

ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΘΕΣΣΑΛΙΑΣ
ΣΧΟΛΗ ΓΕΩΠΟΝΙΚΩΝ ΕΠΙΣΤΗΜΩΝ
ΤΜΗΜΑ ΓΕΩΠΟΝΙΑΣ ΦΥΤΙΚΗΣ ΠΑΡΑΓΩΓΗΣ
ΚΑΙ ΑΓΡΟΤΙΚΟΥ ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝΤΟΣ
ΔΙΑΤΜΗΜΑΤΙΚΟ ΠΡΟΓΡΑΜΜΑ ΜΕΤΑΠΤΥΧΙΑΚΩΝ ΣΠΟΥΔΩΝ
ΕΡΓΑΣΤΗΡΙΟ ΓΕΩΡΓΙΚΗΣ ΥΔΡΑΥΛΙΚΗΣ

ΜΕΤΑΠΤΥΧΙΑΚΗ ΔΙΑΤΡΙΒΗ
ΕΠΑΝΑΧΡΗΣΙΜΟΠΟΙΗΣΗ ΕΠΕΞΕΡΓΑΣΜΕΝΩΝ ΥΓΡΩΝ ΑΣΤΙΚΩΝ
ΑΠΟΒΛΗΤΩΝ ΣΤΗΝ ΑΡΔΕΥΣΗ ΚΑΛΛΙΕΡΓΕΙΑΣ ΗΛΙΑΝΘΟΥ

Θεόδωρος Φ. Μπαμνάρας



Επιβλέπουσα Καθηγήτρια: Μαρία Σακελλαρίου-Μακραντωνάκη

Νέα Ιωνία, Νοέμβριος 2009

ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ

| | |
|---|----|
| ΠΕΡΙΛΗΨΗ..... | 6 |
| ABSTRACT..... | 7 |
| ΚΕΦΑΛΑΙΟ ΠΡΩΤΟ | 8 |
| ΕΙΣΑΓΩΓΗ..... | 8 |
| ΚΕΦΑΛΑΙΟ ΔΕΥΤΕΡΟ | 11 |
| ΕΝΕΡΓΕΙΑΚΑ ΦΥΤΑ | 11 |
| 2.1 Γενικά | 11 |
| 2.2 Παραγωγή υγρών καυσίμων από ενεργειακές καλλιέργειες | 12 |
| 2.3 Πολιτική για τις ενεργειακές καλλιέργειες..... | 14 |
| 2.4 Πλεονεκτήματα των ενεργειακών καλλιεργειών που συνιστούν αναγκαία τη χρήση τους. | 16 |
| 2.5 Ενεργειακές καλλιέργειες που μπορούν να χρησιμοποιηθούν στην Ελλάδα..... | 17 |
| 2.5.1 Καλαμπόκι ή Αραβόσιτος (Zea Mays) | 17 |
| 2.5.2 Σόργο (Sorghum sp.) | 18 |
| 2.5.3 Ελαιοκράμβη (Brassica Napus) | 18 |
| 2.5.4 Ηλιανθος ετήσιος (Helianthus Annuus) | 19 |
| 2.5.5 Λινάρι (Linum Usitatissimum) | 19 |
| 2.5.6 Δενδρώδεις ενεργειακές καλλιέργειες | 20 |
| ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3 | 21 |
| ΗΛΙΑΝΘΟΣ (HELIANTHUS ANNUUS) | 21 |
| 3.1 Γενικά | 21 |
| 3.2 Βοτανικά γνωρίσματα..... | 24 |
| 3.3 Ανάπτυξη | 27 |
| 3.4 Κλιματολογικές απαιτήσεις | 28 |
| 3.5 Διαχείριση της καλλιέργειας..... | 28 |
| 3.5.1 Έδαφος..... | 28 |

| | |
|---|-----------|
| 3.5.2 Προετοιμασία πριν τη σπορά..... | 29 |
| 3.5.3 Σπορά..... | 29 |
| 3.5.4 Αραίωμα..... | 29 |
| 3.5.5 Αμειψισπορά..... | 30 |
| 3.5.6 Άρδευση..... | 30 |
| 3.5.7 Λίπανση..... | 31 |
| 3.5.8 Ζιζανιοκτονία..... | 31 |
| 3.5.9 Συγκομιδή..... | 32 |
| 3.6 Εχθροί και αντιμετώπισή τους..... | 32 |
| 3.7 Μυκητολογικές ασθένειες και αντιμετώπισή τους..... | 33 |
| 3.7.1 Φόμωση του ηλίανθου ή καρκίνος του μίσχου (<i>Phomopsis helianthi</i>)..... | 33 |
| 3.7.2 Γκρίζα μούγλα (<i>Botrytis cinerea</i>)..... | 34 |
| 3.7.3 Αλτενάρια (<i>Alternaria alternata</i> , <i>Alternaria helianthi</i>)..... | 35 |
| 3.7.4 Σκωρίωση του ηλίανθου (<i>Puccinia helianthi</i>)..... | 35 |
| 3.8 Ποικιλίες, υβρίδια και βελτίωση φυτών..... | 36 |
| 3.9 Διατροφική αξία του ελαίου και των σπόρων του ηλίανθου..... | 37 |
| 3.10 Χρήση του ηλιελαίου στη βιομηχανία παραγωγής καυσίμων..... | 38 |
| 3.11 Εξαγωγή του ελαίου από τον ηλίανθο..... | 40 |
| ΚΕΦΑΛΑΙΟ ΤΕΤΑΡΤΟ..... | 42 |
| ΥΓΡΑ ΑΠΟΒΛΗΤΑ ΓΙΑ ΑΡΔΕΥΣΗ..... | 42 |
| 4.1 Γενικά..... | 42 |
| 4.2 Από ιστορική και γεωπολιτική άποψη..... | 45 |
| 4.3 Επεξεργασία των υγρών αστικών αποβλήτων..... | 46 |
| 4.4 Μέθοδοι επεξεργασίας..... | 47 |
| 4.4.1 Προκαταρκτική επεξεργασία..... | 48 |
| 4.4.2 Πρωτοβάθμια επεξεργασία..... | 48 |
| 4.4.3 Δευτεροβάθμια επεξεργασία..... | 49 |
| 4.4.4 Τριτοβάθμια ή προχωρημένη επεξεργασία (advanced treatment)..... | 50 |
| 4.4.5 Απολύμανση..... | 51 |
| 4.4.6 Αποθήκευση..... | 51 |
| 4.5 Χρήση των επεξεργασμένων υγρών αποβλήτων για αρδευτικούς σκοπούς..... | 52 |
| 4.6 Ποιοτικά χαρακτηριστικά των επεξεργασμένων υγρών αποβλήτων για αρδευτικούς σκοπούς..... | 54 |
| 4.6.1 Αλατότητα..... | 54 |
| 4.6.2 Ταχύτητα διήθησης του αρδευτικού νερού..... | 55 |
| 4.6.3 Θρεπτικά στοιχεία..... | 56 |
| 4.6.4 Παθογόνοι μικροοργανισμοί..... | 57 |
| 4.6.4.1 Μέτρα προστασίας από το παθογόνο φορτίο..... | 57 |

| | |
|---|-----------|
| 4.6.4.2 Μικροβιολογικά κριτήρια των επεξεργασμένων αστικών αποβλήτων για αρδευτικούς σκοπούς..... | 58 |
| 4.7 Προβλήματα που παρουσιάζονται κατά την άρδευση με αστικά απόβλητα..... | 60 |
| ΚΕΦΑΛΑΙΟ ΠΕΜΠΤΟ..... | 61 |
| ΜΕΘΟΔΟΙ ΑΡΔΕΥΣΗΣ ΜΕ ΕΠΕΞΕΡΓΑΣΜΕΝΑ ΥΓΡΑ ΑΣΤΙΚΑ ΑΠΟΒΛΗΤΑ | 61 |
| 5.1 Γενικά | 61 |
| 5.2 Επιλογή μεθόδου άρδευσης..... | 62 |
| 5.2.1 Άρδευση με κατάκλυση ή λωρίδες | 62 |
| 5.2.2 Άρδευση με αυλάκια..... | 63 |
| 5.2.3 Άρδευση με καταιονισμό..... | 63 |
| 5.2.4 Μέθοδοι τοπικής άρδευσης (στάγδην άρδευση) | 64 |
| 5.3 Υπόγεια στάγδην άρδευση..... | 64 |
| 5.3.1 Γενικά | 64 |
| 5.3.2 Περιγραφή ενός συστήματος υπόγειας άρδευσης | 66 |
| 5.3.3 Πλεονεκτήματα της υπόγειας στάγδην άρδευσης | 67 |
| 5.3.4 Μειονεκτήματα της υπόγειας στάγδην άρδευσης..... | 70 |
| ΚΕΦΑΛΑΙΟ ΕΚΤΟ..... | 72 |
| ΕΓΚΑΤΑΣΤΑΣΗ ΠΕΙΡΑΜΑΤΟΣ- ΥΛΙΚΑ ΚΑΙ ΜΕΘΟΔΟΙ..... | 72 |
| 6.1 Γενικά | 72 |
| 6.2 Χάραξη του πειραματικού αγροτεμαχίου | 72 |
| 6.3 Εγκατάσταση της καλλιέργειας στο πειραματικό τεμάχιο | 74 |
| Εικόνα 6. Το πειραματικό αγροτεμάχιο..... | 75 |
| 6.4 Άρδευση του πειραματικού αγροτεμαχίου | 76 |
| 6.5 Όργανα και μέθοδοι μετρήσεως που χρησιμοποιήθηκαν κατά τη διάρκεια του πειράματος | 81 |
| 6.5.1 Εξαμισίμετρο τύπου Α | 81 |
| 6.5.2 Μέτρηση εδαφικής υγρασίας..... | 82 |
| 6.5.3 Συσκευή προσδιορισμού του Δείκτη Φυλλικής Επιφάνειας (LAI)..... | 85 |
| 6.6 Υπολογισμός δόσης εφαρμογής, εύρους και διάρκειας άρδευσης στην καλλιέργεια του ηλίανθου..... | 85 |
| 6.7 Άρδευση με επεξεργασμένα υγρά απόβλητα..... | 99 |
| 6.8 Μετρήσεις όσον αφορά την καλλιέργεια του ηλίανθου | 102 |
| 6.8.1 Ύψος φυτών..... | 102 |

| | |
|--|------------|
| 6.8.2 Διάμετρος κεφαλής | 103 |
| 6.8.3 Αριθμός φύλλων | 103 |
| 6.8.4 Χλωρή και ξηρή βιομάζα..... | 103 |
| 6.9 Στατιστική ανάλυση των αποτελεσμάτων | 104 |
| 6.10 Κλιματολογικά δεδομένα..... | 104 |
| ΚΕΦΑΛΑΙΟ ΕΒΔΟΜΟ | 105 |
| ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ | 105 |
| 7.1 Κλιματολογικά δεδομένα..... | 105 |
| 7.2 Εδαφική υγρασία | 106 |
| 7.3 Δείκτης φυλλικής επιφάνειας (LAI) | 108 |
| 7.4 Εξοικονόμηση νερού | 111 |
| 7.5 Αποτελέσματα μέτρησης ποιοτικών χαρακτηριστικών του ηλίανθου | 113 |
| 7.5.1 Ύψος φυτών..... | 113 |
| 7.5.2 Διάμετρος δίσκων | 116 |
| 7.5.3 Αριθμός φύλλων | 118 |
| 7.5.4 Προσδιορισμός χλωρής και ξηρής βιομάζας | 120 |
| 7.6 Εδαφολογική ανάλυση..... | 123 |
| ΚΕΦΑΛΑΙΟ ΟΓΔΩΟ | 126 |
| ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ | 126 |
| ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ | 128 |
| ΠΑΡΑΡΤΗΜΑΤΑ | 132 |
| ΛΙΣΤΑ ΕΙΚΟΝΩΝ..... | 133 |
| ΛΙΣΤΑ ΠΙΝΑΚΩΝ | 134 |
| ΛΙΣΤΑ ΣΧΗΜΑΤΩΝ | 136 |

ΠΕΡΙΛΗΨΗ

Η αλόγιστη χρήση του νερού, η οποία γίνεται για την κάλυψη βασικών και μη ανθρώπινων αναγκών, είχε σαν αποτέλεσμα τη σταδιακή μείωσή των διαθέσιμων αποθεμάτων. Αυτό σε συνδυασμό με την αυξανόμενη ρύπανση του εδάφους, των νερών και της ατμόσφαιρας στο βωμό της προόδου, επέφερε την υποβάθμιση, καθώς επίσης και τη δημιουργία αρνητικών επιδράσεων στο περιβάλλον και τις σύγχρονες κοινωνίες.

Προκειμένου να ικανοποιηθεί η ζήτηση για νερό του με γεωμετρική πρόοδο αυξανόμενου πληθυσμού του πλανήτη και συνάμα να προστατευτεί το περιβάλλον και η δημόσια υγεία, τόσο ο επιστημονικός όσο και ο πολιτικός κόσμος παγκοσμίως, είναι αναγκαίο να αναλάβουν δράση όσον αφορά τη λήψη μέτρων και ορθών πρακτικών για την αντιμετώπιση των ζωτικής σημασίας αυτών προβλημάτων. Ήδη σε πολλές περιοχές στις οποίες επικρατούν ξηρές συνθήκες, περιορισμένες βροχοπτώσεις και αντιμετωπίζουν πρόβλημα έλλειψης νερού, επικροτείται η χρήση των επεξεργασμένων υγρών αποβλήτων για άρδευση κάποιων καλλιεργειών, ένα μεγάλο ποσοστό των οποίων καταλαμβάνουν οι ενεργειακές. Αυτές αποτελούν πρώτη ύλη για την παρασκευή βιοκαυσίμων, τα οποία αποτελούν μέρος των ανανεώσιμων πηγών ενέργειας.

Στα πλαίσια αυτής της προσπάθειας η παρούσα εργασία πραγματεύεται την μελέτη της επίδρασης της υπόγειας στάγδην άρδευσης με επεξεργασμένα υγρά αστικά απόβλητα και καθαρό νερό στην ανάπτυξη και απόδοση του ετήσιου Ηλιανθου (*Helianthus annuus*). Επίσης ασχολείται με την εύρεση του ποσοστού της εξοικονόμησης καθαρού νερού λόγω χρήσης υγρών αστικών λυμάτων.

Για την υλοποίηση της εργασίας διατέθηκε από το Πανεπιστήμιο Θεσσαλίας, πειραματικό αγροτεμάχιο στις εγκαταστάσεις του αγροκτήματός του στην περιοχή του Βελεστίνου. Η εργασία περιλάμβανε ένα πλήρες τυχαιοποιημένο σχέδιο (τροποποιημένο) με δύο μεταχειρίσεις (καθαρό νερό και επεξεργασμένα αστικά απόβλητα) σε τέσσερις επαναλήψεις. Τα προς άρδευση απόβλητα προέρχονταν από την μονάδα βιολογικού καθαρισμού της πόλης του Βόλου και η εφαρμογή τόσο αυτών όσο και του καθαρού αρδευτικού νερού, έγινε με τη χρήση διπλού συστήματος υπόγειας στάγδην άρδευσης.

Σε καθημερινή βάση λαμβάνονταν από τον αυτόματο μετεωρολογικό σταθμό όλες οι μετρήσεις των κλιματικών δεδομένων, ενώ οι μετρήσεις που έγιναν και στις δύο μεταχειρίσεις αφορούσαν το ύψος των φυτών, τη διάμετρο των κεφαλών, το δείκτη φυλλικής επιφάνειας, την υγρασία του εδάφους, τη χλωρή και την ξηρή βιομάζα. Η σύγκριση των μετρήσεων των δύο μεταχειρίσεων έδειξε ότι δεν υπάρχει στατιστικώς σημαντική διαφορά και ότι παράλληλα επιτεύχθηκε σημαντική εξοικονόμηση νερού.

ABSTRACT

The irrational use of water resources that takes place in order to cover up the basic or not needs of the human race, resulted to gradual reduce of the global water stock. This, combined with the increasing ground, water and atmospherical intoxication created many negative effects through the environment and the modern societies.

In order to satisfy the increasing population's need for water and to protect the environment and public health, either the scientific or the political worlds must take action, about things concerning measures and proper practices for the confrontation of these vital meaning problems. Already in many regions with dry conditions and limited rainfalls, that face the problem of reduced water, the use of treated municipal wastewaters for irrigating purposes is being given a boost, especially in the energy crops section. Energy crops constitute raw material for the bio fuels production, which they are considered part of the renewable energy resources.

Due to this effort, the present research is dealing with the study of the subsurface drip irrigation effects combined with the treated sewage and pure water, through the development and productivity of the annual sunflower (*Helianthus annuus*). It is also concerning about the percentage of the water saving by using treated wastewaters.

The research took place in the ranch of the University of Thessaly, at Velestino area and constituted a full randomised pattern (modified) with two treatments (pure water and treated wastewaters) in four repeats each.

The treated wastewaters came from the Directorate of Water Supply and Sewage of the Major Region of Volos and the application of both pure water and the sewage was made by a double subsurface drip irrigation system that had been installed.

In daily base climate data was receiving from an automatic meteorological station. The measurements that have been taken in both treatments concerned the height, the diameter of the disks, the number of leaves, the production of wet and dry biomass, ground humidity and the index of the leaf surface. The comparison of measurements in both treatments indicated that there is not statistically important difference among them and a major saving of water about 22%.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ ΠΡΩΤΟ

Εισαγωγή

Ένα από τα πολυτιμότερα αγαθά το οποίο σηματοδότησε την έναρξη της ζωής στη Γη και συνδέεται άρρηκτα με την βιωσιμότητα, την πρόοδο και την ευημερία του ανθρώπινου είδους πάνω σ' αυτή είναι το νερό. Ο άνθρωπος αντιλήφθηκε από τα αρχικά στάδια της εξέλιξής του τη μεγάλη του σημασία ως μέσον επιβίωσης γιατί πέρα από την κάλυψη των ατομικών αναγκών, το υγρό στοιχείο παίζει καθοριστικό ρόλο στην ανάπτυξη των φυτικών και ζωικών οργανισμών που χρησιμεύουν στη διατροφή του και κατ' επέκταση στη διατήρηση της ενέργειάς του.

Σε ένδειξη ευγνωμοσύνης για την ύπαρξή του και σεβόμενοι την δύναμή του πολλοί αρχαίοι λαοί δημιούργησαν θεότητες οι οποίες εξουσίαζαν τις ηπειρωτικές και θαλάσσιες υδάτινες μάζες, νιώθοντας έτσι την προστασία από τη μία και τις ευεργετικές του ιδιότητες από την άλλη. Με την πάροδο του χρόνου το ανθρώπινο είδος άρχισε να δαμάζει τη δύναμή του και να το χρησιμοποιεί προς όφελός του κυρίως για αρδευτικούς σκοπούς στην αρχή και στη συνέχεια και για άλλες δραστηριότητες πέρα από τις αναγκαίες, για να διευκολύνει τη ζωή του.

Η πρόοδος και η ανάπτυξη ιδιαίτερα του τεχνολογικού πολιτισμού καθώς επίσης και η συνεχής αύξηση του πληθυσμού της γης ιδιαίτερα στις μέρες μας καθιστούν το νερό ως αγαθό προς εξαφάνιση. Αύξηση του πληθυσμού συνεπάγεται αύξηση των καλλιεργήσιμων εκτάσεων και τάσεις για αύξηση της παραγωγής αγροτικών προϊόντων, με αποτέλεσμα την κατανάλωση πολύ μεγαλύτερων ποσοτήτων νερού. Επίσης εντείνεται η χρήση του στη βιομηχανία για την κάλυψη των ολοένα και περισσότερων αναγκών που εμφανίζονται και τέλος μεγιστοποιείται η ποσότητα του νερού που καταναλώνεται για την κάλυψη των απαιτήσεων της ατομικής και οικιακής καθαριότητας του κοινωνικού συνόλου.

Η ιδιότητα του νερού να αποκαλείται στην εποχή μας 'σπάνιο αγαθό' απορρέει κυρίως από τη μη ορθολογική χρήση των υδατικών πόρων και την έλλειψη σεβασμού προς αυτό, αφού πέρα από τη σπατάλη που γίνεται, η ρύπανση των υδάτων στις σύγχρονες κοινωνίες είναι εκτενής και άμετρη στο βωμό της προόδου και της ευημερίας. Το 80% του πλανήτη μας καλύπτεται από νερό από το οποίο το μεγαλύτερο μέρος του είναι αλμυρό (98,78%) και δεν προσφέρεται για τις περισσότερες ανθρώπινες χρήσεις. Το γλυκό νερό (1,22%) το οποίο είναι χρήσιμο και ζωτικής σημασίας για όλα σχεδόν τα επίγεια όντα, στο μεγαλύτερο ποσοστό του βρίσκεται παγιδευμένο στους πάγους των πόλων (1,95%) και μόνο ένα ισχνό ποσοστό έναντι του συνολικού, (0,0014%) μένει διαθέσιμο για την κάλυψη των αναγκών παγκοσμίως.

Το φυσικό νερό παρουσιάζει ποικιλία ποιοτικών χαρακτηριστικών (φυσικά, χημικά, βιολογικά, μικροβιολογικά) ανάλογα με τις περιεχόμενες σε αυτό ξένες

προσιμίες. Έτσι, για κάθε χρήση (ύδρευση, άρδευση, διαβίωση ψαριών κ.τ.λ.) απαιτείται μία ορισμένη διακύμανση των ποιοτικών χαρακτηριστικών του, που καθορίζεται συνήθως από πρότυπα ποιότητας (quality standards). Μετά τη χρήση του έχει αλλοιωμένα και σημαντικά υποβαθμισμένα τα παραπάνω χαρακτηριστικά, με αποτέλεσμα να δημιουργούνται σοβαρά προβλήματα μόλυνσης του τελικού αποδέκτη που είναι η θάλασσα, μία λίμνη, ένα ποτάμι ή το έδαφος.

Λαμβάνοντας υπόψη τα παραπάνω καθώς επίσης και το γεγονός ότι η χώρα μας έχει περιορισμένα υδατικά αποθέματα και βροχοπτώσεις, κρίνεται υψίστης σημασίας για την αντιμετώπιση αυτού του τόσο σοβαρού κινδύνου η σωστή και με περισσή περίσκεψη διαχείριση των ήδη υπάρχοντων πόρων νερού σε συνδυασμό με την προσπάθεια εξεύρεσης νέων. Η μείωση των πάσης φύσεως απωλειών του αρδευτικού νερού (Bos and Nugteren 1983, Μαυρουδής κ.α. 1993, Babajimopoulos et al. 1996), η αξιοποίηση μεγαλύτερου μέρους των χειμερινών απορροών με την κατασκευή φραγμάτων ή την εφαρμογή του τεχνητού εμπλουτισμού (Πουλοβασίλης & Παγώνης 1981, Καλλέργης 1985, Βαφειάδης 1995, Καραμούζης & Τερζίδης 1998), καθώς επίσης και η αξιοποίηση των νερών υποβαθμισμένης ποιότητας, όπως είναι τα νερά με αυξημένη περιεκτικότητα σε άλατα (Rhoades et al. 1992) και τα επεξεργασμένα υγρά αστικά απόβλητα (Παπαζαφειρίου & Αντωνόπουλος 1991, Αγγελάκης & Tsobanoglou 1995, Πανώρας & Ηλίας 1997 α, β, Σακελλαρίου-Μακραντωνάκη 2003, 2004, 2005), μπορούν να αποτελέσουν κάποιες βασικές ορθές πρακτικές εξοικονόμησης σημαντικών ποσοτήτων νερού.

Το μεγαλύτερο μέρος του διαθέσιμου νερού παγκοσμίως χρησιμοποιείται για την κάλυψη των αρδευτικών αναγκών των εκάστοτε χωρών, καθώς οι ανάγκες για σίτιση γίνονται ολοένα αυξανόμενες. Υπολογίζεται ότι υπερβαίνει το 70% της συνολικής κατανάλωσης, ενώ στη χώρα μας το ποσοστό του νερού που διατίθεται για άρδευση κυμαίνεται γύρω στο 84% έναντι του 2-3% και 13% που διατίθεται για βιομηχανική και αστική χρήση αντίστοιχα (Παπαδόπουλος & Παρισόπουλος 2001). Οι πρακτικές που χρησιμοποιούνταν μέχρι προσφάτως στον τομέα των αρδεύσεων, διέπονται από αλόγιστη χρήση του αρδευτικού νερού κι αυτό εξαιτίας της έλλειψης σωστού προγραμματισμού, που είναι απόρροια του μη ακριβούς προσδιορισμού των αναγκών σε νερό κάθε καλλιέργειας. Είναι θεμιτό να υπολογίζεται με ακρίβεια η δόση και ο χρόνος εφαρμογής της άρδευσης, ο οποίος καθορίζεται από την εξατμισοδιαπνοή της καλλιέργειας και τις βροχοπτώσεις κατά τη διάρκεια της βλαστικής περιόδου, καθώς και η διάρκεια άρδευσης η οποία εξαρτάται από τη διηθητικότητα του εδάφους και την αρδευτική μέθοδο που εφαρμόζεται.

Γίνεται λοιπόν επιτακτική ανάγκη η αναζήτηση και εφαρμογή καινοτόμων μεθόδων άρδευσης, οι οποίες θα περιορίσουν τις απώλειες νερού κατά τη διανομή και χορήγηση του στα φυτά και θα πετύχουν υψηλές αποδόσεις και αυξημένη παραγωγή. Μια τέτοια μέθοδος είναι η υπόγεια άρδευση με σταγόνες η οποία ελαχιστοποιεί σε μεγάλο βαθμό το κόστος εφαρμογής του νερού, μειώνει τις

απώλειες και με τη χρήση της επιτυγχάνονται ικανοποιητικές παραγωγές. Επίσης με την υπόγεια στάγδην άρδευση διασφαλίζεται η δημόσια υγεία και μειώνονται οι δυσμενείς επιπτώσεις στο περιβάλλον, όταν χρησιμοποιούνται για το σκοπό αυτό επεξεργασμένα αστικά λύματα λόγω της διοχέτευσής τους μέσα στο έδαφος και όχι στην επιφάνειά του.

Ακόμη, η χρήση των επεξεργασμένων υγρών αποβλήτων για άρδευση αποτελεί μία σημαντική και ελπιδοφόρα λύση, γιατί έτσι αφενός επιτυγχάνονται λιγότερες εφαρμογές αρδευτικού νερού, άρα γίνεται εξοικονόμηση του και αφετέρου διευκολύνεται η διάθεση και διαχείριση τους, η οποία αποτελεί μείζον ζήτημα για όλες τις σύγχρονες κοινωνίες, έχοντας ως όφελος την προστασία του περιβάλλοντος και τη μείωση του κόστους. Η διάθεση των υγρών αποβλήτων είναι σημαντικός παράγοντας της ρύπανσης των υδάτινων αποδεκτών, όπως είναι τα ποτάμια, οι λίμνες, οι θάλασσες και τα υπόγεια νερά. Έτσι υποβαθμίζονται τα υδάτινα οικοσυστήματα, υπάρχει κίνδυνος μόλυνσης των πηγών πόσιμου νερού και δημιουργούνται άσχημες καταστάσεις για τους ανθρώπους που διαβιούν εκεί κοντά λόγω δυσοσμίας, διάδοσης ασθενειών και λειψυδρίας.

Η χρησιμοποίηση επεξεργασμένων ή μη υγρών αποβλήτων είναι μία πρακτική που βρίσκει εφαρμογή από την αρχαιότητα ακόμα κυρίως στις ξηρές και ημίξηρες περιοχές, σαν προσπάθεια εκμετάλλευσης ενός επιπλέον υδατικού πόρου αλλά και τρόπο μείωσης των δυσμενών επιπτώσεων από τη διάθεσή τους. Σήμερα όπου ο όγκος των εκροών αυτών έχει αυξηθεί κατακόρυφα και η διαχείρισή τους είναι προβληματική και με μεγάλο κόστος, αποτελεί κοινή διαπίστωση ότι η επαναχρησιμοποίηση των υγρών αστικών αποβλήτων έχει τεράστια οικονομικά και περιβαλλοντικά οφέλη. Χώρες όπως οι Η.Π.Α., η Αυστραλία, η Κύπρος και άλλες έχουν ενστερνιστεί την άνωθεν πρακτική στον τομέα της άρδευσης, συμβάλλοντας έτσι στην εξοικονόμηση πολύτιμων υδάτινων πόρων. Ακόμη είναι γνωστή η χρήση τέτοιων εκροών στην πυροπροστασία δασικών εκτάσεων που βρίσκονται σε περιοχές κοντά σε αστικά κέντρα και γίνονται προσπάθειες για την έμμεση παραγωγή πόσιμου νερού το οποίο προέρχεται από επεξεργασμένα αστικά απόβλητα.

Στην Ελλάδα η χρήση των επεξεργασμένων αποβλήτων περιορίζεται μόνο στο πεδίο του πειράματος. Σύννηθες φαινόμενο είναι όμως η έμμεση χρήση τους μέσω των νερών των ποταμών και των λιμνών που γίνονται οι τελικοί αποδέκτες τους. Αν και υπάρχουν εγκαταστάσεις επεξεργασίας υγρών αποβλήτων στις περισσότερες αστικές περιοχές της χώρας μας, η δυνατότητα αυτή που παρέχεται παραμένει ανεκμετάλλευτη, με αποτέλεσμα την συνεχώς αυξανόμενη επιβάρυνση και κατάχρηση των υδατικών μας πόρων για γεωργικούς κυρίως σκοπούς.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ ΔΕΥΤΕΡΟ

Ενεργειακά Φυτά

2.1 Γενικά

Στις αρχές του περασμένου αιώνα έκανε την εμφάνισή του το πετρέλαιο, ένα πολλά υποσχόμενο ορυκτό καύσιμο το οποίο μέχρι και στις μέρες μας αποτελεί τη σημαντικότερη πηγή ενέργειας. Με την πάροδο του χρόνου ο πληθυσμός της γης αυξήθηκε κατακόρυφα. Η βιομηχανική επανάσταση που έγινε, καθώς και η τεχνολογική έκρηξη που ακολούθησε, έδωσαν άλλες διαστάσεις στον όρο 'κατανάλωση ενέργειας' (όπου μέχρι τότε ήταν χαμηλή), θέλοντας να καλύψει τις συνεχώς αυξανόμενες ανάγκες, τεχνητές και μη. Το πετρέλαιο χρησιμοποιήθηκε ως η κατεξοχήν πηγή ενέργειας με μόνο και κύριο μειονέκτημα ότι τα αποθέματά του ανά τον κόσμο έχουν ημερομηνία λήξης. Με τους ρυθμούς που καλπάζει και εξελίσσεται η τεχνολογία σήμερα, οι συμβατικές αυτές πηγές ενέργειας τείνουν να εξαντληθούν πολύ συντομότερα από ότι υπολογιζόταν και να δημιουργούν έντονα κοινωνικά προβλήματα αλλά και περιβαλλοντικά, εξαιτίας των ρύπων που εκπέμπουν.

Αυτό ανάγκασε τον άνθρωπο να κινηθεί προς την εξεύρεση άλλων εναλλακτικών μορφών ενέργειας οι οποίες να είναι πιο οικονομικές, φιλικότερες προς το περιβάλλον, τα αποθέματά τους να είναι ανεξάντλητα και να συμβάλλουν σημαντικά στην εξισορρόπηση του ενεργειακού ισοζυγίου. Τέτοιες μορφές ενέργειας είναι η ηλιακή, η αιολική, η ενέργεια που προέρχεται από τη δύναμη του νερού και αυτή που προέρχεται από την καύση της βιομάζας. Τα τελευταία χρόνια και λόγω της ενεργειακής κρίσης έχει δοθεί από τις αναπτυγμένες χώρες όπως και από την Ευρωπαϊκή Ένωση μεγάλη βαρύτητα στην ανάπτυξη νέων μεθόδων και τεχνολογιών με σκοπό την εξοικονόμηση ενέργειας.

Η παραγωγή βιομάζας για ενέργεια έχει γίνει αντικείμενο έρευνας σε πολλές χώρες σαν μέτρο για τη μερική αντικατάσταση των ορυκτών καυσίμων. Υπάρχουν αρκετές καλλιέργειες που παράγουν προϊόντα για χρήσεις «εκτός διατροφής» όπως βιοκαύσιμα, θερμότητα, χαρτοπολτό, ενώ οι καλλιέργειες που χρησιμοποιούνται αποκλειστικά σχεδόν για καύσιμα λέγονται ενεργειακές καλλιέργειες. Υπάρχουν πολλά χρηματοδοτούμενα προγράμματα για τέτοιες καλλιέργειες καθώς επίσης και προγράμματα συνδυασμένης δράσης και επίδειξης όπου συμμετέχουν φορείς μεταποίησης και παραγωγοί (Γαλανοπούλου 2003).

Βιομάζα είναι οποιοδήποτε υλικό προέρχεται από ζωντανούς οργανισμούς και ειδικότερα κάθε τύπος οργανικής ύλης που μπορεί να χρησιμοποιηθεί για την παραγωγή στερεών, υγρών και αέριων καυσίμων. Στον όρο αυτό περιλαμβάνονται

τα φυτικά υπολείμματα, τα ζωικά απόβλητα, τα βιομηχανικά στερεά οργανικά απορρίμματα και οι ενεργειακές καλλιέργειες. Επειδή τα C₄ φυτά είναι πιο ταχυσυμμεταβολικά και έχουν μεγαλύτερο δυναμικό αφομοίωσης της ηλιακής ακτινοβολίας και του CO₂ έναντι των C₃ φυτών, προτιμώνται για την παραγωγή βιομάζας. Μετατρέπουν σε βιομάζα μέχρι και 40% περισσότερο την προσπίπτουσα ακτινοβολία από ότι τα C₃ φυτά και είναι πιο αποδοτικά για τα ίδια ποσά λίπανσης και άρδευσης (Γαλανοπούλου 2003).

Οι ενεργειακές καλλιέργειες ξεχωρίζουν από τις υπόλοιπες ανανεώσιμες πηγές ενέργειας γιατί μπορούν να αναπτύσσονται, έτσι ώστε να αντιμετωπίσουν τις απαιτήσεις της αγοράς και η παραγόμενη βιομάζα να καλύπτει πάντα τις ανάγκες της, χωρίς να επηρεάζεται από εξωτερικούς παράγοντες. Επιπλέον με τη χρήση των καλλιεργειών αυτών ελαττώνεται η εξάρτηση από τις συμβατικές πηγές ενέργειας, μειώνονται οι εκπομπές ρύπων στην ατμόσφαιρα και ωθείται η ανάπτυξη της γεωργίας και της βιομηχανίας. Λόγω των μικρότερων απαιτήσεων που έχουν σε ποσότητες αγροχημικών προϊόντων, από τις ενεργειακές καλλιέργειες προτιμώνται οι πολυετείς σε σχέση με τις ετήσιες.

2.2 Παραγωγή υγρών καυσίμων από ενεργειακές καλλιέργειες

Σε προηγούμενη παράγραφο αναφέραμε ότι οι ενεργειακές καλλιέργειες συμβάλλουν σημαντικά στην απαγγίστρωση της ανθρωπότητας από τις συμβατικές πηγές ενέργειας. Με την παραγωγή υγρών καυσίμων από αυτές, τα οποία ονομάζονται βιοκαύσιμα, εξασφαλίζεται ένα πιο υγιές και καθαρό περιβάλλον που έχει ως συνέπεια την βελτίωση της ποιότητας ζωής των σύγχρονων κοινωνιών. Τα βιοκαύσιμα χωρίζονται σε δύο κατηγορίες ανάλογα με την πηγή προέλευσής τους. Το βιοντίζελ το οποίο προέρχεται από τα φυτικά έλαια και τη βιοαιθανόλη η οποία έχει ως πηγή προέλευσης τις αλκοόλες.

Το βιοντίζελ είναι προϊόν της μετεστεροποίησης των φυτικών ελαίων με προσθήκη κατάλληλης αλκοόλης παρουσία καταλύτη. Χρησιμοποιείται στους πετρελαιοκινητήρες (Κύκλος Diesel) αναμειγμένο με πετρέλαιο ή σε καθαρή μορφή. Είναι καύσιμο βιοδιασπώμενο, μη τοξικό, και ουσιαστικά δεν περιέχει θείο και αρωματικές ενώσεις. Σε βιομηχανικό επίπεδο το βιοντίζελ παράγεται από τη γενική αντίδραση τριγλυκεριδίων με αλκοόλη δίνοντας ως προϊόντα αλκυλεστέρα και γλυκερίνη. Τα τριγλυκερίδια είναι τριεστέρες της γλυκερόλης δηλαδή της 1,2,3-προπανοτριόλης με λιπαρά οξέα, τα οποία αποτελούν κύριο συστατικό των φυτικών ελαίων (περίπου 98%). Επειδή σαν αλκοόλη χρησιμοποιείται η μεθανόλη, το βιοντίζελ κατατάσσεται στους μεθυλεστέρες. Η γλυκερίνη θεωρείται παραπροϊόν και ως καταλύτες για την εστεροποίηση χρησιμοποιούνται τα NaOH, KOH και το πυκνό H₂SO₄.

Από την επεξεργασία των ενεργειακών καλλιιεργειών μπορούν να παραχθούν τρεις τύποι καυσίμου. Ο τύπος B5 ο οποίος περιέχει 5% βιοντίζελ και 95% πετρέλαιο, ο B30 στον οποίο υπάρχει 30% βιοντίζελ και 70% πετρέλαιο και τέλος ο B100 ο οποίος αποτελείται αποκλειστικά από βιοντίζελ (100%). Στην Ελλάδα οι καλλιιεργειες με καλές αποδόσεις που θα μπορούσαν να χρησιμοποιηθούν ως πρώτη ύλη για βιοντίζελ είναι με βάση την απόδοσή τους σε φυτικά έλαια η ελαιοκράμβη (30-50%), ο ηλιάνθος (35-40%), το βαμβάκι (15-20%) και η σόγια (15-20%) σύμφωνα με το Κέντρο Ανανεώσιμων Πηγών Ενέργειας (Κ.Α.Π.Ε.).

Η βιοαιθανόλη από την άλλη πλευρά παράγεται ως προϊόν ζύμωσης των αμυλούχων, σακχαρούχων και κυτταρινούχων συστατικών των φυτών ύστερα από απόσταξη (Κ.Α.Π.Ε.). Χρησιμοποιείται στους βενζινοκινητήρες (Κύκλος Otto) με τη διαφορά από το βιοντίζελ ότι είναι πάντα σε ανάμειξη με βενζίνη. Στη βιομηχανία προκύπτει μετά από σειρά αντιδράσεων και διαδικασιών που περιλαμβάνουν υδρόλυση της πρώτης ύλης, ζύμωση με προσθήκη μαγιάς και στη συνέχεια απόσταξη.

Για την παραγωγή της η βιοαιθανόλη χρειάζεται ως πρώτη ύλη καλλιιεργειες πλούσιες σε σάκχαρα, κυτταρίνη και άμυλο. Καλλιιεργειες που θεωρούνται ενεργειακές, έχουν τη δυνατότητα να ανταπεξέλθουν στις κλιματικές απαιτήσεις της χώρας μας και πληρούν τις άνωθεν προϋποθέσεις είναι ο αραβόσιτος, τα ζαχαρότευτλα, η πατάτα, το σόργο, το σιτάρι και το κριθάρι. Όπως στο βιοντίζελ έτσι και στη βιοαιθανόλη υπάρχουν τύποι παραγόμενου καυσίμου. Ο E5 ο οποίος περιέχει 5% βιοαιθανόλη και 95% βενζίνη και ο E85, στον οποίο η βιοαιθανόλη και η βενζίνη καταλαμβάνουν ποσοστό 85% και 15% αντίστοιχα.

Αξίζει να σημειωθεί ότι σε αναπτυσσόμενες χώρες οι οποίες παρουσιάζουν έντονο πρόβλημα ατμοσφαιρικής ρύπανσης όπως είναι οι Η.Π.Α., η χρήση οξυγονομένων καυσίμων με μείγμα αιθανόλης αποτελεί πλέον θεσμοθετημένο πλαίσιο, δίνοντας οικονομικά κυρίως κίνητρα στους καταναλωτές. Ακόμη η σημασία της βιοαιθανόλης αναμένεται να αυξηθεί δεδομένου ότι τα περισσότερα ζητήματα υγείας σήμερα σχετίζονται με τη μόλυνση της ατμόσφαιρας.

Γενικότερα τα βιοκαύσιμα προέρχονται από οργανικά προϊόντα και θεωρούνται ανανεώσιμα καύσιμα. Ως ανανεώσιμα καύσιμα έχουν το χαρακτηριστικό των χαμηλότερων εκπομπών CO₂ στο συνολικό κύκλο ζωής τους σε σχέση με τα συμβατικά ορυκτά καύσιμα, στοιχείο που εξαρτάται άμεσα από την προέλευση τους, τη χρήση τους αλλά και τον τρόπο παραγωγής και διανομής τους. Κατά την καύση τους τα καύσιμα αυτά εκπέμπουν περίπου ίσες ποσότητες CO₂ με τα αντίστοιχα πετρελαϊκής προέλευσης. Επειδή όμως είναι οργανικής προέλευσης ο άνθρακας τον οποίο περιέχουν, έχει δεσμευτεί κατά την ανάπτυξη της οργανικής ύλης από την ατμόσφαιρα στην οποία επανέρχεται μετά την καύση κι έτσι το ισοζύγιο εκπομπών σε όλο τον κύκλο ζωής του βιοκαυσίμου είναι θεωρητικά μηδενικό. Στην πράξη επειδή κατά την παραγωγή και διακίνηση της πρώτης ύλης

αλλά και των ίδιων των βιοκαυσίμων υπεισέρχονται και άλλες δραστηριότητες κατά τις οποίες παράγονται εκπομπές CO₂, το τελικό όφελος από τα καύσιμα αυτά μπορεί να είναι από πολύ μεγάλο έως μηδαμινό. Έτσι για να αποφανθεί κανείς ασφαλώς για τα περιβαλλοντικά οφέλη κάποιου από αυτά, θα πρέπει να πραγματοποιήσει μία εξειδικευμένη ανάλυση του κύκλου ζωής.

2.3 Πολιτική για τις ενεργειακές καλλιέργειες

Στο πλαίσιο αντιστάθμισης των συμβατικών καυσίμων με βιοκαύσιμα ώστε να δοθεί διέξοδος στην επερχόμενη ενεργειακή κρίση και ακολουθώντας μία πιο πράσινη και υπεύθυνη πολιτική, η Ευρωπαϊκή Ένωση (Ε.Ε.) εξέδωσε το 2003 τον 2003/30/ΕΚ όπου θεσμοθετεί το ποσοστό αντικατάστασης των συμβατικών καυσίμων για κάθε έτος από το 2006 έως και το 2010.

Σύμφωνα με την κοινοτική οδηγία 2003/30/ΕΚ βιοκαύσιμα θεωρούνται κάθε υγρό ή αέριο καύσιμο για τις μεταφορές, το οποίο παράγεται από βιομάζα, ενώ ορίζει ως βιομάζα το βιοαποικοδομήσιμο κλάσμα προϊόντων, αποβλήτων και καταλοίπων από γεωργικές (συμπεριλαμβανομένων φυτικών και ζωικών ουσιών), δασοκομικές και συναφείς βιομηχανικές δραστηριότητες, καθώς και το βιοαποικοδομήσιμο κλάσμα των βιομηχανικών και αστικών αποβλήτων. Σύμφωνα με την ίδια οδηγία στην κατηγορία των βιοκαυσίμων εμπίπτουν η βιοαιθανόλη, το βιοντίζελ (μεθυλεστέρας λιπαρών οξέων), το βιοαέριο, η βιομεθανόλη, ο βιοδιμεθυλαιθέρας και ο βιο-ETBE (αιθυλοτριτοβουτυλαιθέρας, ο βιο-MTBE (μεθυλοτριτοβουτυλαιθέρας)). Επίσης περιλαμβάνονται τα συνθετικά βιοκαύσιμα (συνθετικοί υδρογονάνθρακες ή μείγματα συνθετικών υδρογονανθράκων που έχουν παραχθεί από βιομάζα), το βιοϋδρογόνο και τα καθαρά φυτικά έλαια.

Ο κανονισμός αυτός είναι υποχρεωτικός για όλα τα κράτη μέλη καθώς επίσης και για τη χώρα μας και προβλέπει ποσοστό αύξησης της αντικατάστασης ανά έτος της τάξης του 0,75% (Πίνακας 1). Επιπλέον στον 2003/30/ΕΚ προβλέπεται και η έκταση σε στρέμματα που χρειάζεται να καλλιεργηθεί με τις αντίστοιχες καλλιέργειες, έτσι ώστε να επιτευχθεί ο στόχος που ορίζεται για το 2010 για τη χώρα μας (Πίνακας 2).

Ακόμη, στοχεύοντας αφενός στη βελτίωση των υπαρχόντων πληροφοριών σχετικά με την παραγωγή και τη χρήση των ενεργειακών καλλιεργειών και αφετέρου στη ανάπτυξη της έρευνας και την υλοποίηση δράσεων, έχει δημιουργηθεί με πρωτοβουλία της Ε.Ε. η δράση FAIR1 CT95 0512. Αυτή στηρίζεται στη συνεργασία μεταξύ των κρατών μελών όσον αφορά την ανταλλαγή γνώσεων, μεθόδων, τεχνικών και πληροφοριών γύρω από τις ενεργειακές καλλιέργειες, καθώς επίσης και την κοινοποίηση των διαφόρων ειδικών δυσκολιών που μπορεί να αντιμετωπίζει κάθε κράτος μέλος στον τομέα αυτό.

Στην Ελλάδα το Υπουργείο Αγροτικής Ανάπτυξης και Τροφίμων (ΥΠΑΑΤ) έχει εκδώσει Κοινή Υπουργική Απόφαση στην οποία επιδοτούνται 23 ενεργειακές καλλιέργειες για τη χρήση τους ως πρώτη ύλη για την παραγωγή βιοκαυσίμων. Το σκληρό σιτάρι, το μαλακό σιτάρι, το καλαμπόκι, το γλυκό και το κυτταρινούχο σόργο, ο ηλίανθος, η βρώμη, το κριθάρι, η ελαιοκράμβη, η σίκαλη το ρύζι και η σόγια ,είναι μερικές καλλιέργειες ευρέως διαδεδομένες στη χώρα μας οι οποίες περιλαμβάνονται στην άνωθεν απόφαση. Πρέπει να σημειώσουμε όμως ότι αν και η χώρα μας αποτελεί ενεργό μέλος στις δράσεις της Ε.Ε. και τα πειράματα που διεξάγονται στον ελλαδικό χώρο είναι πολύ ελπιδοφόρα, εντούτοις η ανάπτυξη του κομματιού αυτού προχωρεί με αργούς ρυθμούς.

| ΕΤΟΣ | ΠΟΣΟΣΤΟ ΑΝΤΙΚΑΤΑΣΤΑΣΗΣ ΣΥΜΒΑΤΙΚΩΝ ΚΑΥΣΙΜΩΝ |
|-------------|---|
| 2006 | 2,75% |
| 2007 | 3,5% |
| 2008 | 4,25% |
| 2009 | 5% |
| 2010 | 5,75% |

Πίνακας 1. Έτος και ποσοστό αντικατάστασης των συμβατικών καυσίμων σύμφωνα με τον 2003/30/ΕΚ της Ε.Ε. για τα έτη 2006- 2010.

| ΕΙΔΟΣ ΚΑΥΣΙΜΟΥ | ΚΑΛΛΙΕΡΓΕΙΑ | ΣΤΡΕΜΜΑΤΑ |
|---------------------------|--------------------|------------------|
| ΒΙΟΝΤΙΖΕΛ | ΗΛΙΑΝΘΟΣ | 2.400.000 |
| | ΕΛΑΙΟΚΡΑΜΒΗ | 2.000.000 |
| | ΣΟΓΙΑ | 2.000.000 |
| ΒΙΟΑΙΘΑΝΟΛΗ | ΣΙΤΗΡΑ | 2.000.000 |
| | ΚΑΛΑΜΠΟΚΙ | 1.200.000 |
| | ΤΕΥΤΛΑ | 843.000 |
| | ΓΛΥΚΟ ΣΟΡΓΟ | 560.000 |

Πίνακας 2. Επίτευξη στόχου μέχρι το 2010 στην Ελλάδα βάση του 2003/30/ΕΚ της Ε.Ε.

2.4 Πλεονεκτήματα των ενεργειακών καλλιεργειών που συνιστούν αναγκαία τη χρήση τους.

Η βιομάζα των ενεργειακών καλλιεργειών στο έδαφος αυξάνει την οργανική ουσία του εδάφους, καθιστώντας το με τον τρόπο αυτό γονιμότερο. Αύξηση της οργανικής ουσίας του εδάφους συνεπάγεται μείωση του PH με συνέπεια τη μείωση της αλκαλικότητας, αποτελώντας έτσι μέσο βελτίωσης εδαφών με τέτοια προβλήματα. Ακόμη το πλούσιο υπέργειο τμήμα και το ριζικό σύστημα των ενεργειακών καλλιεργειών (ειδικά των πολυετών), ελαχιστοποιεί τις δυσμενείς επιπτώσεις της διάβρωσης του εδάφους και βελτιώνει τη δομή του.

Λόγω του ότι οι καλλιέργειες αυτές δεν έχουν πολλές απαιτήσεις σε αγροχημικά προϊόντα όπως εντομοκτόνα, ζιζανιοκτόνα και λιπάσματα, υπάρχει μείωση της ρύπανσης των υπογείων υδάτων από τέτοιες εκροές, με αποτέλεσμα την καλύτερη προστασία του υδροφόρου ορίζοντα και την εξοικονόμηση περισσότερου διαθέσιμου νερού. Επιπλέον μπορούν να αποτελέσουν εναλλακτικές λύσεις σε εγκαταλελειμμένες περιοχές χαμηλής γονιμότητας καθώς προσαρμόζονται εύκολα και αποδίδουν ικανοποιητικά σε μεγάλο εύρος εδαφών.

Στο πλαίσιο της ενεργειακής γεωργίας δίνεται η ευκαιρία να επιλεγούν είδη που αξιοποιούν το νερό αποδοτικά, ή και σε πολλές περιπτώσεις είδη που αξιοποιούν τις χειμερινές βροχοπτώσεις για την ανάπτυξη τους και δεν απαιτούν επιπλέον άρδευση, παρουσιάζοντας ικανοποιητική ανάπτυξη και παραγωγικότητα σε βιομάζα.

Μεγάλης σημασίας είναι η συμβολή των ενεργειακών καλλιεργειών στην οικολογία, γιατί η εισαγωγή τους σε διάφορα οικοσυστήματα βελτιώνει τις συνθήκες διαβίωσης της ενδημικής πανίδας, διατηρώντας τη φυσική παραλλακτικότητα και επαναφέροντας το οικοσύστημα σε μία πιο ομαλή κατάσταση. Χρειάζεται ακόμη να επισημανθεί ότι τα οφέλη είναι μεγαλύτερα όταν οι καλλιέργειες που χρησιμοποιούνται είναι πολυετείς γιατί δεν δημιουργούν μετατροπές στο φυσικό περιβάλλον, γεγονός που συμβαίνει με τα ετήσια (Cook et al.).

Από την άλλη πλευρά όσον αφορά τη ρύπανση της ατμόσφαιρας, η καύση της βιομάζας μειώνει τις εκπομπές των αερίων που συμβάλλουν στο φαινόμενο του θερμοκηπίου και κατ' επέκταση στις αρνητικές επιπτώσεις που έχει αυτό στο περιβάλλον. Επίσης οι ενεργειακές καλλιέργειες αξιοποιούν καλύτερα το CO₂ μειώνοντας έτσι τη συγκέντρωσή του σε αυτή. Τέλος οι εκπομπές αερίων που παράγονται από την καύση της βιομάζας όπως είναι τα οξείδια του θείου είναι σχεδόν μηδαμινές σε σχέση με τις συμβατικές πηγές ενέργειας.

Εκτός από τα περιβαλλοντικά οφέλη που έχει η καλλιέργεια ενεργειακών φυτών, υπάρχουν και κοινωνικό-οικονομικά οφέλη για την ανάπτυξη τους. Οι καλλιέργειες αυτές μπορούν να προσφέρουν εναλλακτικές λύσεις για τους παραγωγούς, δεδομένου ότι είναι επιδοτούμενες. Με τη ανάπτυξη καλλιεργειών για

ενέργεια, θα δημιουργηθεί ανάγκη για προμήθεια νέων ποικιλιών και για βελτίωση των καλλιεργητικών μεθόδων και του εξοπλισμού που θα υποστηρίζουν την παραγωγή και την αποθήκευση των νέων φυτών. Αυτό θα δώσει ώθηση στη φθίνουσα γεωργική οικονομία και θα οδηγήσει στην ανάπτυξη της εγχώριας γεωργικής βιομηχανίας. Η διείσδυση των ενεργειακών καλλιεργειών στην εσωτερική αγορά μπορεί να εξασφαλίσει ικανοποιητικό αγροτικό εισόδημα σε σχέση με ορισμένες συμβατικές καλλιέργειες και να ενισχύσει τη διαφοροποίηση των δραστηριοτήτων των γεωργών.

Τέλος η παραγωγή και εκμετάλλευση των ενεργειακών καλλιεργειών θα συντελεστεί σε μεγαλύτερο βαθμό στις αγροτικές περιοχές. Η εισροή επομένως νέων εισοδημάτων θα βελτιώσει τη ζωή των τοπικών κοινωνιών και θα στηρίξει την ανάπτυξη στις λιγότερο ανεπτυγμένες περιοχές της χώρας.

2.5 Ενεργειακές καλλιέργειες που μπορούν να χρησιμοποιηθούν στην Ελλάδα

2.5.1 Καλαμπόκι ή Αραβόσιτος (Zea Mays)

Είναι C4 φυτό της οικογένειας Poaceae που αναπτύσσεται ταχύτατα και κατατάσσεται στα ετήσια εαρινά σιτηρά. Εμφανίστηκε πρώτα στην κεντρική Αμερική και το Μεξικό και κατόπιν διαδόθηκε ευρέως λόγω των πολλών τύπων με διαφορετικές βλαστικές περιόδους που έχει και των διαφορετικών υψομέτρων και κλιμάτων στα οποία μπορεί να καλλιεργηθεί.. Στη χώρα μας καλλιεργείται εντατικά σε έκταση 16 εκ. στρεμμάτων και η μέση απόδοσή του σε καρπό είναι μεγαλύτερη από 1000 kg/στρ. που την καθιστά μια από τις υψηλότερες ανά τον κόσμο.

