ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΘΕΣΣΑΛΙΑΣ
ΣΧΟΛΗ ΓΕΩΠΟΝΙΚΩΝ ΕΠΙΣΤΗΜΩΝ
ΤΜΗΜΑ ΓΕΩΠΟΝΙΑΣ ΦΥΤΙΚΗΣ ΠΑΡΑΓΩΓΗΣ
ΚΑΙ ΑΓΡΟΤΙΚΟΥ ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝΤΟΣ
ΕΡΓΑΣΤΗΡΙΟ ΓΕΩΡΓΙΚΗΣ ΥΔΡΑΥΛΙΚΗΣ

Πτυχιακή Διατριβή
«Υπόγεια στάγδην άρδευση στο σόργο»

Φοιτητής : Χατζηνίκος Αθανάσιος
Α.Μ. : 0499085 (541)

Επιβλέπουσα Καθηγήτρια : Μαρία Σακελλαρίου - Μακραντωνάκη

Βόλος, 2004

Τριμελής επιτροπή

Μ. Σακελλαρίου - Μακραντωνάκη, Καθηγήτρια, Επιβλέπουσα της διατριβής

Κ. Κίττας, Καθηγητής

Ν. Δαναλάτος, Λέκτορας

Ευχαριστίες

Θα ήθελα να ευχαριστήσω την επιβλέπουσα Καθηγήτριά μου, κα. Μ. Σακελλαρίου – Μακραντωνάκη Καθηγήτρια του Πανεπιστημίου Θεσσαλίας για την πολύτιμη βοήθειάς της και την καθοδήγηση κατά τη διάρκεια της εργασίας. Επίσης θέλω να ευχαριστήσω και τους Καθηγητές – εξεταστές κο. Κίττα και Δαναλάτο για τις πολύτιμες συμβουλές. Τέλος θέλω να εκφράσω τις ευχαριστίες στην οικογένειά μου και στους φίλους που με βοήθησαν κατά τη διάρκεια της συγγραφής.

Περιεχόμενα

Περίληψη

Η παρούσα πτυχιακή διατριβή εκπονήθηκε στο εργαστήριο Γεωργικής Υδραυλικής του τμήματος Γεωπονίας Φυτικής Παραγωγής και Αγροτικού Περιβάλλοντος. Τα πειράματα έγιναν στο αγρόκτημα του Πανεπιστημίου Θεσσαλίας στο Βελεστίνο. Μελετήθηκε η αύξηση και η απόδοση σε βιομάζα των φυτών της ποικιλίας FS – 5 του ινώδους σόργου (*Sorghum bicolor* (L.) Moench) κάτω από διαφορετικές συνθήκες άρδευσης. Το πείραμα διεξήχθη το καλοκαίρι του 2001 χρησιμοποιώντας 2 κλασσικές μεθόδους άρδευσης (επιφανειακή στάγδην άρδευση και καταιονιστήρα), ενώ χρησιμοποιήθηκε μία νέα πρωτοποριακή μέθοδος με υπόγεια στάγδην άρδευση, η οποία χρησιμοποιεί τους ίδιους σταλλακτηφόρους με αυτούς της επιφανειακής με τη διαφορά ότι βρίσκονται σε βάθος 45 εκατοστών. Σε όλες τις μεταχειρίσεις χρησιμοποιήθηκαν οι ίδιες ποσότητες νερού, οι οποίες υπολογίζονταν από τις καθημερινές τιμές της εξατμισοδιαπνοής. Η ανάλυση της αύξησης των φυτών έγινε με την συνολική παραγόμενη βιομάζα και με το ύψος φυτών. Βάση αυτών των στοιχείων παρατηρήθηκε η υπεροχή της υπόγειας σε σχέση με τις άλλες μεθόδους άρδευσης (περίπου 18 τόνους το εκτάριο). Η μέγιστη παραγόμενη βιομάζα παρατηρήθηκε στις αρχές Σεπτεμβρίου, ενώ στη συνέχεια επήλθε σταδιακή μείωση της.

Πρόλογος

Τα τελευταία χρόνια η επιστήμη έχει στραφεί στην αναζήτηση νέων εναλλακτικών πηγών ενέργειας φιλικές προς το περιβάλλον. Μία από αυτές τις πηγές είναι και η βιομάζα, η οποία παράγεται από όλα τα φυτά. Όμως κάποια φυτά έχουν τη δυνατότητα μεγάλης παραγωγής βιομάζας και αυτά ονομάζονται ενεργειακά. Ένα χαρακτηριστικό παράδειγμα ενεργειακού φυτού είναι και το σόργο, το οποίο σαν φυτό C4 μπορεί να παράγει μεγάλες ποσότητες βιομάζας, χωρίς να απαιτούνται μεγάλες εισροές στο περιβάλλον. Πολύ σημαντικό για το σόργο, είναι ότι μπορεί να εκμεταλλευθεί μεγάλη ποικιλία εδαφών με αποτέλεσμα να είναι ανταγωνιστική σαν καλλιέργεια. Οι κυριότερες ποικιλίες σόργου που έχουν μεγάλη ενεργειακή συνεισφορά είναι το ινώδες και το γλυκό σόργο.

Το σόργο δεν έχει μεγάλες απαιτήσεις σε νερό, πράγμα που το κάνει ακόμα πιο σημαντικό. Το νερό ως γνωστό είναι το βασικό συστατικό της δομής των κυττάρων των φυτών και είναι απαραίτητο στις περισσότερες καλλιέργειες. Αυτή η μεγάλη αύξηση της ζήτησης του νερού, έχει οδηγήσει σε σημαντικό έλλειμμά του. Για αυτό είναι αναγκαίο σε μία γεωργία φιλική στο περιβάλλον να χρησιμοποιηθούν φυτά που ανέχονται την ξηρασία, όπως είναι το σόργο που αναφέρθηκε, καθώς και καινούριες μέθοδοι άρδευσης. Μία τέτοια μέθοδος είναι η υπόγεια στάγδην άρδευση. Σε πειράματα που έγιναν μέχρι τώρα παρατηρήθηκαν αύξηση της παραγωγής καθώς και καλύτερης ποιότητας προϊόντα. Επίσης στόχος σε κάθε άρδευση είναι η εφαρμογή της σωστής ποσότητας, βάση των αναγκών της, η οποία υπολογίζεται από την εξατμισοδιαπνοή. Επίσης πρέπει να δοθεί σημασία στις παραμέτρους του εδάφους, οι οποίες επηρεάζουν σημαντικά τη χορηγούμενη ποσότητα.

Στο αγρόκτημα έγινε εκτίμηση της παραγόμενης βιομάζας και της αύξησης του σόργου χρησιμοποιώντας 3 διαφορετικές μεθόδους άρδευσης. Στόχος είναι να χρησιμοποιηθεί το σόργο σαν εναλλακτική καλλιέργεια.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1

ΕΝΕΡΓΕΙΑΚΑ ΦΥΤΑ

1.1. Γενικά

Η εξάρτηση της ανθρωπότητας από συμβατικές πηγές ενέργειας, οι οποίες εξαντλούνται και δημιουργούν προβλήματα στο περιβάλλον, με τους ρύπους που εκπέμπουν, οδήγησαν στην εξεύρεση οικονομικών και οικολογικών μορφών ενέργειας. Τέτοιες πηγές ενέργειας ονομάζονται ανανεώσιμες γιατί είναι ανεξάντλητες όπως ο ήλιος, το νερό, ο άνεμος, η βιομάζα κ.ά. Από εικοσιπενταετίας, με την ενεργειακή κρίση, η βιομάζα άρχισε να παίζει όλο και πιο σημαντικό ρόλο στην κάλυψη των ενεργειακών αναγκών του κόσμου, θεωρείται δε ότι είναι μία ανεξάντλητη πηγή ενέργειας, η οποία είναι δυνατό να συμβάλλει σημαντικά στο ενεργειακό ισοζύγιο μιας χώρας, πριν εξαντληθούν τα εθνικά και διεθνή αποθέματα των ορυκτών καυσίμων. Η βιομάζα καλύπτει περίπου το 13% το 1990 στη συνολική πρωτογενή παραγωγή ενέργειας, ενώ για το 2020 η πρόβλεψη είναι να καλύπτει το 38% των παγκόσμιων ενεργειακών αναγκών, που σήμερα ικανοποιούνται με χρήση καυσίμων.

Ο ευρύτερος όρος βιομάζα περιλαμβάνει τα πάσης φύσεως φυτικά υπολείμματα και ζωικά απόβλητα, τα βιομηχανικά στερεά οργανικά απορρίμματα καθώς και τις **ενεργειακές καλλιέργειες**. Ενεργειακές καλλιέργειες είναι φυτά που καλλιεργούνται σχεδόν αποκλειστικά για καύσιμα. Παρόλο που χρησιμοποιείται το ξύλο ως καύσιμο από το Μεσαίωνα, η νέα μορφή των ενεργειακών καλλιεργειών αποτελεί την πιο πρόσφατη και πρωτοποριακή μορφή καυσίμου.

Οι ενεργειακές καλλιέργειες ως ανανεώσιμη πηγή ενέργειας είναι πολύ σημαντικές επειδή μπορούν να αναπτύσσονται έτσι ώστε να αντιμετωπίσουν τις απαιτήσεις της αγοράς. Για αυτό ξεχωρίζουν από τις άλλες ανανεώσιμες πηγές και όταν υπάρχουν θα πρέπει να χρησιμοποιούνται. Η βιομάζα μπορεί να καλύπτει πάντα τις ανάγκες, χωρίς να επηρεάζεται από εξωτερικούς παράγοντες όπως είναι καιρός. Οι

πολυετείς καλλιέργειες προτιμούνται επειδή μικρότερες ποσότητες από αγροχημικά προϊόντα από ότι οι ετήσιες, κάτι που αυξάνει το τελικό ισοζύγιο ενέργειας.

Η Νέα Κοινή αγροτική πολιτική (ΚΑΠ) της Ε.Ε., γνωστή και ως Agenda 2000, στόχος της είναι η ενίσχυση της ανάπτυξης, της ανταγωνιστικότητας και αύξηση της εργασίας στον αγροτικό τομέα. Νέα στοιχεία περιλαμβάνονται μέσα την Agenda 2000, όπως η μείωση των τιμών κάποιων προϊόντων καθώς και εστίαση στην απευθείας ενίσχυση των εισοδημάτων των παραγωγών, αντικαθιστώντας τις επιδοτήσεις. Μέσα από την νέα ΚΑΠ προβλέπονται νέες δράσεις για την παραγωγή ανανεώσιμων ακατέργαστων υλικών για ενεργειακή χρήση. Επισημαίνεται επίσης η σημαντικότητά της στην ανάπτυξη του αγροτικού και περιβαλλοντικού τομέα (17).

1.2 Πλεονεκτήματα της χρήσης ενεργειακών φυτών

Η παγκόσμια αλλαγή του κλίματος που συντελείται τα τελευταία χρόνια, έχει οδηγήσει τους ερευνητές να βρίσκουν νέες πηγές ενέργειας, που δεν παράγουν CO_2 ή σε πολύ μικρή ποσότητα. Η βιομάζα έρχεται να καλύψει τις ανθρώπινες ανάγκες σε ενέργεια. Σε πειράματα αποδείχτηκε ότι η βιομάζα προσφέρει σημαντικά περιβαλλοντικά οφέλη.

Πρώτα από όλα μειώνει τις καθαρές εκπομπές σε αέρια του θερμοκηπίου. Αυτό οφείλεται κυρίως στην αύξηση της οργανικής ουσίας του εδάφους, η οποία δεν απομακρύνεται με τη διάβρωση. Καλλιέργειες πολυετείς έχουν περισσότερα πλεονεκτήματα σε σύγκριση με τις ετήσιες, καθώς απαιτούν πολύ λιγότερη ενέργεια το χρόνο για να παράγουν τη βιομάζα. Τέλος οι ενεργειακές καλλιέργειες αξιοποιούν περισσότερο CO_2 του αέρα σε σχέση τις άλλες καλλιέργειες, καθώς αποτελούν δεξαμενές άνθρακα.

Οι εκπομπές της καύσης της βιομάζας, περιέχουν σχεδόν μηδαμινή ποσότητα SO_x σε σχέση με τα άλλα καύσιμα, αλλά περιέχουν αρκετά υπολογίσιμες ποσότητες NOx. Οι πολυετείς ξυλώδεις καλλιέργειες περιέχουν μικρότερες ποσότητες αζώτου σε σχέση με τις πολυετείς πόες ή τα φυτικά υπολείμματα.

Τέλος βοηθάει σημαντικά τη γονιμότητα του εδάφους καθώς και προστατεύει το έδαφος από διάβρωση. Επίσης τα υπόγεια νερά δεν υφίστανται περισσότερη μόλυνση,

επειδή αυτά τα φυτά έχουν την ικανότητα να αναπτύσσονται χωρίς πολλές απαιτήσεις (ζιζανιοκτόνα, εντομοκτόνα, λιπάσματα) σε σχέση με τις άλλες αροτραίες καλλιέργειες.

Σημαντική είναι η συμβολή τους ακόμα στην ενδημική πανίδα. Η εισαγωγή τους σε διάφορα οικοσυστήματα, βελτιώνει τις συνθήκες διαβίωσης της άγριας ζωής, διατηρεί τη φυσική παραλλακτικότητα και επαναφέρει τις λειτουργίες του οικοσυστήματος. Εδώ πρέπει να τονιστεί ότι το όφελος αυξάνεται όταν χρησιμοποιούνται πολυετή φυτά, καθώς αυτά δεν δημιουργούν μετατροπές στο φυσικό περιβάλλον όπως γίνεται με τα ετήσια (3).

1.3. Υπάρχουσα κατάσταση στην Ελλάδα

Τα τελευταία δέκα χρόνια, γίνονται πειράματα με διάφορες ενεργειακές καλλιέργειες σε διάφορες τοποθεσίες της Ελλάδας. Στόχοι των πειραμάτων αυτών είναι η μελέτη των σταδίων ανάπτυξης, η προσαρμογή των συγκεκριμένων καλλιεργειών στο Ελληνικό κλίμα καθώς και η απόδοση σε βιομάζα, κάτω από διάφορες καλλιεργητικές πρακτικές και συνθήκες. Τα περισσότερα από αυτά τα πειράματα διεξάγονται κυρίως από το ΚΑΠΕ (Κέντρο Ανανεώσιμων Πηγών Ενέργειας) σε συνεργασία με διαφόρους φορείς όπως Πανεπιστήμια και Ιδρύματα (ΕΘ.Ι.ΑΓ.Ε.).Χάρη στο ευνοϊκό κλίμα της Ελλάδας, οι περισσότερες καλλιέργειες έδωσαν υψηλές αποδόσεις, πάνω από 3 τόνους το στρέμμα το χρόνο.

17 Ινστιτούτα των χωρών της Ε.Ε. σε συνεργασία με τα αντίστοιχα της Ελλάδας, συμμετέχουν σε δράση με το όνομα FAIR1 CT95 0512, που έχει ως σκοπό :

1) τη βελτίωση στις υπάρχουσες πληροφορίες στην παραγωγή, διαδικασία και χρησιμοποίηση των ενεργειακών καλλιεργειών

2) την ολοκλήρωση της έρευνας, ανάπτυξης και υλοποίηση δράσεων στις ενεργειακές καλλιέργειες μέσω :

- ✓ Της αναγνώρισης των σύγχρονων και πρακτικών επιτευγμάτων στις καλλιέργειες
- ✓ Την αναγνώριση των ομοιοτήτων και διαφορών (αγροτικές, τεχνικές, οικονομικές, περιβαλλοντικές) των διαφόρων καλλιεργειών
- ✓ Την ίδρυση ενός Ευρωπαϊκού δικτύου που ανταλλάσσει και διαδίδει πληροφορίες για τις ενεργειακές καλλιέργειες

✓ Την αναγνώριση των δομών και τις ειδικές δυσκολίες της κάθε χώρας χωριστά (18)

Οι κυριότερες καλλιέργειες που χρησιμοποιήθηκαν στα πειράματα στην Ελλάδα, χωρίζονται σε δύο μεγάλες κατηγορίες, στα ετήσια και στα πολυετή :

Ετήσιες ενεργειακές καλλιέργειες

- Γλυκό σόργο (*Sorghum bicolor* L. Moench)
- Ινώδες σόργο (*Sorghum bicolor* L. Moench)
- Αβησσινιακή μουστάρδα (*Brassica carinata*)
- Ελαιοκράμβη (*Brassica napus* L.)
- Κενάφι (*Hibiscus cannabinus* L.)

Πολυετείς ενεργειακές καλλιέργειες

- Γιγαντιαίο καλάμι (*Arundo donax* L.)
- Αγκινάρα (*Cynara cardunculus*)
- Ευκάλυπτος (*Eucalyptus globulus*)
- Μίσχανθος (*Miscanthus sinensis X giganteus*)
- Switchgrass (*Panicum vigratum* L.)
- Ψευδοακακία (*Robinia Pesudoacacia*)

Επίσης οι καλλιέργειες αυτές χωρίζονται με βάση το πώς καλλιεργούνται, δηλαδή αν είναι δασικές ή αροτραίες. Στις δασικές ανήκουν ο ευκάλυπτος, η ψευδοακακία κ.ά, ενώ στις αροτραίες ανήκουν το κενάφ, ο μίσχανθος, το σόργο κ.ά.

Θα πρέπει να επισημανθεί ότι τα περισσότερα από τα πειράματα, πραγματοποιήθηκαν σε μικρές εκτάσεις (μέχρι 3 στρέμματα) και μόνο το γλυκό σόργο έγινε σε μεγαλύτερες εκτάσεις. Πρόσφατα η βιομάζα που παράχθηκε από τα φυτά, πέρασε από δοκιμασίες αεριοποιήσεως και πυρόλυσης.

Παρόλο που είναι ενθαρρυντικά τα πειράματα και συμμετέχει σε δράσεις της Ε.Ε. όπως αναφέρθηκε, η ανάπτυξη των ενεργειακών καλλιεργειών στην Ελλάδα είναι πολύ περιορισμένη τα τελευταία χρόνια(1999). Για το 2010 δεν υπάρχουν συγκεκριμένες προβλέψεις, επειδή τώρα καταρτίζεται το εθνικό πρόγραμμα για τις ενεργειακές καλλιέργειες (12).

1.4. Σημαντικές ενεργειακές καλλιέργειες

1.4.1. Κενάφ (*Hibiscus cannabinus*)

Το **κενάφ** είναι μικρής ημέρας, ετήσιο φυτό, με υψηλή απόδοση σε κυτταρίνη. Μπορεί να καλλιεργηθεί σε μεγάλη ποικιλία εδαφικών και κλιματικών συνθηκών, αλλά δεν αντέχει το κρύο. Ένα στραγγερό άμμο-πηλώδες με ουδέτερη αντίδραση με ικανοποιητική ποσότητα οργανικής ουσίας είναι ιδανικό για την ανάπτυξή του. Οι μίσχοι αποτελούνται από κοντές ίνες, ενώ ο φλοιός από μακριές ίνες κατάλληλες για υψηλής ποιότητας χαρτί. Παράγει περίπου 3,5 – 9 τόνους το στρέμμα χλωρό βάρος, ενώ ξηρό βάρος περίπου 0,8 – 2,4 τόνους το στρέμμα (11).

