρασίας μειώνει τη στοματική αγωγιμότητα, τη διαπνοή, τον ρυθμό φωτοσύνθεσης και τη συσσώρευση ξηρής ουσίας (Turner 1974). Ακόμη, υπάρχουν αρνητικές επιπτώσεις σε συγκεκριμένους δείκτες της καλλιέργειας όπως είναι ο δείκτης φυλλικής επιφάνειας (LAI), το ύψος των στελεχών και η παραγωγή βιομάζας με τη μείωση της εδαφικής υγρασίας (Rosenthal et al. 1987).

Κατά τη διάρκεια της καλλιεργητικής περιόδου οι ανάγκες του σόργου σε νερό κυμαίνονται από 450 έως 650 mm (Critchley et al. 1991). Λόγω της ανθεκτικότητας του στην ξηρασία η καλλιέργεια του συναντάται σε περιοχές πολύ ξηρές για τον αραβόσιτο (Sorghum: Production Guideline 2010).

Ο μέγιστος δυνατός αριθμός σταχυδίων ανά ταξιανθία, ένας από τους κυρίαρχους παράγοντες που επηρεάζει το δυναμικό απόδοσης, αντιπροσωπεύει μέχρι και τα 2/3 της τελικής απόδοσης του σόργου. Επηρεάζει το μέγιστο δυνατό αριθμό σπόρων που σχηματίζονται κατά το 3ο στάδιο ανάπτυξης (30 με 40 ημέρες μετά την έκπτυξη), για μια περίοδο περίπου 7 έως 10 ημερών (που περιλαμβάνει το αδελφωμα που ακολουθούν την ανάπτυξη της φόβης). Οι περιβαλλοντικές συνθήκες που θα επικρατήσουν αυτή την περίοδο, όπως για παράδειγμα η ξηρασία ή υψηλές θερμοκρασίες κατά τη διάρκεια της ανθοφορίας, θα παίξει ρόλο στον αριθμό των σταχυδίων ανά ταξιανθία που θα ανθήσουν, θα γονιμοποιηθούν και θα αναπτύξουν σπόρους (Trostle and Peterson 2019).

Ο Myers (1978) δεν παρατήρησε αντίδραση στη λίπανση στο βάρος των πυρήνων λόγω της έλλειψης νερού κατά το γέμισμα των κόκκων. Βρήκε πως οι συνθήκες υγρασίας κατά την εγκατάσταση επηρεάζει τον τελικό πληθυσμό των φυτών, με τον επιδιωκόμενο πληθυσμό 20.000 φυτών ανά στρέμμα να επιτυγχάνεται μόνο σε ένα έτος από τα τρία.

Παρατήρησε πως ευνοϊκές συνθήκες υγρασίας είχαν ως αποτέλεσμα το σχηματισμό περισσότερων από 1000 σπόρους ανά φόβη, ενώ αν επικράτησε ξηρασία μετά την έναρξη της άνθησης τότε σχηματίστηκαν μόνο 635 - 960 σπόροι ανά φόβη. Ακόμη, το μέσο βάρος του σπόρου ήταν 22 mg με ευνοϊκές συνθήκες υγρασίας, 20 mg όταν κατά τη φυσιολογική ωρίμανση τα αποθέματα νερού είχαν εξαντληθεί ενώ με αντίξοες συνθήκες υγρασίας ήταν 13 mg, που σημαίνει πως η υγρασία επηρεάζει το γέμισμα των σπόρων (Myers 1978).

Το σόργο αναπτύσσει ένα εκτεταμένο ριζικό σύστημα, το οποίο μπορεί να επεκταθεί μέχρι και 2 m σε ένα εύθρυπτο έδαφος. Ο προγραμματισμός άρδευσης συνήθως λαμβάνει υπόψιν μόνο τα πρώτα 90 cm της ριζικής ζώνης, καθώς η μεγαλύτερη ποσότητα νερού θα αντληθεί από αυτήν την περιοχή. Τα 3/4 της συνολικής ποσότητας νερού θα ληφθούν από το πάνω μισό της ριζικής περιοχής, ενώ σε περιπτώσεις έλλειψης νερού, όταν η άνω ζώνη δεν εντοπίζει νερό, το σόργο θα χρησιμοποιήσει νερό σε βαθύτερα στρώματα.

Γενικά, άρδευση που γίνεται σε μία ή δύο σχετικά μεγάλες δόσεις, όταν το σόργο καλλιεργείται σε βαθιά αργιλώδη εδάφη, δίνει τα καλύτερα αποτελέσματα με αποδόσεις που αγγίζουν το μέγιστο δυναμικό της καλλιέργειας, σε σύγκριση με εφαρμογή τριών ή τεσσάρων αρδεύσεων.

Άρδευση πριν τη σπορά δεν συνιστάται, καθώς οι βροχοπτώσεις εκείνης της περιόδου ενυδατώνουν επαρκώς το έδαφος (Rogers and Alam 1998).

Η πλήρης ή περιορισμένη άρδευση σόργου σε αμμώδη εδάφη απαιτεί πιο τακτικές αρδεύσεις και σε μικρότερες δόσεις. Ο προγραμματισμός της άρδευσης με βάση την εξατμισοδιαπνοή είναι αποτελεσματικός σε συνθήκες όπου η ικανότητα συγκράτησης νερού είναι χαμηλή. Η περιορισμένη άρδευση μπορεί εύκολα να προκαλέσει χαμηλές αποδόσεις. Μια μεγάλη δόση άρδευσης μπορεί να προκαλέσει έκπλυση θρεπτικών ουσιών και μη αποτελεσματική χρήση νερού λόγω βαθιάς διήθησης.

Στην καλλιέργεια του χορτοδοτικού σόργου η άρδευση αυξάνει την απόδοση. Η απόδοση αυξήθηκε από 400 kg/στρ. σε μη αρδευόμενη εκμετάλλευση σε 2.200 kg/στρ. σε αντίστοιχη αρδευόμενη (Παπουτσή - Κωστοπούλου 1992). Άρδευση μετά από κάθε κοπή κρίνεται απαραίτητη καθώς οδηγεί σε γρήγορη αναβλάστηση (Παπακώστα - Τασοπούλου 2012).

Η έλλειψη νερού προκαλεί την καθυστέρηση της ωρίμανσης και αν συμβεί κατά το γέμισμα των κόκκων οδηγεί σε συρρικνωμένους σπόρους, κάτι που μειώνει την απόδοση (Rogers and Alam 1998).

Αν ικανοποιούνται οι ανάγκες του ζαχαρούχου σόργου σε νερό τότε αυξάνεται το βάρος των στελεχών και η περιεκτικότητα σε ζαχαρούχο χυμό.

Στο σόργο για σκούπα, η πρώτη άρδευση γίνεται μια με δύο εβδομάδες πριν την εμφάνιση της ταξιανθίας, στάδιο που η απουσία νερού έχει αρνητικές επιπτώσεις. Κάλο είναι να πραγματοποιηθούν άλλη μια ή δυο εφαρμογές (Παπακώστα - Τασοπούλου 2012).

Η άρδευση δεν είναι όμως ο καθοριστικός παράγοντας. Για τη μεγιστοποίηση της παραγωγής και του κέρδους η άρδευση θα πρέπει να συνδυαστεί με άλλες καλλιεργητικές πρακτικές που θα επιφέρουν τα επιθυμητά αποτελέσματα (Tacker et al. 2004).

1.9.7. Συγκομιδή

Οι χορτοδοτικού τύποι *Sorghum x sudan* είναι σχεδιασμένοι για επανειλημμένες κοπές και μπορούν να χρησιμοποιηθούν ως σανός, ενσίρωση ή βόσκηση. Αυτά τα υβρίδια όμως δεν ξεραίνονται πολύ γρήγορα. Ως αποτέλεσμα, η παραγωγή σανού από αυτά τα είδη κινδυνεύει περισσότερο να ζημιωθεί από τη βροχή ή αν αφεθεί να υπερωριμάσει πριν είναι δυνατή η συγκομιδή σανού.

Τα χορτοδοτικά υβρίδια σόργου ποικίλουν ανάλογα με το στάδιο ωριμότητας στο οποίο γίνεται η κοπή. Η συγκομιδή της καλλιέργειας στο βλαστικό στάδιο εξασφαλίζει πολλές συγκομιδές και κατά συνέπεια υψηλότερες αποδόσεις, όπως για παράδειγμα η παραγωγή άνω των 1,75 tn ξηρής ουσίας ανά στρέμμα. Χαμηλές αποδόσεις λαμβάνονται όταν η καλλιέργεια συγκομίζεται στο στάδιο της ανθοφορίας. Δεν παρατηρήθηκαν διαφορές στις αποδόσεις όταν η συγκομιδή πραγματοποιείται είτε στο στάδιο της μαλακής ή της σκληρής ζύμης (Vendramini et al. 2019).

Το Sudangrass θα πρέπει να συγκομίζεται για σανό όταν φτάσει στο στάδιο ξεσταχυάσματος. Η συγκομιδή σόργου που έχει φτάσει σε ύψος 1,2 m ή περισσότερο μπορεί να μην είναι εύκολη με συμβατικό εξοπλισμό. Η κοπή για βόσκηση σε προηγούμενα στάδια ανάπτυξης μεταχειρίζεται πιο εύκολα και έχει υψηλότερη διατροφική αξία. Η κοπή σε ύψος 15 cm οδηγεί σε πιο γρήγορη αναγέννηση (Undersander et al. 1990).

1. Για Βόσκηση. Τα υβρίδια Sudangrass και sorghum - sudangrass είναι συνήθως έτοιμα για βόσκη 5 με 6 εβδομάδες μετά τη σπορά. Επειδή το υδροκυάνιο βρίσκεται στις υψηλότερες συγκεντρώσεις στα ανώριμα φυτικά μέρη, οι νέοι βλαστοί ίσως είναι επικίνδυνοι, τουλάχιστον μέχρι να φτάσουν σε ύψος 45 cm. Με την περιστροφική βόσκηση επιτυγχάνεται η μεγιστοποίηση της παραγωγής, συνδυάζοντας ασφάλεια και ποιότητα της τροφής. Τα ζώα μπορεί να ποδοπατήσουν την καλλιέργεια ή και να βοσκήσουν επιλεκτικά αν τα φυτά είναι πολύ ψηλά (πάνω από 1m). Επιπλέον, αν ο παγετός νεκρώσει την πάνω βλάστηση, υπάρχει πιθανότητα δηλητηρίασης από υδροκυάνιο όταν εκπτυχθούν από τη βάση του φυτού νέοι βλαστοί. Αν τα φυτά πληγούν από τον παγετό η συγκομιδή για ενσίρωση μπορεί να είναι ο καλύτερος τρόπος εκμετάλλευσης αυτών των φυτών (Undersander et al. 1990).

2. Για Σανό. Η συγκομιδή δεν είναι εύκολη με τα υβρίδια sudangrass και sorghum - sudangrass. Η κοπή πρέπει να γίνει σε ύψος 75 έως 90 cm και πρέπει να παραμείνουν 15 έως 20 cm ύψος φυτών για καλύτερη αναβλάστηση και αερισμό. Η περιεκτικότητα σε υδροκυάνιο στη ζωοτροφή μπορεί να μειωθεί μέχρι και 75% και σπάνια είναι επιβλαβής στα ζώα.

Για ενσιρωμένο σανό καλό είναι να κοπούν σε ύψος ίσο ή υψηλότερο από αυτό για το σανό. Η κοπή σανού προτείνεται σε χαμηλά ύψη για να επιταχυνθεί η ξήρανση και να διατηρηθεί υψηλή η ποιότητα. Τοιουτοτρόπως, ενώ ένα εποχιακό σύστημα διαχείρισης σανού μπορεί να περιλαμβάνει 3 κοπές όταν φτάσουν σε ύψος 75 με 90 cm, ένα εποχιακό σύστημα ενσιρωμένου σανού μπορεί να περιλαμβάνει 2 κοπές στο στάδιο ξεσταχυάσματος. Συνίσταται πτώση της υγρασίας στο 50 με 60% πριν τη συγκομιδή (Lang 2001).

3. Για ενσίρωση. Όλα τα χορτοδοτικά σόργα μπορούν να χρησιμοποιηθούν για ενσίρωση, τα γλυκά σόργα με την υψηλή περιεκτικότητα σε σάκχαρα είναι ιδανικά. Υπάρχουν επίσης διαθέσιμα σόργα «διπλής χρήσης». Το χορτοδοτικό σόργο για ενσίρωση πρέπει να συγκομιστεί στην αρχή του σταδίου της ζύμης, όταν περιέχει 30-40% υγρασία (Cameron 2006).

4. Κομμένο χόρτο (green chop). Τα υβρίδια sudangrass και sorghum-sudangrass μπορούν να κοπούν για την ενίσχυση των θερινών ζωοτροφών. Είναι θρεπτικό σε οποιοδήποτε ύψος φυτού κι αν κοπεί και μπορεί να δώσει μεγάλη παραγωγή. Για την εξασφάλιση δεύτερης κοπής, η συγκομιδή της πρώτης κοπής πρέπει να γίνει στο στάδιο της κεφαλής, αφήνοντας 15 με 20 cm. Δεν πρέπει να παραμείνει στη ζέστη καθώς θα αυξηθεί η συγκέντρωση του υδροκυανίου (Undersander et al. 1990).

5. Για χλωρή λίπανση: Η καλλιέργεια του σόργου γενικά δεν συνίσταται για χλωρή λίπανση. Δεν εμπλουτίζουν το έδαφος με άζωτο, όπως τα ψυχανθή. Πάραυτα, μια ποικιλία sudangrass ή ένα υβρίδιο sorghum- sudangrass μπορεί να παράγει μέχρι και 1,25 tn ξηρής ουσίας ανά στρέμμα ως οργανικό ύλη. Πρέπει να προστεθεί αζωτούχος λίπανση ή κοπριά για να διατηρηθεί ισορροπία στα θρεπτικά συστατικά (Undersander et al. 1990).

Η συγκομιδή για κομμένο χόρτο ή ενσίρωση αρμόζει για μηχανική συγκομιδή λόγω του όγκου και της ποσότητας. Η βόσκηση είναι η φθηνότερη μέθοδος συγκομιδής του χορτοδοτικού σόργου (*Sorghum: Production Guideline* 2010).

1.9.8. Αποθήκευση

Τα υβρίδια sudangrass ή sorghum x sudan απαιτούν τουλάχιστον 1 με 2 επιπλέον ημέρες για να μειωθεί η υγρασία τους σε επίπεδο κατάλληλο για να παραχθεί σανός σε σχέση με τις πολυετείς καλλιέργειες που χρησιμοποιούνται συνήθως ως καλλιέργειες σανού. Εάν δεν χρησιμοποιηθεί το κατάλληλο μηχάνημα κοπής η διαδικασία ξήρανσης μπορεί να καθυστερήσει άλλες τρεις με τέσσερις ημέρες (Vendramini et al. 2019).

Το υδροκυάνιο που βρίσκεται σε μεγαλύτερες ποσότητες σε νεαρά φυτά σόργου ή σε τμήματα που μόλις έχουν βλαστήσει και καθίσταται επικίνδυνο εάν καταναλωθεί από μηρυκαστικά σε μεγάλες ποσότητες, καταστρέφεται από την ενσίρωση. Τα μακριά και αποξηραμένα στελέχη του σόργου δένονται σε πακέτα που ζυγίζουν συνήθως 10 - 15 κιλών το καθένα. Τοποθετούνται σε πλατφόρμα ή σε ανύψωμα με τέτοιο τρόπο ώστε οι πλαγιές της να κατευθύνονται προς τα έξω. Αυτά έπειτα καλύπτονται με άχυρο ή μακριά ξηρά χόρτα τοιουτοτρόπως κατακρημνίσματα να μην μπορούν να διεισδύσουν στη στοίβα. Πολλές από αυτές τις στοιβάδες

αποθηκεύονται σε περιοχές που πλήττονται από την έλλειψη νερού για ζωοτροφή σε τυχόν συγκυρίες έλλειψης τροφής (Tripathi et al. 1995).

Το επίπεδο υγρασίας του χορτοδοτικού σόργου όταν είναι δεματοποιημένο επηρεάζει την ποιότητα του σανού. Εάν περιέχουν υψηλή υγρασία τότε αυξάνεται η θερμοκρασία τους. Αυτή η αύξηση καταστρέφει τις πρωτεΐνες, υποβαθμίζει την ποιότητα του σανού και επιπλέον αποτελεί πιθανή πηγή φωτιάς. Αν όμως παραμείνει η καλλιέργεια στον αγρό για μεγάλο χρονικό διάστημα τότε πέφτουν τα φύλλα, τα οποία είναι τα πιο θρεπτικά τμήματα του φυτού. Όταν η υγρασία πέσει σε ποσοστό 15 - 20% μπορεί να αποθηκευτεί με ασφάλεια σε στοίβα ή μπάλα. Εάν πρόκειται για την ασφαλή αποθήκευση σανού τότε ενδεικτικά ισχύει για μικρά τετράγωνα η ιδανική περιεκτικότητα υγρασίας είναι 18 – 20% και η μέγιστη επιτρεπτή 23 – 25%, ενώ για μεγάλα τετράγωνα η ιδανική υγρασία είναι 12 – 14% και η μέγιστη 15 – 18%. Για τη μακροχρόνια αποθήκευση ο σανός χρειάζεται στεγνό χώρο αποθήκευσης. Τα υπόστεγα σανού είναι αποτελεσματικά, αλλά πιθανότατα ακριβά. Τα πλαστικά καλύμματα είναι αποτελεσματικά εφόσον ο σανός έχει στεγνώσει και τοποθετημένα έτσι ώστε να μην μετακινηθούν από τον άνεμο ή διεισδύσει βροχή (Miller and Stroup 2004).