Χρησιμοποιείται στην κτηνοτροφία ως ζωτροφή και ένα μέρος του καλλιεργείται για χλωρό χόρτο ή ενσίρωση. Οι καρποί του καλαμποκιού περιέχουν άμυλο, πρωτεΐνες και λάδι, με το άμυλο να κυριαρχεί (60%) και τα ποσοστά των άλλων δύο να παρουσιάζουν ευρεία διακύμανση.

Το αραβοσιτάλευρο που παράγεται, χρησιμοποιείται πάρα πολύ στον τομέα της αρτοζαχαροπλαστικής για την παρασκευή ψωμιού, γλυκισμάτων, corn flakes και άλλων ειδών και έχει υψηλή διατροφική αξία. Επίσης το περιεχόμενο στο καλαμπόκι άμυλο αποτελεί συστατικό για την κατασκευή πλαστικού όπως σακούλες, το οποίο σε σχέση με αυτό που γίνεται από παράγωγα του πετρελαίου αποικοδομείται ευκολότερα τόσο από τον ήλιο όσο και βιολογικώς. Παράλληλα συμμετέχει στην φαρμακοβιομηχανία στην παρασκευή εμβολίων και υποκατάστατων πλάσματος του αίματος. Τέλος το παραγόμενο καλαμποκέλαιο είναι ένα από τα σημαντικότερα σπορέλαια που χρησιμοποιούνται στην μαγειρική παγκοσμίως.

Από πειραματικές εφαρμογές διαπιστώθηκε η δυνατότητα χρήσης των υπολειμμάτων της καλλιέργειας και ιδιαίτερα της ρόκας για την παραγωγή βιομάζας. Αναφέρεται ότι η θερμική αξία της ρόκας και του στελέχους είναι 18,9 και 18,3 MJ/kg αντίστοιχα. Αυτό σημαίνει ότι με τα δεδομένα της έκτασης που καταλαμβάνει ο αραβόσιτος στην Ελλάδα θα μπορούσε να εξοικονομηθεί πετρέλαιο καύσης περίπου 350.000 τόνων, με μέση παραγωγή 220 lt/στρ. (Γαλανοπούλου 2003).

2.5.2 Σόργο (*Sorghum* sp.)

Είναι C4 φυτό το οποίο προέρχεται από την κεντρική Αφρική, παρεμφερές με το καλαμπόκι με τη διαφορά ότι είναι ανθεκτικότερο στις υψηλές θερμοκρασίες και ότι έχει τη δυνατότητα να υπομείνει μια περίοδο ξηρασίας και να συνεχίσει να αναπτύσσεται μόλις βρει νερό. Έτσι μπορεί να αξιοποιήσει πιο αποτελεσματικά τα άγονα εδάφη. Στην Ελλάδα ενώ παρουσιάζει πολύ καλή προσαρμοστικότητα και έχει υψηλούς ρυθμούς ανάπτυξης καλλιεργείται σε περιορισμένη έκταση (100.000 στρ.).

Αποτελεί διαδεδομένο χορτοδοτικό φυτό στις Η.Π.Α., ενώ καλλιεργείται επίσης για τον καρπό του και σε μικρότερη έκταση για σκούπες και για την παραγωγή σιροπιού (το ζαχαροφόρο).

Ως ενεργειακή καλλιέργεια χρησιμοποιείται για την παραγωγή πολτού από τις χαρτοβιομηχανίες, ενώ από το σόργο παράγεται επίσης ενέργεια μέσω πυρόλυσης και με επεξεργασία βιοαιθανόλη που χρησιμοποιείται ως καύσιμο. Το Κ.Α.Π.Ε αναφέρει ότι από τη μέση στρεμματική απόδοση (2-6 τόνοι) είναι δυνατό να παραχθούν 150-400 lt βιοαιθανόλης (Γαλανοπούλου 2003).

2.5.3 Ελαιοκράμβη (*Brassica Napus*)

Είναι ετήσιο, ελαιούχο, εαρινό φυτό των εύκρατων περιοχών το οποίο σε περιοχές με ήπιο χειμώνα μπορεί να σπαρεί και το φθινόπωρο και ανήκει στα σταυρανθή. Δεν χρειάζεται πολύ γόνιμα εδάφη για να αναπτυχθεί γεγονός που το καθιστά αρκετά ενδιαφέρον φυτό για τη χώρα μας.

Οι σπόροι που παράγει περιέχουν μεγάλες ποσότητες ερουκικού οξέως το οποίο αποτελεί μειονέκτημα, αλλά το λάδι των σπόρων βελτιωμένων ποικιλιών χρησιμοποιείται στη βιομηχανία για την παραγωγή βιοντίζελ. Ακόμη χρησιμοποιείται και ως λιπαντικό, ενώ τα υπολείμματα της επεξεργασίας που υφίσταται μπορούν να χρησιμοποιηθούν για την παραγωγή οργανικών λιπασμάτων (Γαλανοπούλου 2003).

2.5.4 Ηλίανθος ετήσιος (*Helianthus Annuus*)

Είναι μονοετές εαρινό φυτό το οποίο κατάγεται όπως και ο αραβόσιτος από την κεντρική Αμερική και καλλιεργείται κυρίως για τους σπόρους του και το ηλιέλαιο που παράγεται από αυτούς, τα οποία είναι εδώδιμα. Το λάδι του περιέχει ελαϊκό οξύ και πρωτεΐνη σε ποσοστά 25-45% και 35% αντίστοιχα.

Εκτός από την εδώδιμη χρήση του το ηλιέλαιο χρησιμοποιείται επίσης για την παρασκευή βερνικιών, ελαιοχρωμάτων, λιπαντικών, σαπουνιών και άλλων ειδών, ενώ η ελαιόπιτα που παράγεται από την επεξεργασία των σπόρων αποτελεί πολύ καλή ζωοτροφή. Όπως και το καλαμπόκι μπορεί να χρησιμοποιηθεί για ενσίρωση και το υπέργειο τμήμα που απομένει μετά τη συγκομιδή γίνεται εκμεταλλεύσιμο για την παραγωγή ξυλοκυτταρίνης.

Από βιομηχανικής πλευράς χρησιμοποιείται για την παραγωγή βιοντίζελ αφού με μέση απόδοση 150-300 kg/στρ. παράγονται αναλογικά 58-116 lt/στρ. και αποτελεί ελπιδοφόρο μήνυμα στην προσπάθεια αντικατάστασης των συμβατικών πηγών ενέργειας με ανανεώσιμες. Πειράματα έδειξαν ότι η απόδοση σε βιομάζα ενός νέου υβριδίου (70- G- 3920) τόσο με κανονική όσο και με μειωμένη άρδευση (Archontoulis et al. 2007) ήταν πολύ ικανοποιητικές (13,9 και 12,8 τόνοι/ εκτάριο αντίστοιχα), πράγμα που καθιστά την καλλιέργεια του ηλίανθου ενδιαφέρουσα και από την άποψη της εξοικονόμησης νερού.

2.5.5 Λινάρι (*Linum Usitatissimum*)

Είναι ετήσιο, εαρινό ιωδοτικό φυτό των εύκρατων περιοχών και καλλιεργείται για τις ίνες και το σπόρο του.

Στην Ελλάδα επειδή απαιτεί λιγότερο υψηλές θερμοκρασίες σπέρνεται το φθινόπωρο και οι στρεμματικές του αποδόσεις σε ίνες κυμαίνονται από 100- 200 kg/στρ., ενώ σε σπόρο η μέση απόδοση είναι περίπου 100 kg/στρ.

Οι ίνες χρησιμοποιούνται κυρίως στην κλωστοϋφαντουργία για την παραγωγή υφασμάτων, ενώ το λινέλαιο εκτός από μαγειρικούς σκοπούς βρίσκει χρήση στη βιομηχανία χρωμάτων, βερνικιών, πλαστικών, σαπουνιών καθώς επίσης και στη χαρτοβιομηχανία για την παραγωγή πολτού και άριστης ποιότητας χαρτιού.

2.5.6 Δενδρώδεις ενεργειακές καλλιέργειες

Στις παραπάνω παραγράφους αναφερθήκαμε στις πολυετείς και ετήσιες αροτριάιες καλλιέργειες, οι οποίες χρησιμοποιούνται ως πρώτη ύλη για την παραγωγή βιομάζας και κατ' επέκταση για την παραγωγή βιοκαυσίμων σαν εναλλακτικές και ανανεώσιμες πηγές ενέργειας. Υπάρχουν αντίστοιχα και δενδρώδεις καλλιέργειες οι οποίες αποτελούν αναπόσπαστο κομμάτι της χλωρίδας και του δασικού πλούτου της χώρας μας, με τις ίδιες δυνατότητες στον ενεργειακό τομέα.

Ο ευκάλυπτος ο οποίος είναι αυτοφυής στην Ελλάδα, είναι ένα ταχυαυξές μεγάλο δέντρο με μακρά διάρκεια ζωής και μπορεί να χρησιμοποιηθεί για την παραγωγή βιομάζας. Αναπτύσσεται σε λιγότερο γόνιμα εδάφη και λόγω της χαρακτηριστικής οσμής που αναδίνουν τα φύλλα του είναι πιο ανθεκτικός σε παράσιτα με αποτέλεσμα να μην χρειάζεται φυτοπροστασία. Έχει σκληρό, συμπαγές και ανθεκτικό ξύλο το οποίο χρησιμοποιείται με την ίδια άνεση τόσο στη ναυπηγική, όσο και ως δομικό υλικό. Ακόμη τα αιθέρια έλαια που αποστάζονται από τα φύλλα του χρησιμοποιούνται στη φαρμακευτική, την αρωματοποιία καθώς επίσης και από τη βιομηχανία ως συστατικό εντομοαπωθητικών σκευασμάτων. Είναι κοινώς γνωστές οι ευεργετικές επιδράσεις που έχει το ευκαλυπτέλαιο σε θέματα ιατρικής μικρής σημασίας και ότι η χρήση του ήταν διαδεδομένη σε παλιότερες εποχές.

Πειράματα στον ελλαδικό χώρο έδειξαν σε πληθυσμό 2 φυτών/m², η ξηρή παραγόμενη βιομάζα ήταν 2,6- 3,2 τόνοι/ στρ. κάθε έτος και ότι 2,5 τόνοι βιομάζας ισοδυναμούν με ένα τόνο πετρελαίου. Κάποιες ποικιλίες έδωσαν παραγωγή ξηρής ουσίας περίπου 3,5 τόνους/ στρ., γεγονός που σημαίνει ότι με θερμική αξία 16,6 MJ/kg η παραγωγή αυτή είναι ίση με 1,4 τόνους πετρελαίου ανά στρέμμα.

Άλλα δέντρα που μπορούν να χρησιμοποιηθούν εκτός του ευκαλύπτου ως ενεργειακές καλλιέργειες και κάποια από αυτά αποφέρουν στους παραγωγούς ένα ικανοποιητικό και συνάμα σταθερό εισόδημα, είναι η καρυδιά, η καστανιά και ακακία η κοινή. Είναι ενδεικτικό ότι η καλλιέργεια της ακακίας επιδοτήθηκε από την Ε.Ε. και σαν δέντρο προσαρμόζεται άριστα σε ξηρικές περιοχές και απαιτεί ελάχιστη περιποίηση. Έχει ανθεκτικό και ευλύγιστο ξύλο, ενώ η παραγωγή βιομάζας φτάνει τον 1,5 τόνο/ στρ. γεγονός που την κάνει να θεωρείται εφάμιλλη της μηδικής.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3

Ηλίανθος (*Helianthus annuus*)

3.1 Γενικά

Ο ηλίανθος πήρε το όνομά του από τις λέξεις ήλιος και άνθος. Όπως υπολογίζεται, το φυτό χρησιμοποιήθηκε για πρώτη φορά γύρω στα 2.600 π.Χ. από τους ιθαγενείς της Κεντρικής και Νότιας Αμερικής. Αυτοί μάζευαν τους μεγαλύτερους σπόρους του φυτού και τους ξαναφύτευαν, καταφέροντας έτσι να παράγουν μεγαλύτερους σπόρους από ότι είχε αρχικά το φυτό. Οι Αζτέκοι του Μεξικού, οι Ίνκας του Περού και οι Οτόμι λάτρευαν τις εικόνες του ηλίανθου που για αυτούς συμβόλιζαν τον Θεό Ήλιο. Οι πολεμιστές των ιθαγενών έπαιρναν μαζί τους ένα προσεκτικά δεμένο βώλο φτιαγμένο από σπόρους του φυτού για να τρώνε όταν είναι κουρασμένοι, ώστε να επανακάμπτουν γρήγορα.

Τον 16ο αιώνα ομοιώματα από χρυσάφι εμφανίστηκαν στην Ισπανία. Τότε ήταν η εποχή που το φυτό μεταφέρθηκε στην Ευρώπη, περίπου το 1514. Ο ηλίανθος καλλιεργήθηκε σε μεγάλη κλίμακα στην περιοχή της Ρωσίας για εδώδιμους σκοπούς, καθώς επίσης και για το παραγόμενο λάδι του. Εκεί με την πάροδο του χρόνου δημιουργήθηκαν νέες ποικιλίες, οι οποίες κατάφεραν να ανεβάσουν την απόδοση σε έλαιο από 28% που ήταν στις Η.Π.Α. στο 50% περίπου. Αυτό είχε ως αποτέλεσμα οι Η.Π.Α. να επανεισάγουν το 1870 τους σπόρους από την Ρωσία και να καλλιεργήσουν στη συνέχεια τις βελτιωμένες αυτές ποικιλίες.

Σήμερα το φυτό καλλιεργείται σε όλο τον κόσμο, με το μεγαλύτερο ποσοστό της παγκόσμιας παραγωγής σε ηλίανθο να προέρχεται κυρίως από τη Ρωσία, τις Η.Π.Α. και την Ινδία, ενώ καλλιεργείται σε ικανοποιητικά ποσοστά σε χώρες όπως η Κίνα, η Τουρκία, η Ισπανία, η Γαλλία, η Ουκρανία και άλλες. Σύμφωνα με τον FAO, η συνολική παγκόσμια παραγωγή έφθασε στα 24,2 εκατ. τόνους το 2002, καλλιεργούμενη σε 195 εκατ. στρέμματα εκ των οποίων, περισσότερα από 100 εκατ. καλλιεργήθηκαν στην Ευρώπη (FAO, 2004).

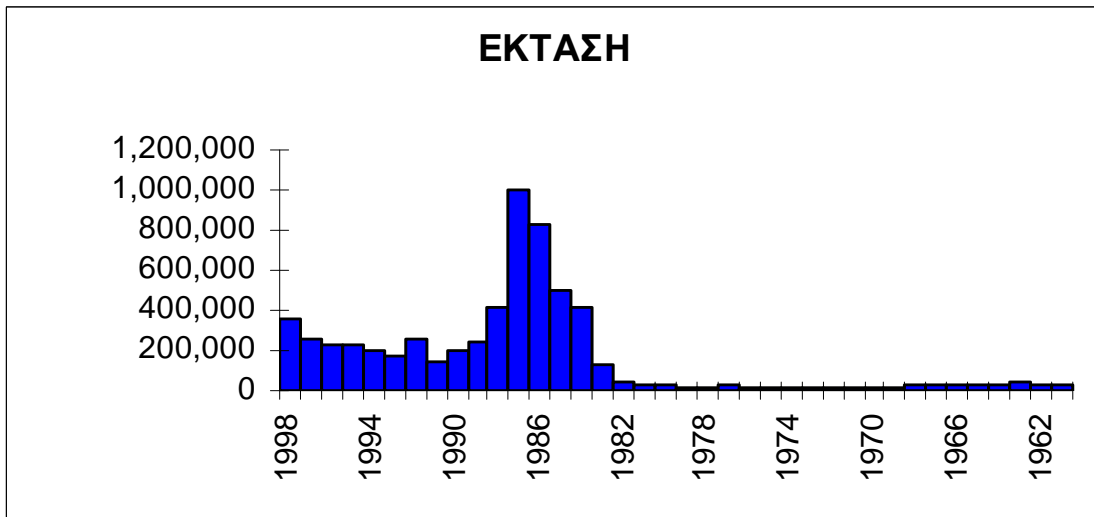
Στην Ελλάδα ο ηλίανθος καλλιεργείται σε σχετικά περιορισμένη έκταση λαμβάνοντας υπόψη τη συνολική καλλιεργήσιμη έκταση και τη δυνατότητα που δίνεται στη χώρα μέσω της οδηγίας 2003/30/EK. Οι επίσημοι οργανισμοί δείχνουν ότι καλλιεργείται μια έκταση 150.000 στρεμμάτων και παράγονται 19.000 τόνοι, δίνοντας μια μέση παραγωγή 127 κιλά το στρέμμα (Πηγή: FAOSTAT, 2007). Σύμφωνα με την 2003/30/EK θα έπρεπε ήδη να προσεγγίζονται τα 1.500.000 στρέμματα. Οι περιοχές στις οποίες συναντάται η γεωργική εκμετάλλευση του φυτού αυτού, εντοπίζονται κυρίως στο βόρειο-ανατολικό τμήμα της χώρας και ειδικότερα στις περιοχές της Θράκης (Ν. Έβρου), ενώ πιο αραιά στην κεντρική και ανατολική Μακεδονία (Πίνακας 4).

Από στοιχεία του Υπουργείου Αγροτικής Ανάπτυξης και Τροφίμων (Πίνακας 3) παρατηρείται μια αυξομείωση όσον αφορά την καλλιέργεια του ηλιανθου στον ελλαδικό χώρο (περίοδος 1961-1998). Την περίοδο 1983- 1989 υπάρχει ένα έντονο ενδιαφέρον από την πλευρά των παραγωγών το οποίο με τον καιρό φθίνει, ενώ από το 1994 και ύστερα τόσο οι καλλιεργούμενες εκτάσεις όσο και η παραγωγή ακολουθούν μια σχετικά σταθερή ανοδική πορεία (Σχήμα 1 & 2).

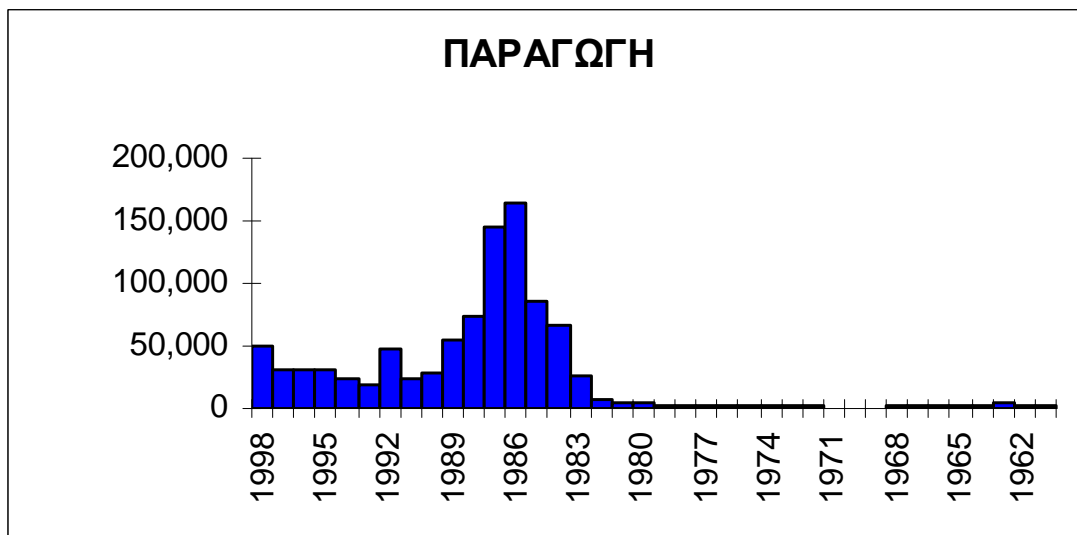
| ΕΞΕΛΙΞΗ ΤΗΣ ΚΑΛΛΙΕΡΓΕΙΑΣ ΤΟΥ ΗΛΙΑΝΘΟΥ | | | |
|--|-------------------------------|-------------------------|-----------------------------------|
| ΕΤΟΣ | ΕΚΤΑΣΗ (στρέμματα) | ΠΑΡΑΓΩΓΗ (τόνοι) | ΣΤΡΕΜ. ΑΠΟΔΟΣΗ (κιλά/στρ.) |
| 1998 | 354.000 | 50.000 | 141 |
| 1997 | 260.000 | 30.000 | 115 |
| 1996 | 230.900 | 31.300 | 136 |
| 1995 | 224.000 | 30.000 | 134 |
| 1994 | 204.000 | 23.000 | 113 |
| 1993 | 175.000 | 19.000 | 109 |
| 1992 | 261.560 | 47.000 | 180 |
| 1991 | 141.000 | 23.320 | 165 |
| 1990 | 194.500 | 29.637 | 152 |
| 1989 | 250.000 | 54.164 | 217 |
| 1988 | 420.610 | 74.783 | 178 |
| 1987 | 1.003.870 | 146.060 | 145 |
| 1986 | 831.269 | 165.250 | 199 |
| 1985 | 498.745 | 84.752 | 170 |
| 1984 | 417.777 | 67.235 | 161 |
| 1983 | 128.960 | 26.115 | 203 |
| 1982 | 42.290 | 7.460 | 176 |
| 1981 | 27.560 | 4.040 | 147 |
| 1980 | 31.150 | 4.800 | 154 |
| 1979 | 14.500 | 2.370 | 163 |
| 1978 | 14.800 | 2.000 | 135 |
| 1977 | 24.900 | 3.135 | 126 |
| 1976 | 17.725 | 2.314 | 131 |
| 1975 | 16.060 | 2.121 | 132 |
| 1974 | 20.420 | 2.100 | 103 |
| 1973 | 19.640 | 2.134 | 109 |
| 1972 | 17.400 | 1.988 | 114 |
| 1971 | 10.470 | 988 | 94 |
| 1970 | 9.460 | 1.043 | 110 |
| 1969 | 8.580 | 1.123 | 131 |
| 1968 | 21.997 | 1.948 | 89 |
| 1967 | 24.084 | 2.411 | 100 |
| 1966 | 24.375 | 2.293 | 94 |
| 1965 | 27.520 | 1.856 | 67 |
| 1964 | 35.607 | 3.007 | 84 |
| 1963 | 42.328 | 3.733 | 88 |
| 1962 | 30.751 | 2.895 | 94 |
| 1961 | 27.548 | 2,310 | 84 |

(Πηγή: ΥΠΑΑΤ)

Πίνακας 3. Στρεμματικές εκτάσεις, παραγωγή και στρεμματική απόδοση της καλλιέργειας του ηλιανθου στην Ελλάδα κατά την περίοδο 1961- 1998.



Σχήμα 1. Γραφική απεικόνιση της καλλιεργούμενης έκτασης σε στρέμματα (περίοδος 1961- 1998).



Σχήμα 2. Γραφική απεικόνιση της παραγωγής σε τόνους (περίοδος 1961- 1998).

Ο ηλιάνθος καλλιεργείται κυρίως για το σπόρο, που είναι παγκοσμίως η δεύτερη πηγή βρώσιμου ελαίου. Το ηλιέλαιο χρησιμοποιείται στη μαγειρική, καθώς επίσης και σαν παράγωγο πολλών τροφικών προϊόντων όπως είναι η μαργαρίνη. Κάποιες ιδιότητες που παρουσιάζει, όπως είναι η μεγάλη του σταθερότητα και η αντοχή του στις οξειδώσεις και την υποβάθμιση, το καθιστούν πολύ ελκυστικό σε μεγάλες παγκόσμιες αλυσίδες τηγανιτών τροφίμων.

Μετά από επεξεργασία το ηλιέλαιο σε συνδυασμό με λιναρόσπορο και άλλα ξηρά έλαια χρησιμοποιείται στη βιομηχανία για την παραγωγή βαφών και βερνικιών, ενώ επίσης απαντάται στη σαπωνοποιεία και τη βιομηχανία λιπαντικών. Ακόμη η αποφλοιωμένη ηλιόπιτα που παράγεται από την επεξεργασία των σπόρων, έχει υψηλή περιεκτικότητα σε πρωτεΐνες (μέχρι 50%) και χρησιμοποιείται ως ζωοτροφή.

Τα στελέχη των φυτών χρησιμοποιούνται και αυτά ως ζωοτροφές, φρέσκες ή ξηρές, όπως επίσης και ο φλοιός.

Εκτός των παραπάνω χρήσεων ο σπόρος του ηλίανθου αποτελεί εδώδιμο προϊόν με υψηλή διατροφική αξία για τον άνθρωπο, ενώ ενδιαφέρον παρουσιάζει η δημιουργία νέων ποικιλιών για καθαρά διακοσμητικούς σκοπούς, επεκτείνοντας τη χρήση του και στην κηποτεχνία. Τέλος μία από τις σημαντικότερες χρήσεις των σπόρων του, βρίσκει εφαρμογή στη βιομηχανία καυσίμων με την παραγωγή βιοντίζελ, στο πλαίσιο της αντικατάστασης των συμβατικών πηγών ενέργειας από ανανεώσιμες.

| ΠΕΡΙΟΧΕΣ | ΕΚΤΑΣΗ (ΣΤΡ.) |
|-----------------------------------|---------------|
| Ορεστιάδα | 39737 |
| Σέρρες | 2000 |
| Θεσσαλονίκη (Σωχός- Ν. Μεσήμβρια) | 1316 |
| Φλώρινα- Αμύνταιο | 1539 |
| Πτολεμαΐδα | 180 |
| Γρεβενά- Δεσκάτη | 285 |
| Καρδίτσα | 30 |
| ΣΥΝΟΛΟ | 45087 |

(Πηγή: BIOS AGROSYSTEMS)

Πίνακας 4. Η καλλιέργεια του ηλίανθου στην Ελλάδα για το έτος 2007.

3.2 Βοτανικά γνωρίσματα

Είναι δικοτυλήδονο φυτό και ανήκει στην οικογένεια Asteraceae της τάξης Compositae και στο είδος *Helianthus annuus*. Το φυτό είναι ετήσιο, χωρίς κλαδιά, ευθύγραμμο και αναπτύσσεται εύκολα. Έχει αριθμό χρωμοσωμάτων $x = 17$, $2x = 34$ και πολλαπλασιάζεται με σπέρματα (Βαρδαβάκης, 1994). Τα φύλλα είναι αντικριστά, ωοειδή, με στρώματα που έχουν 3 κύρια νεύρα μήκους 10-30 εκ και πλάτους 5-20 εκ, ενώ τα χαμηλότερα φύλλα είναι αντικριστά και καρδιόσχημα. Περιφερειακά είναι οδοντωτά ή πριονωτά και φέρουν πολλές νευρώσεις (Εικόνα 1). Η έκφυση των πρώτων πέντε ζευγαριών γίνεται αντίθετα, ενώ στα επόμενα κυλινδρικά και ο αριθμός τους κυμαίνεται από 20–30 φύλλα/φυτό.



Εικόνα 1. Φύλλα ηλίανθου στο αρχικό στάδιο ανάπτυξης του φυτού.

Ο ηλίανθος δεν έχει ένα μόνο άνθος αλλά υπάρχουν πολλά μικρά άνθη συγκεντρωμένα μαζί σε ένα, που είναι γνωστό ως κεφαλή. Η κεφαλή του κεντρικού άνθους έχει διάμετρο 10-40cm, ενώ τα άνθη στα πλαϊνά κλαδιά είναι μικρότερα. Οι καλλιεργούμενες μορφές διακρίνονται από τις μεγάλες ταξιανθίες, σε ποικιλίες από γιγαντιαίους τύπους των 2m και ψηλότερα με ταξιανθίες μήκους 50cm, μέχρι τύπους νάνου που φθάνουν το 1m. Τα τυπικά ελαιοπαραγωγικά φυτά φθάνουν περίπου το 1,5m σε ύψος, με 25cm capitula, και έχουν αχάινια μαύρα, λευκά ή ριγωτά.

Η ταξιανθία του ηλίανθου περιέχει από 700 έως 4.000 άνθη, σε συνάρτηση με τους περιβαλλοντικούς παράγοντες (θερμοκρασία), τις καλλιεργητικές φροντίδες (νερό, λίπασμα) και την καλλιεργούμενη ποικιλία (Εικόνα 2). Τα άνθη της διατάσσονται σε ομόκεντρα τόξα και η άνθηση αρχίζει από τα περιφερειακά άνθη και συνεχίζεται προς το κέντρο της ταξιανθίας. Καθημερινά ανοίγουν από 1 έως 4 σειρές και η περίοδος αυτή διαρκεί από 7 έως 17 ημέρες αναλόγως των θερμοκρασιών. Οι χαμηλές θερμοκρασίες αυξάνουν την περίοδο της ανθοφορίας, ενώ οι πολύ υψηλές την επιταχύνουν.

Εξωτερικά της κεφαλής υπάρχει μια σειρά ελαφρώς πράσινων μικροσκοπικών φύλλων. Δίπλα σ' αυτά βρίσκονται τα ακτινωτά άνθη, τα οποία είναι συνήθως κίτρινα, άγωνα και έχουν σκοπό την προσέλκυση των εντόμων. Τα άνθη στο κέντρο της κεφαλής λέγονται δίσκοι, είναι μικρότερα και αρκετά διαφορετικά σε σχήμα και χρώμα.

Οι δίσκοι αποτελούνται από μία αυλακωτή στεφάνη με πέντε λοβούς, που αντιπροσωπεύει πέντε θρυαλλίδες πετάλων. Κάτω από τη στεφάνη υπάρχει η χαμηλότερη ωοθήκη. Από την άλλη πλευρά, πάνω από την ωοθήκη υπάρχουν δύο μικρά rappri (τεχνική ονομασία). Σε πολλά άλλα φυτά αυτά χρησιμεύουν για τη σωστή κατανομή του καρπού. Στον ηλίανθο το rappus δεν έχει προφανή λειτουργία

ή αυτή μειώνεται όσο ωριμάζει ο καρπός. Τα δισκοειδή άνθη είναι τέλεια, τοποθετημένα ελικοειδώς στην κεφαλή, είναι σταυρεπικονιαζόμενα και προσαρμόζονται καλά στην γονιμοποίηση που γίνεται με τη βοήθεια των εντόμων.



Εικόνα 2. Ταξιανθία του ηλίανθου.

Ο βλαστός είναι ποώδης και μπορεί να φτάσει σε μήκος μέχρι και τα 3,5m (σε βρώσιμες ποικιλίες, ενώ σε ελαιούχες κυμαίνεται από 0,8- 2,5m) και όπως και τα φύλλα του ηλίανθου, καλύπτεται από σκληρά τριχίδια, τα οποία προστατεύουν το φυτό από τα φυτοφάγα ζώα. Ο ηλίανθος έχει ένα μόνο στέλεχος, το οποίο διακλαδίζεται σπάνια (Βαρδαβάκης, 1994).

Το ριζικό σύστημα του ηλίανθου προχωράει βαθιά στο χώμα και διακλαδίζεται σε πολλές πλάγιες δευτερογενείς ρίζες, οι οποίες είναι πυκνές και λεπτές και αναπτύσσονται σε βάθος περίπου 30cm. Οι πρωτογενείς ρίζες του φυτού μπορούν να φτάσουν μέχρι και 2m βάθος από την επιφάνεια του εδάφους. Επομένως είναι σε θέση να αντλούν το άζωτο και την υγρασία από τα χαμηλότερα στρώματα του εδάφους, έτσι ώστε να αναπτύσσονται και σε περιοχές που χαρακτηρίζονται πολύ ξηρές για άλλες καλλιέργειες και έχουν περιορισμένες βροχοπτώσεις.

Ο ηλίανθος πριν την άνθηση παρουσιάζει το φαινόμενο του φωτοτροπισμού, το οποίο παύει να λαμβάνει χώρα από την έναρξή της. Το ξημέρωμα οι δίσκοι των ηλίανθων είναι στραμμένοι προς την Ανατολή και καθώς η μέρα προχωρά παρακολουθούν την πορεία του ήλιου προς την Δύση στρέφοντας τις κεφαλές προς το μέρος του, ενώ το βράδυ όταν ο ήλιος δύσει, οι κεφαλές τους στρέφονται προς την ανατολή. Το φαινόμενο αυτό οφείλεται σε συγκέντρωση ορμόνης στο βλαστικό

τμήμα του φυτού, η οποία προκαλεί την επιμήκυνση των φυτικών κυττάρων. Όταν το φυτό ωριμάσει, τα φυτικά κύτταρα του βλαστού γερνάνε και η ανθοταξία γίνεται πιο βαριά, οπότε ο βλαστός δεν μπορεί να σηκώσει το βάρος για να τη στρέψει προς το φως. Κάμπτεται λοιπόν προς τη μία πλευρά, μην μπορώντας ν' ακολουθήσει την πορεία του ήλιου.

3.3 Ανάπτυξη

Ο συνολικός χρόνος για την ανάπτυξη του φυτού του ηλίανθου και ο χρόνος μεταξύ των διάφορων φάσεων ανάπτυξης, εξαρτάται από το γενετικό υπόβαθρο του φυτού και τις συνθήκες κατά την καλλιεργητική περίοδο. Για να προσδιοριστεί το στάδιο ανάπτυξης σε μια φυτεία ηλίανθου, θα πρέπει να λαμβάνεται υπόψη ο μέσος όρος ανάπτυξης μεγάλου αριθμού φυτών. Αυτή η μέθοδος διαβάθμισης χρησιμοποιείται και για μεμονωμένα φυτά αλλά και για την ταξινόμηση μίας μόνης κεφαλής σε διακλαδωμένο φυτό ηλίανθου.

Ο ηλίανθος έχει σχετικά μικρή περίοδο ανάπτυξης. Γενικά απαιτούνται 100-150 ημέρες από την εμφύτευση μέχρι την ωρίμανση, σε συνάρτηση με το υβρίδιο, την καλλιέργεια και τη χρήση (σποροπαραγωγή, αποθήκευση για ζωοτροφή). Τα φυτά είναι ανθεκτικά στην ξηρασία, εκτός της περιόδου ανθοφορίας. Κατά μέσο όρο απαιτούνται 6-10 ημέρες από τη σπορά έως το φύτρωμα, 30-40 ημέρες από το φύτρωμα έως την εμφάνιση της ταξιανθίας, 20-30 ημέρες από την εμφάνιση ταξιανθίας έως την έναρξη της ανθοφορίας, 7-12 ημέρες από την έναρξη έως τη λήξη της ανθοφορίας και τέλος άλλες 30 ημέρες από τη λήξη της ανθοφορίας έως τη φυσιολογική ωρίμανση.

Κατά τη φυσιολογική ωρίμανση το πίσω μέρος των ταξιανθιών αποκτά χρώμα καστανό-κίτρινο (Εικόνα 3), με υγρασία περίπου 60-70%, ενώ οι σπόροι έχουν υγρασία 30-40%. Σε αυτό το στάδιο οι σπόροι έχουν τη μέγιστη τιμή σε ξηρό βάρος και τη μέγιστη περιεκτικότητα σε λάδι και αναλογία λινολεϊκού οξέος.



Εικόνα 3. Ταξιανθία ηλίανθου κατά την ωρίμανση.

3.4 Κλιματολογικές απαιτήσεις

Η βασική θερμοκρασία ανάπτυξης του ηλίανθου ποικίλει αναλόγως του γενότυπου από 4 έως 8°C. Οι σπόροι βλαστάνουν σε θερμοκρασίες 4° C, ενώ σε θερμοκρασίες αέρος 15° C έχουμε το ταχύτερο φύτρωμα (3–4 ημέρες). Τα νεαρά φυτά (στάδιο κοτυληδόνας) είναι ανθεκτικά στο ψύχος (-5°C), ενώ η αντοχή αυτή μειώνεται σταδιακά έως το στάδιο των 6–7 φύλλων, όπου οι χαμηλές θερμοκρασίες μπορεί να προκαλέσουν ζημιές στο φυτό.

Η βέλτιστη θερμοκρασία ημέρας για την ανάπτυξη του φυτού είναι 25–33° C, ενώ σε χαμηλότερα επίπεδα θερμοκρασιών (π.χ. 20°C) η ανάπτυξη του φυτού επιμηκύνεται. Σε πολύ υψηλές θερμοκρασίες (π.χ. > 35°C) η ανάπτυξη επιταχύνεται με αναπόφευκτη τη μείωση της απόδοσης. Σημαντική επίδραση επίσης στην παραγωγικότητα του ηλίανθου έχουν και οι θερμοκρασίες της νύχτας, καθώς σε υψηλές νυκτερινές θερμοκρασίες (> 25° C) η αναπνοή αυξάνεται δραματικά με αποτέλεσμα τη μείωση της παραγωγής. Συννορίζοντας, υψηλές αποδόσεις ηλίανθου επιτυγχάνονται κάτω από θερμοκρασίες ημέρας 25–30°C και νύχτας 15–20°C.

Η καλλιέργεια αυτή είναι πολύ απαιτητική σε φως. Σε εντάσεις ηλιακής ακτινοβολίας >550 W/m² ο ηλίανθος δεσμεύει από την ατμόσφαιρα περί τα 5,5kg διοξειδίου του άνθρακα ανά στρέμμα φύλλου ανά ώρα, ρυθμός πολύ υψηλός για ένα C3 φυτό. Οι άριστες θερμοκρασίες για τη φωτοσύνθεση είναι περί τους 30°C. Ο ηλίανθος δεν αντιδρά συνήθως στο φωτοπεριοδισμό (ουδέτερο φυτό), διότι ανθίζει σε μεγάλο μήκος ημέρας.

3.5 Διαχείριση της καλλιέργειας

3.5.1 Έδαφος

Ο ηλίανθος μπορεί να ευδοκιμήσει σε όλων των ειδών τα εδάφη, με τα βαθιά και καλά στραγγιζόμενα να δίνουν τα καλύτερα αποτελέσματα. Αναπτύσσεται το ίδιο καλά τόσο σε ελαφρώς όξινο, όσο και σε αλκαλικό έδαφος (PH = 5,6- 8,2), ενώ η άριστη τιμή του PH για την ανάπτυξή του κυμαίνεται από 6 έως 7,2. Σε φτωχά εδάφη στα οποία επικρατούν ξηρές συνθήκες, το νερό κατά τη διάρκεια της άνοιξης είναι ο πιο κρίσιμος παράγοντας για την ανάπτυξη της καλλιέργειας. Σε γόνιμα εδάφη πρέπει να αποφεύγεται η υπερβολική ποσότητα αζώτου γιατί υπάρχει κίνδυνος πλαγιάσματος των φυτών. Σε γενικές γραμμές η καλλιέργεια του ηλίανθου μπορεί να αξιοποιήσει μη αρδευόμενα και χαμηλής γονιμότητας εδάφη, δίνοντας ικανοποιητικές αποδόσεις, οι οποίες βελτιώνονται ακόμη περισσότερο όταν υπάρχει δυνατότητα άρδευσης.

3.5.2 Προετοιμασία πριν τη σπορά

Κατά κανόνα η προετοιμασία του αγρού αρχίζει το φθινόπωρο με ένα όργωμα (25–35 εκατοστά) για να παραχωθούν τα υπολείμματα της προηγούμενης καλλιέργειας και να αυξηθεί ο αερισμός και η συγκράτηση της υγρασίας. Η αναστροφή του εδάφους με το όργωμα αυξάνει τη διαθεσιμότητά του σε άζωτο και κάλιο. Σε περιπτώσεις που τα εδάφη είναι ελαφρά (αμμώδη) και επικλινή, όποτε υπάρχει κίνδυνος διάβρωσης, το όργωμα μπορεί να γίνει χωρίς την άνοιξη. Λίγες ημέρες πριν την σπορά πραγματοποιείται η προετοιμασία του αγρού με 1-2 περάσματα με καλλιεργητή ή δισκοσβάρνα.

3.5.3 Σπορά

Η σπορά γίνεται χωρίς την άνοιξη και όταν η θερμοκρασία εδάφους σταθεροποιηθεί στους 8⁰C. Με την πρώιμη σπορά αυξάνονται οι στρεμματικές αποδόσεις και η περιεκτικότητα του σπόρου σε έλαιο. Επίσης δίνεται η δυνατότητα στο φυτό να αξιοποιήσει τις βροχές το Μάιο και Ιούνιο, μια που το κρίσιμο στάδιο για την παραγωγή του ηλιάνθου είναι το τελείωμα της ανθοφορίας. Η κατάλληλη εποχή σποράς είναι το διάστημα μεταξύ 20 Μαρτίου και 20 Απριλίου, ενώ σε κάποιες περιπτώσεις μπορεί να γίνει μέχρι και το πρώτο δεκαήμερο του Μαΐου.

Η σπορά γίνεται γραμμικά με πνευματικές μηχανές ή και με το χέρι σε αυλάκια, όταν η έκταση που θα καλλιεργηθεί είναι περιορισμένη. Οι αποστάσεις φύτευσης μεταξύ των γραμμών είναι 75cm και επί της γραμμής σποράς 20-22cm για γόνιμα και αρδευόμενα εδάφη, ενώ σε πιο φτωχά και αδύνατα εδάφη όπου επικρατούν ξηρές συνθήκες η απόσταση επί της γραμμής γίνεται 25cm. Τα επιθυμητά επίπεδα του αριθμού των φυτών ανά στρέμμα για μια καλλιέργεια ηλιάνθου κυμαίνονται μεταξύ 4500- 5000 για ξηρικές καλλιέργειες και 5500- 6000 για ποτιστικές. Αυτό σημαίνει ότι χρειάζεται μια ποσότητα σπόρου περίπου 350-500 gr / στρ., δηλαδή ένας σάκος 150.000 σπόρων όπως πωλείται στο εμπόριο καλύπτει περίπου 22-28 στρέμματα.

3.5.4 Αραίωμα

Λόγω του ότι μετά τη φύτευση οι γραμμές φύτευσης είναι πολύ πυκνές, συνίσταται αραίωμα των σειρών. Με τον τρόπο αυτό επιτυγχάνεται ο επιθυμητός αριθμός των φυτών που πρέπει να υπάρχουν στην καλλιεργούμενη έκταση, ώστε να δοθούν οι μέγιστες αποδόσεις όσον αφορά την παραγωγή. Για το αραίωμα αποφεύγεται συνήθως η χρήση χημικών σκευασμάτων και γίνεται με το χέρι ως επιπλέον καλλιεργητική φροντίδα.

3.5.5 Αμειψισπορά

Ο ηλίανθος έχει τη δυνατότητα να ακολουθήσει ποικιλία καλλιεργειών στο σύστημα αμειψισποράς. Στον ελλαδικό χώρο η ιδιότητα της καλλιέργειας του ηλίανθου να αναπτύσσεται σε οποιοδήποτε είδος εδάφους, καθιστά αμειψισπορά του με τα σιτηρά και τα όσπρια πολύ διαδεδομένη, λόγω του ότι αποτελούν κύριες καλλιέργειες σε πολλές περιοχές και αναπτύσσονται υπό τις ίδιες συνθήκες.

Ιδιαίτερα το σιτάρι όταν διαδέχεται τον ηλίανθο ευνοείται τα μέγιστα σε αποδόσεις, ενώ η αμειψισπορά είναι απαραίτητη και για τον ηλίανθο με κύριο στόχο την αποφυγή ανάπτυξης του παρασίτου της οροβάγχης. Η πρακτική αυτή εναλλαγής του ηλίανθου με το σιτάρι προσφέρει επίσης στον παραγωγό το πλεονέκτημα ότι μετά τη λήξη της καλλιέργειας του σίτου, το χωράφι θα έχει τη δυνατότητα να «ξεκουραστεί» μέχρι το Μάρτιο οπότε αρχίζει και η σπορά του ηλίανθου.

Μία άλλη πρακτική που μπορεί να εφαρμοστεί όσον αφορά τον τομέα αυτό, είναι η τριετής αμειψισπορά με ελαιοδοτικές καλλιέργειες. Αρχικά τον πρώτο χρόνο καλλιεργείται ελαιοκράμβη, την οποία διαδέχεται το σουσάμι. Αμέσως μετά φυτεύεται βίκος και ακολουθεί ο ηλίανθος, με το πέρας της καλλιεργητικής περιόδου του οποίου μπορεί να ξαναφυτευτεί ελαιοκράμβη. Με τον τρόπο αυτό φαίνεται να υπάρχει εναλλαγή μεταξύ ενεργειακών καλλιεργειών για μεγάλο χρονικό διάστημα, με αποτέλεσμα να ωφελείται τόσο το έδαφος όσο και το εισόδημα του παραγωγού.

3.5.6 Άρδευση

Για την άρδευση του ηλίανθου χρησιμοποιούνται συνήθως ο καταιονισμός και η άρδευση με σταγόνες. Συνήθως γίνονται 3- 5 αρδεύσεις συνολικά με την πρώτη να πραγματοποιείται στο στάδιο του φυτρώματος, όπου είναι απαραίτητο η υγρασία του εδάφους να βρίσκεται σε υψηλά επίπεδα για ομοιόμορφο και άριστο φυτόμα. Το κρίσιμο στάδιο αναγκών της καλλιέργειας σε νερό είναι η περίοδος της ανθοφορίας, όπου και τότε χρειάζεται ιδιαίτερη προσοχή.

Ανάλογα την περιοχή ο ηλίανθος απαιτεί άρδευση κατά τη διάρκεια της ανθοφορίας. Η περίοδος αυτή ξεκινά από το σχηματισμό της ταξιανθίας έως την πτώση των περιφερειακών κίτρινων ανθέων και το καμπούριασμα της κεφαλής. Η ποσότητα του αρδευτικού νερού κυμαίνεται από 200 έως 450mm και εξαρτάται από τις εδαφοκλιματικές συνθήκες, την εποχή σποράς και την ποικιλία.

3.5.7 Λίπανση

Τα θρεπτικά στοιχεία που δίνονται με την λίπανση, είναι κυρίως το άζωτο που βοηθάει στην ανάπτυξη του ηλίανθου και ο φώσφορος που επηρεάζει την παραγωγή και την περιεκτικότητα του σπόρου σε λάδι. Λίπανση με κάλιο απαιτείται σε εδάφη όπου βρίσκεται σε έλλειψη και κυρίως σε ελαφριά. Επιστημονικά δεδομένα που βασίζονται σε εκτενή πειραματισμό σε χώρες όπου ο ηλίανθος καλλιεργείται σε πολύ μεγάλη έκταση αναφέρουν ότι, μία μέση παραγωγή 250 κιλών ανά στρέμμα απομακρύνει από το έδαφος 9 μονάδες αζώτου, 5 μονάδες φωσφόρου, 20 μονάδες καλίου, 4 μονάδες μαγνησίου και 12 μονάδες ασβεστίου.

Σύμφωνα με την πρακτική που εφαρμόζεται στις ελληνικές συνθήκες μία ισορροπημένη βασική λίπανση με 8 μονάδες αζώτου, φωσφόρου και καλίου προσφέρει επαρκή θρέψη στα φυτά. Σε γόνιμα εδάφη πρέπει να αποφεύγεται η υπερβολική λίπανση με άζωτο, γιατί υπάρχει κίνδυνος πλαγιασματος των φυτών.

3.5.8 Ζιζανιοκτονία

Ο έλεγχος των ζιζανίων γίνεται με μηχανικά μέσα και με τη χρήση ζιζανιοκτόνων σκευασμάτων. Τα κυριότερα ζιζάνια που εμφανίζονται σε μια καλλιέργεια ηλίανθου είναι η αγριομελιτζάνα (*Xanthium strumarium*), το άγριο σινάπι (*Sinapis arvensis*), η σετάρια (*Setaria glauca*), το πολύγωνο (*Polygonum persicaria* L.), το ξάνθιο (*Iva xanthiifolia*), ο αγρόπυρος (*Eltrygia repens*), η μουχρίτσα (*Echinochloa orus galli*), το γαϊδουράγκαθο (*Cirsium arvensense* L.), το χηνοπόδιο (*Chenopodium album* L.) και το είδος *Amaranthus retroflexus*.

Για την καταπολέμηση των στενόφυλλων και αρκετών πλατύφυλλων ζιζανίων μπορεί να εφαρμοστεί trifluralin (200 cc/στρ.) προσπαρτικά με ενσωμάτωση στα 5-8 εκ.. Μετασπαρτικά πριν το φύτευμα μπορεί να εφαρμοστεί Prometryne (250-350 cc/στρ.) για την καταπολέμηση των πλατύφυλλων ζιζανίων. Πότισμα ή βροχή βοηθούν στην καλή ενσωμάτωση του ζιζανιοκτόνου, ενώ η καλλιέργεια παρουσιάζει μεγάλη ευαισθησία στα ορμονικά ζιζανιοκτόνα (2,4 D κ.α.).

Η καλλιέργεια του ηλίανθου όπως και οι περισσότερες ενεργειακές καλλιέργειες λόγω της υψηλής φυτοκάλυψης που παρουσιάζουν όταν αναπτυχθούν, περιορίζουν την ανάπτυξη των ζιζανίων. Άλλες τεχνικές για τη μείωση των ζιζανίων στον αγρό είναι η εναλλαγή καλλιεργειών και η κατεργασία του εδάφους πριν τη σπορά.

3.5.9 Συγκομιδή

Η συγκομιδή στην καλλιέργεια του ηλίανθου γίνεται Αύγουστο με Σεπτέμβριο. Χρησιμοποιούνται οι συμβατικές αλωνιστικές μηχανές σταριού - καλαμποκιού με την προσθήκη μαχαιριού κατάλληλου για τον αλωνισμό του. Η συγκομιδή - αλωνισμός πρακτικά γίνεται, όταν τουλάχιστον τα 2/3 των φύλλων από τη βάση έχουν ξηραθεί και το κάτω μέρος της κεφαλής έχει αλλάξει χρώμα προς το καστανοκίτρινο. Συνιστάται ο παραγωγός να μην περιμένει να ξεραθεί υπερβολικά ο σπόρος, αλλά να ξεκινήσει το αλώνισμα όταν η υγρασία του είναι 12% για να μειωθεί το ρίσκο των απωλειών με το τίναγμα.

3.6 Εχθροί και αντιμετώπισή τους

Οι εχθροί της καλλιέργειας του ηλίανθου είναι έντομα, παράσιτα και τα πτηνά με κυριότερα τα σπουργίτια. Ιδιαίτερο πρόβλημα για τον ηλίανθο αποτελεί το παράσιτο της οροβάγχης (*Orobanche cumana*, *Orobanche ramosa*), το οποίο αντιμετωπίζεται με τη χρήση ανθεκτικών ποικιλιών.

Το πιο καταστρεπτικό έντομο είναι ο Σκόρος του ηλίανθου (*Homoeosoma Electellum*), ο οποίος βρίσκεται σε όλες τις περιοχές όπου αναπτύσσεται είτε ο καλλιεργούμενος, είτε ο άγριος ηλίανθος. Το όριο εντοπισμού του είναι ένας ή δύο ανά πέντε φυτά, όταν αυτά αρχίζουν να ανθίζουν ή εντός επτά ημερών από την πρώτη εμφάνιση των ενήλικων σκόρων. Οι αγροί που βρίσκονται σε στάδιο ανθοφορίας μετά την πρώτη εμφάνιση των ενήλικων σκόρων, έχουν μικρή πιθανότητα εκτεταμένης ζημιάς παρά την παρουσία σκόρων σε οριακούς αριθμούς.

Οι νεαρές κάμπιες του σκόρου ηλίανθου τρέφονται κυρίως με τα ανθήλια και τη γύρη. Οι πιο ηλικιωμένες σκάβουν σήραγγες μέσα στους ανώριμους σπόρους και σε άλλα μέρη της κεφαλής. Μία μόνη κάμπια μπορεί να τρέφεται από 3-12 σπόρους. Οι κάμπιες υφαίνουν μεταξωτές κλωστές που δένονται με τα ανθήλια σε μαρμασμό και δίνουν στην κεφαλή εμφάνιση ευτελή. Οι σοβαρές μολύνσεις από τις κάμπιες μπορούν να προκαλέσουν απώλειες σε ύψος 30 έως 60 %, και σε κάποιες περιπτώσεις μπορεί να καταστραφεί ολόκληρη η κεφαλή.

Η χρήση ανθεκτικών υβριδίων ηλίανθου και η καλή καλλιεργητική αντιμετώπιση όπως είναι η έγκαιρη φύτευση, σημαίνει λιγότερες μολύνσεις. Για την αντιμετώπιση του εντόμου υπάρχουν αρκετά εντομοκτόνα με carbaryl, carbofuran, chlorpyrifos, methyl parathion και methidathion ως ενεργά συστατικά.

Άλλοι επισημασμένοι εχθροί της καλλιέργειας είναι η τίπουλη (*Tipula paludosa*), η μελίγκρα (*Aphis fabae*) και κάποιες κάμπιες εντόμων του είδους *Agriotes ustulatus*, *Agriotes sputator* και *Agriotes obscurus*. Ο σιδηροσκώληκας

επίσης κάποιες χρονιές προκαλεί σημαντικές απώλειες φυτών. Όλα τα παραπάνω αντιμετωπίζονται επαρκώς με τη χρήση εντομοκτόνων και την επιλογή ανθεκτικών ποικιλιών και υβριδίων.

Ο ηλίανθος λόγω της ευχερούς πρόσβασης και της υψηλής θρεπτικής αξίας του σπόρου του, είναι ιδιαίτερα ευάλωτος σε ζημιές από πουλιά. Τα πουλιά καταβροχθίζουν τους σπόρους στην κεφαλή. Οι σπόροι εκτίθενται και η μεγάλη κεφαλή λειτουργεί ως φωλιά στη διάρκεια της διατροφής. Ο σπόρος του ηλίανθου είναι προτιμώμενη από τα πουλιά τροφή γιατί περιέχει πολλές πρωτεΐνες και λιπαρά που είναι ουσιαστικά για την ανάπτυξή τους, την εναποθήκευση λίπους και τις διαδικασίες διατήρησης του βάρους τους. Αν και πολλά είδη πουλιών τρέφονται από τις καλλιέργειες ώριμου ηλίανθου, οι μεγαλύτερες απώλειες σημειώνονται από τα κινούμενα σμήνη σπουργιτιών (*Passer domesticus*), σπίνων (*Carduelis chloris*) και φλώρων (*Carduelis cannabina*). Το πρόβλημα αντιμετωπίζεται μόνο με συγκεντρωμένες καλλιέργειες και αποφυγή χωραφιών που είναι κοντά σε δάσος, συστάδες δένδρων, ποτάμια και ρυάκια.