1.4.2. Μίσχανθος (*Miscanthus sinensis* x *giganteous*)

Ο **μίσχανθος** είναι φυτό τύπου C4 με ανατολίτικη προέλευση και στην Ευρώπη καλλιεργούνταν για διακοσμητικούς σκοπούς. Το φυτό μπορεί να πολλαπλασιαστεί μόνο αγενώς καθώς το υβρίδιο είναι στείρο. Ως γνωστόν τα φυτά C4 έχουν την ικανότητα να αφομοιώνουν περισσότερη ηλιακή ακτινοβολία και μπορούν να προσλάβουν το νερό και το άζωτο πιο αποτελεσματικά. Εκτός της μεγάλης αξίας του στον αγρό, ικανοποιεί τις απαιτήσεις ως καλλιέργεια βιομάζας για παραγωγή ενέργειας για οικοδομικά υλικά. Επίσης έχει αξιοσημείωτα χαρακτηριστικά για σκοπούς πολτοποίησης. Είναι φυτό που αντέχει στις πολύ χαμηλές θερμοκρασίες. Στις συνθήκες που επικρατούν στην περιοχή της Νότιας Ευρώπης (Ελλάδα, Ιταλία) θα ήταν απαραίτητο να ποτίζεται έτσι ώστε να έχει ικανοποιητική παραγωγή, σε αντίθεση με τις περιοχές της Βόρειας Ευρώπης όπου δεν απαιτείται άρδευση. Στην Ελλάδα, το μέσο ύψος φτάνει στα 3 μέτρα και η απόδοση

σε ξηρό βάρος είναι περίπου 2,6-3,2 τόνους το στρέμμα ανά χρόνο κάτω από ιδανικές συνθήκες άρδευσης και λιπάσματος, ενώ κάτω από ξηρικές συνθήκες το ύψος ήταν περίπου το μισό 1,5 μέτρα, ενώ η ξηρό βάρος είναι περίπου 1,7 τόνους το στρέμμα. Τέλος το ενεργειακό όφελος εκτιμάται σε 1,4 toe/στρέμμα/χρόνο (4).

1.4.3. Διάφορες καλλιέργειες

Η **Αβησσινιακή μουστάρδα** (*Brassica carinata*) θεωρείται μία δυνητική καλλιέργεια για παραγωγή βιομάζας και μη βρώσιμου ελαίου. Σε πειράματα που έγιναν στην Ελλάδα έδειξαν ότι είναι φυτό που ευδοκιμεί στις συνθήκες της Μεσογείου. Παράγει χλωρό βάρος περίπου 1,2 με 2 τόνους το στρέμμα, ενώ ξηρό βάρος περίπου 0,5-0,6 τόνους το στρέμμα.

Άλλή γνωστή καλλιέργεια είναι το **γιγαντιαίο καλάμι** (*Arudo donax*), το οποίο μπορεί να καλύψει τις ανάγκες της Ε.Ε. σε ενέργεια, χαρτί και άλλες βιομηχανικές χρήσεις. Είναι ενδημικό των Μεσογειακών χωρών και πολυετές. Φτάνει σε ύψος 7 μέτρα και παράγει σε φθινοπωρινές κοπές 6 τον/στρ χλωρό βάρος και 3 τον/στρ ξηρό βάρος.

Η **αγκαθωτή αγκινάρα** (*Cynara cardunculus*), είναι πολυετές φυτό, που καλλιεργείται παραδοσιακά στη Μεσόγειο, για ανθρώπινη κατανάλωση. Έχει προσαρμοστεί σε ημιάνυδρες περιοχές, με ικανοποιητικές βροχοπτώσεις το χειμώνα. Η κοπή γίνεται το καλοκαίρι, όπου αρχίζει καινούριο κύκλο από τους υπόγειους οφθαλμούς. Μπορεί να παράγει 1,7 – 3,2 τον/στρ, ανάλογα με την πυκνότητα των φυτών (4,11).

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2

ΣΟΡΓΟ

2.1. Γενικά

Κατάγεται από την κεντρική Αφρική και για πολλές χιλιετηρίδες η καλλιέργεια ήταν περιορισμένη στην Αφρική και στην Ασία. Σήμερα καλλιεργείται στην Αμερική και σε περιορισμένες εκτάσεις στην Ευρώπη. Η εξάπλωση του σόργου σε όλο τον κόσμο φαίνεται στην εικόνα 2.1. Το σόργο καλλιεργείται για διάφορους σκοπούς αλλά κυρίως για τον καρπό, για το σανό (χορτοδοτικό), σε μικρές εκτάσεις σαν ζαχαροφόρο και τέλος για την κατασκευή σκούπας. Επίσης τα τελευταία χρόνια καλλιεργείται για την παραγωγή βιομάζας. Στην Ελλάδα καλλιεργείται σε περιορισμένη έκταση και κυρίως στην Θράκη για την παραγωγή σαρώθρων. Στην εικόνα 2.2. παρατηρούμε τυπικά φυτά σόργου κατά τη μέση της καλλιεργητικής περιόδου.

2.2. Βοτανική ταξινόμηση

Το σόργο ανήκει στην οικογένεια των αγρωστωδών (Poaceae ή Graminae). Τα είδη τα οποία καλλιεργούνται κατά κόρον είναι το *Sorghum bicolor* και το *S. Sudanense.*

Εικ. 2.1. Γεωγραφική εξάπλωση του σόργου σε όλο τον κόσμο.(Με κόκκινο χρώμα ορίζεται η περιοχή καταγωγής, ενώ με πράσινο η περιοχή εξάπλωσής του)

Στο πρώτο είδος κατατάσσονται τα καρποδοτικά, τα σακχαρώδη και το σόργο για την κατασκευή σκούπας, ενώ στο άλλο είδος τα χορτοδοτικά. Στο ίδιο γένος ανήκει και το γνωστό δυσκολοεξόντωτο και επιβλαβές ζιζάνιο βέλιουρας (*Sorghum halepense*).

2.3. Βοτανικά γνωρίσματα

Είναι φυτό μόνοικο με άνθη διγενή ή μονογενή (οι καλλιεργούμενες ποικιλίες έχουν μονοκλινή φυτά). Η ταξιανθία του είναι φόβη. Τα σταχύδια είναι διανθή με ένα γόνιμο άνθος το οποίο δεν έχει ποδίσκο και ένα άγονο συνήθως με ποδίσκο. Το γόνιμο άνθος αποτελείται όπως το σιτάρι από 2 λέπυρα, 3 στήμονες, 1 ύπερο με μονόχωρη ωοθήκη, 2 στύλους και 2 γλωχίνες (που είναι βάση του ύπερου). Η ταξιανθία έχει μήκος 20-70 εκ. Η άνθηση διαρκεί περίπου 6-15 ημέρες και αρχίζει από την κορυφή προς την βάση. Το φυτό αυτογονιμοποιείται και σταυρογονιμοποιείται σε ίση αναλογία.

Εικόνα 2.2. Τυπικά φυτά σόργου (περίοδος μέσα Ιουλίου)

Ο βλαστός του σόργου είναι καλάμι και μπορεί να φτάσει σε ύψος τα 5,5 μέτρα. Κάθε στέλεχος αποτελείται από 7-10 κατακόρυφα μεσογονάτια διαστήματα, τα οποία

έχουν 4ένα αυλάκι σε εναλλάξ διάταξη εκτός από το τελευταίο. Το σόργο αδελφώνει πολύ, και αυτά αναπτύσσονται από τους οφθαλμούς της βάσης. Τα φύλλα εκπτύσσονται από κάθε κόμπο του στελέχους. Το φύλλο διακρίνεται στο έλασμα και στον κολεό. Το έλασμα του σόργου διακρίνεται από εκείνο του καλαμποκιού από το ότι φέρει δοντάκια περιφερειακά. Επίσης η επιφάνεια του ελάσματος είναι λεία και έχουν σαφώς μικρότερο μέγεθος.

Το ριζικό σύστημα διακρίνεται σε εμβρυακό και μόνιμο. Το εμβρυακό σύστημα αποτελείται μόνο από μία ρίζα σε αντίθεση με το καλαμπόκι το οποίο έχει περισσότερες από τρεις. Η ρίζα αυτή αυξάνεται μέχρι την άνθηση και διατηρείται για όλο το βιολογικό κύκλο του φυτού. Το μόνιμο ριζικό σύστημα είναι θυσανωτό και εκφύεται από τους κόμπους του στελέχους που βρίσκονται κοντά στην επιφάνεια του εδάφους. Επίσης μπορεί να εμφανιστούν επιγενείς ή εναέριες ρίζες, δηλαδή ρίζες οι οποίες εκφύονται από κόμπους που βρίσκονται πάνω από την επιφάνεια του εδάφους.

Ο καρπός είναι καρύοψη σε σχήμα σφαιρικό ή ωοειδές, χρώματος άσπρου ή καφέ ή κόκκινου ή κίτρινου. Το βάρος 1000 σπόρων είναι 7-40 γρ. και εξαρτάται από την ποικιλία ή σκοπό χρήσης του σόργου (5,19).

2.4. Οικολογικές απαιτήσεις

Κλίμα : Είναι φυτό θερμών και ξηρών περιοχών για αυτό το λόγο ονομάζεται και φυτό «καμήλα». Φυτρώνει στους 7-10°C αλλά αμέσως μετά απαιτεί μεγαλύτερες θερμοκρασίες, για αυτό συνήθως σπέρνεται μετά από το καλαμπόκι. Ελάχιστη θερμοκρασία ανάπτυξης είναι στους 15°C και άριστη στους 27-32°C. Πάνω από τους 37°C παρατηρείται ανάσχεση ανάπτυξης του φυτού.

Έδαφος : Δεν έχει ιδιαίτερες απαιτήσεις ως προς το έδαφος. Αποδίδει σε όλους τους τύπους εδαφών, αλλά μπορεί να αναπτυχθεί σε προβληματικά εδάφη (αλατούχα, αλκαλιωμένα).

Μπορεί κάτω από αντίξοες συνθήκες ή περιοχές με μικρό βροχομετρικό ύψος ή πτωχά εδάφη μπορεί να αντικαταστήσει το καλαμπόκι, το οποίο απαιτεί πιο ευνοϊκές συνθήκες για να αποδώσει ικανοποιητικά (5,19).

2.5. Καλλιέργεια

Αμειψισπορά : Μπορεί να ακολουθήσει οποιαδήποτε καλλιέργεια, αλλά είναι προτιμότερο να ακολουθεί μετά από ψυχανθή και κατά δεύτερο λόγο από αγρωστώδη. Αποτελεί πολύ κακό προηγούμενο άλλων καλλιεργειών διότι εξαντλεί το έδαφος από θρεπτικά στοιχεία και νερό. Επίσης αναπτύσσει μεγάλες ποσότητες σακχάρων τα οποία επιτρέπει να αναπτυχθούν διάφοροι μικροοργανισμοί οι οποίοι ανταγωνίζονται με τα φυτά που θα ακολουθήσουν το άζωτο.

Προετοιμασία του εδάφους : Επειδή το σόργο έχει μικρό σπόρο απαιτείται καλή κατεργασία για την επίτευξη κατά κύριο κατάλληλης σποροκλίνης, διατήρηση της εδαφικής υγρασίας και την καταστροφή των ριζωμάτων ή σπόρων των ζιζανίων. Συνιστάται ένα θερινό όργωμα ή φθινοπωρινό και σβαρνίσματα λίγο πριν τη σπορά.

Σπορά : Το σόργο συνήθως σπέρνεται όπως αναφέρθηκε χρονικά μετά από το καλαμπόκι στην άνοιξη. Επιθυμητή είναι η πρώιμη σπορά, όταν θα έχει ισορροπήσει η θερμοκρασία στους 16°C. Συνήθως ο σπόρος πριν χρησιμοποιηθεί απολυμαίνεται με ειδικά μυκητοκτόνα και εντομοκτόνα. Η σπορά είναι γραμμική και οι αποστάσεις εξαρτώνται από τη χρήση του φυτού. Αν σκοπεύετε να το χρησιμοποιηθεί για την παραγωγή χορτοδοτικού, οι αποστάσεις των γραμμών είναι 35-40 εκ., ενώ στο καρποδοτικό οι αποστάσεις είναι 60-80 εκ. Σε περίπτωση που η καλλιέργεια είναι ξηρική τότε οι αποστάσεις είναι ακόμα μεγαλύτερες και αγγίζουν τα 100 εκ. Συνήθως για το χορτοδοτικό απαιτούνται περί τα 3-4 κιλά σπόρο, 2-2,5 κιλά για το καρποδοτικό. Επιθυμητό βάθος σποράς είναι τα 3-4 εκ. από την επιφάνεια του εδάφους. Η σπορά γίνεται με τις κλασσικές σπαρτικές σίτου. Μετά την σπορά συνίσταται να γίνεται κυλίνδρισμα έτσι ώστε να φυτρώσει καλύτερα ο σπόρος.

Λίπανση : Το σόργο αντιδρά πολύ καλά στην αζωτούχο και στην φωσφορική λίπανση. Συνήθως απαιτούνται περίπου 14 μονάδες άζωτο, 4-6 μονάδες φώσφορο και 4-7 μονάδες κάλιο. Σε περίπτωση υπερβολικής λίπανσης αζώτου τότε παρατηρείται οψίμιση της

καλλιέργειας, ενώ αυξάνεται η ποσότητα του γλυκοζιδίου ντουρίνη το εκλύει υδροκυάνιο και είναι τοξικό για τα ζώα. Στην περίπτωση που δεν βρέξει πρέπει η καλλιέργεια να ποτίζεται.

Συγκομιδή – Αποθήκευση: Όταν πρόκειται να χρησιμοποιηθεί το σόργο σαν χορτοδοτικό απαιτείται να γίνονται οι κοπές όταν αρχίζουν να εμφανίζονται οι ταξιανθίες και τα φυτά έχουν ύψος 1 μέτρο περίπου. Συνήθως γίνονται 3-4 κοπές αναλόγως των συνθηκών των καλλιεργειών. Στην περίπτωση που η καλλιέργεια είναι καρποδοτική τότε κρίνεται σκόπιμο να γίνει σε μία συγκομιδή, όταν οι εμφανιστεί η μαύρη κηλίδα στον ποδίσκο του καρπού. Συνήθως η συγκομιδή του καρπού γίνεται 7-10 ημέρες αργότερα όταν η υγρασία πέσει στο 15-20%. Τέλος η καλλιέργεια μπορεί να ενσιρωθεί σαν ζωοτροφή. Αυτή η ζωοτροφή είναι πιο εύγεστη και είναι απαλλαγμένη από το γλυκοζίδιο ντουρίνη το οποίο είναι τοξικό για τα ζώα όπως αναφέρθηκε.

Άλλες εργασίες : Πολλές φορές απαιτείται να γίνεται ζιζανιοκτονία με επιλεκτικά ζιζανιοκτόνα όπως το 2,4-D ή με μηχανικά μέσα όπως σκαλιστήρια. Σε μικρό στάδιο δεν μπορεί να ανταγωνιστεί τα ζιζάνια, αλλά λόγω της ταχύτατης ανάπτυξής του γίνεται ισχυρός ανταγωνιστής (5,19).

2.6. Θρεπτική αξία – Προϊόντα

Η θρεπτική αξία του σανού είναι παρόμοια με τα άλλα αγροστώδη. Στο πίνακα 1 φαίνεται η σύσταση του σανού, του ενσιρώμενου και 100 γρ. σπόρου σόργου. Ο σανός θεωρείται πολύ καλός για ζώα εργασίας και κρεοπαραγωγικά βοοειδή, ενώ υστερεί για αγελάδες γαλακτοπαραγωγής όπου κατά κύριο λόγο χρησιμοποιείται η μηδική. Το σόργο είναι πολύ σημαντικό για παγκόσμια ανθρώπινη κατανάλωση, αφού εξαρτώνται 300 εκατομμύρια άνθρωποι. Ο σπόρος του σόργου χρησιμοποιείται όπως και το ρύζι, δηλαδή ως φαγώσιμο, ή μπορεί να αλεσθεί και να παραχθεί αλεύρι. Το σόργο χρησιμοποιείται, λόγω της μεγάλης περιεκτικότητας σε σάκχαρα, για την παραγωγή σιροπιού, ενώ ακόμα δεν φτιάχτηκε οικονομικά εφικτός τρόπος εξαγωγής κρυσταλλικής ζάχαρης. Μπορεί από

το σπόρο να παραχθεί μπύρα τύπου Kiffer, ενώ το καψαλισμένο σπόρο χρησιμοποιείται ως υποκατάστατο του καφέ.

Ο σπόρος αναφέρεται ότι έχει πολλές φαρμακευτικές ιδιότητες όπως καταπραϋντικές, διουρητικές, μαλακτικές, αντιοξειδωτικές ενώ επίσης έχει ευεργετικές ιδιότητες κατά την εγκυμοσύνη. Υπάρχουν αναφορές, κυρίως από την λαϊκή παράδοση, που λένε ότι είναι γιατρικό για το καρκίνο, την επιληψία και για το στομαχόπονο. Στην νότια Ροδεσία οι ρίζες του φυτού χρησιμοποιούνται για την ελονοσία, οι σπόροι για ασθένειες στήθους και τη διάρροια, ενώ ο μίσχος για τη φυματίωση. Στην Ινδία το φυτό θεωρείται ανθελμινικό και εντομοκτόνο και στην Νότια Αφρική σε συνδυασμό με το *Erigeron canadense* L., χρησιμοποιείται για έκζεμα. Στην Κίνα, όπου οι σπόροι χρησιμοποιούνται για την παραγωγή οινοπνεύματος, το κέλυφος του σπόρου σιγοψήνεται με καφέ ζάχαρη και λίγο νερό έτσι ώστε να αντιμετωπίσει την ιλαρά. Σύμφωνα με τον Morton οι ιθαγενείς του νησιού Curacao πίνουν το αφέψημα των φύλλων για την ιλαρά, ενώ αλέθουν τους σπόρους με εκείνα της κολοκυθιάς (*Cresentia*) για ασθένειες του πνεύμονα. Οι κάτοικοι της Βενεζουέλας ζεσταίνουν και πολτοποιούν τους σπόρους για την διάρροια. Οι Βραζιλιάνοι πίνουν το αφέψημα των σπόρων για τις βρογχίτιδες, το βήχα και άλλες ασθένειες του στήθους, πιθανόν χρησιμοποιούν την στάχτη για την βρογχοκήλη. Οι κάτοικοι της Αρούμπα βάζουν κατάπλασμα στην πλάτη εκείνον που υποφέρουν από πνευμονική συμφόρηση. Σύμφωνα με τη βοτανική του Grieve, ένα αφέψημα από 50 γρ. σπόρου διαλυμένα σε 1 λίτρο νερό, βράζεται έτσι ώστε να μειωθεί ο όγκος στο μισό, χρησιμοποιείται για τα νεφρά και τις παθήσεις του ουρικού συστήματος.

Κυρίως το ινώδες και το σακχαρώδες σόργο παράγουν πολύ καλή ποιότητα βιομάζας, η οποία χρησιμοποιείται για την παραγωγή βιοαιθανόλης και στερεών βιοκαυσίμων, τα οποία χρησιμοποιούνται κυρίως στις μεταφορές και στην παραγωγή θερμικής και ηλεκτρικής ενέργειας. Τέλος πρέπει να αναφερθεί ότι από αυτά τα είδη σόργου παράγεται και χαρτοπολτός και υλικά οικοδομικών υλικών (13).

2.7. Εχθροί – Ασθένειες

Οι πιο συνηθισμένοι εχθροί είναι οι σιδηροσκώληκες (*Agriotes sp.*) , το πράσινο σκουλήκι (*Heliothis armigera*) το οποίο τρώει τα φύλλα και τους σχηματιζόμενους καρπούς. Σημαντικοί εχθροί επίσης είναι η μύγα του σόργου του οποίου η προνύμφη διεισδύει μέσα στο στέλεχος του φυτού και δημιουργεί στοές. Τέλος πρέπει να αναφερθεί η σεσάμια (*Sesamia nonagrioides*), της οποίας η προνύμφη κάνει παρόμοιες με τη μύγα του σόργου. Μεγάλο του καρποδοτικού σόργου είναι τα πουλιά τα οποία τρώνε την ταξικαρπία του φυτού και μειώνουν την απόδοση.

Οι σπουδαιότερες ασθένειες είναι οι τήξεις φυταρίων, οι οποίες είναι πολύ έντονες σε χαμηλές θερμοκρασίες. Επίσης πρέπει να αναφέρουμε τις σηψιρρίζιες που προκαλούν νανισμό και θάνατο των φυτών, τις σήψεις που προκαλούν πλάγιασμα και πρώιμη ωρίμανση, τις σκωριάσεις και τους άνθρακες. Συνήθως αντιμετωπίζονται με τη χρήση κατάλληλων μυκητοκτόνων ή χρησιμοποίηση ανθεκτικών ποικιλιών στις ασθένειες ή ακόμα και με αμειψισπορά. Επίσης προλαμβάνονται τα προβλήματα με κατάλληλη επένδυση του σπόρου καθώς και καταστροφή προσβεβλημένων ταξιανθιών (5,19).

