

ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΘΕΣΣΑΛΙΑΣ
ΣΧΟΛΗ ΓΕΩΠΟΝΙΚΩΝ ΕΠΙΣΤΗΜΩΝ
ΤΜΗΜΑ ΓΕΩΠΟΝΙΑΣ ΦΥΤΙΚΗΣ ΠΑΡΑΓΩΓΗΣ ΚΑΙ ΑΓΡΟΤΙΚΟΥ
ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝΤΟΣ
ΔΙΑΤΜΗΜΑΤΙΚΟ ΠΡΟΓΡΑΜΜΑ ΜΕΤΑΠΤΥΧΙΑΚΩΝ ΣΠΟΥΔΩΝ
ΚΑΤΕΥΘΥΝΣΗ: ΓΕΩΡΓΙΚΗ ΜΗΧΑΝΙΚΗ – ΔΙΑΧΕΙΡΙΣΗ ΦΥΣΙΚΩΝ
ΠΟΡΩΝ
ΕΡΓΑΣΤΗΡΙΟ ΓΕΩΡΓΙΚΗΣ ΥΔΡΑΥΛΙΚΗΣ

ΜΕΤΑΠΤΥΧΙΑΚΗ ΔΙΑΤΡΙΒΗ
“ΥΠΟΓΕΙΑ ΑΡΔΕΥΣΗ ΤΟΥ ΕΝΕΡΓΕΙΑΚΟΥ ΦΥΤΟΥ ΣΟΡΓΟΥ ΜΕ
ΕΠΕΞΕΡΓΑΣΜΕΝΑ ΥΓΡΑ ΑΠΟΒΛΗΤΑ”
ΚΑΛΑΠΕΡΓΗΤΙΚΗ ΠΕΡΙΟΔΟΣ 2006.

ΣΟΥΛΤΗ ΑΙΚΑΤΕΡΙΝΗ
ΓΕΩΠΟΝΟΣ
ΜΕΤΑΠΤΥΧΙΑΚΗ ΦΟΙΤΗΤΡΙΑ



ΕΠΙΒΛΕΠΟΥΣΑ ΚΑΘΗΓΗΤΡΙΑ:
Μ. ΣΑΚΕΛΛΑΡΙΟΥ – ΜΑΚΡΑΝΤΩΝΑΚΗ

ΒΟΛΟΣ 2007



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

Αριθ. Εισ.:	5924/1
Ημερ. Εισ.:	22-01-2008
Δωρεά:	Συγγραφέα
Ταξιθετικός Κωδικός:	Δ
	631.587
	ΣΟΥ

ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΘΕΣΣΑΛΙΑΣ
ΣΧΟΛΗ ΓΕΩΠΟΝΙΚΩΝ ΕΠΙΣΤΗΜΩΝ
ΤΜΗΜΑ ΓΕΩΠΟΝΙΑΣ ΦΥΤΙΚΗΣ ΠΑΡΑΓΩΓΗΣ ΚΑΙ ΑΓΡΟΤΙΚΟΥ
ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝΤΟΣ
ΔΙΑΤΜΗΜΑΤΙΚΟ ΠΡΟΓΡΑΜΜΑ ΜΕΤΑΠΤΥΧΙΑΚΩΝ ΣΠΟΥΔΩΝ
ΚΑΤΕΥΘΥΝΣΗ: ΓΕΩΡΓΙΚΗ ΜΗΧΑΝΙΚΗ – ΔΙΑΧΕΙΡΙΣΗ ΦΥΣΙΚΩΝ
ΠΟΡΩΝ
ΕΡΓΑΣΤΗΡΙΟ ΓΕΩΡΓΙΚΗΣ ΥΔΡΑΥΛΙΚΗΣ

ΜΕΤΑΠΤΥΧΙΑΚΗ ΔΙΑΤΡΙΒΗ

“ΥΠΟΓΕΙΑ ΑΡΔΕΥΣΗ ΤΟΥ ΕΝΕΡΓΕΙΑΚΟΥ ΦΥΤΟΥ ΣΟΡΓΟΥ ΜΕ
ΕΠΕΞΕΡΓΑΣΜΕΝΑ ΥΓΡΑ ΑΠΟΒΛΗΤΑ”
ΚΑΛΛΙΕΡΓΗΤΙΚΗ ΠΕΡΙΟΔΟΣ 2006.

ΣΟΥΛΤΗ ΑΙΚΑΤΕΡΙΝΗ
ΓΕΩΠΟΝΟΣ
ΜΕΤΑΠΤΥΧΙΑΚΗ ΦΟΙΤΗΤΡΙΑ

ΕΠΙΒΛΕΠΟΥΣΑ ΚΑΘΗΓΗΤΡΙΑ:
Μ. ΣΑΚΕΛΛΑΡΙΟΥ – ΜΑΚΡΑΝΤΩΝΑΚΗ

ΕΞΕΤΑΣΤΙΚΗ ΕΠΙΤΡΟΠΗ:

ΣΑΚΕΛΛΑΡΙΟΥ – ΜΑΚΡΑΝΤΩΝΑΚΗ Μ., Καθηγήτρια Π.Θ.
ΔΑΝΑΛΑΤΟΣ Ν., Καθηγητής Π.Θ.
ΜΑΥΡΟΜΑΤΗΣ Α., Λέκτορας Π.Θ.

Στους γονείς μου

ΕΥΧΑΡΙΣΤΙΕΣ

Η παρούσα μεταπτυχιακή διατριβή πραγματοποιήθηκε στα πλαίσια των ερευνητικών δραστηριοτήτων που διεξάγει το Εργαστήριο Γεωργικής Υδραυλικής του Τμήματος Γεωπονίας Φυτικής Παραγωγής και Αγροτικού Περιβάλλοντος του Πανεπιστημίου Θεσσαλίας υπό την επίβλεψη της Καθηγήτριας κ. Σακελλαρίου – Μακραντωνάκη Μαρίας.

Τώρα που η επίπονη, αλλά και ταυτόχρονα συναρπαστική προσπάθεια έφθασε στο τέλος της, αισθάνομαι την ανάγκη να ευχαριστήσω ορισμένους ανθρώπους, η συμβολή των οποίων, η βοήθειά τους και η υποστήριξή τους ήταν πολύτιμη για μένα

Πρώτα απ' όλους θα ήθελα να ευχαριστήσω ιδιαίτερα την Καθηγήτρια κ. Σακελλαρίου – Μακραντωνάκη Μαρία για την ευκαιρία που μου έδωσε να ασχοληθώ με το συγκεκριμένο γνωστικό αντικείμενο αλλά και για την οργάνωση, παρακολούθηση και συνεχή καθοδήγηση σε όλη τη διάρκεια πραγματοποίησης της εργασίας αυτής, η οποία ήταν πολύτιμη και ουσιαστική. Επίσης, αισθάνομαι την υποχρέωση να την ευχαριστήσω και για την ηθική της υποστήριξη και την κριτική που άσκησε πριν την ολοκλήρωση της τελικής μορφής του κειμένου της διατριβής μου.

Θα ήθελα επίσης να ευχαριστήσω τη Δ.Ε.Υ.Α.Μ. Βόλου και το προσωπικό του Βιολογικού Καθαρισμού για την άψογη συνεργασία μας κατά τη διεξαγωγή του πειράματος.

Επίσης, τους κ. Δαναλάτο Νικόλαο, Καθηγητή της Σχολής Γεωπονικών Επιστημών του Πανεπιστημίου Θεσσαλίας, και κ. Μαυρομάτη Αθανάσιο, Λέκτορα της Σχολής Γεωπονικών Επιστημών του Πανεπιστημίου Θεσσαλίας, για τις σημαντικές υποδείξεις τους, που συνέβαλλαν ουσιαστικά στη διεκπεραίωση της παρούσας διατριβής, καθώς και για το χρόνο που αφιέρωσαν και την εποικοδομητική κριτική που άσκησαν ως μέλη της Τριμελούς Εξεταστικής Επιτροπής.

Ένα μεγάλο ευχαριστώ οφείλω στον κ. Παπαλέξη Δημήτρη, υποψήφιο Διδάκτορα στο Εργαστήριο Γεωργικής Υδραυλικής, του οποίου η συμβολή, τόσο θεωρητική όσο και πρακτική, στην πραγματοποίηση της πειραματικής διαδικασίας ήταν καθοριστική, καθώς και στον κ. Παπανίκο Νικόλαο, μέλος

Ε.Ε.Δ.Ι.Π. του Πανεπιστημίου Θεσσαλίας, για την πολύτιμη βοήθεια του στην εγκατάσταση του πειράματος.

Να ευχαριστήσω επίσης, τον προπτυχιακό φοιτητή της Γεωπονικής Σχολής, Μπαρτζώκα Νικόλαο, για τη βοήθειά του στις δειγματοληψίες – κοπές που πραγματοποιήθηκαν στα πλαίσια της παρούσας διατριβής.

Τον κ. Σουίπα Σπύρο καθώς και τους εργαζόμενους στο Αγρόκτημα του Πανεπιστημίου Θεσσαλίας στο Βελεστίνο, για την άψογη συνεργασία μας.

Την κ. Γκόλια Ευαγγελία, του Εργαστηρίου Εδαφολογίας του Πανεπιστημίου Θεσσαλίας, για τη διεκπεραίωση των απαιτούμενων εδαφολογικών αναλύσεων.

Τέλος, θα ήθελα να ευχαριστήσω θερμά την οικογένειά μου για την ηθική τους συμπαράσταση, και όχι μόνο, σε όλη τη διάρκεια των μεταπτυχιακών μου σπουδών.

ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ

	ΣΕΛΙΔΕΣ
ΠΕΡΙΛΗΨΗ.....	10
ABSTRACT	12
ΕΙΣΑΓΩΓΗ	14
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1ο – ΕΝΕΡΓΕΙΑΚΑ ΦΥΤΑ.....	18
1.1 Γενικά.....	18
1.2 Πλεονεκτήματα της χρήσης ενεργειακών φυτών.....	20
1.3 Υγρά βιοκαύσιμα.....	21
1.4 Υπάρχουσα κατάσταση στην Ελλάδα	23
1.5 Σημαντικές ενεργειακές καλλιέργειες.....	28
1.5.1 Σόργο (<i>Sorghum sp.</i>).....	28
1.5.2 Αραβόσιτος (<i>Zea mays</i>)	29
1.5.3 Κενάφ (<i>Hibiscus cannabinus</i>).....	30
1.5.4 Βαμβάκι (<i>Gossypium spp.</i>)	31
1.5.5 Πικρά λούπινα (<i>Lupinus albus</i>)	32
1.5.6 Ελαιοκράμβη (<i>Brassica napus</i>)	32
1.5.7 Ρετινολαδιά (<i>Ricinus communis</i>).....	33
1.5.8 Ηλίανθος ετήσιος (<i>Helianthus annuus</i>) και ο κονδυλόρριζος (<i>Helianthus tuberosus</i>).....	34
1.5.9 Λινάρι (<i>Linum usitatissimum</i>) και Κανάβι (<i>Cannabis sativa</i>).....	35
1.5.10 Αβησσινιακή μουστάρδα (<i>Brassica carinata</i>).....	35
1.5.11 Γιγαντιαίο καλάμι (<i>Arundo donax L.</i>)	35
1.5.12 Αγκαθωτή αγκινάρα (<i>Cynara cardunculus</i>)	36
1.5.13 Μίσχανθος (<i>Miscanthus sinensis</i>).....	36
1.5.14 Ευκάλυπτος.....	37
1.5.15 Ακακία η κοινή	38
1.5.16 Καρυδιά	39
1.5.17 Καστανιά.....	39

1.6 ΠΡΟΟΠΤΙΚΕΣ	39
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2ο – ΣΟΡΓΟ (<i>Sorghum bicolor</i>).....	40
2.1 Γενικά.....	40
2.2 Βοτανικά γνωρίσματα.....	42
2.3 Οικολογικές απαιτήσεις	45
2.4 Καλλιέργεια	47
2.5 Εχθροί και ασθένειες.....	50
2.6 Προϊόντα	51
2.7 Σόργο και καλαμπόκι.....	53
2.8 Είδη σόργου που χρησιμοποιούνται ως ενεργειακή καλλιέργεια	54
2.8.1 Ινώδες σόργο.....	54
2.8.2 Γλυκό σόργο	55
2.9 Βελτίωση.....	56
2.9.1 Μέθοδοι	57
2.9.2 Γνωρίσματα για βελτίωση	58
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3ο – ΥΓΡΑ ΑΠΟΒΛΗΤΑ ΓΙΑ ΑΡΔΕΥΣΗ	61
3.1 Γενικά.....	61
3.2 Διεθνής εμπειρία	63
3.3 Μέθοδοι επεξεργασίας.....	67
3.3.1 Συμβατική επεξεργασία	68
3.3.2 Σύγκριση συστημάτων επεξεργασίας	70
3.4 Ποιοτικά χαρακτηριστικά.....	71
3.5 Καταλληλότητα για άρδευση.....	76
3.5.1 Χημική ανάλυση	76
3.5.2 Αξιολόγηση ποιοτικών χαρακτηριστικών	78
3.5.2.1 Αλατότητα.....	78
3.5.2.2 Διηθητικότητα.....	80
3.5.2.3 Τοξικότητα ιόντων	81
3.5.2.4 Ιχνοστοιχεία	82
3.5.2.5 Θρεπτικά στοιχεία.....	83
3.5.3 Διάφορα προβλήματα	86
3.6 Υγειονομικοί κίνδυνοι.....	86