Με την πάροδο τριών ή τεσσάρων εβδομάδων από την τοποθέτηση σε σιλό η περιεκτικότητα σε υδροκυάνιο ενδέχεται να είναι χαμηλή και ακίνδυνη. Νεαρά φυτά ή αυτά που έχουν καταπονηθεί από την ξηρασία μπορεί να περιέχουν μεγαλύτερες ποσότητες υδροκυανίου. Για την αντιμετώπιση αυτού του προβλήματος συστήνεται η αποθήκευση για 6 με 8 εβδομάδες πριν καταναλωθεί. Η κατασκευή του σιλό θα πρέπει να ληφθεί υπόψη καθώς επηρεάζει το επίπεδο υγρασίας που θα κοπεί το σόργο (Lang 2001).

Άλλοι Τύποι Σόργου

Το καρποδοτικό σόργο πρέπει να αποθηκεύεται σε συγκεκριμένη υγρασία και θερμοκρασία για την εξασφάλιση της αξίας του σπόρου για κάθε πιθανή χρήση, είτε πρόκειται για επαναφύτευση την επόμενη καλλιεργητική περίοδο ή την διασφάλιση της διατροφικής αξίας του σπόρου (Harner 1998; *Sorghum: Production Guideline* 2010). Οι απώλειες συγκομιδής μπορεί να αυξηθούν σε περίπτωση που οι καιρικές συνθήκες δεν ευνοούν την ξήρανση στον αγρό. Μία μέθοδος ξήρανσης, είτε χαμηλής είτε υψηλής θερμοκρασίας για τη διαχείριση σόργου με υψηλής περιεκτικότητα σε υγρασία κρίνεται απαραίτητη (Harner 1998).

Καλό είναι να αποθηκεύεται όταν οι σπόροι έχουν 12 με 13% περιεκτικότητα σε υγρασία. Πολλοί παράγοντες προκαλούν πολλές στην ποιότητα κύριοι υπαίτιοι όμως είναι οι μύκητες και εχθροί όπως πτηνά, τρωκτικά και τα έντομα. Ακόμη ένας παράγοντας είναι η βλάστηση

των σπόρων, δεν είναι όμως πολύ ζημιογόνος. Οι σπόροι πρέπει να τοποθετηθούν στους κάδους αποθήκευσης νωρίς την ημέρα όταν η υγρασία είναι χαμηλή και να τοποθετούνται έτσι ώστε να μην έχουν διαθέσιμου χώρου τα έντομα από γύρω και αναπαραχθούν (*Sorghum: Production Guideline* 2010).

Η υγρασία του σόργου πρέπει να είναι χαμηλότερη από αυτή του αραβοσίτου και οι σπόροι δεν πρέπει να θερμανθούν σε θερμοκρασίες άνω των 90°C γιατί υποβαθμίζεται η διατροφική αξία του (Carter et al. 1990).

Το σημαντικότερο πρόβλημα στην καλλιέργεια γλυκού σόργου για την παραγωγή αιθανόλης είναι το μικρό χρονικό διάστημα που πρέπει να πραγματοποιηθεί η συγκομιδή και η φθαρτή φύση του χυμού που αντλείται. Εάν παραμείνει σε θερμοκρασία 25°C μπορεί να χαθεί μέχρι και το 50% των συνολικών ζυμώσιμων σακχάρων στο χυμό μέσα σε 7 ημέρες (Wu et al. 2010). Παρομοίως αν τα στελέχη αποθηκευτούν σε θερμοκρασίες υπό του μηδενός (Undersander et al. 1990). Το γλυκό σόργο όμως δεν δύναται να διατηρηθεί για μεγάλο χρονικό διάστημα λόγω του ότι σημειώνεται σοβαρή απώλεια ζάχαρης κατά την αποθήκευση (Wu et al. 2015).

Η συγκομιδή χυμού από γλυκό σόργο μολύνεται με διάφορους τύπους και ποσότητες βακτηρίων. Ο κάθε τρόπος συγκομιδής μπορεί να επηρεάζει διαφορετικά το αρχικό φορτίο μόλυνσης (Wu et al. 2015).

Για το σόργο σκούπα, αφού παραμείνει για πέντε έως δέκα ημέρες στον αφρό για να ξεραθεί από τον ήλιο δεν θα το πιείτε και είτε αποθηκεύεται είτε μεταφέρεται στις κατάλληλες βιοτεχνίες που παρασκευάζουν τις σκούπες (Παπακώστα - Τασοπούλου 2012). Η σκλήρυνση γίνεται σε στρώσεις 10 – 15 cm σε πηχάκια και χρειάζεται 10 - 20 ημέρες. Το βάρος των δεμάτων ανέρχεται στα 150 κιλά το καθένα (Carter et al. 1990).

1.10. Αξιοποίηση και Χρήσεις της Καλλιέργειας

Σε πολλές περιοχές της γης το σόργο αξιοποιείται ως ανθρώπινη τροφή, κτηνοτροφία και διάφορα προϊόντα της βιομηχανίας. Από τα 62 εκατομμύρια τόνους της ετήσιας παραγωγής γύρω στο 30 με 40% αξιοποιείται σε μια ευρύ ποικιλία παραδοσιακών τροφών κυρίως στην Αφρική, την Ασία και την Κεντρική Αμερική. Η βιομηχανική παραγωγή της μύρας, μη οينوπνευματώδων ποτών και σε χυλούς γίνεται στην Αφρική και συγκεκριμένα στη Νιγηρία, στη Νότια Αφρική και τη Μποτσουάνα. Το σόργο καταναλώνεται σε μικρό βαθμό ως τροφή στο δυτικό ημισφαίριο και στην Ιαπωνία.

Το σόργο χρησιμοποιείται κυρίως στην κτηνοτροφία ως ζωοτροφή για κάθε είδος ζώου. Το σόργο υπόκειται σε επεξεργασία για να βελτιωθεί η αποτελεσματικότητα της τροφοδοσίας του και μετατρέπεται σε ευρεία ποικιλία ζωοτροφών, από τροφή ψαριών, μέχρι τροφή για μηρυκαστικά. Τα γλυκά σόργα αξιοποιούνται για το χυμό και για ζωοτροφές. Τα φυτικά μέρη του σόργου ίσως είναι και πιο πολύτιμα από τον σπόρο. Τα στελέχη χρησιμοποιούνται για ξηρά ζωοτροφή που προορίζονται για τα μηρυκαστικά ενώ κάποια σόργα χρησιμοποιούνται για βοσκή, καθώς το στέλεχος διατηρεί το πράσινο χρώμα του μετά την ωρίμανση των σπόρων. Η χρήση του σόργου για κτηνοτροφία είναι σημαντική στις ξηρές περιοχές του κόσμου (Waniska et al. 2004).

Χρήση Ως Ζωοτροφή

Το σόργο είναι μια πολύ καλή κτηνοτροφική καλλιέργεια. Αν και η θρεπτική αξία του σόργου, σε σχέση με τον αραβόσιτο υπερτερεί (γύρω στο 2 - 4%), το σόργο σε πολλές περιοχές είναι 10 - 15% φθηνότερο από τον αραβόσιτο. Πέρα από τα τωρινά οικονομικά και περιβαλλοντικά κίνητρα (όπως είναι η χρήση μικρότερης ποσότητας νερού) για την αξιοποίηση του σόργου, οι ερευνητές βελτιώνουν την θρεπτική αξία του μέσω της γενετικής βελτίωσης, της εφαρμογής αποδοτικότερων καλλιεργητικών πρακτικών και βελτιωμένων διαδικασιών άλεσης και κατεργασίας. Με βάση σε αυτή την πρόοδο και στην ικανότητα παραγωγής σόργου με περιορισμένη βροχόπτωση, η πορεία του σόργου ως σημαντική πηγή ζωοτροφής στο μέλλον είναι ξεκάθαρη (Ronda et al. 2018).

Χρήση Ως Βιομάζα

Η αιθανόλη είναι το κυριότερο υγρό βιοκαύσιμο στον κόσμο. Προέρχεται από τη ζύμωση των σακχάρων, από κυτταρινική βιομάζα ή τα άμυλα. Με τη χρήση της κυτταρίνης και ημι-κυτταρίνης είναι δυνατόν να παραχθεί βιοαιθανόλη. Η βιοαιθανόλη είναι ένα μεγάλης σημασίας, ανανεώσιμο υγρό καύσιμο για τη χρήση σε οχήματα με κινητήρα. Η χρήση βιομάζας ως πρώτη ύλη για την παραγωγή βιοαιθανόλης από είναι μια μέθοδος με την οποία μπορεί να περιοριστεί η κατανάλωση ορυκτών καυσίμων και η ρύπανση του περιβάλλοντος (Demirbaş 2005).

Η κυτταρίνη, ημι-κυτταρίνη, λιγνίνη και υδατάνθρακες είναι οι σημαντικότεροι παράγοντες του φυτικού ιστού που μελετώνται και ποσοτικοποιούνται για την παραγωγή βιοαιθανόλης. Η υψηλή συγκέντρωση λιγνίνης παρεμποδίζει τη μετατροπή της κυτταρίνης και ημι-κυτταρίνης σε αιθανόλη. Πρέπει να είναι μικρή η περιεκτικότητα ή η λιγνίνη να έχει αποσυντεθεί (Weng et al. 2008; Demirbaş 2005).

Ακόμη, η βιομάζα είναι πρώτη ύλη που βρίσκει πολλές χρήσεις στην παραγωγή βιοενέργειας. Μπορεί να αξιοποιηθεί με την απευθείας καύση για την παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας και θερμότητας. Επίσης αποτελεί πρώτη ύλη για την παραγωγή υγρών καυσίμων. Το καύσιμο που προορίζεται για άμεση καύση πρέπει να έχει όσο το δυνατόν μικρότερη συγκέντρωση υγρασίας και τέφρας και υψηλή τιμή θέρμανσης (η οποία βρίσκεται στην κυτταρινική βιομάζα) (Cassida et al. 2005).

Η καλλιέργεια σόργου για την παραγωγή βιομάζας για ενέργεια μπορεί να αποδώσει περισσότερο επιφανειακή βιομάζα σε σχέση με τον αραβόσιτο και έχει μεγαλύτερη απόδοση με άρδευση και περιορισμένη άρση (Rocateli et al. 2012).

Χρήση Ως Βιοκαύσιμο

Το γλυκό σόργο αποτελεί βιοενεργειακό φυτό νέας γενιάς με ένα πολύ αποτελεσματικό φωτοσυνθετικό σύστημα (όντας φυτό C4) και στην αξιοποίηση των θρεπτικών συστατικών του εδάφους. Πρόκειται για μια καλλιέργεια ανταποκρίνεται καλά σε διάφορα κλίματα και ωριμάζει πρώιμα υπό την επήρεια υψηλών θερμοκρασιών και μικρής διάρκειας ημέρες. Η προσαρμογή του σε μεγάλο εύρος περιβαλλοντικών συνθηκών (Reddy et al. 2008), η ανοχή σε αβιοτικούς παράγοντες όπως η έλλειψη νερού (Venkateswaran et al. 2018) και η αλατότητα (Almodares et al. 2008) σε συνδυασμό με την υψηλή αποδοτικότητα χρήσης νερού και αζώτου, παράγοντες που το ξεχωρίζουν σαν πρώτη ύλη για βιοκαύσιμα από άλλες καλλιέργειες όπως τον αραβόσιτο, το ζαχαροκάλαμο και το ζαχαρότευτλο. Οι μικρές απαιτήσεις του σε νερό ανέρχονται μόνο στο 1/2 του ζαχαρότευτλου και το 1/4 του ζαχαροκάλαμου (Vinutha et al. 2014).

Το σόργο πολλαπλασιάζεται με σπόρο, ενώ το ζαχαροκάλαμο με μοσχεύματα. Γνωρίζοντας πως τα αποθέματα νερού περιορίζονται και η κατάσταση αυτή θα έχει επιπτώσεις στη γεωργική παραγωγή τα επόμενα χρόνια (Dempewolf et al. 2014), οι υψηλές απαιτήσεις του ζαχαροκάλαμου θα καταστήσουν το γλυκό σόργο μια βιώσιμη επιλογή (Umakanth et al. 2018).

Η παραγωγή βιοαιθανόλης από το γλυκό σόργο μπορεί να περιορίσει την κατανάλωση των ορυκτών καυσίμων και επιπλέον μπορεί να περιορίσει τις εκπομπές αερίων του θερμοκηπίου. Εάν παράγεται τροφή από τους σπόρους και αιθανόλη από το σιρόπι, μπορούν να εξοικονομηθούν 230 L ακατέργαστου πετρελαίου ανά στρέμμα. Εάν το σόργο αξιοποιηθεί για την παραγωγή αιθανόλης (και από τους κόκκους και από τη ζάχαρη του χυμού) και πράσινη ηλεκτρική ενέργεια (από περίσσειμα υπολειμμάτων), γίνεται εξοικονόμηση 350 L ισοδύναμου ακατέργαστου πετρελαίου ανά στρέμμα. Σχετικά με την εκπομπή αερίων του θερμοκηπίου

είναι δυνατόν να εξοικονομηθούν 1,4 έως 22 kg CO₂ και εξαρτάται από τις αποδόσεις, τις μεθόδους παραγωγής και την κάλυψη της γης πριν από την καλλιέργεια γλυκού σόργου (Körppen et al. 2009).

Άλλες Χρήσεις

Από το σόργο παράγονται και άλλα βιομηχανικά προϊόντα όπως η κρυσταλλική ζάχαρη (Woods 2000, όπως αναφέρεται στους Rao et al. 2020), τα λιπίδια (Rao et al. 2020), τα βιοδιασπώμενα πλαστικά (Ashori 2008), βιοπολυμερείς ταινίες και επιστρώσεις (Taylor et al. 2006), χαρτοπολτό (Rao et al. 2020), φυτικές ίνες (Umakanth et al. 2018) και είδη χρησιμότητας ως οικοδομικό υλικό για την ανέγερση περιφράξεων, προϊόν παρόμοιο με κόντρα πλακέ και ως κόλλα στην ταπετσαρία. Στη Νιγηρία, τα αποξηραμένα στελέχη σόργου δένονται μεταξύ τους για τη δημιουργία πάνελ που θα χρησιμοποιηθούν για την κατασκευή. Επιπλέον, όπως και άλλα άχυρα, χρησιμοποιείται για την κατασκευή φρακτών και ως σκεπή καλυβών (Aruna and Visarada 2018).

1.11. Οι Ποικιλίες

Οι ποικιλίες που εξετάζονται σε αυτή την εργασία είναι η 5D61, που χρησιμοποιείται ως πρώτη ύλη για παραγωγή βιοενέργειας (Brignoni et al. 2020), όπως και η 4264 (GENERA 2020) και η 25K1009 (Bartzialis et al. 2020).

Η BIG KAHUNA, η BUFFALO GRAIN και η ELITE χρησιμοποιούνται για βοσκή και παραγωγή βιοενέργειας, συγκεκριμένα η BUFFALO GRAIN είναι καρποδοτική και από την ELITE μπορεί να παραχθεί βιοαέριο (“Sorghum - Seminart” n.d.).

2. ΥΛΙΚΑ ΚΑΙ ΜΕΘΟΔΟΙ

Το πείραμα έλαβε χώρα στο Αγρόκτημα του Πανεπιστημίου Θεσσαλίας στο Βελεστίνο το έτος 2020. Η σπορά και το όργωμα έγινε στις 17/06/2020.

Πραγματοποιήθηκε ανάλυση του εδάφους για την κατανόηση των εδαφικών χαρακτηριστικών σε βάθος 0-30 cm και 30-60 cm από τυχαία σημεία του πειραματικού αγρού.

Τα μετεωρολογικά δεδομένα συλλέχθηκαν με τη χρήση μετεωρολογικού σταθμού του Εργαστηρίου Γεωργικής Υδραυλικής που βρίσκεται στο αγρόκτημα του Πανεπιστημίου Θεσσαλίας στο Βελεστίνο. Επειδή δεν δύναται να συγκομιστούν στοιχεία για την ευρύτερη περιοχή του Βελεστίνου οι μέσες κλιματικές τιμές της θερμοκρασίας και της βροχόπτωσης αφορούν την περιοχή της Ν. Αγχιάλου.