3.7 Μυκητολογικές ασθένειες και αντιμετώπισή τους

Η καλλιέργεια του ηλίανθου εφόσον οι συνθήκες καθίστανται ιδανικές, μπορεί να αποτελέσει ξενιστή για διάφορα είδη μυκήτων, οι περισσότεροι εκ των οποίων προσβάλλουν κυρίως τις κεφαλές. Αν και οι ασθένειες αυτές συνήθως δεν αποτελούν πρόβλημα για τον ελλαδικό χώρο, είναι θεμιτό να γίνει μια σύντομη παράθεση τους όσον αφορά τα συμπτώματα που προκαλούν και τους τρόπους αντιμετώπισης.

3.7.1 Φόμωση του ηλίανθου ή καρκίνος του μίσχου (*Phomopsis helianthi*)

Προσβάλλει μόνο τον ηλίανθο και αποτελεί σοβαρή ασθένεια. Παρατηρήθηκε για πρώτη φορά στην Ευρώπη στα τέλη της δεκαετίας του 1970 (στη Γιουγκοσλαβία) και στις ΗΠΑ το 1984. Η ασθένεια είναι σοβαρότερη υπό συνθήκες παρατεταμένης υψηλής θερμοκρασίας και υγρασίας. Προκαλεί μεγάλες απώλειες στην παραγωγή, όπως επίσης και στο περιεχόμενο του σπόρου σε λάδι, το βάρος του και το μέγεθος της κεφαλής. Το κυριότερο όμως πρόβλημα που προκαλεί, είναι η αποδυνάμωση των κοτσανιών που σπάζουν. Μικρά νεκρωτικά στίγματα περιβαλλόμενα από χλωρωτική περιφέρεια εμφανίζονται στα όρια του φύλλου και διαδίδονται στα κύρια νεύρα του.

Τα στίγματα εμφανίζονται στα κάτω ή τα μεσαία φύλλα, συνήθως μετά την ανθοφορία. Τα προσβεβλημένα φύλλα ξεραίνονται ταχύτατα, αλλά παραμένουν πάνω στους μίσχους τους, ενώ ο μύκητας αναπτύσσεται απ' αυτούς τους μίσχους

προς το κοτσάνι. Οι βλάβες στο κοτσάνι επικεντρώνονται πάντα στις μασχάλες, αρχίζουν με μικρά, καφετιά, βαθουλωτά στίγματα που γρήγορα μεγαλώνουν και γίνονται στρογγυλά ή ελλειπτικά και συνήθως περικυκλώνουν το κοτσάνι. Το κεντρικό μέρος του στίγματος γίνεται γκρίζο ενώ οι άκρες του είναι σκούρες.

Τα μέτρα αποτελεσματικής αντιμετώπισης της *Phomopsis helianthi* είναι η επιλογή ανθεκτικών στη νόσο υβριδίων, η εναλλαγή καλλιεργειών, και η καταστροφή μολυσμένων υπολειμμάτων ηλίανθου το φθινόπωρο. Η πυκνότητα του πληθυσμού, σε λιγότερο από 5.000 φυτά/στρ. και το μειωμένο ποσοστό των λιπασμάτων με άζωτο, είναι απαραίτητα μέτρα για τη μείωση της συχνότητας της ασθένειας. Για να επιτευχθεί η άριστη δυνατή αντιμετώπιση της, η εφαρμογή μυκητοκτόνου θα πρέπει να αρχίσει πριν την εμφάνιση των συμπτωμάτων. Συνιστάται ένα πρόγραμμα δύο ψεκασμών, εκ των οποίων ο πρώτος στο στάδιο του μπουμπουκιού και ο δεύτερος την εποχή της άνθισης. Τα μυκητοκτόνα με βάση το benomyl είναι τα πλέον αποτελεσματικά κατά της ασθένειας αυτής.

3.7.2 Γκρίζα μούχλα (*Botrytis cinerea*)

Στον ηλίανθο ο μύκητας αυτός προκαλεί γκρίζα μούχλα στην κεφαλή, προσβάλλει την κεφαλή του άνθους και το στέλεχος, ενώ τα φύλλα αρχίζουν να ξεραίνονται από έξω προς τα μέσα. Τα συμπτώματα εμφανίζονται συνήθως όταν ωριμάζει η κεφαλή, ως καφέ στίγματα πάνω της. Τα στίγματα αυτά μπορεί να καλύπτονται από γκρίζους λεπτούς σαν πούδρα σπόρους του μύκητα, που δίνουν στην κεφαλή εμφάνιση σκονισμένη.

Όταν υπάρχει υγρασία, τα στίγματα επεκτείνονται, εισχωρούν σ' όλους τους ιστούς και η κεφαλή γίνεται σπογγώδης και σαπίζει. Τα μαύρα σκληρώτια του μύκητα εμφανίζονται στα υπολείμματα της καλλιέργειας μετά τη συγκομιδή, ή άμεσα πάνω στα φυτά όταν η συγκομιδή πραγματοποιείται καθυστερημένα. Η ανάπτυξη των κονιδίων είναι δυνατή στα ανθήλια, αν η σχετική υγρασία ξεπερνά το 85%. Ιδανική θερμοκρασία ωστόσο είναι οι 18°C. Ο μύκητας έχει υψηλό αριθμό αναπαραγωγικών κύκλων, που αυξάνονται ακόμα περισσότερο όταν οι καιρικές συνθήκες είναι ευνοϊκές.

Απαραίτητη είναι η αντιμετώπιση σε επίπεδο σπόρου, για να προληφθεί η σήψη της ρίζας. Η χημική αντιμετώπιση καθίσταται δύσκολη λόγω της αντίστασης που παρουσιάζει η ασθένεια σε συγκεκριμένες δραστικές ουσίες. Η έρευνα για φυσικούς ανταγωνιστές μικροοργανισμούς έχει καταλήξει στο ότι τα *Trichoderma harzianum* παρέχουν ικανοποιητικά αποτελέσματα και μπορεί σε συνδυασμό με συμβατική χημική θεραπεία, να προβούν αποτελεσματικά.

3.7.3 Αλτενάρια (*Alternaria alternata*, *Alternaria helianthi*)

Η *Alternaria* στον ηλίανθο αναγνωρίζεται ως σημαντική ασθένεια στις υγρότερες περιοχές της κεντρικής Ευρώπης, την Ινδία, Αυστραλία, Νότιο Αμερική και μέρη της Αφρικής. Σ' αυτές τις περιοχές, οι απώλειες παραγωγής μπορεί να κυμαίνονται από 15 έως 90%, με απώλειες σε έλαιο από 20 έως 30%. Σύμφωνα με σχετικές αναφορές έχει προκαλέσει απώλειες από 50-60% σε ακόμη υγρότερες περιοχές.

Δύο είδη της *Alternaria* προκαλούν στίγματα στο φύλλο και το βλαστό του ηλίανθου. Πρόκειται για την *Alternaria* ηλίανθου και την *A. zinniae*, εκ των οποίων η *A. helianthi* είναι συχνότερη και σοβαρότερη. Αυτές οι ασθένειες μπορεί να καταστούν επιβλαβείς σε περιβάλλον θερμό και υγρό. Οι απώλειες που προκαλούν στην παραγωγή, αφορούν τη μείωση στη διάμετρο της κεφαλής, τον αριθμό των σπόρων ανά κεφαλή, το ελαιώδες περιεχόμενο και την ποιότητα.

Τόσο η *A. helianthi* όσο και η *A. zinniae*, προκαλούν σκούρες καφέ κηλίδες και ρίγες στα φύλλα. Οι κηλίδες είναι ακανόνιστες σε μέγεθος και σχήμα με πολύ σκούρα εξωτερική γραμμή και γκριζό κέντρο, ενώ στα νεαρά φυτά μπορεί να έχουν ένα κίτρινο στεφάνι. Οι κηλίδες στα φύλλα μπορεί να ενωθούν προκαλώντας το μαρασμό τους. Οι βλάβες στους μίσχους ξεκινούν ως σκούρα σημάδια που μεγαλώνουν και συχνά ενώνονται, σχηματίζοντας μεγάλες μαύρες περιοχές που προκαλούν σπάσιμο τους. Δεν διαχέονται σε ολόκληρο το μίσχο και δε σχετίζονται με το σημείο επαφής με το μίσχο του φύλλου. Σκουροπράσινα ωοειδή ως κυκλικά στίγματα μπορεί να εμφανιστούν στις κεφαλές. Αν η μόλυνση είναι σοβαρή, τα φυτά φυλλορροούν πρόωρα και μαραίνονται, ή συχνά πέφτουν.

Ενδεικνύόμενα μέτρα είναι η εναλλαγή καλλιεργειών, η καταστροφή των υπολειμμάτων φυτών και οι λειτουργίες της καλλιέργειας που οδηγούν σε θάψιμο ή ταχεία αποσύνθεση των υπολειμμάτων. Οι αγροί με τα πρώιμα φυτά είναι πιο ευάλωτοι σε σοβαρές απώλειες από την ασθένεια, από ότι εκείνοι με τα όψιμα. Τα φυτά είναι πιο ευαίσθητα κατά τη διάρκεια της ανθοφορίας και της δημιουργίας του σπόρου. Η απολύμανση του σπόρου με μυκητοκτόνο Captan μειώνει σημαντικά την εμφάνιση της *Alternaria*. Τα μυκητοκτόνα που εφαρμόζονται στα φύλλα με ενεργά συστατικά τα benomyl (Fundazol), vinclozolin, (Ronilan) και iprodion (Rovral), μπορούν να χρησιμοποιηθούν για την αντιμετώπιση των συνεπειών της.

3.7.4 Σκωρίωση του ηλίανθου (*Puccinia helianthi*)

Έχει εμφανιστεί τόσο σε καλλιεργημένο όσο και σε άγριο ηλίανθο, σε όλες τις περιοχές όπου αυτός καλλιεργείται. Μπορεί να μειώσει την παραγωγή, το ελαιώδες περιεχόμενο και το μέγεθος του σπόρου, καθώς επίσης το βάρος και την αναλογία

βάρους πυρήνα-φλοιού. Οι καλλιέργειες ευπαθών υβριδίων γενικά υφίστανται σοβαρότερες ζημιές από τη σκωρίαση, από ότι οι πιο πρώιμες καλλιέργειες. Τα πρώτα συμπτώματα της ασθένειας συνήθως παρατηρούνται, κατά την περίοδο της άνθισης, ή αμέσως μετά. Φλύκταινες χρώματος κανελί εμφανίζονται πρώτα στα κάτω φύλλα, ύστερα στα πάνω, τέλος σε μίσχους, μισχίδια και στο πίσω μέρος της κεφαλής του άνθους.

Ο πλέον αποτελεσματικός τρόπος για να αποφευχθούν οι απώλειες από τη σκωρίαση είναι η χρήση ανθεκτικών υβριδίων. Τα μέτρα διαχείρισης που ελαχιστοποιούν τον κίνδυνο απωλειών περιλαμβάνουν την καταστροφή των φυτών που έχουν προσβληθεί και την εναλλαγή με άλλες καλλιέργειες. Θα πρέπει να αποφευχθεί η φύτευση μεγάλων ποσοτήτων ευπαθών υβριδίων σε μία περιοχή. Υψηλή ποσότητα αζώτου στα λιπάσματα και πυκνότητα φυτών ενισχύουν τη σοβαρότητα της ασθένειας, για αυτό τέτοιες πρακτικές πρέπει να ελαχιστοποιούνται. Η ασθένεια περιορίζεται και από την πρώιμη σπορά. Τελευταία εναλλακτική λύση πρέπει να θεωρείται η χρήση μυκητοκτόνων, η εφαρμογή των οποίων πρέπει να γίνεται όταν η σκωρίαση εμφανίζεται νωρίς στα πλαίσια της αναπτυξιακής περιόδου.

3.8 Ποικιλίες, υβρίδια και βελτίωση φυτών

Λόγω της μεγάλης σημασίας που έχουν τα παραγόμενα από τον ηλίανθο προϊόντα τόσο στη διατροφή του ανθρώπου, όσο και στη βιομηχανία, η δημιουργία βελτιωμένων φυτών, έγινε στόχος πολλών επιστημόνων και εταιριών. Η αύξηση της παραγωγής και της απόδοσης, η μεγαλύτερη περιεκτικότητα των σπόρων σε λάδι, η αντοχή σε ασθένειες, η ύπαρξη ισχυρού ριζικού συστήματος, η καλή εφαρμογή των φυτών σε μη αρδευόμενα εδάφη και η προσαρμογή τους σε όλους τους τύπους εδαφών, είναι κάποιες από τις επιθυμητές ιδιότητες του ηλίανθου, τις οποίες οι γενετιστές φρόντισαν να βελτιώσουν.

Τόσο σε επιστημονικό όσο και σε εμπορικό επίπεδο έχουν δημιουργηθεί ανά τον κόσμο διάφοροι σταθμοί γενετικής βελτίωσης. Παραρτήματα των σταθμών αυτών αποτελούν οι σταθμοί επιλογής και ελέγχου καθώς επίσης και οι σταθμοί έρευνας και ανάπτυξης. Οι στόχοι της βελτίωσης οριοθετούνται πάντα από τις απαιτήσεις της αγοράς.

Η διαδικασία απόκτησης ενός ανταγωνιστικού υβριδίου διαρκεί περίπου 10 χρόνια. Χρησιμοποιούνται πολλά εργαλεία για την συντόμευση του χρόνου εισόδου στην αγορά και για την αναβάθμιση της αποδοτικότητας των προγραμμάτων της βελτίωσης. Κάποια από αυτά είναι η χαρτογράφηση των γονιδιωμάτων, ώστε να αξιολογηθεί η παραλλακτικότητα του γενετικού υλικού, η υποβοήθηση με την χρήση γονιδίων δεικτών, για την επιτάχυνση και διασφάλιση της ποιότητας των καθαρών σειρών και ενδυνάμωσή τους με επιθυμητά χαρακτηριστικά (αντοχή σε ασθένειες,

αντοχή σε ζιζανιοκτόνα, υψηλή περιεκτικότητα ολεϊκού οξέος στο λάδι), καθώς επίσης και για να βελτιωθεί η αποδοτικότητα της επιλογής αγρονομικών χαρακτηριστικών.

Εταιρίες που ασχολούνται χρόνια με τη βελτίωση φυτών και ιδιαίτερα του ηλίανθου παρουσιάζουν τόσο στην παγκόσμια όσο και στην ελληνική αγορά διάφορες νέες ποικιλίες και υβρίδια με ιδιαίτερα χαρακτηριστικά. Ορισμένα από αυτά είναι τα Sunluca, Sanbro, Oleko, NK Califa και NK Sanay τα οποία παράγονται από την εταιρία Syngenta, τα PR64A70 (RM 44), PR64E83 (RM 43), PR64E83 (RM 48), PR63A90 (RM 40) και PR64E71 (RM 46) της Pioneer, τα Coban, Cledesol, Aurasol της Bios. Πέραν τούτου και η ελληνική βιομηχανία έχει να επιδείξει ανάλογα υβρίδια και ποικιλίες, όπως είναι τα Favorit και Heliasol της εταιρίας ΥΨΙΛΟΝ και το Leila της ΕΛΛΑΓΡΕΤ.

3.9 Διατροφική αξία του ελαίου και των σπόρων του ηλίανθου

Τα ελαιούχα φυτά είναι η βασική πηγή λιπαρών για την ανθρωπότητα. Ο ηλίανθος μαζί με την σόγια, το βαμβάκι και την ελαιοκράμβη αποτελούν το 85% της παγκόσμιας παραγωγής λαδιού. Η αναλογία των λιπαρών οξέων που περιέχονται στο ηλιέλαιο είναι 65% λινολεϊκό οξύ (πολυακόρεστα λιπαρά), 20-25% ολεϊκό οξύ (μονοακόρεστα λιπαρά) και 10-15% κορεσμένα λιπαρά.. Υπό θερμές συνθήκες η περιεκτικότητα σε ολεϊκό είναι υψηλότερη και σε λινολεϊκό χαμηλότερη, ενώ τα κεκορεσμένα οξέα, παλμιτικό και στεατικό, σπάνια υπερβαίνουν το 12%. Ο high-oleic ηλίανθος είναι τύπος γενετικού υλικού που προήλθε από προγράμματα βελτίωσης, κάτι που ήδη είχε ξεκινήσει από τα μέσα της δεκαετίας του 1970. Το λάδι που προέρχεται από high – oleic ηλίανθο περιέχει πολύ μεγαλύτερο ποσοστό ολεϊκού οξέος 85% ενώ το περιεχόμενο του λινολεϊκού είναι μειωμένο στο 10% και τα κορεσμένα λιπαρά επίσης μειωμένα. Οι χρήσεις των λαδιών που προέρχονται από high – oleic υβρίδια ηλίανθου είναι πολλές και ιδιαίτερα ενδιαφέρουσες ενώ η ζήτησή τους είναι διαρκώς αυξανόμενη.

Τα συγκεκριμένα λάδια είναι πολύ ελκυστικότερα λόγω της πολύ καλής ισορροπίας λιπαρών που έχουν. Διευκολύνουν τον μεταβολισμό της χοληστερόλης και έχουν λιγότερα trans- ισομερή λιπαρά οξέα, τα οποία είναι συνδεδεμένα με αυξημένη πιθανότητα καρδιαγγειακών παθήσεων. Επίσης έχουν μειωμένο ποσοστό κορεσμένων λιπαρών και είναι πλούσια σε βιταμίνη E, η οποία είναι φυσικό αντιοξειδωτικό. Οι ιδιότητες αυτές τα καθιστούν ως τα υγιεινότερα λάδια για την ανθρώπινη διατροφή. Έτσι το ηλιέλαιο που παράγεται με ψυχρή πίεση, αλλά όχι του εμπορίου, κατεβάζει τη χοληστερίνη και προστατεύει από την αρτηριοσκλήρυνση.

Το άνθος περιέχει ένα φλαβονικό γλυκοσίδιο την κουρσιμετρίνη, που συνοδεύεται από μία δεκάδα ακόμη χημικών ενώσεων, μεταξύ των οποίων είναι η

ιστιδίνη. Οι σπόροι περιέχουν εκτός από έλαιο, πρωτεΐνες, κυτταρίνη, τανίνη, λεκιθίνες, μεθειονίνη, ασβέστιο, μαγνήσιο, σίδηρο, κάλιο, φώσφορο, σελήνιο, ψευδάργυρο βιταμίνες A, B, C, E, K, νιασίνη κ.α.

Οι άψητοι σπόροι του φυτού είναι θρεπτικοί, έχουν λίγες θερμίδες και ηρεμούν το νευρικό σύστημα. Προστατεύουν από τον σχηματισμό πέτρας στα νεφρά και τη χολή. Ακόμη βοηθούν τη λειτουργία του προστάτη και γενικά του πεπτικού, του ουροποιητικού και του αναπαραγωγικού συστήματος, ενώ προλαμβάνουν και ανακουφίζουν από τη ρευματοειδή αρθρίτιδα και βελτιώνουν την όραση. Επιπλέον βοηθούν στην απόχρεμψη, στο βήχα, το κρυολόγημα και τις ασθένειες των βρόγχων.

3.10 Χρήση του ηλιελαίου στη βιομηχανία παραγωγής καυσίμων

Ως απόρροια της κοινής πολιτικής που ακολουθείται παγκοσμίως για τη μείωση των συμβατικών καυσίμων και αντικατάστασή τους με καύσιμα τα οποία προέρχονται από ενεργειακές καλλιέργειες, είναι αναμενόμενο να υπάρχει έντονο ενδιαφέρον για την εναλλακτική αυτή πηγή ενέργειας από τις βιομηχανίες. Όπως έχει αναφερθεί και σε προηγούμενα κεφάλαια, το έλαιο που παράγεται από τους σπόρους του ηλίανθου μπορεί να χρησιμοποιηθεί ως πρώτη ύλη για την παρασκευή βιοντίζελ.

Ο βαθμός ιοδίνης είναι ένα μέτρο αστάθειας, η τιμή του οποίου καθορίζεται από την E.E. ως χαρακτηριστικό προδιαγραφών, σε συνδυασμό με κάποια άλλα όπως είναι το σημείο πήξεως του ελαίου και ο αριθμός κετανίου για την καταλληλότητα των ελαίων ως προς τη χρήση τους για την παραγωγή βιοντίζελ. Στο ηλιέλαιο ο βαθμός αυτός είναι λίγο υψηλότερος από το επιτρεπόμενο με αποτέλεσμα να είναι αναγκαία η ανάμειξή του με επιλεγμένα έλαια όπως είναι τα high – oleic.

Η ποιότητα του λαδιού από high – oleic ηλίανθο μαζί με αυτό της ελαιοκράμβης πληρούν τις προδιαγραφές για την παραγωγή του EN 14214 τυποποιημένου προϊόντος βιοντίζελ που παράγει η E.E.. Η ανάγκη της βιομηχανίας και στην Ελλάδα για λάδια κατάλληλα για βιοντίζελ, ανοίγει νέους ορίζοντες για τις καλλιέργειες του ηλίανθου και της ελαιοκράμβης. Από ένα στρέμμα ηλίανθο, ανάλογα με το αν είναι αρδευόμενος ή μη, παράγονται κατά μέσο όρο 120-210 κιλά σπόρος με αντίστοιχη παραγωγή 43-75 λίτρα βιοντίζελ (Πίνακας 5). Για το πώς εκτυλίσσεται η διαδικασία παραγωγής βιοντίζελ από πρώτη ύλη τις ενεργειακές καλλιέργειες, έχει γίνει αναφορά σε προηγούμενο κεφάλαιο.

Ένα ενδεικτικό διάγραμμα μίας μονάδας παραγωγής βιοντίζελ περιλαμβάνει εκτός από το αυτοματοποιημένο σύστημα συνεχούς παραγωγής, λειτουργίες όπως είναι ο έλεγχος όλης της λειτουργίας με ηλεκτρονικό υπολογιστή με σύστημα DCS (Digital Control System), η ανάκτηση της μεθανόλης με υποπίεση και αντλία κενού και η εφαρμογή πολυμερικών στηλών στεγνού πλυσίματος, για τον καθαρισμό του

παραγόμενου προϊόντος. Ακόμη η ροή παραγωγής υπολογίζεται περίπου σε 5 τόνους/ώρα, η ετήσια παραγωγή μέχρι 43.000 τόνους και η κατασκευή να είναι σύμφωνα με όλες τις διεθνείς προδιαγραφές (API -650, ASME CODE VIII).

Οι απαιτήσεις των άνωθεν προδιαγραφών είναι οι εξής:

- 1) Δεξαμενή αποθήκευσης φυτικού λαδιού (από ελαιοκράμβη, σόγια, ηλιόσπορο). Η δεξαμενή έχει δυνατότητα θέρμανσης για τη διατήρηση του ιξώδους σε συγκεκριμένο εύρος.
- 2) Το φυτικό λάδι να προθερμαίνεται σε εναλλάκτη θερμότητας μέχρι τους 38 °C από το καθαρό παραγόμενο βιοντίζελ πριν αποθηκευτεί στη δεξαμενή αποθήκευσης.
- 3) Η θερμοκρασία του φυτικού να ελαίου αυξάνεται μέχρι τους 62-65 °C σε εναλλάκτη θερμότητας με θερμό νερό από τον ατμολέβητα.
- 4) Ατμολέβητας.
- 5) Εξωτερική δεξαμενή αποθήκευσης μεθανόλης.
- 6) Αντιδραστήρας ανάμιξης μεθανόλης και καταλύτη (KOH).
- 7) Δεξαμενή αποθήκευσης methoxide για την παραγωγή.
- 8) Το φυτικό λάδι σε θερμοκρασία 62-65 °C μαζί με methoxide να εισέρχονται στον αντιδραστήρα No1.
- 9) Μετά τον αντιδραστήρα No1 το προϊόν θερμαίνεται πάλι στους 62-65 °C για τυχόν απώλειες της θερμοκρασίας του.
- 10) Αντιδραστήρας No2.
- 11) Μετά την έξοδο του προϊόντος από τον αντιδραστήρα No2 διαχωρίζεται η γλυκερίνη.
- 12) Δεξαμενή αποθήκευσης γλυκερίνης.
- 13) Ανάκτηση μεθανόλης με υποπίεση.
- 14) Στεγνός καθαρισμός του βιοντίζελ σε πύργους στεγνού πλυσίματος με πολυμερές.
- 15) Δεξαμενή αποθήκευσης καθαρού βιοντίζελ.

| ΚΑΥΣΙΜΟ | ΠΡΩΤΗ ΥΛΗ | ΑΠΟΔΟΣΗ ΣΕ ΠΡΟΪΟΝ (kg/ στρ.) | ΑΠΟΔΟΣΗ ΣΕ ΚΑΥΣΙΜΟ (lt/στρ.) |
|-------------|---------------|------------------------------|------------------------------|
| ΒΙΟΝΤΙΖΕΛ | ΗΛΙΑΝΘΟΣ | 120- 210 | 43- 75 |
| | ΕΛΑΙΟΚΡΑΜΒΗ | 150-300 | 58- 116 |
| | ΑΓΡΙΟΑΓΓΙΝΑΡΑ | 100- 150 | 28- 41 |
| | ΒΑΜΒΑΚΙ | 120- 160 | 20- 27 |
| | ΣΟΓΙΑ | 160- 240 | 32- 48 |
| ΒΙΟΑΙΘΑΝΟΛΗ | ΣΙΤΑΡΙ | 150- 800 | 46-243 |
| | ΑΡΑΒΟΣΙΤΟΣ | 800- 1200 | 240-360 |
| | ΤΕΥΤΛΑ | 5500- 7000 | 550- 700 |
| | ΣΟΡΓΟ | 7000- 9000 | 700- 900 |

(Πηγή: Κ.Α.Π.Ε.)

Πίνακας 5. Παραγόμενα βιοκαύσιμα από διάφορα φυτά και αποδόσεις ανά στρέμμα σε σπόρο και σε καύσιμο.

3.11 Εξαγωγή του ελαίου από τον ηλίανθο

Το κυριότερο παραγόμενο προϊόν από την καλλιέργεια του ηλίανθου είναι το ηλιέλαιο, το οποίο όπως αναφέρθηκε, περιέχει πολλά θρεπτικά συστατικά και ενδείκνυται για πολλές χρήσεις στην καθημερινή ζωή και τη βιομηχανία. Η εξαγωγή του ηλιελαίου μπορεί να επιτευχθεί είτε με μηχανική επεξεργασία με τη χρήση πρέσας, είτε με χημική επεξεργασία χρησιμοποιώντας ορισμένους διαλύτες.

Ο όρος μηχανική επεξεργασία αναφέρεται στη θερμή και τη ψυχρή συμπίεση. Πειράματα που έγιναν έδειξαν ότι κατά την ψυχρή συμπίεση η ποσότητα του παραγόμενου ελαίου από καλλιέργεια ηλίανθου, εξαρτάται από την ποικιλία του σπόρου, το βαθμό συμπίεσης του σπόρου, ο οποίος μπορεί να βελτιωθεί με μείωση της διαμέτρου του ακροφυσίου εξόδου της πίτας και τη θερμοκρασία του εισαγόμενου στην πρέσα σπόρου.

Η διαδικασία της ψυχρής συμπίεσης απαιτεί έναν σχετικά απλό μηχανολογικό εξοπλισμό. Χαρακτηριστικό είναι ότι δεν απαιτείται πολλή ενέργεια ούτε η χρήση χημικών μέσων. Με τον τρόπο αυτό, το παραγόμενο δια της ψυχρής συμπίεσης έλαιο, σε αντίθεση με το αντίστοιχο που παράγεται δια της θερμής, διατηρεί πλήρως τα υγιεινά συστατικά του όπως βιταμίνες, ένζυμα, λεκιθίνη και ιχνοστοιχεία, ενώ η γεύση του είναι πιο έντονη και το ποσοστό ακόρεστων υδρογονανθράκων πολύ υψηλότερο.

Μεγάλη σημασία για τη διεργασία αυτή έχει ο σπόρος να είναι απαλλαγμένος από προσμίξεις και φερτά υλικά (π.χ. άμμος). Επιπλέον τα επίπεδα υγρασίας του σπόρου πρέπει να κυμαίνονται μεταξύ 6 και 8% περίπου, διασφαλίζοντας έτσι της κατάλληλες συνθήκες για αποθήκευση και κατόπιν για ιδανική συμπίεση. Απαραίτητες είναι επίσης οι χαμηλή θερμοκρασία αποθήκευσης και η επαρκής ανταλλαγή αέρος και θερμότητας.

Τα υπολείμματα από την κατεργασία των σπόρων του ηλίανθου με τη μέθοδο της ψυχρής συμπίεσης αποτελούν την λεγόμενη ηλιόπιτα, η οποία είναι πολύ καλή ζωοτροφή και με υψηλή διατροφική αξία. Γενικότερα η παραγόμενη αυτή πίτα είναι πλούσια σε Τ.Μ. (μεικτά άλευρα), πρωτεΐνες, λίπος, κυτταρίνη και είναι μια καλή πηγή ενέργειας για τα εκτρεφόμενα ζώα.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ ΤΕΤΑΡΤΟ

Υγρά απόβλητα για άρδευση

4.1 Γενικά

Από το δεύτερο μισό του περασμένου αιώνα και μέχρι τις μέρες μας σημειώθηκε μια πληθυσμιακή έκρηξη χωρίς προηγούμενο, η οποία ήρθε ως απόρροια της εξέλιξης στην τεχνολογία, την ιατρική επιστήμη και πολλούς άλλους τομείς. Η αύξηση αυτή του πληθυσμού είχε ως αποτέλεσμα τη δημιουργία πλήθους αναγκών, οι οποίες έπρεπε να καλυφθούν ιδιαίτερα ως προς την ποιότητα ζωής και ευημερία των ανθρώπων με κατεύθυνση προς ένα πιο βιώσιμο περιβάλλον. Μία τέτοια ανάγκη η οποία είναι μεγάλης σημασίας για τη διαβίωση των κοινωνιών είναι η διαχείριση της πάσης φύσεως αποβλήτων (στερεών, υγρών, αερίων), που έχουν ως επίπτωση τη μόλυνση του περιβάλλοντος γενικά και έρχονται ως συνέπεια της υπέρμετρης προόδου και του υπερπληθυσμού. Επιπλέον η αλόγιστη χρήση του νερού οδήγησε στην έλλειψή του τα τελευταία χρόνια υποβαθμίζοντας ακόμη περισσότερο την ποιότητα ζωής και κάνοντας ορατούς κινδύνους που φάνταζαν ανύπαρκτοι.

Ο συνδυασμός των δύο αυτών παραμέτρων έχει οδηγήσει τη διεθνή κοινότητα στην προσπάθεια εξεύρεσης εφικτών λύσεων, σχετικά με τη διαχείριση των απορριμμάτων και ιδιαίτερα των αστικών λυμάτων από τη μία και την εξοικονόμηση νερού και εύρεση νέων πηγών νερού από την άλλη. Δεδομένου του ότι το μεγαλύτερο μέρος των διαθέσιμων υδατικών πόρων χρησιμοποιείται για αρδευτικούς σκοπούς και ότι τα αστικά λύματα (ο όγκος των οποίων αυξάνεται ολοένα και περισσότερο) είναι δυνατόν να υποστούν επεξεργασία και να επαναχρησιμοποιηθούν, γίνεται προφανές ότι τα υγρά απόβλητα είναι δυνατό να αξιοποιηθούν προς όφελος του ανθρώπου, όσον αφορά την άρδευση γεωργικών και ενίοτε αστικών εκτάσεων. Ακόμη η χρήση τους στη βιομηχανία καθώς και ο εμπλουτισμός των υπόγειων υδροφόρων οριζόντων με αυτά (Angelakis et al. 2002) θα δώσουν επιπλέον λύσεις στο πρόβλημα.

Η άρδευση των καλλιεργειών είναι ο πιο ενδεδειγμένος τρόπος επαναχρησιμοποίησης των επεξεργασμένων υγρών αστικών αποβλήτων γιατί έτσι αποφεύγεται η υποβάθμιση των υδάτινων αποδεκτών και επιτυγχάνεται η φυσική τροφοδοσία του εδάφους και των φυτών με θρεπτικά στοιχεία, πράγμα που μπορεί να μειώσει την ανάγκη προσθήκης χημικών λιπασμάτων (Asano & Levine 1995, FAO 1991, Pescod 1992). Επίσης αποτελούν έναν ακόμη υδατικό πόρο, ο οποίος είναι ιδιαίτερα σημαντικός σε χώρες όπου οι βροχοπτώσεις δεν επαρκούν, συμβάλλοντας με τον τρόπο αυτό στην εξισορρόπηση του υδατικού ισοζυγίου.

Αστικά λύματα είναι τα υγρά απόβλητα που δημιουργούνται από τις διαδικασίες καθαριότητας σε μία κατοικημένη περιοχή. Κύριο συστατικό τους είναι το νερό (99%) στο οποίο περιέχονται μικρές συγκεντρώσεις αιωρούμενων και διαλυμένων σε αυτό οργανικών και ανόργανων στερεών. Η τυπική τους σύσταση παρουσιάζεται παρακάτω (Πίνακας 6).

Τα επεξεργασμένα αστικά υγρά απόβλητα αποτελούν πηγή θρεπτικών ουσιών για το έδαφος και γενικότερα για τα φυτά, αφού παρέχουν σε αυτά σημαντικές ποσότητες αζώτου, φωσφόρου, καλίου και άλλων ιχνοστοιχείων. Έρευνα αναφέρει ότι η χρήση επεξεργασμένων λυμάτων σε καλλιέργεια ζαχαρότευτλων, εμπλούτισε το έδαφος με ποσότητες που κυμαίνονταν από 20,5- 30,5 kg/στρ. για το N, 4,5- 6,8 kg/στρ. για τον P και 11,7- 13,5 kg/στρ. για το K (Πανώρας κ.α. 1998α, β, 1999α, β). Η επίδραση των υγρών αποβλήτων στις φυσικές και υδραυλικές ιδιότητες του εδάφους ύστερα από πειράματα που έγιναν, φαίνεται να εξαρτάται από το είδος του εδάφους στο οποίο αυτά εφαρμόζονται, από τα ποιοτικά χαρακτηριστικά τους, το χρονικό διάστημα που μεσολαβεί κατά την εφαρμογή τους και από διάφορες άλλες καλλιεργητικές πρακτικές.

| Συστατικά | Όρια συγκέντρωσης | | | ΜέσοετημίεςΗΠΑ |
|---|-------------------|------|-------|--------------------|
| | Μεγάλη | Μέση | Μικρή | |
| Ολικά στερεά (mg/l) | 1200 | 720 | 350 | - |
| Διαλυμένα στερεά (mg/l) | 850 | 500 | 250 | - |
| Αιωρούμενα (mg/l) | 350 | 220 | 100 | 192.0 |
| Καθιζάνοντα στερεά (ml/l) | 20 | 10 | 5 | - |
| Βιοχημικά απαιτούμενο οξυγόνο (B.O.D., mg/l, 20 °C) | 400 | 220 | 110 | 181.0 |
| Ολικός οργανικός άνθρακας (T.O.C., mg/l) | 290 | 160 | 80 | 102.0 |
| Χημικά απαιτούμενο οξυγόνο (C.O.D., mg/l) | 1000 | 500 | 250 | 417.0 |
| Ολικό άζωτο (N, mg/l) | 85 | 40 | 20 | 34.0 |
| Οργ.- N (mg/l) | 35 | 15 | 8 | 13.0 |
| NH ₄ - N(mg/l) | 50 | 25 | 12 | 20.0 |
| NO ₂ - N(mg/l) | 0 | 0 | 0 | - |
| NO ₃ -N(mg/l) | 0 | 0 | 0 | - |
| Ολικός P(mg/l) | 15 | 8 | 4 | 9.4 |
| Οργανικός P(mg/l) | 5 | 3 | 1 | 2.6 |
| Ανόργανος P(mg/l) | 10 | 5 | 3 | 6.8 |
| Χλωριόντα(mg/l) | 100 | 50 | 30 | - |
| Βόριο (mg/l) | - | - | - | 0.7- 1.7 |
| Διαλυτό Na (mg/l) | - | - | - | 50-70 |
| EC (dS/m) | - | - | - | 2.0- 3.0 |
| SAR (meq/l) ^{1/2} | - | - | - | 3.0- 9.0 |
| Σκληρότητα (CaCO ₃) | - | - | - | 200- 300 |
| Αλκαλικότητα (CaCO ₃) | 200 | 100 | 50 | 211 |
| Λίπη- Έλαια (mg/l) | 150 | 100 | 50 | - |
| Ολικά κολοβακτηρίδια MPN/ 100 ml | - | - | - | 22*10 ⁶ |
| Κολοβακτηρίδια εντερικής προέλευσης MPN/ 100 ml | - | - | - | 8*10 ⁶ |
| Ιοί, PFU/ 100ml | - | - | - | 3.6 |

Πίνακας 6. Τυπική σύσταση ανεπεξέργαστων υγρών αποβλήτων.

4.2 Από ιστορική και γεωπολιτική άποψη

Ανατρέχοντας σε ιστορικές πηγές παρατηρούμε ότι οι πρώτες προσπάθειες για τη δημιουργία αποχετευτικών συστημάτων ξεκίνησαν γύρω στο 3000 π.Χ. από τους Σουμέριους στην περιοχή της Μεσοποταμίας, ενώ και οι Κρήτες και ο Μινωϊκός πολιτισμός έχουν να επιδείξουν ανάλογο σύστημα συλλογής των όμβριων και ακαθάρτων υδάτων. Ακόμη διασώζεται μέχρι και τις μέρες μας στη Ρώμη η ‘μεγάλη υπόνομος’ η οποία εξυπηρετούσε στην απομάκρυνση των νερών της βροχής. Τέλος και στην αρχαία ελληνική μυθολογία ο Ηρακλής χρησιμοποιώντας τη δύναμη των ποταμών Αλφειού και Πηνειού κατόρθωσε να καθαρίσει τους στάβλους του μυθικού βασιλιά Αυγεία.

Όσον αφορά τη χρήση των υγρών αποβλήτων για αρδευτικούς σκοπούς ο πρώτος πολιτισμός που εφάρμοσε την πρακτική αυτή ήταν ο Μινωϊκός (FAO 1991) και στη συνέχεια οι Κινέζοι, οι οποίοι τη χρησιμοποίησαν για πολλούς αιώνες. Αργότερα οι αρχαίοι Αθηναίοι στην προσπάθειά τους να αξιοποιήσουν υδατικούς πόρους και να εκμεταλλευτούν τα θρεπτικά στοιχεία που βρίσκονταν στο ακάθαρμο νερό, το χρησιμοποίησαν και αυτοί για άρδευση των καλλιεργειών τους (Μαρκαντωνάτος 1990). Συστηματική όμως χρήση των αστικών λυμάτων στη γεωργία άρχισε να γίνεται το 16^ο αιώνα στη Γερμανία και το 19^ο σε αγροκτήματα της Αγγλίας (FAO 1991).

Η ανάγκη επεξεργασίας και καθαρισμού των αποβλήτων άρχισε να γίνεται αισθητή μετά την επέκταση των δικτύων υπονόμων και αποχέτευσης σε αυτά των λυμάτων. Αρχικά είχε δοθεί βάση στην παρεμπόδιση της χρήσεως του νερού στη γεωργία και τη βιομηχανία χωρίς να δίνεται σημασία στους κινδύνους που εγκυμονούσαν για τη δημόσια υγεία. Για να αντιμετωπιστούν όμως οι δυσμενείς επιπτώσεις που προέκυψαν από την αδυναμία διαχείρισής των αποβλήτων τόσο στο περιβάλλον όσο και στον άνθρωπο, αναπτύχθηκαν μέθοδοι καθαρισμού των λυμάτων με επιτάχυνση του ρυθμού επεξεργασίας τους μέσα σε ένα τεχνητό περιβάλλον (Μαρκαντωνάτος 1990).

Σε αρκετές χώρες τα υγρά αστικά απόβλητα παίζουν σημαντικό ρόλο στο σχεδιασμό και προγραμματισμό της αξιοποίησης των υδατικών πόρων, συμβάλλοντας έτσι στην εξοικονόμηση ποσοτήτων νερού καθώς επίσης και στην προστασία του περιβάλλοντος. Πολλά κράτη ανά τον κόσμο όπως είναι οι Η.Π.Α., η Γαλλία, το Ισραήλ, το Μεξικό και χώρες της Μέσης Ανατολής στις οποίες το φαινόμενο των περιορισμένων βροχοπτώσεων είναι εμφανές, χρησιμοποιούν επεξεργασμένα αστικά λύματα για άρδευση καλλιεργειών και όχι μόνο, στοχεύοντας στην αποφυγή της συρρίκνωσης του διαθέσιμου νερού. Στην Κύπρο όπου το πρόβλημα της έλλειψης νερού λόγω ανεπαρκών βροχοπτώσεων είναι συνεχές από τη μία και η ρύπανση των ακτών της από τη διάθεση των αποβλήτων μειώνει τον

τουρισμό από την άλλη, η χρήση των αστικών λυμάτων για γεωργικούς σκοπούς έδωσε σημαντικές λύσεις.

Είναι δεδομένο ότι η άρδευση με ακατέργαστο λύμα και χωρίς λήψη προληπτικών μέτρων εγκυμονεί κινδύνους και ότι μόνο η πλήρης επεξεργασία των αστικών λυμάτων είναι το αποτελεσματικότερο εργαλείο για την πρόληψη της μετάδοσης ασθενειών. Ακόμη είναι αναγκαίο να επιλέγεται κατάλληλη μέθοδος εφαρμογής των λυμάτων στον αγρό και σε συγκεκριμένες καλλιέργειες, ώστε να ελαχιστοποιείται η ανθρώπινη επαφή με τους παθογόνους οργανισμούς που υπάρχουν σε αυτά. Έχοντας τα παραπάνω ως κριτήρια ο Παγκόσμιος Οργανισμός Υγείας (W.H.O.) δημιούργησε τέσσερις κατηγορίες μέτρων στα οποία εντάσσονται τα εξής:

α) Η επεξεργασία των λυμάτων, β) ο περιορισμός των τύπων των αρδευόμενων καλλιεργειών, γ) η επιλογή της μεθόδου άρδευσης και δ) ο έλεγχος της ανθρώπινης έκθεσης στους παθογόνους οργανισμούς του λύματος, του εδάφους και των αγροτικών προϊόντων που προέρχονται με την πρακτική αυτή.

Στην Ευρώπη και ιδιαίτερα στην Ε.Ε. δεν υπάρχουν νομοθετικές ρυθμίσεις σχετικά με την απαιτούμενη ποιότητα των προς επαναχρησιμοποίηση λυμάτων. Γίνεται γενική αναφορά για το ζήτημα αυτό στην 91/271 οδηγία της Ε.Ε. στην οποία αναφέρεται ότι «Τα επεξεργασμένα λύματα πρέπει να χρησιμοποιούνται όποτε αυτό κρίνεται σκόπιμο...», αφήνοντας έτσι σε κάθε κράτος μέλος την πρωτοβουλία όσον αφορά τη διευθέτηση του ζητήματος αυτού. Πολλές χώρες έχουν θεσπίσει τα δικά τους κριτήρια και προδιαγραφές για τη χρήση των επεξεργασμένων αστικών αποβλήτων τα οποία ποικίλουν. Η χώρα μας στερείται νομικού τέτοιου πλαισίου και θεωρητικά ισχύουν οι προδιαγραφές που έχει θέσει ο W.H.O.

4.3 Επεξεργασία των υγρών αστικών αποβλήτων

Έχοντας ως στόχο την προστασία της δημόσιας υγείας και των φυσικών οικοσυστημάτων ώστε να γίνει εφικτή η διατήρηση της ισορροπίας του περιβάλλοντος και να αποφευχθεί η υποβάθμιση των διαθέσιμων υδατικών πόρων, κρίνεται απαραίτητη η επεξεργασία καθαρισμού των υγρών αστικών αποβλήτων, πριν αυτά φτάσουν στον τελικό τους αποδέκτη. Έτσι το χρησιμοποιούμενο νερό πρέπει να επαναδιατεθεί στη φύση ή στο εκάστοτε σύστημα παραγωγής διαθέτοντας ποιοτικά χαρακτηριστικά που θα συνάδουν με τις επιθυμητές χρήσεις.

Η αξιολόγηση της καταλληλότητας των επεξεργασμένων αστικών αποβλήτων γίνεται με βάση κάποια κριτήρια που αναφέρονται σε χημικές και βιολογικές παραμέτρους. Ο όρος « καταλληλότητα » περιλαμβάνει όχι μόνο τα φυτά και το έδαφος, αλλά και τους ανθρώπους και τα ζώα που έρχονται σε επαφή με τα νερά αυτά ή καταναλώνουν καρπούς και φυτική μάζα που αρδεύονται με νερά τέτοιου

είδους.

Υγρά απόβλητα θεωρούνται εκείνα τα οποία δημιουργούνται ως αποτέλεσμα της χρήσης και απόρριψης του νερού, το οποίο κατά την παραγωγική διαδικασία έχει εμπλουτιστεί με διάφορα ανεπιθύμητα χαρακτηριστικά σε μικρές ή μεγάλες συγκεντρώσεις. Αυτά παρουσιάζουν διακυμάνσεις όσον αφορά το υδραυλικό και το ρυπαντικό φορτίο λόγω των περιεχόμενων δύσκολα βιοαποικοδομήσιμων ή τοξικών ουσιών, παρεμποδίζοντας την ανάπτυξη του βιολογικού παράγοντα. Έτσι είναι δυνατό να εμφανιστούν καταστάσεις που να οδηγήσουν σε κακή λειτουργία και μείωση του βαθμού απόδοσης του συστήματος επεξεργασίας τους.

Καθίσταται λοιπόν αναγκαία η απομάκρυνση και εξουδετέρωση των ανεπιθύμητων ειδικών χαρακτηριστικών με την εφαρμογή κατάλληλων τεχνικών και μεθόδων, πριν το λύμα οδηγηθεί στο γενικό δίκτυο συλλογής για περαιτέρω επεξεργασία. Αυτό θα έχει ως συνέπεια τα υγρά απόβλητα να αποκτήσουν μια σχετικά σταθερή ποιότητα και να εξασφαλιστεί η αποτελεσματικότητα του συστήματος.

4.4 Μέθοδοι επεξεργασίας

Η επεξεργασία των υγρών αστικών αποβλήτων γίνεται συνήθως σε τοποθεσίες κοντά σε αστικά κέντρα σε εγκαταστάσεις που είναι γνωστές ως βιολογικός καθαρισμός. Περιλαμβάνει διάφορες φυσικές, χημικές και βιολογικές διεργασίες με σκοπό τη μείωση όσο το δυνατό περισσότερο του οργανικού φορτίου, των αιωρούμενων στερεών και των παθογόνων μικροοργανισμών. Ο επιθυμητός βαθμός επεξεργασίας τους εξαρτάται αποκλειστικά από τον τελικό χρήστη ή αποδέκτη στον οποίο θα διατεθούν και από το σκοπό για τον οποίο προορίζονται.

Τόσο η πρωτοβάθμια, όσο και η δευτεροβάθμια επεξεργασία που γίνονται στις εγκαταστάσεις καθαρισμού είναι αρκετά αποτελεσματικές όσον αφορά τη μείωση του οργανικού φορτίου, το οποίο εκφράζεται ως Βιοχημικά Απαιτούμενο Οξυγόνο (B.O.D.) και την απομάκρυνση των αιωρούμενων στερεών. Δεν έχουν όμως το ίδιο αποτέλεσμα και με τους παθογόνους μικροοργανισμούς. Αυτό επιτυγχάνεται με την παραμονή και επεξεργασία των υγρών αποβλήτων σε δεξαμενές σταθεροποίησης, όπου με φυσικούς τρόπους όπως είναι η έκθεση τους στο ηλιακό φως, φύκη και βακτήρια απαλλάσσονται από αυτούς. Έτσι ελαχιστοποιούνται οι κίνδυνοι, η επεξεργασία γίνεται η καλύτερη δυνατή και το λύμα είναι έτοιμο προς διάθεση.

Δεδομένης της συνεχούς αύξησης του πληθυσμού που παρατηρείται τα τελευταία χρόνια, είναι λογικό να υποθέσει κανείς ότι υπάρχει δυσαναλογία μεταξύ της ικανότητας επεξεργασίας των ήδη υπάρχουσών εγκαταστάσεων υγρών αστικών αποβλήτων και του όγκου που διαχειρίζονται κάθε μέρα. Έτσι γίνεται λοιπόν αναγκαία τόσο η επέκταση, όσο και η αναβάθμισή τους, ώστε να μπορούν να

ανταπεξέλθουν στις συνεχώς μεγαλύτερες προκλήσεις. Οι μονάδες αυτές μπορεί να περιλαμβάνουν το σύνολο ή ορισμένα από τα παρακάτω στάδια επεξεργασίας:

- α) Προκαταρκτική επεξεργασία (preliminary treatment pre-treatment)
- β) Πρωτοβάθμια επεξεργασία (primary treatment)
- γ) Δευτεροβάθμια επεξεργασία (secondary treatment)
- δ) Τριτοβάθμια επεξεργασία (tertiary treatment)
- ε) Απολύμανση (disinfection)
- στ) Αποθήκευση (effluent storage)

4.4.1 Προκαταρκτική επεξεργασία

Περιλαμβάνει διεργασίες απομάκρυνσης των χονδρόκοκκων στερεών και άλλων υλικών μεγάλου μεγέθους που συνήθως υπάρχουν στα υγρά απόβλητα όταν βρίσκονται στην αρχική ανεπεξέργαστη κατάσταση. Η επεξεργασία που υφίσταται το λύμα στην αρχή είναι η εσχάρωση κατά την οποία συγκρατούνται τα μεγάλα παρασυρόμενα υλικά, έτσι ώστε να προφυλαχθούν τα επόμενα στάδια επεξεργασίας από εμφράξεις και φθορές. Τα προϊόντα που μένουν στις σχάρες θάβονται, καίγονται, χωνεύονται ή διατίθενται ως απορρίμματα. Άλλη μια διεργασία που λαμβάνει χώρα κατά την προκαταρκτική επεξεργασία, είναι επίσης και η καθίζηση η οποία αποβλέπει στο ίδιο αποτέλεσμα.

4.4.2 Πρωτοβάθμια επεξεργασία

Αφού απομακρυνθούν με τις προκαταρκτικές διεργασίες που αναφέραμε όλα τα ογκώδη στερεά υλικά, τα υγρά απόβλητα εισάγονται και εξάγονται από δεξαμενή καθιζήσεως με εγκάρσιο αυλάκι αρκετού μήκους, ώστε να εξασφαλίζεται μικρή ταχύτητα υπερχειλίσεως. Κατά τη διέλευση των υγρών αποβλήτων από τη δεξαμενή, η ταχύτητα ροής τους μειώνεται σημαντικά με συνέπεια τα βαρύτερα αδιάλυτα οργανικά και ανόργανα στερεά να κατακάθονται στον πυθμένα του αυλακιού. Η λάσπη που καθιζάνει στον πυθμένα της δεξαμενής αποτελείται από οργανικό άζωτο και φωσφόρο σε μεγάλο ποσοστό, καθώς επίσης και βαρέα μέταλλα.

Ταυτόχρονα με τη διεργασία της καθίζησης στον πυθμένα της δεξαμενής στην επιφάνειά της λαμβάνει χώρα η διεργασία της επίπλευσης μικρής διαμέτρου αιωρούμενων σωματιδίων, λιπών ελαίων και διαφόρων άλλων υλικών επικάθονται σε αυτή με τη μορφή αφρού. Εισάγονται στη δεξαμενή λεπτές φυσαλίδες αέρα, οι οποίες προσκολλώνται στα αιωρούμενα σωματίδια, επισπεύδοντας με τον τρόπο αυτό την άνοδο στην επιφάνεια των μορίων που έχουν μικρότερο ειδικό βάρος από το υγρό που την καλύπτει. Όλα αυτά τα επιπλέοντα σωματίδια αφαιρούνται με μηχανικό σάρωθρο και η διαδικασία αυτή ονομάζεται και ξάφρισμα.

Κατά την πρωτοβάθμια επεξεργασία απομακρύνεται περίπου το 25 με 50% του αρχικού οργανικού φορτίου (B.O.D.), το 35 με 50% του χημικά απαιτούμενου οξυγόνου (C.O.D.), το 50 με 70% των ολικών αιωρούμενων στερεών και το 65% των λιπών και ελαίων. Ακόμη κατακρατείται ένα μέρος οργανικού αζώτου, οργανικού φωσφόρου και βαρέων μετάλλων, τα οποία είναι συνδεδεμένα με τα αιωρούμενα στερεά. Τα κολλοειδή και τα διαλυτά στερεά παραμένουν ανέπαφα.

4.4.3 Δευτεροβάθμια επεξεργασία

Στόχος της είναι η περαιτέρω βελτίωση των ποιοτικών χαρακτηριστικών του νερού που προέρχεται από την πρωτοβάθμια επεξεργασία, μειώνοντας ακόμη περισσότερο το οργανικό φορτίο και τα αιωρούμενα στερεά. Η διεργασία αυτή περιλαμβάνει την απομάκρυνση της διαλυμένης, βιοδιασπώμενης οργανικής ύλης με τη βοήθεια αερόβιων μικροοργανισμών και τη χρήση μέσων κροκίδωσης για τη συσσωμάτωση και απομάκρυνση των κολλοειδών ουσιών.

Οι οργανικές ουσίες σε συνδυασμό με κάποια ανόργανα συστατικά γίνονται κατάλληλο υπόστρωμα για την ανάπτυξη οργανισμών. Αυτοί καταστρέφουν διάφορα επιβλαβή μικρόβια και μετατρέπουν οργανικές και ανόργανες ασταθείς ενώσεις σε ανόργανες σταθερές, βελτιώνοντας έτσι την ποιότητα του επεξεργαζόμενου λύματος. Για την δημιουργία του υποστρώματος μπαίνει σε λειτουργία ένας βιοχημικός μηχανισμός, που αφενός συνθέτει τις απαραίτητες ουσίες για την ανάπτυξη των κυττάρων του οργανισμού και αφετέρου αποσυνθέτει τις οργανικές ενώσεις που υπάρχουν στο λύμα.

Το οξυγόνο που χρειάζεται για την βιοχημική αερόβια αποικοδόμηση των οργανικών ουσιών που περιέχονται στα υγρά απόβλητα από τους μικροοργανισμούς είναι το Βιοχημικά απαιτούμενο οξυγόνο (B.O.D.). Το B.O.D. αποτελεί δείκτη του πόσο επιβαρυνμένο είναι το λύμα με οργανικό φορτίο. Ο βαθμός αποικοδομήσεως του οργανικού φορτίου εξαρτάται σημαντικά από τη θερμοκρασία. Για την πλήρη αποικοδόμησή του σε θερμοκρασία 20 °C χρειάζονται περίπου 70- 90 μέρες και ως κριτήριο χρησιμοποιείται το B.O.D των πρώτων 5 ημερών, το οποίο αντιπροσωπεύει τα 2/3 του συνολικά απαιτούμενου οξυγόνου.