3.6.1 Παθογόνοι μικροοργανισμοί.....	87
3.6.2 Προστασία της δημόσια υγείας.....	89
3.6.2.1 Περιορισμοί στην επιλογή των καλλιεργειών	90
3.6.2.2 Ελεγχόμενη εφαρμογή των αποβλήτων	91
3.6.2.3 Έλεγχος της ανθρώπινης έκθεσης.....	92
3.6.3 Μικροβιολογικά κριτήρια για άρδευση	92
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4ο – ΜΕΘΟΔΟΙ ΑΡΔΕΥΣΗΣ.....	99
4.1 Γενικά.....	99
4.2 Επιλογή μεθόδου άρδευσης.....	100
4.3 Υπόγεια στάγδην άρδευση	103
4.3.1 Γενικά.....	103
4.3.2 Περιγραφή του συστήματος υπόγειας στάγδην άρδευσης.....	107
4.3.3 Πλεονεκτήματα υπόγειας στάγδην άρδευσης	109
4.3.4 Μειονεκτήματα υπόγειας στάγδην άρδευσης	115
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 5ο – ΕΓΚΑΤΑΣΤΑΣΗ ΤΟΥ ΠΕΙΡΑΜΑΤΟΣ – ΥΛΙΚΑ ΚΑΙ ΜΕΘΟΔΟΙ.....	118
5.1 Χάραξη του πειραματικού αγρού	118
5.2 Εδαφολογικά χαρακτηριστικά του πειραματικού αγρού	122
5.3 Εγκατάσταση της καλλιέργειας.....	122
5.4 Υλικά άρδευσης.....	130
5.5 Εξατμισόμετρο τύπου A	136
5.6 Μέτρηση εδαφικής υγρασίας.....	137
5.7 Συσκευή προσδιορισμού του Δείκτη Φυλλικής Επιφάνειας (LAI).....	142
5.8 Άρδευση με υγρά απόβλητα	143
5.9 Προσδιορισμός χαρακτηριστικών σόργου (ανάπτυξη και παραγωγικότητα της καλλιέργειας)	147
5.9.1 Ύψος φυτών.....	147
5.9.2 Αριθμός φύλλων και αδελφιών.....	148
5.9.3 Αριθμός φοβών	149
5.9.4 Χλωρή και ξηρή βιομάζα.....	150
5.10 Μετεωρολογικά δεδομένα	155
5.11 Εδαφολογικά χαρακτηριστικά των πειραματικών τεμαχίων	155

5.12 Στατιστική ανάλυση των αποτελεσμάτων.....	157
5.13 Υπολογισμός δόσης, εύρους και διάρκειας άρδευσης	157
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 6ο – ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ – ΣΥΖΗΤΗΣΗ.....	177
6.1 Κλιματικά δεδομένα	177
6.2 Υγρασία εδάφους	179
6.3 Δείκτης Φυλλικής Επιφάνειας (LAI)	182
6.4 Εξοικονόμηση νερού	186
6.5 Αποτελέσματα προσδιορισμού χαρακτηριστικών σόργου (ανάπτυξη και παραγωγικότητα της καλλιέργειας)	187
6.5.1 Ύψος φυτών.....	187
6.5.2 Αριθμός φύλλων και αδελφιών.....	190
6.5.3 Αριθμός φυτών με ταξιανθία και αριθμός ταξιανθιών ανά φυτό	195
6.5.4 Χλωρή και ξηρή βιομάζα.....	199
6.6 Εδαφολογική ανάλυση του πειραματικού αγρού.....	205
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 7ο – ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ.....	209
ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ	214
ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ	235
I. Ημερολόγιο εργασιών.....	236
II. Σχήματα διακύμανσης της εδαφικής υγρασίας	245
III. Φωτογραφίες	249

ΠΕΡΙΛΗΨΗ

Η αυξανόμενη έλλειψη και ρύπανση του νερού αναδεικνύουν μια ξεχωριστή πρόκληση για τους διαχειριστές υδατικών πόρων και τους πολιτικούς: ικανοποίηση της αυξανόμενης ζήτησης νερού από τον συνεχώς αυξανόμενο πληθυσμό, με παράλληλη προστασία του περιβάλλοντος και της δημόσιας υγείας αποφεύγοντας τις τοπικές, περιφερειακές και διεθνείς συγκρούσεις. Η χρήση επεξεργασμένων υγρών αστικών αποβλήτων για άρδευση γεωργικών εκτάσεων γίνεται όλο και πιο δημοφιλής.

Σκοπός της παρούσας εργασίας ήταν να ερευνηθούν τα αποτελέσματα της υπόγειας στάγδην άρδευσης με επεξεργασμένα υγρά αστικά απόβλητα στην ανάπτυξη και απόδοση του γλυκού σόργου (*Sorghum bicolor* L.), ως ενεργειακού φυτού, και συνεπώς να αξιολογηθεί και η εξοικονόμηση νερού από τη χρήση υγρών αστικών αποβλήτων έναντι της χρήσης καθαρού νερού.

Για το σκοπό αυτό πραγματοποιήθηκε πιλοτική εφαρμογή στο Αγρόκτημα του Πανεπιστημίου Θεσσαλίας στην περιοχή του Βελεστίνου το έτος 2006, η οποία περιλάμβανε ένα πλήρες τυχαιοποιημένο σχέδιο με 2 μεταχειρίσεις (καθαρό και απόβλητο νερό) σε 4 επαναλήψεις. Τα υγρά αστικά απόβλητα προέρχονταν από τη Δ.Ε.Υ.Α.Μ. Βόλου και είχαν υποστεί δευτεροβάθμια επεξεργασία με αφαίρεση θρεπτικού αζώτου και φωσφόρου. Πραγματοποιήθηκε παρακολούθηση της ποιότητας των λυμάτων με τη μέτρηση των φυσικοχημικών τους παραμέτρων.

Η ποσότητα του εφαρμοζόμενου νερού καθορίστηκε σύμφωνα με την εξατμισοδιαπνοή, με τη βοήθεια εξατμισομέτρου τύπου A, σε κάλυψη 100 % των αναγκών της καλλιέργειας και έγινε χρήση αυτόματου προγράμματος άρδευσης.

Οι μετρήσεις που έγιναν αφορούσαν το ύψος των φυτών, τον αριθμό φύλλων και αδελφιών, το δείκτη φυλλικής επιφάνειας, την υγρασία του εδάφους, τη χλωρή και ξηρή βιομάζα καθώς και τον αριθμό φυτών με ταξιανθία και τον αριθμό ταξιανθιών ανά φυτό. Επίσης λαμβάνονταν μετρήσεις μετεωρολογικών δεδομένων (βροχόπτωση και θερμοκρασία αέρα) από τον αυτόματο μετεωρολογικό σταθμό του αγροκτήματος. Τέλος, έγιναν εδαφολογικές

αναλύσεις (pH, ηλεκτρική αγωγιμότητα, CaCO_3 , N, P, Zn κλπ) πριν και μετά το τέλος της αρδευτικής περιόδου.

Τα πειραματικά αποτελέσματα έδειξαν ότι ο ρυθμός ανάπτυξης (ύψος φυτών, δείκτης φυλλικής επιφάνειας, αριθμός φύλλων, αριθμός φυτών με ταξιανθία και αριθμός ταξιανθιών ανά φυτό) και η τελική απόδοση σε χλωρή και ξηρή βιομάζα δεν διέφεραν στατιστικώς σημαντικά ($P > 0,05$) στις δυο μεταχειρίσεις ενώ παράλληλα με τη χρησιμοποίηση επεξεργασμένων υγρών αστικών απόβλητων, επιτεύχθηκε σημαντική εξοικονόμηση αρδευτικού νερού καθιστώντας φανερή τη δυναμική της άρδευσης με επεξεργασμένα υγρά αστικά απόβλητα στο γλυκό σόργο ως εναλλακτική καλλιέργεια για την παραγωγή βιομάζας, σύμφωνα με τις σύγχρονες ανάγκες της γεωργίας χαμηλών εισροών. Μόνο η μέτρηση του αριθμού αδελφιών έδωσε στατιστικά σημαντική διαφορά, υπέρ της μεταχείρισης του καθαρού νερού. Επίσης, από την εδαφολογική ανάλυση που διεξήχθη στη μεταχείριση του λύματος, δεν καταγράφηκε οποιαδήποτε συγκέντρωση τοξικών στοιχείων.

ABSTRACT

The increasing lack and pollution of water show a separate challenge for the managers of the aqueous resources and the politicians: satisfaction of the increasing demand of water from the continuously increasing population, with parallel protection of the environment and of the public health avoid the local, regional and international conflicts. The use of treated liquid municipal wastewater for irrigation of agricultural areas is becoming continually more popular.

The aim of this study was to search the effects of subsurface drip irrigation with treated liquid municipal wastewater on the growth and yield of sweet sorghum (*Sorghum bicolor* L.), as energy plant, and also to be considered the water saving from the use of liquid municipal wastewater against the use of fresh water.

For this purpose a field experiment was carried out in the experimental Farm of the University of Thessaly in Belestino in 2006, including a completely randomized plot design with 2 treatments (fresh and waste water) in 4 replications. The liquid municipal wastewater came from the city of Volos, after secondary purification and subtraction of nutritive nitrogen and phosphorus. The quality of the waste water was determined continuously by recording its physical and chemical characteristics.

The quantity of applied water was determined using a class-A evaporation pan, for matching 100 % of the evapotranspiration needs using an automatic activation irrigation program.

Among the measurements of plant characteristics was plant height, number of leaves and tillers, leaf area index and fresh and dry biomass production. The percentage of flowering plants was recorded as well. Meteorological data on rainfall and air temperature were recorded hourly in a fully automatic meteorological station, installed in experimental site. Finally, analyses of important soil characteristics (pH, electric conductivity, CaCO₃ content, N, P, Zn contents etc) and moisture content were done before and after the irrigation period.

The experimental results showed that plant growth as reflected by plant height, LAI, number of leaves, % flowering and the final fresh and dry biomass production did not differ significantly ($P > 0,05$) in the two treatments, while at the same time with the utilisation of wastewater, considerable amounts of irrigation water were saved. As a conclusion, introduction of irrigation with treated liquid municipal wastewater to sweet sorghum cultivation may further improve the outputs/inputs ratio of this cultivation increasing sorghum's importance as an alternative energy crop in our country. Only the measurement of the number of tillers gave statistically significant difference, for the treatment of clean water. It should be mentioned that no concentration of toxic elements was recorded in the analyses of soils receiving irrigation with purified wastewater.

ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Η φυσική και οικονομική σημασία του νερού αυξάνει ραγδαία κατά τα τελευταία χρόνια και θα εξακολουθεί να γίνεται διαρκώς μεγαλύτερη στο μέλλον όσο η τεχνολογική και πολιτιστική ανάπτυξη της χώρας μας θα εξελίσσεται προς υψηλότερα επίπεδα και οι ανάγκες σε νερό θα πολλαπλασιάζονται. Έτσι η ανύψωση του βιοτικού επιπέδου των κατοίκων και η παράλληλη ανάπτυξη της βιομηχανίας δημιούργησαν ισχυρούς ανταγωνιστές στη χρήση του νερού για την αρδευόμενη γεωργία και αύξησαν την οικονομική του σημασία. Επιπλέον οι φυσικά διαθέσιμες ποσότητες νερού στη χώρα μας είναι σχετικά περιορισμένες και η απόκτηση των απαιτούμενων ποσοτήτων νερού είναι συνήθως πολύ δαπανηρή. Γι' αυτό το λόγο, η χρήση του όχι μόνο θα πρέπει να γίνεται με αρκετή περίσκεψη, αλλά παράλληλα θα πρέπει να λαμβάνονται υπόψη, όλοι εκείνοι οι παράγοντες που τελικά οδηγούν στη βέλτιστη χρησιμοποίησή του. Το πρόβλημα τροφοδοσίας του νερού στην κατάλληλη ποσότητα και ποιότητα, είναι μια από τις σημαντικές προκλήσεις των ερχόμενων ετών.

Οι συνεχώς αυξανόμενες ανάγκες σε νερό πρέπει να αντιμετωπισθούν πρωτίστως με την ορθολογική διαχείριση των υφιστάμενων υδατικών πόρων και δευτερευόντως με την εξεύρεση νέων πηγών διαθέσιμου νερού, υπόθεση πολύ δύσκολη πλέον και με κόστος συνεχώς αυξανόμενο. Η μείωση των πάσης φύσεως απωλειών του αρδευτικού νερού (Bos and Nugteren 1983, Christov et al. 1998, Μαυρουδής κ.ά. 1993, Babajimopoulos et al. 1996), η αξιοποίηση μεγαλύτερου μέρους των χειμερινών απορροών με την κατασκευή φραγμάτων ή την εφαρμογή του τεχνητού εμπλουτισμού (Todd 1967, Πουλοβασίλης και Παγώνης 1981, Καλλέργης 1985, Bouwer 1988, Βαφειάδης 1995, Καραμούζης και Τερζίδης 1998) και η αξιοποίηση νερών υποβαθμισμένης ποιότητας, όπως νερά αυξημένης περιεκτικότητας σε άλατα (Rhoades et al. 1992, Ayers and Westcot 1985) ή επεξεργασμένα υγρά αστικά απόβλητα (Pettygrove and Asano 1985, Papadopoulos and Stylianos 1991, Παπαζαφειρίου και Αντωνόπουλος 1991, Αγγελάκης και Tsobanoglous 1995, Σακελλαρίου – Μακραντωνάκη κ.ά. 2003, 2004, 2005, Ganoulis 1995, Πανώρας και Ηλίας 1997α, β) αποτελούν τα βασικά μέτρα εξοικονόμησης σημαντικών ποσοτήτων νερού.