2.8 Είδη σόργου που χρησιμοποιούνται ως ενεργειακή καλλιέργεια

2.8.1. Ινώδες σόργο

Το ινώδες σόργο αποτελεί υβρίδιο του καρποδοτικού σόργου και του σόργου για την κατασκευή σκούπας. Παρόλο που έχει τροπική προέλευση, μπορεί να αναπτυχθεί σε υποτροπικές και εύκρατες περιοχές, ενώ κάποια υβρίδια παρουσίασαν μεγάλη απόδοση σε Μεσογειακές συνθήκες. Είναι ετήσιο φυτό με μεγάλη φωτοσυνθετική ικανότητα, μεγάλη παραγωγή βιομάζας, με αντοχή στην ξηρασία και μικρές απαιτήσεις σε άζωτο. Έχει μικρή περιεκτικότητα σε ζάχαρη (9-12%), ενώ η υψηλή ενεργειακή του αξία οφείλεται στο υψηλό ποσοστό σε λινοκυτταρικές ίνες (περίπου 2 τον/στρ) που περιέχει. Το ριζικό σύστημα είναι πολύ αναπτυγμένο με πολλές πλάγιες ρίζες και πολύ αποτελεσματικό, κάτι που κάνει το φυτό πολύ ανεκτικό στις συνθήκες ξηρασίας, ενώ

είναι ικανό να κινητοποιεί το φυσικό άζωτο και τα θρεπτικά συστατικά στο έδαφος. Επίσης το εκτεταμένο ριζικό σύστημα σε συνδυασμό με τους πυκνούς πληθυσμούς, μειώνει τον κίνδυνο της διάβρωσης του εδάφους σε λοφώδεις περιοχές ή σε πλαγιές.

Το ινώδες σόργο μπορεί να φυτρώσει σε μεγάλο εύρος εδαφών με pH 5 ως 8 και σε εδάφη με μεγάλη αλατότητα, αλκαλικότητα και στράγγιση. Εδάφη όξινα και βαριά θα πρέπει να αποφεύγονται.

Το ινώδες σόργο σπέρνεται την άνοιξη, όταν η θερμοκρασία του εδάφους είναι περίπου 15°C. Οι αποστάσεις των σειρών είναι 70 εκατοστά, ενώ τα φυτά σπέρνονται ανά 10-20 εκ. επί της σειράς. Με τις ελληνικές συνθήκες απαιτούνται 300-700 mm άρδευση, ανάλογα φυσικά με την περιοχή στην οποία καλλιεργείται. Οι απαιτήσεις σε λίπανση είναι μικρές και συνήθως παρέχονται 5 μονάδες N. Η απόδοση σε χλωρό βάρος φτάνει τους 9 τον/στρ, ενώ για ξηρό τους 3 τον/στρ. Γνωστές ποικιλίες ινώδους σόργου είναι η ABF 306, η NK 506, η H132 και η FS 5 (10).

2.8.2. Γλυκό σόργο

Σε αντίθεση με το ινώδες, το γλυκό σόργο έχει υψηλό ποσοστό από εύκολα ζυμούμενα σάκχαρα, ενώ έχει οργανικά καύσιμα (ίνες). Η χρησιμοποίησή του για την παραγωγή βιοκαυσίμων έχει σημαντικά πλεονεκτήματα καθώς και καθοριστικά μειονεκτήματα.

Πλεονεκτήματα :

- Υψηλή απόδοση βιομάζας
- Μικρές απαιτήσεις σε άζωτο
- Εύκολη εγκατάσταση με χαμηλό κόστος

Μειονεκτήματα :

- Είναι ευάλωτο στο τίναγμα σε συνθήκες με έντονους ανέμους
- Χαρακτηρίζεται από μικρή περίοδο επεξεργασίας για παραγωγή βιοαιθανόλης
- Ανάγκη για χρησιμοποίηση ειδικού μηχανήματος συγκομιδής που να ξεχωρίζει τα φύλλα από τους μίσχους.

Σε γενικές γραμμές οι απαιτήσεις είναι παρόμοιες με αυτές που απαιτούνται για την καλλιέργεια του ινώδους σόργου. Η απόδοση του χλωρού βάρους είναι περίπου 9 τον/στρ και του ξηρού βάρους κάπου στους 2 τον/στρ. Σε ιδανικές συνθήκες ποτίσματος και λιπάνσεως, η παραγωγή αιθανόλης εκτιμάται στα 670 λίτρα στο στρέμμα. Ποικιλίες γλυκού σόργου είναι η SOFRA, η KORALL, η COWLEY, η KELLER και η MN 1500 (2,9).

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3

Ανάγκες των καλλιεργειών σε νερό

3.1 Γενικά

Με την άρδευση των καλλιεργειών, έχουμε ως αντικειμενικό σκοπό τη μεγιστοποίηση της παραγωγής σε συνδυασμό με υψηλή ποιότητα του προϊόντος. Όμως σε μια εποχή που περιορίζονται συνεχώς οι υδατικοί πόροι, αλλά και το κόστος της χρήσης του νερού για αρδευτικό σκοπό γίνεται όλο και πιο ακριβότερο καθώς και η αναγκαστική μείωση της μόλυνσης των υπογείων νερών με αγροχημικά, που επιβάλλεται για περιβαλλοντικούς λόγους, αναγκάζει τους παραγωγούς να χρησιμοποιήσουν πιο ορθολογικά το νερό. Οι ανάγκες του νερού πρέπει να υπολογίζονται βάση στους κλιματικούς παράγοντες, καθώς και από την διαδρομή, μονοπάτι, του νερού μέσα στο φυτό και στο έδαφος. Το νερό που απομακρύνεται με τις παραπάνω διαδικασίες λέγεται **εξατμισοδιαπνοή (20)**.

3.2 Εξατμισοδιαπνοή

Με τη διαδικασία της άρδευσης, επιτρέπεται στο φυτό να απορροφήσει το νερό μαζί με τα διαλυμένες ουσίες που βρίσκονται μέσα σε αυτό. Όμως κάποια από την ποσότητα που πέφτει στο έδαφος απομακρύνεται με την εδαφική εξάτμιση, ενώ κάποια άλλη ποσότητα απομακρύνεται με τη διαπνοή των φυτών. Η εδαφική εξάτμιση είναι το απευθείας μονοπάτι του νερού από το έδαφος προς την ατμόσφαιρα ως ατμός. Το νερό το οποίο απορροφάται από τα φυτά με τις ρίζες, φτάνει στα φύλλα και στις άλλες φυτικές επιφάνειες (βλαστοί κ.ά), και από εκεί απομακρύνεται με τη μορφή των υδρατμών στην περιβάλλουσα ατμόσφαιρα του φυλλώματος. Η μετακίνηση του νερού από τα φύλλα στην ατμόσφαιρα είναι μία διαδικασία εξάτμισης. Για να εξατμιστεί ένα γραμμάριο νερού απαιτούνται περίπου 590 θερμίδες. Η ενέργεια που απαιτείται για την εξάτμισή του προέρχεται από το ήλιο. Όταν οι υδρατμοί εγκαταλείψουν την καλλιέργεια γίνονται

μέρος της ατμόσφαιρας και υπόκεινται σε όλες τις διαδικασίες που αποσκοπούν στην ομογενοποίηση σε ότι αφορά την πυκνότητα, τη σύνθεση και τη θερμοκρασία του αέρα που περιβάλλει το φύλλωμα. Η ένταση της ροής του νερού από το φύλλωμα προς την ατμόσφαιρα είναι μεγαλύτεροι όταν έχει προηγηθεί άρδευση ή βροχόπτωση, δηλαδή έχει υψηλά ποσοστά υγρασίας. Επίσης εξαρτούνται από τη θερμοκρασία και τους μηχανισμούς μετακίνησης του αέρα που περιβάλλει τα φυτά. Με τα παραπάνω συμπεραίνεται ότι η εξατμισοδιαπνοή της καλλιέργειας διαμορφώνεται : α)από τα χαρακτηριστικά της καλλιέργειας και το ποσοστό κάλυψης του εδάφους από το φύλλωμα και β) από κλιματικούς παράγοντες. Για να γίνεται αξιόπιστη μέτρηση της εξατμισοδιαπνοής, πρέπει να έχουμε σωστή εκτίμηση των παραμέτρων που έχουν σχέση με την καλλιέργεια και το κλίμα.

Θα μπορούσαμε να ορίσουμε ως ανάγκες σε νερό της καλλιέργειας και προσδιορίζεται από την εξατμισοδιαπνοή καλλιέργειας (ET_c), την ποσότητα εκείνη του νερού που επιτυγχάνει την βέλτιστη απόδοσή της. Η εξατμισοδιαπνοή καλλιέργειας (ET_c) είναι το νερό που καταναλώνεται από μια καλλιέργεια που είναι απαλλαγμένη από ασθένειες, αναπτύσσεται σε μεγάλες εκτάσεις, χωρίς περιορισμούς στα θρεπτικά στοιχεία και το νερό. Κατά τον ορισμό αυτό η ET_c είναι ισοδύναμη με τη μέγιστη εξατμισοδιαπνοή(ET_{max}). Η κατανάλωση νερού που πραγματοποιείται από μια καλλιέργεια κάτω από συγκεκριμένες συνθήκες ενός χωραφιού (πλήρης ή μερική διαθεσιμότητα θρεπτικών στοιχείων, προσβολή ή μη από ασθένειες κ.ά) ονομάζεται πραγματική εξατμισοδιαπνοή που έχει ως μέγιστο την ET_{max}.

Η εξατμισοδιαπνοή καλλιέργειας εξαρτάται κυρίως από τις κλιματικές συνθήκες. Οι κυριότερες κλιματικές συνθήκες που την επηρεάζουν είναι η θερμοκρασία αέρος, η υγρασία, η ηλιακή ακτινοβολία και η ταχύτητα του ανέμου. Υψηλή θερμοκρασία αέρα, χαμηλή σχετική υγρασία, καθαρός ουρανός και δυνατοί άνεμοι προκαλούν μεγάλη εξάτμιση. Μπορεί η καλλιέργεια να μην καλύπτει τις ανάγκες της χρησιμοποιώντας μόνο τις κλιματικές παραμέτρους. Όμως αποτελεί την δυνητική εξατμισοδιαπνοή ή εξατμισοδιαπνοή αναφοράς (ET_r), η οποία ορίζεται ως η εξατμισοδιαπνοή μίας καλλιέργειας που αναπτύσσεται ομοιόμορφα σε ύψος 8 ως 15 εκ. πάνω από το έδαφος, με επάρκεια νερού άρδευσης. Τέτοια καλλιέργεια θεωρείται ένας εκτεταμένος χορτοτάπητας, ενώ κάποιοι άλλοι θεωρούν ότι είναι η μηδική με ύψος 50 εκ..

Όμως η εξατμισοδιαπνοή καλλιέργειας εξαρτάται και από τα χαρακτηριστικά της καλλιέργειας. Τέτοια χαρακτηριστικά είναι η ανακλαστικότητα της καλλιέργειας, δηλαδή το ποσοστό των ηλιακών ακτινοβολιών που ανακλάται. Επίσης επηρεάζεται από το ποσοστό κάλυψης του εδάφους από την καλλιέργεια, το ύψος της καλλιέργειας, την τραχύτητα του φυλλώματος, το βάθος και την πυκνότητα του ριζικού συστήματος καθώς τέλος και από το στάδιο ανάπτυξης της καλλιέργειας.

Ο υπολογισμός της εξατμισοδιαπνοής καλλιέργειας υπολογίζεται από το γινόμενο της εξατμισοδιαπνοής αναφοράς με το φυτικό συντελεστή k_c, ο οποίος εκφράζει τις παραμέτρους που αναφέρθηκε παραπάνω χωρίς τους κλιματικούς, και παίρνει τιμές μεταξύ 0 και 1.

Ο υπολογισμός της εξατμισοδιαπνοής αναφοράς γίνεται στηριζόμενος σε μετρήσιμες κλιματικές παραμέτρους. Κατά καιρούς αναπτύχθηκαν διάφοροι μέθοδοι για τον υπολογισμό της εξατμισοδιαπνοής αναφοράς, οι οποίες διέφεραν κυρίως ως προς τον αριθμό των κλιματικών παραμέτρων που χρησιμοποιούν. Η πρώτη μέθοδος η οποία χρησιμοποιήθηκε ήταν η Blanney-Griddle, η οποία χρησιμοποιούσε μόνο τη θερμοκρασία. Αργότερα το 1970, η Soil Conservation Service (SCS) εισήγαγε μία σχέση που περιλάμβανε δύο παραμέτρους, ένα κλιματικό και ένα φυτικό. Το 1977 οι Doorenbos και Pruitt τροποποίησαν ριζικά την αρχική σχέση χρησιμοποιώντας περισσότερες παραμέτρους, όπως ο άνεμος και η ηλιακή ακτινοβολία, μέθοδος γνωστή και ως FAO–24. Η τροποποιημένη μέθοδος Penman κατά FAO-24 ήταν για πολλά χρόνια η πιο ακριβής μέθοδος υπολογισμού της εξατμισοδιαπνοής αναφοράς. Η μέθοδος που εφαρμόζεται τα τελευταία χρόνια είναι η συνδυασμένη μέθοδος Penman-Monteith κατά FAO-56, η οποία είναι η πιο σύνθετη μέθοδος που έχει χρησιμοποιηθεί και η πιο ακριβής, όσο γίνεται η εφαρμογή της (6,20).

3.3. Φυτικοί συντελεστές

Η διαφοροποίηση της εξατμισοδιαπνοής καλλιέργειας (ET_c) από την εξατμισοδιαπνοή αναφοράς (ET_r) εκφράζεται από το φυτικό συντελεστή kc, έτσι που να διαμορφώνεται η γενική σχέση:

$ET_c = k_c * ET_r$

Όπως αναφέρθηκε παραπάνω οι φυτικοί συντελεστές εξαρτούνται από παράγοντες που αφορούν αποκλειστικά στη δομή του φυτού, στις ειδικές συνθήκες που υπάρχουν σε κάθε χωράφι καθώς και σε ποιο στάδιο ανάπτυξης βρίσκεται το φυτό. Ο συνδυασμός τριών κυρίων χαρακτηριστικών διακρίνουν την ET_c από την ET_r και είναι:

Α) το ύψος καλλιέργειας

Β) η αντίσταση μικτής επιφάνειας εδάφους-καλλιέργειας

Γ) η ανακλαστικότητα της μικτής επιφάνειας εδάφους-καλλιέργειας

Οι μονοετείς καλλιέργειες έχουν πιο έντονες μεταβολές μέσα σε μία καλλιεργητική περίοδο σε σχέση με τις δενδρώδεις καλλιέργειες, και αυτό γιατί αλλάζει το ποσοστό κάλυψης του εδάφους.

Οι φυτικοί συντελεστές προσδιορίζονται από πειραματικά δεδομένα και από κλιματολογικά δεδομένα. Η τιμή των συντελεστών επηρεάζεται από τα χαρακτηριστικά της καλλιέργειας, την εποχή σποράς ή φύτευσης, ο ρυθμός ανάπτυξης της καλλιέργειας, η διάρκεια της βλαστικής περιόδου και τέλος οι εδαφικές και κλιματικές συνθήκες μίας συγκεκριμένης περιοχής.

Στα φυτά μεγάλης καλλιέργειας και στα κηπευτικά, οι φυτικοί συντελεστές προσδιορίζονται αφού η βλαστική περίοδος χωριστεί στα παρακάτω στάδια ανάπτυξης :

Στάδιο 1 (αρχικό ή στάδιο εγκατάστασης) : από την ημερομηνία σποράς ή μεταφύτευσης μέχρι την οριστική εγκατάσταση της καλλιέργειας, όταν η φυτοκάλυψη είναι περίπου 10%.

Στάδιο 2 (ταχείας ανάπτυξης ή στάδιο κύριας βλάστησης) : από το τέλος του προηγούμενου σταδίου ως ότου το ποσοστό φυτοκάλυψης είναι 70-80%, χαρακτηρίζεται από την έντονη ανάπτυξη των φυτών και η μεταβολή αυτή θεωρείται γραμμική, μπορεί δε να υπολογισθεί για οποιοδήποτε χρόνο σαν συνάρτηση των τιμών k_c του προηγούμενου και επόμενου σταδίου.

Στάδιο 3 (πλήρους ανάπτυξης ή στάδιο κύριας βλάστησης) : από το τέλος του σταδίου 2 μέχρι την περίοδο ανθοφορίας και σχηματισμού των καρπών, η τιμή του k_c παραμένει σταθερή καθ' όλη την διάρκεια του σταδίου.

Στάδιο 4 (τελικό ή στάδιο ωρίμανσης) : από το τέλος του σταδίου 3 μέχρι και την πλήρη ωρίμανση ή συγκομιδή της καλλιέργειας. Η τιμή του k_c κατά το στάδιο αυτό μειώνεται όσο πλησιάζει προς το χρόνο συγκομιδής.

Η διάρκεια του κάθε σταδίου και της βλαστικής περιόδου, καθορίζεται από τις κλιματικές συνθήκες που επικρατούν σε κάθε περιοχή. Έτσι και σε κάθε πρόγραμμα άρδευσης θα πρέπει, βάση πειραματικών δεδομένων, να υπολογιστεί κατά τη διάρκεια του κάθε σταδίου (6,20).

3.4 Μέθοδοι υπολογισμού της εξατμισοδιαπνοής

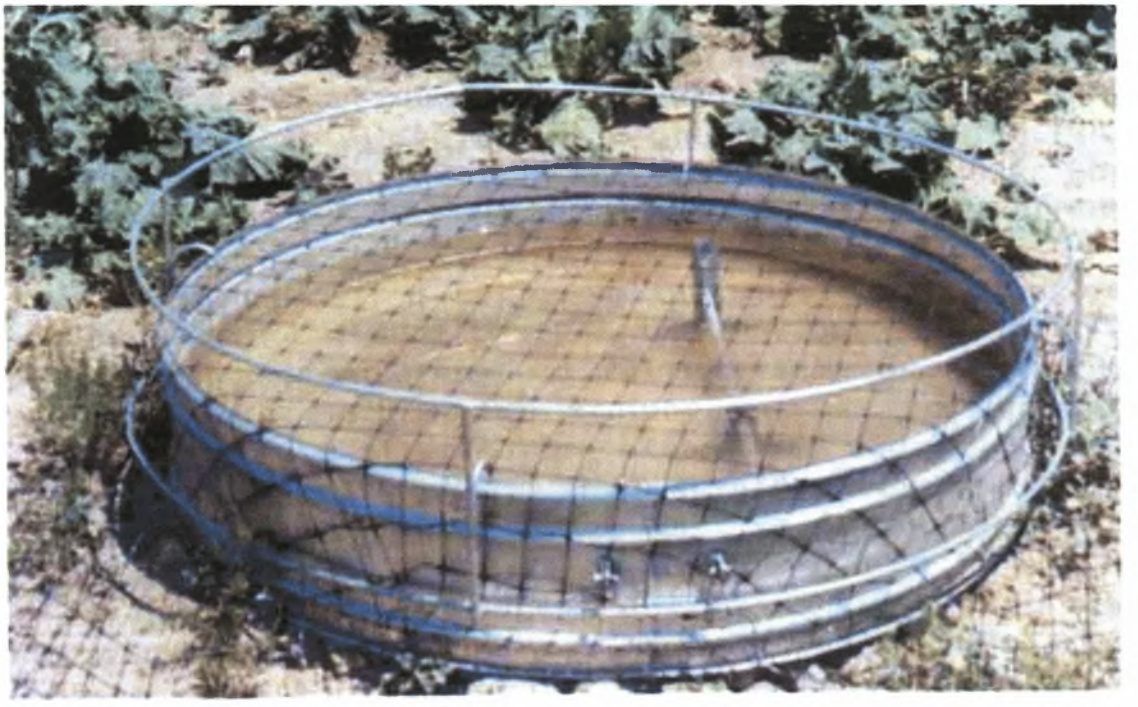
Η ανάγκη υπολογισμού της εξατμισοδιαπνοής με όσο το δυνατό πιο γρήγορο τρόπο, χωρίς να διατίθεμαι μετεωρολογικά στοιχεία. Δηλαδή μπορεί να γίνει άμεση εκτίμηση στο χωράφι. Μία τέτοια μέθοδος είναι η μέθοδος των πειραματικών τεμαχίων. Αυτή η μέθοδο υπολογίζει την εξατμισοδιαπνοή σε μία ολόκληρη περίοδο. Επιλέγεται ένα αντιπροσωπευτικό τμήμα του χωραφιού και υπολογίζεται η εδαφική υγρασία στην αρχή και στο τέλος της περιόδου. Μία άλλη μέθοδος που χρησιμοποιείται η μέθοδος των διαδοχικών δειγματοληψιών όπου γίνεται υπολογισμός της εξατμισοδιαπνοής σε μικρές περιόδους (2-5 ημέρες) κάνοντας συνεχείς δειγματοληψίες εδαφικών δειγμάτων. Τέλος θα πρέπει να αναφερθεί η μέθοδος του λυσιμέτρου όπου γίνεται χρησιμοποίηση ενός δοχείου γεμάτο χώμα και μέσα σε αυτό τοποθετείται την καλλιέργεια της οποίας θα υπολογιστεί η εξατμισοδιαπνοή.