Μετά την δευτεροβάθμια επεξεργασία το ρυπαντικό φορτίο του λύματος σε συνδυασμό με την πρωτοβάθμια ελαττώνεται περίπου 80- 90%. Οι διαδικασίες αυτού του σταδίου καθαρισμού λέγονται διαδικασίες υψηλού ρυθμού γιατί γίνονται σε ελεγχόμενο περιβάλλον με είσοδο ενέργειας στο σύστημα. Αποτέλεσμα είναι η ταχεία αποικοδόμηση της οργανικής ύλης. Υπάρχουν δύο ειδών διαδικασίες αναλόγως με το αν οι μικροοργανισμοί είναι προσκολλημένοι σε κάποια επιφάνεια (βιολογικά φίλτρα, βιολογικοί δίσκοι), ή είναι αιωρούμενοι μέσα στο λύμα (ενεργός ιλύς, λίμνες).

Τα βιολογικά φίλτρα αποτελούνται από μία κλίνη, η οποία έχει ως διηθητικό μέσο κάποιο αδρανές υλικό και μία δεξαμενή δευτεροβάθμιας καθίζησης, στην οποία απομακρύνονται οι οργανισμοί που αποκολλώνται από την επιφάνεια του διηθητικού μέσου. Τα συστήματα ενεργού ιλύος περιλαμβάνουν μία δεξαμενή καθαρισμού όπου οι οργανισμοί αποικοδομούν αερόβια τις οργανικές ουσίες και μία δεξαμενή δευτεροβάθμιας καθίζησης όπου οι μικροοργανισμοί καθιζάνουν (δευτεροβάθμια λάσπη). Το οξυγόνο που απαιτείται προμηθεύεται στη δεξαμενή καθαρισμού από ειδική διάταξη αερισμού.

4.4.4 Τριτοβάθμια ή προχωρημένη επεξεργασία (advanced treatment)

Εφαρμόζεται με σκοπό την απομάκρυνση των συστατικών που παρέμειναν στο λύμα μετά την πρωτοβάθμια και δευτεροβάθμια επεξεργασία για περαιτέρω μείωση του οργανικού φορτίου και των διαλυμένων στερεών. Τέτοια συστατικά είναι το άζωτο, ο φώσφορος, τα βαρέα μέταλλα, μη διασπώμενες οργανικές ουσίες, απολυμαντικές και απορρυπαντικές ουσίες.

Η απομάκρυνση του αζώτου και του φωσφόρου κρίνεται αναγκαία, όταν ο προορισμός των επεξεργασμένων υγρών αποβλήτων είναι κάποιος υδάτινος αποδέκτης. Έτσι αποφεύγεται ο εμπλουτισμός των αποδεκτών αυτών με τα ανόργανα αυτά στοιχεία και μειώνεται ο κίνδυνος ευτροφισμού τους, ο οποίος έχει σοβαρές επιπτώσεις στη λειτουργία των εκεί οικοσυστημάτων. Ακόμη εμποδίζεται η συσσώρευση βαρέων μετάλλων, τα οποία σε υψηλές συγκεντρώσεις είναι τοξικά με δυσμενείς βραχυχρόνιες και μακροχρόνιες συνέπειες τόσο στο περιβάλλον, όσο και στον άνθρωπο.

Όταν το επεξεργασμένο λύμα προορίζεται για αρδευτικούς σκοπούς, η ύπαρξη Ν και Ρ αποτελεί κατά κάποιο τρόπο πλεονέκτημα και είναι επιθυμητή, όχι όμως σε υψηλές συγκεντρώσεις. Αυτό συμβαίνει γιατί αφενός επαναφέρονται στο έδαφος νερό και θρεπτικά συστατικά, βοηθώντας στην εξισορρόπηση του ισοζυγίου. Αφετέρου γιατί καταναλώνονται από τους παραγωγούς μικρότερες ποσότητες λιπασμάτων, με αποτέλεσμα να μειώνεται το κόστος των εισροών, η επιβάρυνση του υδροφόρου ορίζοντα και γενικότερα του περιβάλλοντος.

Πάντως οι κίνδυνοι αλλοιώσεως της δομής του εδάφους και ρυπάνσεώς του, όπως και των επιφανειακών και υπόγειων υδάτων σε συνδυασμό με τις απαιτούμενες μεγάλες εκτάσεις γης, θέτουν περιορισμούς και αρκετά αυστηρές προϋποθέσεις. Για τη χρησιμοποίησή των υγρών αποβλήτων στην άρδευση. Είναι επομένως προφανές ότι η ανάπτυξη της πρακτικής αυτής, δεν ευνοείται σε μητροπολιτικές περιοχές και σε περιοχές με υγρό κλίμα.

4.4.5 Απολύμανση

Θεωρείται το τελευταίο στάδιο επεξεργασίας των υγρών αποβλήτων και στοχεύει στην εξάλειψη των παθογόνων οργανισμών. Μπορεί να γίνει με φυσικά μέσα όπως είναι η έκθεσή τους στη θερμότητα ή σε υπεριώδη ακτινοβολία, καθώς επίσης και με χημικές, μηχανικές και ραδιολογικές μεθόδους. Χημικά η απολύμανση γίνεται δυνατή με τη διοχέτευση στο λύμα όζοντος, αερίου χλωρίου (Cl₂) και άλλων υποχλωριομένων ενώσεων. Η πιο διαδεδομένη μέθοδος είναι αυτή του χλωρίου, του οποίου η δράση εξαρτάται από τη συγκέντρωσή του, τη θερμοκρασία, το pH, το χρόνο επαφής και το είδος των μικροοργανισμών.

Έρευνες αναφέρουν ότι η συγκέντρωση χλωρίου στα επεξεργασμένα λύματα, τα οποία θα διατεθούν για άρδευση μετά την απολύμανση, πρέπει να είναι μικρότερη από 0,5 mg/l για την αποφυγή καψίματος των φύλλων (Bower & Idelovitch 1987). Ακόμη όταν πρόκειται για ευαίσθητες καλλιέργειες το επίπεδο του χλωρίου δεν πρέπει να ξεπερνά τα 0,05 mg/l (Asano et al. 1985), ενώ συγκεντρώσεις μικρότερες του 1 mg/l δεν εγκυμονούν κινδύνους για φυτά που αρδεύονται με καταιονισμό (Westcot & Ayers 1985).

Όμως η χρήση του χλωρίου είναι επιβλαβής τόσο για το περιβάλλον όσο και για τη δημόσια υγεία. Στην προσπάθεια λοιπόν να μειωθούν οι κίνδυνοι που εγκυμονούν από τη χλωρίωση, ο ερευνητικός κόσμος έχει στρέψει το ενδιαφέρον του σε άλλους τρόπους απολύμανσης πιο ασφαλείς.

4.4.6 Αποθήκευση

Αποτελεί ενδιάμεσο στάδιο μεταξύ της κατεργασίας των αστικών υγρών αποβλήτων και της διοχέτευσής τους για αρδευτικούς σκοπούς. Είναι πρακτική μεγάλης σημασίας γιατί εξοικονομείται αρδευτικό νερό, το οποίο μπορεί να διατεθεί σε περιόδους αιχμής όπου η ζήτηση είναι μεγάλη. Παράλληλα όσο περισσότερο διαρκεί ο χρόνος αποθήκευσης, τόσο μειώνεται το οργανικό φορτίο, τα αιωρούμενα στερεά και οι παθογόνοι μικροοργανισμοί που παραμένουν στη σύνθεσή του λύματος, βελτιώνοντας έτσι την ποιότητά του.

4.5 Χρήση των επεξεργασμένων υγρών αποβλήτων για αρδευτικούς σκοπούς

Οι επιπτώσεις των υγρών αποβλήτων στο περιβάλλον και τον άνθρωπο κάθε άλλο παρά θετικές μπορούν να χαρακτηριστούν. Η ρύπανση των ηπειρωτικών και θαλάσσιων νερών, η υποβάθμιση από πλευράς ποιότητας των υδατικών πόρων, η δημιουργία εστιών μόλυνσεως από διάφορα παθογόνα και η υποβάθμιση της ποιότητας ζωής των κοινωνιών εξαιτίας της υπερπροσφοράς αποβλήτων, αποτελούν πεδίο προβληματισμού και επιτακτική ανάγκη για ορθολογική διαχείριση και διάθεσή τους.

Διαχείριση υγρών αποβλήτων είναι κάθε ανθρώπινη επέμβαση που στοχεύει στη μείωση στο ελάχιστο της ρυπαντικής τους επίδρασης και την εξοικονόμηση πηγών νερού για διάθεση σε άλλες ανθρώπινες δραστηριότητες. Απόρροια της σωστής διαχείρισης των λυμάτων θα μπορούσε να θεωρηθεί η μείωση των εισροών (λιπάσματα) στις γεωργικές εκμεταλλεύσεις, αφού τα απόβλητα είναι πλούσια σε θρεπτικά για τα φυτά συστατικά και είναι εφικτό να χρησιμοποιηθούν για αρδευτικούς σκοπούς.

Η άρδευση γεωργικών και μη εκτάσεων καταναλώνει το μεγαλύτερο ποσοστό του διαθέσιμου νερού ιδιαίτερα στις ξηρές και ημιξηρικές περιοχές. Λαμβάνοντας αυτό υπόψη γίνεται προφανές ότι η επαναχρησιμοποίηση των επεξεργασμένων αστικών υγρών αποβλήτων για άρδευση των καλλιεργειών είναι η πιο ενδεδειγμένη πρακτική. Έτσι αποφεύγεται η υποβάθμιση των αποδεκτών νερού, επιτυγχάνεται ο εμπλουτισμός του εδάφους με θρεπτικά στοιχεία και γίνεται αποταμίευση νερού ιδιαίτερα σε περιοχές που αντιμετωπίζουν πρόβλημα βροχοπτώσεων.

Ο σχεδιασμός και προγραμματισμός της χρήσης επεξεργασμένων υγρών αποβλήτων στην άρδευση καλλιεργούμενων εκτάσεων, απαιτεί εκτός από ειδικό προσωπικό, εκτεταμένη και συστηματική συλλογή πληροφοριών για το περιεχόμενό τους, μέσω χημικών αναλύσεων. Έτσι έχοντας υπόψη τη σύσταση του λύματος, τις ιδιότητες του εδάφους και τις ιδιαιτερότητες κάθε καλλιέργειας, θα είναι εφικτή η αντιμετώπιση διαφόρων προβλημάτων που μπορεί να παρουσιαστούν είτε στο χρήστη, είτε στους αποδέκτες (φυτά, έδαφος).

Σε γενικές γραμμές είναι απαραίτητος ένας κατάλληλος προγραμματισμός δειγματοληψίας και αναλύσεων, λόγω του ότι πρέπει να παρακολουθούνται συνεχώς κάποιες μείζονος σημασίας ποιοτικές παράμετροι του λύματος όπως είναι η ηλεκτρική του αγωγιμότητα και η συγκέντρωση σε άζωτο και φώσφορο. Οι παράμετροι που είναι απαραίτητες για την αξιολόγηση της καταλληλότητας του λύματος για αρδευτική χρήση καθώς και κάποιες ενδεικτικές συγκεντρώσεις, παρατίθενται παρακάτω (Πίνακας 7).

| Παράμετροι | Συμβολισμός | Μονάδα μέτρησης | Σύνηθες εύρος συγκέντρωσης |
|------------------------|-------------------------------|------------------------------------|----------------------------|
| Φυσικές | | | |
| Ηλεκτρική αγωγιμότητα | EC _w | dS/m | 0-3 |
| Ολικά διαλυμένα στερεά | TDS | mg/l | 0-2000 |
| Θερμοκρασία | T | °C | |
| Χρώμα- Θολότητα | | NTU/JTU | |
| Σκληρότητα | | mg equiv. CaCO ₃ /lt | |
| Ιζήματα | | gr/l | |
| Χημικές | | | |
| Ασβέστιο | Ca ⁺⁺ | mg/l | 0-400 |
| | | me/l | 0-20 |
| Μαγνήσιο | Mg ⁺⁺ | mg/l | 0-60 |
| | | me/l | 0-5 |
| Νάτριο | Na ⁺ | mg/l | 0-900 |
| | | me/l | 0-40 |
| Ανθρακικά | CO ₃ ⁼ | mg/l | 0-3 |
| | | me/l | 0-0.1 |
| Όξινα ανθρακικά | HCO ₃ ⁻ | mg/l | 0-600 |
| | | me/l | 0-10 |
| Χλωριόντα | Cl ⁻ | mg/l | 0-1100 |
| | | me/l | 0-30 |
| Θειικά | SO ₄ ⁼ | mg/l | 0-1000 |
| | | me/l | 0-20 |
| Διάφορα | | | |
| Βόριο | B | mg/l | 0-2 |
| Οξύτητα/Αλκαλικότητα | PH | | 6.5-8.5 |
| Σχέση προσρόφησης Na | SAR | (me/l) ^{0.5} | 0-15 |
| Νιτρικό άζωτο | NO ₃ -N | mg/l | 0-10 |
| Φωσφορικός φώσφορος | PO ₄ -P | mg/l | 0-2 |
| Κάλιο | K | mg/l | 0-2 |

Πίνακας 7. Παράμετροι για την αξιολόγηση της ποιότητας του αρδευτικού νερού.

4.6 Ποιοτικά χαρακτηριστικά των επεξεργασμένων υγρών αποβλήτων για αρδευτικούς σκοπούς

Παραπάνω έγινε αναφορά στη σημασία που έχει η επισταμένη και ενδεδειγμένη παρακολούθηση των επεξεργασμένων υγρών αστικών αποβλήτων όσον αφορά κάποιες φυσικές και χημικές παραμέτρους με τη μέθοδο της δειγματοληψίας. Γενικά δίνεται έμφαση στις επιδράσεις που έχει το αρδευτικό νερό και ιδιαίτερα το προερχόμενο από επεξεργασμένα απόβλητα στα ποιοτικά χαρακτηριστικά του εδάφους και των καλλιεργειών. Με αφορμή τη βαρύτητα που έχουν τόσο από περιβαλλοντικής όσο και από γεωργικής άποψης, θα γίνει μία ανάλυση των σημαντικότερων παραμέτρων του αρδευτικού νερού.

4.6.1 Αλατότητα

Είναι μία από τις σημαντικότερες παραμέτρους για την εκτίμηση της καταλληλότητας ενός νερού που προορίζεται για άρδευση και αναφέρεται στην ποσότητα και το είδος των διαλυμένων αλάτων που περιέχονται σε αυτό. Η υψηλή συγκέντρωση αλάτων έχει καταστρεπτικές συνέπειες για τα φυτά, γι' αυτό για την αποφυγή ζημιών στα φυτά από τις υψηλές συγκεντρώσεις αλάτων, προτιμάται να ενισχύεται η κατακόρυφη ροή του νερού στο έδαφος. Ο ρυθμός συσσώρευσής τους εξαρτάται από ποσό και το ρυθμό απόθεσής τους στο έδαφος με το αρδευτικό νερό, καθώς επίσης και από το ρυθμό απομάκρυνσής τους από αυτό λόγω έκπλυσης.

Η έκπλυση επιτυγχάνεται όταν εφαρμόζεται περισσότερο νερό από αυτό που μπορούν να συγκρατήσουν τα φυτά και το έδαφος, με αποτέλεσμα αυτό να απορρέει στα βαθύτερα στρώματα που βρίσκονται κάτω από την περιοχή του ριζοστρώματος συμπαρασύροντας και μεγάλο ποσοστό αλάτων. Απαραίτητη προϋπόθεση για την αποφυγή της αλατότητας είναι το έδαφος να έχει καλή στράγγιση, η οποία εξαρτάται σημαντικά από το είδος και τον τύπο του εδάφους, καθώς επίσης και από τη μηχανική του σύσταση. Εδάφη ελαφρά, αμμώδη, με μεγάλο πορώδες στραγγίζουν καλύτερα από ότι τα βαριά αργιλλοπηλώδη.

Η αλατότητα εκτιμάται με τη μέτρηση της ηλεκτρικής αγωγιμότητας (EC_w) η οποία γίνεται με ειδικά όργανα τόσο στον αγρό (VERIS), όσο και το εργαστήριο. Μονάδα μέτρησης της ηλεκτρικής αγωγιμότητας είναι το dS/m . Αξίζει να σημειωθεί ότι σε εδάφη με καλή στράγγιση δεν αναμένεται να υπάρξει πρόβλημα λόγω συγκέντρωσης αλάτων σε νερά με EC_w μικρότερης από $0,7 dS/m$, ενώ καλλιέργειες ευαίσθητες στα άλατα όταν αρδεύονται με νερό που έχει EC_w μεγαλύτερη από $3 dS/m$, θα έχουν δραστικά μειωμένη παραγωγή ακόμη κι όταν οι συνθήκες διαχείρισης είναι άριστες.

Τα επεξεργασμένα υγρά αστικά απόβλητα έχουν κατά κανόνα μεγαλύτερη περιεκτικότητα σε άλατα από το καθαρό νερό που χρησιμοποιείται για άρδευση. Για το λόγο αυτό οι πιθανότητες να εμφανιστούν προβλήματα κατά τη χρήση τους στο έδαφος και την καλλιέργεια είναι ιδιαίτερα αυξημένες. Καθίσταται λοιπόν προφανής η ανάγκη να υιοθετηθούν ορθές πρακτικές και να επιλεγούν κατάλληλες μέθοδοι όσον αφορά τη διαχείριση των αποβλήτων και το γεωργικό τομέα, για την αποφυγή του κινδύνου δημιουργίας αλατούχων εδαφών από τη χρήση τους.

Στην περίπτωση εφαρμογής των υγρών αποβλήτων απαιτείται σωστός προγραμματισμός των αρδεύσεων, επιλογή κατάλληλης μεθόδου άρδευσης και συνίσταται το έδαφος στο οποίο θα γίνει η εφαρμογή να έχει καλή στράγγιση, έτσι ώστε να ελαχιστοποιηθούν τα προβλήματα που οφείλονται στην αλατότητα. Η βαθειά άρση και η καλή τοποθέτηση του σπόρου, είναι κάποιες καλλιεργητικές πρακτικές που βοηθούν επίσης στην αντιμετώπιση της συγκέντρωσης των αλάτων. Τέλος η άρδευση με υγρά απόβλητα σε εναλλαγή με φρέσκο νερό, δείχνει να έχει πολύ καλύτερα αποτελέσματα σε σχέση με την ανάμειξή τους (Grattan & Rhoades 1990, Rhoades 1992), με μόνο μειονέκτημα ότι χρειάζεται διπλό δίκτυο μεταφοράς των νερών.

4.6.2 Ταχύτητα διήθησης του αρδευτικού νερού

Ο χρόνος που απαιτείται για τη μετακίνηση του νερού μέσα στο έδαφος από τη στιγμή που θα εφαρμοστεί με άρδευση, από την επιφάνεια του εδάφους μέχρι τα κατώτερα στρώματα απορροής, εκφράζεται με την ταχύτητα διήθησης του νερού στο έδαφος. Αυτή εξαρτάται από τη μηχανική σύσταση, τον τύπο, την υφή και το πορώδες του εδάφους, καθώς επίσης από τη συγκέντρωση των αλάτων και πολλούς άλλους παράγοντες που έχουν να κάνουν με τις ιδιότητες του εδάφους και του νερού.

Τα άλατα του νατρίου που περιέχονται στο νερό άρδευσης ανάλογα με τη συγκέντρωσή τους, εκτός από τις δυσμενείς επιπτώσεις που έχουν στα φυτά, είναι δυνατό να επηρεάσουν και τη δομή του εδάφους μειώνοντας αφενός τον αερισμό του και αφετέρου το ρυθμό με τον οποίο το νερό εισδύει και μετακινείται στο έδαφος. Αυτό έχει ως αποτέλεσμα να καθίσταται προβληματικός ο αερισμός των ριζών και ο εφοδιασμός τους με επαρκή υγρασία, επιφέροντας μείωση στην ανάπτυξη και παραγωγή των φυτών.

Τα επεξεργασμένα υγρά απόβλητα είναι γενικά πλούσια σε νάτριο. Δεδομένου ότι η εφαρμογή τους γίνεται συχνά σε υποβαθμισμένα ποιοτικώς εδάφη, η πιθανώς υψηλή συγκέντρωσή τους σε Na πρέπει να λαμβάνεται σοβαρά υπόψη όταν πρόκειται να χρησιμοποιηθούν για αρδευτικούς σκοπούς. Η περιεκτικότητα των υγρών αποβλήτων σε Na εκφράζεται με την σχέση προσρόφησης νατρίου (SAR).

Αυτή αποδίδεται στη δυνατότητα του νερού να εφοδιάζει με ιόντα νατρίου την εναλλακτική φάση του εδάφους, επηρεάζοντας έτσι την ικανότητα του να διηθεί το νερό.

4.6.3 Θρεπτικά στοιχεία

Η περιεκτικότητα του λύματος σε θρεπτικά στοιχεία το καθιστά μια επιπλέον πηγή λίπανσης, (εφόσον προορίζεται για άρδευση) οδηγώντας έτσι σε σημαντική μείωση των εισροών που απαιτούνται για την ανάπτυξη μιας καλλιέργειας. Συνέπεια της μείωσης αυτής είναι η συρρίκνωση του κόστους παραγωγής. Ωστόσο όταν οι συγκεντρώσεις των θρεπτικών στοιχείων είναι μεγαλύτερες από τις ενδεδειγμένες, είναι δυνατό να προξενήσουν προβλήματα στην ανάπτυξη και την παραγωγή μιας καλλιέργειας, αφού τότε παρατηρείται τοξικότητα των στοιχείων αυτών. Τα υγρά αστικά απόβλητα από θρεπτικής άποψης περιέχουν κυρίως άζωτο, φώσφορο και σε μικρότερες ποσότητες κάλιο, ψευδάργυρο, βόριο και θείο.

Η συγκέντρωση του αζώτου στο επεξεργασμένο λύμα εξαρτάται κυρίως από την προέλευσή του, το βαθμό και το είδος της επεξεργασίας που έχει γίνει. Η άρδευση με επεξεργασμένα απόβλητα έχει ικανοποιητικά αποτελέσματα τόσο στο αρχικό, όσο και στο ενδιάμεσο στάδιο ανάπτυξης της αρδευόμενης καλλιέργειας, όσον αφορά τη διάθεση αζώτου. Κατά την περίοδο της ωρίμανσης όμως αν εφαρμοστεί σε περίσσεια, παρατηρείται υποβάθμιση της ποιότητας και ραγδαία βλαστική ανάπτυξη, χαρακτηριστικά τα οποία είναι ανεπιθύμητα.

Αν και το ολικό άζωτο που περιέχεται στα υγρά απόβλητα που έχουν υποστεί κατεργασία κυμαίνεται μεταξύ 20 και 60 mg/l, τίθεται με επιφύλαξη το ερώτημα κατά πόσο είναι εφικτό να χρησιμοποιηθεί επεξεργασμένο λύμα για άρδευση. Ο ενδιασμός αυτός έγκειται στον κίνδυνο ρύπανσης των υπογείων υδάτων, λόγω εμπλουτισμού τους με νιτρικά, τα οποία δημιουργούνται ως μέρος του κύκλου του αζώτου και έχουν βλαβερές συνέπειες για τη δημόσια υγεία.

Συμπεριλαμβανομένου και του αζώτου, οι συγκεντρώσεις των υπόλοιπων στοιχείων που περιέχονται στα υγρά απόβλητα κυρίως μετά τη δευτεροβάθμια επεξεργασία τους, είναι ικανές να διορθώσουν τυχόν ελλείψεις και τροφοπενίες, συμβάλλοντας με τον τρόπο αυτό στη μείωση της συμπληρωματικής λίπανσης για την κάλυψη των αναγκών των φυτών. Η συγκέντρωση του φωσφόρου κυμαίνεται από 6- 15 mg/l, του καλίου από 10- 30 mg/l, ενώ τόσο ο ψευδάργυρος όσο το βόριο και το θείο βρίσκονται σε ικανοποιητικά επίπεδα.

4.6.4 Παθογόνοι μικροοργανισμοί

Κατά τη διάθεση των επεξεργασμένων υγρών αστικών αποβλήτων προς άρδευση είναι πολύ σημαντικό να υπάρχει γνώση του επιπέδου στο οποίο βρίσκεται το παθογόνο φορτίο. Αυτό περιλαμβάνει μικροοργανισμούς όπως είναι οι ιοί, τα βακτήρια (E. Coli, Salmonella κ.α.), διάφορα παράσιτα και κάποιους σκώληκες που ενδημούν στον εντερικό σωλήνα του ανθρώπου, οι οποίοι εγκυμονούν κινδύνους για τη δημόσια υγεία. Οι οργανισμοί αυτοί είναι υπεύθυνοι για το μεγαλύτερο ποσοστό των μολύνσεων του εντερικού συστήματος ανθρώπων και ζώων, καθώς επίσης και για άλλες ασθένειες.

Ένας από τους κυριότερους στόχους της επεξεργασίας των λυμάτων που θα διατεθούν για άρδευση, είναι η μείωση στο ελάχιστο του φορτίου αυτού. Το παραπάνω μέτρο λαμβάνεται λόγω της έκθεσης στους μικροοργανισμούς των αγροτών και λοιπών χρηστών, που έρχονται σε επαφή άμεσα ή έμμεσα με τα επεξεργασμένα απόβλητα.

4.6.4.1 Μέτρα προστασίας από το παθογόνο φορτίο

Έχοντας ως σκοπό τη διασφάλιση της υγείας όλων των εμπλεκομένων στην επαναχρησιμοποίηση των επεξεργασμένων αστικών λυμάτων, κρίνεται αναγκαία η σωστή και βάση των κανονισμών επεξεργασία των αποβλήτων, όπως επίσης και η ελεγχόμενη εφαρμογή τους.

Με επιλογή κατάλληλης μεθόδου άρδευσης όπως είναι η άρδευση με σταγόνες (υπόγεια και υπέργεια), το λύμα μπορεί να εφαρμοστεί, περιορίζοντας κατά πολύ την άμεση επαφή του με τον χρήστη. Αρδευτικές μέθοδοι που προκαλούν τη διασπορά των αποβλήτων θεωρούνται ακατάλληλες γιατί μπορεί να μολυνθούν φυτά και παραγωγοί, ενώ γίνεται πολύ πιθανή η μεταφορά των παθογόνων μικροοργανισμών με τη βοήθεια του ανέμου.

Ακόμη χρειάζεται προσεκτικός σχεδιασμός και επίβλεψη από την πολιτεία, όσον αφορά το εύρος των καλλιεργειών που θα δύνανται να χρησιμοποιήσουν οι παραγωγοί, οι οποίοι θα αξιοποιήσουν ως επιπλέον υδατικό πόρο τα επεξεργασμένα αστικά απόβλητα. Υπό αυτές τις συνθήκες πρέπει να λαμβάνονται υπόψη εκτός των άλλων η τοξική δράση ορισμένων ιόντων που περιέχονται στο λύμα, η αντοχή της καλλιέργειας στα άλατα, η περιεκτικότητα του λύματος σε θρεπτικά στοιχεία, καθώς επίσης και προληπτικά μέτρα για την ασφάλεια των παραγωγών (ενημέρωση, εκπαίδευση).

Τέλος μείζονος σημασίας είναι η προστασία του προσωπικού που εργάζεται στις μονάδες επεξεργασίας αστικών αποβλήτων. Επειδή η επαφή τους με το λύμα είναι κατά κύριο λόγο άμεση πρέπει πρωτίστως να είναι ειδικά καταρτισμένοι, να

φοράνε προστατευτικό ρουχισμό και να σέβονται και να τηρούν με ακρίβεια τους κανόνες υγιεινής. Είναι βασικό ότι όλα τα παραπάνω χρειάζεται να είναι θεσμοθετημένα από το κράτος και να υπάρχουν εξειδικευμένοι φορείς, μέλημα των οποίων να είναι η εφαρμογή του νομοθετικού πλαισίου.

4.6.4.2 Μικροβιολογικά κριτήρια των επεξεργασμένων αστικών αποβλήτων για αρδευτικούς σκοπούς

Είναι γνωστό ότι τα επεξεργασμένα αστικά απόβλητα που προορίζονται για γεωργική χρήση ανεξάρτητα από την κατεργασία στην οποία θα υποβληθούν, δεν παύουν να εγκυμονούν κινδύνους για τη δημόσια υγεία. Στην προσπάθεια να εξαλείψουν στο ελάχιστο τους κινδύνους αυτούς, πολλές χώρες και διεθνείς οργανισμοί έχουν θεσπίσει κριτήρια και οδηγίες όσον αφορά την καταλληλότητα των προς διάθεση αποβλήτων για αρδευτικούς σκοπούς.

Επειδή όμως τα μικροβιακά είδη στα αστικά απόβλητα είναι πάρα πολλά και πρακτικά αδύνατο να μελετηθούν χωριστά, επινοήθηκαν οι λεγόμενοι μικροβιακοί δείκτες. Αυτοί συνίστανται σε ομάδες μικροβιακών ειδών με παραπλήσιες ιδιότητες και σε μεμονωμένα μικρόβια. Σκοπός των δεικτών είναι η εξερεύνηση της ύπαρξης ή μη μιας ευρύτερης ομάδας μικροβίων.

Ανάμεσα στους διεθνείς οργανισμούς ο Παγκόσμιος Οργανισμός Υγείας (W.H.O.) έχει θεσπίσει μικροβιολογικά κριτήρια για την επαναχρησιμοποίηση επεξεργασμένων αστικών λυμάτων στον αρδευτικό τομέα (Πίνακας 8). Σύμφωνα με αυτά οι καλλιέργειες χωρίζονται σε δύο κατηγορίες. Στην κατηγορία Α περιλαμβάνονται οι καλλιέργειες τα προϊόντα των οποίων καταναλώνονται νωπά (φρούτα, ωμά λαχανικά), καθώς επίσης και κοινόχρηστοι χώροι οι οποίοι έχουν άμεση και συνεχή επαφή με το κοινό (γήπεδα, πάρκα αναψυχής). Κύριους συντελεστές της Β κατηγορίας αποτελούν τα βιομηχανικά φυτά, τα δημητριακά, εδάδιμες καλλιέργειες που προορίζονται για κονσερβοποίηση, χορτοδοτικά φυτά, βοσκότοποι και κάποιες δασικές και δενδρώδεις καλλιέργειες. Επίσης και οι δύο κατηγορίες δίνουν έμφαση στην προστασία των αγροτών ως εκτεθειμένες ομάδες, με τη διαφορά ότι στην κατηγορία Α ως άμεσα εκτεθειμένοι εντάσσονται και οι καταναλωτές.

| Κατηγορία | Συνθήκες επαναχρησιμοποίησης | Εκτιθέμενη ομάδα | Εντερικοί νηματώδεις σκώληκες (Μ.Ο. αριθμού αυγών / lt) | Κολοβακτηρίδια εντερικής προέλευσης (γεωμετρικός Μ.Ο. ανά 100 ml) | Επεξεργασία των αστικών αποβλήτων που αναμένεται να δώσει την επιθυμητή μικροβιολογική ποιότητα |
|-----------|--|-----------------------------|---|---|---|
| A | Άρδευση καλλιεργειών που καταναλώνονται νωπές, γηπέδων, πάρκων αναμυχής. | Αγρότες, καταναλωτές, κοινό | ≤ 1 | ≤ 1000 | Σειρά δεξαμενών σταθεροποίησης για να πετύχουν την επιθυμητή μικροβιολογική ποιότητα. |
| B | Άρδευση δημητριακών, βιομ. φυτών, βοσκών, δέντρων . | Αγρότες | ≤ 1 | Δεν τίθεται όριο | Παραμονή σε δεξαμενές σταθεροποίησης για 8-10 μέρες ή ισοδύναμη απομάκρυνση παρασίτων και κολοβακτηριδίων εντερικής προέλευσης. |
| Γ | Τοπική άρδευση καλλιεργειών της Β κατηγορίας, όταν δεν εκτίθενται αγρότες και κοινό. | Καμία | Δεν τίθεται όριο | Δεν τίθεται όριο | Προεπεξεργασία όπως απαιτείται από το σύστημα άρδευσης, αλλά όχι λιγότερο από πρωτοβάθμια καθίζηση. |

Πίνακας 8. Συνιστώμενα κριτήρια χρήσης επεξεργασμένων υγρών αστικών αποβλήτων σύμφωνα με τον W.H.O. (World Health Organisation).

4.7 Προβλήματα που παρουσιάζονται κατά την άρδευση με αστικά απόβλητα

Τα κυριότερα προβλήματα που απορρέουν από την εφαρμογή των επεξεργασμένων αστικών αποβλήτων στην άρδευση, έχουν να κάνουν κατά κύριο λόγο με το PH και την υψηλή συγκέντρωση ιόντων χλωρίου του αρδευτικού μέσου, καθώς επίσης και με κάποια προβλήματα στα εκάστοτε συστήματα άρδευσης που χρησιμοποιούνται, λόγω αποφράξεων.

Το αρδευτικό νερό θεωρείται κατάλληλο όταν η τιμή του PH του κυμαίνεται μεταξύ 6,5 και 8,5. Σε περίπτωση που η τιμή είναι έξω από τα όρια αυτά, το νερό θεωρείται υποβαθμισμένης ποιότητας με ενδεχόμενη την παρουσία τοξικών ιόντων. Το επεξεργασμένο λύμα όταν έχει υποστεί απολύμανση είναι δυνατό να περιέχει υψηλά επίπεδα χλωρίου. Όταν τα επίπεδα αυτά είναι μεγαλύτερα από 5 mg/l, μπορεί να προκληθούν σοβαρές ζημιές στα φυτά, ενώ σε τιμές μικρότερες του 1 mg/l η καλλιέργεια δεν επηρεάζεται (Pettygrove & Asano, 1988). Τέλος η ανάπτυξη διαφόρων μικροοργανισμών στις εξόδους των ακροφυσίων όταν πρόκειται για στάγδην άρδευση ή και στους αγωγούς του αρδευτικού συστήματος, προκαλεί εμφράξεις (Meyer 1985, Nakayama & Bucks 1985, Padmakumari & Sivanappan 1985). Παρόμοιο αποτέλεσμα προκαλούν ακόμη οι μεγάλες συγκεντρώσεις αιωρούμενων στερεών (Bucks et al., 1982) και φυκών (English, 1985) που πιθανό να περιέχονται στα υγρά απόβλητα.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ ΠΕΜΠΤΟ

Μέθοδοι άρδευσης με επεξεργασμένα υγρά αστικά απόβλητα

5.1 Γενικά

Η άρδευση αποτελεί έναν από τους κυριότερους παράγοντες που επηρεάζουν την ανάπτυξη και σε τελικό στάδιο την παραγωγή μιας καλλιέργειας. Από πολύ νωρίς διαπιστώθηκε η τεράστια σημασία και συμβολή της στην προσπάθεια του ανθρώπου να εντατικοποιήσει την αγροτική παραγωγή για την κάλυψη των αναγκών του. Τα πρώτα αρδευτικά δίκτυα ξεκινούν από την εποχή των αρχαίων Αιγυπτίων, οι οποίοι θέλοντας να εκμεταλλευτούν τον όγκο νερού του ποταμού Νείλου τις εποχές του έτους που δεν πλημμύριζε, ανέπτυξαν αρδευτικό σύστημα με αυλάκια.

Από τότε μέχρι και τις μέρες μας έχουν επινοηθεί αρκετές νέες και πρωτοποριακές μέθοδοι εφαρμογής του αρδευτικού νερού στο έδαφος, οι οποίες αποσκοπούν στην επίτευξη μεγαλύτερης αποτελεσματικότητας στην παραγωγή και μικρότερου οικονομικού κόστους. Όσον αφορά το πια αρδευτική μέθοδος είναι κατάλληλη να χρησιμοποιηθεί σε κάθε περίπτωση, αυτό εξαρτάται από τις εδαφικές και κλιματικές συνθήκες της περιοχής, το είδος της καλλιέργειας, την ποιότητα του νερού, την τοπογραφία του εδάφους και άλλες παραμέτρους. Οι μέθοδοι άρδευσης διακρίνονται ανάλογα με τον τρόπο εφαρμογής του νερού σε επιφανειακές (κατάκλυση, λωρίδες, αυλάκια), καταιονισμό (τεχνητή βροχή) και τοπικές στις οποίες περιλαμβάνονται η υπέργεια και υπόγεια στάγδην άρδευση (Παπαζαφειρίου, 1984, Σακελλαρίου, 2003).

Μία αρδευτική εφαρμογή για να είναι όσο το δυνατόν περισσότερο επιτυχής και να ανταποκρίνεται στις απαιτήσεις του εκάστοτε παραγωγού όσον αφορά την παραγωγή, θα πρέπει να εφοδιάζει την καλλιέργεια με τόσο νερό ώστε η υγρασία στη ζώνη των ριζών να είναι ίση με την ωφέλιμη για τα φυτά υγρασία. Είναι σημαντικό η υγρασία στο έδαφος μετά την άρδευση να είναι ίση ή να προσεγγίζει την υδατοϊκανότητα του εδάφους. Ακόμη είναι αναγκαίο η κατανομή του νερού να είναι ομοιόμορφη σε όλη την έκταση της καλλιέργειας και οι επιφανειακές απώλειες λόγω διήθησης να περιοριστούν στο ελάχιστο.

5.2 Επιλογή μεθόδου άρδευσης

Σε προηγούμενο κεφάλαιο αναφέρθηκε ότι η χρήση επεξεργασμένων υγρών αστικών αποβλήτων για αρδευτικούς σκοπούς, αποτελεί μια ενδεδειγμένη πρακτική όσον αφορά τόσο τη διαχείριση και διάθεσή τους, όσο και την εξοικονόμηση υδατικών πόρων και καθίσταται αναγκαία σύμφωνα με τις απαιτήσεις των καιρών. Λόγω των επιβλαβών επιπτώσεων που μπορεί να έχει η χρήση τους στη γεωργία, ο τρόπος εφαρμογής των υγρών αποβλήτων στον αγρό αποκτά ακόμη μεγαλύτερη σημασία, γιατί όσο μικρότερος είναι ο βαθμός απόδοσης του συστήματος, τόσο μεγαλύτερες είναι οι πιθανότητες ρύπανσης του εδάφους και των υδατικών πηγών.

Όταν χρησιμοποιείται αστικό λύμα, καθοριστικό ρόλο για την επιλογή μεθόδου άρδευσης παίζει η δυνατότητα της μεθόδου να μειώνει στο ελάχιστο τους κινδύνους που σχετίζονται με την άμεση ή έμμεση επαφή του ανθρώπου με τα απόβλητα. Έτσι σε συνδυασμό με το είδος της καλλιέργειας, το βαθμό επεξεργασίας και την αμεσότητα της έκθεσης του ανθρώπινου παράγοντα στο λύμα, η επιλογή της κατάλληλης αρδευτικής μεθόδου αποτελεί ένα σύστημα αλληλεπίδρασης αφού κάθε παράμετρος καθορίζει τη λειτουργία των υπολοίπων. Σε περίπτωση που ο βαθμός επεξεργασίας είναι δεδομένος το εύρος επιλογής κατάλληλου συστήματος άρδευσης είναι περιορισμένο.

Ευθύς αμέσως θα γίνει παράθεση των κυριότερων μεθόδων και θα διερευνηθεί η καταλληλότητά τους όσον αφορά την προστασία της δημόσιας υγείας από την επαναχρησιμοποίηση των επεξεργασμένων υγρών αστικών αποβλήτων στην άρδευση καλλιεργειών.

5.2.1 Άρδευση με κατάκλυση ή λωρίδες

Είναι μέθοδος κατά την εφαρμογή της οποίας υπάρχει πλήρης κάλυψη του εδάφους από το αρδευτικό νερό. Όταν το επεξεργασμένο λύμα αποτελεί το αρδευτικό μέσο, υπάρχει μεγάλος κίνδυνος να διαβραχεί τμήμα των φυτών όπως τα χαμηλά φύλλα και ο βλαστός με συνέπεια τη μόλυνσή τους. Με τη τεχνική αυτή αυξάνονται επίσης οι πιθανότητες επαφής των χειριστών του αρδευτικού συστήματος και σε περίπτωση που το αγροτικό προϊόν προορίζεται για νωπή κατανάλωση γίνεται επικίνδυνο και ανασφαλές.

5.2.2 Άρδευση με αυλάκια

Η εφαρμογή με τον τρόπο αυτόν πλεονεκτεί έναντι της προηγούμενης γιατί δεν διαβρέχεται ολόκληρη η επιφάνεια του εδάφους, με αποτέλεσμα να μειώνεται ο κίνδυνος μόλυνσης της καλλιέργειας λόγω του ότι τα φυτά αναπτύσσονται στον αυχένα των αυλακιών. Άρδευοντας με αυλάκια ο κίνδυνος μόλυνσης των παραγωγών κυμαίνεται από μέσο ως υψηλό ανάλογα με το βαθμό αυτοματισμού του συστήματος, γεγονός που αποτελεί μειονέκτημα στη χρήση της μεθόδου με επεξεργασμένα απόβλητα. Αυτό μπορεί να διορθωθεί όταν τα απόβλητα μεταφέρονται με σωλήνες και διανέμονται σε κάθε αυλάκι χωριστά (Πανώρας κ.α., 1998α, β, 1999α, β), αλλά θα έχει ως συνέπεια την αύξηση του κόστους.

5.2.3 Άρδευση με καταιονισμό

Θεωρείται η πιο αποδοτική μέθοδος άρδευσης όταν το δίκτυο έχει σχεδιαστεί σωστά και ο βαθμός απόδοσής του είναι υψηλός. Στην περίπτωση που χρησιμοποιούνται επεξεργασμένα απόβλητα, είναι αυξημένος ο κίνδυνος μόλυνσης τόσο της καλλιέργειας όσο και των παραγωγών. Ακόμη με τον καταιονισμό οι παθογόνοι μικροοργανισμοί που περιέχονται στο προς άρδευση λύμα, έχουν μεγάλες πιθανότητες να διασπαρθούν σε κοντινές κατοικημένες περιοχές με τη βοήθεια του ανέμου. Αυτό θα έχει ως αποτέλεσμα να δημιουργηθούν άμεσοι κίνδυνοι για την υγεία των κατοίκων.

Τα συστήματα καταιονισμού επηρεάζονται περισσότερο σε σχέση με τα επιφανειακά από την ποιότητα του νερού. Η περιεκτικότητα του νερού σε άλατα όταν είναι μεγάλη, πράγμα το οποίο συμβαίνει όταν χρησιμοποιείται λύμα προκαλεί εμφράξεις στα ακροφύσια των εκτοξευτήρων και συσσώρευση ιζημάτων στους αγωγούς, τις βάνες και γενικότερα στο σύστημα διανομής. Επιπλέον τα επιβαρυνόμενα με άλατα επεξεργασμένα απόβλητα κατά τη χρήση τους είναι δυνατό να είναι υπαίτιοι ζημιών στα φύλλα και φαινομένων τοξικότητας. Κατά τη διάρκεια της εφαρμογής του λύματος είναι επίσης δύσκολη η επέμβαση του παραγωγού στους εκτοξευτήρες γιατί θα έρθει σε εντελώς άμεση επαφή με αυτό, γεγονός που μπορεί να έχει αρνητικές επιπτώσεις στην υγεία του.

Σε γενικές γραμμές όμως τα υγρά απόβλητα που έχουν υποστεί δευτερογενή επεξεργασία θεωρούνται κατάλληλα για διανομή με τη μέθοδο του καταιονισμού, αρκεί να μην έχουν υψηλές συγκεντρώσεις αλάτων και το είδος της καλλιέργειας στο οποίο εφαρμόζονται να μην προορίζεται για νωπή κατανάλωση. Όσον αφορά το σύστημα άρδευσης, υιοθετούνται προληπτικά μέτρα όπως είναι η τοποθέτηση φίλτρων χαλκού ή σίτας και η αύξηση της διαμέτρου των ακροφυσίων.

5.2.4 Μέθοδοι τοπικής άρδευσης (στάγδην άρδευση)

Είναι τεχνικές άρδευσης που χαρακτηρίζονται από υψηλό κόστος εγκατάστασης, το οποίο όμως αντισταθμίζεται λόγω της υψηλής αποδοτικότητας που έχουν στην εφαρμογή του νερού και της δυνατότητας που παρέχουν για ομοιόμορφη διανομή και εξοικονόμησή του. Με την στάγδην άρδευση δίνεται επιπλέον η δυνατότητα στον παραγωγό εφόσον το επιθυμεί να εφαρμόσει στην καλλιέργεια και δόσεις λίπανσης (υδρολίπανση).

Όσον αφορά τη χρήση επεξεργασμένων αποβλήτων για άρδευση, οι τοπικές μέθοδοι θεωρούνται ιδανικές επειδή: α) αποτελούν κλειστά συστήματα και δεν εκθέτουν σε κίνδυνο τους παραγωγούς, β) δεν προκαλούν διασπορά των παθογόνων μικροοργανισμών με τον άνεμο, γ) δεν δημιουργούν απώλειες απορροής προς γειτονικές περιοχές και δ) ελαχιστοποιούν τον κίνδυνο ρύπανσης των υπογείων νερών λόγω βαθειάς διήθησης των αποβλήτων, σε αντίθεση με τις προηγούμενες μεθόδους.

Πρέπει όμως να τονιστεί ότι όταν χρησιμοποιείται λύμα που έχει υποστεί δευτεροβάθμια επεξεργασία, η ύπαρξη σε αυτό αιωρούμενων στερεών σωματιδίων καθώς και η ανάπτυξη διαφόρων μικροοργανισμών προκαλούν στο σύστημα εμφράξεις. Αυτό αντιμετωπίζεται επαρκώς με τη χρήση φίλτρων χαλκού και συχνό καθαρίσμα με άφθονο νερό (Papadopoulos & Stylianos, 1988). Μία ακόμη πρακτική για την αποφυγή των εμφράξεων είναι η έγχυση χλωρίου στο σύστημα ή η χρήση αποβλήτων που έχουν υποστεί επεξεργασία με χλώριο για την αποφυγή ανάπτυξης μικροοργανισμών και φυκών.

Τέλος επειδή η περιεκτικότητα των υγρών αποβλήτων σε ασβέστιο (Ca) είναι κατά κανόνα μεγάλη είναι αναγκαίο να υπολογίζεται ο δείκτης LSI (Nakayama & Bucks, 1985, Πανώρας κ.α., 1992). Αυτός εκφράζει τον πιθανό κίνδυνο έμφραξης των σταλακτήρων από την καθίζηση του ασβεστίου.

5.3 Υπόγεια στάγδην άρδευση

5.3.1 Γενικά

Ανήκει στην κατηγορία εκείνη των αρδευτικών μεθόδων που ονομάζονται τοπικές, λόγω του ότι το νερό χορηγείται απευθείας στη ζώνη του εδάφους όπου υπάρχει η μεγαλύτερη δραστηριότητα από πλευράς των ριζών και όχι σε όλη την έκταση που καταλαμβάνει η καλλιέργεια.

Αποτελεί την πλέον σύγχρονη και αποδοτική μέθοδο αφού εφαρμόζονται μικρές ποσότητες νερού μέσα στο έδαφος και στο σημείο εκείνο που το φυτό μπορεί να κάνει την καλύτερη δυνατή εκμετάλλευσή του. Αυτό επιτυγχάνεται με τη βοήθεια

ειδικών σταλκτάρων, οι οποίοι βρίσκονται κατά μήκος πλαστικών αγωγών επί της γραμμής των φυτών. Η πρακτική αυτή αποδίδει υψηλή παραγωγικότητα της καλλιέργειας με τη μικρότερη δυνατή κατανάλωση νερού και μάλιστα χωρίς να υπάρχουν προβλήματα λόγω έκπλυσης ή απορροής (Sakellariou- Makrantonaki et al., 2001, 2002, 2003).

Από ιστορικής άποψης οι πρώτοι που χρησιμοποίησαν με την ευρύτερη έννοια τις ευεργετικές επιδράσεις της άρδευσης με μικρές παροχές ήταν κάποιοι παραγωγόι στη Γερμανία το 1860. Συγκεκριμένα χρησιμοποιούσαν για άρδευση ένα σύστημα πηλοσωλήνων με ανοικτούς αρμούς, το οποίο τους εξυπηρετούσε ταυτόχρονα και για στραγγιστικούς σκοπούς (Σακελλαρίου 2003). Η στάγδην άρδευση εφαρμόστηκε αρχικά σε καλλιέργειες λαχανικών, οπωρώνες και αμπέλια, αλλά στις μέρες μας η χρήση της έχει επεκταθεί στις περισσότερες των γραμμικών καλλιεργειών (Τερζίδης & Παπαζαφειρίου, 1997).

Η υπόγεια στάγδην άρδευση άρχισε να παίρνει σάρκα και οστά όταν το 1930 ένας Ισραηλινός μηχανικός, ο Symch Blas παρατήρησε δίπλα σε μια κάνουλα που είχε διαρροή ότι η ανάπτυξη των φυτών ήταν μεγαλύτερη. Την παρατήρηση αυτή έφερε προς βελτίωση τόσο ο ίδιος όσο και άλλες κατασκευαστικές εταιρίες και ειδικά μετά την εμφάνιση των πλαστικών σωλήνων (PE, PVC), το κόστος μειώθηκε σημαντικά και η νέα αυτή μέθοδος αναπτύχθηκε και έγινε πιο προσιτή στο ευρύ κοινό.

Η τεχνική αυτή έτυχε ευρείας αποδοχής ιδιαίτερα στη Μεγάλη Βρετανία και στις Η.Π.Α. όπου χρησιμοποιήθηκε για την καλλιέργεια οπωροφόρων, λαχανικών, βαμβακιού και αμπέλου, κυρίως σε περιοχές που διαθέτουν περιορισμένο αρδευτικό νερό με μεγάλη επιτυχία (Phene et al., 1992). Επίσης πειράματα που έχουν γίνει σε πολλές χώρες δείχνουν την υπεροχή της υπόγεια στάγδην άρδευσης έναντι των λοιπών μεθόδων, όσον αφορά την απόδοση των καλλιεργειών, την εξοικονόμηση νερού και ενέργειας και την αξιοποίηση του νερού από τα φυτά.

Εργασία που έγινε στα νησιά Χαβάη των Η.Π.Α., έδειξε ότι η κατανάλωση ενέργειας σε αντλία που χρησιμοποιήθηκε για την παροχή νερού με τη μέθοδο της υπόγεια στάγδην άρδευσης, μειώθηκε 30- 90% σε σχέση με αυτή που απαιτείται για άρδευση με καταιονισμό σε αντίστοιχη καλλιεργούμενη έκταση (I Pai Wu, 1994). Ο Ruskin (2000) αναφέρει επίσης ότι, σε εδάφη μέσης και βαριάς υφής η κίνηση του νερού οφείλεται κατά κύριο λόγο στις τριχοειδείς δυνάμεις. Αυτό έχει ως αποτέλεσμα το νερό μέσω της μεθόδου αυτής να μπορεί να εφαρμόζεται σε μικρά ποσά και με μεγάλη συχνότητα.

Ο Solomon, (1993) αναφέρεται στο πλεονέκτημα της υπόγεια στάγδην άρδευσης στον τομέα της λίπανσης, αφού σύμφωνα με τη μελέτη τα λιπάσματα που διοχετεύονται στο φυτό κατά τη διάρκεια της άρδευσης μέσα από το σύστημα, διοχετεύονται απευθείας στο ριζόστρωμα των φυτών. Ακόμη κατά την εφαρμογή της υπόγεια στάγδην άρδευσης τα πρώτα 15- 20cm από την επιφάνεια του εδάφους

περιέχουν λιγότερη υγρασία όταν οι σταλάκτες βρίσκονται σε βάθος 45cm, με συνέπεια να περιορίζεται η εξάτμιση του νερού από το έδαφος (Phene et al., 1992).

Σε καλλιέργεια τομάτας η εφαρμογή της τεχνικής αυτής έδειξε αύξηση του όγκου παραγωγής. Έτσι σε συνδυασμό με τη μείωση του κόστους των παραδοσιακών καλλιεργητικών και ενεργειακών δαπανών που απορρέουν από την χρήση της υπόγειας άρδευσης, υπήρξε αύξηση του εισοδήματος σε σύγκριση με τον καταιονισμό ως αρδευτική πρακτική (Hanson et al., 2004).

Οι Zoldoske et al. (1998) συμπεραίνουν ότι η παραγωγή σε καλλιέργεια αμπέλου με τη μέθοδο της υπόγειας στάγδην άρδευσης είναι κατά πολύ μεγαλύτερη συγκριτικά με την εφαρμογή στην ίδια καλλιέργεια επιφανειακής άρδευσης με σταγόνες. Αξίζει να σημειωθεί μάλιστα, ότι η βελτίωση όσον αφορά την παραγωγή επιτεύχθηκε με μειωμένες δόσεις αρδευτικού νερού σε ποσοστό 20% της ημερήσιας εξατμισοδιαπνοής. Οι ίδιοι ερευνητές (Zoldoske et al., 1995) έδειξαν επίσης τις ευεργετικές επιδράσεις και τα σημαντικά οφέλη που είχε η χρήση της υπόγειας εφαρμογής με σταγόνες στην άρδευση του χλοοτάπητα.

Ανάλογα αποτελέσματα είχαν έρευνες που διεξήχθησαν και στο Ισραήλ, το οποίο είναι μια χώρα που βοήθησε σημαντικά στην ανάπτυξη και βελτίωση της μεθόδου αυτής. Οι Shani κ.α. (1996) απέδειξαν ότι η υδραυλική αγωγιμότητα του εδάφους, έχει σημαντική επίδραση στην παροχή κάθε σταλάκτη. Θεαματική επιτυχία είχε επίσης η εφαρμογή της μεθόδου σε υποβαθμισμένα εδάφη λόγω αλατότητας, όπως συνήθως συμβαίνει σε άγονες περιοχές. Εκεί όπου οι θερμοκρασίες είναι υψηλές, τα εδάφη αμμώδη και η σχετική πίεση μικρή, η ανάπτυξη των καλλιεργειών παρουσίασε μεγάλη βελτίωση με τη χρήση της υπόγειας στάγδην άρδευσης.

Στον ελλαδικό χώρο σε πειράματα που έγιναν σε ζαχαρότευτλα, διαπιστώθηκε ότι η εδαφική υγρασία αυξάνει μετά το βάθος των 30cm και ότι εφαρμόζοντας το 80% της δόσης άρδευσης είναι δυνατό να επιτευχθεί εξοικονόμηση νερού, χωρίς να υπάρχει μείωση της παραγωγής (Σακελλαρίου, 2000, 2001, 2002). Ακόμη σε μελέτη άρδευσης καλλιέργειας ινώδους σόργου με επιφανειακή και υπόγεια στάγδην άρδευση, διαπιστώθηκε η υπεροχή της υπόγειας έναντι της επιφανειακής με μεγαλύτερους ρυθμούς αύξησης και σημαντικά μεγαλύτερη απόδοση σε ξηρή βιομάζα (Σακελλαρίου κ.α., 2003).