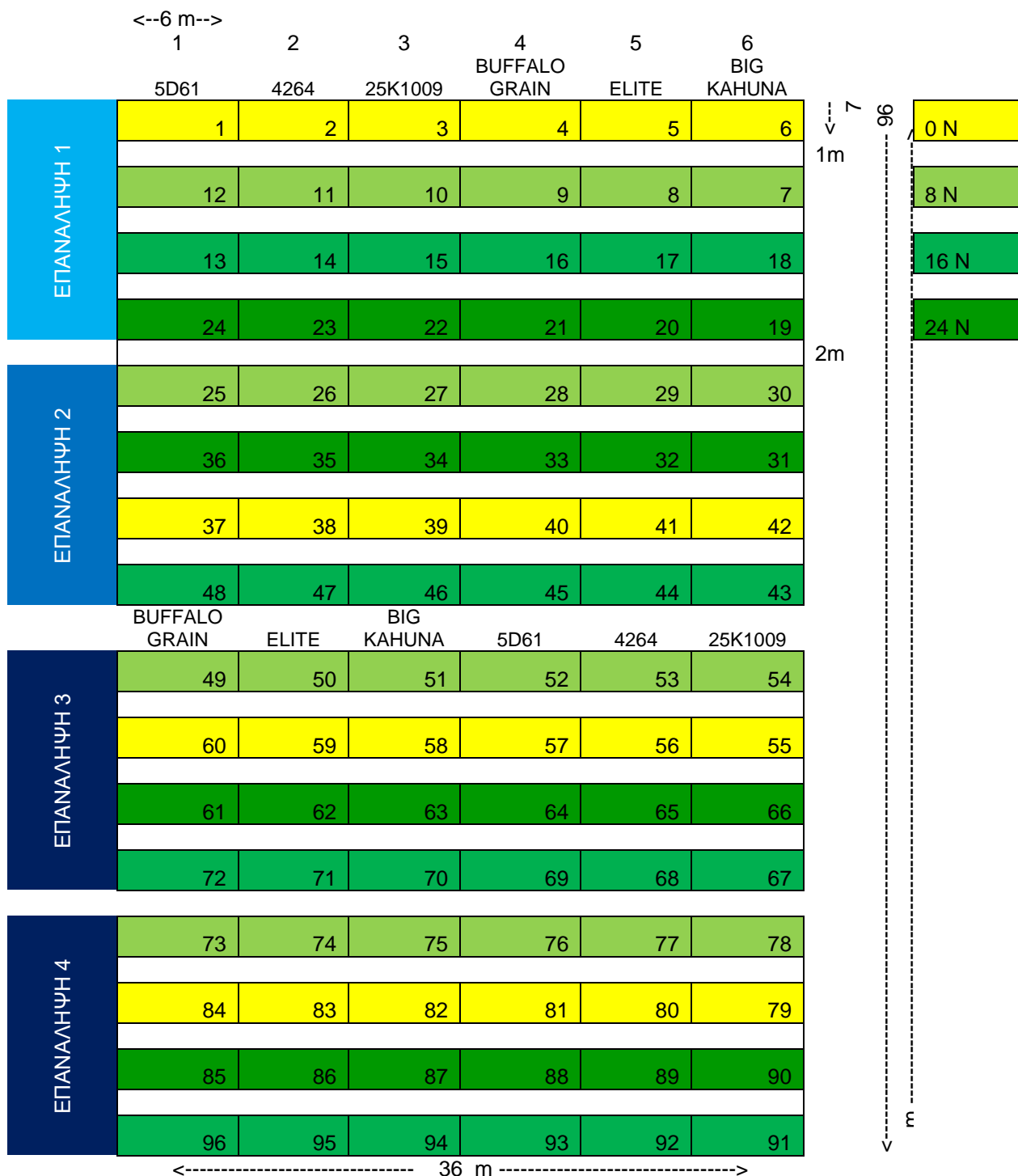
Ακολουθεί πιο αναλυτικά ο πειραματικός αγρός και το πειραματικό σχέδιο που εφαρμόστηκε.

Το πειραματικό σχέδιο (Εικ. 5) που χρησιμοποιήθηκε για την καλλιέργεια του σόργου ήταν τυχαιοποιημένες ομάδες τεμαχίων με υποτεμάχια (split-plot design). Κύρια τεμάχια ήταν οι έξι ποικιλίες σόργου και υποτεμάχια τα τέσσερα επίπεδα αζωτούχου λίπανσης σε τέσσερις επαναλήψεις, στο σύνολο 96 τεμάχια. Η έκταση του κάθε τεμαχίου ήταν 7 m μήκος και 6 m πλάτος, συνολικά 42 m².

Οι μεταχειρίσεις που εξετάστηκαν ήταν οι έξι ποικιλίες σόργου που είναι οι 5D61, 4264, 25K1009, BUFFALO GRAIN, ELITE, BIG KAHUNA και τα τρία διαφορετικά επίπεδα αζωτούχου λίπανσης (0N, 8N, 16N και 24N με 0, 8, 16 και 24 kg N/στρέμμα, αντιστοίχως).

Καταρχάς έγινε η διαμόρφωση της σποροκλίνης ως προετοιμασία για τη σπορά των έξι ποικιλιών σόργου. Χρησιμοποιήθηκε βαρύς καλλιεργητής καθώς και περιστροφικός. Η σπορά των έξι ποικιλιών σόργου διεξήχθη στις 17/06/2020 με σπαρτική μηχανή γραμμικών καλλιεργειών. Για τις τρεις πρώτες ποικιλίες με τη σειρά που αναφέρθηκαν προηγουμένως οι αποστάσεις των φυτών επί της γραμμής ήταν 8 cm, ενώ μεταξύ των γραμμών σποράς ήταν στα 50 cm και στις άλλες τρεις επίσης στα 8 cm επί της γραμμής αλλά στα 75 cm μεταξύ των γραμμών με βάση τα χαρακτηριστικά των ποικιλιών και την αποδεκτή ορθή πρακτική. Δεν υλοποιήθηκε βασική λίπανση, έγινε όμως επιφανειακή δια χειρός με ουροθευική αμμωνία (40-0-0) σύμφωνα με το πειραματικό σχέδιο στις 31/8/2020. Αφότου φύτεψαν οι σπόροι έγινε ζιζανιοκτονία για πλατύφυλλα ζιζάνια με χημικό σκεύασμα. Καθώς δεν υπάρχει εγκεκριμένο σκεύασμα για τα αγρωστώδη η καλλιέργεια ζημιώθηκε σημαντικά από το ζιζάνιο βέλιουρας (*Sorghum halepense*) παρά την απόπειρα χειρωνακτικής αντιμετώπισης.

Το σόργο συγκομίστηκε στις 15 Νοεμβρίου. Εκείνη τη μέρα έγινε η κοπή των φυτών από κάθε πειραματικό τεμάχιο ενός τρέχοντος μέτρου επί της γραμμής σποράς σε μία από τις ενδιάμεσες γραμμές κάθε τεμαχίου. Με ζυγαριά γινόταν επί τόπου μέτρηση του χλωρού βάρους και έπειτα ακολούθησε μέτρηση του ξηρού βάρους, εκτίμηση της παραγόμενης βιομάζας και των ποιοτικών χαρακτηριστικών τους στο εργαστήριο.



Εικόνα 5: Πειραματικό σχέδιο έξι ποικιλιών σόργου.

Εκτίμηση ποιοτικών χαρακτηριστικών φυτικών υλικών

Για αυτή την εργασία αρχικά θρυμματίστηκαν τα αποξηραμένα φυτικά δείγματα και χρησιμοποιήθηκε ο αναλυτής NIR (DA 7250 NIRanalyzer, Perten Instruments, Hägersten, Sweden).

Οι παράμετροι που εκτιμήθηκαν ως ποσοστό (%) ήταν η υγρασία, η πρωτεΐνη, η τέφρα (ASH), οι παράγοντες ουδέτερης αντιδράσεως ίνας (NDF) και όξινης αντιδράσεως ίνας (ADF), οι ακατέργαστες ίνες (Crude fiber) και η ενέργεια.

Οι παράγοντες ουδέτερης αντιδράσεως ίνας (NDF), όξινης αντιδράσεως ίνας (ADF) και ακατέργαστης ίνας (Crude fiber) συσχετίζονται με ποιοτικά χαρακτηριστικά του φυτού τα οποία συνδέονται με την ηλικία του φυτού και το στάδιο ανάπτυξης. Τα ποσοστά NDF και ADF είναι μια εκτίμηση της περιεκτικότητας των ζωοτροφών σε λιγνίνη, κυτταρίνη, ημικυτταρίνες και αδιάλυτα ανόργανα συστατικά. Με τη χρήση διαλύματος ουδέτερης αντιδράσεως μπορεί να εκτιμηθεί το πρώτο ενώ το διάλυμα όξινης αντιδράσεως.



Εικόνα 6: Αναλυτής NIR (Φασματοφωτόμετρο).

3. ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ ΚΑΙ ΣΥΖΗΤΗΣΗ

Έδαφος

Στον Πίνακα 1 βρίσκονται τα στοιχεία από την εδαφική ανάλυση του πειραματικού αγρού. Από τα αποτελέσματα της κοκκομετρικής σύστασης διαπιστώνουμε πως πρόκειται για ένα αργιλώδες, αλκαλικό έδαφος και στα δύο εξεταζόμενα βάθη. Είναι αρκετά γόνιμο για τα Ελληνικά δεδομένα με την οργανική ουσία να ανέρχεται στο 2,91% σε βάθος 0 – 30 cm και 1,86% στα 30 – 60 cm, κάτι που δείχνει πως σε καλλιέργεια χωρίς την προσθήκη αζωτούχου λίπανσης είναι εφικτή η παραγωγή μεγαλύτερων αποδόσεων σε σχέση με άλλα εδάφη στην Ελλάδα.

Πίνακας 1: Εδαφικές ιδιότητες των επιφανειακών (0-30 cm) και υπό-επιφανειακών οριζόντων (30-60 cm).

Χαρακτηριστικά							
Βάθος(cm)	Κοκκομετρική σύσταση			Υφή	ΦΕΒ	CEC (cmol/kg)	pH (πάστας)
	Άμμος (%)	Ιλύς (%)	Αργίλος (%)				
0 - 30	26,8	31,33	41,87	C	1,27	26,05	7,63
30 - 60	25,93	30,93	43,13	C	1,27	23,18	7,9

Χαρακτηριστικά							
Βάθος (cm)	EC	C οργ.	N	C/N	Οργ. Ουσία	CaCO ₃	ESP άμμος
	(πάστας)	(g/kg)	(g/kg)		(%)		(%)
Βάθος (cm)	(mS/cm)	(g/kg)	(g/kg)		(%)		(%)
0 - 30	1,17	14,52	1,67	8,78	2,91	6,78	0,88
30 - 60	0,47	9,31	1,06	8,85	1,86	7,68	1,03

Η περιεκτικότητα του εδάφους σε μακροθρεπτικά και ιχνοστοιχεία κρίνεται ικανοποιητική (Πίν. 2).

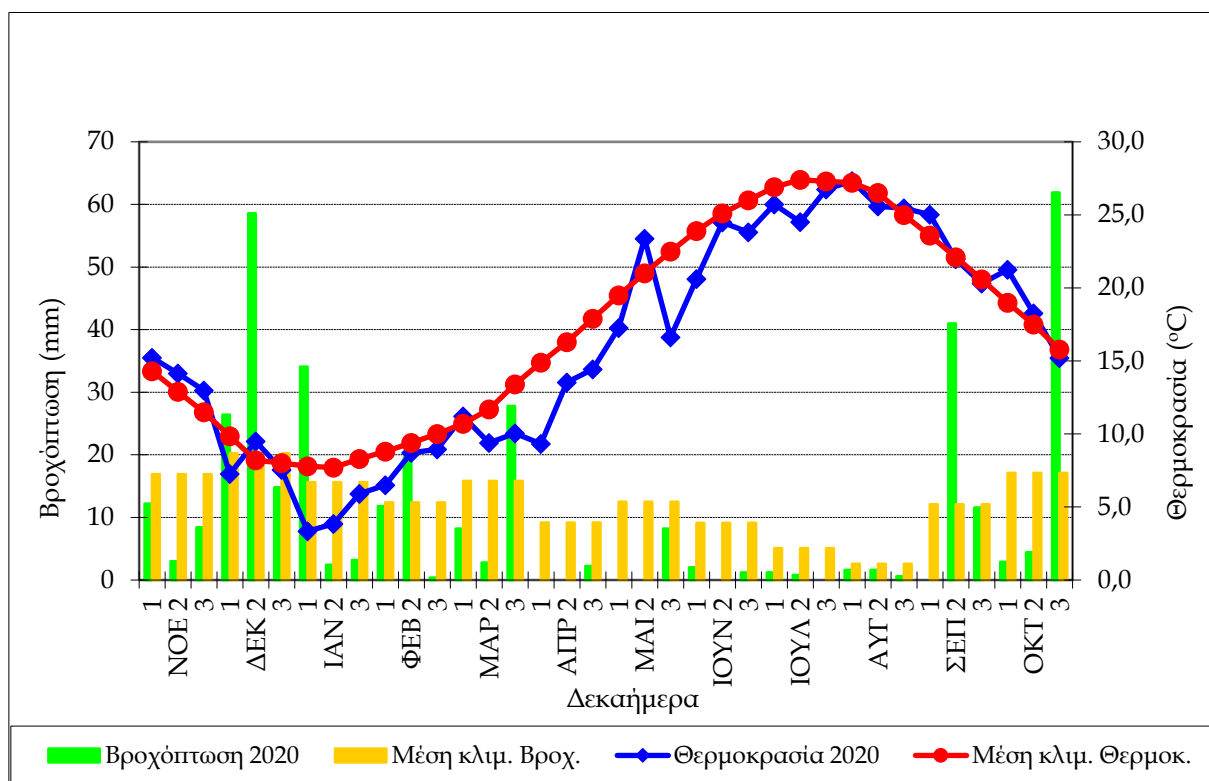
Πίνακας 2: Περιεκτικότητα μακροθρεπτικών και ιχνοστοιχείων των επιφανειακών (0-30 cm) και υπό-επιφανειακών οριζόντων (30-60 cm).

Βάθος(cm)	P-Olsen	Na ⁺	K ⁺	Fe	Mn	Zn	Cu	B
	(mg/kg)	(cmol/kg)	(cmol/kg)	(mg/kg)	(mg/kg)	(mg/kg)	(mg/kg)	(mg/kg)
0 - 30	18,73	0,23	1	5,47	15,22	1,4	1,8	0,4
30 - 60	3,45	0,24	0,35	7,72	16,37	0,6	2,01	0,32

Καιρικές συνθήκες

Κατά τη σπορά του σόργου (17/06/2020) η θερμοκρασία ήταν ίση με τη μέση θερμοκρασία για την εποχή ευνοώντας έτσι το φύτευμα των σπόρων. Στα τέλη Ιουνίου – τέλη Ιουλίου η θερμοκρασία ήταν υπό του μετρίου, στο κατώτερο όριο για την βλαστική αύξηση και ανάπτυξη, ενώ από τον Αύγουστο μέχρι και με τον Οκτώβριο, με μικρές διακυμάνσεις η θερμοκρασία ήταν περίπου ίση με τη μέση θερμοκρασία.

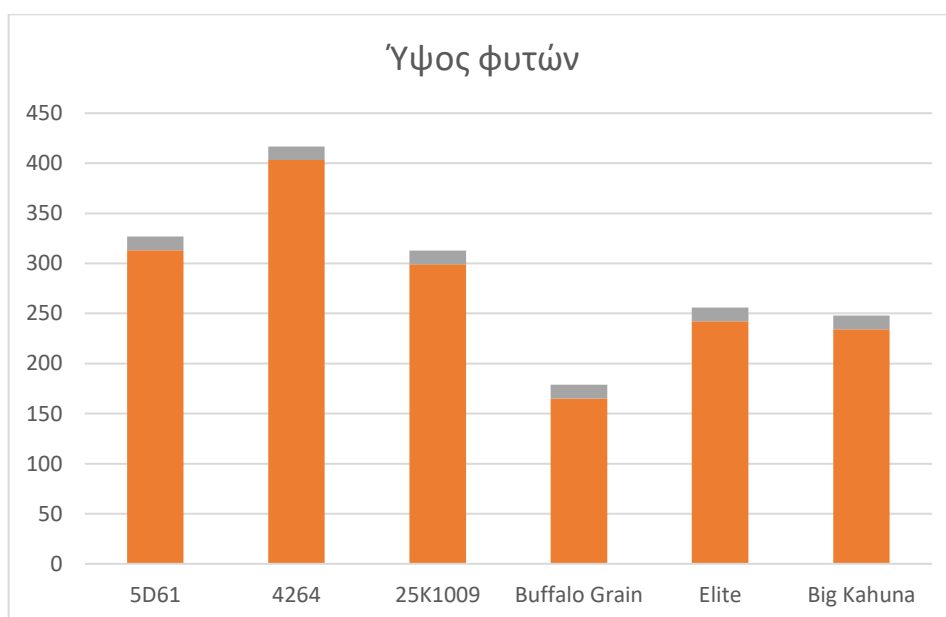
Για την καλλιεργητική περίοδο του 2020 για το σόργο οι βροχοπτώσεις ήταν σχεδόν ίσες με αυτές της μέσης κλιματικής (μόλις 0,1 mm έλλειμα), οι μήνες Ιούνιος, Ιούλιος και Αύγουστος όμως ήταν σχεδόν άνυδροι γεγονός που ίσως επηρέασε αρνητικά την απόδοση στα κρίσιμα πρώτα στάδια που χρειάζονται νερό, αν και η θερμοκρασία ήταν χαμηλότερη από το μέσο της εποχής. Οι υψηλότερες βροχοπτώσεις σημειώθηκαν από τα μέσα Σεπτεμβρίου και μετά (σχεδόν το 94% των συνολικών βροχοπτώσεων της καλλιεργητικής περιόδου).