3.4.1. Μέθοδος εξατμισίμετρου τύπου Α

Η μέθοδος υπολογισμού της εξατμισοδιαπνοής μέσω εξατμισίμετρου τύπου Α (εικόνα 3.1.) είναι αρκετά αξιόπιστη μέθοδος. Βασίζεται ο υπολογισμός στην δυνατότητα της ατμόσφαιρας να εξάγει νερό μέσα από ένα εξατμισίμετρο συγκεκριμένης μορφής, μεγέθους και χρώματος στο δεδομένο περιβάλλον. Τα εξατμισίμετρα τα οποία βρίσκονται μέσα στο έδαφος δείχνουν μικρότερη εξάτμιση από ότι αυτά που είναι πάνω στο έδαφος.

Η έκθεση ενός εξατμισίμετρου λεκάνης είναι επίσης σημαντική. Ο λόγος E_p προς την υπολογιζόμενη ET_r κυμαίνεται από 0,6 ως 2,0 ανάλογα με την έκθεση του. Οι μικρότερες τιμές παρατηρούνται όταν βρίσκεται σε σκιασμένο μέρος ή είναι σε αρδευόμενο χωράφι. Η στάθμη του νερού μέσα στη λεκάνη πρέπει να διατηρείται σε απόσταση 5-7,5 εκ. κάτω από το άνω χείλος του. Επίσης πρέπει το νερό να διατηρείται καθαρό και να μην γίνεται η πρόσβαση σε ζώα και πουλιά, ενώ θα πρέπει να μην αναπτύσσονται μύκητες ή άλγη. Η χρήση μεταλλικού πλέγματος, είναι απαραίτητη και μειώνει την εξάτμιση κατά 13%.

Σε πειράματα που έγιναν, βρέθηκε υψηλή συσχέτιση μεταξύ της πραγματικής εξάτμισης και της εξάτμισης από τα εξατμισίμετρα υπό συνθήκες πλήρους κάλυψης και παροχής νερού. Συνήθως χρησιμοποιείται μία σχέση της μορφής : $ET_r = K_p E_p$ όπου K_p είναι ο συντελεστής εξατμισίμετρου που ορίζεται ως ο λόγος της εξατμισοδιαπνοής προς την εξάτμιση από το εξατμισίμετρο. Ανάλογα με την καλλιέργεια που έχουμε και τη διαφορετική τιμή του συντελεστή όπως π.χ. στο γρασίδι είναι 0,8 ενώ στο καλαμπόκι με πλήρη κάλυψη των αναγκών του 0,9. Για αυτό είναι απαραίτητα τα στοιχεία αυτά έτσι ώστε να γίνει αρκετά ακριβής εκτίμηση της δυνητικής εξατμισοδιαπνοής.(6,20)



Εικόνα 3.1. Εξατμισίμετρο που χρησιμοποιήθηκε στο πείραμα

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4

Υδραυλικοί παράμετροι

4.1 Υδατοϊκανότητα

Ανάλογα με τις συνθήκες που υπάρχουν σε κάθε χωράφι, εξαρτάται και η ποσότητα του νερού που μπορεί να αποθηκευθεί σε αυτό καθώς και η ευχέρεια που μπορεί να προσφέρει στα φυτά, το νερό που χρειάζεται για την κανονική ανάπτυξή του και απόδοσή τους. Για τον υπολογισμό αυτής της ποσότητας αυτής θα ήταν απαραίτητο να αναφερθούν οι υδραυλικοί παράμετροι που την απαρτίζουν.

Σαν υδατοϊκανότητα μπορούμε να ορίσουμε την υγρασία που συγκρατεί ένα βαθύ, ομοιόμορφο και καλά στραγγιζόμενο έδαφος μετά την απομάκρυνση του ελεύθερου νερού. Σε περίπτωση εδάφους που αρχικά είναι κορεσμένο, όταν αρχίσει η στράγγιση, η υγρασία του εδάφους ελαττώνεται και μαζί της η τιμή της ακόρεστης υδραυλικής αγωγιμότητας. Σε κάποια στιγμή η τιμή αυτή γίνεται πολύ μικρή με συνέπεια η κίνηση του νερού στο έδαφος να περιοριστεί τόσο που πρακτικά να θεωρηθεί ανύπαρκτη, έστω και αν η υφιστάμενη υδραυλική κλίση είναι πολύ μεγάλη. Αυτό είναι το καθοριστικό όριο που ονομάζεται υδατοϊκανότητα. Έτσι, σαν υδατοϊκανότητα μπορεί να οριστεί το όριο εκείνο της εδαφικής υγρασίας στο οποίο η τιμή της ακόρεστης υδραυλικής αγωγιμότητας που αντιστοιχεί είναι τόσο μικρή ώστε πρακτικά να έχει πάψει κάθε ουσιαστική κίνηση νερού στο έδαφος, ανεξάρτητα από τις υφιστάμενες υδραυλικές κλίσεις. Συνήθως, η υγρασία του εδάφους φτάνει στα επίπεδα της υδατοϊκανότητάς του τρεις ή πέντε μέρες μετά από βροχή ή άρδευση, ανάλογα την υφή και τη δομή του εδάφους. Η υδατοϊκανότητα είναι το πάνω όριο για την υγρασία που μπορούν τα φυτά να εκμεταλλευθούν. Η μέτρηση της υδατοϊκανότητας γίνεται στο εργαστήριο με μια συσκευή που λέγεται δίσκος πιέσεως (20).

4.2. Σημείο μόνιμης μάρανσης

Το σημείο το οποίο θεωρείται κάτω όριο της υγρασίας που μπορούν τα φυτά να εκμεταλλευθούν λέγεται σημείο μόνιμης μάρανσης. Κάτω από το σημείο αυτό τα φυτά δεν μπορούν να προσλάβουν το νερό το οποίο χρειάζονται και αρχίζουν σιγά σιγά να μαραίνονται.

Το σημείο αυτό δεν είναι σταθερό όπως συμβαίνει με την υδατοϊκανότητα, αλλά ανάλογα με την υφή και την δομή του εδάφους, το είδος και το στάδιο του φυτού, την αλατότητα του εδάφους και τέλος από τις κλιματικές συνθήκες της περιοχής. Η τάση της εδαφικής υγρασίας στο σημείο αυτό κυμαίνεται μεταξύ 7 και 32 bar. Η διαφορά αυτή όμως δεν σημαίνει και αντίστοιχη διαφορά στην εδαφική υγρασία. Μεγάλες μεταβολές της πίεσης που παρατηρείται σε αυτά τα επίπεδα συνεπάγεται μικρές μεταβολές της υγρασίας. Σαν αντιπροσωπευτική τιμή του σημείου έχει καθιερωθεί η τάση των 15 bar.

Όπως αναφέρθηκε, το σημείο αυτό αποτελεί το όριο κάτω από το οποίο το φυτό δεν μπορεί να προσλάβει την κατάλληλη ποσότητα νερού. Αν η υγρασία περιοριστεί ακόμα περισσότερο, τότε μπορεί το φυτό να ξηραθεί. Το σημείο κάτω από το οποίο τα φυτά ξηραίνονται λέγεται έσχατο σημείο μάρανσης. Η τάση στο σημείο αγγίζει ακόμα και τα 60 bar (6).

4.3. Φαινόμενο Ειδικό Βάρος

Ένα έδαφος, που έχει ξεραθεί σε κλίβανο, αποτελείται από στερεά σωματίδια και πόρους γεμάτους με αέρα. Το ειδικός βάρος των στερεών σωματιδίων, από τα οποία αποτελείται το έδαφος, είναι περίπου το ίδιο με όλα τα ορυκτά στερεά υλικά μεταξύ 2,6 - 2,7 gr/cm^3. Το ειδικό βάρος του εδάφους μαζί με τους πόρους γεμάτους αέρα, οι οποίοι βρίσκονται μέσα σε αυτό, αναφέρεται ως φαινόμενο ειδικό βάρος. Το φαινόμενο ειδικό βάρος (ASW) εξαρτάται από την υφή και από τη δομή του εδάφους.

Το φαινόμενο ειδικό βάρος και το πραγματικό βάρος του εδάφους συνδέονται με την ακόλουθη σχέση :

$$\mathbf{ASW = (1 - n) * SWS}$$

Όπου n είναι το πορώδες του εδάφους, δηλαδή το ποσοστό που καταλαμβάνουν οι πόροι σε σχέση με το συνολικό όγκο του εδάφους. Με αυτή την σχέση γίνεται κατανοητό ότι το όσο περισσότερους πόρους έχει κάποιο έδαφος, τόσο μικρότερο είναι το φαινόμενο ειδικό βάρος. Άρα αργιλώδη εδάφη έχουν μεγάλη τιμή ASW κάπου 1,6-1,8 gr/cm^3 , ενώ τα αμμώδη έχουν μικρή τιμή 1,2-1,4 gr/cm^3 (20).

4.4. Διαθέσιμη και ωφέλιμη υγρασία

Στη γεωργία αυτό που μας ενδιαφέρει είναι πόση υγρασία μπορεί να αποδώσει κάποιο έδαφος σε μία καλλιέργεια. Η εδαφική υγρασία πρέπει δηλαδή να βρίσκεται ανάμεσα στα όρια της υδατοϊκανότητας και του σημείου μόνιμης μάρανσης. Όμως για να γίνει εκτίμηση του νερού που χρειάζονται τα φυτά, είναι απαραίτητη η γνώση της πυκνότητας και του βάθους του κυρίου όγκου των ριζών, γνωστό ως ζώνη του **ριζοστρώματος ή ριζόστρωμα.** Άρα η διαθέσιμη υγρασία είναι συνάρτηση των παραπάνω παραγόντων και εκτιμάται με τον παρακάτω τύπο :

$$ASM = (FC - PWP)/100*ASW*RD$$

Όπου ASM είναι η διάθεση υγρασία σε mm πάχους υδάτινου στρώματος, FC και PWP είναι αντίστοιχα η υδατοϊκανότητα και το σημείο μόνιμης μάρανσης εκφρασμένα σαν ποσοστά % ξηρού βάρους, ASW είναι το φαινόμενο ειδικό βάρος σε gr/cm^3 και το RD είναι βάθος ριζοστρώματος σε mm. Όμως πρέπει να τονιστεί ότι τα εδάφη ποτέ δεν είναι ομογενή, κάτι που αναγκάζει να υπολογίζεις την διαθέσιμη υγρασία σε κάθε στρώση χωριστά. Όμως επειδή είναι διαστρωμένα, ο υπολογισμός γίνεται για κάθε 30 εκατοστά βάθους.

Η διαθέσιμη υγρασία εξαρτάται από την υφή και τη δομή του εδάφους. Γενικά τα αργιλώδη έχουν μεγαλύτερη διαθέσιμη υγρασία, ενώ τα αμμώδη μικρότερη. Αυτό οφείλεται στην μεγαλύτερη υδατοϊκανότητα και μεγαλύτερο φαινόμενο ειδικό βάρος που έχουν τα αργιλώδη σε σχέση με τα αμμώδη.

Όπως αποδείχτηκε αργότερα, τα φυτά δεν μπορούν να αντλήσουν όλη τη διαθέσιμη υγρασία, αλλά κλάσμα αυτής που ονομάζεται **ωφέλιμη υγρασία**. Αυτή επηρεάζεται από συνδυασμό φυτικών (ριζικό σύστημα), εδαφικών (βάθος, δομή εδάφους) και κλιματικών παραμέτρων (ρυθμός εξατμισοδιαπνοής) (20).

4.5. Διάρκεια, δόση και εύρος άρδευσης

Ο υπολογισμός της ωφέλιμης εδαφικής υγρασίας είναι απαραίτητος, γιατί έτσι γίνεται κατανοητό πότε χρειάζεται σε κάποια καλλιέργεια να γίνει εφαρμογή άρδευσης. Ο υπολογισμός της θεωρητικής δόσης άρδευσης γίνεται με τον παρακάτω τύπο :

$$\mathbf{Id = \Delta Y * h * c * p}$$

Όπου ΔΥ είναι η διαθέσιμη υγρασία, h το βάθος του ριζοστρώματος, p το ποσοστό διαβροχής του εδάφους και c το όριο εξάντλησης της διαθέσιμης υγρασίας. Αναλόγως με τι είδους μέσου γίνεται η άρδευση, υπάρχει ο συντελεστής E_a που είναι ο βαθμός εφαρμογής του νερού. Άρα η πρακτική δόση άρδευσης προκύπτει από τον παρακάτω τύπο :

$$\mathbf{Id_a = Id / E_a}$$

Εύρος άρδευσης ονομάζεται το χρονικό διάστημα ανάμεσα σε δύο αρδεύσεις και εξαρτάται από την ημερήσια εξατμισοδιαπνοή ET_d και το βάθος της άρδευσης. Δίνεται από την παρακάτω εξίσωση το εύρος άρδευσης :

$$\mathbf{I_i = I_d / ET_d}$$

Ανάλογα με την δόση άρδευσης και την παροχή των σταλακτήρων, μπορεί να υπολογιστεί η διάρκειας άρδευσης με τον παρακάτω τύπο

$$\mathbf{It = (Ida * S_c * S_r) / (q * n)}$$

Όπου S_c η απόσταση μεταξύ των φυτών στην ίδια σειρά, S_r η απόσταση μεταξύ των σειρών των φυτών, q η παροχή του σταλακτήρα και n ο αριθμός των σταλακτήρων ανά φυτό (6.20).

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 5

Υπόγεια στάγδην άρδευση

5.1 Γενικά για την άρδευση με σταγόνα

Η έλλειψη νερού που παρατηρείται σε πολλές περιοχές της Ελλάδας (Θεσσαλία), ανάγκασε μεγάλη μερίδα παραγωγών να προσανατολιστεί σε μεθόδους άρδευσης με όσο το δυνατό λιγότερο νερό, ενώ ταυτόχρονα να παράγεται μία ικανοποιητική απόδοση. Η μέθοδος της στάγδην άρδευσης ή άρδευση με σταγόνες (drip irrigation) ήταν μια συνηθισμένη πρακτική σε οπωρώνες και αμπελώνες στις αρχές της δεκαετίας του '80. το 1988 πολύ λίγοι παραγωγοί χρησιμοποίησαν την συγκεκριμένη μέθοδο. Τα τελευταία χρόνια όμως όλο και περισσότεροι παραγωγοί γραμμικών καλλιεργειών (κυρίως βαμβάκι, τεύτλα, βιομηχανική τομάτα) χρησιμοποιούν αυτό το σύστημα άρδευσης. Ακόμη το απαιτούμενο εργατικό κόστος σε σχέση με άλλες μεθόδους άρδευσης είναι σαφώς πολύ μικρότερο

Η μέθοδος συνιστάται στην εφαρμογή νερού σε μικρές ποσότητες με τη μορφή σταγόνων στην περιοχή του ριζοστρώματος των φυτών, έτσι ώστε κάθε φυτό χωριστά να εφοδιάζεται με την απαραίτητη για την κανονική του ανάπτυξη και απόδοση υγρασία, με τη βοήθεια ειδικών σταλακτήρων που είναι τοποθετημένοι σε ορισμένες αποστάσεις. Η πίεση στους σταλακτήρες είναι συνήθως μικρή (0,2-2 atm), ενώ και η παροχή είναι εξίσου μικρή γύρω στα 1-10 l/h (20).

Μία παραλλαγή της μεθόδου αυτής είναι η υπόγεια στάγδην άρδευση, η νεότερη και πιο αποδοτική μέθοδος άρδευσης γεωργικών καλλιεργειών και χλοοταπήτων. Δηλαδή η εφαρμογή σωλήνων όπως με την προηγούμενη μέθοδο, μόνο που αυτές βρίσκονται μέσα στο έδαφος. Ανάλογα με την καλλιέργεια εξαρτάται και το βάθος στο οποίο θα τοποθετηθεί το σύστημα.

5.2. Πλεονεκτήματα της μεθόδου

Η άρδευση με σταγόνα όλο και περισσότεροι την χρησιμοποιούν λόγω των σημαντικών πλεονεκτημάτων που έχει σε σύγκριση με τις άλλες μεθόδους. Αρχικά θα

αναφερθούμε στα συγκριτικά πλεονεκτήματα που έχει γενικά η άρδευση με σταγόνα σε σχέση με άλλες μεθόδους που χρησιμοποιούνταν μέχρι τώρα όπως καταιονισμός, κατάκλιση κ.ά.

Στην άρδευση με σταγόνες, το νερό που εφαρμόζεται είναι σε μικρές ποσότητες και υψηλές συχνότητες μόνο σε ένα ορισμένο ποσοστό της επιφανείας του αγρού. Αυτό βοηθάει τον παραγωγό να έχει πλήρη έλεγχο της ποσότητας της οποίας εφαρμόζεται κάθε στιγμή στα φυτά. Μπορεί να αναφερθεί ότι επειδή ποτίζεται μία μόνο μικρή περιοχή η οποία έχει περιορισμένη εξάτμιση, ενώ ταυτόχρονα περιορίζονται τα ζιζάνια. Το ξηρό φύλλωμα δυσχεραίνει την ανάπτυξη των ασθενειών (μύκητες, βακτήρια), ενώ δεν διαβρέχει τα φύλλα τα οποία προηγουμένως είχαν ψεκαστεί για διάφορα προβλήματα. Η άρδευση δεν επηρεάζεται από τον άνεμο όπως συμβαίνει στον καταιονισμό, ενώ δεν αρδεύεται ολόκληρος ο αγρός, αλλά μόνο οι λωρίδες στις οποίες βρίσκονται τα λάστιχα, κάτι που επιτρέπει να γίνονται και άλλες ταυτόχρονα καλλιεργητικές φροντίδες όπως ψεκασμός, σκάλισμα κ.ά.

Ένα από τα θετικά του συστήματος είναι η δυνατότητα της πλήρης αυτοματοποίησης, με τη χρησιμοποίηση μιας βαλβίδας η οποία μπορεί να ελέγχει μεγάλη έκταση. Ο βαθμός απόδοσης του συστήματος μπορεί να φτάσει άνετα το 90%, ενώ ο καταιονισμός κυμαίνεται ανάμεσα στο 60 και 80% και η κατάκλιση μόλις το 50%. Όμως δεν είναι μόνο ο βαθμός απόδοσης υψηλός, είναι και οι απώλειες πολύ χαμηλές λόγω της χαμηλής πίεσης λειτουργίας του συστήματος. Στην μείωση αυτή συντελεί και η μείωση των απωλειών λόγω της επιφανειακής απορροής και βαθιάς διήθησης.

Η άρδευση με υφάλμυρο νερό με τις άλλες μεθόδους δημιουργούσε έντονα προβλήματα λόγω της αύξησης των αλάτων στο έδαφος, καθώς το έδαφος ξηραίνονταν ανάμεσα στα ποτίσματα. Η στάγδην άρδευση ελέγχει την αλατότητα γιατί παρατηρείται συνέχεια έκπλυση. Τα άλατα απωθούνται στην περιφέρεια της διαβρεχόμενης επιφάνειας και τα φυτά προσλαμβάνουν από το κέντρο της ζώνης, όπου έχει χαμηλότερη τάση (1,16,20).