5.3.2 Περιγραφή ενός συστήματος υπόγειας άρδευσης

Τα συστήματα άρδευσης με σταγόνες υπόγεια και επιφανειακά αποτελούνται από τρία σκέλη που συνίστανται στην μονάδα ελέγχου ή κεφαλή, τα δίκτυα μεταφοράς και στα δίκτυα εφαρμογής του αρδευτικού νερού. Οι διαφορές που εντοπίζονται μεταξύ τους έγκειται στο συστηματικότερο καθαρισμό αυτών της υπόγειας με καθαρό νερό, την τοποθέτηση κάποιων βαλβίδων εκτόνωσης στα

υψηλότερα υψομετρικά σημεία του συστήματος και στη χρήση λίπανσης της καλλιέργειας σε περίπτωση όπου το έδαφος στο ύψος των ριζών παρουσιάζει προβλήματα θρέψης (Phene et al., 1995). Ακόμη απαιτείται η χρήση ριζοαπωθητικών ουσιών για την αποφυγή εμφράξεων και καταστροφής του δικτύου, λόγω της πλευρικής κυρίως αύξησης του ριζικού συστήματος των φυτών.

Μία μονάδα ελέγχου ή κεφαλή αποτελείται από ένα υδρόμετρο, το οποίο καταγράφει τις ποσότητες του αρδευτικού νερού που χρησιμοποιείται. Επίσης περιέχει μηχανισμούς (υδροκυκλώνας) και σύστημα φίλτρων για τον καθαρισμό του νερού από ανεπιθύμητα υλικά, αφού η μονάδα ελέγχου συνδέεται άμεσα με την υδροληψία και αποτελεί την είσοδο για το αρδευτικό μέσο στο σύστημα. Σε περίπτωση που ο παραγωγός θέλει να εφαρμόσει λίπανση ή φυτοπροστατευτικά σκευάσματα μέσω του συστήματος (Σακελλαρίου κ.α., 2003), η κεφαλή είναι δυνατό να περιέχει δοχείο λίπανσης. Η φυτοπροστασία εφαρμόζεται συνήθως από το ίδιο δοχείο. Επιπλέον το όλο σύστημα μπορεί να αυτοματοποιηθεί με την προσθήκη στη μονάδα ελέγχου ενός προγραμματιστή (π.χ. Miracle DC).

Το δίκτυο μεταφοράς αποτελείται από σύστημα κύριων και δευτερευόντων αγωγών οι οποίοι είναι πλαστικοί (πολυαιθυλένιο, PVC) ή από γαλβανισμένο ατσάλι. Ο ρόλος των κύριων αγωγών είναι η μεταφορά του νερού από την υδροληψία στους δευτερεύοντες, οι οποίοι με τη σειρά τους το διοχετεύουν στο δίκτυο εφαρμογής. Αυτό συνίσταται από μικρότερης εσωτερικής διαμέτρου (12-32mm) αγωγούς από πολυαιθυλένιο ή εύκαμπτο PVC, με σκοπό την κυκλοφορία του αρδευτικού μέσου από τους δευτερεύοντες στους σταλάκτες.

Οι σταλάκτες το κόστος των οποίων αποτελεί το 1/3 του συνολικού (Σακελλαρίου κ.α., 2003), κατασκευάζονται από πολυπροπυλένιο ή άλλο σκληρό πλαστικό και διοχετεύουν το νερό στο έδαφος υπό μορφή σταγόνας. Η παροχή τους κυμαίνεται από 1- 10 lt/h σε πίεση 0,2- 2 Atm. Στο εμπόριο μπορεί κάποιος να συναντήσει διάφορους τύπους σταλακτών με ποικίλα χαρακτηριστικά. Οι περισσότερο διαδεδομένοι είναι οι αυτορρυθμιζόμενοι οι οποίοι είναι κατά κανόνα και αυτοκαθαριζόμενοι.

5.3.3 Πλεονεκτήματα της υπόγειας στάγδην άρδευσης

Η υπόγεια στάγδην άρδευση είναι μια επαναστατική και σχετικά νέα μέθοδος, η οποία έχει σημαντικές ωφέλειες τόσο στο γεωργικό τομέα, όσο και από περιβαλλοντικής άποψης. Τόσο τα πειραματικά στοιχεία όσο και η ευρεία χρήση της σε πολλές ανά τον κόσμο χώρες αποδεικνύουν ότι είναι μια πρακτική με πολλά πλεονεκτήματα, ιδιαίτερα σε περιοχές ξηρές και ημιξηρικές που αντιμετωπίζουν προβλήματα με τη διαχείριση του αρδευτικού νερού λόγω έλλειψης πόρων. Με αφορμή λοιπόν τα παραπάνω γίνεται μια παράθεση των πλεονεκτημάτων που

απορρέουν από την επιλογή της ως αρδευτικής μεθόδου.

- 1) Γίνεται πιο αποτελεσματική χρήση του νερού σε σχέση με τις άλλες μεθόδους, αφού αυτό εφαρμόζεται σε μικρότερες ποσότητες και με μεγαλύτερη συχνότητα.
- 2) Μειώνονται οι υδατικές απώλειες λόγω εξάτμισης του από το έδαφος και διαπνοής του από την καλλιέργεια, λόγω του ότι χορηγείται στα φυτά το απαιτούμενο για τις ανάγκες τους νερό και όχι επιφανειακά. Παράλληλα μειώνεται η διαπνοή του από παρακείμενα ζιζάνια, γιατί η υγρή ζώνη του εδάφους περιορίζεται κατά μήκος του αγωγού εφαρμογής και όχι σε όλη την έκταση του αγροτεμαχίου.
- 3) Το σύστημα της υπόγειας άρδευσης έχει ευρεία χρήση σε όλους τους τύπους εδαφών.
- 4) Μπορεί να εφαρμοστεί επιτυχώς και ειδικότερα σε αγροτεμάχια όπου το ανάγλυφο τους παρουσιάζει περίεργους σχηματισμούς ή η τοπογραφία της περιοχής είναι προβληματική, χωρίς να χρειάζονται διάφορες χωματουργικές επεμβάσεις όπως είναι η ισοπέδωση.
- 5) Η αρνητική πίεση του νερού στο έδαφος παραμένει σε χαμηλά επίπεδα, διευκολύνοντας έτσι την πρόσληψη του από τα φυτά. Οι άριστες τιμές για την αρνητική πίεση κυμαίνονται μεταξύ 0 και 3 Atm, στις οποίες η διαθέσιμη για την καλλιέργεια εδαφική υγρασία προσεγγίζει την υδατοϊκανότητα του εδάφους.
- 6) Ρυθμίζοντας την εδαφική υγρασία στο επίπεδο της υδατοϊκανότητας, πράγμα το οποίο επιτυγχάνεται με την υπόγεια στάγδην άρδευση, τα φυτά αναπτύσσονται σε ένα ιδανικό περιβάλλον από πλευράς υγρασίας χωρίς να υποστούν υδατικό στρες.
- 7) Επιτυγχάνονται υψηλές αποδόσεις και αύξηση του όγκου παραγωγής, πράγμα το οποίο είναι και το ζητούμενο στις γεωργικές εκμεταλλεύσεις.
- 8) Επιτυγχάνεται ομοιόμορφη κατανομή του νερού στην καλλιέργεια.
- 9) Λόγω ομοιόμορφης κατανομής του νερού, ευνοείται η ομοιόμορφη ανάπτυξη της καλλιέργειας με αποτέλεσμα αυτή να ωριμάζει νωρίτερα. Η πρόωμη συγκομιδή σε συνδυασμό με τις υψηλές αποδόσεις που πετυχαίνονται, δίνουν ένα ικανοποιητικό εισόδημα στον παραγωγό και συγκριτικά καλύτερο από τις άλλες μεθόδους που μπορεί να εφαρμοστούν για την ίδια καλλιέργεια.
- 10) Λόγω της μείωσης των υδατικών απωλειών από τη διήθηση και την επιφανειακή απορροή, καθώς επίσης από την εξάτμιση και τη διαπνοή, εξοικονομείται περισσότερο νερό το οποίο μπορεί να χρησιμοποιηθεί για άλλους κοινωφελείς σκοπούς. Αυτό συμβάλλει στην προστασία των υδατικών πόρων και αποτελεί μία ορθή περιβαλλοντική πρακτική.
- 11) Μειώνεται το κόστος άντλησης νερού και συνεπώς η κατανάλωση ενέργειας (I Pai Wu, 1994).
- 12) Η εγκατάστασή του είναι μόνιμη, με αποτέλεσμα να μειώνεται η χειρονακτική εργασία η οποία στις αναπτυγμένες χώρες έχει μεγάλο κόστος.
- 13) Πλεονεκτεί στις περιοχές όπου το αρδευτικό νερό βρίσκεται σε έλλειψη ή έχει πολύ ακριβό κόστος, λόγω του ότι με τη μέθοδο αυτή εφαρμόζονται συγκεκριμένες

ποσότητες νερού (Σακελλαρίου, 2003).

14) Προσφέρει τη δυνατότητα λίπανσης μέσω του συστήματος, μειώνοντας έτσι το κόστος των εισροών, ενώ παράλληλα με τη μείωση της χρήσης των λιπασμάτων αποφεύγεται και η μόλυνση των υπογείων νερών με νιτρικά λόγω έκπλυσης.

15) Η εφαρμογή των θρεπτικών συστατικών γίνεται με μεγαλύτερη ακρίβεια όσον αφορά το πεδίο και τη χορηγούμενη ποσότητα, επειδή γίνεται απευθείας στη ζώνη διαβροχής. Αυτό έχει ως αποτέλεσμα την καλύτερη και πιο άμεση αφομοίωσή τους από τα φυτά (Σακελλαρίου, 2003).

16) Καθιστά δυνατή τη χρήση επανεπεξεργασμένων υγρών αστικών αποβλήτων για άρδευση (Σακελλαρίου, 2003, 2004), γιατί μειώνει την ανθρώπινη επαφή με αυτά. Επίσης δεν υπάρχει ανάγκη για τριτοβάθμια επεξεργασία γιατί τα νερά αυτά που περιέχουν ποσότητες αζώτου και φωσφόρου, μπορούν να χρησιμοποιηθούν ως λιπαντικό μέσο.

17) Υπάρχει η δυνατότητα να χρησιμοποιηθεί νερό υποβαθμισμένης ποιότητας.

18) Με την εφαρμογή της αποφεύγεται η διαβροχή του φυλλώματος των φυτών, η οποία είναι παράγοντας δημιουργίας πολλών μυκητολογικών ασθενειών.

19) Επιτυγχάνεται μεγαλύτερη ανάπτυξη των ριζών και αύξηση τους προς τα βαθύτερα στρώματα. Αυτό έχει ως συνέπεια τη καλύτερη εκμετάλλευση του εδάφους και έμμεσα τη σημαντική αύξηση της φωτοσυνθετικής ικανότητας των φυτών.

20) Με την εφαρμογή μικρών ποσοτήτων νερού, αποφεύγεται η συσσώρευση του στο ριζόστρωμα, με αποτέλεσμα τον καλύτερο αερισμό των ριζών και την επάρκεια του εδάφους σε οξυγόνο που συμβάλλουν στην καλύτερη ανάπτυξη των φυτών.

21) Τα περισσότερα τμήματα ενός συστήματος υπόγειας άρδευσης είναι πλαστικά και εγκαθίστανται υπόγεια, οπότε έχουν μεγαλύτερη διάρκεια ζωής και είναι πιο ανθεκτικά στη διάβρωση. Ακόμη το σύστημα αυτό δεν απαιτεί επανεγκατάσταση ούτε απομάκρυνσή του με αποτέλεσμα τη διασφάλιση της ακεραιότητας της καλλιέργειας, και τη παροχή της δυνατότητας στον παραγωγό να κάνει διπλοκαλλιέργεια.

22) Η υπόγεια στάγδην άρδευση προσφέρεται για εγκατάσταση αυτοματισμών, συμβάλλοντας έτσι στην εξοικονόμηση χρόνου όσον αφορά το πρόγραμμα του παραγωγού.

23) Με εξαίρεση τις βροχοπτώσεις η επιφάνεια του εδάφους διατηρείται στεγνή, διευκολύνοντας την εκτέλεση καλλιεργητικών εργασιών και χωρίς να διακόπτεται η άρδευση.

24) Μέσω του συστήματος άρδευσης μπορεί να γίνει εφαρμογή φυτοπροστατευτικών σκευασμάτων, εξασφαλίζοντας με τον τρόπο αυτό την καλύτερη προστασία της καλλιέργειας.

5.3.4 Μειονεκτήματα της υπόγειας στάγδην άρδευσης

Πέρα από τον όγκο των πλεονεκτημάτων τα οποία έχει η άρδευση με σταγόνες υπογείως και την κάνουν τόσο δημοφιλή στον αναπτυγμένο κόσμο, υπάρχουν και κάποια μειονεκτήματα τα οποία παρουσιάζει η εν λόγω αρδευτική μέθοδος. Αυτά λειτουργούν ως περιοριστικός παράγοντας στη διάδοση της στις φτωχότερες κυρίως χώρες και παραθέτονται ευθύς αμέσως.

1) Το μεγαλύτερο και βασικότερο μειονέκτημα που εμποδίζει τα αναπτυσσόμενα κυρίως κράτη να ωφεληθούν από την πρακτική αυτή, είναι το μεγάλο κόστος που απαιτείται για την εγκατάσταση ενός συστήματος υπόγειας στάγδην άρδευσης, το οποίο ποικίλει ανάλογα με την καλλιεργούμενη έκταση. Αυτό όμως λόγω της μαζικής παραγωγής των πλαστικών τμημάτων που γίνεται πλέον με επίπτωση στη μείωση των τιμών και σε συνδυασμό με τις υψηλές αποδόσεις που επιτυγχάνονται με τη μέθοδο αυτή, τείνει να αντισταθμιστεί.

2) Οι εμφράξεις που δημιουργούνται στους σταλακτήρες, αποτελούν ακόμη ένα πρόβλημα. Σε ένα σύστημα υπόγειας στάγδην άρδευσης μπορούν να εμφανιστούν τριών ειδών εμφράξεις. Οι μηχανικές έχουν ως αίτιο την παρουσία στερεών σωματιδίων στο αρδευτικό νερό, τα οποία με την πάροδο του χρόνου συσσωρεύονται σε διάφορα τμήματα του συστήματος δημιουργώντας προβλήματα. Οι χημικές εμφράξεις από την άλλη πλευρά προκαλούνται στο σύστημα από την καθίζηση ανθρακικών αλάτων σε συνδυασμό με την συσσώρευση ιζημάτων σιδήρου και ασβεστίου. Τέλος υπάρχουν και οι βιολογικές εμφράξεις, οι οποίες οφείλονται στην ανάπτυξη βακτηρίων, μυκήτων, αλγών και άλλων μικροοργανισμών υπό τη μορφή αποικιών εντός των δικτύων μεταφοράς και εφαρμογής.

3) Υπάρχει κίνδυνος συσσώρευσης αλάτων στην περιφέρεια της υγρής ζώνης και ιδιαίτερα σε περιοχές όπου οι βροχοπτώσεις σπανίζουν και το νερό το οποίο διατίθεται δεν μπορεί να τα απομακρύνει με την έκπλυση. Αυτό μπορεί να αντιμετωπιστεί με τη χρήση της υπόγειας άρδευσης εναλλακτικά με καταιονισμό.

4) Η χρήση των γεωργικών μηχανημάτων για καλλιεργητικές εργασίες και ιδιαίτερα στην άροση προκαλεί μηχανικές ζημιές κυρίως στους αγωγούς μεταφοράς του αρδευτικού νερού, με αποτέλεσμα την ύπαρξη ενός επιπλέον κόστους επισκευής και με ότι αυτό περικλείει.

5) Παρατηρούνται δυσκολίες όσον αφορά την παρακολούθηση και αξιολόγηση της άρδευσης, για το λόγο ότι αυτή εξελίσσεται υπογείως. Έτσι για να διαπιστωθεί αν το σύστημα είναι αποδοτικό και λειτουργεί σωστά, είναι αναγκαία η συνεχής παρακολούθηση των υδρομέτρων και των καταστολέων πίεσης.

6) Τα συστήματα αυτά έχουν μικρότερη διάρκεια ζωής συγκριτικά με τα υπόλοιπα, γεγονός που επιβαρύνει τον παραγωγό με το επιπλέον κόστος της αντικατάστασης τμημάτων ή και ολόκληρου του συστήματος.

7) Κατά τη σπορά της καλλιέργειας και για τη φύτευση των σπόρων χρειάζεται επιπλέον επιφανειακή άρδευση, επειδή η επιφάνεια του εδάφους είναι στεγνή, με αποτέλεσμα να μην παρέχεται η επαρκής υγρασία που απαιτείται για τη διαδικασία αυτή.

8) Υπάρχει μεγάλη περίπτωση οι σταλακτήρες να φράξουν λόγω της πλευρικής ανάπτυξης του ριζικού συστήματος. Για την αντιμετώπιση του προβλήματος αυτού απαιτούνται κάποιες ενέργειες όπως είναι η χρήση εξειδικευμένων χημικών ουσιών, η χρήση σταλακτάρων με κατάλληλο σχεδιασμό και η σωστή διαχείριση του αρδευτικού νερού. Πέραν της διαχείρισης οι λοιπές ενέργειες όπως είναι λογικό ανεβάζουν το κόστος εγκατάστασης και συντήρησης.

9) Η απαίτηση του συστήματος να τροφοδοτεί συνεχώς την καλλιέργεια με καθαρό νερό απαλλαγμένο από οποιουδήποτε είδους προσμίξεις και ανεπιθύμητα υλικά, καθιστά τον καθαρισμό και την αντικατάσταση των φίλτρων καθαρισμού όταν αυτό χρειάζεται αναγκαία. Αυτό έχει ως συνέπεια την επιβάρυνση του κόστους συντήρησης, καθώς επίσης και του χρόνου του παραγωγού.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ ΕΚΤΟ

Εγκατάσταση πειράματος- υλικά και μέθοδοι

6.1 Γενικά

Σε πείραμα που πραγματοποιήθηκε την περίοδο 2008- 2009 στο αγρόκτημα της Σχολής Γεωπονικών Επιστημών του Πανεπιστημίου Θεσσαλίας (Βόλος) στην περιοχή του Βελεστίνου, έγινε προσπάθεια της μελέτης της επίδρασης της υπόγειας στάγδην άρδευσης με επεξεργασμένα αστικά απόβλητα, όσον αφορά την ανάπτυξη και απόδοση του ετήσιου Ηλίανθου (*Helianthus Annuus*). Σκοπός επίσης της έρευνας ήταν να αξιολογηθεί η δυνατότητα εξοικονόμησης νερού από τη χρήση των υγρών αστικών αποβλήτων έναντι της χρήσης του καθαρού νερού για άρδευση.

Η περιοχή του Βελεστίνου βρίσκεται δυτικά της πόλης του Βόλου και τα γεωγραφικά χαρακτηριστικά της τοποθεσίας του αγροκτήματος είναι 39°23' γεωγραφικό πλάτος, 22°45' γεωγραφικό μήκος, ενώ το υψόμετρο από την επιφάνεια της θάλασσας αντιστοιχεί σε 50m. Το αγροτεμάχιο που παραχωρήθηκε για την πραγματοποίηση του πειράματος κάλυπτε έκταση 200m² και οι κλιματικές συνθήκες που επικρατούν στην περιοχή, χαρακτηρίζονται ηπειρωτικές που συναντώνται στην ευρύτερη περιοχή της Μεσογείου. Έτσι παρατηρείται ζεστό και ξηρό καλοκαίρι το οποίο εναλλάσσεται με ψυχρό και υγρό χειμώνα.

Το έδαφος της περιοχής του αγροκτήματος είναι ασβεστούχο, αργιλλοπηλώδες και καλά στραγγιζόμενο. Η υφή τέτοιων εδαφών χαρακτηρίζεται αμμοαργιλλοπηλώδης έως και αργιλλώδης, ενώ η κοκκομετρική σύσταση μετρίως λεπτόκοκκη ως λεπτόκοκκη. Το PH του βρίσκεται σε αλκαλικά επίπεδα και έχει καλά αναπτυγμένο πορώδες, το οποίο αποτελείται από μικρούς και μεσαίου μεγέθους πόρους (Μήτσιος κ.α., 2000).

6.2 Χάραξη του πειραματικού αγροτεμαχίου

Για την εφαρμογή του πειράματος χρησιμοποιήθηκε ένα πλήρως τυχαιοποιημένο σχέδιο το οποίο περιέχονταν δύο μεταχειρίσεις σε 4 επαναλήψεις. Η πρώτη μεταχείριση ήταν η άρδευση της προς εγκατάσταση καλλιέργειας με καθαρό νερό (ΥΚ). Η δεύτερη περιλάμβανε άρδευση με επεξεργασμένα υγρά αστικά απόβλητα, τα οποία προέρχονταν από το Τμήμα Εγκατάστασης Επεξεργασίας Λυμάτων που εδρεύει στην πόλη του Βόλου (ΥΛ).

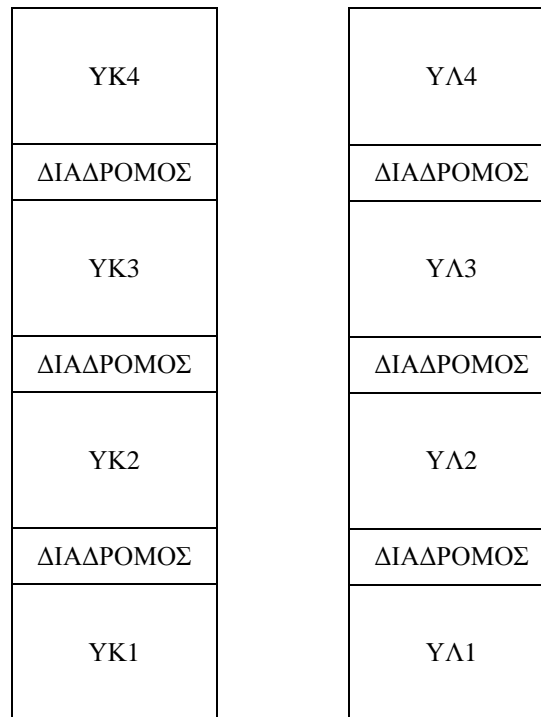
Για το σκοπό αυτό το αγροτεμάχιο υποδιαιρέθηκε σε 8 πειραματικά τεμάχια, από τα οποία τα 4 προορίστηκαν για μεταχείριση με καθαρό αρδευτικό νερό και τα

υπόλοιπα 4 για μεταχείριση που περιλάμβανε άρδευση με καθαρό νερό και λύμα σε συνδυασμό. Έτσι κάθε πειραματικό τεμάχιο καταλάμβανε έκταση 20m² (5m μήκος και 4m πλάτος) και καλυπτόταν από 4 σειρές φυτών (Εικόνα 4). Μεταξύ των επαναλήψεων υπήρχε διάδρομος πλάτους 1m, ενώ στο μέσο και κατά μήκος του τεμαχίου παρέμεινε χωρίς να σπαρθεί διάδρομος μικρότερου πλάτους (Σχήμα 3).



Εικόνα 4. Χάραξη πειραματικού αγροτεμαχίου.

Λόγω της αυξημένης περιεκτικότητας σε άλατα και υψηλής συγκέντρωσης χλωρίου στο λύμα, κρίθηκε σκόπιμο μετά την προγραμματισμένη άρδευση με τα υγρά απόβλητα να ακολουθήσουν δύο αρδευτικές μεταχειρίσεις με καθαρό νερό, αντισταθμίζοντας με τον τρόπο αυτό την επιβάρυνση στο λύμα. Γενικότερα η μία μεταχείριση αρδεύτηκε μόνο με καθαρό νερό, ενώ στην άλλη το καθαρό νερό εφαρμόστηκε σε εναλλαγή με τα υγρά απόβλητα. Επιπλέον αναφέρεται ότι η ποσότητα νερού που εφαρμόστηκε και στις δύο περιπτώσεις, ήταν αρκετή για την κάλυψη του 100% της εξατμισοδιαπνοής όπως αυτή υπολογίστηκε με τη βοήθεια του εξατμισιμέτρου τύπου Α.



Σχήμα 3. Διάταξη πειραματικού αγροτεμαχίου σύμφωνα με τη χάραξη.

6.3 Εγκατάσταση της καλλιέργειας στο πειραματικό τεμάχιο

Στο πεδίο του πειράματος πραγματοποιήθηκε προετοιμασία της σποροκλίνης, λαμβάνοντας χώρα τρεις μεταχειρίσεις φρεζαρίσματος. Η πρώτη έγινε μετά τη συγκομιδή της καλλιέργειας του προηγούμενου πειράματος, η δεύτερη αρχές Μαρτίου και η τελευταία 2 ημέρες πριν τη σπορά.

Η σπορά πραγματοποιήθηκε στις 14 Μαΐου 2009. Χρησιμοποιώντας σκαλιστήρι ανοίχθηκαν συνολικά 8 αυλάκια κατά μήκος του τεμαχίου με βάθος 3-4cm. Η τοποθέτηση του σπόρου έγινε με το χέρι σε αποστάσεις 4- 5cm μεταξύ των φυτών και 80cm μεταξύ των γραμμών. Μετά την τοποθέτηση του σπόρου ακολούθησε κάλυψή τους με χώμα και άρδευση με τη μέθοδο του καταιονισμού (Εικόνα 5). Κατά τη διάρκεια του πειράματος δεν πραγματοποιήθηκε λιπαντική αγωγή, ενώ 2- 3 εβδομάδες μετά τη σπορά και με την εμφάνιση των φυτών αποφασίστηκε να γίνει αραίωση επί των γραμμών, ώστε τα φυτά να έχουν αποστάσεις μεταξύ τους 10- 15cm.



Εικόνα 5. Άρδευση με καταιονισμό στο στάδιο της φύτευσης.

Το φύτευμα της καλλιέργειας έγινε γύρω στις 25 Μαΐου και παρουσίασε περίπου 95% επιτυχία (Εικόνα 6), ενώ κατά τη διάρκεια του πειράματος έγιναν όλες οι απαραίτητες καλλιεργητικές φροντίδες που χρειάστηκαν για να αναπτυχθεί η καλλιέργεια. Να σημειωθεί ότι στα τέλη Αυγούστου υπήρξαν επιδρομές από πουλιά τα οποία κατέστρεψαν μέρος της καλλιέργειας. Το γεγονός αυτό όμως ήταν σχετικά μικρής έκτασης και δεν είχε καταστροφικές επιπτώσεις στη γενικότερη διεξαγωγή του πειράματος.



Εικόνα 6. Το πειραματικό αγροτεμάχιο.

6.4 Άρδευση του πειραματικού αγροτεμαχίου

Λόγω της φύσης του πειράματος το οποίο περιλάμβανε μεταχειρίσεις με επεξεργασμένα υγρά αστικά απόβλητα, ως καταλληλότερη αρδευτική μέθοδος επιλέχθηκε η υπόγεια στάγδην άρδευση (Εικόνα 7). Πλεονέκτημα της πρακτικής αυτής για την παρούσα κατάσταση αποτελεί το γεγονός ότι δεν τίθεται κάποιο όριο όσον αφορά τα χαρακτηριστικά του λύματος από μικροβιολογικής απόψεως (Bahri & Brissaud, 2002), για το λόγο ότι λαμβάνει χώρα υπογείως. Αυτό έχει ως αποτέλεσμα την ελαχιστοποίηση της άμεσης επαφής των υγρών αποβλήτων με το κοινό και τους εργαζόμενους στο χώρο και κατ' επέκταση τη διασφάλιση της υγείας τους.



Εικόνα 7. Υπόγεια στάγδην άρδευση

Στο πειραματικό αγροτεμάχιο είχε ήδη εγκατασταθεί από το 2005 διπλό σύστημα υπόγειας στάγδην άρδευσης, το οποίο είναι τοποθετημένο σε βάθος 45cm με τη βοήθεια υπεδαφοθέτη (Εικόνες 8 και 9). Να σημειωθεί ότι το συγκεκριμένο αγροτεμάχιο, προορίζεται για τη διεξαγωγή πειραμάτων που σχετίζονται με τη χρήση επεξεργασμένων υγρών αποβλήτων στην άρδευση διαφόρων καλλιεργειών. Έτσι με την ύπαρξη του διπλού αυτού δικτύου εξασφαλίζονται τόσο οι εφαρμογές καθαρού νερού, όσο και αυτές με επεξεργασμένα απόβλητα.



Εικόνα 8. Εγκατάσταση συστήματος υπόγειας στάγδην άρδευσης.



Εικόνα 9. Υπεδαφοθέτης υπόγειας στάγδην άρδευσης.

Το δίκτυο μεταφοράς αρδευτικού νερού του συστήματος αποτελείται από αγωγούς, οι οποίοι είναι κατασκευασμένοι από πολυαιθυλένιο και έχουν εσωτερική διατομή 32mm, ενώ η πίεση λειτουργίας τους αντιστοιχεί σε 6Atm. Οι αγωγοί εφαρμογής (μήκους 25m) από την άλλη πλευρά είναι επίσης κατασκευασμένοι από το ίδιο υλικό, με μόνη διαφορά ότι είναι μικρότερης διατομής (20mm). Η απόσταση μεταξύ των αγωγών εφαρμογής είναι 1,60m και κατά την εγκατάσταση του συστήματος, η τοποθέτησή τους έγινε σειρά παρά σειρά μεταξύ των γραμμών των φυτών. Επίσης, στους αγωγούς εφαρμογής ανά 0,6m είναι τοποθετημένοι αυτορρυθμιζόμενοι και αυτοκαθαριζόμενοι σταλακτήρες, οι οποίοι έχουν παροχή

ίση με 3,6 lt/h, σε πίεση λειτουργίας 3,5Atm και ωριαίο ύψος διαβροχής 3,75mm/h.

Για να αποφευχθεί η αναρρόφηση του νερού, η οποία έχει ως άμεση συνέπεια την έμφραξη των σταλακτήρων από τα στερεά σωματίδια του εδάφους, τοποθετήθηκαν ειδικές βαλβίδες εκτόνωσης, καθώς επίσης και φίλτρο δίσκων εμποτισμένο με treflan. Το σκεύασμα αυτό είναι ζιζανιοκτόνο το οποίο χρησιμοποιείται στην περίπτωση της υπόγειας άρδευσης με σταγόνες ως ριζοαπωθητικό, εμποδίζοντας έτσι την έμφραξη των σταλακτήρων από την είσοδο σε αυτούς των ριζών.

Όσο για τη μονάδα ελέγχου του υφιστάμενου συστήματος άρδευσης η οποία ευθύνεται για τη διοχέτευση του νερού στα δίκτυα μεταφοράς και εφαρμογής, αποτελείται από ένα αριθμό ηλεκτροβανών, οι οποίες συνδέονται με ένα ειδικό προγραμματιστή άρδευσης (Miracle DC). Στο σύστημα γίνεται επίσης χρήση δύο υδρομέτρων για τον έλεγχο της ποσότητας του νερού που χορηγείται.

Με σκοπό την αυτόματη έναρξη και λήξη της εφαρμογής του αρδευτικού νερού στο πειραματικό τεμάχιο, χρησιμοποιήθηκαν δύο ηλεκτροβάνες τύπου Aquanet II με τάση λειτουργίας 9- 40V (κατ' αντιστοιχία με τους υδρομετρητές), οι οποίες ήταν συνδεδεμένες με τον προγραμματιστή. Ο Miracle DC (Εικόνα 10) κατασκευάζεται από την εταιρία Motorola και αυτοματοποιεί την όλη διαδικασία. Έχει τη δυνατότητα σύνδεσης με 12 ηλεκτροβάνες (Εικόνα 11) ταυτόχρονα για την κάλυψη πολλαπλών αναγκών και αποτελείται από ψηφιακή οθόνη, πλήκτρα εντολών που καθορίζουν την ημέρα, την ώρα έναρξης και τη διάρκεια της άρδευσης και λοιπά εξαρτήματα (μπαταρία λιθίου 9V, συνδέσεις, καλώδια κ.τ.λ.).



Εικόνα 10. Αυτόματος προγραμματιστής Miracle DC.



Εικόνα 11. Πίνακας διανομής.

Κάποιες από τις προδιαγραφές του είναι ο εβδομαδιαίος προγραμματισμός των αρδεύσεων, η αύξηση του χρόνου άρδευσης χωρίς να απαιτείται επαναπρογραμματισμός, η διακοπή του προγράμματος για προεπιλεγμένο χρόνο μέχρι και 99 ημέρες και η αυτόματη επιστροφή στο αρχικό πρόγραμμα μετά την πάροδο της χρονικής αυτής διάρκειας, καθώς επίσης και πρόγραμμα ασφαλείας 10 λεπτών για κάθε μέρα. Με το Miracle DC η διάρκεια άρδευσης για κάθε ηλεκτροβάννα ποικίλει από 1 λεπτό έως 9 ώρες και 59 λεπτά.

Για τη μεταχείριση με επεξεργασμένα υγρά απόβλητα, το λύμα παραλαμβάνονταν μία φορά την εβδομάδα από δεξαμενή του Δ.Ε.Υ.Α.Μ.Β. και τοποθετούνταν σε δεξαμενή χωρητικότητας 5m³, η οποία βρίσκεται στο χώρο του αγροκτήματος πλησίον του πειραματικού τεμαχίου (Εικόνα 12). Η δεξαμενή αυτή είναι κατασκευασμένη από πολυαιθυλένιο και συνδέεται με αντλία κλειστού τύπου και ισχύος 3 Hp, για τη διοχέτευση του λύματος στην κεντρική ηλεκτροβάννα και περαιτέρω διανομή του στα υπόγεια δίκτυα μεταφοράς και διανομής (Εικόνα 13). Τέλος η λήψη του απαιτούμενου καθαρού νερού για τις υπόλοιπες μεταχειρίσεις γινόταν από τσιμεντένια δεξαμενή όγκου 50m³, η πλήρωση της οποίας πραγματοποιούνταν από γεώτρηση εντός του αγροκτήματος.



Εικόνα 12. Δεξαμενή πολυαιθυλενίου.



Εικόνα 13. Αντλία.

Πρέπει ακόμη να αναφερθεί ότι οι μεταχειρίσεις στην καλλιέργεια του ηλίανθου με τα συστήματα υπόγειας άρδευσης ξεκίνησαν στις 27 Ιουνίου και περατώθηκαν στις 20 Σεπτεμβρίου της ίδιας χρονιάς. Ο υπολογισμός των δόσεων εφαρμογής έγινε αρχικά λαμβάνοντας υπόψη τις υδραυλικές ιδιότητες του εδάφους και ακολούθως την ημερήσια εξατμισοδιαπνοή της καλλιέργειας, όπως αυτή προέκυψε από μετρήσεις που πάρθηκαν με τη βοήθεια ενός εξατμισιμέτρου τύπου Α. Επιπλέον από τις 23/07/2009 και μέχρι τις 18/09/2009 μια φορά την εβδομάδα κατά μέσο όρο γινόταν εφαρμογή επεξεργασμένων υγρών αποβλήτων στην αντίστοιχη μεταχείριση.

6.5 Όργανα και μέθοδοι μετρήσεως που χρησιμοποιήθηκαν κατά τη διάρκεια του πειράματος

6.5.1 Εξατμισόμετρο τύπου A

Η χρήση του συνίσταται για τον προσδιορισμό της ημερήσιας εξατμισοδιαπνοής (ET_o), η γνώση της οποίας είναι απαραίτητη για τον υπολογισμό των αναγκών μιας καλλιέργειας σε νερό. Πρέπει να τονιστεί ότι η μέτρηση της εξατμισοδιαπνοής με τον τρόπο αυτό, αποτελεί μια αρκετά αξιόπιστη και αποτελεσματική μέθοδο.

Ένα εξατμισόμετρο τύπου A αποτελείται από ένα μεταλλικό πλέγμα και μία μεταλλική κυλινδρική λεκάνη, η οποία είναι κατασκευασμένη από γαλβανισμένο χάλυβα. Οι διαστάσεις της είναι 121cm η διάμετρος και 25,4cm το βάθος. Η λεκάνη αυτή τοποθετείται πάνω σε ξύλινη βάση, ώστε ο πυθμένας της να απέχει 15cm από την επιφάνεια του εδάφους (Εικόνα 14). Για τη σωστή εγκατάσταση ενός εξατμισιμέτρου τύπου A απαιτείται η βάση στην οποία εναποτίθεται η λεκάνη να είναι πλήρως οριζοντιοποιημένη και στη συνέχεια το έδαφος κάτω από το σύστημα να υπερυψωθεί, ώστε η απόσταση μεταξύ πυθμένα και εδάφους να είναι 5cm.

Μετά την εγκατάσταση η λεκάνη συμπληρώνεται με νερό έως το ύψος των 5cm κάτω από το χείλος της. Απαραίτητη προϋπόθεση για την άρτια λειτουργία του οργάνου είναι, η στάθμη του νερού μέσα στη λεκάνη να μην πέσει ποτέ κάτω από το επίπεδο των 7,5cm από το χείλος της λεκάνης. Επίσης είναι αναγκαίο το νερό του εξατμισιμέτρου να ανανεώνεται συχνά για να μην θολώσει και μια φορά το χρόνο η λεκάνη να συντηρείται επικαλύπτοντας τη με χρώμα αλουμινίου, για την αποφυγή της ανάπτυξης μυκήτων και αλγών.

Η λειτουργία ενός εξατμισιμέτρου τύπου A συνίσταται στη μέτρηση της ημερήσιας πτώσης της στάθμης του νερού στη λεκάνη, η οποία εκφράζεται με την ημερήσια εξατμισοδιαπνοή αναφοράς του (ET_{pan}) και τον υπολογισμό του βάθους του νερού. Οι τιμές που λαμβάνονται πολλαπλασιάζονται με τον συντελεστή εξατμισιμέτρου (K_p) και ανάγονται στην εξατμισοδιαπνοή αναφοράς (ET_o) σύμφωνα με την παρακάτω σχέση:

$$ET_o = K_p * ET_{pan} \quad (1.1)$$

όπου: ET_o σε mm/ημέρα.

ET_{pan} σε mm/ημέρα.

Η τιμή του συντελεστή διόρθωσης του εξατμισιμέτρου υπολογίζεται ως συνάρτηση της ταχύτητας του ανέμου, της μέσης σχετικής υγρασίας, του είδους,

όπως επίσης και της έκτασης της επιφάνειας που περιβάλλει το εξατμισόμετρο. Βάση δεδομένων προηγούμενων ετών για το εξατμισόμετρο που είναι εγκατεστημένο στο αγρόκτημα, βρέθηκε ότι είναι 0,8 (Σακελλαρίου- Μακραντωνάκη, 1996), ενώ η εύρεση της πτώσης της στάθμης του νερού στη λεκάνη έγινε με τη βοήθεια ενός σταθμημέτρου με ακίδα.

Οι ενδείξεις του εξατμισιμέτρου καθώς επίσης και η πραγματική ημερήσια εξατμισοδιαπνοή για την καλλιέργεια του ηλίανθου κατά την αρδευτική περίοδο παρατίθενται παρακάτω (Πίνακας 11).



Εικόνα 14. Εξατμισόμετρο τύπου Α.

6.5.2 Μέτρηση εδαφικής υγρασίας

Βασικό κριτήριο για τη λήψη αποφάσεων όσον αφορά το χρόνο και τη δόση εφαρμογής του αρδευτικού νερού σε μια καλλιέργεια αποτελεί ο προσδιορισμός της εδαφικής υγρασίας. Λόγω του ότι οι τιμές αυξομειώνονται με την πάροδο του χρόνου ως αποτέλεσμα ανθρωπογενών και βιολογικών επιδράσεων, ο προσδιορισμός της υγρασίας του εδάφους καθίσταται αντιπροσωπευτικός μόνο κατά τη διάρκεια της δειγματοληψίας.

Οι μετρήσεις της εδαφικής υγρασίας διαχωρίζονται σε άμεσες και έμμεσες. Για την άμεση μέτρηση χρησιμοποιούνται διάφορες μέθοδοι όπως είναι η σταθμική, του φωτιστικού οιοπνεύματος και άλλες, καθώς επίσης και κατάλληλα όργανα όπως είναι τα λυσιόμετρα. Ο προσδιορισμός της μπορεί να γίνει και έμμεσα, λαμβάνοντας υπόψη την αλληλεπίδραση μεταξύ αυτής και κάποιας άλλης ιδιότητας του εδάφους όπως γίνεται στις μεθόδους μέτρησης της ηλεκτρικής αντίστασης, σκεδασμού

νετρονίων, τασιμέτρων και T.D.R. (Time Domain Reflectory).

Για την πραγματοποίηση της μέτρησης της εδαφικής υγρασίας στο συγκεκριμένο πείραμα, επιλέχθηκε η μέθοδος T.D.R. Χαρακτηριστικά της μεθόδου αυτής είναι η ταχύτητα και ακρίβεια των μετρήσεων που δίνει κατά τον προσδιορισμό της ογκομετρικής περιεκτικότητας του εδάφους σε νερό, ενώ η απόδοσή της δεν εξαρτάται από τον τύπο του προς μέτρηση εδάφους και η χρήση της δεν εγκυμονεί κινδύνους λόγω ραδιενεργών εκπομπών. Παράλληλα έχει το πλεονέκτημα ότι μπορεί να εφαρμοστεί και σε όργανα με χρήση Η/Υ για αυτόματη ανάλυση.

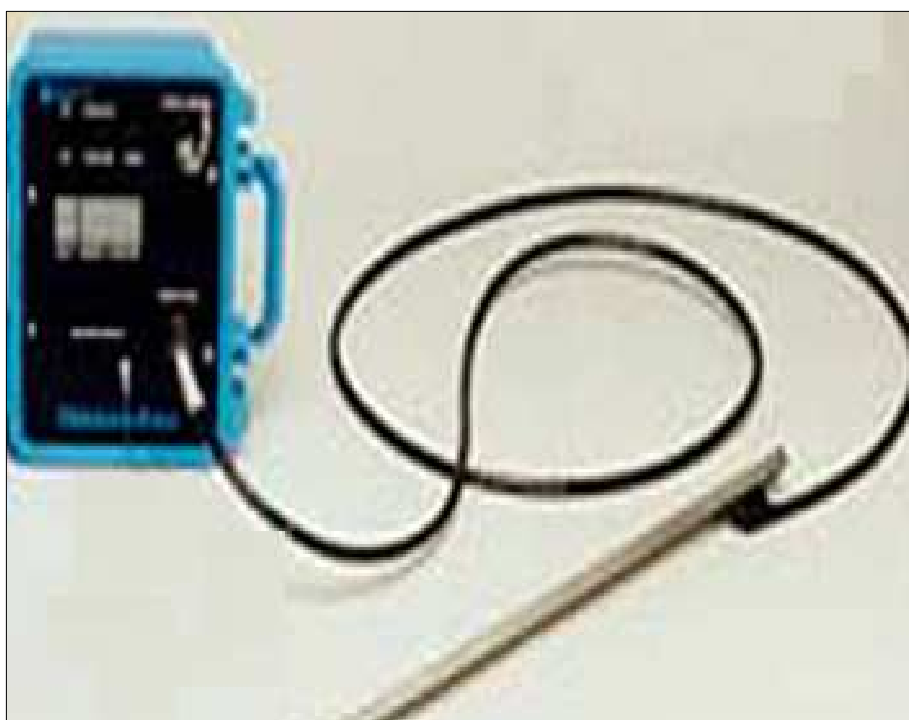
Η αρχή λειτουργίας της βασίζεται στην απευθείας μέτρηση της φαινόμενης διηλεκτρικής σταθεράς του εδάφους και την αναγωγή αυτής σε κατ' όγκο περιεκτικότητα νερού (Σακελλαρίου, 2003). Με άλλα λόγια βασίζεται στην χρονομετρημένη απόκριση του ηλεκτρομαγνητικού σήματος της πηγής του οργάνου για βάθη από 0 έως 120cm και την αναγωγή του χρόνου καθυστέρησης σε μονάδες εδαφικής υγρασίας, χρησιμοποιώντας πολυωνυμικές εξισώσεις. Αυτό απορρέει από το γεγονός ότι η περιεκτικότητα του εδάφους σε νερό επηρεάζει την διηλεκτρική του σταθερά (Topp et al., 1980).

Το σύστημα για τη μέτρηση της εδαφικής υγρασίας με τη μέθοδο T.D.R. αποτελείται από τη συσκευή (Εικόνα 15) η οποία φέρει ενσωματωμένο επεξεργαστή, έναν αισθητήρα (Εικόνα 16), τα καλώδια σύνδεσης του αισθητήρα με τη συσκευή και τον Η/Υ, την ομάδα εργαλείων για την εισαγωγή και εξαγωγή του αισθητήρα και το φορτιστή μπαταριών του οργάνου.

Από τη μέτρηση της εδαφικής υγρασίας που πραγματοποιήθηκε στο πειραματικό αγροτεμάχιο, διαπιστώθηκε η καλή ύγρανση του ριζοστρώματος και στις δύο μεταχειρίσεις ανάλογα με τη δόση της άρδευσης. Ακόμη λόγω του ότι η εκροή του νερού λάβαινε χώρα σε βάθος 15cm, η αύξηση της εδαφικής υγρασίας παρατηρήθηκε στα 0- 45cm. Αυτό είναι ευνοϊκός όρος για τα φυτά, τα οποία αναπτύσσουν το 70% του ριζικού τους συστήματος σε βάθος έως και 50cm από την επιφάνεια του εδάφους.



Εικόνα 15. Συσκευή T.D.R. μαζί με τα μέρη που την αποτελούν.



Εικόνα 16. Συσκευή T.D.R. μαζί με τον αισθητήρα.

6.5.3 Συσκευή προσδιορισμού του Δείκτη Φυλλικής Επιφάνειας (LAI)

Ο δείκτης φυλλικής επιφάνειας εκφράζει την ανάπτυξη μιας καλλιέργειας, πράγμα το οποίο έγκειται στο γεγονός ότι ο προσδιορισμός του ποσοστού αφομοίωσης νερού και θρεπτικών στοιχείων σε ένα φύλλο απαιτεί την ακριβή μέτρηση της επιφάνειάς του. Η μέτρηση του δείκτη φυλλικής επιφάνειας γίνεται με τη χρήση ενός οργάνου του οποίου η εμπορική ονομασία είναι LI-COR.

Η λειτουργία του οργάνου αυτού συνίσταται στη διοχέτευση ακτινοβολίας στην επιφάνεια του φύλλου, μέσω ενός οπτικού αισθητήρα ο οποίος έχει πεδίο δράσης 148°. Η χρήση του LI-COR παρέχει τη δυνατότητα της αυτόματης καταγραφής και αποθήκευσης των δεδομένων στη μονάδα ελέγχου, συμβάλλοντας στην ευκολότερη δημιουργία μιας βάσης δεδομένων. Με την τεχνική αυτή ο ενδιαφερόμενος έχει το πλεονέκτημα ότι μπορεί να κάνει γρήγορες μετρήσεις του δείκτη, χωρίς να υπάρχει ο κίνδυνος καταστροφής του φύλλου.

6.6 Υπολογισμός δόσης εφαρμογής, εύρους και διάρκειας άρδευσης στην καλλιέργεια του ηλίανθου

Οι δόσεις εφαρμογής του καθαρού νερού είναι δυνατό να υπολογιστούν με διάφορες μεθόδους. Μία από αυτές είναι η μέθοδος που λαμβάνει υπόψη τις υδραυλικές ιδιότητες του εδάφους και ανάγεται στον προσδιορισμό τους (Σακελλαρίου 2003). Έτσι για τις αρδευτικές ανάγκες του ηλίανθου προσδιορίστηκαν η υδατοϊκανότητα (ποσοστό % του ξηρού βάρους του εδάφους), το σημείο μόνιμης μάρανσης (ποσοστό % του ξηρού βάρους του εδάφους), το φαινόμενο ειδικό βάρος (gr/cm^3), το βάθος του ριζοστρώματος σε κάθε στάδιο ανάπτυξης της καλλιέργειας (mm), ο συντελεστής εξάντλησης της διαθέσιμης υγρασίας, το ποσοστό διαβροχής του εδάφους και ο συντελεστής απόδοσης του συστήματος (Πίνακας 9).

| ΠΑΡΑΜΕΤΡΟΙ | ΤΙΜΗ |
|---|-------|
| Υδατοϊκανότητα (FC, % ξ. β.) | 21,2 |
| Σημείο μόνιμης μάρανσης (PWP, % ξ. β.) | 11,64 |
| Φαινόμενο ειδικό βάρος (ASW, gr/cm ³) | 1,23 |
| Βάθος ριζοστρώματος ηλίανθου (RD,mm) | 200 |
| Βάθος ριζοστρώματος ηλίανθου (RD,mm) | 400 |
| Βάθος ριζοστρώματος ηλίανθου (RD,mm) | 600 |
| Βάθος ριζοστρώματος ηλίανθου (RD,mm) | 800 |
| Βάθος ριζοστρώματος ηλίανθου (RD,mm) | 1000 |
| Ποσοστό διαβροχής του εδάφους (P) | 1 |
| Συντελεστής εξάτμισης διαθέσιμης υγρασίας (c) | 0,55 |
| Συντελεστής απόδοσης του συστήματος (Ea) | 0,95 |

Πίνακας 9. Υδραυλικές ιδιότητες του εδάφους που απαιτούνται για τον υπολογισμό των υδατικών αναγκών σε νερό της καλλιέργειας του ηλίανθου.

Για τον υπολογισμό της ποσότητας του νερού που πρέπει να χορηγηθεί στα φυτά αρχικά, υπολογίζεται η Θεωρητική Δόση Άρδευσης (I_d), η οποία είναι συνισταμένη των παραπάνω υδραυλικών παραμέτρων του εδάφους και εκφράζεται με τη σχέση:

$$I_d = \frac{(FC - PWP) \times ASW \times RD \times C \times P}{100} \quad (1.2)$$

όπου I_d η θεωρητική δόση άρδευσης, FC και PWP η υδατοϊκανότητα και το σημείο μόνιμης μάρανσης του εδάφους αντίστοιχα, ASW το φαινόμενο ειδικό βάρος, RD το βάθος του ριζοστρώματος σε mm, C ο συντελεστής εξάντλησης της διαθέσιμης υγρασίας και P το ποσοστό διαβροχής του εδάφους. Για την καλλιέργεια του ηλίανθου, οι τιμές που αφορούν τις παραπάνω παραμέτρους παρέχονται από τον Πίνακα 6. Πρέπει να σημειωθεί ότι το βάθος του ριζοστρώματος (RD) για την περίοδο Μαΐου – Σεπτεμβρίου έχει υπολογιστεί ότι είναι 200, 400, 900, 900 και 1000mm αντίστοιχα για κάθε μήνα. Έτσι αντικαθιστώντας στη σχέση 1.3, εξάγονται τα αποτελέσματα για τη θεωρητική δόση άρδευσης τα οποία παρατίθενται παρακάτω (Πίνακας 7).

Η πρακτική δόση άρδευσης (I_{da}) είναι ο λόγος της θεωρητικής δόσης διά το συντελεστή απόδοσης του συστήματος (E_a), ο οποίος έχει την τιμή 0,95 (Πίνακας 6) και δίνεται από τη σχέση:

$$I_{da} = I_d / E_a \quad (1.3)$$

Επειδή η πρακτική δόση άρδευσης για την καλλιέργεια του ηλιάνθου αντιστοιχεί σε mm ή m³/στρ. και τα 8 πειραματικά τεμάχια καταλαμβάνουν έκταση 20m² έκαστο, είναι αναγκαίο να γίνει αναγωγή των αποτελεσμάτων ως προς την καλλιεργούμενη έκταση για κάθε τεμάχιο. Η αναγωγή αυτή είναι απαραίτητη για όλο το διάστημα που χρησιμοποιείται η μέθοδος υπολογισμού αυτή.

Το εύρος της άρδευσης (It) δίνεται από το λόγο της πρακτικής δόσης άρδευσης (Ida) δια της μέσης ημερήσιας εξατμισοδιαπνοής της καλλιέργειας (ETd), και εκφράζεται με τη σχέση:

$$It = Ida / ETd \quad (1.4)$$

Η μέση ημερήσια εξατμισοδιαπνοή υπολογίζεται ως το γινόμενο της εξατμισοδιαπνοής αναφοράς επί των συντελεστών f₁ και f₂. Ο f₁ είναι ένας συντελεστής ο οποίος εξαρτάται από την καλλιέργεια, ενώ ο f₂ εκφράζει την αναμενόμενη φυτοσκίαση του εδάφους από την καλλιέργεια. Από δεδομένα προηγούμενων ετών για τους συντελεστές f₁ και f₂, η μέση ημερήσια εξατμισοδιαπνοή αντιστοιχεί σε διάφορες τιμές για τους μήνες Μάιο, Ιούνιο, Ιούλιο, Αύγουστο και Σεπτέμβριο. Έτσι αντικαθιστώντας στην 1.5, θα προκύψουν τα αντίστοιχα αποτελέσματα για κάθε μήνα (Πίνακας 10).

| | ΜΑΪΟΣ | ΙΟΥΝΙΟΣ | ΙΟΥΛΙΟΣ | ΑΥΓΟΥΣΤΟΣ | ΣΕΠΤΕΜΒΡΙΟΣ |
|---|-------|---------|---------|-----------|-------------|
| Διαθέσιμη υγρασία (% κ.ο.) | 11,76 | 11,76 | 11,76 | 11,76 | 11,76 |
| Θεωρητική δόση άρδευσης (mm) | 12,94 | 25,87 | 38,81 | 51,74 | 64,68 |
| Πρακτική δόση άρδευσης (mm) | 13,62 | 27,23 | 40,85 | 54,46 | 68,08 |
| Ωριαίο ύψος βροχής (mm/h) | 3,86 | 3,86 | 3,86 | 3,86 | 3,86 |
| Μέση ημερήσια πραγματική εξατμισοδιαπνοή (mm/ημέρα) | 1,36 | 3,36 | 5,49 | 4,97 | 3,06 |
| Εύρος άρδευσης (ημέρες) | 10,01 | 8,10 | 7,44 | 10,95 | 22,24 |
| Διάρκεια άρδευσης (h) | 3,53 | 7,05 | 10,58 | 14,10 | 17,63 |

Πίνακας 10. Δόση, εύρος και διάρκεια άρδευσης με τη μέθοδο των υδραυλικών ιδιοτήτων του εδάφους.