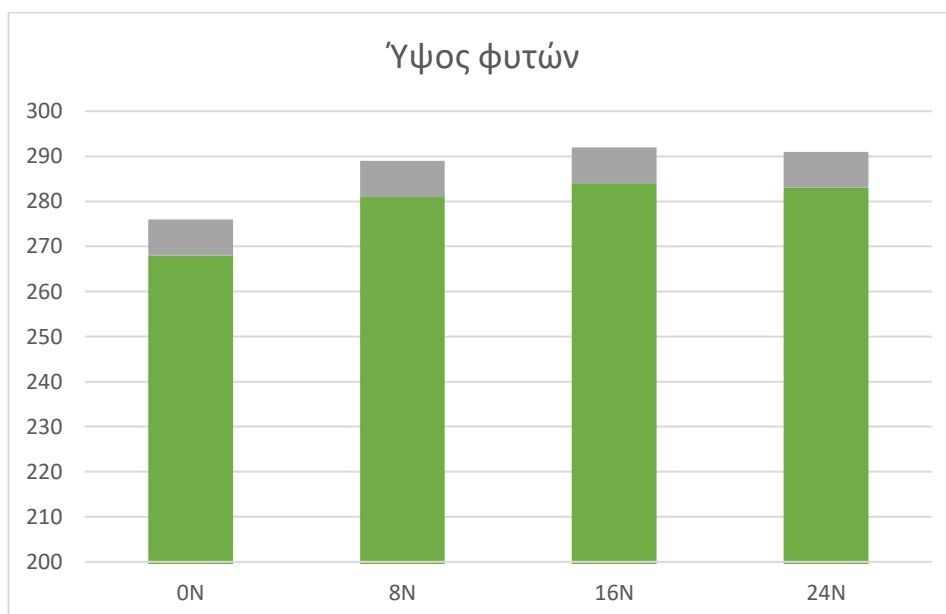
Διάγραμμα 1: Μέση θερμοκρασία αέρα και βροχόπτωση κάθε 10 ημέρες από Νοέμβριο 2019 έως Οκτώβριο 2020, στο Βελεστίνο.

Αύξηση και ανάπτυξη καλλιεργειών

Στα διαγράμματα που ακολουθούν βρίσκονται τα στοιχεία που αφορούν την απόδοση σε χλωρό και ξηρό βάρος καθώς και την περιεχόμενη υγρασία των εξεταζόμενων ποικιλιών σόργου τη στιγμή της συγκομιδή. Επιπλέον παρατίθενται η περιεκτικότητα του αζώτου στην ξηρή βιομάζα ως βάρος (kg) αλλά και ως ποσοστό (%) ανά στρέμμα, η συνεισφορά της αζωτούχου λίπανσης στην καλλιέργεια καθώς και το ποσοστό αξιοποίησης του αζώτου από τα φυτά.



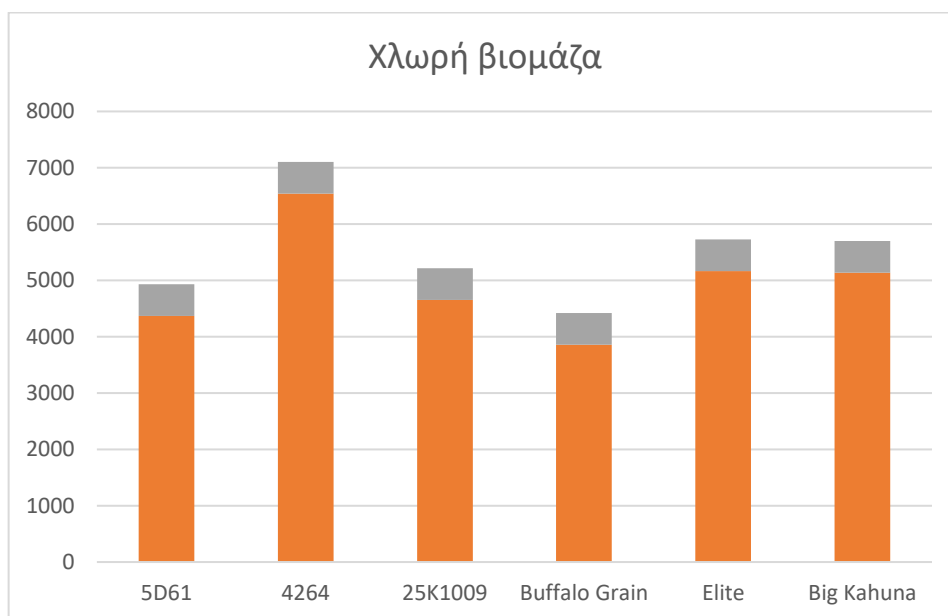
Διάγραμμα 2: Ύψος ποικιλιών.



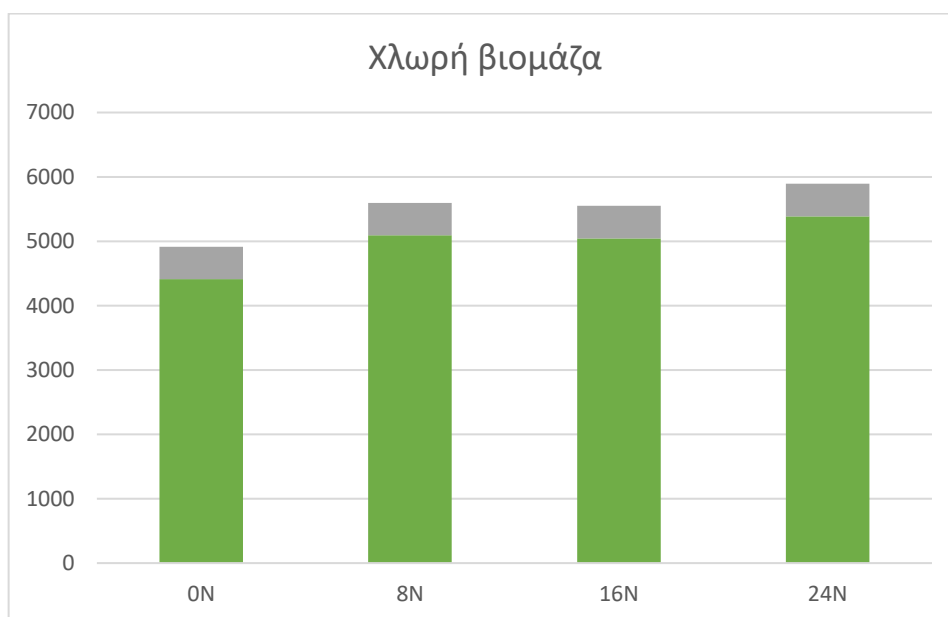
Διάγραμμα 3: Ύψος φυτών σε κάθε επίπεδο λίπανσης.

Τα υψηλότερα φυτά έδωσε η ποικιλία «4264» (410 cm) με στατιστικά σημαντική διαφορά από τις υπόλοιπες. Ακολούθησαν οι «5D61» (320 cm) και «25K1009» (306 cm) που δεν διαφέρουν

σημαντικά μεταξύ τους αλλά σε στατιστικά σημαντικό βαθμό με τις υπόλοιπες και η «Buffalo Grain» (172 cm) έδωσε τα πιο κοντόσωμα φυτά. Στο επίπεδο 16N πέτυχαν το μέγιστο ύψος (288 cm), με μικρή διαφορά από το 8N (285 cm) και 24N (287 cm), διαφέρουν όμως με στατιστικά σημαντικό βαθμό με το 0N.



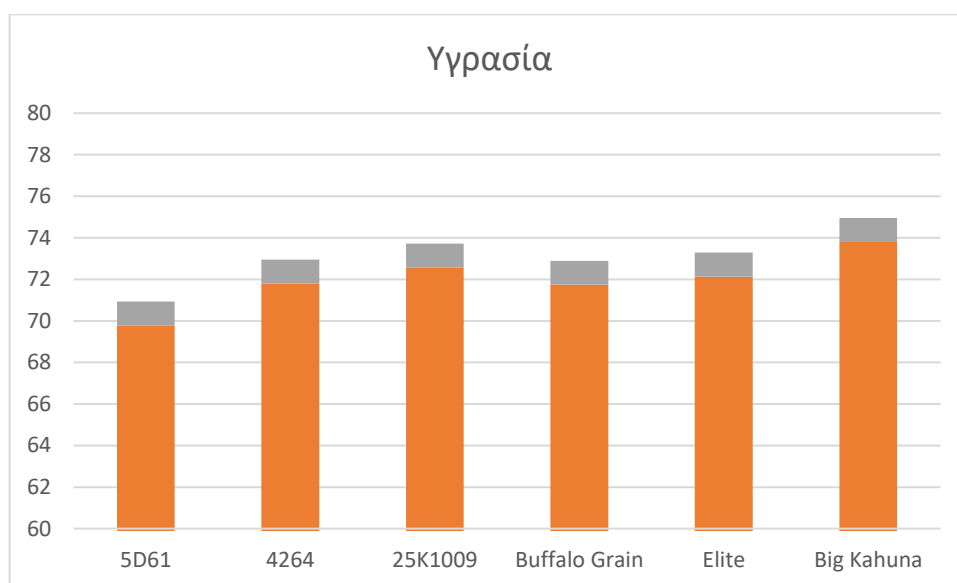
Διάγραμμα 4: Χλωρή βιομάζα ποικιλιών.



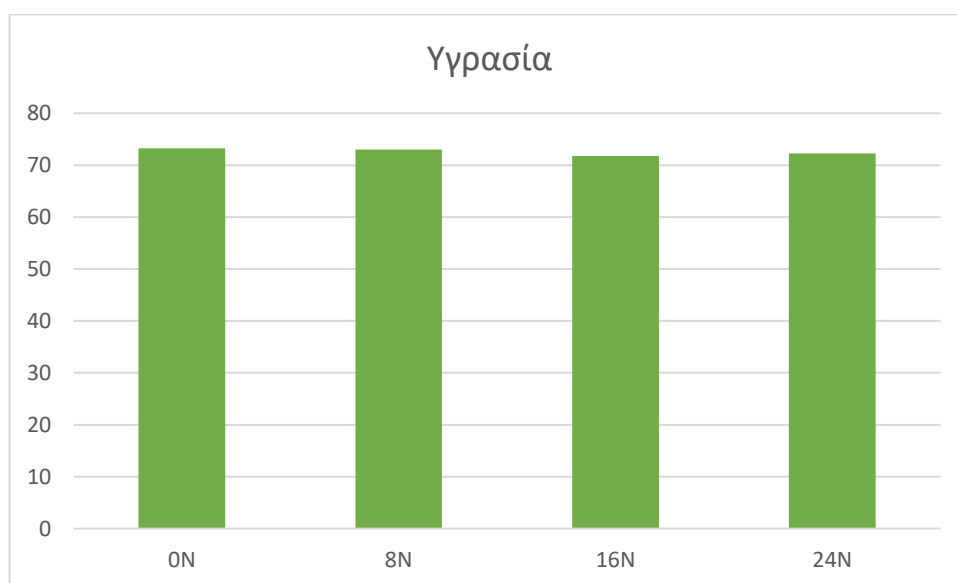
Διάγραμμα 5: Χλωρή βιομάζα σε κάθε επίπεδο λίπανσης.

Όσον αφορά τη χλωρή βιομάζα μεγαλύτερη απόδοση πέτυχε ξανά η «4264» (6824 kg/στρ.) με στατιστικά σημαντική διαφορά από τις ακόλουθες. Δεύτερη ήρθε η «Elite» (5445 kg/στρ.) και τρίτη η «Big Kahuna» (5419 kg/στρ.), οι οποίες δεν διαφέρουν σημαντικά από την «25K1009» (4934 kg/στρ.), υπερτερούν όμως με στατιστικά σημαντικό βαθμό από την «5D61»

(4653 kg/στρ.) και την «Buffalo Grain» (4137 kg/στρ.). Στο επίπεδο 24N πέτυχαν την περισσότερη χλωρή βιομάζα (5639 kg/στρ.), με στατιστικά σημαντικό βαθμό από το 0N στο 8N και παρατηρήθηκε μείωση της απόδοσης από το επίπεδο 8N στο 16N.



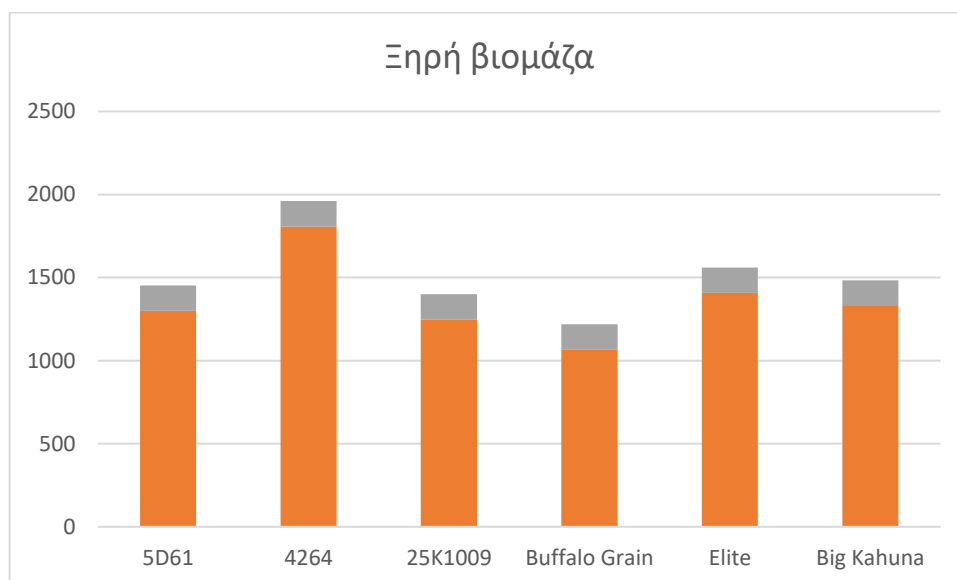
Διάγραμμα 6: Υγρασία ποικιλιών.



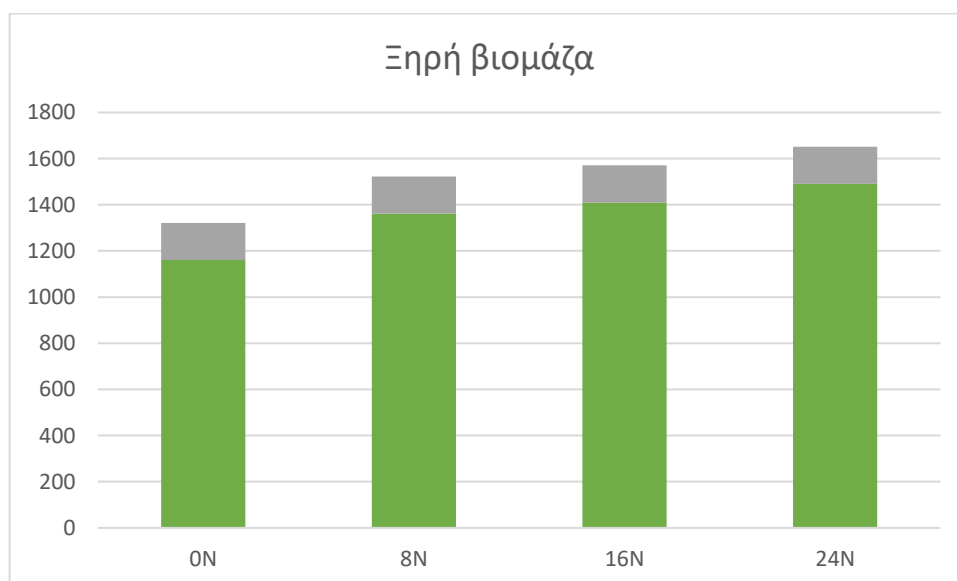
Διάγραμμα 7: Υγρασία σε κάθε επίπεδο λίπανσης.

Η ποικιλία με την περισσότερη περιεχόμενη υγρασία ήταν η «Big Kahuna» (74,38%) με σημαντική διαφορά από τις υπόλοιπες (72 – 73%), τρίτη ήρθε η «4264» (72,38%) και τη λιγότερη υγρασία περιείχε η «5D61» (70,35%) επειδή είναι πιο πρώιμη σε σχέση με τις άλλες. Την περισσότερη υγρασία είχαν τα φυτά που δεν εφαρμόστηκε αζωτούχος λίπανση (73,22%), ενώ παρατηρήθηκε μικρή πτώση από επίπεδο σε επίπεδο, πλην του 24N που σημειώθηκε μικρή αύξηση. Υψηλό παρέμεινε το ποσοστό υγρασίας παρόλο που η συγκομιδή καθυστέρησε. Το

ποσοστό περιεχόμενης υγρασίας πρέπει είναι γύρω στο 65% για να γίνει ορθή ενσίρωση της βιομάζας (Cecava 1995). Έτσι, μετά την κοπή η βιομάζα θα πρέπει να παραμείνει στον αγρό 24 με 48 ώρες (εξαρτάται από τη θερμοκρασία/υγρασία περιβάλλοντος), μέχρις ότου η υγρασία να φτάσει στο επιθυμητό επίπεδο για να πραγματοποιηθεί η ενσίρωση.



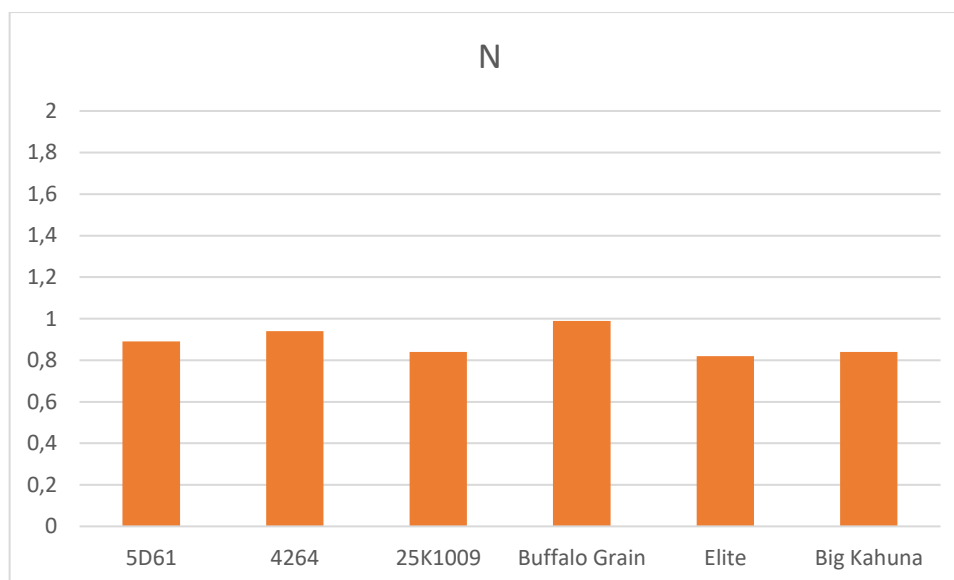
Διάγραμμα 8: Ξηρή βιομάζα ποικιλιών.