Όμως η υπόγεια στάγδην άρδευση έχει επιπλέον πλεονεκτήματα σε σχέση με την επιφανειακή στάγδην άρδευση, αλλά και με τις άλλες μεθόδους. Στην υπόγεια ο διαβρεχόμενος όγκος είναι μεγαλύτερος (σφαιρικός), ενώ στην επιφανειακή είναι σαφώς μικρότερος (ημισφαιρικός). Ο διαθέσιμος όγκος για την ανάπτυξη των ριζών είναι επίσης

μεγαλύτερος στην υπόγεια, ενώ η ακτίνα διαβροχής (εξαιρείται η επιφάνεια του εδάφους) είναι μικρότερη στην υπόγεια σε σχέση με την επιφανειακή. Κατά συνέπεια κάτω από τις ίδιες συνθήκες άρδευσης η υγρασία του διαβρεχόμενου όγκου εδάφους θα είναι μικρότερο στην υπόγεια, όπως επίσης και το δυναμικό έκπλυσης, ενώ ο διαθέσιμος όγκος εδάφους για την απορρόφηση του νερού και θρεπτικών θα είναι σημαντικά αυξημένος.

Ο μεγαλύτερος όγκος του ριζικού συστήματος που ποτίζονται με υπόγεια, αναπτύσσονται σε μεγαλύτερο βάθος, έτσι το ριζικό σύστημα συνήθως λειτουργεί σε περιβάλλον με σταθερή και χαμηλότερη θερμοκρασία από ότι στην επιφανειακή. Η επιφάνεια του εδάφους στην υπόγεια παραμένει ξηρή με αποτέλεσμα η εξάτμιση από την επιφάνεια του εδάφους ανάλογα με τον σχεδιασμό και τη διαχείριση του συστήματος, να είναι μειωμένη σε σύγκριση με την επιφανειακή, ή ακόμη και αμελητέα.

Πρέπει να αναφερθεί το λιγότερο εργατικό κόστος σε σχέση με την επιφανειακή, καθώς δεν γίνεται εγκατάσταση και απεγκατάσταση του συστήματος σε κάθε καλλιεργητική περίοδο, αφού γίνεται σε μόνιμη εγκατάσταση κάτω από το βάθος άροσης. Η μεγαλύτερη διάρκεια του συστήματος λόγω αποφυγής της διαδοχικής θέρμανσης και ψύξης και της μη έκθεσης των υλικών στην ηλιακή ακτινοβολία. Τέλος τα γεωργικά μηχανήματα διευκολύνονται για τις εργασίες τους, γιατί ευνοούνται από την ξηρότητα της επιφανείας του εδάφους (1).

5.3. Μειονεκτήματα της μεθόδου

Παρά τα σοβαρά πλεονεκτήματα που παρουσιάζει η υπόγεια στάγδην άρδευση σε σχέση με τις άλλες μεθόδους, παρουσιάζουν κάποια μειονεκτήματα τα οποία δημιουργούν κάποια αβεβαιότητα όσον αφορά την μελλοντική της χρήση.

Το αρχικό κόστος εγκατάστασης είναι πού υψηλό επειδή αναγκαζόμαστε να δημιουργηθούν οπές μέσα στο έδαφος για να τοποθετηθεί το δίκτυο. Όμως οι παρατηρούμενες αποδόσεις είναι αρκετά υψηλές, σε συνδυασμό με τα μηδενικά σχεδόν εργατικά χέρια, αφού είναι μόνιμη εγκατάσταση, και τη βιομηχανική παραγωγή των συστημάτων έχουν μειώσει το εν λόγω κόστος (1,13,16).

Ένα σημαντικό πρόβλημα είναι αδυναμία καθαρισμού και συντήρησης των σωληνώσεων κυρίως από άλατα που μπορεί να συσσωρευτούν στους σταλακτήρες, καθότι αυτοί βρίσκονται σε βάθος. Οι εμφράξεις που μπορεί να πάθει το δίκτυο μπορεί να οφείλεται σε φερτά υλικά, όπως άμμος, ή ακόμη και από τις ρίζες, οι οποίες μπορεί να οδηγήσουν σε αχρήστευση του συστήματος. Τέλος υπάρχει πιθανότητα καταστροφής του δικτύου από ζώα που ζούνε στο έδαφος και κυρίως από τα τρωκτικά (1).

5.4. Περιγραφή συστήματος

Ένα ολοκληρωμένο σύστημα υπόγειας στάγδην άρδευσης αποτελείται από τα ίδια στοιχεία που αποτελείται και το αντίστοιχο της επιφανειακής, δηλαδή το δίκτυο μεταφοράς, το δίκτυο εφαρμογής και από την μονάδα ελέγχου.

Το δίκτυο μεταφοράς είναι το μέρος του συστήματος, το οποίο μεταφέρει το νερό από το χώρο υδροληψίας στους αγωγούς εφαρμογής, και αποτελείται από τους κύριους αγωγούς. Οι κύριοι αγωγοί έχουν συνήθως μεγάλη διάμετρο (μεγαλύτερη από 30 mm πάχος), είναι από άκαμπτο πλαστικό το οποίο συνήθως τοποθετείται υπόγεια για την αποφυγή καταστροφής από τις καιρικές συνθήκες και για διευκόλυνση των γεωργικών εργασιών.

Σε αντίθεση με το δίκτυο μεταφοράς, το δίκτυο εφαρμογής αποτελείται από τους αγωγούς εκείνους που διοχετεύουν το νερό απευθείας στα φυτά μέσω των σταλακτήρων οι οποίοι είναι τοποθετημένοι ανά σταθερά διαστήματα. Συνίστανται από μαλακό πλαστικό και έχουν μικρή διάμετρο, συνήθως 12-16 mm ίσως φτάνουν και τα 25 mm με αντοχή 4-6 atm πίεση.

Βάση του συστήματος της στάγδην άρδευσης είναι σταλακτήρες. Οι σταλακτήρες είναι ειδικές κατασκευές από τις οποίες το νερό πρέπει να βγαίνει με την μορφή σταγόνας ανά τακτά χρονικά διαστήματα. Η παροχή του σταλακτήρα πρέπει να παραμείνει μικρή και σταθερή, χωρίς να επηρεάζεται από μεταβολές της πίεσης στο αγωγό. Οι σταλακτήρες ανάλογα με το είδος ροής του νερού, διακρίνονται σε τυρβώδη και στρωτή. Οι σταλακτήρες που χρησιμοποιούνται περισσότερο στην σύγχρονη άρδευση είναι αυτή της τυρβώδης ροής, ενώ ταυτόχρονα είναι αυτορρυθμιζόμενοι και αυτοκαθοριζόμενοι, δηλαδή μπορούν να διατηρήσουν την παροχή σταθερή ανεξάρτητα

από το φορτίο. Η παροχή στους σταλακτήρες δεν μπορεί να μεταβληθεί από την θερμοκρασία, επειδή χρησιμοποιούνται οι σταλακτήρες με τυρβώδη ροή, αλλά και το ότι οι σωλήνες βρίσκονται σε βάθος τέτοιο που δεν επηρεάζεται εύκολα (7,8).

Οι σταλάκτες είναι τοποθετημένοι πάνω στους αγωγούς εφαρμογής. Οι αγωγοί μέσα στο χωράφι μπορούν να τοποθετηθούν σε διάφορες διατάξεις , αλλά αυτή που χρησιμοποιείται κυρίως είναι η απλή ευθύγραμμη στην οποία οι αγωγοί ακολουθούν τις γραμμές των φυτών της καλλιέργειας.

Η αποδοτικότητα ενός συστήματος στάγδην άρδευσης υπολογίζεται από τον παρακάτω τύπο :

$$E_f=TR*EU$$

Όπου TR είναι το μέρος εκείνο του νερού που διηθήθηκε στο έδαφος το οποίο μπορεί να χρησιμοποιηθεί ωφέλιμα από την καλλιέργεια και EU είναι η ομοιομορφία ενστάλαξης του νερού.

5.4.1. Μονάδα ελέγχου

Βασικό στοιχείο ενός συστήματος υπόγειας στάγδην άρδευσης είναι η μονάδα ελέγχου που εγκαθίσταται άμεσα με την υδροληψία του συστήματος. Περιλαμβάνει κάποια συστήματα που βοηθούν στην ομαλή λειτουργία της άρδευσης, χωρίς προβλήματα.

Πρώτο στοιχείο της μονάδας ελέγχου είναι τα φίλτρα, τα οποία έχουν ως σκοπό την πρόληψη από εμφράξεις του συστήματος από τα φερτά υλικά του νερού. Ανάλογα το μέγεθος των φερτών υλικών, μπορούν να μειώσουν σημαντικά την παροχή. Τα φίλτρα χωρίζονται σε 3 βασικές κατηγορίες ανάλογα του μεγέθους των υλικών : α) φίλτρα σίτας, β) υδροκυκλώνες και γ) φίλτρα χαλικιών ή άμμου. Τα πρώτα φίλτρα αποτελούνται από σίτες από διηθητικό πλέγμα που συγκρατεί μεταλλικά ή πλαστικά νήματα και χρησιμοποιείται κυρίως σε περίπτωση νερού που περιέχει λεπτόκοκκα υλικά. Οι υδροκυκλώνες χρησιμοποιούνται κυρίως σε υλικά σχετικής μεγάλης διαμέτρου, ενώ τα

φίλτρα άμμου χρησιμοποιούνται κυρίως σε νερά που περιέχουν μεγάλη ποσότητα οργανικής ύλης και μικροφύκη.

Μέσα στο δίκτυο μπορεί να εφαρμοστούν λιπάσματα ή φυτοφάρμακα εδάφους μέσα από τους υδρολιπαντήρες, που λειτουργούν είτε με διαφορετική πίεση είτε με αντλία. Το δοχείο συνδέεται με τον κύριο αγωγό με δύο πλαστικούς σωλήνες με διάμετρο 12 ή 16 mm. Η χωρητικότητα των λιπαντήρων φτάνει μέχρι τα 250 l.

Σε ένα δίκτυο υπόγειας άρδευσης είναι απαραίτητο να χρησιμοποιηθούν ειδικά συστήματα με τα οποία αποφεύγονται τα προβλήματα από αναρροφήσεις ή εμφράξεις του δικτύου. Συνήθως χρησιμοποιούνται ειδικές βαλβίδες κενού αέρος, που εμποδίζουν την εμφάνιση του φαινομένου της αναρρόφησης. Όμως χρησιμοποιούμε και ειδικές συσκευές που χορηγούν στο δίκτυο ουσίες, συνήθως ριζοαποθητικές, έτσι ώστε να μην γίνει έμφραξη του δικτύου λόγω της αύξησης του ριζικού συστήματος.

Τέλος στην μονάδα ελέγχου μπορεί να χρησιμοποιηθούν μηχανισμοί, οι οποίοι αυτοματοποιούν πλήρως την άρδευση. Αυτοί οι μηχανισμοί βοηθούν στην έναρξη και την παύση λειτουργίας του δικτύου. Ένα παράδειγμα τέτοιου μηχανισμού απεικονίζεται στην εικόνα 5.1., ο οποίος είναι ο μηχανισμός ο οποίος χρησιμοποιήθηκε στο πείραμα (1,13,20).

Εικόνα 5.1. Προγραμματιστής άρδευσης που χρησιμοποιήθηκε στο πείραμα

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 6

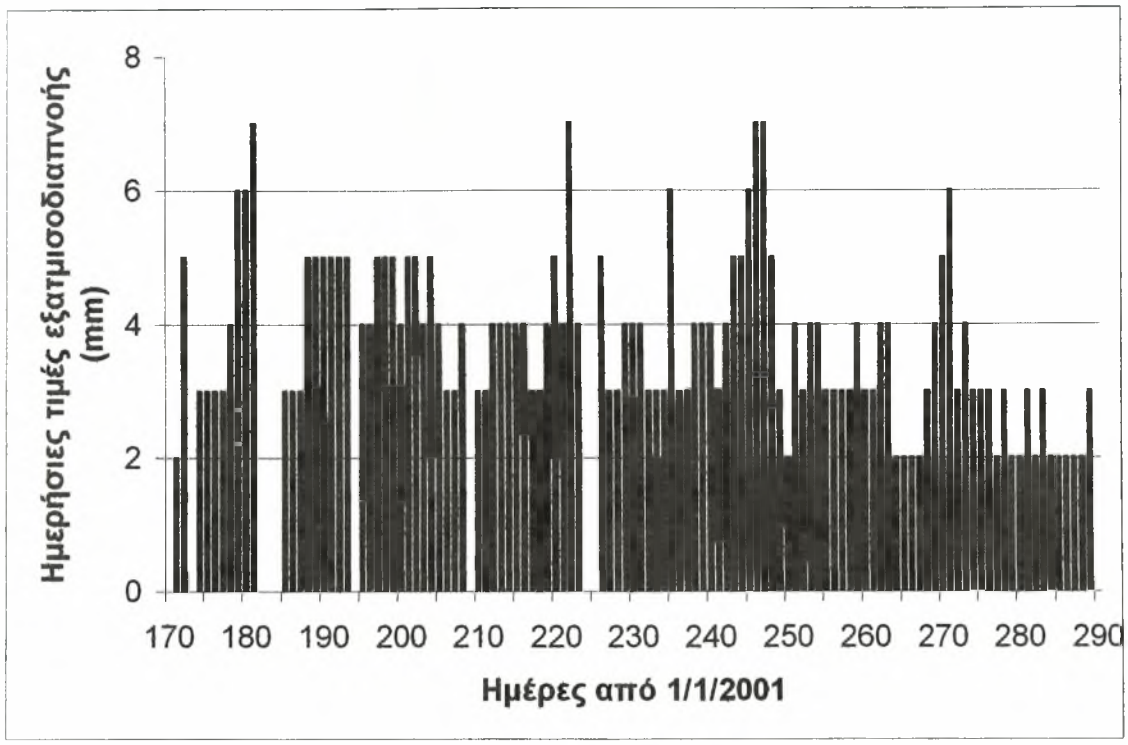
Υλικά και μέθοδοι πειράματος

6.1 Κλιματικά – Εδαφολογικά δεδομένα

Μελετήθηκε στο πείραμα η ανάπτυξη και η παραγωγή βιομάζας του ινώδους σόργου της ποικιλίας FS 5, κάτω από εδαφικές συνθήκες που επικράτησαν στην Κεντρική Ελλάδα το καλοκαίρι του 2001, χρησιμοποιώντας 3 διαφορετικές μεθόδους άρδευσης.

Τα μετεωρολογικά δεδομένα (θερμοκρασία αέρα, βροχόπτωση) καταγράφηκαν σε ωριαία βάση από αυτόματο μετεωρολογικό σταθμό που βρίσκεται ακριβώς δίπλα στον πειραματικό αγρό. Το κλίμα του Βελεστίνου θεωρείται το τυπικό ηπειρωτικό κλίμα της ευρύτερης περιοχής της Μεσογείου, με μεγάλες διακυμάνσεις στη διάρκεια του χρόνου (υψηλές θερμοκρασίες το καλοκαίρι και χαμηλές θερμοκρασίες το χειμώνα). Στο πίνακα 6.1 παρατηρούνται οι ημερήσιες τιμές της εξατμισοδιαπνοής που παρατηρήθηκαν την καλλιεργητική περίοδο (μέσα Ιουνίου μέχρι τα μέσα Οκτωβρίου) του έτους 2001. Επίσης στο πίνακα 6.2. είναι τα δεδομένα του εξατμισίμετρου για την περίοδο από μέσα Ιουνίου μέχρι τέλη Οκτωβρίου, μέρα προς μέρα.

Το πείραμα έγινε στο αγρόκτημα του Πανεπιστημίου Θεσσαλίας στο Βελεστίνο (γεωγραφικό πλάτος 39° 23' και γεωγραφικό μήκος 22° 45') σε υψόμετρο 120 μέτρα πάνω από την επιφάνεια της θάλασσας, σε έδαφος καλά αποστραγγιζόμενο, ασβεστούχο, ιλυο-αργιλοπηλώδους υφής που ανήκει στην ομάδα των Inceptisols και υπό-ομάδα των Typic Xerochrepts (USDA, 1975). Το έδαφος αυτό έχει κοκκομετρική σύσταση μετρίως λεπτόκοκκη εώς λεπτόκοκκη. Ο βαθμός οξύτητας του βρίσκεται σε αλκαλικά επίπεδα (pH 7,9-8,2) χωρίς ακόμα να είναι προβληματικός. Έχει πολύ καλά αναπτυγμένο πορώδες αποτελούμενο κυρίως από μικρού και μέσου μεγέθους πόρους. Η οργανική ουσία του είναι σε πολύ χαμηλά επίπεδα αλλά είναι επαρκής και μέχρι το βάθος των 60 εκ. (Μήτσιος,2000). Οι υδραυλικοί παράμετροι του εδάφους φαίνονται στο πίνακα 6.3.



Πίνακας 6.1. Ημερήσιες τιμές εξατμισοδιαπνοής βάση του εξατμισίμετρου τύπου Α του ινώδους σόργου στο Βελεστίνο κατά τη διάρκεια της καλλιεργητικής περιόδου του έτους 2001

Ημερομηνία	Ένδειξη εξατμισίμετρου	Προσθήκη νερού - Βροχή	Νέα ένδειξη εξατμισίμετρου	mm Εξάτμισης
18/6/2001	16			
19/6/2001	18			2
20/6/2001	23			5
21/6/2001	23	ΒΡΟΧΗ		0
22/6/2001	24			1
23/6/2001				
24/6/2001				
25/6/2001	36	ΓΕΜΙΣΜΑ	0	12
26/6/2001	4			4
27/6/2001	10			6
28/6/2001	16			6
29/6/2001	23			7
30/6/2001				
1/7/2001				
2/7/2001	30	ΒΡΟΧΗ	16	7
3/7/2001	19			3
4/7/2001	22			3

5/7/2001	25			3
6/7/2001	30			5
7/7/2001				
8/7/2001				
9/7/2001	41			11
10/7/2001	46			5
11/7/2001	51			5
12/7/2001		ΓΕΜΙΣΜΑ	0	
13/7/2001	4			4
14/7/2001				
15/7/2001				
16/7/2001	16			12
17/7/2001	22			6
18/7/2001	27			5
19/7/2001	31			4
20/7/2001	36			5
21/7/2001				
22/7/2001				
23/7/2001	48	ΓΕΜΙΣΜΑ	0	12
24/7/2001	3			3
25/7/2001	6			3
26/7/2001	10			4
27/7/2001	11			1
28/7/2001				
29/7/2001				
30/7/2001				
31/7/2001				
1/8/2001	29	ΒΡΟΧ-ΓΕΜ	0	18
2/8/2001				
3/8/2001				
4/8/2001				
5/8/2001				
6/8/2001				
7/8/2001				
8/8/2001	27			27
9/8/2001	34	ΓΕΜΙΣΜΑ	0	7
10/8/2001	4			4
11/8/2001				
12/8/2001				
13/8/2001	9			5
14/8/2001	12			3
15/8/2001				
16/8/2001	18			6
17/8/2001	22			4
18/8/2001				

19/8/2001				
20/8/2001	32			10
21/8/2001	35			3
22/8/2001	41	ΓΕΜΙΣΜΑ	0	6
23/8/2001	3			3
24/8/2001	6			3
25/8/2001				
26/8/2001				
27/8/2001	18			12
28/8/2001	21			3
29/8/2001	25	ΓΕΜΙΣΜΑ	0	4
30/8/2001	5			5
31/8/2001	10			5
1/9/2001				
2/9/2001				
3/9/2001	19			9
4/9/2001	24			5
5/9/2001	27			3
6/9/2001	29			2
7/9/2001	33			4
8/9/2001				
9/9/2001				
10/9/2001	44			11
11/9/2001		ΓΕΜΙΣΜΑ	0	
12/9/2001				
13/9/2001	6			6
14/9/2001	9			3
15/9/2001				
16/9/2001				
17/9/2001				
18/9/2001	21			12
19/9/2001	25			4
20/9/2001	27			2
21/9/2001	29			2
22/9/2001				
23/9/2001				
24/9/2001	36			7
25/9/2001	40			4
26/9/2001	45			5
27/9/2001	51	ΓΕΜΙΣΜΑ	1	6
28/9/2001	4			3
29/9/2001	8			4
30/9/2001				
1/10/2001	14			6
2/10/2001	17			3