Για τον προσδιορισμό των δόσεων εφαρμογής κατά τη διάρκεια του πειράματος και ιδιαίτερα μετά την έναρξη της υπόγειας στάγδην άρδευσης, χρησιμοποιήθηκε η μέθοδος της μέσης ημερήσιας εξατμισοδιαπνοής με τη βοήθεια ενός εξατμισιμέτρου τύπου A. Οι ενδείξεις που καταγράφηκαν για κάθε ημέρα από το εξατμισιμέτρο τύπου A, πολλαπλασιάστηκαν με το συντελεστή διόρθωσης του εξατμισιμέτρου ($K_p = 0,8$) και τα αποτελέσματα έδωσαν την ημερήσια εξατμισοδιαπνοή αναφοράς (Σχέση 1.1).

Στη συνέχεια το αποτέλεσμα που εξάγεται από τη σχέση 1.1, πολλαπλασιάζεται με τον αντίστοιχο φυτικό συντελεστή της καλλιέργειας (K_c) για κάθε στάδιο ανάπτυξης. Για τον ηλίανθο οι τιμές του για το αρχικό, το ενδιάμεσο και το τελικό στάδιο είναι 0,35, 1,15 και 0,35 αντίστοιχα (FAO, 1998). Το γινόμενο των δύο αυτών παραγόντων αποτελεί τις ημερήσιες καθαρές ανάγκες σε νερό της καλλιέργειας, όπως αυτές εκφράζονται από την παρακάτω σχέση:

$$I_n = K_c * ET_o \quad (1.5)$$

όπου: I_n σε mm/ημέρα.

ET_o σε mm.

Η καθαρή ποσότητα νερού με την οποία πρέπει να πραγματοποιηθεί η άρδευση της καλλιέργειας (I_n), δηλαδή η πρακτική δόση άρδευσης (I_{da}) που αντιστοιχεί στο 100% της εξατμισοδιαπνοής, υπολογίζεται αν αφαιρεθεί από την εξατμισοδιαπνοή της καλλιέργειας (ET_c) το ύψος των ωφέλιμων βροχοπτώσεων (ΩB) σύμφωνα με τη σχέση:

$$I_{da} = ET_c - \Omega B \quad (1.6)$$

όπου: I_{da} σε mm.

ΩB το ωφέλιμο ύψος βροχοπτώσεων σε mm.

Να σημειωθεί ότι το ωφέλιμο ύψος των βροχοπτώσεων υπολογίζεται ως το γινόμενο του συνολικού ύψους της βροχής με τη σταθερή ποσότητα 0,8. Δηλαδή από τη σχέση:

$$\Omega B = 0,8B \quad (1.7)$$

Στην ημερήσια ένδειξη που παίρνεται καθημερινά για τον υπολογισμό της εξατμισοδιαπνοής της καλλιέργειας, είναι αναγκαίο να συνυπολογίζεται και η βροχόπτωση. Σε περίπτωση που αυτό δεν ληφθεί υπόψη, χρησιμοποιώντας τις σχέσεις 1.1 και 1.5 θα προκύψουν απευθείας οι καθαρές ανάγκες σε νερό. Άρα στην τιμή των καθαρών αναγκών που θα προκύψει από τη χρήση των τιμών που θα

ληφθούν από το εξατμισόμετρο, χρειάζεται να προστεθεί και το ύψος των ωφέλιμων βροχοπτώσεων. Με τη μεταφορά του όρου ΩB στο πρώτο μέλος της σχέσης 1.3 θα ισχύει ότι:

$$ET_c = I_{da} + \Omega B \quad (1.8)$$

Στον πίνακα 11 παρουσιάζονται αναλυτικά οι καθαρές ανάγκες σε νερό και η εξατμισοδιαπνοή της καλλιέργειας του ηλίανθου όπως υπολογίστηκαν, συμπεριλαμβανομένων των ημερομηνιών, της ωφέλιμης βροχοπτώσης, της ημερήσιας εξατμισοδιαπνοής και άλλων στοιχείων.

Για τον υπολογισμό της διάρκειας άρδευσης χρησιμοποιήθηκε η σχέση:

$$I_t = I_{da} / I_{dh} \quad (1.9)$$

όπου I_{da} η πρακτική δόση άρδευσης και I_{dh} το ωριαίο ύψος των βροχοπτώσεων.

Το ωριαίο ύψος βροχής προκύπτει ως ο λόγος του γινομένου της παροχής του σταλακτήρα (I_t/h) επί τον αριθμό των σταλακτῆρων ανά φυτό ($n = St/2*Se$), προς την ισαποχή των φυτών επί της γραμμής (m), πολλαπλασιαζόμενη με την ισαποχή των γραμμών σποράς (m), σύμφωνα με τη σχέση:

$$I_{dh} = (q*n) / (St*Sr) \quad (1.10)$$

Στο συγκεκριμένο πείραμα η παροχή του σταλακτήρα ήταν $q = 3,6 \text{ lt/h}$, η ισαποχή των φυτών επί της γραμμής $St = 0,14m$ και η απόσταση μεταξύ των γραμμών $Se = 0,8m$. Για τον υπολογισμό του αριθμού των σταλακτῆρων ανά φυτό η απόσταση των σταλακτῆρων επί του αγωγού ήταν $Sr = 0,6m$, οπότε προκύπτει ότι ο αριθμός είναι $n = 0,12$.

Στον πίνακα 12 παραθέτονται οι δόσεις και η διάρκεια των αρδεύσεων που εφαρμόστηκαν στην καλλιέργεια του ηλίανθου στο σύνολο του πειράματος, σε συνδυασμό με το ωριαίο ύψος βροχής, τις καθαρές ανάγκες σε νερό και τις ημερομηνίες.

| Ημερομηνία | Ημέρες από 01/01/09 | Ημέρες από τη σπορά 14/05/09 | Πλήρωση Εξατμ/τρου mm | Ημερήσια ένδειξη mm | Διαφορά ημέρας Epan mm | Βροχή B mm | Ωφέλιμη βροχή ΩB = 0.8*B mm | Εξατμισοδιαπνοή αναφοράς Eo mm | Kc | Καθαρές ανάγκες In = Eo*Kc mm | Εξατμισοδιαπνοή καλλιέργειας Etc = In+ΩB mm |
|------------|---------------------|------------------------------|-----------------------|---------------------|------------------------|------------|-----------------------------|--------------------------------|------|-------------------------------|---|
| 14/05/2009 | 132 | 0 | 0 | | 7.00 | | | 7 | 0.35 | 2.45 | 2.45 |
| 15/05/2009 | 133 | 1 | | 7.00 | 6.00 | | | 4,8 | 0.35 | 1,68 | 1.68 |
| 16/05/2009 | 134 | 2 | | 13.00 | 5.00 | | | 4 | 0.35 | 1,4 | 1.4 |
| 17/05/2009 | 135 | 3 | A | 18.00 | 4.00 | | | 3,2 | 0.35 | 1,12 | 1.12 |
| 18/05/2009 | 136 | 4 | | 22.00 | 6.00 | | | 4,8 | 0.35 | 1,68 | 1.68 |
| 19/05/2009 | 137 | 5 | | 28.00 | 7.00 | | | 5,6 | 0.35 | 1,96 | 1.96 |
| 20/05/2009 | 138 | 6 | | 35.00 | 7.00 | | | 5,6 | 0.35 | 1,96 | 1.96 |
| 21/05/2009 | 139 | 7 | A 0 | 42.00 | 7.00 | | | 5,6 | 0.35 | 1,96 | 1.96 |
| 22/05/2009 | 140 | 8 | | 7.00 | 8.00 | | | 6,4 | 0.35 | 2,24 | 2.24 |
| 23/05/2009 | 141 | 9 | | 15.00 | 7.00 | | | 5,6 | 0.35 | 1,96 | 1.96 |
| 24/05/2009 | 142 | 10 | | 22.00 | 8.00 | | | 6,4 | 0.35 | 2,24 | 2.24 |
| 25/05/2009 | 143 | 11 | A | 30.00 | 6.00 | 1.20 | 0.96 | 4,8 | 0.35 | 1,68 | 2.64 |
| 26/05/2009 | 144 | 12 | | 36.00 | 5.00 | | | 4 | 0.35 | 1,4 | 1.4 |
| 27/05/2009 | 145 | 13 | | 41.00 | 7.00 | | | 5,6 | 0.35 | 1,96 | 1.96 |
| 28/05/2009 | 146 | 14 | 0 | 48.00 | 6.00 | | | 4,8 | 0.35 | 1,68 | 1.68 |
| 29/05/2009 | 147 | 15 | A | 6.00 | 4.00 | 1.60 | 1.28 | 3,2 | 0.35 | 1,12 | 2.4 |
| 30/05/2009 | 148 | 16 | | 10.00 | 5.00 | | | 4 | 0.35 | 1,4 | 1.4 |
| 31/05/2009 | 149 | 17 | | 15.00 | 4.00 | 13.20 | 10.56 | 3,2 | 0.35 | 1,12 | 11.68 |
| 01/06/2009 | 150 | 18 | | 19.00 | 5.00 | | | 4 | 0.35 | 1,4 | 1.4 |
| 02/06/2009 | 151 | 19 | | 24.00 | 6.00 | | | 4,8 | 0.35 | 1,68 | 1.68 |
| 03/06/2009 | 152 | 20 | | 30.00 | 6.00 | | | 4,8 | 1.15 | 5,52 | 5.52 |
| 04/06/2009 | 153 | 21 | A | 36.00 | 6.00 | | | 4,8 | 1.15 | 5,52 | 5.52 |
| 05/06/2009 | 154 | 22 | | 42.00 | 6.00 | | | 4,8 | 1.15 | 5,52 | 5.52 |
| 06/06/2009 | 155 | 23 | 0 | 48.00 | 7.00 | | | 5,6 | 1.15 | 6,44 | 6.44 |

Πίνακας 11. Υπολογισμός των καθαρών αναγκών σε νερό και της εξατμισοδιαπνοής της καλλιέργειας.

| Ημερομηνία | Ημέρες από 01/01/09 | Ημέρες από τη σπορά 14/05/09 | Πλήρωση Εξατιμτρου mm | Ημερήσια ένδειξη mm | Διαφορά ημέρας Epan mm | Βροχή B mm | Ωφέλιμη βροχή ΩB = 0.8*B mm | Εξατμισοδιαπνοή αναφοράς Eo mm | Kc | Καθαρές ανάγκες In = Eo*Kc mm | Εξατμισοδιαπνοή καλλιέργειας Etc = In+ΩB mm |
|------------|---------------------|------------------------------|-----------------------|---------------------|------------------------|------------|-----------------------------|--------------------------------|------|-------------------------------|---|
| 07/06/2009 | 156 | 24 | | 7.00 | 7.00 | | | 5.6 | 1.15 | 6.44 | 6.44 |
| 08/06/2009 | 157 | 25 | | 14.00 | 7.00 | | | 5.6 | 1.15 | 6.44 | 6.44 |
| 09/06/2009 | 158 | 26 | | 21.00 | 7.00 | | | 5.6 | 1.15 | 6.44 | 6.44 |
| 10/06/2009 | 159 | 27 | A | 28.00 | 7.00 | | | 5.6 | 1.15 | 6.44 | 6.44 |
| 11/06/2009 | 160 | 28 | | 35.00 | 7.00 | | | 5.6 | 1.15 | 6.44 | 6.44 |
| 12/06/2009 | 161 | 29 | | 42.00 | 7.00 | | | 5.6 | 1.15 | 6.44 | 6.44 |
| 13/06/2009 | 162 | 30 | 0 | 49.00 | 5.00 | | | 4 | 1.15 | 4.6 | 4.6 |
| 14/06/2009 | 163 | 31 | | 5.00 | 6.00 | | | 4.8 | 1.15 | 5.52 | 5.52 |
| 15/06/2009 | 164 | 32 | | 11.00 | 7.00 | | | 5.6 | 1.15 | 6.44 | 6.44 |
| 16/06/2009 | 165 | 33 | A | 18.00 | 6.00 | | | 4.8 | 1.15 | 5.52 | 5.52 |
| 17/06/2009 | 166 | 34 | | 24.00 | 7.00 | | | 5.6 | 1.15 | 6.44 | 6.44 |
| 18/06/2009 | 167 | 35 | | 31.00 | 6.00 | | | 4.8 | 1.15 | 5.52 | 5.52 |
| 19/06/2009 | 168 | 36 | A | 37.00 | 6.00 | | | 4.8 | 1.15 | 5.52 | 5.52 |
| 20/06/2009 | 169 | 37 | | 43.00 | 5.00 | | | 4 | 1.15 | 4.6 | 4.6 |
| 21/06/2009 | 170 | 38 | | 48.00 | 5.00 | | | 4 | 1.15 | 4.6 | 4.6 |
| 22/06/2009 | 171 | 39 | A 0 | 53.00 | 8.00 | | | 6.4 | 1.15 | 7.36 | 7.36 |
| 23/06/2009 | 172 | 40 | | 8.00 | 6.00 | | | 4.8 | 1.15 | 5.52 | 5.52 |
| 24/06/2009 | 173 | 41 | | 14.00 | 8.00 | | | 6.4 | 1.15 | 7.36 | 7.36 |
| 25/06/2009 | 174 | 42 | | 22.00 | 5.00 | | | 4 | 1.15 | 4.6 | 4.6 |
| 26/06/2009 | 175 | 43 | | 27.00 | 6.00 | | | 4.8 | 1.15 | 5.52 | 5.52 |
| 27/06/2009 | 176 | 44 | A | 33.00 | 6.00 | | | 4.8 | 1.15 | 5.52 | 5.52 |
| 28/06/2009 | 177 | 45 | | 39.00 | 3.00 | 9.00 | 7.2 | 2.4 | 1.15 | 2.76 | 9.96 |
| 29/06/2009 | 178 | 46 | | 42.00 | 5.00 | | | 4 | 1.15 | 4.6 | 4.6 |
| 30/06/2009 | 179 | 47 | A 0 | 47.00 | 6.00 | 21.70 | 17.36 | 4.8 | 1.15 | 5.52 | 22.88 |

Πίνακας 11. Υπολογισμός των καθαρών αναγκών σε νερό και της εξατμισοδιαπνοής της καλλιέργειας (Συνέχεια).

| Ημερομηνία | Ημέρες από 01/01/09 | Ημέρες από τη σπορά 14/05/09 | Πλήρωση Εξατμ/τρου mm | Ημερήσια ένδειξη mm | Διαφορά ημέρας Epan mm | Βροχή B mm | Ωφέλιμη βροχή ΩB = 0.8*B mm | Εξατμισοδιαπνοή αναφοράς Eo mm | Kc | Καθαρές ανάγκες In = Eo*Kc mm | Εξατμισοδιαπνοή καλλιέργειας Etc = In+ΩB mm |
|------------|---------------------|------------------------------|-----------------------|---------------------|------------------------|------------|-----------------------------|--------------------------------|------|-------------------------------|---|
| 01/07/2009 | 180 | 48 | | 6.00 | 5.00 | | | 4 | 1.15 | 4.6 | 4.6 |
| 02/07/2009 | 181 | 49 | | 11.00 | 6.00 | | | 4.8 | 1.15 | 5.52 | 5.52 |
| 03/07/2009 | 182 | 50 | A | 17.00 | 7.00 | | | 5.6 | 1.15 | 6.44 | 6.44 |
| 04/07/2009 | 183 | 51 | | 24.00 | 6.00 | | | 4.8 | 1.15 | 5.52 | 5.52 |
| 05/07/2009 | 184 | 52 | | 30.00 | 5.00 | | | 4 | 1.15 | 4.6 | 4.6 |
| 06/07/2009 | 185 | 53 | | 35.00 | 4.00 | 16.00 | 12.8 | 3.2 | 1.15 | 3.68 | 16.48 |
| 07/07/2009 | 186 | 54 | 0 | 39.00 | 7.00 | | | 5.6 | 1.15 | 6.44 | 6.44 |
| 08/07/2009 | 187 | 55 | A | 7.00 | 9.00 | | | 7.2 | 1.15 | 8.28 | 8.28 |
| 09/07/2009 | 188 | 56 | | 16.00 | 7.00 | | | 5.6 | 1.15 | 6.44 | 6.44 |
| 10/07/2009 | 189 | 57 | A | 23.00 | 9.00 | | | 7.2 | 1.15 | 8.28 | 8.28 |
| 11/07/2009 | 190 | 58 | | 32.00 | 9.00 | | | 7.2 | 1.15 | 8.28 | 8.28 |
| 12/07/2009 | 191 | 59 | | 41.00 | 9.00 | | | 7.2 | 1.15 | 8.28 | 8.28 |
| 13/07/2009 | 192 | 60 | A 0 | 50.00 | 6.00 | | | 4.8 | 1.15 | 5.52 | 5.52 |
| 14/07/2009 | 193 | 61 | | 6.00 | 7.00 | | | 5.6 | 1.15 | 6.44 | 6.44 |
| 15/07/2009 | 194 | 62 | A | 13.00 | 9.00 | | | 7.2 | 1.15 | 8.28 | 8.28 |
| 16/07/2009 | 195 | 63 | | 22.00 | 9.00 | | | 7.2 | 1.15 | 8.28 | 8.28 |
| 17/07/2009 | 196 | 64 | A | 31.00 | 7.00 | | | 5.6 | 1.15 | 6.44 | 6.44 |
| 18/07/2009 | 197 | 65 | | 38.00 | 9.00 | | | 7.2 | 1.15 | 8.28 | 8.28 |
| 19/07/2009 | 198 | 66 | | 47.00 | 9.00 | | | 7.2 | 1.15 | 8.28 | 8.28 |
| 20/07/2009 | 199 | 67 | A 0 | 56.00 | 8.00 | | | 6.4 | 1.15 | 7.36 | 7.36 |
| 21/07/2009 | 200 | 68 | | 8.00 | 9.00 | | | 7.2 | 1.15 | 8.28 | 8.28 |
| 22/07/2009 | 201 | 69 | A | 17.00 | 9.00 | | | 7.2 | 1.15 | 8.28 | 8.28 |
| 23/07/2009 | 202 | 70 | | 25.00 | 9.00 | | | 7.2 | 1.15 | 8.28 | 8.28 |
| 24/07/2009 | 203 | 71 | A | 34.00 | 7.00 | | | 5.6 | 1.15 | 6.44 | 6.44 |

Πίνακας 11. Υπολογισμός των καθαρών αναγκών σε νερό και της εξατμισοδιαπνοής της καλλιέργειας (Συνέχεια).

| Ημερομηνία | Ημέρες από 01/01/09 | Ημέρες από τη σπορά 14/05/09 | Πλήρωση Εξατμτρού mm | Ημερήσια ένδειξη mm | Διαφορά ημέρας Epan mm | Βροχή B mm | Ωφέλιμη βροχή ΩB = 0.8*B mm | Εξατμισοδιαπνοή αναφοράς Eo mm | Kc | Καθαρές ανάγκες In = Eo*Kc mm | Εξατμισοδιαπνοή καλλιέργειας Etc = In+ΩB mm |
|------------|---------------------|------------------------------|----------------------|---------------------|------------------------|------------|-----------------------------|--------------------------------|------|-------------------------------|---|
| 25/07/2009 | 204 | 72 | | 41.00 | 10.00 | | | 8 | 1.15 | 9.2 | 9.2 |
| 26/07/2009 | 205 | 73 | | 51.00 | 10.00 | | | 8 | 1.15 | 9.2 | 9.2 |
| 27/07/2009 | 206 | 74 | A 0 | 61.00 | 6.00 | | | 4.8 | 1.15 | 5.52 | 5.52 |
| 28/07/2009 | 207 | 75 | | 6.00 | 5.00 | | | 4 | 1.15 | 4.6 | 4.6 |
| 29/07/2009 | 208 | 76 | | 11.00 | 8.00 | | | 6.4 | 1.15 | 7.36 | 7.36 |
| 30/07/2009 | 209 | 77 | | 19.00 | 8.00 | | | 6.4 | 1.15 | 7.36 | 7.36 |
| 31/07/2009 | 210 | 78 | A | 27.00 | 7.00 | | | 5.6 | 1.15 | 6.44 | 6.44 |
| 01/08/2009 | 211 | 79 | | 34.00 | 9.00 | | | 7.2 | 1.15 | 8.28 | 8.28 |
| 02/08/2009 | 212 | 80 | | 43.00 | 10.00 | | | 8 | 1.15 | 9.2 | 9.2 |
| 03/08/2009 | 213 | 81 | A 0 | 53.00 | 8.00 | | | 6.4 | 1.15 | 7.36 | 7.36 |
| 04/08/2009 | 214 | 82 | | 8.00 | 9.00 | | | 7.2 | 1.15 | 8.28 | 8.28 |
| 05/08/2009 | 215 | 83 | A | 17.00 | 8.00 | | | 6.4 | 1.15 | 7.36 | 7.36 |
| 06/08/2009 | 216 | 84 | | 25.00 | 7.00 | | | 5.6 | 1.15 | 6.44 | 6.44 |
| 07/08/2009 | 217 | 85 | A | 32.00 | 7.00 | | | 5.6 | 1.15 | 6.44 | 6.44 |
| 08/08/2009 | 218 | 86 | | 39.00 | 7.00 | | | 5.6 | 1.15 | 6.44 | 6.44 |
| 09/08/2009 | 219 | 87 | | 46.00 | 6.00 | | | 4.8 | 1.15 | 5.52 | 5.52 |
| 10/08/2009 | 220 | 88 | A 0 | 52.00 | 7.00 | | | 5.6 | 1.15 | 6.44 | 6.44 |
| 11/08/2009 | 221 | 89 | | 7.00 | 5.00 | 10.00 | 8 | 4 | 1.15 | 4.6 | 12.6 |
| 12/08/2009 | 222 | 90 | 0 | 12.00 | 5.00 | | | 4 | 1.15 | 4.6 | 4.6 |
| 13/08/2009 | 223 | 91 | | 5.00 | 5.00 | | | 4 | 1.15 | 4.6 | 4.6 |
| 14/08/2009 | 224 | 92 | A | 10.00 | 7.00 | | | 5.6 | 1.15 | 6.44 | 6.44 |
| 15/08/2009 | 225 | 93 | | 17.00 | 7.00 | | | 5.6 | 1.15 | 6.44 | 6.44 |
| 16/08/2009 | 226 | 94 | | 24.00 | 7.00 | | | 5.6 | 1.15 | 6.44 | 6.44 |
| 17/08/2009 | 227 | 95 | A | 31.00 | 7.00 | | | 5.6 | 1.15 | 6.44 | 6.44 |

Πίνακας 11. Υπολογισμός των καθαρών αναγκών σε νερό και της εξατμισοδιαπνοής της καλλιέργειας (Συνέχεια).

| Ημερομηνία | Ημέρες από 01/01/09 | Ημέρες από τη σπορά 14/05/09 | Πλήρωση Εξατμτρού mm | Ημερήσια ένδειξη mm | Διαφορά ημέρας Epan mm | Βροχή B mm | Ωφέλιμη βροχή ΩB = 0.8*B mm | Εξατμισοδιαπνοή αναφοράς Eo mm | Kc | Καθαρές ανάγκες In = Eo*Kc mm | Εξατμισοδιαπνοή καλλιέργειας Etc = In+ΩB mm |
|------------|---------------------|------------------------------|----------------------|---------------------|------------------------|------------|-----------------------------|--------------------------------|------|-------------------------------|---|
| 18/08/2009 | 228 | 96 | | 38.00 | 6.00 | | | 4.8 | 1.15 | 5.52 | 5.52 |
| 19/08/2009 | 229 | 97 | A | 44.00 | 6.00 | | | 4.8 | 1.15 | 5.52 | 5.52 |
| 20/08/2009 | 230 | 98 | 0 | 50.00 | 9.00 | | | 7.2 | 1.15 | 8.28 | 8.28 |
| 21/08/2009 | 231 | 99 | A | 9.00 | 7.00 | | | 5.6 | 1.15 | 6.44 | 6.44 |
| 22/08/2009 | 232 | 100 | | 16.00 | 7.00 | | | 5.6 | 1.15 | 6.44 | 6.44 |
| 23/08/2009 | 233 | 101 | | 23.00 | 6.00 | | | 4.8 | 1.15 | 5.52 | 5.52 |
| 24/08/2009 | 234 | 102 | A | 29.00 | 7.00 | | | 5.6 | 1.15 | 6.44 | 6.44 |
| 25/08/2009 | 235 | 103 | | 36.00 | 6.00 | | | 4.8 | 1.15 | 5.52 | 5.52 |
| 26/08/2009 | 236 | 104 | A | 42.00 | 7.00 | | | 5.6 | 1.15 | 6.44 | 6.44 |
| 27/08/2009 | 237 | 105 | 0 | 49.00 | 6.00 | | | 4.8 | 1.15 | 5.52 | 5.52 |
| 28/08/2009 | 238 | 106 | A | 6.00 | 6.00 | | | 4.8 | 1.15 | 5.52 | 5.52 |
| 29/08/2009 | 239 | 107 | | 12.00 | 7.00 | | | 5.6 | 1.15 | 6.44 | 6.44 |
| 30/08/2009 | 240 | 108 | | 19.00 | 7.00 | | | 5.6 | 1.15 | 6.44 | 6.44 |
| 31/08/2009 | 241 | 109 | A 0 | 26.00 | 6.00 | | | 4.8 | 1.15 | 5.52 | 5.52 |
| 01/09/2009 | 242 | 110 | | 6.00 | 5.00 | | | 4 | 0.35 | 1.4 | 1.4 |
| 02/09/2009 | 243 | 111 | A | 11.00 | 6.00 | | | 4.8 | 0.35 | 1.68 | 1.68 |
| 03/09/2009 | 244 | 112 | | 17.00 | 6.00 | | | 4.8 | 0.35 | 1.68 | 1.68 |
| 04/09/2009 | 245 | 113 | A | 23.00 | 7.00 | | | 5.6 | 0.35 | 1.96 | 1.96 |
| 05/09/2009 | 246 | 114 | | 30.00 | 7.00 | | | 5.6 | 0.35 | 1.96 | 1.96 |
| 06/09/2009 | 247 | 115 | | 37.00 | 4.00 | 12.50 | 10 | 3.2 | 0.35 | 1.12 | 11.12 |
| 07/09/2009 | 248 | 116 | 0 | 41.00 | 6.00 | | | 4.8 | 0.35 | 1.68 | 1.68 |
| 08/09/2009 | 249 | 117 | | 6.00 | 5.00 | | | 4 | 0.35 | 1.4 | 1.4 |
| 09/09/2009 | 250 | 118 | | 10.00 | 4.00 | | | 3.2 | 0.35 | 1.12 | 1.12 |
| 10/09/2009 | 251 | 119 | | 14.00 | 4.00 | 50.80 | 40.64 | 3.2 | 0.35 | 1.12 | 41.76 |

Πίνακας 11. Υπολογισμός των καθαρών αναγκών σε νερό και της εξατμισοδιαπνοής της καλλιέργειας (Συνέχεια).

| Ημερομηνία | Ημέρες από 01/01/09 | Ημέρες από τη σπορά 14/05/09 | Πλήρωση Εξατιπτρου mm | Ημερήσια ένδειξη mm | Διαφορά ημέρας Epan mm | Βροχή B mm | Ωφέλιμη βροχή ΩB = 0.8*B mm | Εξατιμσοδιαπνοή αναφοράς Eo mm | Kc | Καθαρές ανάγκες In = Eo*Kc mm | Εξατιμσοδιαπνοή καλλιέργειας Etc = In+ΩB mm |
|---------------|---------------------|------------------------------|-----------------------|---------------------|------------------------|---------------|-----------------------------|--------------------------------|------|-------------------------------|---|
| 11/09/2009 | 252 | 120 | | 18.00 | 1.00 | | | 0.8 | 0.35 | 0.28 | 0.28 |
| 12/09/2009 | 253 | 121 | | 19.00 | 1.00 | | | 0.8 | 0.35 | 0.28 | 0.28 |
| 13/09/2009 | 254 | 122 | | 20.00 | 5.00 | | | 4 | 0.35 | 1.4 | 1.4 |
| 14/09/2009 | 255 | 123 | | 25.00 | 4.00 | | | 3.2 | 0.35 | 1.12 | 1.12 |
| 15/09/2009 | 256 | 124 | | 29.00 | 4.00 | 20.00 | 16 | 3.2 | 0.35 | 1.12 | 17.12 |
| 16/09/2009 | 257 | 125 | | 33.00 | 5.00 | | | 4 | 0.35 | 1.4 | 1.4 |
| 17/09/2009 | 258 | 126 | | 38.00 | 4.00 | | | 3.2 | 0.35 | 1.12 | 1.12 |
| 18/09/2009 | 259 | 127 | 0 | 42.00 | 3.00 | | | 2.4 | 0.35 | 0.84 | 0.84 |
| 19/09/2009 | 260 | 128 | | 3.00 | 2.00 | | | 1.6 | 0.35 | 0.56 | 0.56 |
| 20/09/2009 | 261 | 129 | | 5.00 | 2.00 | 1.00 | 0.8 | 1.6 | 0.35 | 0.56 | 1.36 |
| 21/09/2009 | 262 | 130 | | 7.00 | 3.00 | | | 2.4 | 0.35 | 0.84 | 0.84 |
| 22/09/2009 | 263 | 131 | 0 | 10.00 | 3.00 | | | 2.4 | 0.35 | 0.84 | 0.84 |
| 23/09/2009 | 264 | 132 | | 13.00 | 3.00 | | | 2.4 | 0.35 | 0.84 | 0.84 |
| 24/09/2009 | 265 | 133 | | 16.00 | 3.00 | 0.35 | 0.28 | 2.4 | 0.35 | 0.84 | 1.12 |
| 25/09/2009 | 266 | 134 | | 19.00 | 3.00 | | | 2.4 | 0.35 | 0.84 | 0.84 |
| 26/09/2009 | 267 | 135 | | 22.00 | 3.00 | | | 2.4 | 0.35 | 0.84 | 0.84 |
| ΣΥΝΟΛΟ | | | | | | 157.35 | 125.88 | | | 635.17 | 761.05 |

Πίνακας 11. Υπολογισμός των καθαρών αναγκών σε νερό και της εξατιμσοδιαπνοής της καλλιέργειας (Συνέχεια).

| Ημερομηνία | Ημέρες από 01/01/09 | Καθαρές ανάγκες In mm | Αθροισμα καθαρών αναγκών mm | Δόση άρδευσης | | n St/(2*Se) | Idh (q*n)/(St*S) | Διάρκεια άρδευσης για 1 στρ. h | Διάρκεια άρδευσης για τα 20m ² h |
|------------|---------------------|-----------------------|-----------------------------|---------------------------|----------------------------------|-------------|------------------|--------------------------------|---|
| | | | | mm ή m ³ /στρ. | m ³ /20m ² | | | | |
| 14/05/2009 | 132 | 2.45 | | | | | | | |
| 15/05/2009 | 133 | 1.68 | 4.13 | | | | | | |
| 16/05/2009 | 134 | 1.4 | | 4.13 | 0.0826 | 0.12 | 3.86 | 1.0699482 | 0.021399 |
| 17/05/2009 | 135 | 1.12 | 2.52 | | | | | | |
| 18/05/2009 | 136 | 1.68 | | 2.52 | 0.0504 | 0.12 | 3.86 | 0.6528497 | 0.013057 |
| 19/05/2009 | 137 | 1.96 | | | | | | | |
| 20/05/2009 | 138 | 1.96 | 5.6 | | | | | | |
| 21/05/2009 | 139 | 1.96 | | 5.6 | 0.112 | 0.12 | 3.86 | 1.4507772 | 0.0290155 |
| 22/05/2009 | 140 | 2.24 | 4.2 | | | | | | |
| 23/05/2009 | 141 | 1.96 | | 4.2 | 0.084 | 0.12 | 3.86 | 1.0880829 | 0.0217617 |
| 24/05/2009 | 142 | 2.24 | 4.2 | | | | | | |
| 25/05/2009 | 143 | 1.68 | | 4.2 | 0.084 | 0.12 | 3.86 | 1.0880829 | 0.0217617 |
| 26/05/2009 | 144 | 1.4 | | | | | | | |
| 27/05/2009 | 145 | 1.96 | 5.04 | | | | | | |
| 28/05/2009 | 146 | 1.68 | | 5.04 | 0.1008 | 0.12 | 3.86 | 1.3056995 | 0.026114 |
| 29/05/2009 | 147 | 1.12 | | | | | | | |
| 30/05/2009 | 148 | 1.4 | | | | | | | |
| 31/05/2009 | 149 | 1.12 | 5.32 | | | | | | |
| 01/06/2009 | 150 | 1.4 | | 5.32 | 0.1064 | 0.12 | 3.86 | 1.3782383 | 0.0275648 |
| 02/06/2009 | 151 | 1.68 | | | | | | | |
| 03/06/2009 | 152 | 5.52 | 8.6 | | | | | | |
| 04/06/2009 | 153 | 5.52 | | 8.6 | 0.172 | 0.12 | 3.86 | 2.2279793 | 0.0445596 |
| 05/06/2009 | 154 | 5.52 | 11.04 | | | | | | |
| 06/06/2009 | 155 | 6.44 | | 11.04 | 0.2208 | 0.12 | 3.86 | 2.8601036 | 0.0572021 |
| 07/06/2009 | 156 | 6.44 | 12.88 | | | | | | |
| 08/06/2009 | 157 | 6.44 | | 12.88 | 0.2576 | 0.12 | 3.86 | 3.3367876 | 0.0667358 |
| 09/06/2009 | 158 | 6.44 | | | | | | | |
| 10/06/2009 | 159 | 6.44 | 19.32 | | | | | | |
| 11/06/2009 | 160 | 6.44 | | 19.32 | 0.3864 | 0.12 | 3.86 | 5.0051813 | 0.1001036 |
| 12/06/2009 | 161 | 6.44 | 12.88 | | | | | | |
| 13/06/2009 | 162 | 4.6 | | 12.88 | 0.2576 | 0.12 | 3.86 | 3.3367876 | 0.0667358 |
| 14/06/2009 | 163 | 5.52 | 10.12 | | | | | | |
| 15/06/2009 | 164 | 6.44 | | 10.12 | 0.2024 | 0.12 | 3.86 | 2.6217617 | 0.0524352 |
| 16/06/2009 | 165 | 5.52 | | | | | | | |
| 17/06/2009 | 166 | 6.44 | 18.4 | | | | | | |
| 18/06/2009 | 167 | 5.52 | | 18.4 | 0.368 | 0.12 | 3.86 | 4.7668394 | 0.0953368 |
| 19/06/2009 | 168 | 5.52 | 11.04 | | | | | | |
| 20/06/2009 | 169 | 4.6 | | 11.04 | 0.2208 | 0.12 | 3.86 | 2.8601036 | 0.0572021 |
| 21/06/2009 | 170 | 4.6 | 9.2 | | | | | | |
| 22/06/2009 | 171 | 7.36 | | 9.2 | 0.184 | 0.12 | 3.86 | 2.3834197 | 0.0476684 |
| 23/06/2009 | 172 | 5.52 | | | | | | | |
| 24/06/2009 | 173 | 7.36 | 20.24 | | | | | | |
| 25/06/2009 | 174 | 4.6 | | 20.24 | 0.4048 | 0.12 | 3.86 | 5.2435233 | 0.1048705 |
| 26/06/2009 | 175 | 5.52 | 10.12 | | | | | | |
| 27/06/2009 | 176 | 5.52 | | 10.12 | 0.2024 | 0.12 | 3.86 | 2.6217617 | 0.0524352 |
| 28/06/2009 | 177 | 2.76 | 8.28 | | | | | | |

Πίνακας 12. Δόσεις και διάρκεια των αρδευτικών εφαρμογών για την καλλιέργεια του ηλιάνθου στο σύνολο του πειράματος.

| Ημερομηνία | Ημέρες από 01/01/09 | Καθαρές ανάγκες In mm | Άθροισμα καθαρών αναγκών mm | Δόση άρδευσης | | n St/(2*Se) | Idh (q*n)/(St*S) | Διάρκεια άρδευσης για 1 στρ. h | Διάρκεια άρδευσης για τα 20m ² h |
|------------|---------------------|-----------------------|-----------------------------|---------------------------|----------------------------------|-------------|------------------|--------------------------------|---|
| | | | | mm ή m ³ /στρ. | m ³ /20m ² | | | | |
| 29/06/2009 | 178 | 4.6 | | 8.28 | 0.1656 | 0.12 | 3.86 | 2.1450777 | 0.0429016 |
| 30/06/2009 | 179 | 5.52 | | | | | | | |
| 01/07/2009 | 180 | 4.6 | 14.72 | | | | | | |
| 02/07/2009 | 181 | 5.52 | | 14.72 | 0.2944 | 0.12 | 3.86 | 3.8134715 | 0.0762694 |
| 03/07/2009 | 182 | 6.44 | 11.96 | | | | | | |
| 04/07/2009 | 183 | 5.52 | | 11.96 | 0.2392 | 0.12 | 3.86 | 3.0984456 | 0.0619689 |
| 05/07/2009 | 184 | 4.6 | 10.12 | | | | | | |
| 06/07/2009 | 185 | 3.68 | | 10.12 | 0.2024 | 0.12 | 3.86 | 2.6217617 | 0.0524352 |
| 07/07/2009 | 186 | 6.44 | | | | | | | |
| 08/07/2009 | 187 | 8.28 | 18.4 | | | | | | |
| 09/07/2009 | 188 | 6.44 | | 18.4 | 0.368 | 0.12 | 3.86 | 4.7668394 | 0.0953368 |
| 10/07/2009 | 189 | 8.28 | 14.72 | | | | | | |
| 11/07/2009 | 190 | 8.28 | | 14.72 | 0.2944 | 0.12 | 3.86 | 3.8134715 | 0.0762694 |
| 12/07/2009 | 191 | 8.28 | 16.56 | | | | | | |
| 13/07/2009 | 192 | 5.52 | | 16.56 | 0.3312 | 0.12 | 3.86 | 4.2901554 | 0.0858031 |
| 14/07/2009 | 193 | 6.44 | | | | | | | |
| 15/07/2009 | 194 | 8.28 | 20.24 | | | | | | |
| 16/07/2009 | 195 | 8.28 | | 20.24 | 0.4048 | 0.12 | 3.86 | 5.2435233 | 0.1048705 |
| 17/07/2009 | 196 | 6.44 | 14.72 | | | | | | |
| 18/07/2009 | 197 | 8.28 | | 14.72 | 0.2944 | 0.12 | 3.86 | 3.8134715 | 0.0762694 |
| 19/07/2009 | 198 | 8.28 | 16.56 | | | | | | |
| 20/07/2009 | 199 | 7.36 | | 16.56 | 0.3312 | 0.12 | 3.86 | 4.2901554 | 0.0858031 |
| 21/07/2009 | 200 | 8.28 | | | | | | | |
| 22/07/2009 | 201 | 8.28 | 23.92 | | | | | | |
| 23/07/2009 | 202 | 8.28 | | 23.92 | 0.4784 | 0.12 | 3.86 | 6.1968912 | 0.1239378 |
| 24/07/2009 | 203 | 6.44 | 14.72 | | | | | | |
| 25/07/2009 | 204 | 9.2 | | 14.72 | 0.2944 | 0.12 | 3.86 | 3.8134715 | 0.0762694 |
| 26/07/2009 | 205 | 9.2 | 18.4 | | | | | | |
| 27/07/2009 | 206 | 5.52 | | 18.4 | 0.368 | 0.12 | 3.86 | 4.7668394 | 0.0953368 |
| 28/07/2009 | 207 | 4.6 | | | | | | | |
| 29/07/2009 | 208 | 7.36 | 17.48 | | | | | | |
| 30/07/2009 | 209 | 7.36 | | 17.48 | 0.3496 | 0.12 | 3.86 | 4.5284974 | 0.0905699 |
| 31/07/2009 | 210 | 6.44 | 13.8 | | | | | | |
| 01/08/2009 | 211 | 8.28 | | 13.8 | 0.276 | 0.12 | 3.86 | 3.5751295 | 0.0715026 |
| 02/08/2009 | 212 | 9.2 | 17.48 | | | | | | |
| 03/08/2009 | 213 | 7.36 | | 17.48 | 0.3496 | 0.12 | 3.86 | 4.5284974 | 0.0905699 |
| 04/08/2009 | 214 | 8.28 | | | | | | | |
| 05/08/2009 | 215 | 7.36 | 23 | | | | | | |
| 06/08/2009 | 216 | 6.44 | | 23 | 0.46 | 0.12 | 3.86 | 5.9585492 | 0.119171 |
| 07/08/2009 | 217 | 6.44 | 12.88 | | | | | | |
| 08/08/2009 | 218 | 6.44 | | 12.88 | 0.2576 | 0.12 | 3.86 | 3.3367876 | 0.0667358 |
| 09/08/2009 | 219 | 5.52 | 11.96 | | | | | | |
| 10/08/2009 | 220 | 6.44 | | 11.96 | 0.2392 | 0.12 | 3.86 | 3.0984456 | 0.0619689 |
| 11/08/2009 | 221 | 4.6 | | | | | | | |
| 12/08/2009 | 222 | 4.6 | 15.64 | | | | | | |
| 13/08/2009 | 223 | 4.6 | | 15.64 | 0.3128 | 0.12 | 3.86 | 4.0518135 | 0.0810363 |

Πίνακας 12. Δόσεις και διάρκεια των αρδευτικών εφαρμογών για την καλλιέργεια του ηλιάνθου στο σύνολο του πειράματος (Συνέχεια).

| Ημερομηνία | Ημέρες από 01/01/09 | Καθαρές ανάγκες In mm | Αθροισμα καθαρών αναγκών mm | Δόση άρδευσης | | n St/(2*Se) | Idh (q*n)/(St*S) | Διάρκεια άρδευσης για 1 στρ. h | Διάρκεια άρδευσης για τα 20m ² h |
|---------------|---------------------|-----------------------|-----------------------------|---------------------------|----------------------------------|-------------|------------------|--------------------------------|---|
| | | | | mm ή m ³ /στρ. | m ³ /20m ² | | | | |
| 14/08/2009 | 224 | 6.44 | 11.04 | | | | | | |
| 15/08/2009 | 225 | 6.44 | | 11.04 | 0.2208 | 0.12 | 3.86 | 2.8601036 | 0.0572021 |
| 16/08/2009 | 226 | 6.44 | 12.88 | | | | | | |
| 17/08/2009 | 227 | 6.44 | | 12.88 | 0.2576 | 0.12 | 3.86 | 3.3367876 | 0.0667358 |
| 18/08/2009 | 228 | 5.52 | | | | | | | |
| 19/08/2009 | 229 | 5.52 | 17.48 | | | | | | |
| 20/08/2009 | 230 | 8.28 | | 17.48 | 0.3496 | 0.12 | 3.86 | 4.5284974 | 0.0905699 |
| 21/08/2009 | 231 | 6.44 | 14.72 | | | | | | |
| 22/08/2009 | 232 | 6.44 | | 14.72 | 0.2944 | 0.12 | 3.86 | 3.8134715 | 0.0762694 |
| 23/08/2009 | 233 | 5.52 | 11.96 | | | | | | |
| 24/08/2009 | 234 | 6.44 | | 11.96 | 0.2392 | 0.12 | 3.86 | 3.0984456 | 0.0619689 |
| 25/08/2009 | 235 | 5.52 | | | | | | | |
| 26/08/2009 | 236 | 6.44 | 18.4 | | | | | | |
| 27/08/2009 | 237 | 5.52 | | 18.4 | 0.368 | 0.12 | 3.86 | 4.7668394 | 0.0953368 |
| 28/08/2009 | 238 | 5.52 | 11.04 | | | | | | |
| 29/08/2009 | 239 | 6.44 | | 11.04 | 0.2208 | 0.12 | 3.86 | 2.8601036 | 0.0572021 |
| 30/08/2009 | 240 | 6.44 | 12.88 | | | | | | |
| 31/08/2009 | 241 | 5.52 | | 12.88 | 0.2576 | 0.12 | 3.86 | 3.3367876 | 0.0667358 |
| 01/09/2009 | 242 | 1.4 | | | | | | | |
| 02/09/2009 | 243 | 1.68 | 8.6 | | | | | | |
| 03/09/2009 | 244 | 1.68 | | 8.6 | 0.172 | 0.12 | 3.86 | 2.2279793 | 0.0445596 |
| 04/09/2009 | 245 | 1.96 | 3.64 | | | | | | |
| 05/09/2009 | 246 | 1.96 | | 3.64 | 0.0728 | 0.12 | 3.86 | 0.9430052 | 0.0188601 |
| 06/09/2009 | 247 | 1.12 | 3.08 | | | | | | |
| 07/09/2009 | 248 | 1.68 | | 3.08 | 0.0616 | 0.12 | 3.86 | 0.7979275 | 0.0159585 |
| 08/09/2009 | 249 | 1.4 | | | | | | | |
| 09/09/2009 | 250 | 1.12 | 4.2 | | | | | | |
| 10/09/2009 | 251 | 1.12 | | 4.2 | 0.084 | 0.12 | 3.86 | 1.0880829 | 0.0217617 |
| 11/09/2009 | 252 | 0.28 | 1.4 | | | | | | |
| 12/09/2009 | 253 | 0.28 | | 1.4 | 0.028 | 0.12 | 3.86 | 0.3626943 | 0.0072539 |
| 13/09/2009 | 254 | 1.4 | 1.68 | | | | | | |
| 14/09/2009 | 255 | 1.12 | | 1.68 | 0.0336 | 0.12 | 3.86 | 0.4352332 | 0.0087047 |
| 15/09/2009 | 256 | 1.12 | | | | | | | |
| 16/09/2009 | 257 | 1.4 | 3.64 | | | | | | |
| 17/09/2009 | 258 | 1.12 | | 3.64 | 0.0728 | 0.12 | 3.86 | 0.9430052 | 0.0188601 |
| 18/09/2009 | 259 | 0.84 | 1.96 | | | | | | |
| 19/09/2009 | 260 | 0.56 | | 1.96 | 0.0392 | 0.12 | 3.86 | 0.507772 | 0.0101554 |
| 20/09/2009 | 261 | 0.56 | | | | | | | |
| ΣΥΝΟΛΟ | | 630.13 | 629.01 | 629.01 | 12.5802 | | | | |

Πίνακας 12. Δόσεις και διάρκεια των αρδευτικών εφαρμογών για την καλλιέργεια του ηλιάνθου στο σύνολο του πειράματος (Συνέχεια).

6.7 Άρδευση με επεξεργασμένα υγρά απόβλητα

Στις 23 Ιουλίου πραγματοποιήθηκε η πρώτη άρδευση με επεξεργασμένα υγρά απόβλητα στις μεταχειρίσεις (Εικόνα 17), οι οποίες ήταν προορισμένες να χρησιμοποιηθούν για το σκοπό αυτό. Στο σύνολο του πειράματος πραγματοποιήθηκαν 9 εφαρμογές, με την τελευταία να λαμβάνει χώρα στις 18 Σεπτεμβρίου. Η προέλευση των αποβλήτων ήταν από τη μονάδα βιολογικού καθαρισμού της πόλης του Βόλου, η οποία ιδρύθηκε το 1979 και εξυπηρετεί την ευρύτερη περιοχή. Η μονάδα μεταχειρίζεται μεγάλο όγκο λυμάτων κάθε χρόνο και διαθέτει εκτός των άλλων υποδομή για τριτοβάθμια επεξεργασία, ενώ δεν πραγματοποιεί απολύμανσή τους.



Εικόνα 17. Παραλαβή επεξεργασμένων υγρών αποβλήτων.

Για το λόγο αυτό ήταν αναμενόμενο η περιεκτικότητά των υγρών αποβλήτων σε θρεπτικά συστατικά όπως είναι το άζωτο, ο φώσφορος και το κάλιο να είναι μικρή. Με σκοπό τον καθορισμό των ποιοτικών χαρακτηριστικών των υγρών αποβλήτων, διεξήχθησαν χημικές αναλύσεις στις εγκαταστάσεις επεξεργασίας και οι παράμετροι που λήφθηκαν υπόψη ήταν το PH, η συγκέντρωση ιόντων χλωρίου Cl^- , τα αιωρούμενα στερεά (SS), το χημικά απαιτούμενο οξυγόνο (C.O.D.), ο ολικός φώσφορος ($P_{ολ}$), η ηλεκτρική αγωγιμότητα, καθώς επίσης και τα $N- NH_3$ και $N- NO_3$ (Πίνακας 13).

| Παράμετρος | PH (mg/l) | Cl ⁻ (mg/l) | SS (mg/l) | C.O.D. (mg/l) | N- NH ₃ (mg/l) | N- NO ₃ (mg/l) | P _{ολ.} | Αγωγιμότητα |
|-------------------|--------------|---------------------------|--------------|------------------|------------------------------|------------------------------|------------------|-------------|
| Ημερομηνία | | | | | | | | |
| 09/07/2009 | 8,17 | 1920 | 12 | 35,4 | 0,28 | 7,0 | 3,0 | - |
| 16/07/2009 | 8,26 | 1990 | 9 | 43,8 | 0,47 | 7,16 | 4,0 | - |
| 23/07/2009 | 8,19 | 2078 | 6,7 | 36,2 | 0,28 | - | 4,5 | - |
| 06/08/2009 | 8,25 | 2340 | 13,0 | 40,4 | 0,25 | 8,96 | 4,0 | - |
| 13/08/2009 | 8,22 | 2060 | 9,8 | 36,2 | 0,24 | - | 4,7 | - |
| 22/08/2009 | 8,14 | 1960 | 7,7 | 39,4 | 0,37 | 9,1 | 4,2 | - |
| 02/09/2009 | 8,05 | 1890 | 15,8 | 42,0 | 0,85 | - | 3,2 | - |
| 09/09/2009 | 8,07 | 2030 | 10,2 | - | 0,96 | - | 3,9 | - |
| 18/09/2009 | 8,02 | 1620 | 19 | 42,4 | 1,9 | 13,3 | 4,4 | - |
| Όρια ασφαλείας | 6,5-8,5 | 0-700 | 0-15 | 0-40 | | 0-10 | 0- 15 | 0-3 |

Πίνακας 13. Αποτελέσματα χημικών αναλύσεων των επεξεργασμένων υγρών αστικών αποβλήτων σε συνδυασμό με τις ημερομηνίες εφαρμογής τους στο πειραματικό τεμάχιο.

Από ανάλογες αναλύσεις που έγιναν από το Εργαστήριο Γεωργικής Υδραυλικής του Πανεπιστημίου Θεσσαλίας όσον αφορά τις παραπάνω παραμέτρους, καθώς επίσης και από τα αποτελέσματα των χημικών αναλύσεων του βιολογικού καθαρισμού, διαπιστώθηκε ότι τα επεξεργασμένα υγρά απόβλητα περιείχαν συγκεντρώσεις ιόντων χλωρίου σε υψηλά επίπεδα. Το γεγονός αυτό αποτελεί περιοριστικό παράγοντα όσον αφορά τη χρήση του λύματος για άρδευση και για το λόγο αυτό θεωρήθηκε σκόπιμη η εναλλαγή των αρδεύσεων με καθαρό νερό σε αναλογία 1 προς 2. Επιπλέον το Εργαστήριο Γεωργικής Υδραυλικής πραγματοποίησε χημικές αναλύσεις και των παραμέτρων του αρδευτικού καθαρού νερού που θα χρησιμοποιούνταν στις μεταχειρίσεις, το οποίο προέρχεται από την γεώτρηση του αγροκτήματος (Πίνακας 14).

| Παράμετρος | Μέση τιμή νερού γεώτρησης | Μέση τιμή αποβλήτων | Όρια ασφαλείας |
|--------------------------------------|---------------------------|---------------------|----------------|
| PH | 7,48 | 8,33 | 6,5-8,5 |
| Ηλεκτρική αγωγιμότητα (E.C., dS/m) | 0,58 | 3,3 | 0-3 |
| Αιωρούμενα στερεά (mg/l) | - | 9,8 | 0-15 |
| C.O.D. (mg/l) | - | 44,8 | 0-40 |
| B.O.D. (mg/l) | - | 17,1 | 0-15 |
| N-NO ₃ (mg/l) | 16,65 | 6,2 | 0-10 |
| N-NH ₄ (mg/l) | <1 | 1,4 | 0-30 |
| P (mg/l) | 0,5 | 4 | 0-15 |
| Fe (mg/l) | <1 | 0,303 | 0-20 |
| Cu (mg/l) | <1 | 0,011 | 0-5 |
| Zn (mg/l) | <1 | 0,058 | 0-10 |
| SO ₄ ²⁻ (mg/l) | 12,23 | - | 0-1000 |
| K (mg/l) | 1,33 | - | 0-2 |
| Ca ²⁺ (mg/l) | 30,9 | - | 0-400 |
| Mg ²⁺ (mg/l) | 28,15 | - | 0-60 |
| B (mg/l) | <1 | - | 0-10 |
| Mo (mg/l) | <1 | - | 0-0,05 |
| Mn (mg/l) | <1 | - | 0-10 |
| Na (mg/l) | 21,28 | - | 0-200 |
| Cl (mg/l) | 22,41 | 1468,4 | 0-700 |

Πίνακας 14. Παράμετροι στο καθαρό νερό και τα επεξεργασμένα υγρά απόβλητα.

Από τις αναλύσεις που έγιναν στις εγκαταστάσεις επεξεργασίας (Πίνακας 12), παρατηρείται ότι πέρα από την υψηλή περιεκτικότητά τους σε χλώριο σε γενικές γραμμές οι τιμές των υπολοίπων παραμέτρων του επεξεργασμένου λύματος κυμαίνονται εντός των ορίων ασφαλείας. Το γεγονός αυτό σε συνδυασμό με τη λήψη του μέτρου που αναφέρθηκε παραπάνω για τη μείωση της συγκέντρωσης χλωρίου, καθιστά τα επεξεργασμένα αστικά απόβλητα κατάλληλα για την άρδευση της πειραματικής καλλιέργειας.