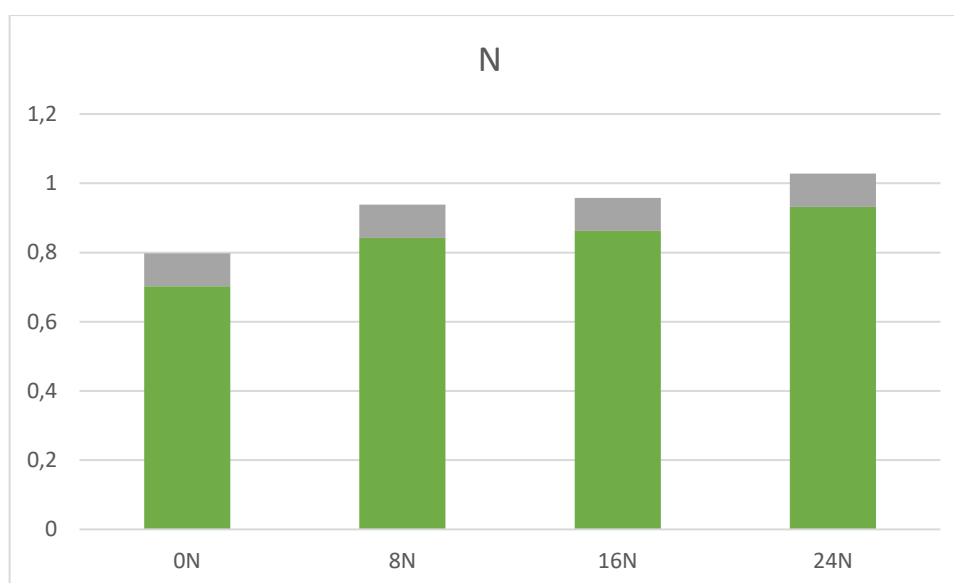
Διάγραμμα 9: Ξηρή βιομάζα σε κάθε επίπεδο λίπανσης.

Για την απόδοση σε ξηρή βιομάζα πρώτη ήρθε και πάλι η «4264» (1884 kg/στρ.) με στατιστικά σημαντική διαφορά από τις υπόλοιπες, σχεδόν μισό τόνο από την «Elite» (1484 kg/στρ.) η οποία δε διαφέρει σημαντικά από την «Big Kahuna» (1406 kg/στρ.) και «5D61» (1376 kg/στρ.). Η λιγότερο αποδοτική «Buffalo Grain» (1142 kg/στρ.) υστερεί σημαντικά σε σχέση

με τις υπόλοιπες. Η απόδοση σε ξηρή βιομάζα αυξανόταν σε κάθε επίπεδο N λίπανσης, με στατιστικά σημαντική διαφορά από το 0N στο 8N.

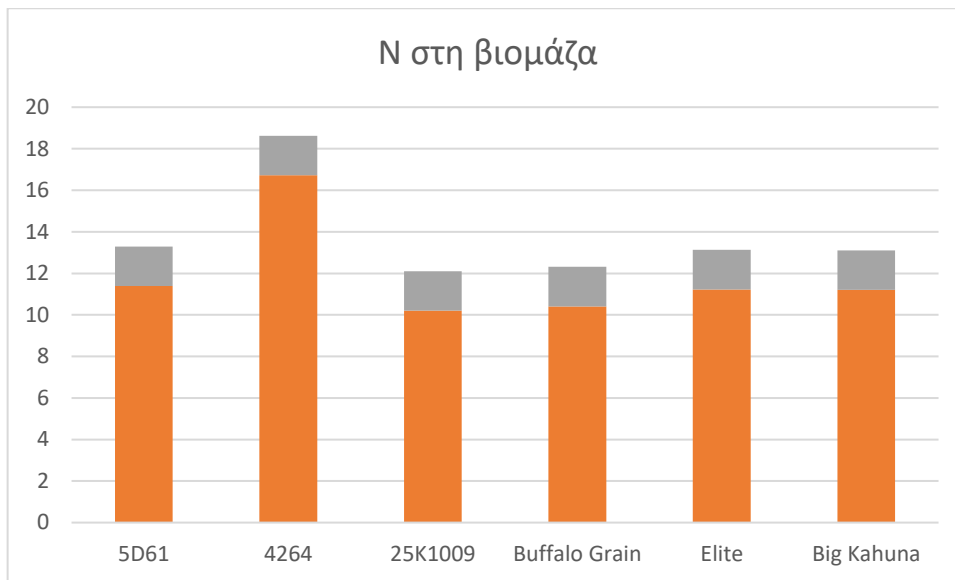


Διάγραμμα 10: Ποσοστό περιεχόμενου αζώτου σε κάθε ποικιλία.

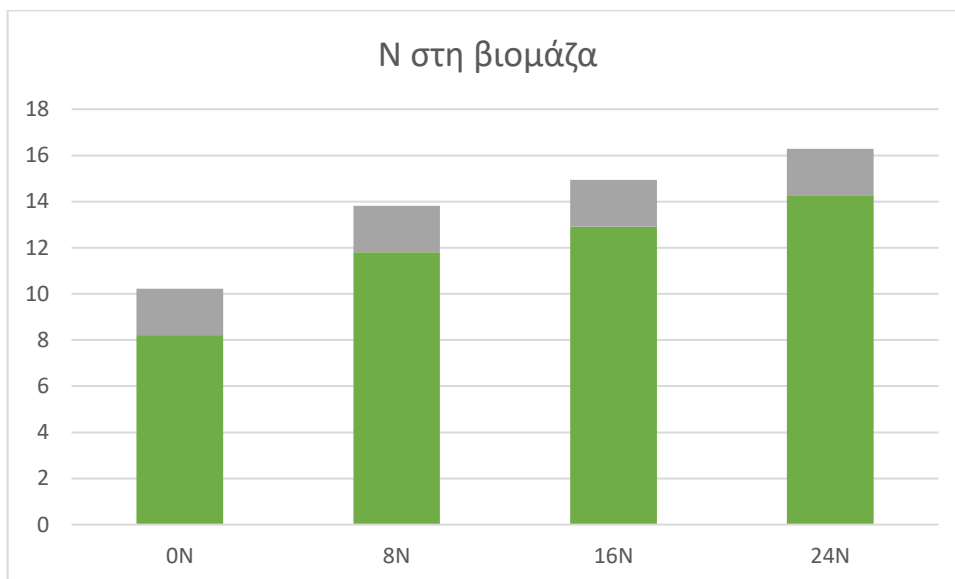


Διάγραμμα 11: Ποσοστό περιεχόμενου αζώτου σε κάθε επίπεδο λίπανσης.

Όσον αφορά το ποσοστό του περιεχόμενου αζώτου δεν βρέθηκε στατιστικά ουσιαστική διαφορά στις ποικιλίες. Το υψηλότερο ποσοστό αζώτου σημείωσε η ποικιλία «Buffalo Grain» (0,99%) και το μικρότερο η «Elite» (0,82%). Από επίπεδο σε επίπεδο ήταν υψηλότερο, με στατιστικά σημαντική διαφορά από το 0N στο 8N.



Διάγραμμα 12: Περιεχόμενο αζώτου στη βιομάζα των ποικιλιών.



Διάγραμμα 13: Περιεχόμενο αζώτου στη βιομάζα σε κάθε επίπεδο λίπανσης.

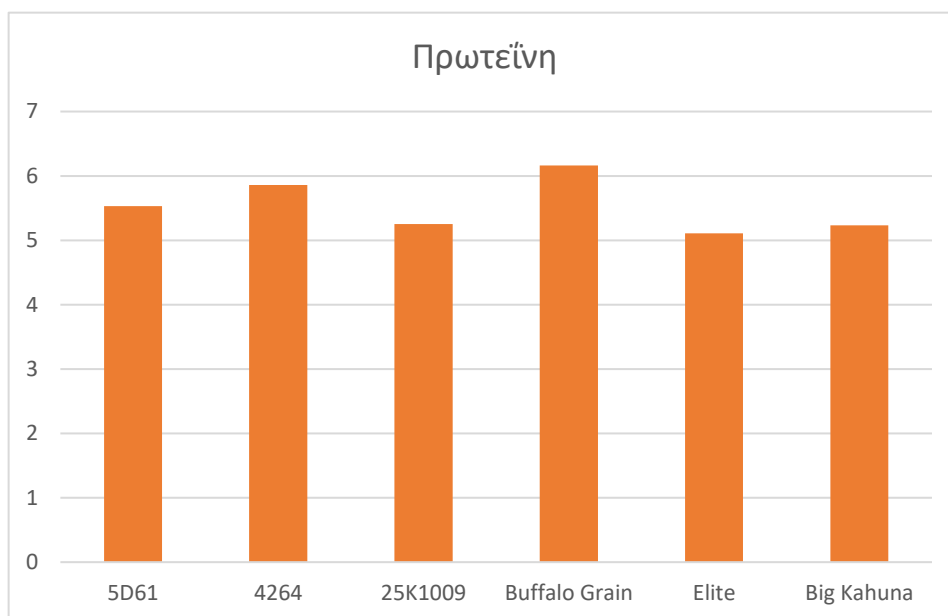
Το περιεχόμενο αζώτου σε kg ανά στρέμμα δεν είχε στατιστικά ουσιαστική διαφορά στις ποικιλίες, εκτός της πρώτης «4264» (17,67 kg/στρ.) με στατιστικά σημαντική διαφορά από τις υπόλοιπες. Κι εδώ από επίπεδο σε επίπεδο ήταν υψηλότερο, με στατιστικά σημαντική διαφορά από το 0N στο 8N.

Οι αποδόσεις των ποικιλιών σόργου υπήρξαν μικρότερες από τις προβλεπόμενες (Παπακώστα - Τασοπούλου 2012). Πιθανό ενδεχόμενο είναι ο αραιός πληθυσμός που προκλήθηκε από προβληματικό φύτεμα.

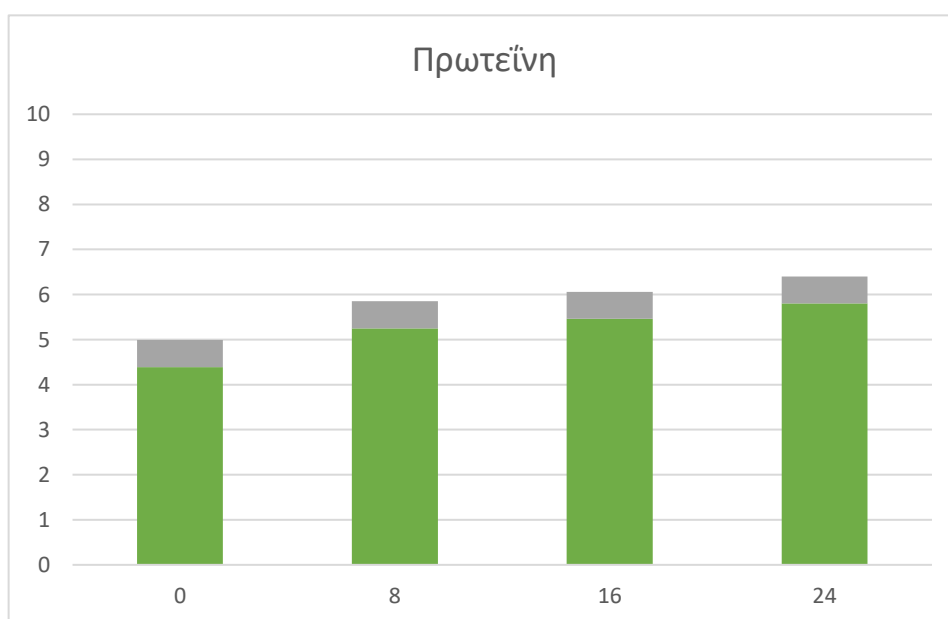
Ακόμη υπολογίστηκε η αποδοτικότητα χρήσης του εφαρμοσμένου αζωτούχου λιπάσματος, στην ουσία την ποσότητα αζώτου που έλαβαν τα φυτά του σόργου από αυτή που εφαρμόστηκε.

Με 8N χρησιμοποιήθηκαν 3,59 kg N/στρ. ή το 44,9% της εφαρμοσμένης ποσότητας. Με 16N χρησιμοποιήθηκαν 4,71 kg N/στρ. ή 29,4% και με 24N χρησιμοποιήθηκαν 6,06 kg N/στρ. ή 25,3%.

Στα επόμενα διαγράμματα βρίσκονται τα στοιχεία που αφορούν τα ποιοτικά χαρακτηριστικά των ποικιλιών σόργου στα τρία επίπεδα αζωτούχου λίπανσης που προέκυψαν με τη βοήθεια του αναλυτή NIR.

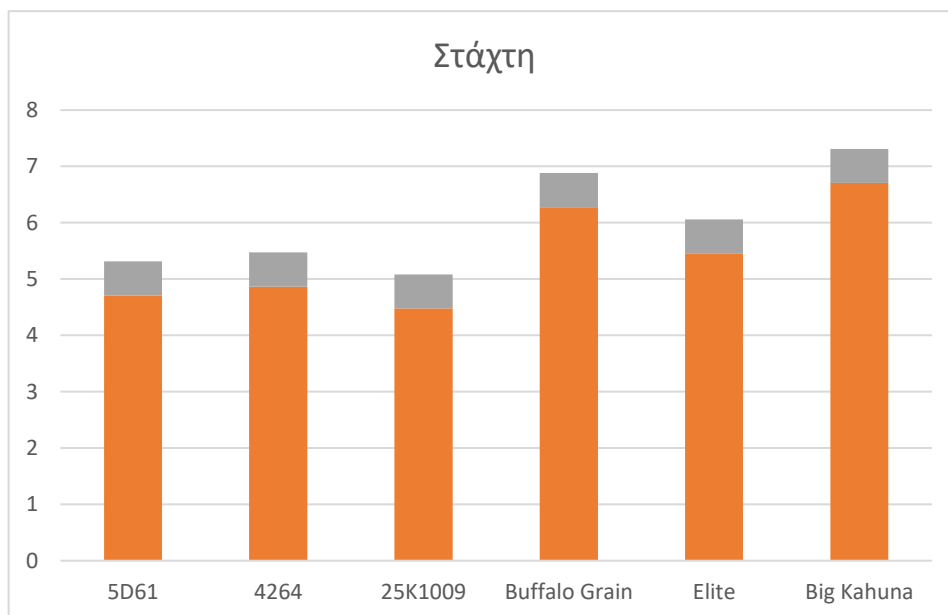


Διάγραμμα 14: Περιεχόμενο πρωτεΐνης σε κάθε ποικιλία.

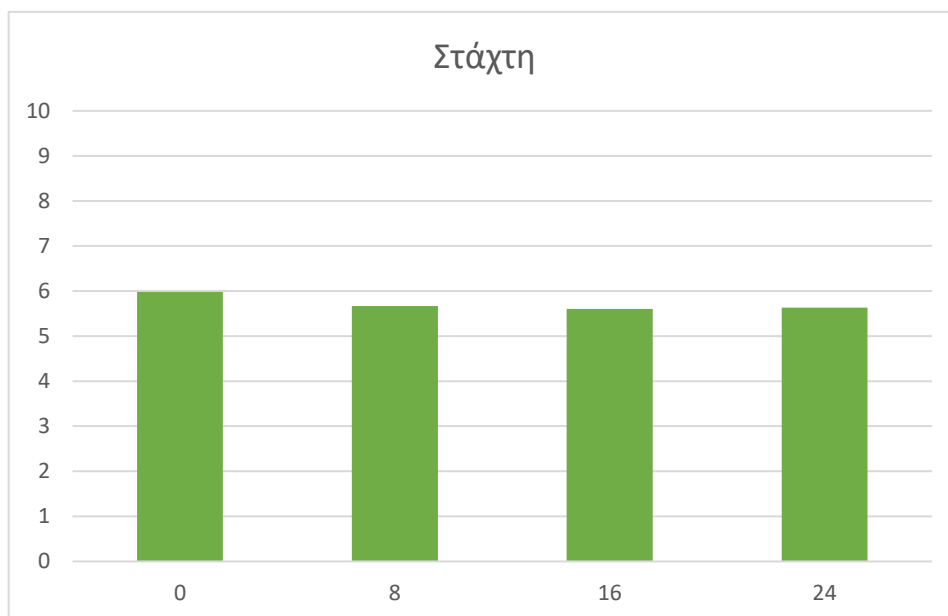


Διάγραμμα 15: Περιεχόμενο πρωτεΐνης σε κάθε επίπεδο λίπανσης.

Πρώτα απ' όλα, στην πρωτεΐνη δεν βρέθηκε στατιστικώς σημαντική διαφορά στις έξι ποικιλίες. Την υψηλότερη σημείωσε η «Buffalo Grain» (6,16%) και τη μικρότερη η «Elite» (5,11%). Σε κάθε επίπεδο λίπανσης αζώτου υπήρξε αύξηση, στατιστικά σημαντική από το 0N στο 8N, όχι όμως και στα υπόλοιπα.