3/10/2001	19			2
4/10/2001	22			3
5/10/2001	24			2
6/10/2001				
7/10/2001				
8/10/2001	27			3
9/10/2001	29			2
10/10/2001	32			3
11/10/2001	34			2
12/10/2001	36			2
13/10/2001				
14/10/2001				
15/10/2001	39			3

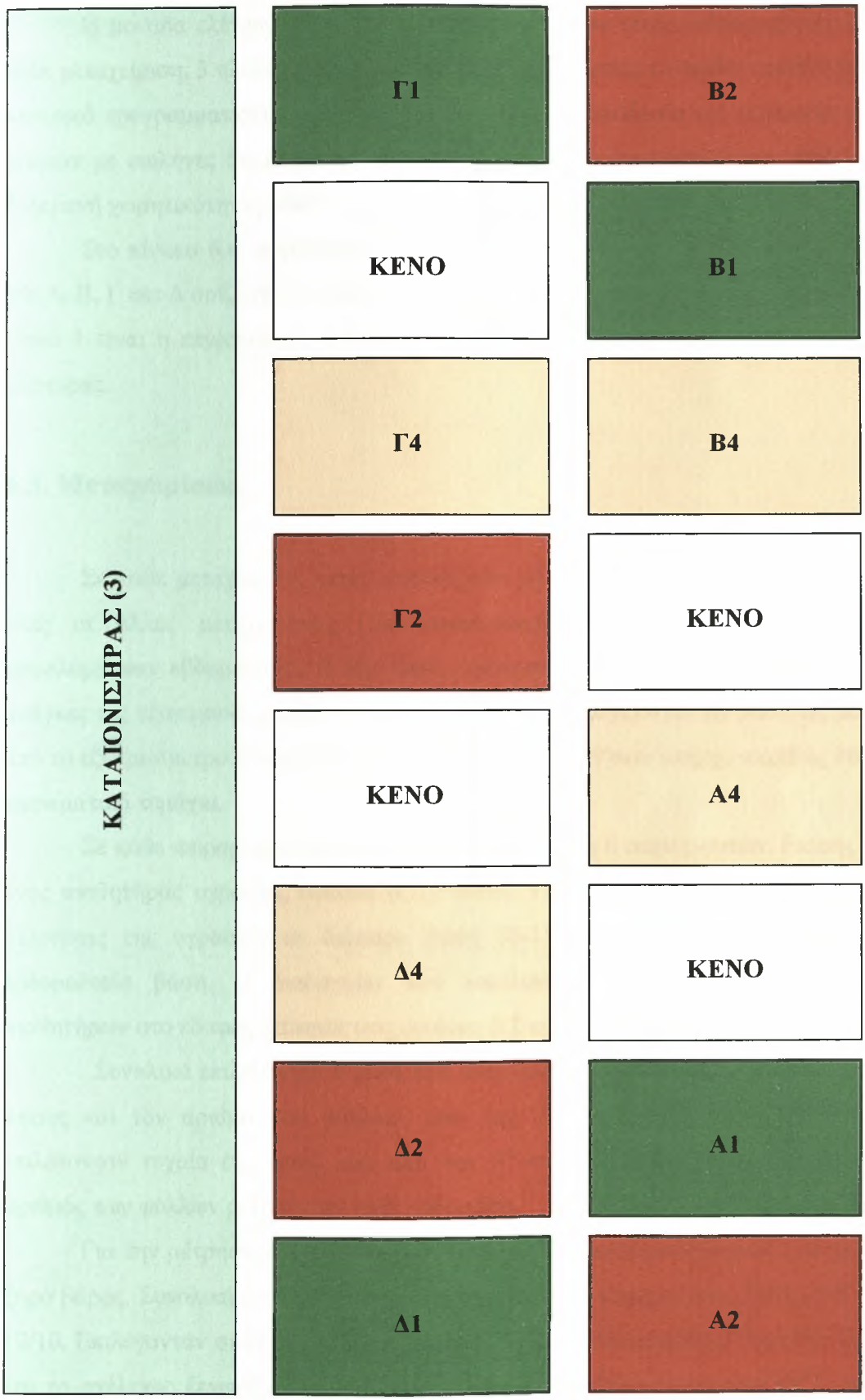
Πίνακας 6.2. Δεδομένα εξατμισιμέτρου τύπου Α από τις μετρήσεις στην καλλιεργητική περίοδο

Βάθος (cm)	$CaCO_3$ (%)	pH (1:1 H_2O)	Φαινόμενο Ειδικό Βάρος (gr/cm^3)	Υδατοϊκανότητα (%w)	Σημείο Μόνιμης Μάρανσης (%w)
0-20	5,50	7,6	1,25	20,9	11,48
20-40	6,38	7,9	1,23	21,2	11,64
40-60	5,72	7,9	1,21	21,5	11,81

Πίνακας 6.3. Υδραυλικές παράμετροι του εδάφους

6.2. Σχήμα αγρού

Χρησιμοποιήθηκε τυχαιοποιημένο σχέδιο συγκροτημάτων RCB με τέσσερις μεταχειρίσεις (υπόγεια στάγδην άρδευση, επιφανειακή στάγδην άρδευση, άρδευση με καταιονισμό και απότιστο) σε τέσσερις επαναλήψεις. Η τυχαιοποίηση έγινε με τη μέθοδο των στατιστικών πινάκων. Τα πειραματικά τεμάχια έχουν έκταση 50 τετραγωνικά μέτρα με διαστάσεις 5 x 10 μέτρα. Επίσης ανάμεσα από κάθε μεταχείριση υπήρχαν διάδρομοι πλάτους δύο μέτρων.



Πίνακας 6.4. Σχέδιο του πειραματικού αγρού στο Αγρόκτημα του Πανεπιστημίου Θεσσαλίας

Η μονάδα ελέγχου αποτελούνταν από ένα φίλτρο σίτας, υδρομετρητές έναν για κάθε μεταχείριση, 3 ηλεκτροβάνες ,μία για κάθε μεταχείριση, οι οποίες συνδέονταν με το κεντρικό προγραμματιστή άρδευσης Miracle AC. Η τροφοδοσία της κεντρικής μονάδας γινόταν με σωλήνες διαμέτρου 25 χιλιοστών από υποβρύχια αντλία που βρισκόταν σε δεξαμενή χωρητικότητας $60m^3$.

Στο πίνακα 6.4. παρατηρείται το σχήμα του αγρού στο οποίο έγινε το πείραμα. Με Α, Β, Γ και Δ ορίζονται οι επαναλήψεις και με 1,2,3 και 4 ορίζονται οι μεταχειρίσεις. Όπου 1 είναι η επιφανειακή, 2 είναι η υπόγεια, 3 είναι ο καταιονισμός και 4 είναι ο μάρτυρας.

6.3. Μεταχειρίσεις

Σε κάθε μεταχείριση, εκτός φυσικά του μάρτυρα που δεν θα ποτιστεί καθόλου, όλες οι άλλες μεταχειρίσεις (υπό-επιφανειακή, επιφανειακή και καταιονισμός) προσλάμβαναν εβδομαδιαία, το ίδιο ύψος άρδευσης, έτσι ώστε να ταιριάζει στις μισές ανάγκες της εξατμισοδιαπνοής, οι οποίες ανάγκες υπολογίζονταν με βάση τις μετρήσεις από το εξατμισίμετρο τύπου Α (Blanney & Criddle, 1979)που υπήρχε ακριβώς δίπλα στα πειραματικά τεμάχια.

Σε κάθε πειραματικό τεμάχιο υπήρχαν συνολικά 6 σειρές φυτών. Επίσης υπήρχε ένας αισθητήρας υγρασίας (εικόνα 6.1.) τύπου TDR για κάθε τεμάχιο, όπου γινόταν μετρήσεις της υγρασίας σε διάφορα βάθη (0-15, 15-30, 30-45, 45-60, 60-75) σε εβδομαδιαία βάση. Η διαδικασία που ακολουθήθηκε για την τοποθέτηση των αισθητήρων στο έδαφος φαίνεται στις εικόνες 6.2 και 6.3.

Συνολικά επιλέγονταν 6 φυτά από πειραματικό τεμάχιο για τον υπολογισμό του ύψους και τον αριθμό των φύλλων, από την $2^η$ και την $5^η$ σειρά κάθε τεμαχίου επιλέγονταν τυχαία ένα φυτό, ενώ από την $3^η$ και την $4^η$ δύο φυτά. Το ύψος και ο αριθμός των φύλλων μετρούνταν κάθε εβδομάδα.

Για την μέτρηση της απόδοσης, μετρήθηκε η παραγόμενη βιομάζα σε χλωρό και ξηρό βάρος. Συνολικά έγιναν 3 κοπές, (1,6 m^2 για κάθε τεμάχιο) στις 31/8, 21/9 και στις 10/10. Επιλέγονταν φυτά τα οποία βρίσκονταν στις μεσαίες σειρές ($3^η$ και $4^η$). Τα φύλλα και το στέλεχος ξεχωρίζονταν και ξηραίνονταν στη θερμοκρασία των 90^oC, μέχρι να

σταθεροποιηθεί το βάρος τους. Για την στατιστική επεξεργασία των αποτελεσμάτων χρησιμοποιήθηκε το πακέτο Mstat-C και η ανάλυση έγινε με one-Way ANOVA για την εύρεση διαφορών σημαντικών στατιστικώς.

Εικόνα 6.1. Αισθητήρας TDR που χρησιμοποιήθηκε στο πείραμα

6.4. Αρδευτικό σύστημα – Καλλιεργητικές εργασίες

Έγινε υπεδαφοκαλλιέργεια και ισοπέδωση με υπεδαφοκαλλιεργητή στα 70 εκατοστά, έτσι ώστε να σπάσει το σκληρό στρώμα κάτω από το βάθος οργώματος. Ακολούθησε όργωμα με περιστροφικό καλλιεργητή, έτσι ώστε να μην φύγει η υγρασία που υπήρχε και για να είναι έτοιμο το έδαφος να δεχθεί τον σπόρο.

Μετά ακολούθησε η τοποθέτηση του υπογείου αρδευτικού συστήματος, στα τεμάχια τα οποία προορίζονταν για αυτή την μεταχείριση. Η τοποθέτηση έγινε με ένα ειδικό εργαλείο, το οποίο ονομάζεται **νύχι**, το οποίο άνοιγε αυλάκι και συγχρόνως τοποθετούσε το λάστιχο σε βάθος 45 εκατοστά.

Εικόνα 6.2. Εργαλείο που χρησιμοποιήθηκε για τη διάνοιξη τρύπας μέσα στην οποία θα τοποθετηθεί ο αισθητήρας

Εικόνα 6.3. Εργαλείο που χρησιμοποιήθηκε για την είσοδο του αισθητήρα στο έδαφος

Σε κάθε πειραματικό τεμάχιο που θα εφαρμοστεί επιφανειακή στάγδην άρδευση ή υπόγεια στάγδην άρδευση, τοποθετήθηκαν 3 σειρές με λάστιχα με διάμετρο 20 χιλιοστά (εικόνα 6.4.). Οι αποστάσεις μεταξύ των σειρών είναι 160 εκατοστά, ενώ η πρώτη και η τρίτη σειρά θα απέχει από την αρχή και το τέλος του τεμαχίου, που αντιστοιχούν στην πρώτη και την έκτη σειρά, 40 εκατοστά. Η επιλογή των 160 εκατοστών οφείλεται στο ότι η σπορά του σόργου θα γίνει με απόσταση από γραμμή σε γραμμή 80 εκατοστά, για να μπορεί να καλύπτει ένα σωλήνας δύο σειρές φυτών. Οι σειρές των φυτών θα τοποθετηθούν ανάμεσα στις γραμμές άρδευσης.

Μόνο στο πρώτο τεμάχιο (δίπλα στη δεξαμενή) όπου από λάθος υπολογισμούς τοποθετήθηκαν 5 γραμμές άρδευσης αντί για τρεις. Οι πρώτες τρεις γραμμές τοποθετήθηκαν σε άλλον ελκυστήρα, βαρύτερο και μικρότερο εύρος τροχών. Αυτό είχα ως αποτέλεσμα, ο τροχός να πατάει πάντα πάνω στη γραμμή που είχε τοποθετηθεί το λάστιχο, πράγμα ανεπιθύμητο, γιατί γίνεται συμπίεση του εδάφους στο συγκεκριμένο σημείο και αυτό θα δημιουργήσει προβλήματα στην άνοδο του νερού. Η άρδευση σε αυτό το τεμάχιο δεν θα γίνεται από τις δύο μεσαίες σειρές, αλλά από τις άλλες τρεις.

Η τοποθέτηση του υπόγειου αρδευτικού συστήματος έγινε στις 20 Απριλίου 2001, ενώ το επιφανειακό τοποθετήθηκε στις 25 Μαΐου 2001. Οι αγωγοί άρδευσης ή εφαρμογής ήταν από μαλακό πολυαιθυλένιο διατομής 20 χιλιοστών με αυτορυθμιζόμενους και αυτοκαθοριζόμενους σταλλάκτες της εταιρίας Netafim, ισαποχής 0,6 μέτρα επί των αγωγών και σταθερή παροχή 3,6 λίτρα την ώρα (3,77mm/h). Είναι τύπου RAM (εικόνα 6.5.), οι οποίοι επιτρέπουν την εφαρμογή μεγάλου μήκους γραμμών άρδευσης, διατηρώντας σταθερή την παροχή σε όλο το μήκος της γραμμής. Έχει δυνατότητα αυτορρύθμισης της παροχής σε ένα ευρύ πεδίο πιέσεων (0,5-4,0 bar), εξασφαλίζει εύκολη λειτουργία και ομοιόμορφη άρδευση σε χωράφια με μεγάλες κλίσεις καθώς και σε δίκτυα με αυξομειώσεις της πίεσης.

Στα τεμάχια που εφαρμόστηκε άρδευση με καταιονισμό, χρησιμοποιήθηκε εκτοξευτήρας που είχε παροχή 34 m^3/h, πίεση λειτουργίας στις 4,5 Atm και ένταση βροχής 18 mm/h.

Εικόνα 6.4. Ο σταλακτηφόρος σωλήνας που χρησιμοποιήθηκε στο πείραμα

Εικόνα 6.5. Εσωτερικό σταλάκτη τύπου RAM

Η άρδευση των πειραματικών τεμαχίων είναι πλήρως αυτοματοποιημένη με τη χρήση ηλεκτροβανών, οι οποίες συνδέονταν με ένα κεντρικό προγραμματιστή άρδευσης. Ο προγραμματιστής άρδευσης είναι το Miracle AC (εικόνα 5.1.), με το οποίο μπορεί ταυτόχρονα να χρησιμοποιηθούν 3 διαφορετικά προγράμματα με διαφορετικές ποσότητες νερού και χρονικές διάρκειες ποτίσματος, ενώ μπορεί να δουλεύει ταυτόχρονα με 3 ηλεκτροβάνες. Επίσης τοποθετήθηκαν υδρομετρητές και φίλτρο σίτας.

Στο δίκτυο της υπόγειας άρδευσης χρησιμοποιήθηκε ειδική βαλβίδα εκτόνωσης (Vacuum breaker valve), για την αποφυγή αναρρόφησης νερού και δημιουργίας εμφράξεων στο δίκτυο, όταν σταματάει η άρδευση, καθώς επίσης και ένα φίλτρο δίσκων (Teck Filter) εμποτισμένο με την ουσία Trifluralin-5, που χρησιμοποιείται ως ριζοαποθητικό.

6.5. Σπορά

Η σπορά έγινε στις 5 Μαΐου 2001 χρησιμοποιώντας την ποικιλία του ινώδους σόργου FS – 5. Προηγήθηκε δισκοσβάρνα έτσι ώστε να ενσωματωθεί όσο το δυνατό καλύτερα ο σπόρος με το έδαφος. Δεν χρησιμοποιήθηκε καμία λιπαντική αγωγή, ενώ ακολούθησε τη σπορά, καλό πότισμα όλων των τεμαχίων με καρούλι με παροχή 34m³/h, πίεση λειτουργίας 4,5 Atm και ένταση βροχής 18 mm. Η σπορά έγινε με πνευματική μηχανή και οι γραμμές απείχαν 80 εκατοστά και οι αποστάσεις επί της γραμμής είναι 12 εκατοστά (περίπου 9 φυτά/μέτρο). Η πυκνότητα των φυτών ήταν 8,75 φυτά/m². Το βάθος στο οποίο έγινε η σπορά ήταν 4,5 εκατοστά.

6.6. Εφαρμογή άρδευσης

Στη διάρκεια της καλλιεργητικής περιόδου εφαρμόστηκαν συνολικά 12 αρδεύσεις με συνολική άρδευση 260 mm σε όλες τις μεταχειρίσεις, χωρίς να συμπεριλαμβάνονται τα κατακρημνίσματα της περιόδου. Όπως αναφέρθηκε όλα τα πειραματικά τεμάχια αρχικά είχαν ποτιστεί με καταιονιστήρα με παροχή 34 m³/h, λειτουργία πίεσης 4,5 atm. και ένταση βροχής 18 mm/h.

Στη συνέχεια οι αρδεύσεις υπολογίζονταν από τις μετρήσεις του εξατμισίμετρου τύπου Α και οι μετρήσεις γίνονταν σε καθημερινή βάση. Η δόση άρδευση υπολογίζεται από τον παρακάτω τύπο:

$$Id_a = E_{pan} * E\xi * K_c$$

Όπου E_{pan} η ημερήσια τιμή εξατμισίμετρου, $E_ξ$ είναι ο συντελεστής διόρθωσης του εξατμισίμετρου και K_c ο φυτικός συντελεστής της καλλιέργειας. Στην περίπτωση αυτή ο $E_ξ$ είναι 0,85 και ο K_c είναι 0,55 για τον Ιούνιο και 1 για την περίοδο μεταξύ Ιουλίου και Σεπτεμβρίου. Το ωριαίο ύψος βροχής για την στάγδην υπολογίζεται από τη σχέση

$$Id_h = q * n / S_e * S_l$$

Όπου q η παροχή του σταλάκτη που είναι 3,6 l/h, n ο αριθμός των σταλακτήρων ανά φυτό όπου ένα φυτό, S_e η απόσταση μεταξύ δύο σειρών φυτών που είναι 1,6 m και S_l η απόσταση μεταξύ δύο διαδοχικών φυτών και είναι 0,6 m. Στη συγκεκριμένη περίπτωση το ωριαίο ύψος βροχής για την στάγδην άρδευση είναι 0,0036 mm/h. Τέλος η διάρκεια άρδευσης για τον καταιονιστήρα και την στάγδην άρδευση υπολογίζονται από τους τύπους

$I_t = Id_a / Id_h$ για στάγδην και $I_t = Id_a/E$

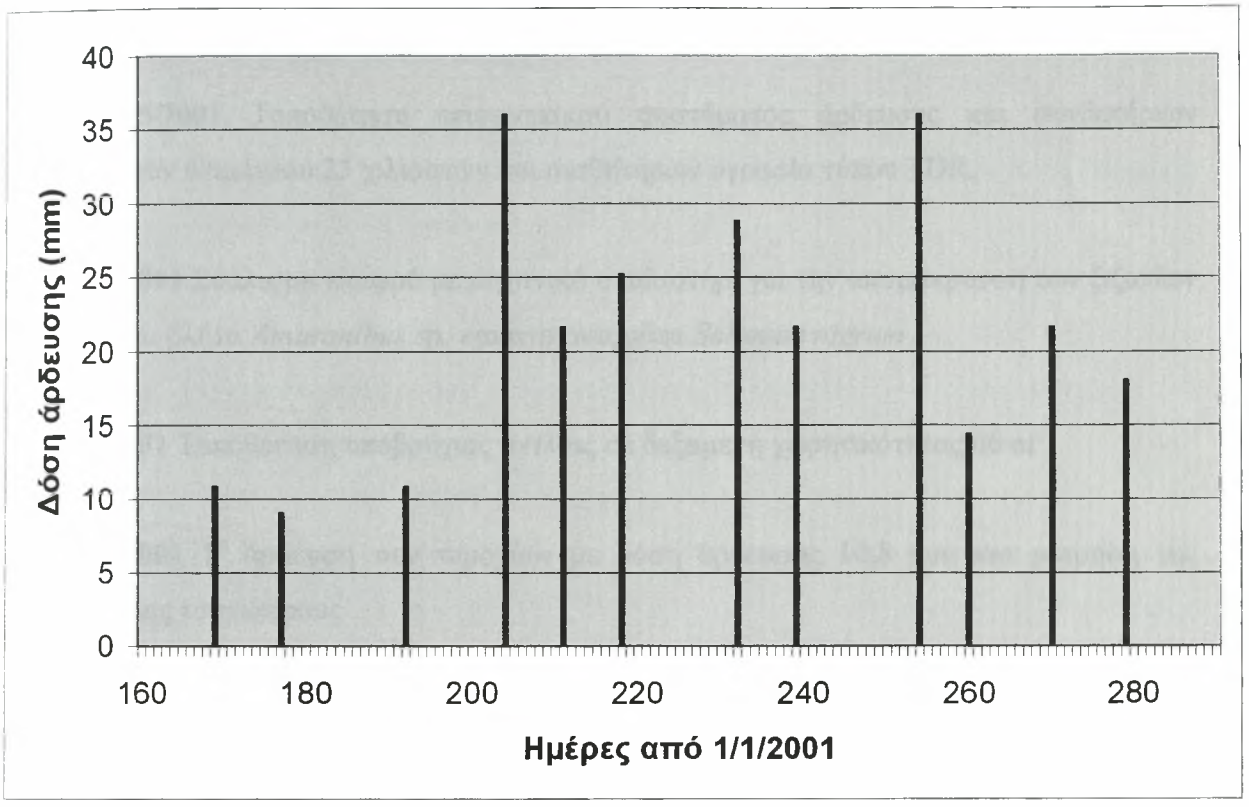
Όπου E είναι η ένταση βροχής του καταιονιστήρα. Ο πίνακας 6.4. παρουσιάζει όλες τις παραμέτρους (δόσεις και διάρκεια άρδευσης) για την περίοδο Ιουνίου (K_c=0,55) και για την περίοδο Ιουλίου – Σεπτεμβρίου (K_c=1,0).