Με τη χρήση επεξεργασμένων υγρών αστικών αποβλήτων για άρδευση λύνεται κατά κάποιο τρόπο και το πρόβλημα της διάθεσης και διαχείρισης

αυτών, και μάλιστα με τρόπο οικονομικό και περιβαλλοντικά ασφαλή. Η διάθεση των υγρών αποβλήτων είναι ένα από τα πιο πιεστικά προβλήματα των κοινωνιών μιας και οι μέχρι τώρα λύσεις της απόθεσης στην επιφάνεια της γης ή σε χωματερές, της αποτέφρωσης ή της απόρριψης στη θάλασσα είναι συχνά αντιοικονομικές ή επιβαρύνουν σημαντικά το περιβάλλον. Η διάθεση των υγρών αποβλήτων έπαιξε και εξακολουθεί να παίζει σημαντικό ρόλο στη ρύπανση των υδάτινων αποδεκτών (ποτάμια, λίμνες, θάλασσες, υπόγεια νερά), με αποτέλεσμα την υποβάθμιση των οικοσυστημάτων – αποδεκτών, την αχρήστευση (τουλάχιστον πρόσκαιρη) πηγών νερού για ύδρευση ή/και άρδευση, τη διάδοση ασθενειών και τη δημιουργία δυσάρεστων καταστάσεων για τους ανθρώπους που διαβιούν κοντά ή συνδέονται κατά κάποιο τρόπο με τους υδάτινους αυτούς αποδέκτες.

Με σκοπό την εκμετάλλευση μιας επιπλέον πηγής νερού, ιδιαίτερα σημαντικής, τουλάχιστον στις ξηρές και ημιξηρικές περιοχές του πλανήτη, αλλά και τη μείωση των δυσμενών επιπτώσεων από τη διάθεση των υγρών αποβλήτων, δόθηκε μεγάλη έμφαση παγκοσμίως από τις αρχές της δεκαετίας του 1980, στην επεξεργασία και στη δυνατότητα επαναχρησιμοποίησης των υγρών αποβλήτων. Η χρησιμοποίηση των επεξεργασμένων ή μη υγρών αποβλήτων, είναι μία πρακτική που έχει εφαρμοσθεί από τους αρχαίους ακόμη χρόνους. Ωστόσο τα τελευταία μόνο χρόνια έχουν αρχίσει να θεσπίζονται κριτήρια για την ασφαλή επαναχρησιμοποίηση τους στην άρδευση γεωργικών και αστικών εκτάσεων, στον εμπλουτισμό υδροφορέων, στη βιομηχανία και αλλού.

Γενική είναι η διαπίστωση ότι το υφιστάμενο σήμερα καθεστώς στον τομέα των αρδεύσεων οδηγεί σε μεγάλη σπατάλη νερού. Ένα από τα βασικότερα αίτια της σπατάλης αυτής, είναι ο μη ακριβής προσδιορισμός των αναγκών σε νερό άρδευσης των καλλιεργειών. Το ύψος των απωλειών νερού είναι άμεσα συνδεδεμένο με τη σωστή εφαρμογή της άρδευσης, η οποία προϋποθέτει τον ακριβή υπολογισμό της αρδευτικής δόσης, τον προσδιορισμό του χρόνου εφαρμογής των αρδεύσεων που καθορίζεται από τη διακύμανση της εξατμισοδιαπνοής και της βροχής κατά τη διάρκεια της βλαστικής περιόδου, τον προσδιορισμό της διάρκειας της άρδευσης που καθορίζεται από τη διηθητικότητα του εδάφους και την εφαρμοζόμενη μέθοδο.

Η διαθεσιμότητα του νερού έχει φθάσει στα όριά της και πρέπει να αναζητηθούν και να εφαρμοσθούν εναλλακτικές μέθοδοι άρδευσης τόσο για τον περιορισμό των απωλειών του νερού κατά τη διανομή και χορήγησή του στα φυτά όσο και για την επίτευξη υψηλών αποδόσεων. Ένα τέτοιο σύστημα άρδευσης, μερικώς ή πλήρως αυτοματοποιημένο, είναι η υπόγεια στάγδην άρδευση. Η υπόγεια στάγδην άρδευση συγκαταλέγεται ανάμεσα στις σύγχρονες μεθόδους άρδευσης που χαρακτηρίζονται από υψηλή αποδοτικότητα ύδατος και ελαχιστοποίησης σε μεγάλο βαθμό του κόστους εφαρμογής του νερού. Η υπόγεια στάγδην άρδευση είναι επίσης, μία μέθοδος άρδευσης η οποία διασφαλίζει σε μεγάλο βαθμό την προστασία της δημόσιας υγείας και ελαχιστοποιεί τις επιπτώσεις στο περιβάλλον, όταν η άρδευση γίνεται με επεξεργασμένα υγρά αστικά απόβλητα.

Όσον αφορά το θέμα των καλλιεργειών, η αλλαγή στρατηγικής της Ευρωπαϊκής Ένωσης και της παγκόσμιας κοινότητας πάνω σε θέματα περιβάλλοντος έκανε επιτακτική την ανάγκη διερεύνησης μεθόδων φιλικών προς το περιβάλλον αλλά και υλικών που σκοπό έχουν τη μεγιστοποίηση των εισροών ενέργειας από ανανεώσιμες πηγές, όπως η βιομάζα, με την ταυτόχρονη μείωση της κατανάλωσης των συμβατικών ενεργειακών καυσίμων καθώς και των ρυπογόνων αποτελεσμάτων από τη χρήση τους. Ειδικότερα την τελευταία δεκαετία μεγάλη έμφαση έχει δοθεί στην καλλιέργεια ενεργειακών φυτών όπως η ελαιοκράμβη, ο ηλιάνθος, το σόργο κ.ά. με στόχο την παραγωγή βιοκαυσίμων.

Ο σκοπός της παρούσας εργασίας είναι να μελετήσει την επίδραση της υπόγεια στάγδην άρδευσης με επεξεργασμένα υγρά αστικά απόβλητα, στην ανάπτυξη και απόδοση του γλυκού σόργου (*Sorghum bicolor* L.), ως ενεργειακού φυτού. Ταυτόχρονα δίνεται η δυνατότητα ανίχνευσης οποιασδήποτε αλλαγής στις εδαφολογικές ιδιότητες και αξιολόγησης της εξοικονόμησης νερού από τη χρήση επεξεργασμένων υγρών αστικών αποβλήτων έναντι της χρήσης καθαρού νερού.

Το σόργο είναι φυτό μονοετές, με μικρές απαιτήσεις σε νερό και λίπασμα, μικρής φωτοπεριόδου και ανήκει στην κατηγορία των C₄ φυτών με μεγάλη φωτοσυνθετική ικανότητα επομένως καθίσταται ικανό για υψηλές αποδόσεις σε βιομάζα και μεγάλες δυνατότητες για ενεργειακή χρήση (Curt et al. 1995, Dalianis 1996, Chatziathanassiou et al. 1998, Sakellariou – Makrantonaki et al. 2001).

Αξίζει να σημειωθεί ότι στη βιβλιογραφία υπάρχουν έρευνες σχετικά με την πιθανότητα επαναχρησιμοποίησης επεξεργασμένων υγρών αστικών αποβλήτων στην άρδευση καλλιεργειών, όπως τα ζαχαρότευτλα (Πανώρας κ.ά., 1998α, β, 1999α, β), ο αραβόσιτος (Τσαντήλας και Σαμαράς, 1996), η τομάτα, η πιπεριά, ανθοκομικών ειδών όπως η ζέρμπερα (Traka – Mavrona et al. 1996, Maloupa et al. 1997) καθώς και στην άρδευση πρασίνου (Σακελλαρίου – Μακραντωνάκη κ.ά., 2003) αλλά έρευνες σχετικά με την επαναχρησιμοποίηση επεξεργασμένων υγρών αποβλήτων στην άρδευση ενεργειακών καλλιεργειών, όπως π.χ. το σόργο, δεν έχουν αναφερθεί. Το Εργαστήριο Γεωργικής Υδραυλικής του Πανεπιστημίου Θεσσαλίας πρωτοπορεί στο θέμα αυτό και ανταποκρινόμενο στις απαιτήσεις των τελευταίων χρόνων πάνω σε θέματα περιβάλλοντος και παραγωγής ενέργειας από ανανεώσιμες πηγές, διεξάγει έρευνα για τη διερεύνηση της ανάπτυξης και απόδοσης του γλυκού σόργου υπό την επίδραση της υπόγειας στάγδην άρδευσης με εφαρμογή επεξεργασμένων υγρών αποβλήτων της πόλης του Βόλου.

ΕΝΕΡΓΕΙΑΚΑ ΦΥΤΑ

1.1 Γενικά

Η εξάρτηση της ανθρωπότητας από συμβατικές πηγές ενέργειας οι οποίες εξαντλούνται και δημιουργούν κοινωνικά προβλήματα αλλά και περιβαλλοντικά, εξαιτίας των ρύπων που εκπέμπουν, οδήγησαν στην εξεύρεση οικονομικών και οικολογικών, εναλλακτικών μορφών ενέργειας. Τέτοιες πηγές ενέργειας ονομάζονται ανανεώσιμες γιατί είναι ανεξάντλητες όπως ο ήλιος, το νερό, ο άνεμος, η βιομάζα κ.ά. Από εικοσιπενταετίας, με την ενεργειακή κρίση, η βιομάζα άρχισε να παίζει όλο και πιο σημαντικό ρόλο στην κάλυψη των ενεργειακών αναγκών του κόσμου, ενώ θεωρείται ότι είναι μία ανεξάντλητη πηγή ενέργειας, η οποία είναι δυνατό να συμβάλλει σημαντικά στο ενεργειακό ισοζύγιο μιας χώρας, πριν εξαντληθούν τα εθνικά και διεθνή αποθέματα των ορυκτών καυσίμων (Scherpernzeel, 2000).

Κατά την τελευταία δεκαετία και ύστερα από τις πετρελαϊκές κρίσεις έχει δοθεί μεγάλη σημασία και από την Ευρωπαϊκή Ένωση (Ε.Ε.) στην ανάπτυξη νέων μεθόδων και τεχνολογιών για την εξοικονόμηση ενέργειας. Έτσι, η παραγωγή βιομάζας για ενέργεια, είναι το αντικείμενο μεγάλων ερευνητικών προγραμμάτων σε πολλές Ευρωπαϊκές χώρες (αλλά και σε άλλες αναπτυσσόμενες χώρες) ώστε ανανεώσιμες πηγές ενέργειας διαθέσιμες στην κάθε χώρα να μπορούν να χρησιμοποιούνται για μερική αντικατάσταση των ορυκτών καυσίμων.

Έτσι, οι εναλλακτικές αυτές καλλιέργειες που παράγουν προϊόντα για χρήσεις “εκτός διατροφής” (non food products) π.χ. για παραγωγή βιοενέργειας (βιοκαύσιμα, θερμότητα, χαρτοπολτό κ.ά.) δίνουν απάντηση στον αναγκαίο περιορισμό των πλεονασματικών ειδών διατροφής αλλά και στην ανάγκη για παραγωγή ενέργειας.

Η Ε.Ε. χρηματοδοτεί πλουσιοπάροχα ερευνητικά προγράμματα για τέτοιες εναλλακτικές καλλιέργειες, αλλά και προγράμματα συνδυασμένης

δράσης και επίδειξης στα οποία συμμετέχουν οι φορείς μεταποίησης και οι παραγωγοί (Γαλανοπούλου, 2003).

Ο ευρύτερος όρος **βιομάζα** περιλαμβάνει τα πάσης φύσεως φυτικά υπολείμματα και ζωικά απόβλητα, τα βιομηχανικά στερεά οργανικά απορρίμματα καθώς και τις **ενεργειακές καλλιέργειες**. Ενεργειακές καλλιέργειες είναι φυτά που καλλιεργούνται σχεδόν αποκλειστικά για καύσιμα. Παρόλο που χρησιμοποιείται το ξύλο ως καύσιμο από το Μεσαίωνα, η νέα μορφή των ενεργειακών καλλιεργειών αποτελεί την πιο πρόσφατη και πρωτοποριακή μορφή καυσίμου (Scherpernzeel, 2000).

Ένας δεύτερος ορισμός για τη **βιομάζα** είναι και ο παρακάτω. Γενικά, βιομάζα είναι οποιοδήποτε υλικό προέρχεται από ζωντανούς οργανισμούς ενώ πιο ειδικά, βιομάζα είναι κάθε τύπος οργανικής ύλης που μπορεί να χρησιμοποιηθεί για την παραγωγή στερεών, υγρών και αέριων καυσίμων.

Ιδιαίτερο ενδιαφέρον για παραγωγή βιομάζας έχουν τα φυτά τύπου C_4 γιατί είναι πιο ταχυσυζή και με μεγαλύτερο δυναμικό αφομοίωσης της ηλιακής ακτινοβολίας και του CO_2 σε σχέση με τα C_3 φυτά. Φυτά τύπου C_3 μετατρέπουν σε βιομάζα μέχρι και 40 % λιγότερο την προσπίπτουσα ακτινοβολία σε σχέση με τα C_4 φυτά. Εξάλλου τα φυτά τύπου C_4 είναι αποδοτικότερα για ίδια ποσά άρδευσης και λίπανσης (και γενικώς νερού και θρεπτικών στοιχείων) σε σχέση με αυτά του τύπου C_3 (Γαλανοπούλου, 2003).