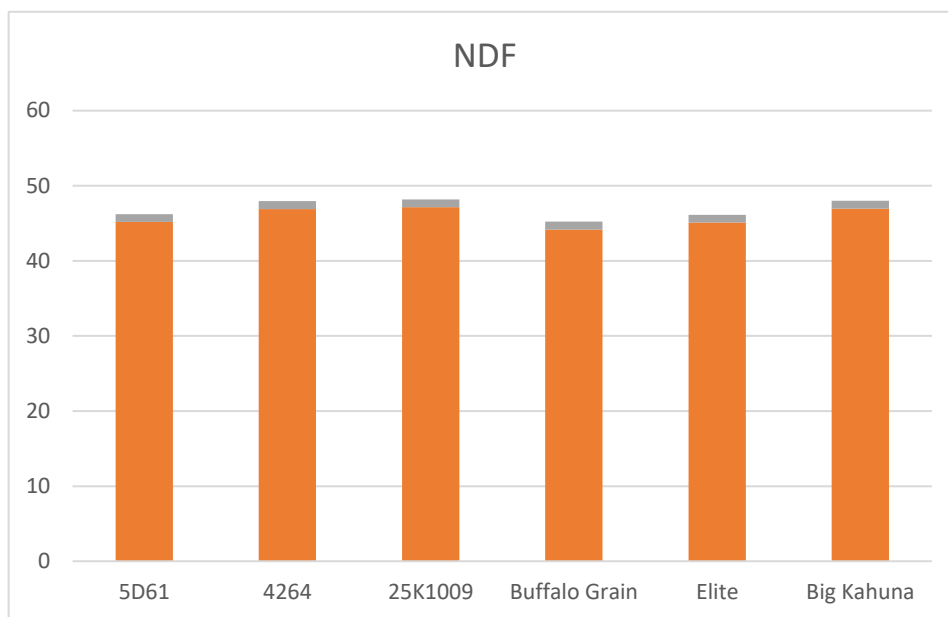
Διάγραμμα 16: Περιεχόμενο στάχτης σε κάθε ποικιλία.



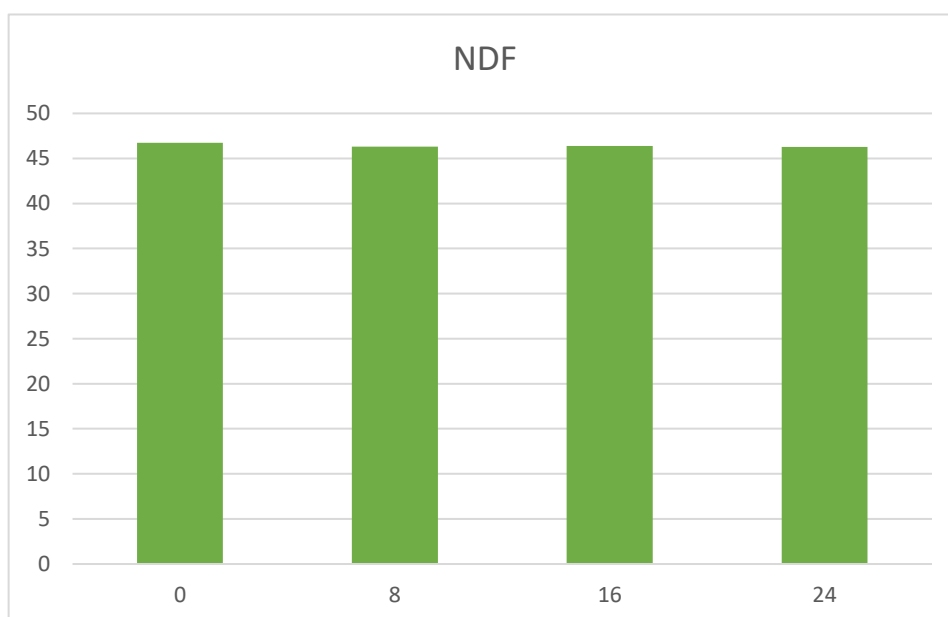
Διάγραμμα 17: Περιεχόμενο στάχτης σε κάθε επίπεδο λίπανσης.

Την περισσότερη στάχτη παρήγαγε η ποικιλία «Big Kahuna» (7,01%), μετά από αυτήν η «Buffalo Grain» (6,58%) με στατιστικά σημαντική διαφορά από τις επόμενες και τη λιγότερη

η «25K1009» (4,78%). Με σταδιακή αύξηση της εφαρμοζόμενης λίπανσης περιοριζόταν η στάχτη (0N 5,98%, 8N 5,67%, 16N 5,60%) εκτός από το 24N (5,63%) που αυξήθηκε.

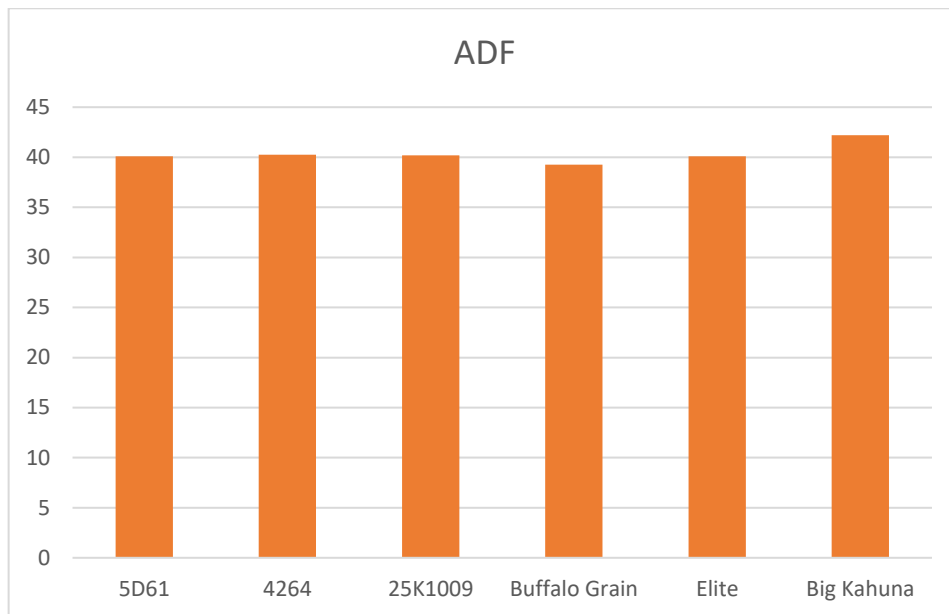


Διάγραμμα 18: Περιεχόμενο NDF σε κάθε ποικιλία.

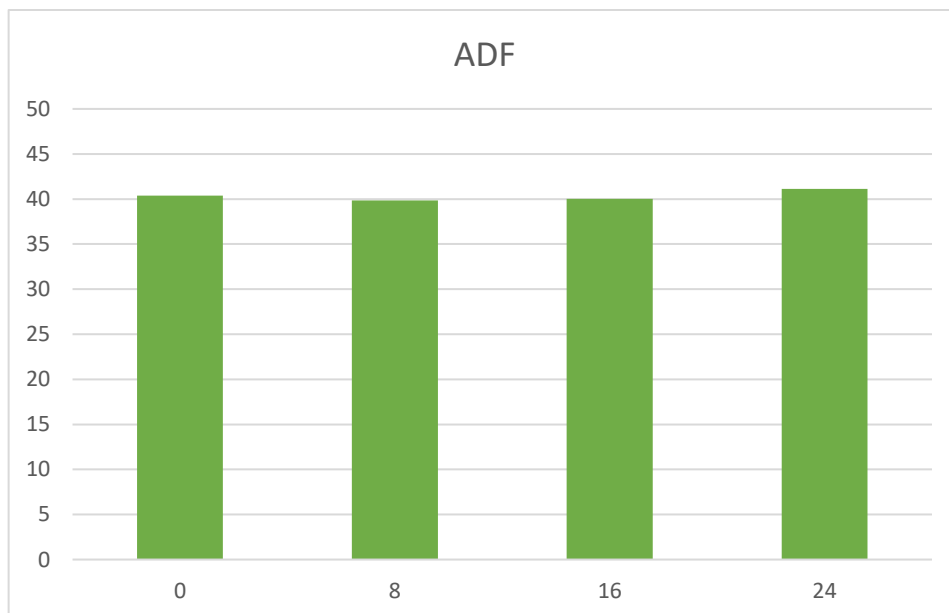


Διάγραμμα 19: Περιεχόμενο NDF σε κάθε επίπεδο λίπανσης.

Στο δείκτη NDF απέδωσε περισσότερο η «25K1009» (47,66%), μετά από αυτήν η «Big Kahuna» (47,47%) και η «4264» (47,43%) με στατιστικά σημαντική διαφορά από τις υπόλοιπες. Η «Buffalo Grain» (44,70%) απέδωσε λιγότερο. Από το 0N (46,75%) στο 8N (46,31%) υπήρξε μείωση, αύξηση στο 16N (46,40%) και μείωση πάλι στο 24N (46,27%).

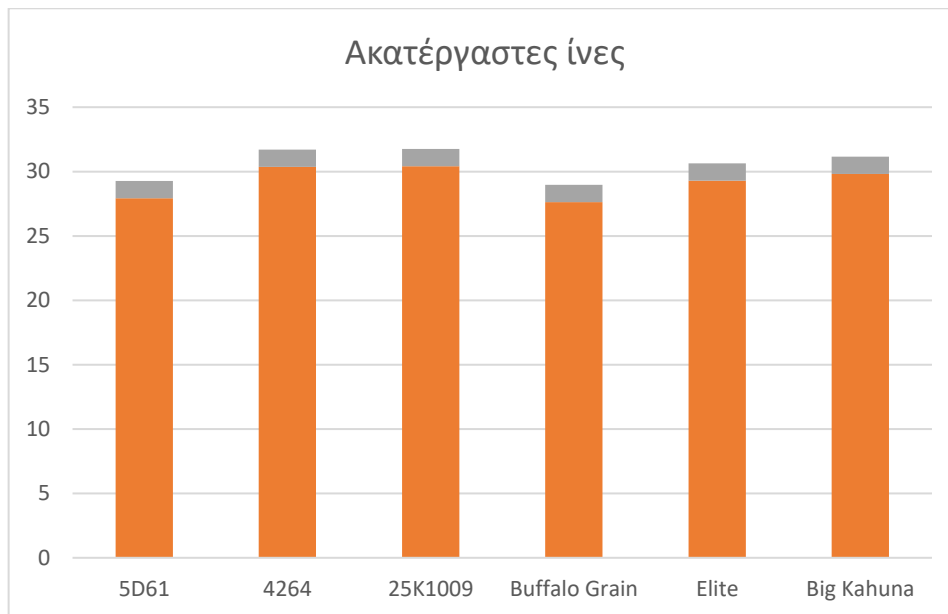


Διάγραμμα 20: Περιεχόμενο ADF σε κάθε ποικιλία.

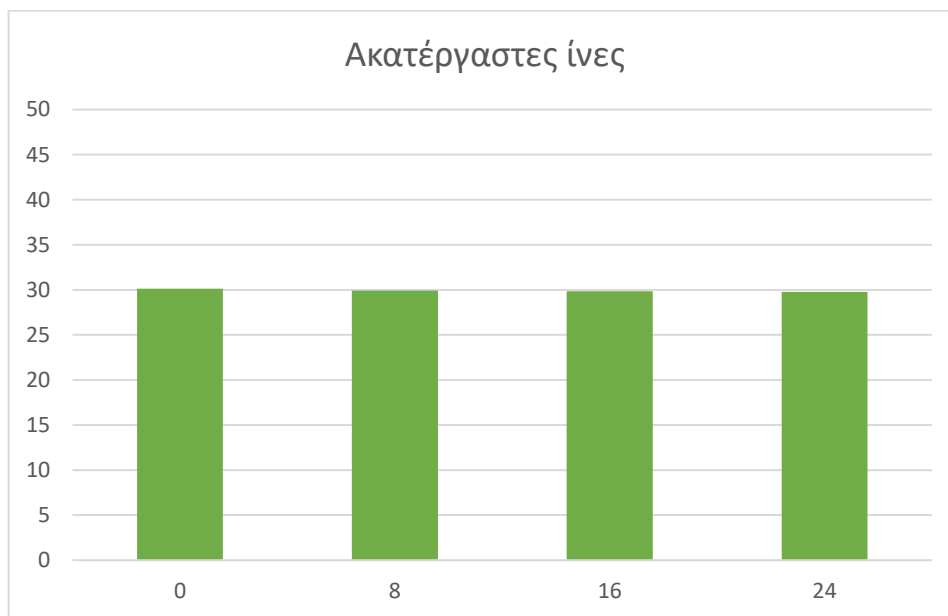


Διάγραμμα 21: Περιεχόμενο ADF σε κάθε επίπεδο λίπανσης.

Στο δείκτη ADF δεν παρατηρείται στατιστικά σημαντική διαφορά, με την «Big Kahuna» (42,21%) πάλι να έχει την υψηλότερη τιμή και την «Buffalo Grain» (39,27%) τη χαμηλότερη. Υπήρξε μείωση από το 0N (40,38%) στο 8N (39,86%) αλλά αύξηση στα επόμενα επίπεδα λίπανσης. Η όξινης αντιδράσεως ίνα περιέχει κυτταρίνη και λιγνίνη από το κυτταρικό τοίχωμα και δεν αφομοιώνονται εύκολα (Jung 1997).

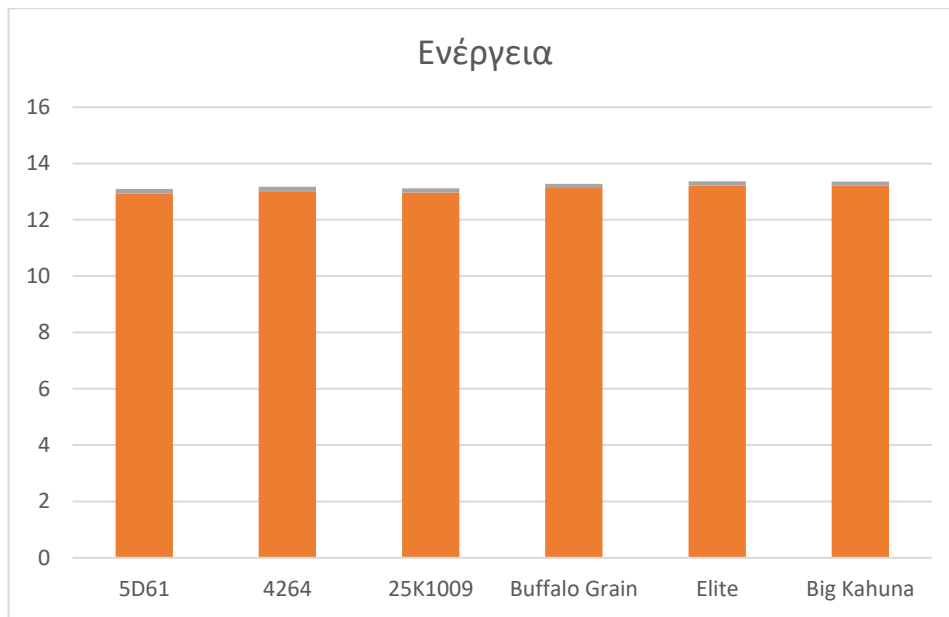


Διάγραμμα 22: Περιεχόμενο σε ακατέργαστη ίνα στις ποικιλίες.

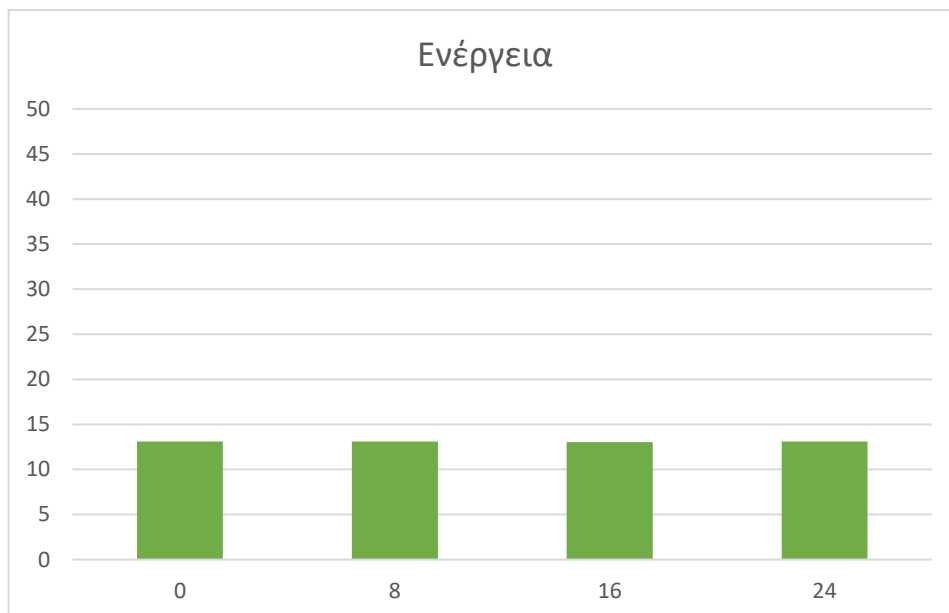


Διάγραμμα 23: Περιεχόμενο σε ακατέργαστη ίνα σε κάθε επίπεδο λίπανσης.

Για τις ακατέργαστες ίνες (crude fiber) η «25K1009» (31,09%) και αμέσως μετά η «4264» (31,04%) είχαν τις υψηλότερες αποδόσεις. Οι δύο πρώτες είχαν στατιστικά σημαντική διαφορά με τις αμέσως επόμενες «Big Kahuna» και «Elite», το ίδιο και οι «Big Kahuna» και «Elite» με τις «5D61» και «Buffalo Grain». Σε κάθε επίπεδο λίπανσης αζώτου υπήρξε μείωση, όχι όμως σημαντική διαφορά.