Μέτρηση εξατμισίμετρου	Δόση άρδευσης $Id_a=E_{pan} * Eξ* K_c$		Διάρκεια άρδευσης στάγδην αρδεύσεως $I_t=Id_a/3,6$ (ώρες)		Διάρκεια άρδευσης εκτοξευτήρα $I_t = Id_a / E$ (ώρες)	
	Kc = 0,55	Kc = 1	Kc = 0,55	Kc = 1	Kc = 0,55	Kc = 1
1	0,47	0,85	0,128	0,233	0,018	0,033
2	0,94	1,7	0,256	0,466	0,036	0,066
3	1,40	2,55	0,385	0,699	0,054	0,099
4	1,87	3,4	0,513	0,933	0,073	0,132
5	2,34	4,25	0,641	1,166	0,091	0,165
6	2,81	5,1	0,769	1,399	0,109	0,198
7	3,27	5,95	0,898	1,632	0,127	0,231
8	3,74	6,8	1,026	1,865	0,145	0,264

9	4,21	7,65	1,154	2,098	0,163	0,297
10	4,68	8,5	1,282	2,331	0,182	0,330
11	5,14	9,35	1,411	2,565	0,200	0,363
12	5,61	10,2	1,539	2,798	0,218	0,396
13	6,08	11,05	1,667	3,031	0,236	0,429
14	6,55	11,9	1,795	3,264	0,254	0,462
15	7,01	12,75	1,923	3,497	0,272	0,495
16	7,48	13,6	2,052	3,730	0,290	0,528
17	7,95	14,45	2,180	3,963	0,309	0,561
18	8,42	15,3	2,308	4,197	0,327	0,594
19	8,88	16,15	2,436	4,430	0,345	0,627
20	9,35	17	2,565	4,663	0,363	0,660
21	9,82	17,85	2,693	4,896	0,381	0,693
22	10,29	18,7	2,821	5,129	0,399	0,726
23	10,75	19,55	2,949	5,362	0,417	0,759
24	11,22	20,4	3,077	5,595	0,436	0,792
25	11,69	21,25	3,206	5,829	0,454	0,825
26	12,16	22,1	3,334	6,062	0,472	0,858
27	12,62	22,95	3,462	6,295	0,490	0,891
28	13,09	23,8	3,590	6,528	0,508	0,924
29	13,56	24,65	3,719	6,761	0,526	0,957
30	14,03	25,5	3,847	6,994	0,545	0,990
31	14,49	26,35	3,975	7,227	0,563	1,023
32	14,96	27,2	4,103	7,461	0,581	1,056
33	15,43	28,05	4,232	7,694	0,599	1,089
34	15,90	28,9	4,360	7,927	0,617	1,122
35	16,36	29,75	4,488	8,160	0,635	1,155
36	16,83	30,6	4,616	8,393	0,653	1,188
37	17,30	31,45	4,744	8,626	0,672	1,221
38	17,77	32,3	4,873	8,859	0,690	1,254
39	18,23	33,15	5,001	9,093	0,708	1,287
40	18,70	34	5,129	9,326	0,726	1,320
41	19,17	34,85	5,257	9,559	0,744	1,353
42	19,64	35,7	5,386	9,792	0,762	1,386
43	20,10	36,55	5,514	10,025	0,780	1,419
44	20,57	37,4	5,642	10,258	0,799	1,452
45	21,04	38,25	5,770	10,491	0,817	1,485

Πίνακας 6.4. Υπολογισμός της άρδευσης

Στο πίνακα 6.5. εμφανίζονται οι δώδεκα συνολικά αρδεύσεις που έγιναν σε όλη την καλλιεργητική περίοδο με τις επιμέρους δόσεις άρδευσης.



Πίνακας 6.5. Δόσεις άρδευσης κατά την καλλιεργητική περίοδο

6.7. Ημερολόγιο εργασιών

6/4/2001 Κατεργασία εδάφους με εδαφοσχίστη με 5 υνιά στα 70 εκ. βάθος και με περιστροφικό καλλιεργητή για να προετοιμαστεί η σπορόκλίνη και να μην απομακρυνθεί η υγρασία

20/4/2001 Τοποθέτηση υπογείου συστήματος άρδευσης με την χρησιμοποίηση ειδικού εργαλείου (νύχι), το οποίο ανοίγει αυλάκι και τοποθετεί ταυτόχρονα το λάστιχο σε βάθος 45 εκατοστών.

5/5/2001 Κατεργασία του εδάφους με δισκοσβάρνα. Σπορά σόργου σε αποστάσεις 0,8 x 0,12 μέτρα και βάθος σποράς στα 4,5 εκ. Ακολούθησε πότισμα με καταιονιστήρα με

παροχή 34 m^3/h, λειτουργίας πίεσης 4,5 Atm και ένταση βροχής 18mm/h. Η συνολική δόση άρδευση του προφυτρωτικού ποτίσματος είναι 6,2 mm.

24,25/5/2001 Τοποθέτηση επιφανειακού συστήματος άρδευσης και συνδετήριων λάστιχων διαμέτρου 25 χιλιοστών και αισθητήρων υγρασία τύπου TDR.

30/5/2001 Σκάλισμα ελαφρό με μηχανικό σκαλιστήρι για την απομάκρυνση των ζιζανίων όπως τα βλήτα *Amaranthus sp.* και αγριοντομάτα *Solanum nigrum*

5/6/2001 Τοποθέτηση υποβρύχιας αντλίας σε δεξαμενή χωρητικότητας 60 m^3

11/6/2001 $1^η$ άρδευση των τεμαχίων με δόση άρδευσης 10,8 mm και μέτρηση της υγρασίας του εδάφους

26/6/2001 $2^η$ άρδευση με δόση άρδευσης 9 mm και μέτρηση της υγρασίας. Μέτρηση ύψους και αριθμό φύλλων των φυτών

2/7/2001 Εγκατάσταση του κεντρικού αρδευτικού συστήματος Miracle AC και μέτρηση του ύψους και των αριθμό φύλλων

11/7/2001 $3^η$ άρδευση με δόση άρδευσης 10,8 mm και μέτρηση της υγρασίας. Μέτρηση ύψους και αριθμό φύλλων των φυτών

23/7/2001 $4^η$ άρδευση με δόση άρδευσης 36 mm και μέτρηση της υγρασίας. Μέτρηση ύψους και αριθμό φύλλων των φυτών

1/8/2001 $5^η$ άρδευση με δόση άρδευσης 21,6 mm και μέτρηση της υγρασίας. Μέτρηση ύψους και αριθμό φύλλων των φυτών

8/8/2001 $6^η$ άρδευση με δόση άρδευσης 25,2 mm και μέτρηση της υγρασίας. Μέτρηση ύψους και αριθμό φύλλων των φυτών

22/8/2001 7η άρδευση με δόση άρδευσης 28,8 mm και μέτρηση της υγρασίας. Μέτρηση ύψους και αριθμό φύλλων των φυτών

29/8/2001 8η άρδευση με δόση άρδευσης 21,6 mm και μέτρηση της υγρασίας. Μέτρηση ύψους και αριθμό φύλλων των φυτών

31/8/2001 1η Μέτρηση παραγόμενης αεροξηραινόμενης βιομάζας στα πειραματικά τεμάχια. Ο υπολογισμός έγινε με χρησιμοποίηση δείγματος που αντιστοιχούσε σε εμβαδόν 1,6 m^2

11/9/2001 9η άρδευση με δόση άρδευσης 36 mm και μέτρηση της υγρασίας. Μέτρηση ύψους και αριθμό φύλλων των φυτών

17/9/2001 10η άρδευση με δόση άρδευσης 14,4 mm και μέτρηση της υγρασίας. Μέτρηση ύψους και αριθμό φύλλων των φυτών

21/9/2001 2η Μέτρηση παραγόμενης αεροξηραινόμενης βιομάζας στα πειραματικά τεμάχια.

27/9/2001 11η άρδευση με δόση άρδευσης 21,6 mm και μέτρηση της υγρασίας. Μέτρηση ύψους και αριθμό φύλλων των φυτών

9/10/2001 12η άρδευση με δόση άρδευσης 18 mm και μέτρηση της υγρασίας. Μέτρηση ύψους και αριθμό φύλλων των φυτών

10/10/2001 3η Μέτρηση παραγόμενης αεροξηραινόμενης βιομάζας στα πειραματικά τεμάχια.

18/10/2001 Μέτρηση του ύψους φυτών

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 7

Αποτελέσματα

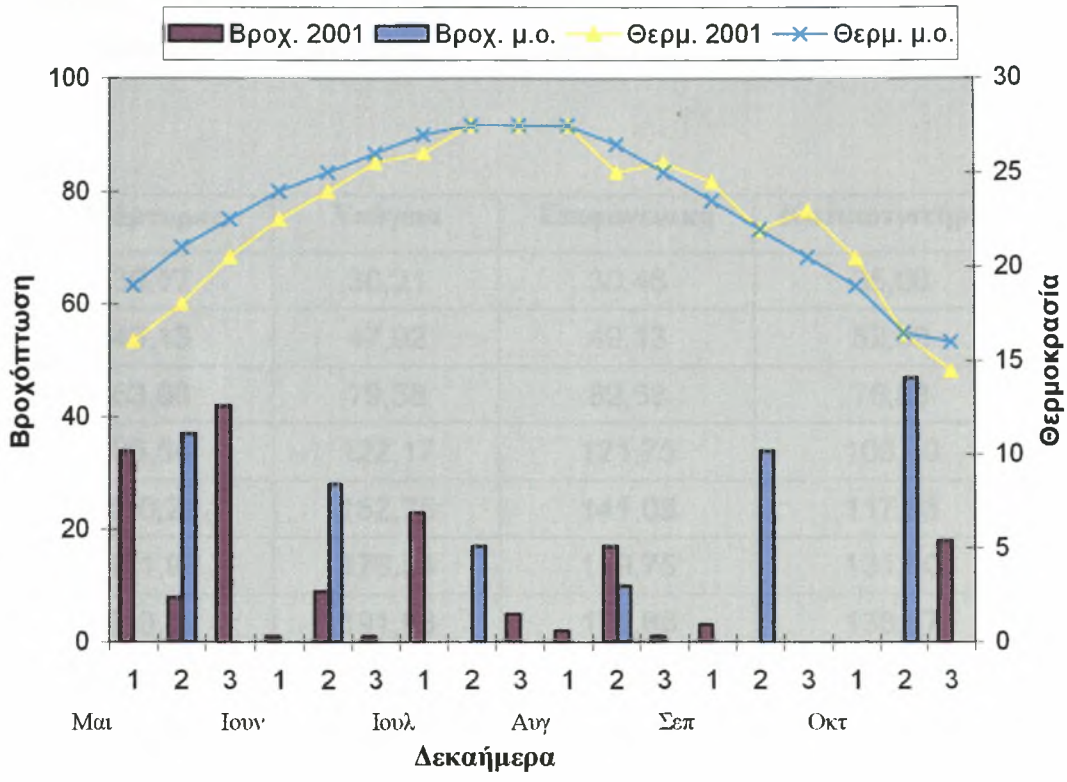
7.1 Κλιματικά στοιχεία

Το κλίμα στην περιοχή του Βελεστίνου χαρακτηρίζεται από τυπικό μεσογειακό κλίμα με ξηρό και ζεστό καλοκαίρι και υγρό και δροσερό χειμώνα. Στο πίνακα 7.1. είναι οι παρατηρήσεις του μετεωρολογικού σταθμού στη θερμοκρασία αέρα και την συνολική βροχόπτωση την περίοδο από αρχές Μαΐου μέχρι τέλος Οκτωβρίου 2001 καθώς και το μέσο όρο θερμοκρασία αέρα και βροχόπτωσης των 30 τελευταίων χρόνων. Παρατηρείται ότι οι θερμοκρασίες δεν διαφοροποιούνται σημαντικά από τις τιμές του μέσου όρου. Ήταν λίγο χαμηλότερο στις αρχές (μέχρι 1°C) από 20°C στις αρχές Μαΐου ως 26°C στα τέλη Ιουνίου. Η θερμοκρασία παρέμεινε σταθερή κοντά στους 27,5°C κατά τη διάρκεια του Ιουλίου και στις αρχές Αυγούστου και κατόπιν οι τιμές έπεσαν στα επίπεδα των 24,5 και 25,5°C από μέσα Αυγούστου μέχρι στις αρχές Σεπτεμβρίου και διατηρήθηκε στα επίπεδα άνω των 20°C μέχρι το δεύτερο δεκαήμερο του Οκτωβρίου. Εκτός της περιόδου του Μαΐου, που σημείωσε συνολικό βροχομετρικό ύψος 84 mm, την υπόλοιπη καλλιεργητική περίοδο ήταν τυπικά ξηρή με μόλις 60 χιλιοστά ύψος από τις αρχές Ιουνίου μέχρι τα μέσα Οκτωβρίου. Κάτω από τέτοιες συνθήκες είναι απαραίτητο για όλες τις εαρινές καλλιέργειες να αρδεύονται, ώστε να έχουν υψηλή απόδοση.

7.2. Ανάπτυξη φυτού

7.2.1. Ύψος φυτών

Στο πίνακα 7.3 παρατηρείτε την επίδραση διαφορετικών τρόπων αρδεύσεων στην ανάπτυξη του σόργου όπως αντανακλάται από το ύψος φυτών. Αντίστοιχα στον πίνακα 7.2. παρατηρούνται οι επιμέρους τιμές του ύψους φυτών ανά μέτρηση και μέθοδο



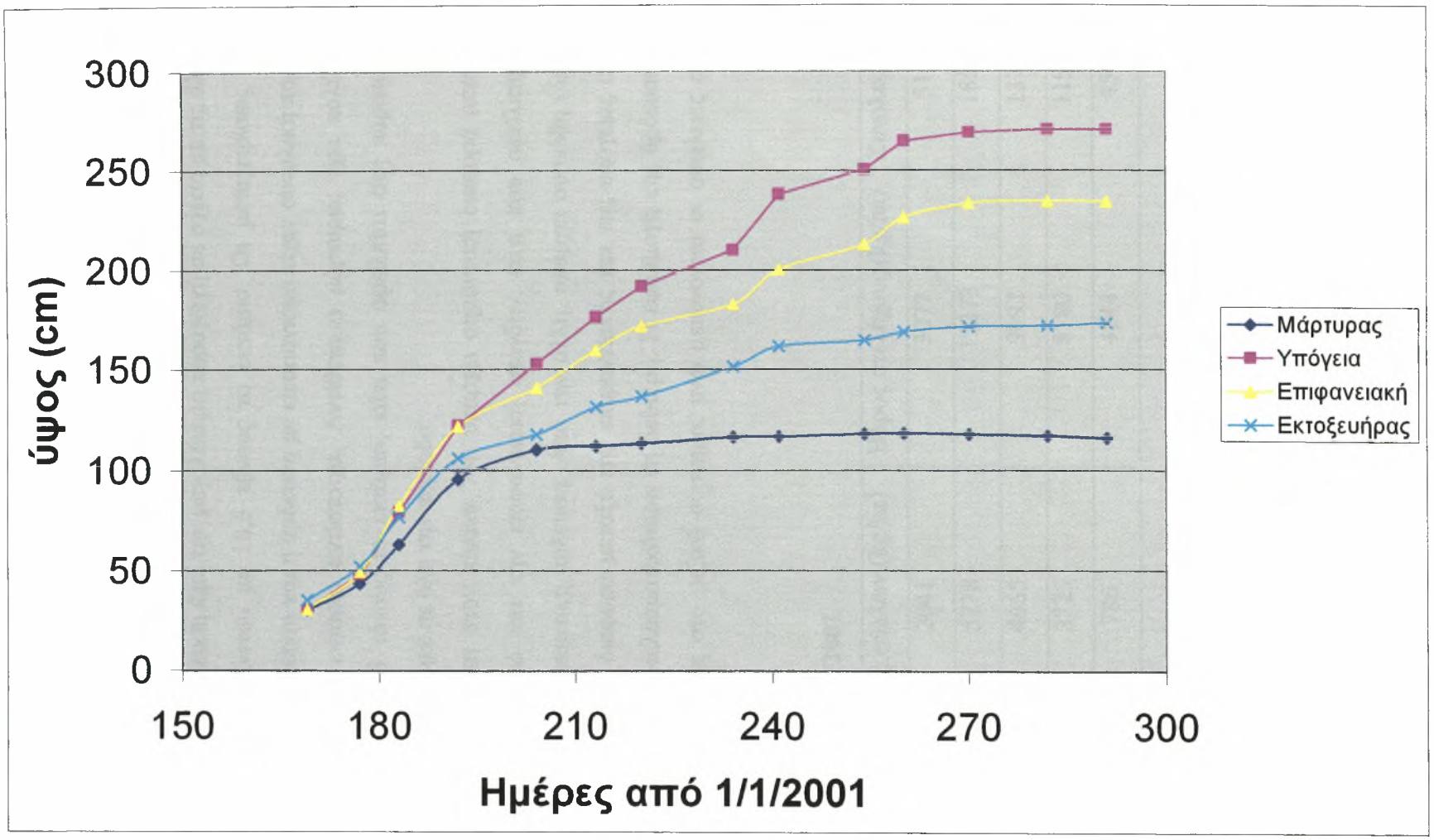
Πίνακας 7.1. Θερμοκρασία και βροχόπτωση (ανά δεκαήμερα) κατά τη διάρκεια της καλλιεργητικής περιόδου του σόργου σε σχέση με τον μέσο όρο των τιμών 30 ετών

άρδευσης. Φαίνεται καθαρά ότι η υπόγεια στάγδην άρδευση πλεονεκτεί σε σχέση με τις άλλους τρόπους άρδευσης (P=0,05). Το ύψος της μεταχείρισης αυτής, αυξάνονταν με μεγάλο αρχικό ρυθμό (3,6cm/ημέρα) μέχρι τις αρχές Ιουνίου οπότε είχε ρυθμό ανάπτυξης ίση περίπου με 2,2 cm/ημέρα, σταθερή μέχρι το ύψος των 270 εκατοστών στα τέλη Σεπτεμβρίου. Τα φυτά που αρδεύονταν με επιφανειακή στάγδην άρδευση είχαν μικρότερο ρυθμό μετά την πρώτο δεκαήμερο του Ιουλίου. Ο ρυθμός έφτανε στα επίπεδα των 1,6 cm/ημέρα μέχρι το μέγιστο που ήταν 235 εκατοστά. Όσον αφορά την άρδευση με καταιονισμό, ο ρυθμός αύξησης είναι ακόμα μικρότερος για την περίοδο από αρχές Ιουλίου (0,7 cm/ημέρα) αλλά έφτασαν σε ύψος μόλις τα 175 εκατοστά. Για την αρχική περίοδο, από σπορά μέχρι τα τέλη Ιουνίου) όπως παρατηρείται οι ρυθμοί είναι πανομοιότυποι για όλες τις μεταχειρίσεις. Τέλος για την μεταχείριση που δεν ποτίστηκε

καθόλου, η αύξηση του φυτού στην ουσία σταμάτησε από πολύ νωρίς (2° δεκαήμερο Ιουλίου), οπότε σταθεροποιήθηκε στο ύψος των 115 εκατοστών.