Γιατί λοιπόν να παράγουμε υγρά καύσιμα από βιομάζα; Γιατί: 1) Συνεισφέρουν στους στόχους της ενεργειακής πολιτικής της Ε.Ε. 2) Εξασφαλίζουν ενέργεια από τοπικές καλλιέργειες. 3) Μειώνουν τις εκπομπές CO_2 στην ατμόσφαιρα. 4) Μειώνουν την εξάρτηση από τις συμβατικές πηγές καυσίμων π.χ. πετρέλαιο. 5) Οδηγούν στην ανάπτυξη της γεωργίας και της βιομηχανίας.

Όπως αναφέρθηκε και προηγουμένως, υπάρχουν δύο τύποι βιομάζας, τα φυτικά και ζωικά υπολείμματα και οι ενεργειακές καλλιέργειες. Οι ενεργειακές καλλιέργειες ως ανανεώσιμη πηγή ενέργειας είναι πολύ σημαντικές επειδή μπορούν να αναπτύσσονται έτσι ώστε να αντιμετωπίσουν τις απαιτήσεις της αγοράς. Γι' αυτό ξεχωρίζουν από τις άλλες ανανεώσιμες πηγές και όταν υπάρχουν θα πρέπει να χρησιμοποιούνται. Η βιομάζα μπορεί να καλύπτει πάντα τις ανάγκες, χωρίς να επηρεάζεται από εξωτερικούς παράγοντες όπως είναι ο καιρός. Οι πολυετείς καλλιέργειες προτιμούνται επειδή απαιτούν μικρότερες

ποσότητες αγροχημικών προϊόντων σε σύγκριση με τις ετήσιες, κάτι που αυξάνει το τελικό ισοζύγιο ενέργειας.

Η νέα Κοινή Αγροτική Πολιτική (Κ.Α.Π.) της Ευρωπαϊκής Ένωσης, γνωστή και ως Agenda 2000, έχει ως στόχο την ενίσχυση της ανάπτυξης, της ανταγωνιστικότητας και την αύξηση της εργασίας στον αγροτικό τομέα. Στην Agenda 2000 περιλαμβάνονται και η μείωση των τιμών κάποιων προϊόντων καθώς και η απευθείας ενίσχυση των εισοδημάτων των παραγωγών, αντικαθιστώντας τις επιδοτήσεις. Μέσα από τη νέα Κ.Α.Π. προβλέπονται και νέες δράσεις για την παραγωγή ανανεώσιμων, ακατέργαστων υλικών για ενεργειακή χρήση. Επισημαίνεται επίσης η σημαντικότητά της στην ανάπτυξη του αγροτικού τομέα και την προστασία του περιβάλλοντος (Scherpernzeel, 2000).

1.2 Πλεονεκτήματα της χρήσης ενεργειακών φυτών

Η παγκόσμια αλλαγή του κλίματος που συντελείται τα τελευταία χρόνια από την αυξανόμενη εκπομπή ρύπων στην ατμόσφαιρα οδήγησε τους ερευνητές στην αναζήτηση νέων πηγών ενέργειας, ανανεώσιμων και φιλικών προς το περιβάλλον (δεν παράγουν CO₂ ή παράγουν σε πολύ μικρή ποσότητα). Η βιομάζα έρχεται να καλύψει τις ανθρώπινες ανάγκες σε ενέργεια. Από πειράματα προέκυψε ότι η βιομάζα έχει να προσφέρει σημαντικά περιβαλλοντικά οφέλη.

Πρώτα απ' όλα μειώνει τις καθαρές εκπομπές σε αέρια που συμβάλλουν στο φαινόμενο του θερμοκηπίου και στην παγκόσμια αύξηση της θερμοκρασίας του αέρα. Καλλιέργειες πολυετείς έχουν περισσότερα πλεονεκτήματα σε σύγκριση με τις ετήσιες, καθώς απαιτούν πολύ λιγότερη ενέργεια το χρόνο για να παράγουν τη βιομάζα. Οι ενεργειακές καλλιέργειες αξιοποιούν περισσότερο CO₂ του αέρα σε σχέση με τις άλλες καλλιέργειες, καθώς αποτελούν δεξαμενές άνθρακα.

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

Επιπλέον, η βιομάζα αυξάνει την οργανική ουσία του εδάφους συμβάλλοντας σημαντικά στη γονιμότητά του και προστατεύει το έδαφος από τη διάβρωση. Τα υπόγεια νερά δεν υφίστανται επιπλέον μόλυνση επειδή τα φυτά έχουν την ικανότητα να αναπτύσσονται χωρίς πολλές απαιτήσεις (ζιζανιοκτόνα, εντομοκτόνα, λιπάσματα) σε σχέση με τις άλλες αροτραίες καλλιέργειες.

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

1.3 Υγρά βιοκαύσιμα

Υπάρχουν δύο τύποι υγρών βιοκαυσίμων. Ο ένας τύπος έχει ως πηγή προέλευσης τα φυτικά έλαια και το παραγόμενο προϊόν ονομάζεται **βιοντίζελ** και ο άλλος τις αλκοόλες και το παραγόμενο προϊόν ονομάζεται **βιοαιθανόλη**.

Βιοντίζελ είναι το προϊόν της μετεστεροποίησης των φυτικών ελαίων με κατάλληλη αλκοόλη παρουσία καταλυτών. Βιοαιθανόλη είναι το προϊόν της ζύμωσης των αμυλούχων, σακχαρούχων και κυτταρινούχων συστατικών των φυτών έπειτα από απόσταξη (Κ.Α.Π.Ε.).

Το βιοντίζελ μπορεί να χρησιμοποιηθεί στους πετρελαιοκινητήρες (κύκλος DIESEL) σε ανάμειξη με πετρέλαιο ή καθαρό (100 %) ενώ η βιοαιθανόλη στους βενζινοκινητήρες (κύκλος ΟΤΤΟ) πάντα σε ανάμειξη με βενζίνη.

Όσον αφορά τις μεθόδους παραγωγής σε βιομηχανικό επίπεδο το βιοντίζελ παράγεται με την παρακάτω αντίδραση:



Τα τριγλυκερίδια είναι τριεστέρες της γλυκερόλης δηλαδή της 1, 2, 3 - προπανοτριόλης με λιπαρά οξέα (το κύριο συστατικό (98 %) φυτικών ελαίων).

Σαν αλκοόλη χρησιμοποιούμε την μεθανόλη οπότε και το βιοντίζελ είναι μεθυλεστέρας. Η γλυκερίνη θεωρείται παραπροϊόν. Ως καταλύτες εστεροποίησης χρησιμοποιούνται οι NaOH, KOH και το πυκνό H₂SO₄.

Υπάρχουν τρεις τύποι παραγόμενου καυσίμου οι οποίοι φαίνονται στον **Πίνακα 1.1** που ακολουθεί.

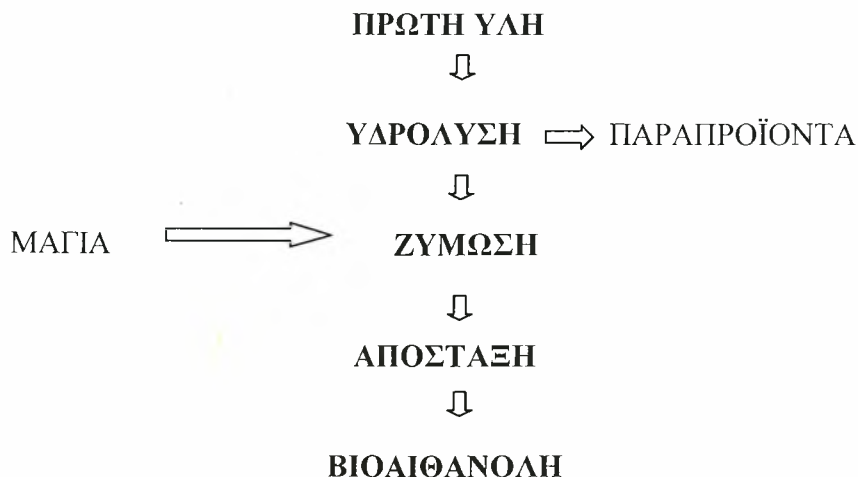
Πίνακας 1.1. Τύποι παραγόμενου καυσίμου (βιοντίζελ).

ΤΥΠΟΣ	ΒΙΟΝΤΙΖΕΛ	ΠΕΤΡΕΛΑΙΟ
B5	5 %	95 %
B30	30 %	70 %
B100	100 %	0 %

Ιδανικές καλλιέργειες για την Ελλάδα που θα μπορούσαν να χρησιμοποιηθούν ως πρώτη ύλη για την παραγωγή βιοντίζελ είναι:

- ✓ Ηλίανθος 35 – 40 % απόδοση
- ✓ Ελαιοκράμβη 30 – 50 % απόδοση
- ✓ Βαμβάκι 15 – 20 % απόδοση
- ✓ Σόγια 15 – 20 % απόδοση (Κ.Α.Π.Ε.)

Η βιοαιθανόλη παράγεται βιομηχανικά ακολουθώντας την παρακάτω αντίδραση:



Υπάρχουν δύο τύποι παραγόμενου καυσίμου οι οποίοι φαίνονται στον **Πίνακα 1.2** που ακολουθεί.

Πίνακας 1.2. Τύποι παραγόμενου καυσίμου (βιοαιθανόλη).

ΤΥΠΟΣ	ΒΙΟΑΙΘΑΝΟΛΗ	BENZINΗ
E5	5 %	95 %
E85	85 %	15 %

Ιδανικές καλλιέργειες για την Ελλάδα για παραγωγή σακχαρούχων, κυτταρινούχων, αμυλούχων πρώτων υλών για παραγωγή βιοαιθανόλης είναι:

- ✓ Ζαχαρότευτλα
- ✓ Σιτάρι
- ✓ Αραβόσιτος
- ✓ Πατάτα
- ✓ Σόργο
- ✓ Κριθάρι

1.4 Υπάρχουσα κατάσταση στην Ελλάδα

Τα τελευταία δέκα χρόνια, γίνονται πειράματα με διάφορες ενεργειακές καλλιέργειες σε διάφορα μέρη της Ελλάδας. Στόχοι των πειραμάτων αυτών είναι η μελέτη των σταδίων ανάπτυξης, η προσαρμογή των συγκεκριμένων καλλιεργειών στο ελληνικό κλίμα καθώς η απόδοση σε βιομάζα, κάτω από διάφορες καλλιεργητικές πρακτικές και συνθήκες. Τα περισσότερα από αυτά τα πειράματα διεξάγονται κυρίως από το Κ.Α.Π.Ε. (Κέντρο Ανανεώσιμων Πηγών Ενέργειας) σε συνεργασία με διάφορους φορείς όπως Πανεπιστήμια και Ιδρύματα (ΕΘ.Ι.ΑΓ.Ε.). Χάρη στο ευνοϊκό κλίμα της Ελλάδας, οι περισσότερες καλλιέργειες δίνουν υψηλές αποδόσεις.

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

- 1) τη βελτίωση στις υπάρχουσες πληροφορίες που αφορούν την παραγωγή και χρησιμοποίηση των ενεργειακών καλλιεργειών και,
- 2) την ανάπτυξη και ολοκλήρωση της έρευνας και υλοποίηση δράσεων στις ενεργειακές καλλιέργειες μέσω:

- ✓ Της αναγνώρισης των σύγχρονων και πρακτικών επιτευγμάτων στις καλλιέργειες.
- ✓ Της αναγνώρισης των ομοιοτήτων και διαφορών (αγροτικές, τεχνικές, οικονομικές, περιβαλλοντικές) των διαφόρων καλλιεργειών.
- ✓ Της ίδρυσης ενός Ευρωπαϊκού δικτύου που θα ανταλλάσσει και θα διαδίδει πληροφορίες για τις ενεργειακές καλλιέργειες.
- ✓ Της αναγνώρισης των δομών και τις ειδικές δυσκολίες της κάθε χώρας χωριστά (Stassen).

Σε περιοχές με έντονο πρόβλημα ατμοσφαιρικής ρύπανσης θεωρείται πλέον αναγκαία η λύση της παραγωγής οξυγονωμένων καυσίμων με μείγμα αιθανόλης (USDA, 1990). Η σημασία της βιοαιθανόλης αναμένεται να αυξηθεί δεδομένου ότι τα περισσότερα ζητήματα υγείας σήμερα σχετίζονται με την ατμοσφαιρική ρύπανση.

Σε πολλές χώρες μάλιστα, με υψηλές καθημερινές τιμές ατμοσφαιρικών ρύπων όπως για παράδειγμα, στις Η.Π.Α. αποφασίστηκε η θεσμοθέτηση ειδικών φοροαπαλλαγών στους χρήστες αυτοκινήτων που θα επιλέξουν ως καύσιμη ύλη το εν' λόγω μείγμα. Με το φορολογικό αυτό κίνητρο σε ισχύ για άλλα 10 έτη η παραγωγική ικανότητα της αιθανόλης αναμένεται να τριπλασιαστεί μέχρι το έτος 2010 (Dinnen, 1991).