Διάγραμμα 24: Περιεχόμενο ενέργειας κάθε ποικιλίας.



Διάγραμμα 25: Περιεχόμενο ενέργειας σε κάθε επίπεδο λίπανσης.

Τέλος, υψηλότερο περιεχόμενο ενέργειας παρατηρήθηκε στην ποικιλία «Elite» (13,22 MJ/kg), αμέσως μετά στην «Big Kahuna» (13,21 MJ/kg) με στατιστικά σημαντική διαφορά από τις επόμενες και τη λιγότερη ενέργεια είχε η ποικιλία «5D61» (12,94 MJ/kg). Τα φυτά παρουσίασαν την περισσότερη ενέργεια στα επίπεδα 0N, 8N και 24N (13,10 MJ/kg) με πτώση στο 16N (13,03 MJ/kg).

4. ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ

Κατά τη διάρκεια της καλλιεργητικής περιόδου έλαβε χώρα η εγκατάσταση των πειραματικών αγρών με βάση τον αρχικό προγραμματισμό με στόχο τον εντοπισμό προβλημάτων κατά την υλοποίηση του έργου. Η προμήθεια των σπόρων έγινε από το εξωτερικό (Ιταλία, Η.Π.Α.), καθώς το σόργο καλλιεργείται σε πολύ μικρές εκτάσεις στην Ελλάδα, αφού προηγήθηκε βιβλιογραφική έρευνα ώστε να ικανοποιηθούν οι στόχοι της έρευνας.

Κύριος περιοριστικός παράγοντας της απόδοσης ήταν το προβληματικό φύτρωμα, που οδήγησε σε αραιούς πληθυσμούς με αποτέλεσμα οι αποδόσεις να είναι χαμηλότερες από τις προβλεπόμενες.

Από τις υπό μελέτη ποικιλίες σόργου η ποικιλία «4264» κατέγραψε την υψηλότερη απόδοση με 1884 kg/στρ. σε ξηρό βάρος με στατιστικά σημαντική διαφορά σε σύγκριση με τις υπόλοιπες, με διαφορά 400 kg από την αμέσως επόμενη («Elite») και παράλληλα τα ποιοτικά της χαρακτηριστικά ήταν αξιοσημείωτα.

Η απόδοση σε ξηρή βιομάζα αυξανόταν σε κάθε επίπεδο N λίπανσης, με στατιστικά σημαντική διαφορά από το 0N στο 8N. Το ίδιο παρατηρήθηκε και στην πρωτεΐνη.

5. ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

ΞΕΝΟΓΛΩΣΣΗ ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

- Allen, R. R., and J. T. Musick. 1993. "Relations For Irrigated Grain Sorghum" 36 (4): 1123–29.
- Almodares, A., M. R. Hadi, and H. Ahmadpour. 2008. "Sorghum Stem Yield and Soluble Carbohydrates under Different Salinity Levels." *African Journal of Biotechnology* 7 (22): 4051–55. <https://doi.org/10.5897/AJB08.156>.
- Almodares, A., R. Taheri, I. M. Chung, and M. Fathi. 2008. "The Effect of Nitrogen and Potassium Fertilizers on Growth Parameters and Carbohydrate Contents of Sweet Sorghum Cultivars." *Journal of Environmental Biology* 29 (6): 849–52.
- Artschwager, E. 1948. "Anatomy and Morphology of the Vegetative Organs of Sorghum Vulgäre." *Technical Bulletin*, no. 957: 1–55.
- Aruna, C., and K. B. R. S. Visarada. 2018. "Other Industrial Uses of Sorghum." In *Breeding Sorghum for Diverse End Uses*, edited by C. Aruna, K. B. R. S. Visarada, B. V. Bhat, and V. A. Tonapi, 271–92. Woodhead Publishing. <https://doi.org/10.1016/B978-0-08-101879-8.00017-6>.
- Ashori, A. 2008. "Wood-Plastic Composites as Promising Green-Composites for Automotive Industries." *Bioresource Technology* 99: 4661–4667. <https://doi.org/10.1016/j.biortech.2007.09.043>.
- Assefa, Y., and S. A. Staggenborg. 2010. "Grain Sorghum Yield with Hybrid Advancement and Changes in Agronomic Practices from 1957 through 2008." *Agronomy Journal* 102 (2): 703–6. <https://doi.org/10.2134/agronj2009.0314>.
- Bagayoko, M., S. C. Mason, and R. J. Sabata. 1992. "Residual Effects of Cropping Systems on Soil Nitrogen and Grain Sorghum Yields." *Agronomy Journal*, no. 83: 862–868.
- Bartzialis, Dimitrios, Kyriakos D. Giannoulis, Elpiniki Skoufogianni, George Charvalas, Asterios Kritsanos, Leonidas Siokas, and Nicholaos G. Danalatos. 2020. "Nitrogen Fertilization Effect on Biomass Yield of Six Different Sorghum Bicolor Varieties." In *CEUR Workshop Proceedings*.
- Bayu, W., A. Getachew, and T. Mamo. 2002. "Response of Sorghum to Nitrogen and Phosphorus Fertilization in Semi-Arid Environments in Welo, Ethiopia." *Acta*

- Agronomica Hungarica* 50 (1): 53–65. <https://doi.org/10.1556/AAgr.50.2002.1.7>.
- Beyaert, R. P., and R. C. Roy. 2005. “Influence of Nitrogen Fertilization on Multi-Cut Forage Sorghum-Sudangrass Yield and Nitrogen Use.” *Agronomy Journal*. <https://doi.org/10.2134/agronj2005.0079>.
- Binder, D. L., A. Dobermann, D. H. Sander, and K. G. Cassman. 2002. “Biosolids as Nitrogen Source for Irrigated Maize and Rainfed Sorghum.” *Soil Science Society of America Journal*. <https://doi.org/10.2136/sssaj2002.5310>.
- Biosci, I. J., T. Ahmad, U. Buneen, S. N. Sajid, H. I. Almas, A. Rubab, M. Kanwal, and H. Asghar. 2020. “Morphological and Molecular Diversity Analyses of High Biomass Sorghum (*Sorghum Bicolor* L . Moench)” 6655: 253–73.
- Brignoni, A. S., H. F. Silva, J. D. C. Ervilha, F. G. Silva, L. S. Camargos, and L. A. Souza. 2020. “Biomass Sorghum Hybrids Differ in Growth and Nitrogen Use under Low Bases Saturation in Sandy Soil.” *Research, Society and Development* 9 (9). <https://doi.org/10.33448/rsd-v9i9.6289>.
- Cameron, A. G. 2006. “Forage Sorghum.”
- Carter, P. R., D. R. Hicks, A. R. Kaminski, J. D. Doll, K. A. Kelling, and G. L. Worf. 1990. “Broomcorn.” In *Alternative Field Crops Manual*. Madison: University of Wisconsin Cooperative or Extension Service, Department of Agronomy.
- Carter, P. R., D. R. Hicks, E. S. Oplinger, J. D. Doll, L. G. Bundy, R. T. Schuler, and B. J. Holmes. 1990. “Grain Sorghum (Milo).” In *Alternative Field Crops Manual*. Madison: University of Wisconsin Cooperative or Extension Service, Department of Agronomy.
- Cassida, K. A., J. P. Muir, M. A. Hussey, J. C. Read, B. C. Venuto, and W. R. Ocumpaugh. 2005. “Biofuel Component Concentrations and Yields of Switchgrass in South Central U.S. Environments.” *Crop Science* 45 (2): 682–92. <https://doi.org/10.2135/cropsci2005.0682>.
- Cavalcante, T. J., G. Castoldi, C. R. Rodrigues, M. M. Nogueira, and A. M. Albert. 2018. “Macro and Micronutrients Uptake in Biomass Sorghum.” *Pesquisa Agropecuaria Tropical*. <https://doi.org/10.1590/1983-40632018v4851874>.
- Cecava, M. J. 1995. “Silage and Crops for Silage.” In *Beef Cattle Feeding and Nutrition*, edited by T. W. Perry and M. J. Cecava, Second Edi, 117–37. Academic Press. <https://doi.org/10.1016/b978-012552052-2/50012-3>.

- Celarier, R. P. 1958. "Cytotaxonomy of the Andropogoneae." *Cytologia* 23 (4): 395–418.
<https://doi.org/10.1508/cytologia.23.395>.
- Ciampitti, I. A., D. R. Diaz, D. Jardine, S. Lancaster, R. J. Whitworth, and J. Aguilar. 2020.
 "Kansas Sorghum Management 2020."
- Ciampitti, I. A., and P. V. Vara Prasad. 2020. *Sorghum: A State of the Art and Future Perspectives*. Edited by I. A. Ciampitti and P. V. Vara Prasad. John Wiley & Sons.
<https://doi.org/10.2134/agronmonogr58>.
- Conley, S. P., and W. J. Wiebold. 2003. "Grain Sorghum Response to Planting Date." *Crop Management* 2 (1): 1–5. <https://doi.org/10.1094/cm-2003-0204-01-rs>.
- Cordell, D., J. O. Drangert, and S. White. 2009. "The Story of Phosphorus: Global Food Security and Food for Thought." *Global Environmental Change* 19 (2): 292–305.
<https://doi.org/10.1016/j.gloenvcha.2008.10.009>.
- Cothren, J. T., J. E. Matocha, and L. E. Clark. 2000. "Integrated Crop Management for Sorghum." In *Sorghum : Origin, History, Technology, and Production*, edited by C.W. Smith and R.A. Frederiksen, 409–41. New York: John Wiley and Sons, Inc.
- Critchley, W., K. Siegert, and C. Chapman. 1991. *A Manual for the Design and Construction of Water Harvesting Schemes for Plant Production*. Food and Agriculture Organization of the United Nations. Rome: Food and Agriculture Organization of the United Nations.
- Demirbaş, A. 2005. "Bioethanol from Cellulosic Materials: A Renewable Motor Fuel from Biomass." *Energy Sources* 27 (4): 327–37. <https://doi.org/10.1080/00908310390266643>.
- Dempewolf, H., R. J. Eastwood, L. Guarino, C. K. Khoury, J. V. Müller, and J. Toll. 2014.
 "Adapting Agriculture to Climate Change: A Global Initiative to Collect, Conserve, and Use Crop Wild Relatives." *Agroecology and Sustainable Food Systems* 38 (4): 369–77.
<https://doi.org/10.1080/21683565.2013.870629>.
- Dercas, N., and A. Liakatas. 2007. "Water and Radiation Effect on Sweet Sorghum Productivity." *Water Resources Management* 21: 1585–1600.
<https://doi.org/10.1007/s11269-006-9115-2>.
- Dhalberg, J. A. 2000. "Classification and Characterization of Sorghum." In *Sorghum: Origin, History, Technology, and Production*, edited by C.W. Smith and R.A. Frederiksen, 99–130. New York: John Wiley and Sons, Inc.
- Dingkuhn, M., M. Kouressy, M. Vaksman, B. Clerget, and J. Chantreau. 2008. "A Model

- of Sorghum Photoperiodism Using the Concept of Threshold-Lowering during Prolonged Appetence.” *European Journal of Agronomy*.
<https://doi.org/10.1016/j.eja.2007.05.005>.
- Duvick, D. N., and K. G. Cassman. 1999. “Post–Green Revolution Trends in Yield Potential of Temperate Maize in the North-Central United States.” *Crop Science*, no. 39: 1622–1630.
- Eghball, B. 2000. “Nitrogen Mineralization from Field-Applied Beef Cattle Feedlot Manure or Compost.” *Soil Science Society of America Journal* 64: 2024–30.
<https://doi.org/10.2136/sssaj2000.6462024x>.
- Eilrich, G.L., R.C. Long, F.C. Stickler, and A.W. Pauli. 1964. “Stage of Maturity, Plant Population, and Row Width as Factors Affecting Yield and Chemical Composition of Atlas Forage Sorghum.” *Technical Bulletin No. 13*. Manhattan, Kansas.
- Espinoza, L. 2004. “Fertilization and Liming.” In *Grain Sorghum Production Handbook*, edited by L. Espinoza and J. Kelley, 21–24. Little Rock: Cooperative Extension Service University Of Arkansas.
- FAO. 1995. *Sorghum and Millets in Human Nutrition*. Rome: Food And Agriculture Organization of the United Nations.
- . 2006. *Plant Nutrition for Food Security: A Guide for Integrated Nutrient Management, FAO Fertilizer And Plant Nutrition Bulletin 16*. Food and Agriculture Organization of the United Nations. Rome: Food And Agriculture Organization of the United Nations. <http://www.fao.org>.
- Francois, L. E., T. Donovan, and E.V. Maas. 1984. “Salinity Effects on Seed Yield, Growth, and Germination of Grain Sorghum 1 .” *Agronomy Journal* 76 (5): 741–44.
<https://doi.org/10.2134/agronj1984.00021962007600050008x>.
- Gakale, L. P., and M. D. Clegg. 1987. “Nitrogen from Soybean for Dryland Sorghum 1 .” *Agronomy Journal*. <https://doi.org/10.2134/agronj1987.00021962007900060022x>.
- Ganyo, K. K., B. Muller, M. Ndiaye, E. K. Gaglo, A. Guissé, and M. Adam. 2019. “Defining Fertilization Strategies for Sorghum (*Sorghum Bicolor* (L.) Moench) Production under Sudano-Sahelian Conditions: Options for Late Basal Fertilizer Application.” *Agronomy* 9 (11). <https://doi.org/10.3390/agronomy9110697>.
- Gardner, J. C., J. W. Maranville, and E. T. Pappozzi. 1994. “Nitrogen Use Efficiency among

- Diverse Sorghum Cultivars.” *Crop Science* 34 (3): 728–33.
<https://doi.org/10.2135/cropsci1994.0011183X003400030023x>.
- Garofalo, P., and M. Rinaldi. 2013. “Water-Use Efficiency of Irrigated Biomass Sorghum in a Mediterranean Environment.” *Spanish Journal of Agricultural Research* 11 (4): 1153–69. <https://doi.org/10.5424/sjar/2013114-4147>.
- GENERA. 2020. “Biomass Sorghum Production Guide.” <https://generainc.com/wp-content/uploads/2020/01/Biomass-Sorghum-Production-Guide.pdf>.
- Gerik, T., B. Bean, and R. Vanderlip. 2003. *Sorghum Growth and Development*. Texas Cooperative Extension.
- . 2014. “Sorghum Growth and Development.”
- Hansen, James W. 2002. “Realizing the Potential Benefits of Climate Prediction to Agriculture: Issues, Approaches, Challenges.” *Agricultural Systems*.
[https://doi.org/10.1016/S0308-521X\(02\)00043-4](https://doi.org/10.1016/S0308-521X(02)00043-4).
- Harlan, J. R., and J. M. J. Wet. 1972. “A Simplified Classification of Cultivated Sorghum.” *Crop Science* 12 (2): 172–76.
<https://doi.org/10.2135/cropsci1972.0011183x001200020005x>.
- Harner, J. P. 1998. “Drying and Storage.” In *Grain Sorghum Production Handbook*, 26–27. Manhattan, Kansas: Kansas State University Agricultural Experiment Station and Cooperative Extension Service.
- Heiniger, R. W., R. L. Vanderlip, and S. M. Welch. 1997. “Developing Guidelines for Replanting Grain Sorghum: I. Validation and Sensitivity Analysis of the SORKAM Sorghum Growth Model.” *Agronomy Journal* 89 (1): 75–83.
<https://doi.org/10.2134/agronj1997.00021962008900010012x>.
- Hons, F. M., R. F. Moresco, R. P. Wiedenfeld, and J. T. Cothren. 1986. “Applied Nitrogen and Phosphorus Effects on Yield and Nutrient Uptake by High-Energy Sorghum Produced for Grain and Biomass.” *Agronomy Journal* 78 (6): 1069–78.
<https://doi.org/10.2134/agronj1986.00021962007800060026x>.
- Joorabi, S., N. Akbari, M. R. Chaichi, and K. Azizi. 2016. “Effect of Sowing Date and Nitrogen Fertilizer on Sorghum (Sorghum Bicolor L. Var. Speed Feed) Forage Production in a Summer Intercropping System.” *Cercetari Agronomice in Moldova*.
<https://doi.org/10.1515/cerce-2015-0042>.