Ημ/νια	Μάρτυρας	Υπόγεια	Επιφανειακή	Καταιονιστήρας
18/06/2001	30,17	30,21	30,46	35,00
26/06/2001	43,13	47,92	49,13	52,00
2/07/2001	63,08	79,38	82,58	76,83
11/07/2001	95,54	122,17	121,75	106,00
23/07/2001	110,25	152,75	141,08	117,83
1/08/2001	111,96	176,54	159,75	131,50
8/08/2001	113,42	191,96	171,88	136,67
22/08/2001	116,38	210,46	183,08	151,67
29/08/2001	116,88	238,17	200,38	161,83
11/09/2001	118,13	250,46	213,25	164,67
17/09/2001	118,33	264,79	226,67	169,17
27/09/2001	117,79	269,00	233,83	171,67
9/10/2001	116,96	270,67	234,75	172,33
18/10/2001	116,08	270,75	234,50	173,50

Πίνακας 7.2. Μετρήσεις ύψους φυτών



Πίνακας 7.3. Ύψος φυτών των ινώδους σόργου, αρδευόμενο με διαφορετικές μεθόδους

7.2.2. Παραγωγή βιομάζας

Ο πίνακας 7.4. συνοψίζει τα αποτελέσματα από την αεροξηραινόμενη βιομάζα για όλες τις μεταχειρίσεις σε τρεις διαφορετικές ημερομηνίες. Η μεταχείριση με την υπο-επιφανειακή στάγδην άρδευση έχει την μεγαλύτερη παραγωγή σε σχέση με τις άλλες, με μέγιστο στα τέλη Αυγούστου με 18,6 τόνους το εκτάριο. Οι μεταχειρίσεις με την επιφανειακή στάγδην άρδευση και η άρδευση με καταιονισμό είχαν συνολική παραγωγή 13,8 και 12 τόνους το εκτάριο αντίστοιχα. Αντίθετα ο μάρτυρας έχει πολύ μικρή παραγωγικότητα, μόλις 5 τόνους το εκτάριο, κάτι που οφείλεται στη παρατεταμένη ξηρασία που παρουσιάστηκε σε όλη την περίοδο.

Όπως παρατηρείται στον πίνακα 7.4. υπάρχει σημαντική διαφορά μεταξύ της άρδευσης με καταιονισμό και την επιφανειακή στάγδην, κάτι που οφείλεται στην ομοιόμορφη και αποτελεσματική άρδευση. Από την άλλη, υπάρχει ουσιώδη (δεν είναι σημαντική σε P = 0,05) διαφορά μεταξύ της επιφανειακής και της υπόγειας στάγδην άρδευσης, με σαφώς αποτελεσματικότερη τη δεύτερη. Η εφαρμογή της άρδευσης στην υπόγεια γίνεται απευθείας στο ριζικό σύστημα, ενώ μειώνονται οι απώλειες από την εξάτμιση του νερού.

Συγκομιδή 31/08/2001

	Βάρος φύλλων (kg/ha)	Βάρος στελέχους (kg/ha)	Συνολικό βάρος
Μάρτυρας	2041	3077	5117
Υπόγεια	5278	13273	18552
Επιφανειακή	4665	9092	13756
Καταιονισμός	3723	8180	11902
Ε.Σ.Δ.	786	4544	4544

Συγκομιδή 21/9/2001

	Βάρος φύλλων (kg/ha)	Βάρος στελέχους (kg/ha)	Συνολικό βάρος
Μάρτυρας	1636	2597	4233
Υπόγεια	4502	13226	17728
Επιφανειακή	3165	8169	11334

Καταιονισμός	3201	6428	9629
Ε.Σ.Δ.	1074	4196	5179

Συγκομιδή 10/10/2001

	Βάρος φύλλων (kg/ha)	Βάρος στελέχους (kg/ha)	Συνολικό βάρος
Μάρτυρας			
Υπόγεια	3514	11569	15083
Επιφανειακή	3060	8205	11265
Καταιονισμός	2904	7039	9943
Ε.Σ.Δ.	1025	3615	4483

Πίνακας 7.4. Βάρος φύλλων, στελέχους και συνολική αεροξηραινόμενη παραγόμενη βιομάζα (kgha^{-1}) του ινώδους σόργου κάτω από διαφορετικές μεθόδους άρδευσης σε 3 διαφορετικές κοπές

Στις τελευταίες εβδομάδες του Σεπτεμβρίου, η παραγωγή βιομάζας μειώθηκε με σημαντικούς ρυθμούς στις μεταχειρίσεις της επιφανειακής στάγδην και του καταιονισμού (περίπου 100 kg ha^{-1} d^{-1}). Μετά από εκείνη την περίοδο, οι τιμές σταθεροποιήθηκαν. Όσον αφορά την υπόγεια στάγδην άρδευση, στις αρχές Σεπτεμβρίου μειώνεται με μικρούς ρυθμούς, ενώ από τέλη Σεπτεμβρίου μέχρι μέσα Οκτωβρίου, η βιομάζα μειώνεται με πιο γρήγορους ρυθμούς (περίπου 120 kg ha^{-1} d^{-1}). Τέτοια μείωση απόδοσης οφείλεται στην γήρανση των φύλλων καθώς και στις αυξανόμενες απώλειες λόγω αναπνοής, οι οποίες δεν αναπληρώνονταν από την φωτοσύνθεση, με αποτέλεσμα τους αρνητικούς ρυθμούς ανάπτυξης.

7.2.3. Φύλλα - Αδέλφια

Ημ/νια	**Μάρτυρας**	**Υπόγεια**	**Επιφανειακή**	**Καταιονιστήρας**
18/06/2001	6,6	6,7	6,5	7,7
26/06/2001	8,9	10,3	10,3	9,8

2/07/2001	10,1	13,4	12,3	11,8
11/07/2001	11,4	15,4	14,8	12,6
23/07/2001	13,0	15,4	15,1	13,0
1/08/2001	14,5	19,6	18,4	13,5
8/08/2001	14,4	20,0	18,6	13,6
22/08/2001	14,5	20,3	19,2	13,0
29/08/2001	14,3	20,0	18,8	12,7
11/09/2001	13,7	19,4	18,4	11,8
17/09/2001	13,1	18,5	17,6	11,7
27/09/2001	12,5	17,7	16,6	10,5

Πίνακας 7.5 Μέσος όρος αριθμού φύλλων ανά μέθοδο άρδευσης

	Μάρτυρας	**Υπόγεια**	**Επιφανειακή**	**Καταιονιστήρας**
Αδέλφια	1,63	1,92	2,29	1,67

Πίνακας 7.6. Μέσος όρος αδελφών ανά φυτό ανά μέθοδο άρδευση

Με βάση τα στοιχεία του πίνακα 7.5, παρατηρείται σαφώς μεγαλύτερος αριθμός φύλλων στην υπόγεια στάγδην άρδευση σε σχέση με τις άλλες μεθόδους άρδευσης. Αυτό πολύ εύκολα δικαιολογείται αφού η υπόγεια στάγδην άρδευση έχει μεγαλύτερη παραγωγή βιομάζας.

Σε αντίθεση με τον αριθμό των φύλλων ανά φυτό, τα αδέλφια ανά φυτό είναι σαφώς περισσότερα στην επιφανειακή σε σχέση με την υπόγεια. Συνήθως τα περισσότερα αδέλφια παράγονται σε συνθήκες με αραιή σπορά στο μέτρο ή σε συνθήκες πολύ έντονης άρδευσης. Όμως δεν πρέπει τα φυτά να παράγουν αδέλφια, γιατί κάτι τέτοιο είναι αντιστρόφως ανάλογο από την απόδοση ή παραγωγικότητα σε βιομάζα. Ο αριθμός των αδελφών ανά φυτό παρουσιάζεται στον πίνακα 7.6.

7.3. Αποτελέσματα από μετρήσεις υγρασιών

Ημερομηνία	Υπόγεια	Επιφανειακή	Καταιονιστήρας	Μάρτυρας
18.06				
	9,9	14,9	20,5	8,2
	19,4	23,7	25,8	17,5
	21,6	28,4	28,4	29,8
	34,0	25,8	27,2	27,4
	33,8	29,7	27,9	24,6
26.06				
	14,9	14,8	21,0	12,6
	24,2	20,3	24,1	13,9
	25,6	26,1	27,2	26,7
	32,9	30,7	26,0	25,9
	31,4	29,6	28,3	24,7
11.07				
	11,8	11,0	14,3	12,5
	22,0	16,1	14,7	16,8
	22,4	19,6	23,6	22,7
	31,7	27,8	25,2	24,7
	31,9	29,4	27,0	25,2
23.07				
	9,0	9,7	18,3	7,7
	12,4	13,6	17,8	12,8
	18,2	22,3	20,2	17,0
	28,8	25,3	22,5	24,8
	30,2	28,5	27,9	26,6
1.08				
	8,5	9,1	17,9	8,6
	12,5	12,3	17,9	12,2
	17,4	21,7	20,1	16,1
	28,2	24,4	22,1	22,9
	29,0	30,7	27,3	26,4
8.08				
	8,8	7,6	17,0	7,7
	11,4	12,1	18,3	11,5
	17,6	22,0	19,5	15,9
	26,6	24,0	21,8	23,4
	28,8	27,9	26,4	26,0
22.08				
	8,7	9,9	17,5	11,8
	10,8	12,0	18,5	11,2
	16,0	21,2	21,1	12,5

	25,6	22,9	21,0	22,5
	28,0	27,0	25,8	21,2
29.08				
	8,6	10,2	17,2	9,2
	11,5	12,9	17,2	11,0
	16,2	20,9	18,0	15,5
	25,1	22,6	21,4	22,1
	27,9	26,5	25,9	24,3
11.09				
	8,4	10,3	10,0	8,8
	10,6	12,7	16,0	11,6
	15,4	20,3	15,3	14,1
	24,5	22,3	22,3	22,1
	28,0	25,9	27,4	21,2
17.09				
	7,8	11,8	10,1	9,1
	10,8	15,0	16,2	10,2
	13,9	21,1	14,4	14,6
	23,1	22,0	22,5	21,4
	27,7	25,3	25,8	24,1
27.09				
	7,2	10,8	9,5	7,2
	10,7	12,3	14,6	11,9
	13,2	18,6	15,2	14,0
	24,3	21,0	21,6	21,1
	25,8	26,5	27,5	25,0
9.10				
	7,8	8,5	8,5	7,2
	9,9	14,3	16,4	13,9
	11,0	13,5	14,8	8,9
	22,4	16,7	22,1	21,7
	25,9	24,8	27,0	24,0

Πίνακας 7.7. Μετρήσεις υγρασίας πριν την άρδευση

Όλες οι μετρήσεις του πίνακα 7.7. πάρθηκαν πριν από λίγες ώρες της εφαρμογής άρδευσης, δηλαδή ανάλογα με το εύρος άρδευσης. Από τις μετρήσεις υγρασίας γίνεται κατανοητό, ότι στο ενεργό ριζόστρωμα ανάπτυξης του σόργου, η υπόγεια πλεονεκτεί ως προς τις άλλες μεθόδους. Στην επιφανειακή στάγδην άρδευση επειδή γίνεται εφαρμογή του νερού στην επιφάνεια του εδάφους, η υγρασία στο επιφανειακό στρώμα (0-15 εκ.)

είναι αρκετά υψηλή, επειδή εκεί γίνεται η εφαρμογή της άρδευσης. Όμως στα επίπεδα του ενεργού ριζοστρώματος (30-60 εκ.) παρατηρούνται τα ίδια επίπεδα υγρασίας που παρατηρούνται και στην υπόγεια με μικρή απόκλιση, συνήθως σε διαφορά 1-2%.

Σε αντίθεση με τις δύο στάγδην μεθόδους όπου η υγρασία αυξάνεται με το βάθος, στα τεμάχια που χρησιμοποιήθηκε ο καταιονιστήρας παρατηρείται ομοιόμορφη υγρασία σε όλα τα στρώματα (κυρίως στα επίπεδα από 15-75 εκ.). Αυτό οφείλεται κυρίως στην μεγάλη ποσότητα του νερού που διατηρείται σημαντική ποσότητα νερού σε όλα τα εδαφικά επίπεδα. Αυτό όμως δεν βοηθάει την ανάπτυξη του φυτού, αφού δεν μπορεί να αναπτύξει βαθύ ριζικό σύστημα, λόγω της υψηλής εδαφικής υγρασίας στο ανώτερο στρώμα. Στο πίνακα 7.8. παρατηρούνται οι μέσες τιμές για κάθε μέθοδο και βάθος.

	Υπόγεια	**Επιφανειακή**	**Καταιονιστήρας**	**Μάρτυρας**
0-15	9,3	12,1	18,0	9,2
15-30	14,1	16,0	18,6	12,5
30-45	17,4	21,5	20,6	17,3
45-60	27,3	23,3	22,7	23,3
60-75	29,0	27,3	26,2	24,4

Πίνακας 7.8. Μέσες τιμές υγρασιών

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 8

Συμπεράσματα

Από το πείραμα προκύπτει ότι η υπόγεια στάγδην άρδευση υπερέχει σημαντικά σε σχέση με τις άλλες μεθόδους άρδευσης, παρόλο που οι διαφορές με την επιφανειακή δεν είναι σημαντικές σε ύψος, αριθμό φύλλων και σε παραγωγή βιομάζας, κάτι που πιθανόν να οφείλεται κυρίως στην ανισοκατανομή των αρδεύσεων και από τις πρώτες βροχές που επηρέασαν σημαντικά και τις δύο μεταχειρίσεις. Σε αντίθεση με την επιφανειακή, η υπόγεια σε σχέση με τον καταιονισμό παρατηρούνται σημαντικές διαφορές σε όλες τις παραμέτρους. Ξεκάθαρη διαφορά παρατηρείται μετά τα μέσα Ιουλίου. Τέτοιες συγκρίσεις μεταξύ επιφανειακής και υπόγειας στάγδην παρατηρούνται στις εικόνες 9.1 και 9.3. Επίσης στην εικόνα 9.2 φαίνεται σύγκριση της υπόγειας στάγδην με τον μάρτυρα ενώ στην εικόνα 9.4. φαίνεται η μεταχείριση στην οποία ήταν ο καταιονιστήρας.

Εικόνα 9.1. Σύγκριση επιφανειακής και υπόγειας στάγδην άρδευση στην επανάληψη Δ. Η υπόγεια βρίσκεται στα δεξιά της φωτογραφίας, ενώ η επιφανειακή στα αριστερά.

Σε μία ορθολογική εκμετάλλευση του νερού στα μελλοντικά χρόνια, γίνεται να μειωθεί η ποσότητα του νερού που θα χρησιμοποιείται με την μέθοδο της υπόγειας στάγδην άρδευσης και να επιτευχθούν παρόμοιες ποσότητες βιομάζας με εκείνη εάν ποτίζονταν με την επιφανειακή.

Εικόνα 9.2. Σύγκριση υπόγειας με τον μάρτυρα

Εικόνα 9.3. Σύγκριση επιφανειακής και υπόγειας στάγδην άρδευση στην επανάληψη Α. Η υπόγεια βρίσκεται στα αριστερά της φωτογραφίας, ενώ η επιφανειακή στα δεξιά

Εικόνα 9.4. Μεταχείριση όπου χρησιμοποιείται καταιονισμός

Βιβλιογραφία

1) Αλεξίου, Ι., Καλφούντζος, Δ., Κωτσόπουλος, Σ., Βύρλας, Π., και Καμπέλη, Σ. 2003. Σύγκριση της υποεπιφανειακής και της επιφανειακής στάγδην άρδευσης σε καλλιέργεια βαμβακιού. Πρακτικά 9^{ου} συνεδρίου υδροτεχνικής ένωσης (ΕΥΕ), 2-5 Απριλίου, Θεσσαλονίκη, σ.199-206.
2) Alexopoulou, E., and Chatziathanassiou, A. Description of growing experience on sweet sorghum in Greece.
3) Cook, J., Beyea, J. An analysis of the environmental impacts of energy crops in the USA : methodologies, conclusions and Recommendations
4) Christou, M., Panoutsou, K., Alexopoulou, E. Promising agricultural Perennial Energy Crops in Greece,
5) Γαλανοπούλου-Σενδουκά, Σ.,2001, Ειδική Γεωργία Ι, Πανεπιστημιακές παραδόσεις, Βόλος.
6) Καλφούντζος, Δ.,2002. Υδατοκατανάλωση καλλιεργειών, Βόλος
7) Klocke, N., Hubbard, K., Kranz, W., Watts, D. Evapotranspiration (ET) or Crop water use
8) Μήτσιος, Ι., 2000. Εδαφολογική μελέτη και εδαφολογικός χάρτης του αγροκτήματος του Π.Θ. στο Βελεστίνο. Βόλος
9) Nicholaou, N. Sweet sorghum a promising annual crop for Greece
10) Panoutsou, K. Fiber sorghum, a promising annual crop for biomass production in Greece,
11) Panoutsou, K., Alexopoulou, E. Promising annual Energy Crops in Greece
12) Panoutsou, K. State of the art for energy crops in Greece
13) Περιοδικό Γεωργία – Κτηνοτροφία, 1996. Διάφοροι, μέθοδοι άρδευσης και αρδευτικά συστήματα. Μηχανήματα για την Γεωργία (σ.48-57).
14) Purdue-University (www.hort.purdue.edu/newcrop/duke_energy/Sorghum_bicolor.html
15) Σακελλαρίου-Μακραντωνάκη, Μ., Παπαλέξης, Δ., Δαναλάτος, Ν., Βουλτσάνης, Π., και Νάκος, Ν, 2003. Επίδραση επιφανειακής και Υπόγειας στάγδην άρδευσης στην ανάπτυξη και παραγωγή της ενεργειακής καλλιέργειας του σόργου στην

Κεντρική Ελλάδα,. Πρακτικά 9ου συνεδρίου υδροτεχνικής ένωσης (ΕΥΕ), 2-5 Απριλίου, Θεσσαλονίκη, σ.183-190.

16) Σακελλαρίου – Μακραντωνάκη, Μ., 2002. Σημειώσεις αρδεύσεων. Βόλος.

17) Scherpernzeel, J. Agenda 2000: consequences for energy crops

18) Stassen, H. FAIR1-CT95-0512 : European energy crops processing and utilization in Europe

19) Σφήκας, 1984. Ειδική Γεωργία, Πανεπιστημιακές παραδόσεις.

20) Τερζίδης, Γ., Παπαζαφειρίου, Ζ., 1994. Γεωργική Υδραυλική, Εκδόσεις Ζήτη, Θεσσαλονίκη.