Οι κυριότερες καλλιέργειες που χρησιμοποιήθηκαν σε πειράματα στην Ελλάδα χωρίζονται σε δύο μεγάλες κατηγορίες, στις ετήσιες και τις πολυετείς:

Ετήσιες ενεργειακές καλλιέργειες είναι:

- Σόργο (*Sorghum sp.*)

- Αβησσινιακή μουστάρδα (*Brassica carinata*)
- Ελαιοκράμβη (*Brassica napus*)
- Κενάφ (*Hibiscus cannabinus*)
- Αραβόσιτος (*Zea mays*)
- Βαμβάκι (*Gossypium spp.*)
- Πικρά λούπινα (*Lupinus albus*)
- Ρετινολαδιά (*Ricinus communis*)
- Ηλίανθος ετήσιος (*Helianthus annuus*) και ο κονδυλόρριζος (*Helianthus tuberosus*)
- Λινάρι (*Linum usitatissimum*)
- Κανάβι (*Cannabis sativa*)

Πολυετείς ενεργειακές καλλιέργειες είναι:

- Γιγαντιαίο καλάμι (*Arundo donax* L.)
- Αγκινάρα (*Cynara cardunculus*)
- Ευκάλυπτος (*Eucalyptus globulus*) (Δενδρώδης)
- Μίσχανθος (*Miscanthus sinensis*)
- Switchgrass (*Panicum virgatum* L.)
- Ακακία η κοινή (Δενδρώδης)
- Καρυδιά (Δενδρώδης)
- Καστανιά (Δενδρώδης)

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

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

Παρόλο που τα πειράματα είναι ενθαρρυντικά και η Ελλάδα συμμετέχει σε δράσεις της Ε.Ε, όπως αναφέρθηκε, η ανάπτυξη των ενεργειακών καλλιεργειών στη χώρα μας είναι πολύ περιορισμένη (Panoutsou).

Βάση της ΚΥΑ του ΥΠΑΑΤ υπάρχουν 23 επιδοτούμενα ενεργειακά φυτά που θα μπορούσαν να χρησιμοποιηθούν ως πρώτη ύλη για την παραγωγή βιοκαυσίμου. Αυτά είναι: το καλάμι, ο μίσχανθος, η αγριοαγκινάρα, το κεχρί, το κενάφ, το γλυκό σόργο, το κυτταρινούχο σόργο, η ελαιοκράμβη, το σκληρό σιτάρι, το μαλακό σιτάρι, το κριθάρι, η βρώμη, η σίκαλη, το τριτικάλε, το καλαμπόκι, το ρύζι, ο ηλιανθος, η σόγια, ο ευκάλυπτος, η ψευδακακία, το πικρό λούπινο, η πατάτα, το αμπέλι (βαμβάκι, τεύτλα).

Στον **Πίνακα 1.3** που ακολουθεί φαίνεται το ποσοστό αντικατάστασης συμβατικών καυσίμων για κάθε έτος από το 2006 έως το 2010 σύμφωνα με την υποχρεωτική οδηγία της Ε.Ε. 2003/30/ΕΚ.

Πίνακας 1.3. Έτος και ποσοστό αντικατάστασης συμβατικών καυσίμων σύμφωνα με την οδηγία 2003/30/ΕΚ της Ε.Ε.

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

Στον **Πίνακα 1.4** φαίνονται η απόδοση σε προϊόν και η απόδοση σε βιοκαύσιμο ορισμένων φυτών που θα μπορούσαν να χρησιμοποιηθούν ως πρώτη ύλη για την παραγωγή βιοκαυσίμου (βιοντίζελ, βιοαιθανόλη).

Πίνακας 1.4. Απόδοση σε προϊόν και βιοκαύσιμο φυτών – πρώτων υλών για παραγωγή βιοκαυσίμου.

ΚΑΥΣΙΜΟ	ΠΡΩΤΗ ΥΛΗ	ΑΠΟΔΟΣΗ ΣΕ ΠΡΟΪΟΝ (kg/στρ.)	ΑΠΟΔΟΣΗ ΣΕ ΒΙΟΚΑΥΣΙΜΟ (λίτρα/στρ.)
ΒΙΟΝΤΙΖΕΛ	ΗΛΙΑΝΘΟΣ - ΕΛΑΙΟΚΡΑΜΒΗ	150 - 300	58 – 116
	ΑΓΡΙΟΑΓΚΙΝΑΡΑ	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 1.5. Έκταση σε στρέμματα που πρέπει να καλλιεργηθεί και η αντίστοιχη καλλιέργεια προκειμένου να επιτευχθεί ο στόχος για το 2010.

ΒΙΟΚΑΥΣΙΜΟ	ΣΤΡΕΜΜΑΤΑ	ΚΑΛΛΙΕΡΓΕΙΑ
ΒΙΟΝΤΙΖΕΛ	2.400.000	ΗΛΙΑΝΘΟΣ
	2.000.000	ΕΛΑΙΟΚΡΑΜΒΗ
	2.000.000	ΣΟΓΙΑ
ΒΙΟΑΙΘΑΝΟΛΗ	560.000	ΓΛΥΚΟ ΣΟΡΓΟ
	2.000.000	ΣΙΤΗΡΑ
	1.200.000	ΑΡΑΒΟΣΙΤΟΣ
	843.000	ΤΕΥΤΛΑ

Πηγή: ΥΠΑΑΤ.

Το 2010 η Ελλάδα πρέπει να παράγει 160000 τόνους βιοντίζελ και 400000 τόνους βιοαιθανόλη (ΥΠΑΑΤ). Η έκταση σε στρέμματα που πρέπει να καλλιεργηθεί για να επιτευχθεί ο στόχος αυτός απεικονίζεται στον **Πίνακα 1.5**.

Στη συνέχεια δίνονται μερικά στοιχεία για ορισμένα φυτά βιοενέργειας τα οποία, με βάση τα μέχρι σήμερα στοιχεία, προσαρμόζονται στην Ελλάδα και μπορούν να διαδραματίσουν σοβαρό ρόλο στην ελληνική γεωργία.

1.5 Σημαντικές ενεργειακές καλλιέργειες

1.5.1 Σόργο (*Sorghum sp.*)

Είναι ανοιξιάτικο σιτηρό, C₄, των εύκρατων περιοχών, παραπλήσιο με το καλαμπόκι. Έχει ιδιαίτερο ενδιαφέρον για την Ελλάδα γιατί σε σχέση με το καλαμπόκι αντέχει περισσότερο στις υψηλές θερμοκρασίες και μπορεί να υπομείνει μια περίοδο ξηρασίας και να συνεχίσει την ανάπτυξή του μόλις βρει νερό, ώστε δικαίως αποκαλείται φυτό “καμήλα”. Επίσης αξιοποιεί καλύτερα τα άγονα εδάφη.

Υπάρχουν πολλά είδη κατάλληλα για παραγωγή καρπών, χόρτου, ζάχαρης και σαρώθρων (σκούπες).

Από πλευράς βιοενέργειας το ενδιαφέρον εστιάζεται στην παραγωγή χημικού πολτού από τις χαρτοβιομηχανίες που επεξεργάζονται άχυρα δημητριακών. Ενδιαφέρον επίσης παρουσιάζει η παραγωγή ενέργειας με πυρόλυση και η παραγωγή βιοαλκοόλης (αιθανόλη) από το ζαχαροφόρο σόργο. Αναφέρεται ότι από 2 – 6 t σόργο, που αντιστοιχεί στη μέση στρεμματική απόδοση, μπορούν να παραχθούν 150 – 400 λίτρα αλκοόλης. Η χρήση του διερευνάται από το Κ.Α.Π.Ε. (Κέντρο Ανανεώσιμων Πηγών Ενέργειας) (Γαλανοπούλου, 2003).

Στην Ελλάδα, το σόργο παρουσιάζει πολύ καλή προσαρμοστικότητα και υψηλούς ρυθμούς ανάπτυξης (300 kg ha⁻¹ d⁻¹) (Danalatos et al., 2008).

1.5.2 Αραβόσιτος (*Zea mays*)

Είναι ετήσιο εαρινό σιτηρό, κατάγεται από την κεντρική Αμερική και Μεξικό αλλά έχει ευρύτατη διάδοση γιατί έχει πολλούς τύπους με διαφορετική βλαστική περίοδο. Καταλαμβάνει τη δεύτερη στον κόσμο έκταση, μετά το σιτάρι, καλλιεργούμενο από τον Καναδά και τη Ρωσία μέχρι τη νότια Αμερική και Αφρική και από την επιφάνεια της θάλασσας μέχρι υψόμετρο 4000 m στις Άνδεις του Περού. Είναι φυτό C₄ με ταχύτατη ανάπτυξη.

Για την Ελλάδα είναι το σπουδαιότερο εαρινό σιτηρό και καταλαμβάνει έκταση περίπου 1600 χιλ. στρ. με μέση απόδοση σε καρπό μεγαλύτερη από 1000 kg/στρ. που θεωρείται από τις υψηλότερες στον κόσμο.

Καλλιεργείται κυρίως για τον καρπό (κυρίως ως κτηνοτροφή) και δευτερευόντως για χλωρό χόρτο ή ενσιρωμένο. Ο καρπός περιέχει περίπου 60 % άμυλο, 10 % πρωτεΐνες και 4 % λάδι (τα ποσοστά πρωτεΐνης και λαδιού κυμαίνονται ευρέως). Το καλαμποκέλαιο θεωρείται από τα αξιόλογα σπορέλαια. Από το άμυλο παράγονται διάφορα προϊόντα όπως ψωμί, γλυκίσματα, corn - flakes, αλκοολούχα ποτά, κολλητικές ουσίες κ.ά.

Πρόσφατα βρίσκεται σε προχωρημένο πειραματικό στάδιο αλλά και σε πρώτη βιομηχανική αξιοποίηση (κυρίως στις Η.Π.Α. π.χ. Ν. Ντακότα) η χρήση του αμύλου του καλαμποκιού για διάφορους σκοπούς, όπως: **1)** η κατασκευή πλαστικών (π.χ. σακούλες και πλαστικό εδαφοκάλυψης) τα οποία σε σχέση με εκείνα που παρασκευάζονται από πετρέλαιο έχουν το πλεονέκτημα ότι αποσυντίθενται εύκολα τόσο με τον ήλιο όσο και βιολογικώς (ακόμη και το μίγμα από τους δύο τύπους πλαστικών αποσυντίθεται από ειδικά βακτήρια που τρώγοντας το άμυλο, τρώνε και το άλλο πλαστικό), ανακυκλώνονται και δεν μολύνουν το έδαφος και τα νερά, **2)** παρασκευή υποκατάστατου πλάσματος αίματος, παρασκευή εμβολίων, **3)** κατασκευή πελλετών που περιέχουν Ca και Mg και που ανακατεμένες με άμμο μπορούν να αντικαταστήσουν το αλάτι που χρησιμοποιείται στους παγωμένους δρόμους (δεν καταστρέφουν τους δρόμους και τα λάστιχα των αυτοκινήτων, δεν μολύνουν το περιβάλλον γιατί το Ca και Mg είναι θρεπτικά στοιχεία των φυτών), **4)** παρασκευή συμπυκνωμένων κτηνοτροφών από κόκκους αραβόσιτου από τους οποίους αφαιρέθηκε άμυλο και επομένως είναι πλουσιότεροι σε πρωτεΐνες, λίπος, κυτταρίνες και ενέργεια.

Ενδιαφέρον επίσης παρουσιάζει η δυνατότητα χρήσης των υπολειμμάτων της καλλιέργειας (ιδιαίτερα της ρόκας) για παραγωγή βιομάζας. Στην περίπτωση μελλοντικής χρήσης των υπολειμμάτων της καλλιέργειας για παραγωγή βιομάζας, σημειώνεται ότι η θερμική αξία της ρόκας και του στελέχους είναι 18,9 και 18,3 MJ/kg αντίστοιχα. Έτσι από συνολική έκταση 1,6 εκ. στρ. καλαμποκιού (όση είναι η έκταση στην Ελλάδα) θα μπορούσε να εξασφαλιστεί ισοδύναμη ετήσια παραγωγή πετρελαίου καύσης 350 χιλ. t περίπου (περίπου 220 λίτρα/στρ.) (Γαλανοπούλου, 2003).

Οι Skoufogianni et al. (2008) επιτυγχάνουν αύξηση της παραγωγής βιομάζας και της απόδοσης σε σπόρο όταν η καλλιέργεια καλαμποκιού ακολουθεί χειμερινό ψυχανθές (*Pisum sativum* L.) και μάλιστα τα αποτελέσματα ήταν καλύτερα όταν η τελευταία δεν συγκομιζόταν αλλά ενσωματωνόταν στο έδαφος.

1.5.3 Κενάφ (*Hibiscus cannabinus*)

Είναι μονοετές, ανοιξιότικο φυτό που μοιάζει με το βαμβάκι αλλά απαιτεί λιγότερες εισροές (Γαλανοπούλου, 2003). Είναι φυτό μικρής ημέρας με υψηλή απόδοση σε κυτταρίνη. Μπορεί να καλλιεργηθεί σε μεγάλη ποικιλία εδαφικών και κλιματικών συνθηκών, αλλά δεν αντέχει το κρύο. Ένα καλά στραγγιζόμενο αμμο-πηλώδες έδαφος με ουδέτερη αντίδραση και ικανοποιητική ποσότητα οργανικής ουσίας είναι ιδανικό για την ανάπτυξή του (Panoutsou et al.).