- Jung, H. J. G. 1997. "Analysis of Forage Fiber and Cell Walls in Ruminant Nutrition." *The Journal of Nutrition* 127 (5): 810–13. <https://doi.org/10.1093/jn/127.5.810s>.
- Kaye, Nanga Mady, Stephen C. Mason, David S. Jackson, and Tom D. Galusha. 2007. "Crop Rotation and Soil Amendment Alters Sorghum Grain Quality." *Crop Science* 47 (2): 722–29. <https://doi.org/10.2135/cropsci2006.05.0346>.
- Kelley, Jason. 2004a. "Cultural Practices." In *Grain Sorghum Production Handbook*, edited by L. Espinoza and J. Kelley, 7–10. Little Rock: Cooperative Extension Service University Of Arkansas.
- . 2004b. "Growth and Development." In *Grain Sorghum Production Handbook*, edited by L. Espinoza and J. Kelley, 3–5. Little Rock: Cooperative Extension Service University Of Arkansas.
- Kimber, C.T. 2000. "Origins of Domesticated Sorghum and Its Early Diffusion into India and China." In *Sorghum: Origin, History, Technology, and Production.*, edited by C.W. Smith and R.A. Frederiksen, 3–98. New York: John Wiley and Sons, Inc.
- Köppen, S., G. Reinhardt, and S. Gärtner. 2009. "Assessment of Energy and Greenhouse Gas Inventories of Sweet Sorghum for First and Second Generation Bioethanol." *Environment and Natural Resources Management Series*. Rome: Food And Agriculture Organization of the United Nations.
- Kottek, M., J. Grieser, C. Beck, B. Rudolf, and F. Rubel. 2006. "World Map of the Köppen-Geiger Climate Classification Updated." *Meteorologische Zeitschrift* 15 (3): 259–63. <https://doi.org/10.1127/0941-2948/2006/0130>.
- Lang, B. 2001. "Sudan/Sorghum Forage Management."
- Lazarides, M., J. B. Hacker, and M. H. Andrew. 1991. "Taxonomy, Cytology and Ecology of Indigenous Australian Sorghums (*Sorghum Moench*: *Andropogoneae*: *Poaceae*)." *Australian Systematic Botany* 4 (4): 591–635. <https://doi.org/10.1071/SB9910591>.
- Leigh, R. A., and R. G. Wyn Jones. 1984. "A Hypothesis Relating Critical Potassium Concentrations for Growth to the Distribution and Functions of This Ion in the Plant Cell." *New Phytologist* 97 (1): 1–13. <https://doi.org/10.1111/j.1469-8137.1984.tb04103.x>.
- Lewis, R. B., E. A. Hiler, and W. R. Jordan. 1974. "Susceptibility of Grain Sorghum to Water Deficit at Three Growth Stages." *Agronomy Journal* 66 (4): 589–91.

<https://doi.org/10.2134/agronj1974.00021962006600040032x>.

Linnaeus, Carl. 1753. *Species Plantarum*. Stockholm: Laurentius Salvius.

Lumsden, P. J. 2002. "Photoperiodism in Plants." In *Biological Rhythms*, edited by V. Kumar. Berlin: Springer. https://doi.org/10.1007/978-3-662-06085-8_15.

Maiti, R. K. 1996. *Sorghum Science*. Lebanon, NH: Science Publishers.

Mann, J. A., C. T. Kimber, and F. R. Miller. 1983. "The Origin and Early Cultivation of Sorghums in Africa." *Texas Agricultural Experiment Station*.

Maqbool, A. B., D. Prathibha, and B. S. Mariam. 2001. "Biotechnology: Genetic Improvement of Sorghum (Sorghum Bicolor (L.) Moench)." *In Vitro Cellular & Developmental Biology* 37 (2): 504 – 515.

Mengel, K. 1980. "Assimilate Transport through Phloem Tissue." In *Physiological Aspects of Crop Productivity*, 59. Wageningen: International Potash Institute.

Miller, F. R., and J. A. Stroup. 2004. "Growth And Management Of Sorghums For Forage Production." In *Proceedings, National Alfalfa Symposium*. Davis: UC Cooperative Extension, University of California.

Myers, R. J. K. 1978. "Nitrogen and Phosphorus Nutrition of Dryland Grain Sorghum at Katherine, Northern Territory. I. Effect of Rate of Nitrogen Fertilizer." *Australian Journal of Experimental Agriculture and Animal Husbandry* 18 (93): 554–63. <https://doi.org/10.1071/EA9780554>.

Oprea, C. A., D. I. Marin, C. Bolohan, and A. Penescu. 2016. "Research Regarding the Influence of Nitrogen and Phosphorus Fertilization on the Yield of Grain Sorghum Hybrids" 5 (1): 150–56.

Perumal, R., P. Rajendrakumar, F. Maulana, T. Tesso, and C. R. Little. 2020. "Genetic Changes in Sorghum." In *Sorghum: A State of the Art and Future Perspectives*, edited by I. A. Ciampitti and P. V. Vara Prasad, 1–30. John Wiley & Sons.

Pholsen, S., and N. Sornsungnoen. 2004. "Effects of Nitrogen and Potassium Rates and Planting Distances on Growth, Yield and Fodder Quality of a Forage Sorghum (Sorghum Bicolor L. Moench)." *Pakistan Journal of Biological Sciences* 7 (10): 1793–1800. <https://doi.org/10.3923/pjbs.2004.1793.1800>.

Pierzynski, G. 2020. "Foreword." In *Sorghum: A State of the Art and Future Perspectives*,

edited by I. A. Ciampitti and P. V. Vara Prasad, ix. John Wiley & Sons.

- Quinby, J. R. 1974. "The Genetic Control of Flowering and Growth in Sorghum." *Advances in Agronomy* 25: 125–62. [https://doi.org/10.1016/S0065-2113\(08\)60780-4](https://doi.org/10.1016/S0065-2113(08)60780-4).
- Quinby, J. R., and R. E. Karper. 1954. "Inheritance of Height in Sorghum." *Agronomy Journal* 25: 125–62. <https://doi.org/10.2134/agronj1954.00021962004600050007x>.
- Rao, P. S., K. S. Vinutha, G. S. Anil Kumar, T. Chiranjeevi, A. Uma, P. Lal, R.S. Prakasham, et al. 2020. "Sorghum: A Multipurpose Bioenergy Crop." In *Sorghum: A State of the Art and Future Perspectives*, edited by I. A. Ciampitti and P. V. Vara Prasad, 399–425. John Wiley & Sons.
- Rausch, T., and A. Wachter. 2005. "Sulfur Metabolism: A Versatile Platform for Launching Defence Operations." *Trends in Plant Science* 10: 503–9. <https://doi.org/10.1016/j.tplants.2005.08.006>.
- Reddy, B. V. S., S. Ramesh, A. Ashok Kumar, S. P. Wani, R. Ortiz, H. Ceballos, and T. K. Sreedevi. 2008. "Bio-Fuel Crops Research for Energy Security and Rural Development in Developing Countries." *Bioenergy Research* 1: 248–58. <https://doi.org/10.1007/s12155-008-9022-x>.
- Restelatto, R., L. F. G. De Menezes, W. Paris, L. R. Sartor, T. N. Martin, W. F. B. Herrera, and P. S. Pavinato. 2017. "Sorghum and Black Oat Forage Production and Its Nutritive Value under Phosphate Levels." In *Ciencias Agrarias*, 429–42. Londrina. <https://doi.org/10.5433/1679-0359.2017v38n1p429>.
- Rocateli, A. C., R. L. Raper, K. S. Balkcom, F. J. Arriaga, and D. I. Bransby. 2012. "Biomass Sorghum Production and Components under Different Irrigation/Tillage Systems for the Southeastern U.S." *Industrial Crops and Products* 36 (1): 589–98.
- Roder, W., S. C. Mason, M. D. Clegg, and K. R. Kniep. 1989. "Yield - Soil Water Relationships in Sorghum - Soybean Cropping Systems with Different Fertilizer Regimes." *Agronomy Journal*, no. 81: 470–75.
- Rogers, D. H., and M. Alam. 1998. "Irrigation." In *Grain Sorghum Production Handbook*, 15–17. Manhattan, Kansas: Kansas State University Agricultural Experiment Station and Cooperative Extension Service.
- Ronda, Venkateswarlu, K. B.R.S. Visarada, and B. Venkatesh Bhat. 2018. "Sorghum for Animal Feed." In *Breeding Sorghum for Diverse End Uses*, edited by C. Aruna, K. B. R.

- S. Visarada, B. V. Bhat, and V. A. Tonapi, 229–238. Woodhead Publishing.
<https://doi.org/10.1016/B978-0-08-101879-8.00014-0>.
- Rosenthal, W. D., G. F. Arkin, P. J. Shouse, and W. R. Jordan. 1987. “Water Deficit Effects on Transpiration and Leaf Growth.” *Agronomy Journal* 79: 1019–26.
<https://doi.org/10.2134/agronj1987.00021962007900060014x>.
- Santi, A., S. L. Camargos, W. L. M. Pereira, and J. F. Scaramuzza. 2005. “Deficiências de Macronutrientes Em Sorgo. Revista de Ciências Agro-Ambientais.” *Alta Floresta* 3: 54–63. <https://doi.org/10.1590/s1413-70542006000200006>.
- Santos, Hemmannuella C., Vânia S. Fraga, Roberto W. C. Raposo, and Walter E. Pereira. 2009. “Cu e Zn Na Cultura Do Sorgo Cultivado Em Três Classes de Solos: I. Crescimento Vegetativo e Produção.” *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental*. <https://doi.org/10.1590/s1415-43662009000200003>.
- Sebnie, Workat, Merse Mengesha, Gebrehana Girmay, Tesfaye Feyisa, Belaynesh Asgedom, Gashaw Beza, and Dereje Dejene. 2020. “Evaluation of Micro-Dosing Fertilizer Application on Sorghum (*Sorghum Bicholor* L) Production at Wag-Lasta Areas of Amhara Region, Ethiopia.” *Scientific Reports* 10 (1): 6–11.
<https://doi.org/10.1038/s41598-020-63851-6>.
- Shamudzarira, Z. 1994. “Maize Water Use as Affected by Nitrogen Fertilizer.” In *Soil Fertility and Climatic Constraints in Dryland Agriculture. Proceedings of ACIAR/SACCAR Workshop*, edited by Craswell and Simpson, 15–18. Harare, Zimbabwe: ACIAR Proceedings No. 54.
- Shroyer, J., H. Kok, and D. Fjell. 1998. “Seedbed Preparation and Planting Practices.” In *Grain Sorghum Production Handbook*, 5–9. Manhattan, Kansas: Kansas State University Agricultural Experiment Station and Cooperative Extension Service.
- Smil, V. 2000. “Phosphorus in the Environmen: Natural Flows and Human Interferences.” *Annual Review of Energy and the Environment* 25 (1): 53–88.
<https://doi.org/10.1146/annurev.energy.25.1.53>.
- Smith, K., and B. Scott. 2004. “Weed Control in Grain Sorghum.” In *Grain Sorghum Production Handbook*, edited by L. Espinoza and J. Kelley, 47–49. Little Rock: Cooperative Extension Service University Of Arkansas.
- Sorghum: Production Guideline*. 2010. *Directorate Plant Production in Collaboration with*

the ARC. Vol. 5. Pretoria.

“Sorghum - Seminart.” n.d. Accessed February 14, 2021.

<https://www.seminart.it/en/project/sorghum/>.

Steen, I. 1998. “Phosphorus Availability in the 21st Century: Management of a Non-Renewable Resource.” *Phosphorus and Potassium*, no. 217: 25 – 31.

Stephens, J. C., and R. F. Holland. 1954. “Cytoplasmic Male - Sterility For Hybrid Sorghum Seed Production.” *Agronomy Journal* 46: 20–23.

<https://doi.org/10.2134/agronj1954.00021962004600010006x>.

Stephens, J C, and J R Quinby. 1934. “Anthesis, Pollination, and Fertilization in Sorghum.” *Jour Agric Res*.

Sweeney, D. W., J. L. Moyer, D. J. Jardine, and D. A. Whitney. 2011. “Nitrogen, Phosphorus, and Potassium Effects on Grain Sorghum Production and Stalk Rot Following Alfalfa and Birdsfoot Trefoil.” *Journal of Plant Nutrition* 34 (9): 1330–40.

<https://doi.org/10.1080/01904167.2011.580819>.

Sweeten, J. M., and A. C. Mathers. 1985. “Improving Soils with Livestock Manure.” *Journal of Soil and Water Conservation* 40 (2): 206–10.

Tacker, P., E. Vories, and G. Huitink. 2004. “Drainage and Irrigation.” In *Grain Sorghum Production Handbook*, edited by L. Espinoza and J. Kelley, 11–20. Little Rock: Cooperative Extension Service University Of Arkansas.

Taylor, J. R. N., T. J. Schober, and S. R. Bean. 2006. “Novel Food and Non-Food Uses for Sorghum and Millets.” *Journal of Cereal Science* 44 (3): 252–71.

<https://doi.org/10.1016/j.jcs.2006.06.009>.

Tripathi, H. P., A. P. Singh, V. S. Upadhyay, H. P. P. Kessels, A. S. Harika, S. Singh, and M. N. M. Ibrahim. 1995. “Forage Conservation, Storage And Feeding.” In *Handbook for Straw Feeding Systems: Principles and Applications with Emphasis on Indian Livestock Production.*, edited by K. Singh and J. B. Schiere, 303–24. New Delhi, India: ICAR.

Trostle, C., and G. Peterson. 2019. “Practical Morphology of Grain Sorghum and Implications for Crop Management.” In *Sorghum: State of the Art and Future Perspectives*, edited by I. A. Ciampitti and P. V. Vara Prasad, 133–54. John Wiley & Sons.

Turner, N. C. 1974. “Stomatal Behavior and Water Status of Maize, Sorghum, and Tobacco under Field Conditions.” *Plant Physiology* 55: 360–65.

<https://doi.org/10.1104/pp.53.3.360>.

- Umakanth, A. V., A. A. Kumar, W. Vermerris, and V. A. Tonapi. 2018. "Sweet Sorghum for Biofuel Industry." In *Breeding Sorghum for Diverse End Uses*, edited by C. Aruna, K. B. R. S. Visarada, B. V. Bhat, and V. A. Tonapi, 255–70. Woodhead Publishing. <https://doi.org/10.1016/B978-0-08-101879-8.00016-4>.
- Undersander, D. J., W. E. Lueschen, L. H. Smith, A. R. Kaminski, J. D. Doll, K. A. Kelling, and E. S. Oplinger. 1990. "Sorghum—for Syrup." In *Alternative Field Crops Manual*. Madison: University of Wisconsin Cooperative or Extension Service, Department of Agronomy.
- Undersander, D. J., L. H. Smith, A. R. Kaminski, K. A. Kelling, and J. D. Doll. 1990. "Sorghum—Forage." In *Alternative Field Crops Manual*. Madison: University of Wisconsin Cooperative or Extension Service, Department of Agronomy.
- Vanderlip, R. L., and H. E. Reeves. 1972. "Growth Stages of Sorghum." *Agronomy Journal* 64: 13–16.
- Vendramini, J., J. Erickson, W. Vermerris, and D. Wright. 2019. "Forage Sorghum."
- Venkateswaran, K., N. Sivaraj, S. R. Pandravada, M. Thirupathi Reddy, and B. Sarath Babu. 2018. "Classification, Distribution and Biology." In *Breeding Sorghum for Diverse End Uses*, edited by C. Aruna, K. B. R. S. Visarada, B. V. Bhat, and V. A. Tonapi, 33–60. Woodhead Publishing. <https://doi.org/10.1016/B978-0-08-101879-8.00003-6>.
- Vinutha, K. S., L. Rayaprolu, K. Yadagiri, A. V. Umakanth, J. V. Patil, and P. Srinivasa Rao. 2014. "Sweet Sorghum Research and Development in India: Status and Prospects." *Sugar Tech* 16 (2): 133–43. <https://doi.org/10.1007/s12355-014-0302-9>.
- Waniska, R.D., L.W. Rooney, and C.M. McDonough. 2004. "SORGHUM | Utilization." In *Encyclopedia of Grain Science*, edited by C. Wrigley, H. Corke, and C. E. Walker, 126–36. Elsevier Science. <https://doi.org/10.1016/b0-12-765490-9/00152-x>.
- Weng, J. K., X. Li, N. D. Bonawitz, and C. Chapple. 2008. "Emerging Strategies of Lignin Engineering and Degradation for Cellulosic Biofuel Production." *Current Opinion in Biotechnology* 19 (2): 166–72. <https://doi.org/10.1016/j.copbio.2008.02.014>.
- Whitney, D. 1998. "Fertilizer Requirements." In *Grain Sorghum Production Handbook*, 12 – 14. Manhattan, Kansas: Kansas State University Agricultural Experiment Station and Cooperative Extension Service.

- Woods, J. 2000. "Integrating Sweet Sorghum and Sugarcane for Bioenergy: Modelling the Potential for Electricity and Ethanol Production in SE Zimbabwe." King's College, London.
- Wu, X., S. Staggenborg, J. L. Prophet, W. L. Rooney, J. Yu, and D. Wang. 2010. "Features of Sweet Sorghum Juice and Their Performance in Ethanol Fermentation." *Industrial Crops and Products* 31 (1): 164–70. <https://doi.org/10.1016/j.indcrop.2009.10.006>.
- Wu, X., S. Staggenborg, and D. Wang. 2015. "Stabilization of Sweet Sorghum Juice for Long-Term Storage." *American Society of Agricultural and Biological Engineers* 58 (1): 169–75. <https://doi.org/10.13031/trans.58.10841>.

ΕΛΛΗΝΙΚΗ ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

Δαλιάνης, Κ. 1983. *Ανοιξιάτικα Σιτηρά*. Αθήνα: Εκδόσεις Σταμούλη.

Καραμάνος, Α. 1999. *Τα Σιτηρά Των Θερμών Κλιμάτων: Αραβόσιτος, Σόργο, Ρύζι, Κεχρί*.
Θεσσαλονίκη: Εκδόσεις Παπαζήση.

Παβέλη, Μ. 2013. “Η Καλλιέργεια Του Σόργου Για Παραγωγή Βιοενέργειας Στην Ελλάδα.”
Πανεπιστήμιο Θεσσαλίας.

Παπακώστα - Τασοπούλου, Δ. 2012. *Σιτηρά Και Ψυχανθή*. Θεσσαλονίκη: Σύγχρονη Παιδεία.

Παπαστυλιανού, Π. Θ., Δ. Μπιλάλης, Η. Τραυλός, and Α. Γ. Παπαθεοχάρη. 2015. *Ειδική
Γεωργία ΙΙ. Εαρινά Σιτηρά - Βιομηχανικά - Ελαιούχα Φυτά Και Εαρινά Ζιζάνια*.
<http://hdl.handle.net/11419/5153>.

Παπουτσή - Κωστοπούλου, Ε. 1992. “Σόργο Χορτοδοτικό.”