Όσον αφορά τη συγκέντρωση χλωρίου, η σχέση της αναλογίας των ποσοτήτων μεταξύ των επεξεργασμένων υγρών αποβλήτων και του καθαρού νερού που θα πρέπει να αναμειχθούν και να χρησιμοποιηθούν για άρδευση είναι η εξής (Πανώρας & Ηλίας, 1999):

$$C_{\text{τελ.}} = C_a * Q_a / (Q_a + Q_b) + C_b * Q_b / (Q_a + Q_b) \quad (1.10)$$

Στην παραπάνω σχέση τα C_a , C_b εκφράζουν τη συγκέντρωση του χλωρίου (mg/l) στο καθαρό νερό και το λύμα αντίστοιχα, ενώ τα Q_a , Q_b τον όγκο που χρησιμοποιείται τόσο του νερού, όσο και του λύματος. Η επιθυμητή τελική συγκέντρωση του αναμεμιγμένου νερού (έστω 500mg/l Cl^-), ορίζεται με το $C_{\text{τελ.}}$. Παίρνοντας λοιπόν ως αρχικές τιμές για τη συγκέντρωση χλωρίου αυτές που παρατίθενται στον πίνακα 8, δηλαδή θεωρώντας ότι $C_a = 22\text{mg/l } Cl^-$, $C_b = 1400\text{mg/l } Cl^-$ και γνωρίζοντας ότι ισχύει $C_{\text{τελ.}} = 500\text{mg/l } Cl^-$ και $C_a + C_b = 1\text{lt}$, προκύπτει ότι όπως έχει ξαναφερθεί απαιτούνται δύο εφαρμογές με καθαρό νερό και μία με επεξεργασμένα απόβλητα. Έτσι η σχέση 1.10 διαμορφώνεται ως εξής:

$$22 * Q_a + 1400 * (1 - Q_a) = 500 \rightarrow 1378 * Q_a = 900 \rightarrow Q_a = 0,651 \text{ άρα } Q_b = 0,351$$

6.8 Μετρήσεις όσον αφορά την καλλιέργεια του ηλίανθου

6.8.1 Ύψος φυτών

Για την παρατήρηση του ρυθμού αύξησης του ηλίανθου, έγινε μέτρηση του ύψους των φυτών και των δύο μεταχειρίσεων. Σε καθένα από τα 8 πειραματικά τεμάχια επιλέχθηκαν τυχαία 10 φυτά για δειγματοληψία, τα οποία επισημάνθηκαν και μετρήθηκε το ύψος τους σε τακτά χρονικά διαστήματα, ώστε να παρακολουθείται η πορεία τους (Εικόνα 18).



Εικόνα 18. Μέτρηση του ύψους.

Η επισήμανσή τους εξυπηρετεί, έτσι ώστε οι μετρήσεις να γίνονται κάθε φορά στα ίδια φυτά και να μην υπάρχει σύγχυση στις συγκρίσεις των αποτελεσμάτων. Στις ημερομηνίες που πραγματοποιήθηκαν οι μετρήσεις, το μέσο ύψος κάθε μεταχείρισης είναι αποτέλεσμα ενός συνολικού αριθμού 40 φυτών από τα επιμέρους πειραματικά τεμάχια. Πραγματοποιήθηκαν συνολικά 9 μετρήσεις με την έναρξη να γίνεται στις 24/05/2009, ενώ η τελευταία μέτρηση έλαβε χώρα στις 20/09/2009. Το διάστημα που μεσολαβούσε μεταξύ δύο διαδοχικών μετρήσεων, είχε μέση διάρκεια περίπου 15 ημέρες, ενώ το όργανο που χρησιμοποιήθηκε για τις μετρήσεις ήταν ένα μέτρο.

6.8.2 Διάμετρος κεφαλής

Η μέτρηση της διαμέτρου πραγματοποιήθηκε τις ίδιες ημερομηνίες με τη μέτρηση του ύψους των φυτών, ενώ για τη δειγματοληψία πάρθηκαν τα ίδια φυτά που είχαν ήδη επισημανθεί. Όπως και παραπάνω η μέτρηση στην κεφαλή κάθε φυτού έγινε με τη βοήθεια μέτρου, με τη διαφορά ότι η διαδικασία αυτή άρχισε μετά το άνοιγμα των ανθέων. Η παράμετρος που λήφθηκε υπόψη ήταν η διάμετρος των δίσκων και η μέση τιμή της για κάθε μεταχείριση προέρχεται από το σύνολο 40 μετρήσεων.

6.8.3 Αριθμός φύλλων

Παράλληλα με τις προηγούμενες μετρήσεις πραγματοποιήθηκε μέτρηση του αριθμού των φύλλων των επισημασμένων φυτών σε κάθε πειραματικό τεμάχιο και των δύο μεταχειρίσεων. Το σύνολο των μετρήσεων και για τις δύο μεταχειρίσεις κάθε φορά ήταν 80, με τον αριθμό αυτό να αντιστοιχεί στη μεταχείριση με λύμα (ΥΛ) και καθαρό νερό (ΥΚ) αντίστοιχα σε δύο ίσα ποσά.

6.8.4 Χλωρή και ξηρή βιομάζα

Η παραγωγή τόσο σε χλωρή όσο και ξηρή βιομάζα εκφράζουν την παραγωγικότητα, η οποία αποτελεί σημαντική παράμετρος για την επιλογή μιας καλλιέργειας από τον παραγωγό. Για τον προσδιορισμό της βιομάζας η δειγματοληψία γινόταν με κοπή των φυτών σε ύψος λίγο πάνω από την επιφάνεια του εδάφους. Εκτός των άλλων η διαδικασία περιλάμβανε ζύγιση των φύλλων και του στελέχους με ζυγαριά ακριβείας (χλωρή βιομάζα), την ξήρανσή τους σε ειδικό χώρο και ζύγισή τους με την ίδια ζυγαριά για τον προσδιορισμό του ξηρού βάρους.

Για τη μέτρηση αυτή επιλέχθηκαν άλλα φυτά και όχι τα επισημασμένα που χρησιμοποιήθηκαν στις άλλες μετρήσεις, λόγω της καταστροφικής διεργασίας που έπρεπε να υποστούν τα δείγματα. Παράλληλα ο αριθμός των δειγμάτων από κάθε πειραματικό τεμάχιο μειώθηκε στα 5, με αποτέλεσμα μετά από κάθε κοπή να υπάρχουν 20 διαφορετικές μετρήσεις για κάθε μεταχείριση. Πραγματοποιήθηκαν συνολικά 4 κοπές, 50, 80, 110 και 129 ημέρες μετά τη σπορά.

6.9 Στατιστική ανάλυση των αποτελεσμάτων

Για την πραγματοποίηση της στατιστικής ανάλυσης χρησιμοποιήθηκε το στατιστικό πακέτο MINITAB 15, με τη βοήθεια του οποίου έγινε στατιστική επεξεργασία των μετρήσεων. Επειδή έπρεπε να γίνει σύγκριση μεταξύ δύο μεταβλητών (άρδευση με καθαρό νερό και άρδευση με λύμα) ενός παράγοντα (καλλιέργεια ηλίανθου), από τις λειτουργίες του στατιστικού πακέτου χρησιμοποιήθηκε μόνο αυτή του t- test.

Έτσι έγινε σύγκριση των μέσων όρων των αποτελεσμάτων που πάρθηκαν από τις μετρήσεις του ύψους, του αριθμού των φύλλων, της διαμέτρου των ανθέων του ηλίανθου, του δείκτη φυλλικής επιφάνειας, καθώς επίσης και της χλωρής και ξηρής βιομάζας που παράχθηκε. Η επεξεργασία των δεδομένων έγινε τόσο ανά ημερομηνία μέτρησης, όσο και στο σύνολο των μετρήσεων.

6.10 Κλιματολογικά δεδομένα

Τα κλιματολογικά δεδομένα της περιοχής για κάθε ημέρα όπως είναι η διακύμανση της θερμοκρασίας και το άθροισμα των βροχοπτώσεων, καταγράφονταν με τη βοήθεια μετεωρολογικού σταθμού που ήταν εγκατεστημένος στο χώρο του αγροκτήματος του Πανεπιστημίου Θεσσαλίας. Η καταγραφή των τιμών γινόταν σε ωριαία βάση και για όλη τη διάρκεια της ημέρας σε data logger, ενώ για την επεξεργασία τους χρησιμοποιήθηκε το πρόγραμμα Excel.

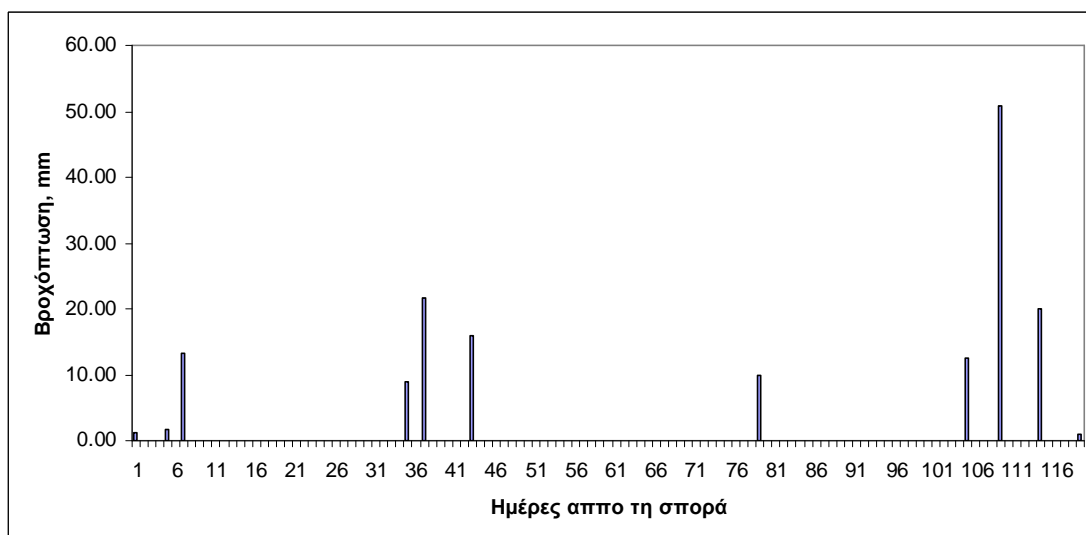
ΚΕΦΑΛΑΙΟ ΕΒΔΟΜΟ

Αποτελέσματα

7.1 Κλιματολογικά δεδομένα

Κατά τη διάρκεια του πειράματος και για την περίοδο Μαΐου- Σεπτεμβρίου, σημειώθηκαν συνολικά 11 βροχοπτώσεις (Σχήμα 4), ενώ η καλλιέργεια δέχθηκε από αυτές ποσότητα νερού ίση με 154,04mm. Από την ημερομηνία σποράς μέχρι και την έναρξη της υπόγειας στάγδην άρδευσης, το σύνολο των βροχοπτώσεων που δέχθηκε η καλλιέργεια ήταν 13,04mm, ενώ μέχρι τη λήξη των αρδεύσεων η συνολική βροχόπτωση ήταν 141mm.

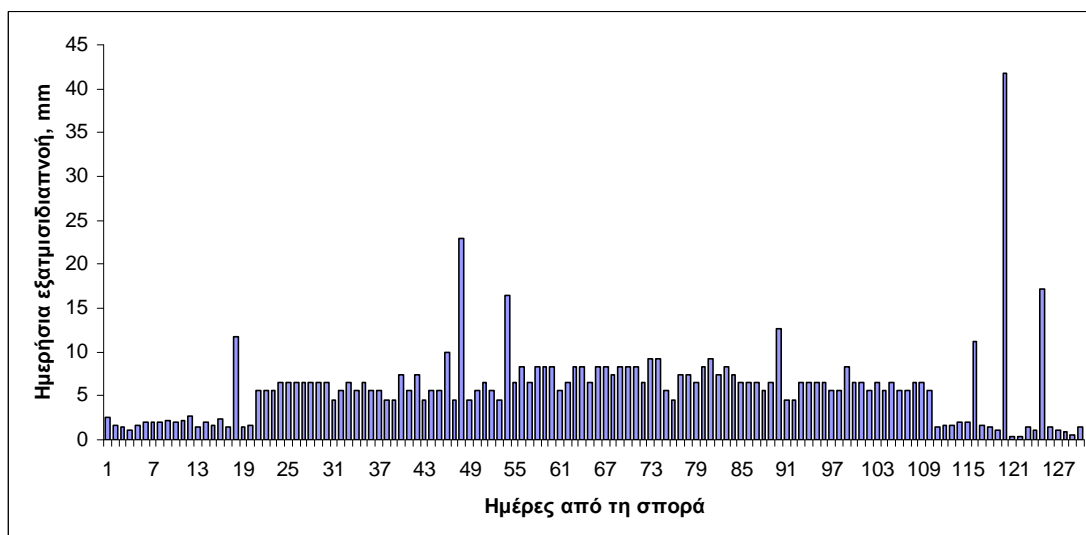
Την περίοδο Ιουνίου μέχρι και το Σεπτέμβριο (20/09/2009) από τις 8 βροχοπτώσεις που συνέβησαν, οι 6 είχαν ύψος πάνω από 10mm με το μεγαλύτερης έντασης επεισόδιο να σημειώνεται περί το πρώτο δεκαήμερο του Σεπτεμβρίου (50,8mm). Παρόλο που κατά την αρδευτική περίοδο η καλλιέργεια δέχθηκε μεγάλη ποσότητα βρόχινου νερού, αυτό δεν ήταν επαρκές για την κάλυψη των υδατικών αναγκών των φυτών. Το γεγονός αυτό επιβεβαιώνει τη σημασία της άρδευσης στην ανάπτυξη και την παραγωγικότητα μιας καλλιέργειας και ιδιαίτερα στη σημερινή εποχή όπου η απόδοση είναι το ζητούμενο.



Σχήμα 4. Βροχοπτώσεις κατά τη διάρκεια του πειράματος.

Οι μέσες θερμοκρασίες για την περίοδο Μαΐου- Σεπτεμβρίου οπου διεξάχθηκε το πείραμα κυμάνθηκαν σε ικανοποιητικά επίπεδα, αφού σύμφωνα με τα δεδομένα δεν ξεπέρασαν τους 25°C εκτός του Ιουλίου (26,21 °C). Παρόλα αυτά η εξατμισοδιαπνοή της καλλιέργειας του ηλίανθου υπήρξε έντονη (Σχήμα 5), αν ληφθεί υπόψη ότι την περίοδο αυτή οι μέσες θερμοκρασίες είναι πολύ υψηλότερες,

αφού η μέση σχετική υγρασία ιδιαίτερα την περίοδο Ιουνίου- Αυγούστου κυμάνθηκε μεταξύ 50 και 55%. Αναλυτικότερα οι μέσες θερμοκρασίες για τους μήνες Μάιο έως και το Σεπτέμβριο ήταν 19,70 °C, 23,91 °C, 26,21 °C, 25 °C και 20,68 °C αντίστοιχα.



Σχήμα 5. Ημερήσια εξατμισοδιαπνοή της καλλιέργειας του ηλίανθου κατά τη διάρκεια του πειράματος.

Η μέγιστη τιμή της εξατμισοδιαπνοής καλλιέργειας παρατηρείται 10 ημέρες πριν την ολοκλήρωση του πειράματος στις 10/09 και αντιστοιχεί σε 41,76mm. Τη χρονική αυτή περίοδο οι θερμοκρασίες είναι σχετικά χαμηλές και η εξατμισοδιαπνοή καλλιέργειας αναμένεται μειωμένη. Η δημιουργία του μέγιστου αυτού οφείλεται στο γεγονός ότι εκείνη την ημέρα σημειώθηκε το μεγαλύτερο ύψος βροχοπτώσεων ολόκληρης της περιόδου, το οποίο τροφοδότησε την καλλιέργεια με σημαντική ποσότητα νερού (50,8mm).

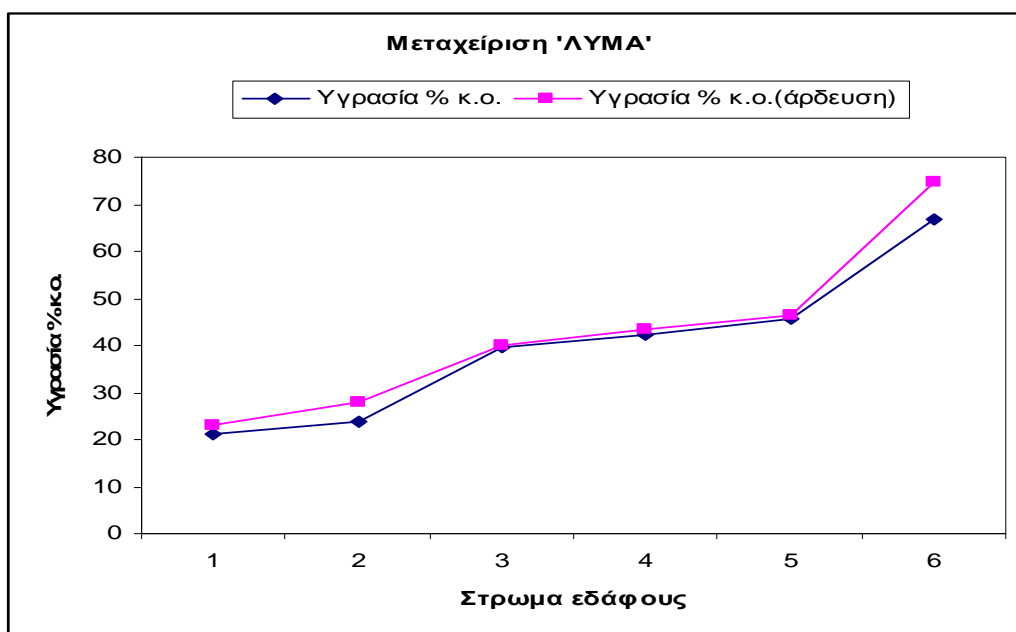
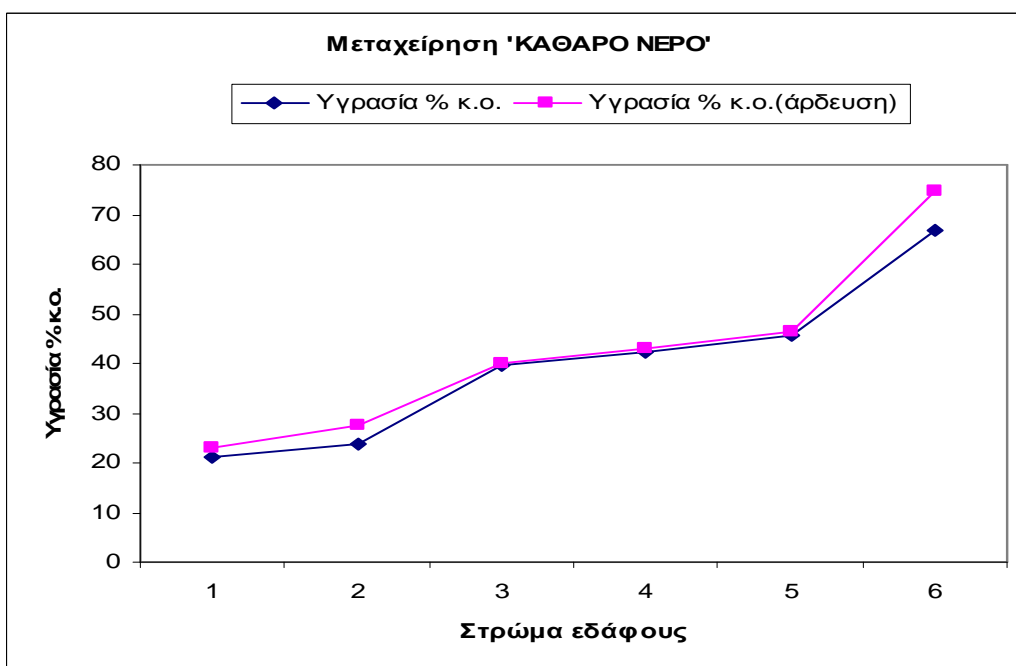
Από το Σχήμα 5 φαίνεται ότι την περίοδο Ιουνίου- Αυγούστου στην οποία σημειώνονται οι υψηλότερες θερμοκρασίες του έτους, η μέση εξατμισοδιαπνοή της καλλιέργειας βρίσκεται μεταξύ των 7και 8mm με εξαίρεση 4 ημέρες όπου υπήρξαν βροχοπτώσεις. Τις ημέρες αυτές η εξατμισοδιαπνοή της καλλιέργειας έφτασε τα 9,96mm (28/06), 22,88mm (30/06), 16,48mm (06/07) και 12,6mm (11/08) αντίστοιχα.

7.2 Εδαφική υγρασία

Όπως έχει αναφερθεί με την εφαρμογή της κατάλληλης ποσότητας νερού στα φυτά η παραγωγή των καλλιεργειών τείνει να φτάσει τη μέγιστη τιμή και το κόστος της άρδευσης μειώνεται. Ο ηλίανθος διαθέτει ριζικό σύστημα το οποίο μπορεί να εκμεταλλευτεί την υγρασία του εδάφους σε αρκετά μεγάλο βάθος. Έτσι αν το νερό

διοχετευτεί στην περιοχή του ριζοστρώματος είναι εφικτό να μειωθούν οι αρδευτικές δόσεις που θα εφαρμοστούν στην καλλιέργεια.

Στο πείραμα η μέτρηση της εδαφικής υγρασίας έγινε με τη χρήση ενός οργάνου T.D.R. πριν και μετά την άρδευση τόσο στη μεταχείριση με καθαρό νερό όσο και σε αυτή με τα επεξεργασμένα υγρά απόβλητα (Σχήμα 6 & 7). Στα σχήματα 5 και 6 τα πεδία 1, 2, 3, 4, 5 και 6 αντιστοιχούν σε βάθος από την επιφάνεια του εδάφους 0-15cm, 15-30cm, 30-60cm, 60-90cm και 90-120cm.



Σχήμα 6 και 7. Διακύμανση της εδαφικής υγρασίας πριν και μετά την άρδευση των μεταχειρίσεων.

Παρατηρείται ότι και στις δύο μεταχειρίσεις η εδαφική υγρασία σε βάθος 0-30cm τόσο πριν όσο και μετά την άρδευση έχει σχετικά χαμηλές τιμές, ενώ αυξάνεται σε βάθος 30-60cm. Αυτό οφείλεται στο ότι οι σταλάκτες της υπόγειας στάγδην άρδευσης που εφαρμόζεται, βρίσκονται σε βάθος 45cm. Εκεί το νερό διοχετεύεται στην περιοχή των ριζών καλύπτοντας ένα τμήμα του εδάφους, το οποίο δεν βρίσκεται κοντά στην επιφάνεια. Οι τιμές της εδαφικής υγρασίας στο βάθος των 90-120cm είναι αρκετά υψηλές, γεγονός που καταδεικνύει ότι πιθανότατα στο βάθος εκείνο να υπάρχει σκληρό και αδιαπέρατο υπόστρωμα.

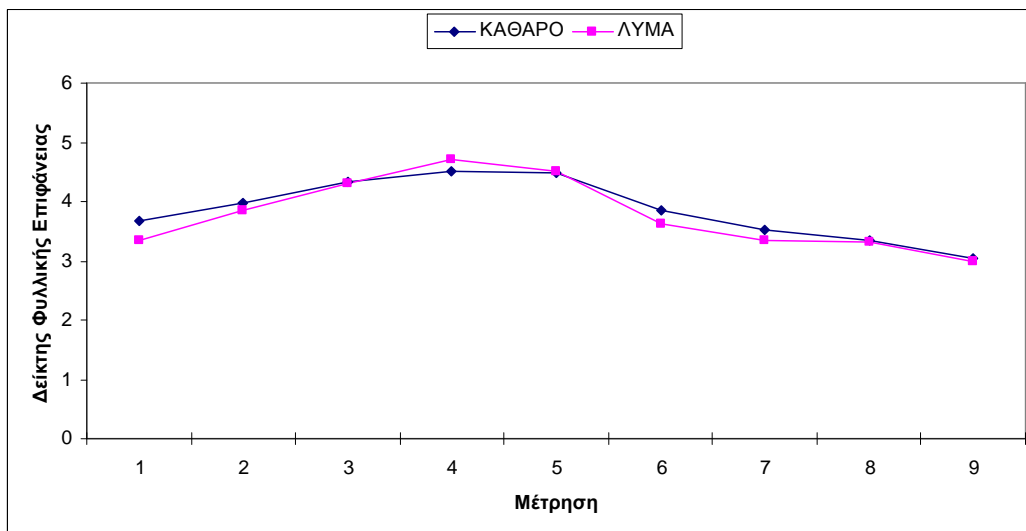
Ακόμη από τα αποτελέσματα φαίνεται ότι με τη χρήση της υπόγειας στάγδην άρδευσης και στις δύο μεταχειρίσεις, η εδαφική υγρασία διατηρήθηκε κοντά στο επίπεδο της υδατοϊκανότητας. Έτσι σε συνδυασμό με την ικανοποίηση μέρους των αναγκών σε νερό της καλλιέργειας χρησιμοποιώντας επεξεργασμένα υγρά απόβλητα, επιβεβαιώνεται η σωστή διαχείριση και εξοικονόμηση του αρδευτικού νερού που απορρέει από τη χρήση της μεθόδου αυτής.

7.3 Δείκτης φυλλικής επιφάνειας (LAI)

Για την επίτευξη μεγάλης παραγωγής σε μια καλλιέργεια είναι αναγκαίο η δέσμευση της ηλιακής ακτινοβολίας από τα φυτά να πραγματοποιείται στο μέγιστο δυνατό βαθμό. Η απορρόφηση της ηλιακής ακτινοβολίας συνδέεται άμεσα με τη επιφάνεια των φύλλων των φυτών. Ένα μέσο έκφρασης της αλληλεπίδρασης αυτής αποτελεί ο δείκτης φυλλικής επιφάνειας (LAI).

Η αναπτυξιακή δραστηριότητα μιας καλλιέργειας δεν επηρεάζεται σημαντικά, όταν η τιμή του δείκτη φυλλικής επιφάνειας κυμαίνεται μεταξύ 4 και 6. Η τιμή 6 εκφράζει την κάλυψη της επιφάνειας του εδάφους από τη συνολική επιφάνεια των φύλλων της καλλιέργειας σε ποσοστό 99%. Στην τιμή αυτή η φωτοσυνθετική δραστηριότητα των φυτών φτάνει στη μέγιστη τιμή της. Σε ικανοποιητικά επίπεδα φωτοσύνθεσης φτάνει επίσης μία καλλιέργεια όταν η τιμή του δείκτη βρίσκεται μεταξύ 4 και 5. Τότε θεωρείται ότι καλύπτεται ένα ποσοστό 90-98% της επιφάνειας του εδάφους.

Οι μετρήσεις του δείκτη πραγματοποιήθηκαν τις ίδιες ημερομηνίες που γινόταν και η εφαρμογή των επεξεργασμένων υγρών λυμάτων στην άρδευση της μεταχείρισης ΥΛ. Έτσι έγιναν συνολικά 9 μετρήσεις (Σχήμα 8), με πρώτη στις 09/07/2009 και την τελευταία να λαμβάνει χώρα στις 18/09/2009. Στο σύνολο των μετρήσεων που έγιναν τόσο στη μεταχείριση «ΚΑΘΑΡΟ ΝΕΡΟ» όσο και στη μεταχείριση «ΛΥΜΑ», δεν παρατηρήθηκε στατιστικώς σημαντική διαφορά σε επίπεδο σημαντικότητας 5%. Η ίδια παρατήρηση σημειώθηκε επίσης και κατά τη σύγκριση των δύο μεταχειρίσεων στις αντίστοιχες ημερομηνίες που πάρθηκαν οι μετρήσεις.



Σχήμα 8. Η διακύμανση του Δείκτη Φυλλικής Επιφάνειας στις δύο μεταχειρίσεις κατά τη διάρκεια του πειράματος.

Στο παραπάνω σχήμα φαίνεται ότι στις δύο πρώτες μετρήσεις η τιμές του δείκτη είναι μεγαλύτερες για τη μεταχείριση του καθαρού νερού, γεγονός το οποίο εξισορροπείται στις μετρήσεις 3 και 4 από τη μεταχείριση του λύματος. Στη συνέχεια παρατηρείται βαθμιαία πτώση του και στις δύο μεταχειρίσεις, με τις τιμές που αντιστοιχούν στη μεταχείριση του λύματος να υπολείπονται ελάχιστα αυτών του καθαρού νερού μέχρι και την τελευταία μέτρηση.

Η μέγιστη φυλλική επιφάνεια για τη μεταχείριση του λύματος παρατηρείται στην 4^η μέτρηση (06/08), ενώ στο καθαρό νερό στην 3^η (23/07). Η πτώση στην τιμή του δείκτη και στις δύο μεταχειρίσεις κατά την 3^η και 4^η μέτρηση οφείλεται στο συνδυασμό των σχετικά υψηλών θερμοκρασιών και της χαμηλής σχετικής υγρασίας που επικρατούσαν την περίοδο εκείνη (Εικόνα 19). Από την 6^η μέτρηση (22/08) και μετά οι τιμές του δείκτη φυλλικής επιφάνειας φθίνουν ως συνέπεια της ολοκλήρωσης της ανάπτυξης των φυτών και της ωρίμανσης της καλλιέργειας.



Εικόνα 19. Η πειραματική καλλιέργεια κατά την 4^η μέτρηση.

Στις 4 από τις 9 μετρήσεις οι τιμές και για τις δύο μεταχειρίσεις βρίσκονται στο κλειστό διάστημα [4,5]. Αυτό σημαίνει όπως αναφέρθηκε παραπάνω, ότι το ποσοστό φυτοκάλυψης της καλλιέργειας το χρονικό διάστημα εκείνο ήταν 90-98%. Η πτώση κάτω από την τιμή 4 από τη 5^η μέτρηση και ύστερα σηματοδοτεί το γεγονός ότι η καλλιέργεια έφτασε στο τελικό στάδιο της ανάπτυξής της.

Ο συνολικός μέσος όρος και η τυπική απόκλιση του δείκτη φυλλικής επιφάνειας για τις δύο μεταχειρίσεις ήταν για το καθαρό νερό 3,730 και 0,396, ενώ για τη μεταχείριση με τα επεξεργασμένα υγρά απόβλητα 3,969 και 0,557 αντίστοιχα. Στον Πίνακα 15 παρατίθενται οι μέσοι όροι και οι τυπικές αποκλίσεις και των δύο μεταχειρίσεων για κάθε μία από τις ημερομηνίες μέτρησης.

| Ημερομηνία | Ημέρες από τη σπορά | Μεταχειρίσεις | Μέσος όρος | Τυπική απόκλιση |
|------------|---------------------|---------------|------------|-----------------|
| 09/07/2009 | 56 | ΚΑΘΑΡΟ | 3.678 | 1.181 |
| | | ΛΥΜΑ | 3.345 | 1.576 |
| 16/07/2009 | 63 | ΚΑΘΑΡΟ | 3.981 | 1.008 |
| | | ΛΥΜΑ | 3.852 | 1.602 |
| 23/07/2009 | 70 | ΚΑΘΑΡΟ | 4.332 | 1.079 |
| | | ΛΥΜΑ | 4.314 | 1.723 |
| 06/08/2009 | 84 | ΚΑΘΑΡΟ | 4.502 | 1.249 |
| | | ΛΥΜΑ | 4.721 | 1.273 |
| 13/08/2009 | 91 | ΚΑΘΑΡΟ | 4.469 | 0.726 |
| | | ΛΥΜΑ | 4.503 | 1.265 |
| 22/08/2009 | 100 | ΚΑΘΑΡΟ | 3.852 | 0.853 |
| | | ΛΥΜΑ | 3.623 | 0.714 |
| 02/09/2009 | 111 | ΚΑΘΑΡΟ | 3.524 | 1.234 |
| | | ΛΥΜΑ | 3.338 | 1.327 |
| 09/09/2009 | 118 | ΚΑΘΑΡΟ | 3.349 | 0.847 |
| | | ΛΥΜΑ | 3.324 | 0.961 |
| 18/09/2009 | 127 | ΚΑΘΑΡΟ | 3.028 | 1.137 |
| | | ΛΥΜΑ | 2.995 | 1.026 |

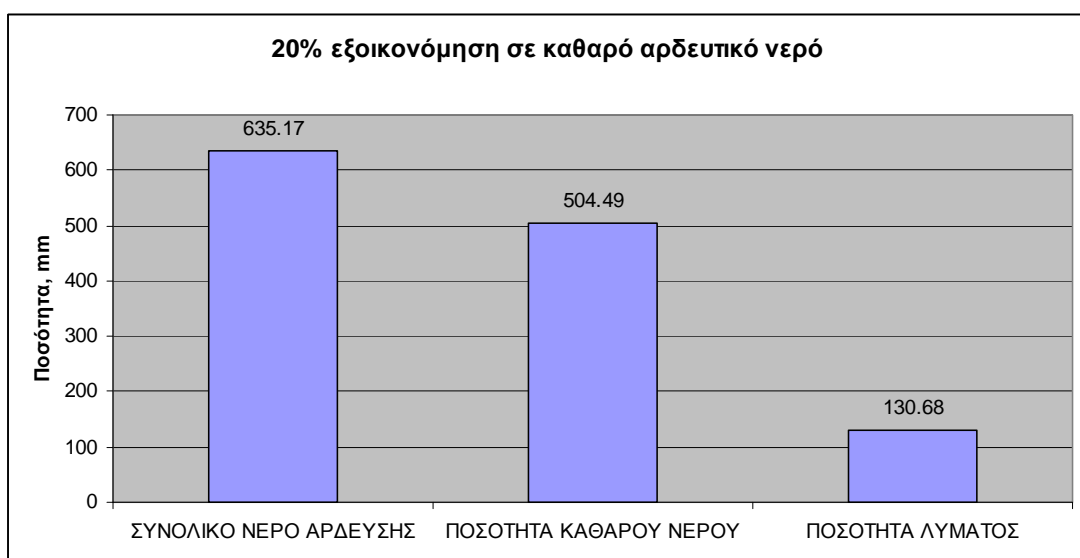
Πίνακας 15. Μέσος όρος και τυπική απόκλιση των δειγμάτων που λήφθηκαν σε κάθε μέτρηση.

7.4 Εξοικονόμηση νερού

Κατά τη διάρκεια του πειράματος χορηγήθηκε και στις δύο μεταχειρίσεις ποσότητα νερού ίση με 635,17mm. Η ποσότητα αυτή αντιστοιχεί στο 100% των καθαρών αναγκών της καλλιέργειας του ηλίανθου σε νερό όπως αυτές υπολογίστηκαν με βάση την ημερήσια εξατμισοδιαπνοή της καλλιέργειας. Από τα 635,17mm τα 585,17mm χορηγήθηκαν με τη μέθοδο της υπόγειας στάγδην άρδευσης και τα υπόλοιπα 50mm διατέθηκαν στην καλλιέργεια μέσω συστήματος καταιονισμού για το φύτρωμα της καλλιέργειας.

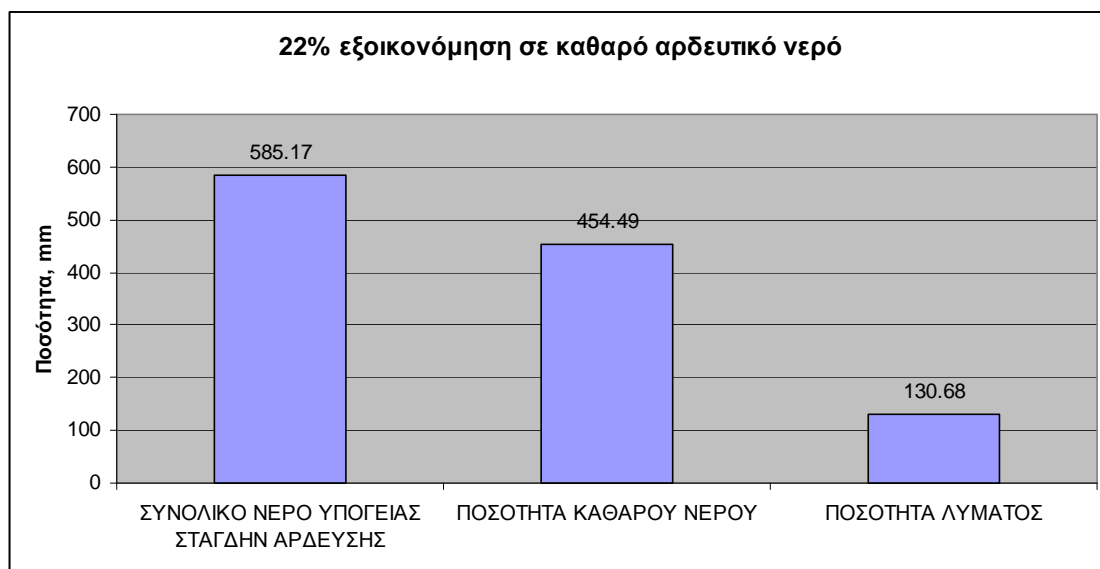
Το συνολικό ύψος των βροχοπτώσεων από τη σπορά μέχρι και το τέλος της πειραματικής εφαρμογής ανήλθε σε 157,35mm, με το ωφέλιμο για την καλλιέργεια ύψος να είναι 125,88mm. Η συνολική ποσότητα λύματος που εφαρμόστηκε και στις 9 μεταχειρίσεις ήταν 130,68mm, ενώ η μεγαλύτερη δόση άρδευσης εφαρμόστηκε στις 23/072009 και ήταν 23,92mm/ στρ., η οποία για την έκταση των 20m² κάθε πειραματικού τεμαχίου αντιστοιχεί σε 0,4784mm.

Αφαιρώντας από τη συνολική ποσότητα νερού που εφαρμόστηκε την ποσότητα των επεξεργασμένων λυμάτων που διοχετεύτηκαν στη μεταχείριση ΥΛ, προκύπτει η ποσότητα του καθαρού νερού που εφαρμόστηκε, η οποία είναι ίση με 504,49mm. Ανάγοντας την ποσότητα του λύματος σε ποσοστό επί της συνολικής ποσότητας, εξάγεται το ποσοστό εξοικονόμησης του αρδευτικού νερού, που ανέρχεται περίπου στο 20% (Σχήμα 9). Το ποσοστό αυτό θα μπορούσε να ήταν αυξημένο αν πραγματοποιούνταν περισσότερες εφαρμογές επεξεργασμένων υγρών αποβλήτων, πράγμα το οποίο όμως στάθηκε αδύνατο λόγω προβλημάτων που προέκυψαν κατά καιρούς στη μεταφορά του λύματος από τη μονάδα επεξεργασίας.



Σχήμα 9. Συνολική ποσότητα νερού και κατανομή της.

Για τη συνολική ποσότητα νερού που χορηγήθηκε με τη μέθοδο της υπόγειας στάγδην άρδευσης, το ποσοστό εξοικονόμησης καθαρού αρδευτικού νερού ανέρχεται σε 22%. Η συνολική ποσότητα του νερού που διατέθηκε με την υπόγεια άρδευση (585,17mm) προκύπτει με την αφαίρεση από την συνολική ποσότητα νερού που εφαρμόστηκε στο πείραμα, της ποσότητας που δόθηκε στην καλλιέργεια με τη μέθοδο του καταιονισμού. Εφαρμόζοντας την ίδια διαδικασία όπως έγινε για το γενικό σύνολο, εξάγεται το παραπάνω συμπέρασμα (Σχήμα 10).

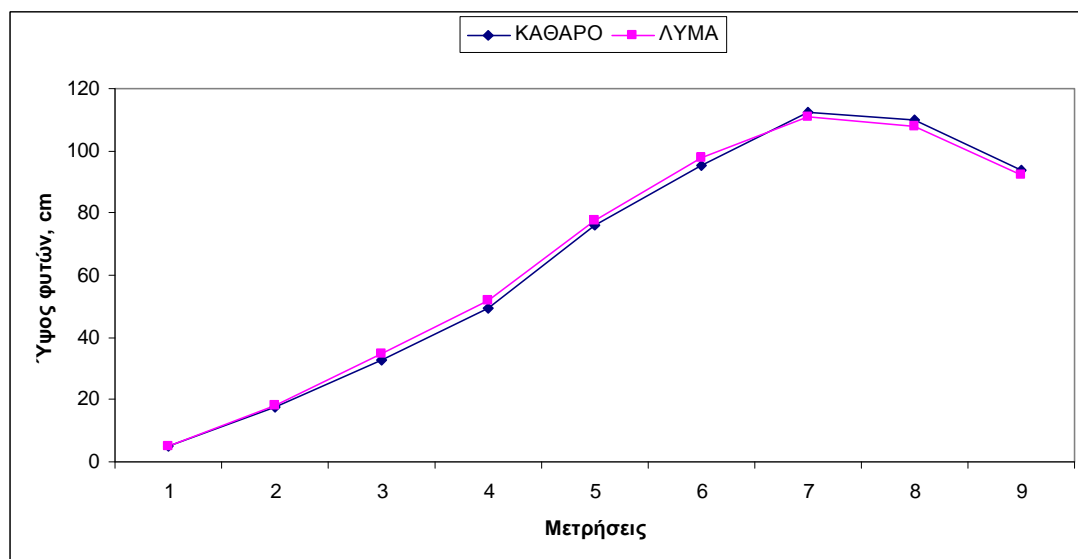


Σχήμα 10. Συνολική ποσότητα νερού που εφαρμόστηκε με υπόγεια στάγδην άρδευση και κατανομή του καθαρού νερού και των επεξεργασμένων υγρών αποβλήτων.

7.5 Αποτελέσματα μέτρησης ποιοτικών χαρακτηριστικών του ηλίανθου

7.5.1 Ύψος φυτών

Οι μετρήσεις του ύψους των φυτών των δύο μεταχειρίσεων ήταν συνολικά 9 και πραγματοποιήθηκαν το διάστημα 24/05/2009 μέχρι και τις 20/09/2009. Η ανάπτυξη των φυτών υπήρξε παρόμοια τόσο στη μεταχείριση με το καθαρό νερό, όσο και σε αυτή με τα επεξεργασμένα υγρά απόβλητα (Σχήμα 11).



Σχήμα 11. Μέσο ύψος των φυτών του ηλίανθου στις δύο μεταχειρίσεις.

Παρατηρείται ότι και στις δύο μεταχειρίσεις το μέσο ύψος λαμβάνει τη μέγιστη τιμή του κατά την 7^η (21/08) μέτρηση, η οποία για τη μεταχείριση του καθαρού νερού είναι 112,4cm, ενώ για τη μεταχείριση με το επεξεργασμένο λύμα αντιστοιχεί σε 110,7cm. Ακόμη φαίνεται ότι η μεταβολή του ύψους και των δύο μεταχειρίσεων είναι παρόμοια, με αυτή των επεξεργασμένων αποβλήτων να υπερτερεί ελαφρώς. Αυτό οφείλεται στο γεγονός ότι στη μεταχείριση ΥΛ τα φυτά αξιοποίησαν τις ποσότητες αζώτου, φωσφόρου και των άλλων ιχνοστοιχείων που περιέχονταν στο λύμα μετά την επεξεργασία του. Οι ποσότητες αυτές προστέθηκαν επιπλέον στις ήδη υπάρχουσες στο έδαφος, με αποτέλεσμα τα φυτά της ΥΛ να αφομοιώσουν μεγαλύτερα ποσά θρεπτικών στοιχείων.

Από το σχήμα φαίνεται επίσης ότι το μέσο ύψος των μεταχειρίσεων μεταβάλλεται μέχρι μια μέγιστη τιμή και στη συνέχεια φθίνει μέχρι μια τελική τιμή. Αυτό οφείλεται στο ότι μετά την 7^η μέτρηση η καλλιέργεια έφτασε στο τελικό στάδιο της ανάπτυξής της, κατά το οποίο οι κεφαλές στρέφονται προς το έδαφος (Εικόνα 20).



Εικόνα 20. Τελικό στάδιο ανάπτυξης του ηλίανθου.

Τέλος μετά τη επίτευξη της μέγιστης τιμής στο μέσο ύψος παρατηρείται ότι στις επόμενες δύο μετρήσεις τα φυτά της μεταχείρισης με το επεξεργασμένο λύμα μειονεκτούν έναντι αυτών της μεταχείρισης του καθαρού νερού. Μία πιθανή εξήγηση είναι ότι το λύμα που εφαρμόστηκε είχε μεγάλη περιεκτικότητα σε ιόντα χλωρίου, τα οποία πάνω από κάποιες συγκεντρώσεις θεωρείται ότι είναι τοξικά για τα φυτά.

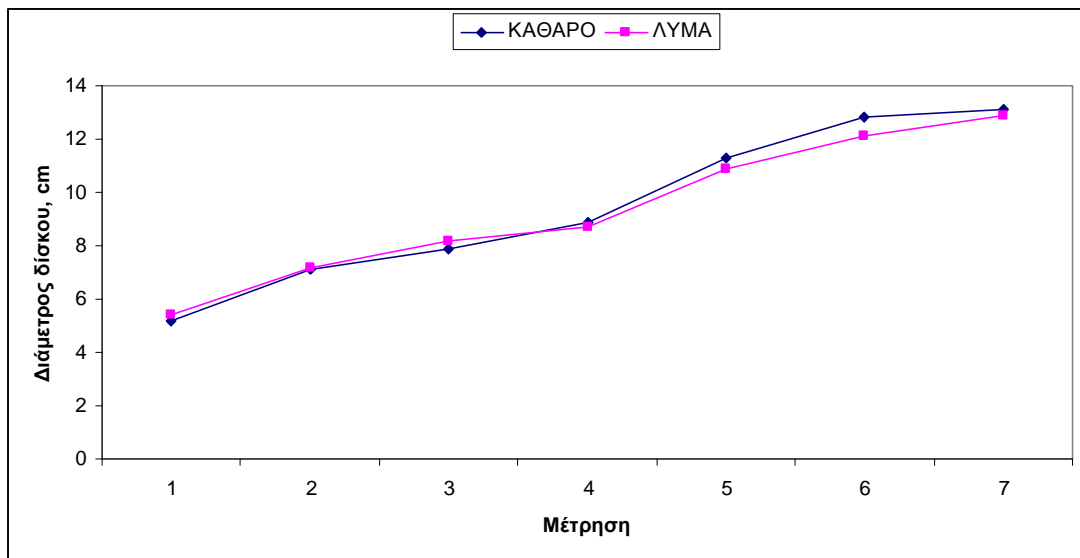
Τόσο κατά τη διάρκεια των μετρήσεων όσο και συνολικά το μέσο ύψος των φυτών και στις δύο μεταχειρίσεις δεν παρουσίασε στατιστικώς σημαντικές διαφορές στο 0,05 επίπεδο σημαντικότητας. Ο συνολικός μέσος όρος ήταν για το καθαρό νερό 65,83cm και για τα επεξεργασμένα υγρά απόβλητα 66,23cm, ενώ η τυπική απόκλιση ήταν 40,704 και 40,036 αντίστοιχα. Οι μέσοι όροι καθώς επίσης και οι τυπικές αποκλίσεις για κάθε μέτρηση χωριστά παρατίθενται στον πίνακα που ακολουθεί (Πίνακας 16).

| Ημερομηνία | Ημέρες από τη σπορά | Μεταχειρίσεις | Μέσος όρος | Τυπική απόκλιση |
|------------|---------------------|---------------|------------|-----------------|
| 24/05/2009 | 10 | ΚΑΘΑΡΟ | 5,1 | 2,76 |
| | | ΛΥΜΑ | 4,9 | 2,52 |
| 07/06/2009 | 24 | ΚΑΘΑΡΟ | 17,5 | 9,36 |
| | | ΛΥΜΑ | 17,9 | 7,57 |
| 22/06/2009 | 39 | ΚΑΘΑΡΟ | 32,7 | 10,32 |
| | | ΛΥΜΑ | 34,9 | 9,47 |
| 07/07/2009 | 54 | ΚΑΘΑΡΟ | 49,6 | 11,23 |
| | | ΛΥΜΑ | 51,8 | 11,87 |
| 22/07/2009 | 69 | ΚΑΘΑΡΟ | 76,1 | 13,69 |
| | | ΛΥΜΑ | 77,6 | 12,79 |
| 06/08/2009 | 84 | ΚΑΘΑΡΟ | 95,4 | 10,68 |
| | | ΛΥΜΑ | 97,9 | 11,16 |
| 21/08/2009 | 99 | ΚΑΘΑΡΟ | 112,4 | 9,45 |
| | | ΛΥΜΑ | 110,7 | 8,67 |
| 05/09/2009 | 114 | ΚΑΘΑΡΟ | 109,8 | 7,89 |
| | | ΛΥΜΑ | 107,9 | 8,06 |
| 20/09/2009 | 129 | ΚΑΘΑΡΟ | 93,9 | 8,94 |
| | | ΛΥΜΑ | 92,5 | 9,23 |

Πίνακας 16. Μέσος όρος και τυπική απόκλιση για το μέσο ύψος των φυτών κάθε μέτρησης.

7.5.2 Διάμετρος δίσκων

Πραγματοποιήθηκαν συνολικά 6 μετρήσεις, αρχής γενομένης στις 22/06/2009 (Εικόνα 21) έως και τις 20/09/2009. Σημειωτέον ότι και για αυτή την παράμετρο οι μετρήσεις έγιναν τις ίδιες ημερομηνίες με αυτές του ύψους των φυτών. Τόσο στη μεταχείριση με καθαρό νερό όσο και σε αυτή όπου εφαρμόστηκαν τα επεξεργασμένα υγρά απόβλητα, η διάμετρος των δίσκων δεν παρουσίασε στατιστικώς σημαντικές διαφορές στο επίπεδο ελέγχου (0,05), ενώ φαίνεται ότι οι δίσκοι αναπτύχθηκαν το ίδιο καλά και στις δύο μεταχειρίσεις (Σχήμα 12).



Σχήμα 12. Διάμετρος των δίσκων της καλλιέργειας ηλίανθου κατά την περίοδο 22/06/2009 έως 20/09/2009 για τις δύο μεταχειρίσεις.

Από το σχήμα παρατηρείται ομοιόμορφη ανάπτυξη των δίσκων, με αυτή της μεταχείρισης των υγρών αποβλήτων να υπερτερεί αρχικά, ενώ σε βάθος χρόνου εξισορροπείται από τη μεταχείριση με καθαρό νερό, τα φυτά της οποίας στις τελευταίες μετρήσεις παρουσιάζουν μεγαλύτερη διάμετρο. Οι διακυμάνσεις αυτές μεταξύ των μεταχειρίσεων οφείλονται κατά πάσα πιθανότητα στους ίδιους λόγους που αναφέρθηκαν και για το ύψος των φυτών.

Οι μέσοι όροι και οι τυπικές αποκλίσεις στο σύνολο των μετρήσεων στις δύο μεταχειρίσεις ήταν 9,47cm και 3,007 για τη μεταχείριση με καθαρό νερό, ενώ για τη μεταχείριση με λύμα ήταν αντίστοιχα 9,34cm και 2,724. Για κάθε μέτρηση οι αντίστοιχες τιμές αναρτώνται στον παρακάτω πίνακα (Πίνακας 17).



Εικόνα 21. Η ταξιανθία του ηλίανθου κατά την 1^η μέτρηση.

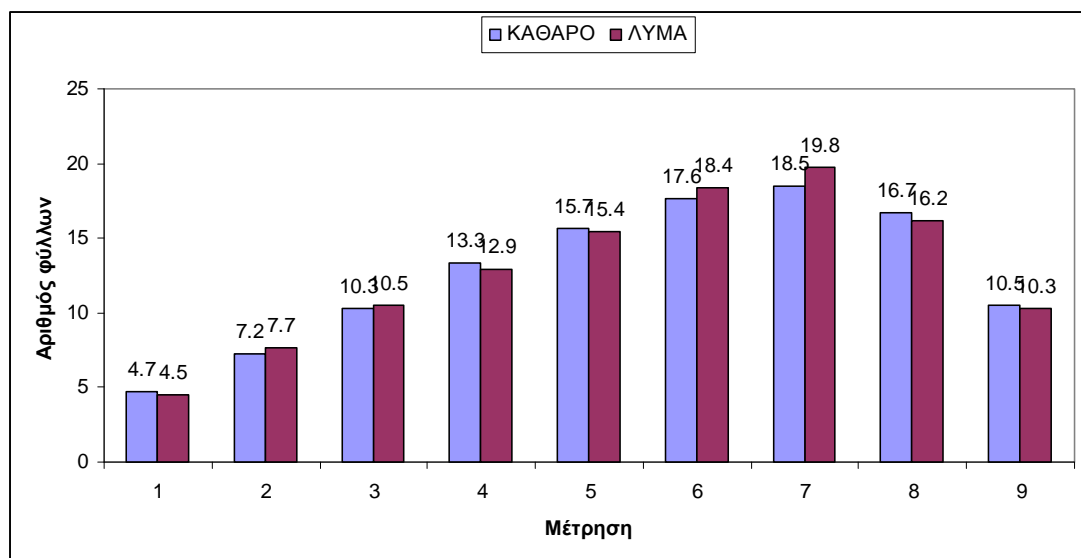
| Ημερομηνία | Ημέρες από τη σπορά | Μεταχειρίσεις | Μέσος όρος | Τυπική απόκλιση |
|------------|---------------------|---------------|------------|-----------------|
| 22/06/2009 | 39 | ΚΑΘΑΡΟ | 5,2 | 0,94 |
| | | ΛΥΜΑ | 5,4 | 1,13 |
| 07/07/2009 | 54 | ΚΑΘΑΡΟ | 7,1 | 2,51 |
| | | ΛΥΜΑ | 7,2 | 3,12 |
| 22/07/2009 | 69 | ΚΑΘΑΡΟ | 7,9 | 2,67 |
| | | ΛΥΜΑ | 8,2 | 2,97 |
| 06/08/2009 | 84 | ΚΑΘΑΡΟ | 8,9 | 3,15 |
| | | ΛΥΜΑ | 8,7 | 3,02 |
| 21/08/2009 | 99 | ΚΑΘΑΡΟ | 11,3 | 4,68 |
| | | ΛΥΜΑ | 10,9 | 4,97 |
| 05/09/2009 | 114 | ΚΑΘΑΡΟ | 12,8 | 5,13 |
| | | ΛΥΜΑ | 12,1 | 4,86 |
| 20/09/2009 | 129 | ΚΑΘΑΡΟ | 13,1 | 5,46 |
| | | ΛΥΜΑ | 12,9 | 5,37 |

Πίνακας 17. Μέσοι όροι και τυπικές αποκλίσεις των μετρήσεων της διαμέτρου των δίσκων στην καλλιέργεια ηλίανθου.

7.5.3 Αριθμός φύλλων

Για τη συγκέντρωση των πληροφοριών σχετικά με τον αριθμό των φύλλων στα φυτά και των δύο μεταχειρίσεων διεξάχθηκαν συνολικά 9 μετρήσεις, οι οποίες πραγματοποιήθηκαν ταυτόχρονα με τη μέτρηση του ύψους των φυτών. Έτσι η πρώτη μέτρηση έλαβε χώρα στις 24/05/2009 και η τελευταία στις 20/09/2009 (Εικόνα 22).