Παράγει μεγάλη ποσότητα βιομάζας και ίνες κυτταρίνης υψηλής ποιότητας για παραγωγή χαρτιού, σχοινιών, σάκων, τελάρων και άλλων υλικών βιομηχανίας ξύλου. Επίσης, οι ρίζες του φυτού περιέχουν ουσίες που έχουν φαρμακευτικές ιδιότητες (Γαλανοπούλου, 2003).

Όσο πιο νωρίς γίνεται η σπορά τόσο πιο υψηλές είναι οι αποδόσεις των φυτών (Danalatos et al., 2005). Σε πείραμα στην κεντρική Ελλάδα το 2004 οι Δαναλάτος et al. αναφέρουν ότι το ύψος των φυτών, η διάμετρος του βλαστού, ο δείκτης φυλλικής επιφάνειας και η ξηρή βιομάζα έφτασαν τα 300 cm, τα 2,57 cm, το 4,32 και τους 16,52 t ha⁻¹, αντίστοιχα όταν η σπορά έγινε νωρίς (01/06/2004) ενώ όταν η σπορά έγινε ένα μήνα αργότερα (01/07/2004) οι

παραπάνω παράμετροι έφτασαν τα 305 cm, τα 2,27 cm, το 3,44 και τους 13,34 t ha⁻¹, αντίστοιχα.

Οι μίσχοι αποτελούνται από κοντές ίνες ενώ ο φλοιός από μακριές ίνες κατάλληλες για υψηλής ποιότητας χαρτί (Panoutsou et al.). Η στρεμματική απόδοση σε ξηρή ουσία φθάνει τους 3 t και σε καθαρή ίνα τους 1,2 t.

Την επίδρασης αζωτούχου λίπανσης και άρδευσης σε κενάφ μελέτησαν οι Danalatos et al. (2004) στην κεντρική Ελλάδα και παρατήρησαν ότι η μέγιστη παραγωγή ξηρής βιομάζας έφτασε τους 22 t ha⁻¹ όταν η ποσότητα του εφαρμοζόμενου νερού κάλυπτε το 100 % της υπολογιζόμενης εξατμισοδιαπνοής ενώ όταν η δόση άρδευσης ήταν μειωμένη κατά 25 % και 50 % η παραγωγή ξηρής βιομάζας ήταν χαμηλότερη κατά 42 % και 13 %, αντίστοιχα. Σε αντίθεση με την άρδευση, επίδραση της αζωτούχου λίπανσης δεν παρατηρήθηκε, εξαιτίας των χαμηλών απαιτήσεων της καλλιέργειας σε άζωτο και του ότι το υπό μελέτη έδαφος βρισκόταν σε κατάσταση υψηλής γονιμότητας.

Στα πλαίσια της Ε.Ε. και για να ενθαρρυνθεί η συνεργασία μεταξύ γεωργών και βιομηχανιών μεταποίησης υπάρχει ειδικό σχέδιο επίδειξης στο οποίο συμμετέχουν και ελληνικοί φορείς (Βαλκάν Export, Χαρτοποιία Κομοτηνής κ.ά.).

1.5.4 Βαμβάκι (*Gossypium spp.*)

Τα υποπροϊόντα και τα υπολείμματα καλλιέργειας πολλών άλλων φυτών μπορούν να χρησιμοποιηθούν για παραγωγή βιοενέργειας όπως του βαμβακιού. Τα κύρια προϊόντα της βαμβακοκαλλιέργειας είναι πρώτα οι ίνες και δεύτερον ο σπόρος. Προϊόν δευτερεύουσας σημασίας θεωρείται το χνούδι (λίντερ) που παράγεται κατά την αποχνόωση, προσφέρεται δεματοποιημένο στο εμπόριο και χρησιμοποιείται για διάφορους σκοπούς (παπλώματα, φαρμακευτικό υγρόφιλο βαμβάκι, κλωστές, σχοινιά, χαρτί πολυτελείας κ.ά.). Πρόσφατα αναβιώνει το ενδιαφέρον που έχει η χρησιμοποίηση των βαμβακοστελεχών για παραγωγή βιοενέργειας. Υπολογίζεται ότι από ένα τόνο ξηρά μάζα βαμβακοφύτων μπορεί να παραχθούν 300 λίτρα αιθανόλης και 180 kg λιγνίνης (Γαλανοπούλου, 2003).

Σε πείραμα που πραγματοποιήθηκε στα πλαίσια της αειφορικής γεωργίας των χαμηλών εισροών, σύμφωνα με τα διεθνή και Ευρωπαϊκά πρότυπα, φάνηκε

η θετική επίδραση της εξαιρετικά πυκνής απόστασης γραμμών σποράς (0,36 m) στην παραγωγή βιομάζας και μάλιστα κάτω από συνθήκες μειωμένης άρδευσης (20 %) και λίπανσης (Bartzialis, 2008).

1.5.5 Πικρά λούπινα (*Lupinus albus*)

Κατάγονται από παραμεσόγειες περιοχές και η ελληνική χλωρίδα είναι πολύ πλούσια σε πολλά είδη. Είναι λιτοδίαιτο φυτό και μπορεί να σπαρθεί φθινόπωρο και άνοιξη. Στη χώρα μας η καλλιέργεια έχει σχεδόν εξαφανιστεί ενώ παλαιότερα καταλάμβανε σημαντικές εκτάσεις κυρίως στην Πελοπόννησο. Είναι κατά βάση κτηνοτροφικό φυτό αλλά τα πικρά λούπινα περιέχουν αρκετές αλκαλοειδείς ουσίες που δίνουν πικρή γεύση και είναι επιβλαβείς. Οι αλκαλοειδείς όμως αυτές ουσίες είναι χρήσιμες στη χημική βιομηχανία και φαρμακοβιομηχανία. Πειράματα στη Γερμανία έδειξαν ότι τα αλκαλοειδή από τα λούπινα μπορεί να χρησιμοποιηθούν ως εντομοκτόνα, νηματοδοκτόνα και ζιζανιοκτόνα. Οι σπόροι τους εξάλλου περιέχουν μεγάλη αναλογία πρωτεϊνών, υψηλής βιολογικής αξίας για τον άνθρωπο και τα ζώα. Ως ψυχανθές θεωρείται επίσης εδαφοβελτιωτικό φυτό και μπορεί να αξιοποιήσει όξινα εδάφη. Οι αποδόσεις του κυμαίνονται στα 300 kg/στρέμμα. Υπάρχει ειδικό σχέδιο επίδειξης στο οποίο συμμετέχουν και ελληνικοί φορείς.

1.5.6 Ελαιοκράμβη (*Brassica napus*)

Ανήκει στα σταυρανθή. Είναι ελαιούχο, ετήσιο, εαρινό φυτό αλλά σε περιοχές με ήπιο χειμώνα μπορεί να σπαρεί και φθινόπωρο. Είναι φυτό των εύκρατων περιοχών και καλύπτει σχεδόν όλη τη ζώνη του σίτου. Ως προς το έδαφος δεν είναι απαιτητική καλλιέργεια. Παράγει ελαιούχους σπόρους πλούσιους σε ερουκικό έλαιο (όταν υπάρχει ερουκικό οξύ θεωρείται μειονέκτημα).

Η απόδοση σε σπόρο βελτιωμένων ποικιλιών φθάνει τα 300 kg/στρ. με περιεκτικότητα σε λάδι 45 – 50 %. Το λάδι χρησιμοποιείται στη βιομηχανία, ως λιπαντικό μηχανών καθώς και για την παραγωγή βιοκαυσίμου (bio – diesel). Τα

υπολείμματα της μεταποίησης μπορεί να χρησιμοποιηθούν στην παραγωγή οργανικών λιπασμάτων (Γαλανοπούλου, 2003).

Στην Ελλάδα, η συγκομιδή της ελαιοκράμβης γίνεται μηχανικά, αλλά οι περισσότεροι παραγωγοί αναφέρουν αξιοσημείωτες απώλειες σε σπόρο εξαιτίας της άνισης ωρίμανσης η οποία συμβαίνει όταν επικρατεί ξηρός και ζεστός καιρός: ο σπόρος χάνεται πριν και κατά τη διάρκεια της συγκομιδής λόγω του θρυμματισμού του περικαρπίου και οι απώλειες έχει αναφερθεί ότι φτάνουν και το 70 % κάτω από τέτοιες περιβαλλοντικές συνθήκες.

Σύμφωνα με τη βιβλιογραφία, η εφαρμογή χημικών πριν τη συγκομιδή με σκοπό την επιτάχυνση της ωρίμανσης των φυτών και τη μείωση της περιεκτικότητας του σπόρου σε υγρασία, έτσι ώστε η συγκομιδή της καλλιέργειας να γίνει πιο νωρίς, δεν αποδείχθηκε τόσο αποτελεσματική ενώ παράλληλα συνδέεται και με την παρουσία ανεπιθύμητων χημικών υπολειμμάτων στο συγκομιζόμενο σπόρο.

Την επίδραση εφαρμογής glyphosate σε καλλιέργεια ελαιοκράμβης ως χημικό για αποξήρανση, προκειμένου να μειωθούν οι απώλειες σε σπόρο, μελέτησαν σε πείραμά τους οι Mitsis et al. (2008) και διαπίστωσαν ότι με εφαρμογές glyphosate 100 και 200 ml/ha αυξήθηκε το συγκομιζόμενο προϊόν κατά 0,5 – 0,7 t/ha. Πάνω όμως, από το επίπεδο των 200 ml/ha, η εφαρμογή glyphosate φαίνεται να είναι λιγότερο αποτελεσματική, προφανώς εξαιτίας της συρρίκνωσης των αποθηκευτικών οργάνων, και θα πρέπει να αποφεύγεται.

1.5.7 Ρετσινολαδιά (*Ricinus communis*)

Στις εύκρατες περιοχές είναι ετήσιο, ανοιζιάτικο φυτό ενώ στις τροπικές και υποτροπικές συμπεριφέρεται ως πολυετές. Οι οικολογικές απαιτήσεις ομοιάζουν με του βαμβακιού.

Είναι ελαιούχο φυτό με στρεμματική απόδοση σε σπόρους περίπου 200 kg και περιεκτικότητα λαδιού 40 – 55 % (στις Η.Π.Α. δημιουργήθηκαν υβρίδια με δυναμικό παραγωγής 500 kg/στρ.)

Το λάδι χρησιμοποιείται στους κινητήρες αεροσκαφών και πλοίων και στη βιομηχανία χρωμάτων, μελάνης, σαπουνιών, πλαστικών ουσιών, καλλυντικών, βαφή υφασμάτων κ.ά. Χρησιμοποιείται επίσης ως καθαρτικό. Η

ελαιόπιτα (όπως και άλλα φυτικά μέρη) περιέχει το αλκαλοειδές ρισινίνη που είναι δηλητηριώδες για τον άνθρωπο και τα ζώα αλλά η ελαιόπιτα μπορεί να χρησιμοποιηθεί ως οργανικό λίπασμα. Επίσης, η βιομάζα που μένει στον αγρό μετά τη συγκομιδή μπορεί να χρησιμοποιηθεί για παραγωγή κομποστών ως οργανική λίπανση.

1.5.8 Ηλίανθος ετήσιος (*Helianthus annuus*) και ο κονδυλόρριζος (*Helianthus tuberosus*)

Είναι μονοετή, ανοιξιάτικα φυτά καταγόμενα από την κεντρική Αμερική. Στις χώρες της Μεσογείου και της κεντρικής Ευρώπης καλλιεργείται προς το παρόν το πρώτο είδος.

Καλλιεργείται κυρίως για τους ελαιούχους σπόρους που περιέχουν edw6dmo λάδι (ελαϊκό οξύ) 25 – 45 % και πρωτεΐνη περίπου 35 %. Το ηλιέλαιο χρησιμοποιείται επίσης για παραγωγή ελαιοχρωμάτων, βερνικιών, λιπαντικών, σαπουνιών κ.ά. Η ελαιόπιτα αποτελεί πολύ καλή ζωοτροφή. Μπορεί επίσης να χρησιμοποιηθεί για ενσίρωση, όπως το καλαμπόκι και το υπέργειο τμήμα που εναπομένει μετά τη συγκομιδή μπορεί να χρησιμοποιηθεί για παραγωγή ξυλοκυτταρίνης. Σχετικό πείραμα στη Γαλλία με τον κονδυλόρριζο ηλίανθο απέδωσε 6 – 9 t/στρέμμα βολβούς και αντίστοιχη ποσότητα οινοπνεύματος 500 – 600 kg (Γαλανοπούλου, 2003).

Την παραγωγικότητα ενός νέου υβριδίου ηλίανθου, του 70 – G – 3920, κάτω από συνθήκες κανονικής και μειωμένης άρδευσης, μελέτησαν οι Archontoulis et al. (2007) και η απόδοση σε βιομάζα ήταν 13,9 και 12,8 t/ha, αντίστοιχα, ενώ η τελική απόδοση σε σπόρο ήταν 4,7 και 4,4 t/ha, αντίστοιχα. Στα συμπεράσματά τους επίσης, αναφέρουν ότι το υπολογιζόμενο καθαρό εισόδημα των αγροτών από καλλιέργεια ηλίανθου ήταν 345 – 475 € ha⁻¹.

1.5.9 Λινάρι (*Linum usitatissimum*) και Κανάβι (*Cannabis sativa*)

Είναι ετήσια, ανοιξιάτικα, ινωδοτικά φυτά όλων των εύκρατων περιοχών της Ε.Ε. Το λινάρι που είναι λιγότερο θερμοαπαιτητικό σπέρνεται στην Ελλάδα το φθινόπωρο. Καλλιεργούνται για τις ίνες και το σπόρο τους.

Οι στρεμματικές αποδόσεις σε ίνες, στην Ελλάδα, κυμαίνονται από 100 – 200 kg (σε άλλες περιοχές αναφέρεται ότι μπορεί να φθάσουν στα 800 kg) και σε σπόρο στα 100 kg περίπου (αναφέρονται και 250 kg).

Είναι κατάλληλο κυρίως για παραγωγή υφαντικών ινών πολλών χρήσεων (το λινάρι για παραγωγή υφασμάτων ποιότητας, το κανάβι για σχοινιά κ.ά.).

Είναι επίσης κατάλληλα για παραγωγή χημικού πολτού και άριστης ποιότητας χαρτιού. Το λινέλαιο επίσης χρησιμοποιείται στη βιομηχανία χρωμάτων, βερνικιών, πλαστικών, σαπουνιών κ.ά. (Γαλανοπούλου, 2003).

1.5.10 Αβησσινιακή μουστάρδα (*Brassica carinata*)

Η Αβησσινιακή μουστάρδα θεωρείται μία δυνητική καλλιέργεια για παραγωγή βιομάζας και μη βρώσιμου ελαίου. Πειράματα που έγιναν στην Ελλάδα έδειξαν ότι είναι φυτό που ευδοκιμεί στις συνθήκες της Μεσογείου. Παράγει χλωρό βάρος περίπου 1,2 – 2 τόνους το στρέμμα και περίπου 0,5 – 0,6 τόνους το στρέμμα ξηρό.

1.5.11 Γιγαντιαίο καλάμι (*Arundo donax* L.)

Μπορεί να καλύψει τις ανάγκες της Ε.Ε. σε ενέργεια, χαρτί και άλλες βιομηχανικές χρήσεις. Είναι ενδημικό των Μεσογειακών χωρών και πολυετές. Φθάνει σε ύψος τα 7 μέτρα και παράγει σε φθινοπωρινές κοπές 6 τόνους/στρέμμα χλωρό και 3 τόνους/στρέμμα ξηρό βάρος.

1.5.12 Αγκαθωτή αγκινάρα (*Cynara cardunculus*)

Είναι πολυετές φυτό που καλλιεργείται παραδοσιακά στη Μεσόγειο για ανθρώπινη κατανάλωση. Έχει προσαρμοστεί σε ημιάνυδρες περιοχές με ικανοποιητικές βροχοπτώσεις το χειμώνα. Η κοπή γίνεται το καλοκαίρι, όπου αρχίζει καινούριο κύκλο από τους υπόγειους οφθαλμούς. Μπορεί να παράγει 1,7 – 3,2 τόνους/στρέμμα, ανάλογα με την πυκνότητα των φυτών (Christou et al., Panoutsou et al.).

Οι Danalatos et al. (2006, 2007) αναφέρουν ότι κατά τη μερική αντικατάσταση των παραδοσιακών καλλιεργειών, βαμβάκι και σιτάρι, από εναλλακτικές καλλιέργειες φιλικές προς το περιβάλλον, όπως ο μίσχανθος και η αγριοαγκινάρα για παραγωγή βιοκαυσίμου, η αντικατάσταση, στην κεντρική Ελλάδα, του σιταριού από την αγριοαγκινάρα φαίνεται να είναι κάπως πιο πλεονεκτική από την αντικατάσταση του βαμβακιού από το μίσχανθο, παρέχοντας παράλληλα μια αξιοσημείωτη αύξηση στο εισόδημα των αγροτών.

1.5.13 Μίσχανθος (*Miscanthus sinensis*)

Είναι ένα είδος καλαμιού. Ως φυτό είναι πολυετές, C₄ και κατάγεται από εύκρατες περιοχές (καλλιεργείται όμως και βορειότερα). Έχει ανατολίτικη προέλευση και στην Ευρώπη καλλιεργούνταν για διακοσμητικούς σκοπούς. Οι εδαφοκλιματικές απαιτήσεις του φυτού είναι παρόμοιες με του καλαμποκιού αλλά αντέχει περισσότερο στο ψύχος. Το φυτό μπορεί να πολλαπλασιαστεί μόνο αγενώς καθώς το υβρίδιο είναι στείρο (Christou et al.). Πολλαπλασιάζεται με σπόρο αλλά και με ριζώματα (θεωρείται απλούστερος τρόπος). Άριστος πληθυσμός φυτών θεωρούνται τα 1000 περίπου φυτά/στρέμμα και η μέγιστη παραγωγή σημειώνεται μετά την τρίτη καλλιεργητική περίοδο (γίνεται θερισμός των φυτών) (Γαλανοπούλου, 2003).

Ως γνωστό, τα φυτά C₄ έχουν την ικανότητα να αφομοιώνουν περισσότερη ηλιακή ακτινοβολία και μπορούν να προσλάβουν το νερό και το άζωτο πιο αποτελεσματικά (Christou et al.).

Παράγει μεγάλη ποσότητα βιομάζας με άριστη ποιότητα κυτταρινούχων ινών. Τα περιορισμένα πειράματα που έγιναν στην Ελλάδα δείχνουν υψηλό

δυναμικό παραγωγής που σε πολλές περιπτώσεις υπερβαίνει κατά πολύ το αντίστοιχο της κεντρικής Ευρώπης και μπορεί να υπερβεί τους 3 t ξηρής ουσίας ανά στρέμμα (Γαλανοπούλου, 2003). Σε πείραμα στην κεντρική Ελλάδα όπου μελετήθηκε η επίδραση τριών διαφορετικών πυκνοτήτων φύτευσης (0,66, 1 και 2 φυτά/m²) η μέγιστη παραγωγή ξηρής βιομάζας έφτασε τους 38 t/ha στους πυκνότερους πληθυσμούς φύτευσης (10.000 – 20.000 φυτά/ha) (Danalatos et al., 2007). Σημειώνεται ότι 20 t ξηρής ουσίας μίσχανθου ισοδυναμούν με 8 t πετρελαίου. Τα στοιχεία αυτά συνηγορούν ότι η καλλιέργεια του φυτού μπορεί να σταθεί σε οικονομικό επίπεδο.

Μπορεί να χρησιμοποιηθεί για παραγωγή καθαρής κυτταρίνης, κατάλληλης για την υφαντουργία και την παρασκευή κυτταρινούχων μεμβρανών, διαφόρων φιλμ για πολλές χρήσεις και χαρτοπολτού υψηλής ποιότητας. Μπορεί να χρησιμοποιηθεί επίσης ως δομικό υλικό (στερεωτικό και μονωτικός οπλισμός σε προκατασκευασμένες ελαφρές κατασκευές) (Γαλανοπούλου, 2003). Έχει αξιοσημείωτα χαρακτηριστικά για σκοπούς πολτοποίησης.

Στις συνθήκες που επικρατούν στην περιοχή της νότιας Ευρώπης (Ελλάδα, Ιταλία) θα ήταν απαραίτητο να ποτίζεται έτσι ώστε να έχει ικανοποιητική παραγωγή, σε αντίθεση με τις περιοχές της βόρειας Ευρώπης όπου δεν απαιτείται άρδευση. Στην Ελλάδα, το μέσο ύψος φθάνει τα 3 μέτρα ενώ κάτω από ξηρικές συνθήκες το ύψος φθάνει περίπου το μισό (1,5 μέτρα) (Christou et al.).

Εκτός από τον μίσχανθο πολλές δενδρώδεις καλλιέργειες, κυρίως δασικά φυτά, αποκτούν πρόσφατα μεγάλο ενδιαφέρον για παραγωγή προϊόντων “εκτός διατροφής”. Αναφέρονται στη συνέχεια μερικά από αυτά, τα οποία καλύπτονται από τις ενισχύσεις του καν. 2080/92 της Ε.Ε.

1.5.14 Ευκάλυπτος

Είναι ταχυνάξες, μεγάλο δέντρο και μακρόβιο. Μπορεί να αξιοποιήσει μέτριας γονιμότητας ξηρικά εδάφη και είναι ανθεκτικό σε φυτοπαράσιτα (χάρη στην ευωδία που αναδίδουν τα φύλλα). Το ξύλο του είναι σκληρό, συμπαγές και δεν σαπίζει γι’ αυτό χρησιμοποιείται στη ναυπηγική και ως δομικό υλικό. Ο

φλοιός χρησιμοποιείται στη βυρσοδεψία και για κατασκευή ψαθών, σχοινιών και χαρτιού. Το αιθέριο έλαιο που αποστάζεται από τα φύλλα χρησιμοποιείται στην αρωματοποιία, φαρμακοποιία και ως απολυμαντικό (για παρασκευή απολυμαντικού αφεψήματος). Στην Ευρώπη ο ευκάλυπτος καλλιεργείται σε μεγάλες εκτάσεις κυρίως στην Πορτογαλία, Ισπανία και Ιταλία ιδίως για την παρασκευή χαρτιού. Αντίθετα στη χώρα μας δεν υπάρχει πολιτική αναδάσωσης με ευκάλυπτο και η έρευνα στον τομέα είναι σχεδόν ανύπαρκτη. Προκαταρκτικά πειράματα στην Ελλάδα έδειξαν ότι, με πληθυσμό 2 φυτών/m², η ξηρή βιομάζα ήταν σε ετήσια βάση 2,6 – 3,2 t/στρ. και ότι 2,5 t βιομάζας ισοδυναμούν με ένα τόνο πετρελαίου. Την τελευταία τριετία τα πειράματα ευκαλύπτου στη Β. και Ν. Ελλάδα έδειξαν ότι μερικές ποικιλίες προσαρμόζονται καλά και είναι πολύ παραγωγικές κάτω από ελληνικές συνθήκες. Μερικές μάλιστα ποικιλίες παρουσιάζουν πραγματικά εντυπωσιακή ανάπτυξη με παραγωγή ξηρής ουσίας που μπορεί σε μερικές περιπτώσεις να ξεπεράσει τους 3,5 τόνους ανά στρέμμα ετησίως. Με θερμική αξία 16,6 MJ/kg μια τέτοια παραγωγή ισοδυναμεί με 1,4 τόνους πετρελαίου ανά στρέμμα. Αυτό σημαίνει ότι ο ευκάλυπτος έχει μεγαλύτερο δυναμικό παραγωγής στην Ελλάδα από άλλα δέντρα που χρησιμεύουν για παραγωγή βιομάζας. Η κύρια διαφορά μεταξύ της καλλιέργειας ευκαλύπτου και άλλων δέντρων όπως η ιτέα, η λεύκα, η ψευδακακία και τα ταχέως αναπτυσσόμενα κωνοφόρα για παραγωγή βιομάζας, είναι ότι ο ευκάλυπτος αναπτύσσεται σε λιγότερο γόνιμα εδάφη, μη αρδευόμενα και χωρίς τη χρήση φυτοφαρμάκων. Το βασικό μειονέκτημα της καλλιέργειας είναι η μεγάλη προσρόφηση υγρασίας από το έδαφος και η έλλειψη φυτικού υποορόφου έτσι ώστε σε πολλές επικλινείς περιοχές κάτω από ευκάλυπτο να δημιουργούνται έντονες διαβρώσεις εδαφών ειδικά σε παραμεσόγειες περιοχές που χαρακτηρίζονται από βροχοπτώσεις με πολύ μεγάλη ένταση.

1.5.15 Ακακία η κοινή

Προσαρμόζεται σε ξηρικές περιοχές και έχει ελάχιστες απαιτήσεις περιποίησης. Είναι ψυχανθές και επομένως εδαφοβελτιωτικό. Η ετήσια απόδοση σε χρήσιμο ξύλο υπερβαίνει το 1 m³/στρ. Το ξύλο είναι ανθεκτικό και ευλύγιστο και χρησιμοποιείται στην κατασκευή πασσάλων, καταρτιών και παρκέτων. Η

παραγωγή φυλλομάζας φθάνει τον 1,5 t/στρ. και θεωρείται εφάμιλλη της μηδικής.

1.5.16 Καρυδιά

Μεγάλη διάδοση έχουν τα εμβολιασμένα υβρίδια Καλιφόρνιας. Σε οργανωμένους δενδρώνες μπορεί να αποφέρει εισόδημα περίπου 200.000 δρχ./στρ., τα 2/3 του οποίου προέρχονται από τους καρπούς και το 1/3 από το ξύλο (κατάλληλο για επιπλοποιία).

1.5.17 Καστανιά

Προσφέρει βρώσιμους καρπούς και πολύτιμη τεχνική ξυλεία (για οικοδομές, πασσάλους, στύλους κ.ά.). Προσαρμόζεται σε ξηρικές, ορεινές και ημιορεινές περιοχές (Γαλανοπούλου, 2003).

1.6 Προοπτικές

Βιοκαύσιμα 1ης γενιάς: Χρησιμοποιούνται σε χαμηλή αναλογία με συμβατικά καύσιμα (B5, B30) ή καθαρά (B100).

Βιοκαύσιμα 2ης γενιάς: Υπό έρευνα 4 μέθοδοι για βιομηχανική παραγωγή. Η λιγνοκυτταρινική διεργασία, η μέθοδος Fischer - Tropsch, η παραγωγή bio - DME (διμεθυλαιθέρας) και τέλος η παραγωγή bio - SNG (υποκατάστατο φυσικού αερίου).