Ο αριθμός των φύλλων της καλλιέργειας αρχικά αυξάνεται, ενώ με την πάροδο του χρόνου και με την ολοκλήρωση της ανάπτυξης των φυτών σταδιακά μειώνεται (Σχήμα 13). Τα φύλλα στο τελικό στάδιο ανάπτυξης μαραίνονται και η ζώνη αποκοπής που δημιουργείται διευκολύνει την πτώση τους με τη βοήθεια του ανέμου και των βροχοπτώσεων που σημειώθηκαν κατά το Σεπτέμβριο και είχαν μεγάλη ένταση. Η μείωση του αριθμού των φύλλων προς το τέλος της πειραματικής εφαρμογής συμβαδίζει επίσης με τη μείωση που παρατηρήθηκε την περίοδο εκείνη στις τιμές του Δείκτη Φυλλικής Επιφάνειας.



Σχήμα 13. Μέσος όρος αριθμού φύλλων των δύο μεταχειρίσεων για κάθε ημερομηνία μέτρησης.

Κατά τη σύγκριση των επιμέρους καθώς επίσης και των συνολικών μέσων όρων των δύο μεταχειρίσεων δεν παρατηρήθηκε στατιστικώς σημαντική διαφορά σε επίπεδο σημαντικότητας 0,05. Οι μέσοι όροι και οι τυπικές αποκλίσεις για τις μεταχειρίσεις στο σύνολο του πειράματος ήταν 12,72 και 4,846 για το καθαρό νερό, ενώ 12,85 και 5,063 για τη μεταχείριση με τα επεξεργασμένα υγρά απόβλητα. Όσον αφορά τις επιμέρους μετρήσεις τα στοιχεία για τις ίδιες παραμέτρους των πληθυσμών δίνονται στον Πίνακα 18.

| Ημερομηνία | Ημέρες από τη σπορά | Μεταχειρίσεις | Μέσος όρος | Τυπική απόκλιση |
|------------|---------------------|---------------|------------|-----------------|
| 24/05/2009 | 10 | ΚΑΘΑΡΟ | 4,7 | 1,08 |
| | | ΛΥΜΑ | 4,5 | 1,38 |
| 07/06/2009 | 24 | ΚΑΘΑΡΟ | 7,2 | 2,84 |
| | | ΛΥΜΑ | 7,7 | 3,01 |
| 22/06/2009 | 39 | ΚΑΘΑΡΟ | 10,3 | 4,21 |
| | | ΛΥΜΑ | 10,5 | 4,67 |
| 07/07/2009 | 54 | ΚΑΘΑΡΟ | 13,3 | 5,88 |
| | | ΛΥΜΑ | 12,9 | 5,34 |
| 22/07/2009 | 69 | ΚΑΘΑΡΟ | 15,7 | 4,76 |
| | | ΛΥΜΑ | 15,4 | 4,42 |
| 06/08/2009 | 84 | ΚΑΘΑΡΟ | 17,6 | 5,12 |
| | | ΛΥΜΑ | 18,4 | 6,21 |
| 21/08/2009 | 99 | ΚΑΘΑΡΟ | 18,5 | 5,96 |
| | | ΛΥΜΑ | 19,8 | 6,45 |
| 05/09/2009 | 114 | ΚΑΘΑΡΟ | 16,7 | 5,37 |
| | | ΛΥΜΑ | 16,2 | 5,08 |
| 20/09/2009 | 129 | ΚΑΘΑΡΟ | 10,5 | 4,19 |
| | | ΛΥΜΑ | 10,3 | 3,98 |

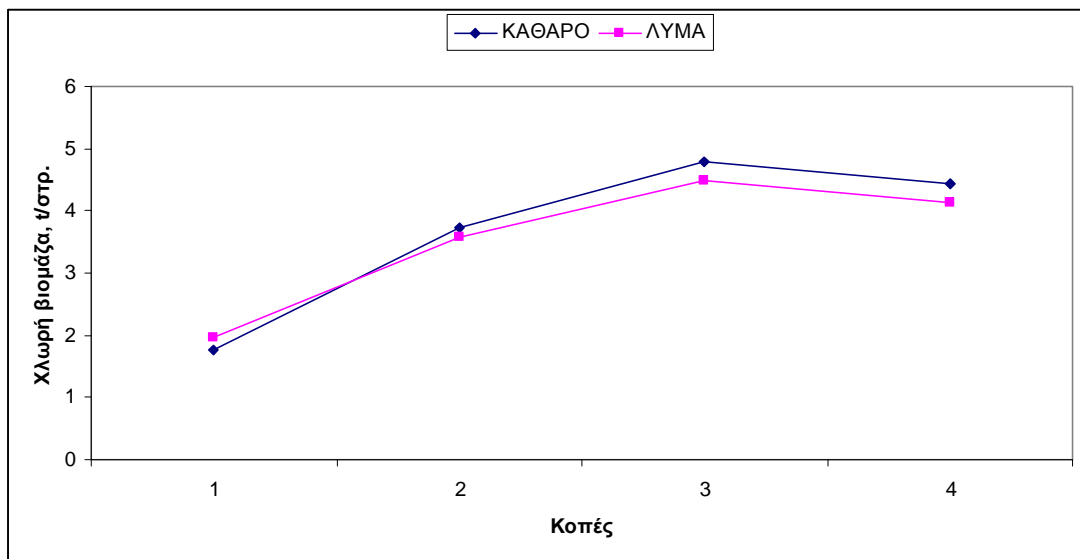
Πίνακας 18. Μέσος όρος και τυπική απόκλιση των δύο μεταχειρίσεων ανά ημερομηνία μέτρησης.



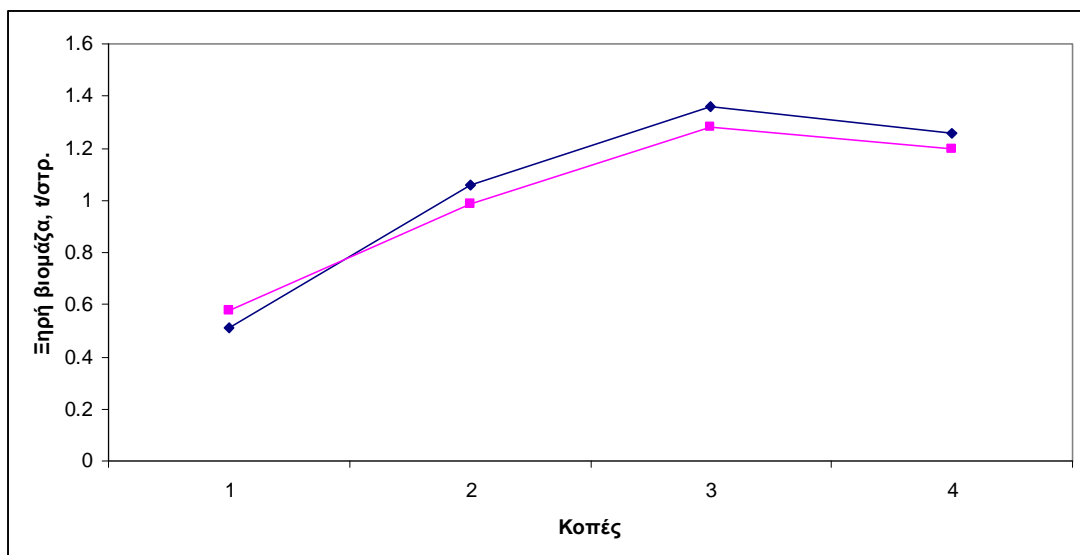
Εικόνα 22. Η φυλλική μάζα της καλλιέργειας στις δύο μεταχειρίσεις (07/07/09).

7.5.4 Προσδιορισμός χλωρής και ξηρής βιομάζας

Συνολικά για τον προσδιορισμό της χλωρής και ξηρής βιομάζας έγιναν 4 κοπές στις 03/07, 02/08, 01/09 και στις 20/09 ημερομηνία όπου ολοκληρώθηκε το πείραμα. Από τις μετρήσεις που λήφθηκαν και από τις δύο μεταχειρίσεις, παρατηρήθηκαν μέγιστες τιμές τόσο στον προσδιορισμό της χλωρής όσο και της ξηρής βιομάζας προς το τέλος της καλλιεργητικής περιόδου και στη συνέχεια διαπιστώθηκε μείωση και στις δύο μορφές βιομάζας στην τελευταία μέτρηση που πραγματοποιήθηκε στις (Σχήμα 14 και 15).



Σχήμα 14. Διακύμανση του βάρους της χλωρής βιομάζας.

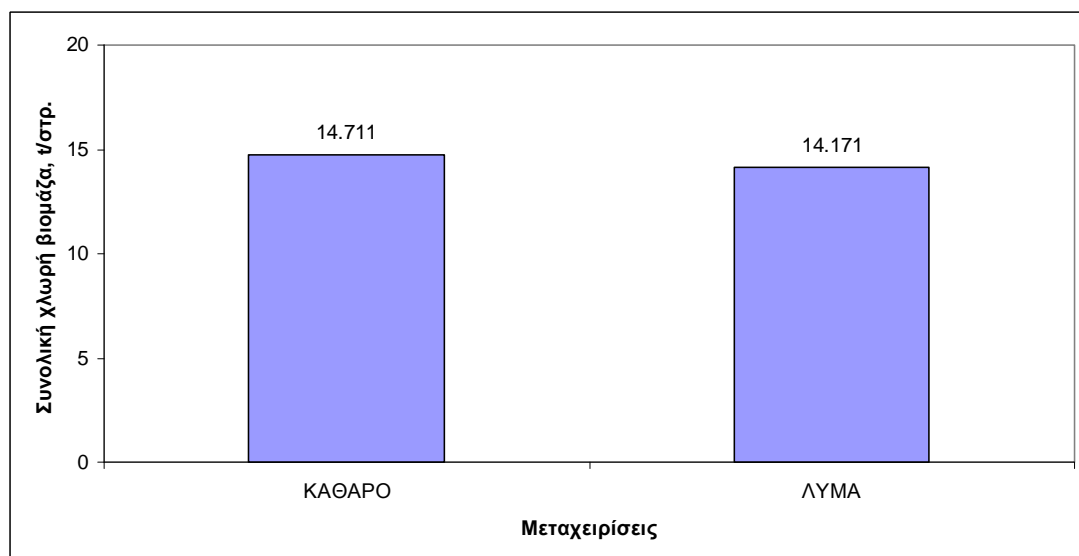


Σχήμα 15. Διακύμανση του βάρους της ξηρής βιομάζας.

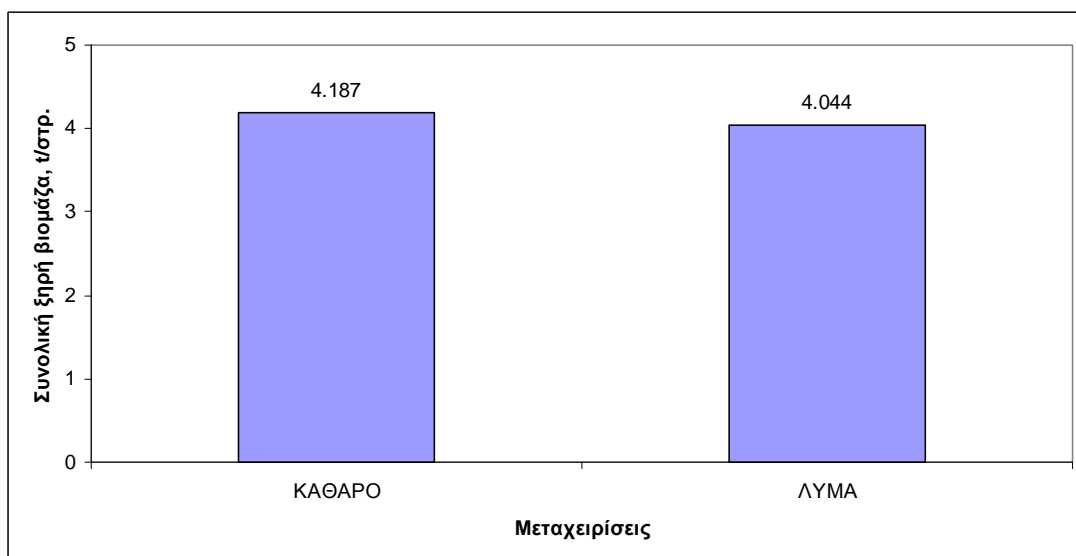
Στα παραπάνω σχήματα τόσο το βάρος της χλωρής όσο και της ξηρής βιομάζας εκφράζονται σε τόνους ανά στρέμμα (t/στρ.). Στην πρώτη κοπή παρατηρείται ότι οι τιμές που αντιστοιχούν στη μεταχείριση με τα επεξεργασμένα υγρά απόβλητα και για τις δύο μορφές βιομάζας, είναι υψηλότερες από τις αντίστοιχες της μεταχείρισης του καθαρού νερού. Το γεγονός αυτό αντισταθμίζεται στις υπόλοιπες τρεις κοπές όπου οι τιμές της μεταχείρισης του καθαρού νερού είναι μεγαλύτερες από αυτές του λύματος.

Η μέγιστη τιμή και για τις δύο μεταχειρίσεις όσον αφορά την παραγωγή χλωρής βιομάζας λαμβάνει χώρα μετά την τρίτη κοπή. Ακριβώς το ίδιο συμβαίνει και για την ξηρή βιομάζα. Έτσι η μέγιστη απόδοση σε χλωρή και ξηρή βιομάζα για τη μεταχείριση του καθαρού νερού ήταν 4,786 t/στρ. και 1,358 t/στρ. αντίστοιχα, ενώ για τη μεταχείριση με επεξεργασμένο λύμα 4,498 t/στρ. και 1,283 t/στρ.. Στην τελευταία κοπή παρατηρείται μείωση όσον αφορά την παραγωγή της καλλιέργειας σε βιομάζα. Αυτό κατά κύριο λόγο αποδίδεται στη γήρανση των φύλλων που επέρχεται φυσιολογικά και στις απώλειες λόγω αναπνοής, οι οποίες δεν αναπληρώνονται με τη φωτοσύνθεση.

Στο σύνολο της καλλιεργητικής περιόδου δεν παρατηρήθηκαν στατιστικώς σημαντικές διαφορές στη σύγκριση που έγινε μεταξύ των δύο μεταχειρίσεων (Σχήμα 16 και 17) σε επίπεδο σημαντικότητας 0,05. Οι συνολικοί μέσοι όροι και οι τυπικές αποκλίσεις για τη μεταχείριση με καθαρό νερό ήταν για τη χλωρή μάζα 3,677 και 1,345, ενώ για την ξηρή 1,046 και 0,376. Για τη μεταχείριση με λύμα τα αντίστοιχα ποσά ήταν 3,542, 1,115 (χλωρή) και 1,011, 0,315 (ξηρή), ενώ των επιμέρους κοπών παρατίθενται στους Πίνακες 19 και 20.



Σχήμα 16. Συνολική παραγωγή χλωρής βιομάζας στο σύνολο των μεταχειρίσεων.



Σχήμα 17. Συνολική παραγωγή ξηρής βιομάζας στο σύνολο των μεταχειρίσεων.

| Ημερομηνία | Ημέρες από τη σπορά | Μεταχειρίσεις | Μέσος όρος | Τυπική απόκλιση |
|------------|---------------------|---------------|------------|-----------------|
| 03/07/2009 | 50 | ΚΑΘΑΡΟ | 0,1772 | 0,13 |
| | | ΛΥΜΑ | 0,1967 | 0,14 |
| 02/08/2009 | 80 | ΚΑΘΑΡΟ | 0,3722 | 0,19 |
| | | ΛΥΜΑ | 0,3583 | 0,17 |
| 01/09/2009 | 110 | ΚΑΘΑΡΟ | 0,4786 | 0,31 |
| | | ΛΥΜΑ | 0,4498 | 0,28 |
| 20/09/2009 | 129 | ΚΑΘΑΡΟ | 0,4431 | 0,24 |
| | | ΛΥΜΑ | 0,4123 | 0,21 |

Πίνακας 19. Μέσοι όροι και τυπικές αποκλίσεις στην παραγωγή χλωρής βιομάζας των δύο μεταχειρίσεων.

| Ημερομηνία | Ημέρες από τη σπορά | Μεταχειρίσεις | Μέσος όρος | Τυπική απόκλιση |
|------------|---------------------|---------------|------------|-----------------|
| 03/07/2009 | 50 | ΚΑΘΑΡΟ | 0,0513 | 0,041 |
| | | ΛΥΜΑ | 0,0576 | 0,038 |
| 02/08/2009 | 80 | ΚΑΘΑΡΟ | 0,1059 | 0,053 |
| | | ΛΥΜΑ | 0,0987 | 0,056 |
| 01/09/2009 | 110 | ΚΑΘΑΡΟ | 0,1358 | 0,051 |
| | | ΛΥΜΑ | 0,1283 | 0,047 |
| 20/09/2009 | 129 | ΚΑΘΑΡΟ | 0,1257 | 0,037 |
| | | ΛΥΜΑ | 0,1198 | 0,040 |

Πίνακας 20. Μέσοι όροι και τυπικές αποκλίσεις στην παραγωγή ξηρής βιομάζας των δύο μεταχειρίσεων.

7.6 Εδαφολογική ανάλυση

Μετά το τέλος του πειράματος στο αγρόκτημα και την καταστροφή της καλλιέργειας στις 20/09/2009, πραγματοποιήθηκε στο αγροτεμάχιο εδαφολογική ανάλυση ώστε να αξιολογηθούν οι παράμετροι εκείνες του εδάφους που κατά την εφαρμογή των επεξεργασμένων υγρών αποβλήτων ήταν δυνατό να αλλοιωθούν και να εκτιμηθούν τα επίπεδά τους. Η αξιολόγηση των αποτελεσμάτων έγινε με βάση καθορισμένες τιμές που πάρθηκαν από κρατικό φορέα (Πίνακας 21). Οι μετρήσεις που έγιναν και αναλύθηκαν συγκρίθηκαν με στοιχεία του εδάφους, τα οποία υπάρχουν στο εργαστήριο Γεωργικής Υδραυλικής από ανάλυση που έλαβε χώρα στο συγκεκριμένο αγροτεμάχιο πριν την έναρξη της παρούσης πειραματικής εφαρμογής (Πίνακας 22).

| PH | 6,5-7 Ελαφρώς όξινο | 7,6-8,2 Αλκαλικό | >8,5 Αλατούχο | |
|--------------------------------|------------------------------|-------------------------------|---------------------|---------------------|
| Αγωγιμότητα (mS/cm) | <1000 Χαμηλή | 1000-2000 Οριακή | 2000-3000 Υψηλή | >3000 Πολύ υψηλή |
| % CaCO₃ | 1-2 Μέτρια εφοδιασμένο | 2-7 Επαρκώς εφοδιασμένο | | |
| Οργανική ουσία % | <1 Φτωχό | 1-1,5% Μέτριο | >2 Πλούσιο | |
| P (mg/kg) | <10 Χαμηλή | 10-18 Μέτρια | 18-25 Επάρκεια | >25 Υψηλή |
| K(mg/kg) | <80 Χαμηλή | 80-160 Μέτρια | 160-250 Επάρκεια | 250-300 Υψηλή |
| Zn(mg/kg) | <1 Χαμηλή | 1-3 Μέτρια | 3-6 Επάρκεια | >6 Υψηλή |
| Cu(mg/kg) | <0,8 Χαμηλή | 0,8-1,2 Μέτρια | 1,2-2 Επάρκεια | >2 Υψηλή |

(Πηγή: Π.Ε.Γ.Ε.Α.Α. Λάρισα)

Πίνακας 21. Αξιολόγηση των παραμέτρων του εδάφους που μετρήθηκαν.

| Παράμετροι | Τιμές |
|----------------------------|-----------------|
| PH | 7,25 |
| Αγωγιμότητα (mS/cm) | 1250 |
| % CaCO₃ | 12,56 |
| Οργανική ουσία % | 0,93 |
| N(mg/kg) | 70 |
| P (mg/kg) | 10 |
| K(mg/kg) | 165 |
| Zn(mg/kg) | 1,9 |
| Cu(mg/kg) | 2,2 |
| Μηχανική σύσταση | Sandy Clay Loam |

Πίνακας 22. Εδαφολογική ανάλυση των δύο μεταχειρίσεων (Μ.Ο.) πριν την έναρξη του πειράματος.

Σύμφωνα με την ανάλυση που πραγματοποιήθηκε στο εργαστήριο, το έδαφος χαρακτηρίστηκε αλκαλικό όσον αφορά το PH και ότι είναι φτωχό σε οργανική ουσία όπως επίσης είναι και τα περισσότερα εδάφη της χώρας μας. Ακόμη θεωρήθηκε επαρκώς εφοδιασμένο με άζωτο, κάλιο και λοιπά ιχνοστοιχεία, ενώ πιστοποιήθηκε ότι ο διαθέσιμος φώσφορος βρισκόταν σε μέτρια επίπεδα. Ως προς την περιεκτικότητα του εδάφους σε ανθρακικό ασβέστιο (CaCO₃) η ανάλυση έδειξε ότι είναι επαρκώς εφοδιασμένο και χαρακτηρίζεται ασβεστόχο, ενώ η ηλεκτρική του αγωγιμότητα βρίσκεται σε οριακό επίπεδο.

Από την εδαφολογική ανάλυση που έγινε μετά τη λήξη του πειράματος (Πίνακας 23) και σύγκριση των αποτελεσμάτων, διαπιστώθηκε ότι το PH του εδάφους και η περιεκτικότητά του σε CaCO₃ παρέμειναν αμετάβλητα και στις δύο μεταχειρίσεις. Επιπλέον οι περιεκτικότητες των στοιχείων N, P, K, Zn και Cu δεν διέφεραν σημαντικά στη μεταχείριση με καθαρό νερό. Αντίθετα στη μεταχείριση του λύματος υπήρξε αύξηση των συγκεντρώσεων N, K και Cu.

Όσον αφορά την περιεκτικότητα του εδάφους σε οργανική ουσία, ενώ αυξήθηκε στη μεταχείριση με τα επεξεργασμένα υγρά απόβλητα, δεν σημείωσε ουσιαστική μεταβολή σε αυτή του καθαρού νερού. Ακόμη η ηλεκτρική αγωγιμότητα κατά τη χρήση του λύματος αυξήθηκε, σε αντίθεση με τη μεταχείριση του καθαρού νερού στην οποία παρέμεινε στα ίδια επίπεδα.

Τέλος πρέπει να αναφερθεί ότι σε παρόμοιες εφαρμογές αστικών αποβλήτων, πρέπει να λαμβάνεται σοβαρά υπόψη στις εδαφολογικές αναλύσεις η συγκέντρωση κάποιων βαρέων μετάλλων όπως είναι τα As, Pb, Cd, Co και Ni. Τα στοιχεία αυτά σε μεγάλες συγκεντρώσεις είναι επικίνδυνα για τον άνθρωπο και ένας παράγοντας που συμβάλλει στην αύξηση τους είναι και η μακροχρόνια χρήση επεξεργασμένων υγρών αποβλήτων στην άρδευση.

| Παράμετροι | Τιμές | |
|----------------------------|-----------------|-----------------|
| | ΚΑΘΑΡΟ | ΛΥΜΑ |
| PH | 7,5 | 7,8 |
| Αγωγιμότητα (mS/cm) | 1225 | 1470 |
| % CaCO₃ | 10,3 | 11,2 |
| Οργανική ουσία % | 0,97 | 1,13 |
| N(mg/kg) | 74 | 78 |
| P (mg/kg) | 7 | 8 |
| K(mg/kg) | 180 | 190 |
| Zn(mg/kg) | 1,04 | 1,15 |
| Cu(mg/kg) | 2,3 | 3,5 |
| Μηχανική σύσταση | Sandy Clay Loam | Sandy Clay Loam |

Πίνακας 23. Εδαφολογική ανάλυση των δύο μεταχειρίσεων μετά τη λήξη του πειράματος.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ ΟΓΔΩΟ

Συμπεράσματα

Όπως προκύπτει και από τα αποτελέσματα της έρευνας, η χρήση επεξεργασμένου λύματος για αρδευτικούς σκοπούς φαίνεται να έχει πολύ περισσότερα θετικά στοιχεία. Τα συμπεράσματα που προκύπτουν από την εφαρμογή των επεξεργασμένων υγρών αστικών αποβλήτων με υπόγεια στάγδην άρδευση στον ηλίανθο, όσον αφορά την ανάπτυξη και απόδοση της καλλιέργειας, είναι ποικίλα και παραθέτονται παρακάτω.

Οι ενεργειακές καλλιέργειες η βιομάζα των οποίων χρησιμοποιείται για την παραγωγή υγρών βιοκαυσίμων ως αντισταθμισμα στη χρήση των συμβατικών πηγών ενέργειας, έχουν πολλά περιβαλλοντικά και κοινωνικοπολιτικά οφέλη για όλες τις σύγχρονες κοινωνίες και ιδιαίτερα για τον αγροτικό πληθυσμό. Η καλλιέργεια του ηλίανθου η οποία αποτελεί μέρος των ενεργειακών φυτών, μπορεί να αναπτυχθεί και να δώσει ικανοποιητικές παραγωγές ακόμη και σε περιοχές που επικρατούν δυσμενείς ξηρές συνθήκες και οι βροχοπτώσεις είναι περιορισμένες. Επιπλέον ο ηλίανθος μπορεί να καλλιεργηθεί σε ποικιλία εδαφών, συμπεριλαμβανομένων των φτωχών και προβληματικών.

Με τη χρήση των επεξεργασμένων υγρών αστικών αποβλήτων στην άρδευση των ενεργειακών κυρίως καλλιεργειών γίνεται εξοικονόμηση νερού, επιτυγχάνεται η σωστότερη διαχείριση, ενώ ταυτόχρονα λύνεται σε μεγάλο βαθμό το πρόβλημα που αφορά στη διάθεσή τους. Η εφαρμογή της πρακτικής αυτής είναι πολύ αποτελεσματική ιδιαίτερα σε περιοχές που έχουν περιορισμένους υδατικούς πόρους, ενώ όπως φάνηκε και στον ηλίανθο, δεν επηρεάζει αρνητικά την ανάπτυξη και την παραγωγή των καλλιεργειών που αρδεύονται με αυτά. Έτσι η επαναχρησιμοποίηση των υγρών αποβλήτων για αρδευτικούς σκοπούς καθίσταται αναγκαίο να αποτελέσει κοινή πολιτική όλων των χωρών, ενόψει των δραματικών εξελίξεων που αφορούν τη βιωσιμότητα των υδατικών πόρων.

Κατά την επεξεργασία των υγρών αποβλήτων πρέπει να γίνεται συνεχής και ενδεδειγμένη παρακολούθηση όλων των ποιοτικών χαρακτηριστικών, καθώς επίσης και του μικροβιακού τους φορτίου, όταν αυτά πρόκειται να διατεθούν για γεωργική ή άλλη χρήση. Είναι ακόμη απαραίτητο να τηρούνται όλες οι διαδικασίες επεξεργασίας, οι οποίες πρέπει να είναι θεσμοθετημένες και να υπάρχουν αυστηρά κριτήρια για το προς διάθεση λύμα, ώστε να περιορίζονται οι δυσμενείς επιπτώσεις στο περιβάλλον και να προστατεύεται η δημόσια υγεία κατά τη χρήση του. Τέλος χρειάζεται επιβολή αυστηρών κανόνων που να διασφαλίζουν την υγεία των άμεσα εμπλεκόμενων με την κατεργασία των αποβλήτων.

Όταν τα υγρά απόβλητα πρόκειται να διατεθούν για άρδευση καλλιεργειών η καταλληλότερη μέθοδος άρδευσης και η πιο επιβεβλημένη, είναι αυτή της υπόγειας στάγδην άρδευσης. Με τη μέθοδο αυτή δεν τίθεται κάποιο όριο όσον αφορά τα μικροβιολογικά χαρακτηριστικά των επεξεργασμένων υγρών αποβλήτων, επειδή λόγω της φύσης της δεν υπάρχει άμεση επαφή του κοινού και των εργαζομένων με αυτά, διασφαλίζοντας έτσι στο μέγιστο τη δημόσια υγεία. Όσον αφορά την επαναχρησιμοποίηση των υγρών αποβλήτων για άρδευση σε καλλιέργεια ηλίανθου, πρέπει να διασφαλίζεται ότι το παραγόμενο προϊόν θα διατεθεί μόνο για την παραγωγή βιοντίζελ και όχι για εδώδιμη χρήση.

Με τη χρήση της υπόγειας στάγδην άρδευσης δίνεται η δυνατότητα μείωσης της δόσης άρδευσης συγκριτικά με τις υπόλοιπες παραδοσιακές μεθόδους που χρησιμοποιούνται στη χώρα μας. Αυτό επιτυγχάνεται επειδή με την υπόγεια εφαρμογή περιορίζονται στο ελάχιστο οι απώλειες από την επιφανειακή εξάτμιση του νερού. Ακόμη λόγω του ότι το νερό διοχετεύεται άμεσα στη ζώνη του ενεργού ριζοστρώματος, τα φυτά εκμεταλλεύονται στο υψηλότερο επίπεδο την παρουσία του και επίσης μειώνονται και οι απώλειες από την έκπλυση. Τέλος η μείωση της δόσης εφαρμογής του νερού που συντελείται, επιφέρει σημαντικό οικονομικό όφελος στους παραγωγούς λόγω μείωσης του κοστολογίου του αρδευτικού νερού.

Κατά τη διάρκεια του πειράματος και βάση των αποτελεσμάτων παρατηρήθηκε ότι η μεταχείριση του ηλίανθου με επεξεργασμένα υγρά απόβλητα έδωσε παρόμοια αποτελέσματα με αυτή του καθαρού νερού. Στις παραμέτρους που συγκρίθηκαν δεν υπήρξε στατιστικώς σημαντική διαφορά, γεγονός που δείχνει ότι η χρήση των αστικών λυμάτων για αρδευτικούς σκοπούς μπορεί να συμβάλλει στην εξοικονόμηση καθαρού νερού, αφού τόσο η ανάπτυξη όσο και η παραγωγή της καλλιέργειας κατά την εφαρμογή τους κινείται σε ικανοποιητικά επίπεδα. Μεγάλη σημασία για την επίτευξη υψηλών αποδόσεων κατά την άρδευση της καλλιέργειας με επεξεργασμένα απόβλητα έχει να ακολουθείται ένα πρόγραμμα εναλλαγής φρέσκου νερού και λύματος.

Τέλος λόγω της περιεκτικότητας των επεξεργασμένων υγρών αποβλήτων σε θρεπτικά στοιχεία όπως άζωτο και φώσφορο, δεν χρειάστηκε να εφαρμοστεί λιπαντική αγωγή κατά τη διάρκεια του πειράματος. Με τη χρήση της υπόγειας στάγδην άρδευσης υπήρξε μέσω του νερού, διοχέτευσή τους απευθείας στο ριζικό σύστημα των φυτών και επιτεύχθηκε η όσο το δυνατόν καλύτερη αφομοίωσή τους, όπως φαίνεται και από τα αποτελέσματα. Αυτό δίνει στον παραγωγό ένα ακόμη κίνητρο να χρησιμοποιήσει υγρό λύμα ως εναλλακτική πηγή αρδευτικού νερού, γιατί μειώνεται το κόστος των εισροών (λίπανση) με συνέπεια να αυξηθεί το εισόδημά του.

ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

- [1] Αγγελάκης, Α. Ν. & Tsobanoglous, G., 1995. Υγρά απόβλητα. Φυσικά συστήματα επεξεργασίας και ανάκτηση, χρησιμοποίηση και διάθεση εκροών. Πανεπιστημιακές εκδόσεις Κρήτης.
- [2] Allen, R. G., Pereira, L. S., Raes, D., Smith, M., 1998. Crop evapotranspiration. Guidelines for computing crop water requirements. FAO Irrigation and drainage paper No 56. FAO, Rome.
- [3] Angelakis, A., Sakellariou- Makrantonaki, M., Tzimopoulos, C., 2002. Comparison of a green & Ampt and Parlange infiltration equations. Experimental procedure. 5th International conference of EWRA on water resources management in the era of transition. 4- 8 September 2002. Athens.
- [4] Archontoulis, S. V., Danalatos, N. G., Struik, P. C., Tsalikis, D., 2007. Irrigation and N- fertilization effects on the growth and productivity of sunflower in aquatic soil in central Greece. 15th European Biomass Conference and Exhibition: Biomass for Energy, Industry and Climate Protection, May 7- 11 (in press), Berlin.
- [5] Asano, T., Smith, R. G., Tsobanoglous, G., 1985. Municipal wastewater: Treatment and reclaimed water characteristics. In irrigation with Reclaimed Municipal Wastewater- A guidance manual. 2nd edition, Pettygrove, G. S. and Asano, T. (Eds.), Lewis Publishers, Inc., Chelsea, MI.
- [6] Asano, T. and Tsobanoglous, G., 1987. Municipal wastewater treatment and effluent utilization for irrigation. Land and Water Development Division, F.A.O., Rome.
- [7] Asano, T., 1994. Irrigation with treated sewage influents. In: Series in Agricultural sciences (K.K. Tanji and B. Yaron, Eds.) Ch. 9., Springer- Verlag, Berlin, Heidelberg, Germany.
- [8] Asano, T. and Levine, A. D., 1995. Wastewater and reuse: Past, present and future. Proceedings of 2nd International Symposium on Wastewater Reclamation and Reuse, Iraklio, Crete, Greece, October 17- 20, 1:3- 17.
- [9] Ayers, R. S, and Westcot, D. W., 1985. Water quality for agriculture. F.A.O. Irrigation and Drainage Paper 29:99- 104, Rev. 1.
- [10] Βαρδαβάκης, Ε., 1994. Συστηματική Βοτανική. Έκδοση Τέταρτη. Τόμος Ι, Εκδόσεις Δ.Κ. Σαλονικίδη, Θεσσαλονίκη.
- [11] Babajimopoulos, C., Panoras, A., Mavroudis, I., Bilas, G., 1996. The computation of the water balance and the modeling of the irrigation schedule of a cotton crop with the model SWBACROS. 6th International Conference on Hydraulic Engineering Software 'HYDROSOFT 96'. Organised by Wessex Insityte of Technology Southampton, UK. Penang, Malaysia, 10- 12 September 1996, 183- 192.

- [12] Bahri, A., 1988. Present and future state of treated wastewaters and sewage sludge in Tunisia. Proceedings of Wastewater Reclamation and Reuse, Cairo, Egypt, December 1988, 11- 16.
- [13] Bahri, A. and Brissaud, F., 2002. ‘Guidelines for municipal water reuse in the Mediterranean countries’, World Health Organisation, Regional Office for Europe, WHO/EURO Project Office, Mediterranean Action Plan.
- [14] Bower, H. and Idelovitch, E., 1987. Quality requirements for irrigation with sewage water. Water reuse for drip irrigation. Journal Irrigation and Drainage Engineering. ASCE, 113(4): 516- 535.
- [15] Danalatos, N.G., Archontoulis, S.V., Geronikolou, L., Papadakis, G., 2005. Irrigation and N-fertilization effects on growth and productivity of three sunflower hybrids in an aquic soil in central Greece. Proceeding of the International Conference on Industrial Crops and Rural Development, Murcia, Spain, pp 129–138.
- [16] Danalatos, N.G., Archontoulis, S.V., Geronikolou, L., Papadakis, G., 2004. Potential growth and productivity of three Sunflower hybrids in a soil with aquic moisture regime in central Greek conditions. Proceedings of the 2nd World Biomass Conference, Roma, Italy, pp 315–318
- [17] Danalatos, N.G., Archontoulis, S.V., Giannoulis, K.D., Pashonis, K., Tsalikis, D., Pazaras, B., Papadoulis, N., Zaitoudis, D., 2008. Cynara, sunflower, sweet and fiber sorghum on-farm yields in north, central and south Greece in 2007. Proceeding of the International conference on Agricultural Engineering, Crete, Greece, σελ 1–13.
- [18] English, D., 1985. Filtration and water treatment for micro irrigation. Proceedings of the 3rd International Drip/Trickle Irrigation Congress, November 18-21, Fresno, California, 1:50- 57.
- [19] F.A.O., 1968. Sprinkler irrigation. Agricultural Development Paper 88, Rome.
- [20] Maas, E. V., 1984. Salt tolerance of plants. In: The handbook of plant science in agriculture. B.R. Christie (Eds.) CRC Press, Florida.
- [21] Maas, E. V., 1985. Crop tolerance to saline sprinkling water. Plant and Soil 89, 273- 284.
- [22] Maas, E. V. and Hoffman, G. J., 1977. Crop salt tolerance- current assessment. J. irrigation and drainage division, ASCE 103 (IRZ), 115- 134. Proceeding paper 12993.
- [23] Μαυρουδής, Ι. Γ., Πανώρας, Α. Γ. και Χατζηγιαννάκης, Σ. Α., 1993. Διαρροές διωρύγων μεταφοράς αρδευτικού νερού. Γεωπονικά, 344: 53- 57.
- [24] Meyer, J. L., 1985. Cleaning drip irrigation systems. Proceedings of the 3rd International Drip/Trickle Irrigation Congress, November 18-21, Fresno, California, 1:41- 44.
- [25] Nakayama, F. S. and Bucks, D. A., 1985. Drip/trickle irrigation in action:

temperature effect on calcium carbonate precipitate clogging on trickle emitters. . Proceedings of the 3rd International Drip/Trickle Irrigation Congress, November 18-21, Fresno, California, USA, pp. 45- 50.

[26] Πανώρας Α. Γ. και Ηλίας, Α., 1999. Άρδευση με επεξεργασμένα υγρά αστικά απόβλητα. Εκδόσεις Γιαχούδη- Γιαπούλη. Θεσσαλονίκη.

[27] Πανώρας, Α. Γ., Ηλίας, Α., Σκαράκης, Γ., Παπαδόπουλος, Α., Παπαδόπουλος, Φ., Παρισόπουλος, Γ., Πατέρας, Δ., Παπαγιαννοπούλου, Α., Σδράκας, Α., Αναγνωστόπουλος, Κ., 1998 α. Άρδευση ζαχαρότευτλων με επεξεργασμένα υγρά αστικά απόβλητα (II). Πρακτικά ημερίδας με τίτλο ‘ Αποτελέσματα Ερευνητικού Έργου Ανάκτησης Αστικών Αποβλήτων με Χρήση Φυσικών Συστημάτων και Επαναχρησιμοποίησής τους για Άρδευση και Ανάπλαση Υγροτόπων’, 132- 145.

[28] Πανώρας, Α. Γ., Καλαφατέλη, Δ. και Ρέρη, Ε., 1998 β. Διερεύνηση της καταλληλότητας για άρδευση των επεξεργασμένων υγρών αστικών αποβλήτων της Θεσσαλονίκης. Γεωτεχνικά Επιστημονικά Θέματα, ISSN 1105- 9478.

[29] Πανώρας, Α. Γ., Ηλίας, Α., Σκαράκης, Γ., Παπαδόπουλος, Α., Παπαδόπουλος, Φ., Παρισόπουλος, Γ., Σδράκας, Α., Αναγνωστόπουλος, Κ., 1999 α. Άρδευση ζαχαρότευτλων με επεξεργασμένα υγρά αστικά απόβλητα (I). *Biologia Callo-Hellenica*.

[30] Πανώρας, Α. Γ., Ηλίας, Α., Σκαράκης, Γ., Παπαδόπουλος, Α., Παπαδόπουλος, Φ., Παρισόπουλος, Γ., Σδράκας, Α., Αναγνωστόπουλος, Κ., 1999 β. Επαναχρησιμοποίηση των επεξεργασμένων υγρών αστικών αποβλήτων της πόλης Θεσσαλονίκης για άρδευση ζαχαρότευτλων. Πρακτικά 4^ο Εθνικού Συνεδρίου της ΕΕΔΥΠ με θέμα ‘Διαχείριση υδατικών πόρων στις ευαίσθητες περιοχές του Ελλαδικού χώρου’, Βόλος, 17- 19 Ιουνίου.

[31] Παπαδόπουλος, Α. και Παρισόπουλος, Γ., 2001. Υγρά απόβλητα που δεν είναι για πέταμα. Γεωργική Έρευνα, ΕΘ.Ι.ΑΓ.Ε. Ιανουάριος- Μάρτιος 2001.

[32] Παπαζαφειρίου, Ζ. Γ., 1984. Αρχές και πρακτική αρδεύσεων. Εκδόσεις Ζήτη. Θεσσαλονίκη.

[33] Ruskin, R., 2000. Subsurface drip irrigation and yields. Geoflow, Inc.

[34] Σακελλαρίου- Μακραντωνάκη, Μ, Τζιμόπουλος, Χ. και Καλφούντζος, Δ., 1997. Μέτρηση της εδαφικής υγρασίας με τη μέθοδο T.D.R. και στατιστική επεξεργασία των μετρήσεων. Πρακτικά 7^ο Πανελληνίου Συνεδρίου Ελληνικής Υδροτεχνικής Ένωσης (ΕΥΕ), Πάτρα, σελ. 184- 192.

[35] Σακελλαρίου- Μακραντωνάκη, Μ., Καλφούντζος, Δ. και Παπανίκος, Ν., 2000. Αξιολόγηση της επιφανειακής και υπόγειας στάγδην άρδευσης σε καλλιέργεια ζαχαροτεύτλων. Πρακτικά 2^ο Συνεδρίου Εταιρίας Γεωργικών Μηχανικών Ελλάδος (ΕΓΜΕ), 28- 30 Σεπτεμβρίου, Βόλος, σελ. 157- 164.

[36] Sakellariou- Makrantonaki, M., Kalfountzos, D. And Vyrilas, P., 2001. Irrigation water saving and yield increase with subsurface drip irrigation. Proceedings of the 7th International Congress of Environmental Science and

Technology, 3- 6 September, Syros, Greece, Vol. C, 466- 473.

[37] Sakellariou- Makrantonaki, M., Kalfountzos, D., Vyrlas, P. and Kapetanios, P., 2002. Water saving using modern irrigation methods. Proceedings of Hydorama 2002, 3rd International Forum: Integrated Water Management: The Key to Sustainable Water Resources, EYDAP. 21- 22 March, Athens, Greece, pp. 96- 102.

[38] Sakellariou- Makrantonaki, M., Tentas, I., Koliou, A., Kalfountzos, D., and Vyrlas, P., 2003. Irrigation of ornamental shrubs with treated municipal wastewater. Proceedings of 8th International Conference on Environmental Science and Technology (CEST), September 8- 11, Lemnos, Greece, Vol. B, pp. 707- 714.

[39] Σακελλαρίου- Μακραντωνάκη, Τέντας, Ι., Κολιού, Α., Μ., Καλφούντζος, Δ. και Παπανίκος, Ν., 2003. Άρδευση πρασίνου με επεξεργασμένα υγρά αστικά απόβλητα. Πρακτικά 3^{ου} Πανελληνίου Συνεδρίου της Εταιρίας Γεωργικών Μηχανικών Ελλάδος (ΕΓΜΕ), 29- 31 Μαΐου, Θεσσαλονίκη, σελ. 265- 272.

[40] Smith, R. B., Oster, J. D. and Phene, C. J., 1991. Subsurface drip produced highest net return in wastelands area study. California, Agriculture 45(2): 8- 10.

[41] Solomon, K., 1993. Subsurface drip irrigation: Product selection and performance. In subsurface drip irrigation: Theory, practices and application, eds. Jorgensen, G. S. and K. N. Norum, CATI Publication No: 921001.

[42] Τερζίδης, Γ. Α. και Παπαζαφειρίου, Ζ. Γ., 1997. Γεωργική Υδραυλική. Εκδόσεις Ζήτη. Θεσσαλονίκη.

[43] Topp, G. C., Davis, J. L. and Annan, A. P., 1980. Electromagnetic determination of soil water content: Measurement in coaxial transmission lines. Water Resources Research. 16:574- 587.

[44] Westcot, D. W. and Ayers, R., 1985. Irrigation water criteria. In: Irrigation with reclaimed municipal wastewater- A guidance manual. Third edition, Pettygrove, G. S. and Asano, T. (Eds), Lewis Publishers, Chelsea MI.

[45] Zoldoske, D. F., Genito, S. And Jorgensen, G. S., 1995. Subsurface drip irrigation (S.D.I.) on turfgrass: A University Experience. Irrigation notes, California State University, Fresno, California.

ΠΑΡΑΡΤΗΜΑΤΑ

ΛΙΣΤΑ ΕΙΚΟΝΩΝ

| | |
|---|-----|
| Εικόνα 1. Φύλλα ηλίανθου στο αρχικό στάδιο ανάπτυξης του φυτού..... | 21 |
| Εικόνα 2. Ταξιανθία του ηλίανθου..... | 22 |
| Εικόνα 3. Ταξιανθία ηλίανθου κατά την ωρίμανση..... | 23 |
| Εικόνα 4. Χάραξη πειραματικού αγροτεμαχίου..... | 69 |
| Εικόνα 5. Άρδευση με καταιονισμό στο στάδιο της φύτευσης..... | 71 |
| Εικόνα 6. Το πειραματικό αγροτεμάχιο..... | 71 |
| Εικόνα 7. Υπόγεια στάγδην άρδευση..... | 72 |
| Εικόνα 8. Εγκατάσταση συστήματος υπόγεια στάγδην άρδευσης..... | 73 |
| Εικόνα 9. Υπεδαφοθέτης υπόγεια στάγδην άρδευσης..... | 73 |
| Εικόνα 10. Αυτόματος προγραμματιστής Miracle DC. | 74 |
| Εικόνα 11. Πίνακας διανομής..... | 75 |
| Εικόνα 12. Δεξαμενή πολυαιθυλενίου..... | 76 |
| Εικόνα 13. Αντλία..... | 76 |
| Εικόνα 14. Εξατμισόμετρο τύπου Α..... | 78 |
| Εικόνα 15. Συσκευή T.D.R. μαζί με τα μέρη που την αποτελούν..... | 80 |
| Εικόνα 16. Συσκευή T.D.R. μαζί με τον αισθητήρα..... | 80 |
| Εικόνα 17. Παραλαβή επεξεργασμένων υγρών αποβλήτων..... | 95 |
| Εικόνα 18. Μέτρηση του ύψους..... | 98 |
| Εικόνα 19. Η πειραματική καλλιέργεια κατά την 4 ^η μέτρηση..... | 105 |
| Εικόνα 20. Τελικό στάδιο ανάπτυξης του ηλίανθου..... | 110 |
| Εικόνα 21. Η ταξιανθία του ηλίανθου κατά την 1 ^η μέτρηση..... | 113 |
| Εικόνα 22. Η φυλλική μάζα της καλλιέργειας στις δύο μεταχειρίσεις (07/07/09). | 115 |

ΛΙΣΤΑ ΠΙΝΑΚΩΝ

| | |
|--|-----|
| Πίνακας 1. Έτος και ποσοστό αντικατάστασης των συμβατικών καυσίμων σύμφωνα με τον 2003/30/EK της Ε.Ε. για τα έτη 2006- 2010..... | 11 |
| Πίνακας 2. Επίτευξη στόχου μέχρι το 2010 στην Ελλάδα βάση του 2003/30/EK της Ε.Ε..... | 11 |
| Πίνακας 3. Στρεμματικές εκτάσεις, παραγωγή και στρεμματική απόδοση της καλλιέργειας του ηλίανθου στην Ελλάδα κατά την περίοδο 1961-1998..... | 18 |
| Πίνακας 4. Η καλλιέργεια του ηλίανθου στην Ελλάδα για το έτος 2007..... | 20 |
| Πίνακας 5. Παραγόμενα βιοκαύσιμα από διάφορα φυτά και αποδόσεις ανά στρέμμα σε σπόρο και σε καύσιμο..... | 36 |
| Πίνακας 6. Τυπική σύσταση ανεπεξέργαστων υγρών αποβλήτων..... | 40 |
| Πίνακας 7. Παράμετροι για την αξιολόγηση της ποιότητας του αρδευτικού νερού..... | 49 |
| Πίνακας 8. Συνιστώμενα κριτήρια χρήσης επεξεργασμένων υγρών αστικών αποβλήτων σύμφωνα με τον W.H.O. (World Health Organisation). | 55 |
| Πίνακας 9. Υδραυλικές ιδιότητες του εδάφους που απαιτούνται για τον υπολογισμό των υδατικών αναγκών σε νερό της καλλιέργειας του ηλίανθου..... | 82 |
| Πίνακας 10. Δόση, εύρος και διάρκεια άρδευσης με τη μέθοδο των υδραυλικών ιδιοτήτων του εδάφους..... | 83 |
| Πίνακας 11. Υπολογισμός των καθαρών αναγκών σε νερό και της εξατμισοδιαπνοής της καλλιέργειας..... | 86 |
| Πίνακας 11. Υπολογισμός των καθαρών αναγκών σε νερό και της εξατμισοδιαπνοής της καλλιέργειας (Συνέχεια)..... | 87 |
| Πίνακας 11. Υπολογισμός των καθαρών αναγκών σε νερό και της εξατμισοδιαπνοής της καλλιέργειας (Συνέχεια)..... | 88 |
| Πίνακας 11. Υπολογισμός των καθαρών αναγκών σε νερό και της εξατμισοδιαπνοής της καλλιέργειας (Συνέχεια)..... | 89 |
| Πίνακας 11. Υπολογισμός των καθαρών αναγκών σε νερό και της εξατμισοδιαπνοής της καλλιέργειας (Συνέχεια)..... | 90 |
| Πίνακας 11. Υπολογισμός των καθαρών αναγκών σε νερό και της εξατμισοδιαπνοής της καλλιέργειας (Συνέχεια)..... | 91 |
| Πίνακας 12. Δόσεις και διάρκεια των αρδευτικών εφαρμογών για την καλλιέργεια του ηλίανθου στο σύνολο του πειράματος..... | 92 |
| Πίνακας 12. Δόσεις και διάρκεια των αρδευτικών εφαρμογών για την καλλιέργεια του ηλίανθου στο σύνολο του πειράματος (Συνέχεια).. | 93 |
| Πίνακας 12. Δόσεις και διάρκεια των αρδευτικών εφαρμογών για την καλλιέργεια του ηλίανθου στο σύνολο του πειράματος (Συνέχεια).. | 94 |
| Πίνακας 13. Αποτελέσματα χημικών αναλύσεων των επεξεργασμένων υγρών αστικών αποβλήτων σε συνδυασμό με τις ημερομηνίες εφαρμογής τους στο πειραματικό τεμάχιο..... | 96 |
| Πίνακας 14. Παράμετροι στο καθαρό νερό και τα επεξεργασμένα υγρά απόβλητα..... | 97 |
| Πίνακας 15. Μέσος όρος και τυπική απόκλιση των δειγμάτων που λήφθηκαν σε κάθε μέτρηση..... | 106 |

| | |
|--|-----|
| Πίνακας 16. Μέσος όρος και τυπική απόκλιση για το μέσο ύψος των φυτών κάθε μέτρησης..... | 111 |
| Πίνακας 17. Μέσοι όροι και τυπικές αποκλίσεις των μετρήσεων της διαμέτρου των δίσκων στην καλλιέργεια ηλίανθου..... | 113 |
| Πίνακας 18. Μέσος όρος και τυπική απόκλιση των δύο μεταχειρίσεων ανά ημερομηνία μέτρησης..... | 115 |
| Πίνακας 19. Μέσοι όροι και τυπικές αποκλίσεις στην παραγωγή χλωρής βιομάζας των δύο μεταχειρίσεων..... | 118 |
| Πίνακας 20. Μέσοι όροι και τυπικές αποκλίσεις στην παραγωγή ξηρής βιομάζας των δύο μεταχειρίσεων..... | 118 |
| Πίνακας 21. Αξιολόγηση των παραμέτρων του εδάφους που μετρήθηκαν..... | 119 |
| Πίνακας 22. Εδαφολογική ανάλυση των δύο μεταχειρίσεων (Μ.Ο.) πριν την έναρξη του πειράματος..... | 120 |
| Πίνακας 23. Εδαφολογική ανάλυση των δύο μεταχειρίσεων μετά τη λήξη του πειράματος..... | 121 |

ΛΙΣΤΑ ΣΧΗΜΑΤΩΝ

| | |
|--|-----|
| Σχήμα 1. Γραφική απεικόνιση της καλλιεργούμενης έκτασης σε στρέμματα (περίοδος 1961- 1998)..... | 19 |
| Σχήμα 2. Γραφική απεικόνιση της παραγωγής σε τόνους (περίοδος 1961- 1998)..... | 19 |
| Σχήμα 3. Διάταξη πειραματικού αγροτεμαχίου σύμφωνα με τη χάραξη..... | 70 |
| Σχήμα 4. Βροχοπτώσεις κατά τη διάρκεια του πειράματος..... | 101 |
| Σχήμα 5. Ημερήσια εξατμισοδιαπνοή της καλλιέργειας του ηλίανθου κατά τη διάρκεια του πειράματος..... | 102 |
| Σχήμα 6. Διακύμανση της εδαφικής υγρασίας πριν και μετά την άρδευση των μεταχειρίσεων..... | 103 |
| Σχήμα 7. Διακύμανση της εδαφικής υγρασίας πριν και μετά την άρδευση των μεταχειρίσεων..... | 103 |
| Σχήμα 8. Η διακύμανση του Δείκτη Φυλλικής Επιφάνειας στις δύο μεταχειρίσεις κατά τη διάρκεια του πειράματος..... | 105 |
| Σχήμα 9. Συνολική ποσότητα νερού και κατανομή της..... | 107 |
| Σχήμα 10. Συνολική ποσότητα νερού που εφαρμόστηκε με υπόγεια στάγδην άρδευση και κατανομή του καθαρού νερού και των επεξεργασμένων υγρών αποβλήτων..... | 108 |
| Σχήμα 11. Μέσο ύψος των φυτών του ηλίανθου στις δύο μεταχειρίσεις..... | 109 |
| Σχήμα 12. Διάμετρος των δίσκων της καλλιέργειας ηλίανθου κατά την περίοδο 22/06/2009 έως 20/09/2009 για τις δύο μεταχειρίσεις..... | 112 |
| Σχήμα 13. Μέσος όρος αριθμού φύλλων των δύο μεταχειρίσεων για κάθε ημερομηνία μέτρησης..... | 114 |
| Σχήμα 14. Διακύμανση του βάρους της χλωρής βιομάζας..... | 116 |
| Σχήμα 15. Διακύμανση του βάρους της ξηρής βιομάζας..... | 116 |
| Σχήμα 16. Συνολική παραγωγή χλωρής βιομάζας στο σύνολο των μεταχειρίσεων..... | 117 |
| Σχήμα 17. Συνολική παραγωγή ξηρής βιομάζας στο σύνολο των μεταχειρίσεων..... | 118 |