ΣΟΡΓΟ (*Sorghum bicolor*)

2.1 Γενικά

Το κέντρο καταγωγής του σόργου τοποθετείται στην κεντρική Αφρική. Η ιστορία της καλλιέργειάς του δεν είναι πολύ γνωστή. Φαίνεται όμως ότι είναι ένα από τα πρώτα φυτά που καλλιεργήσε ο άνθρωπος (Φασούλας και Φωτιάδης, 1984). Η εξημέρωσή του έγινε από αρχαιοτάτων χρόνων αλλά για πολλές χιλιετίδες η καλλιέργειά του ήταν περιορισμένη στις χώρες της Αφρικής και της Ασίας (Γαλανοπούλου, 2003). Η καλλιέργειά του διαδόθηκε στη συνέχεια στις ΗΠΑ, Κεντρική και Νότια Αμερική, Αυστραλία και πολύ λίγο στην Ευρώπη, ύστερα από σχετική βελτιωτική εργασία που έγινε στο μεταξύ, ιδίως με την παραγωγή υβριδίων (Σφήκας, 1991). Η εξάπλωση του σόργου σε όλο τον κόσμο φαίνεται στην **Εικόνα 2.1**.



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

Καλλιεργείται για τον καρπό (μέση παγκόσμια απόδοση περίπου 150 kg/στρ.), για το σανό (χορτοδοτικό, διαδεδομένο στις Η.Π.Α.) και σε μικρή έκταση καλλιεργείται το ζαχαροφόρο (για σιρόπι). Μικρή έκταση καλλιεργείται και για σκούπες. Τη μεγαλύτερη οικονομική σημασία είχε μέχρι πριν λίγα χρόνια το πρώτο. Τα τελευταία χρόνια αποκτά ενδιαφέρον και ως φυτό βιοενέργειας.

Στην Ελλάδα καλλιεργείται σε περιορισμένη έκταση (λιγότερα από 100.000 στρ.), κυρίως στη Θράκη, για κατασκευή σαρώθρων. Περιορισμένο ενδιαφέρον παρουσιάζεται τελευταία και για καλλιέργεια χορτοδοτικών υβριδίων (χόρτο του Σουδάν) ύστερα από προσπάθειες του Ινστιτούτου Κτηνοτροφικών Φυτών και Βοσκών της Λάρισας (Ι.Κ.Φ. και Β.) (Γαλανοπούλου, 2003).

Κατά το 1962 η καλλιέργειά του κατέλαβε μόνο 10.000 στρ. για καρπό και 52.000 στρ. για σκούπες. Το σόργο για καρπό καλλιεργήθηκε κυρίως στο νομό Καρδίτσας, ενώ το σόργο για σκούπες στο νομό Έβρου. Πάντως, επειδή και στο σόργο έχει ήδη προχωρήσει πολύ η εκμετάλλευση των πλεονεκτημάτων της ετερώσεως με τη δημιουργία νάνων υβριδίων, φαίνεται πως το σόργο υπό άρδευση μπορεί να καλλιεργηθεί και στον τόπο μας με επιτυχία (Φασούλας και Φωτιάδης, 1984).

Η μέση παγκόσμια παραγωγή καρποδοτικού σόργου την τριετία 1970 – 72 ήταν 75 εκ. τόνοι, που προήλθε από έκταση 580 εκ. στρέμματα. Οι κυριότερες χώρες καλλιέργειας του σόργου είναι οι ΗΠΑ, Ινδία, Νιγηρία, Αργεντινή, Μεξικό και Σουδάν. Η μέση απόδοση στις ΗΠΑ ήταν 345 kg/στρ. πολύ ανώτερη από τη μέση παγκόσμια που ήταν 130 kg/στρ. (Σφήκας, 1991).

Το 90 % της παγκόσμιας παραγωγής προέρχεται από την Κίνα, Ινδία, Μαντζουρία και δυτική Αφρική. Σημαντικές εκτάσεις καταλαμβάνει στις Ηνωμένες Πολιτείες Αμερικής, Ιράν, Τουρκεσταν, Πακιστάν, Κορέα, Αυστραλία, κεντρική και νότια Αμερική. Η Ευρώπη δεν παράγει αξιόλογες ποσότητες σόργου. Μόνο το σόργο για σκούπες καλλιεργείται σε αρκετή έκταση στην Ιταλία και την Ουγγαρία (Φασούλας και Φωτιάδης, 1984).

Το σόργο αντικαθιστά τον αραβόσιτο στην οριακή του ζώνη, δηλαδή στις περιοχές με ανεπαρκή γι' αυτόν βροχόπτωση ή με πολύ υψηλές θερμοκρασίες (Σφήκας, 1991). Σε περιοχές όπου η βροχόπτωση και η θερμοκρασία είναι ευνοϊκές για το καλαμπόκι, το σόργο δεν καλλιεργείται, γιατί το καλαμπόκι έχει μεγαλύτερο δυναμικό αποδόσεως (Φασούλας και Φωτιάδης, 1984). Πλεονεκτεί,

επίσης, έναντι του αραβόσιτου λόγω της αντοχής του στη ζέστη και την ξηρασία και τις προσβολές από έντομα. Αν οι καλλιεργητικές συνθήκες είναι καλές, αποδίδει λιγότερο από τον αραβόσιτο. Επίσης αποτυγχάνει συχνότερα στο φύτευμα και τρώγεται από τα πουλιά ιδίως αν δεν συγκομισθεί έγκαιρα. Ο καρπός του συντηρείται δυσκολότερα στην αποθήκη και πρέπει οπωσδήποτε να αλεσθεί πριν δοθεί στα ζώα εκτός των πτηνών. Τέλος, θεωρείται κάπως μικρότερης εμπορικής και θρεπτικής αξίας συγκρινόμενος με τον καρπό του αραβόσιτου (Σφήκας, 1991).

2.2 Βοτανικά γνωρίσματα

Ανήκει στην υποοικογένεια *Andropogoneae* της οικογένειας των *Gramineae* και στο γένος *Sorghum*. Μοιάζει μορφολογικά με καλαμπόκι εκτός από την ταξιανθία που είναι φόβη στην κορυφή του φυτού. Είναι φυτό μόνικο με άνθη διγενή ή μονογενή (οι καλλιεργούμενες ποικιλίες έχουν μονοκλινή φυτά). Η ταξιανθία φόβη είναι λιγότερο ή περισσότερο διακλαδιζόμενη, χαλαρή ή συμπαγής. Τα σταχύδια είναι διανθή με ένα γόνιμο άνθος. Κάθε γόνιμο άνθος αποτελείται (όπως το σιτάρι) από δύο λέπυρα (χιτώνα και λεπίδα), τρεις στήμονες, έναν ύπερο που αποτελείται από μονόχωρη ωοθήκη, 2 στύλους και 2 γλωχίνες (που είναι στη βάση του υπέρου). Τα λέπυρα είναι παχιά, σκληρά και φέρουν τρία δόντια στην άκρη, μερικές φορές και άγανο. Η ταξιανθία έχει μήκος 20 – 70 cm (Γαλανοπούλου, 2003).

Ο βλαστός του σόργου είναι καλάμι και μπορεί να φθάσει σε ύψος τα 5,5 m. Κάθε στέλεχος αποτελείται από 7 – 10 κατακόρυφα μεσογονάτια διαστήματα, τα οποία έχουν ένα αυλάκι σε εναλλάξ διάταξη εκτός από το τελευταίο. Τα φύλλα εκπτύσσονται από κάθε κόμπο του στελέχους. Το φύλλο διακρίνεται στο έλασμα και τον κολεό. Το έλασμα του σόργου διακρίνεται από εκείνο του καλαμποκιού στο ότι φέρει δοντάκια περιφερειακά. Επίσης, η επιφάνεια του ελάσματος είναι λεία και τα φύλλα έχουν σαφώς μικρότερο μέγεθος.

Το ριζικό σύστημα διακρίνεται σε εμβρυακό και μόνιμο ή δευτερογενές. Το εμβρυακό σύστημα αποτελείται μόνο από μία ρίζα, σε αντίθεση με το καλαμπόκι το οποίο έχει περισσότερες από τρεις, και η οποία μπορεί να φθάσει σε βάθος 1 – 1,5 m. Η ρίζα αυξάνεται μέχρι την άνθηση και διατηρείται για όλο

το βιολογικό κύκλο του φυτού. Το μόνιμο ριζικό σύστημα είναι θυσανωτό και εκφύεται από τους κόμπους του στελέχους που βρίσκονται κοντά στην επιφάνεια του εδάφους. Επίσης, μπορεί να εμφανιστούν επιγενείς ή εναέριες ρίζες, δηλαδή ρίζες οι οποίες εκφύονται από κόμπους που βρίσκονται πάνω από την επιφάνεια του εδάφους (Σφήκας, 1984).

Το εκτεταμένο ριζικό σύστημα του σόργου σε συνδυασμό με μία υψηλή πυκνότητα σποράς θα μπορούσε να προφυλάξει πολλές λοφώδεις περιοχές της Μεσογείου από τον κίνδυνο της εδαφολογικής διάβρωσης. Άλλωστε δύο είναι οι κυριότερες βιο - καλλιεργητικές τεχνικές με τη χρήση ετήσιων καλλιεργειών, που συμβάλλουν σημαντικά στην αυξημένη προστασία των εδαφών από την εδαφολογική διάβρωση, αφ' ενός μεν η μέγιστη κάλυψη του εδάφους στο χώρο και το χρόνο και αφετέρου δε η διατήρηση και αύξηση των αποθεμάτων οργανικής ουσίας στο έδαφος (Βάλμης, 1990).

Η καλλιέργεια του σόργου διαθέτει και τις δύο αυτές ιδιότητες καθώς πρώτον δεν αποτελεί σκαλιστική καλλιέργεια, δεύτερον μπορεί ως δημητριακό να χρησιμοποιηθεί κάλλιστα σε προγράμματα αμειψισποράς και τρίτον δύναται να διαθέσει υψηλές ποσότητες χλωρής βιομάζας ως οργανική ύλη στο έδαφος.

Ανάπτυξη. Το φυτόωμα και η ανάπτυξη του καλλιεργούμενου σόργου είναι παρόμοια με του αραβόσιτου. Τα στελέχη και τα φύλλα μοιάζουν πολύ με τα αντίστοιχα του αραβόσιτου. Αδελφώνει πολύ (τα αδέλφια αναπτύσσονται από τους οφθαλμούς της βάσης) και όταν θεριστεί βγάζει άλλα αδέλφια. Έτσι μπορεί να δίνει περισσότερες κοπές και μερικές ποικιλίες δεύτερη σοδειά καρπού στον ίδιο χρόνο. Με ζεστό χειμώνα μπορεί να γίνει πολυετές. Σε περιπτώσεις ζεστού χειμώνα μπορεί να επιζεί και να ξαναβλαστάνει για περισσότερα χρόνια (στη Ν. Καλιφόρνια έζησε 6 χρόνια στο χωράφι και 13 στο θερμοκήπιο). Το ύψος του φυτού ποικίλλει ανάλογα με την ποικιλία και τις συνθήκες του περιβάλλοντος, από 1,2 – 5,5 m.

Η άνθηση γίνεται συνήθως τη νύχτα ή τις πρωινές ώρες, διαρκεί 6 – 12 ημέρες και με δροσερό καιρό ως 15 ημέρες και αρχίζει από την κορυφή προς τη βάση. Είναι φυτό ανεμόφιλο, που αυτογονιμοποιείται και σταυρογονιμοποιείται σε ίσες αναλογίες περίπου.

Ο κόκκος του σόργου έχει σχήμα σφαιρικό ως πεπλατυσμένο, χρώμα λευκό, κίτρινο ή κόκκινο (σπάνια μαύρο) και μέγεθος που ποικίλλει. Το βάρος 1000 κόκκων κυμαίνεται από 7 – 20 g.

Η σύσταση του κόκκου είναι σχεδόν σαν του αραβόσιτου. Περιέχει κατά μέσο όρο 12 % πρωτεΐνη, 3 % έλαια, 70 % υδατάνθρακες και μικρή αναλογία βιταμινών.

Ταξινόμηση. Υπάρχουν πολλοί τύποι σόργου, για τους οποίους έχουν προταθεί διάφορα συστήματα ταξινομήσεως.

Το καλλιεργούμενο είδος σόργου είναι το *Sorghum bicolor* με $2n = 20$ χρωμοσώματα, του οποίου η παλαιότερη ονομασία ήταν *S. Vulgare*. Οι καλλιεργούμενοι τύποι κατατάσσονται σε υποείδη όπως *dura*, *sudanense* κλπ.

Άγρια είδη σόργου είναι τα: **α)** *S. versicolor* με $2n = 10$ χρωμοσώματα που αυτοφύεται στην Αφρική, **β)** *S. halepense* με $2n = 40$ χρωμοσώματα που είναι κοινώς γνωστό ως βέλιουρας και είναι πολυετές ζιζάνιο, αυτοφύες στην Ελλάδα και **γ)** *S. virgatum* που είναι συγγενικό υποείδος του *sudanense*.

Οι καλλιεργούμενοι τύποι του *S. bicolor* ταξινομούνται γεωργικώς στους εξής τύπους ποικιλιών:

α) Καρποδοτικές (Αγγλ. grain sorghum). Βάρος 1000 κόκκων 25 – 40 g. Περιλαμβάνει διάφορες ποικιλίες χονδροστέλεχες, χαμηλόσωμες (τύπος Kafir), μετρίου ύψους (τύπος Dura) και υψηλόσωμες (τύπος Milo). Οι μετρίου ύψους και υψηλόσωμες είναι οψιμότερες από τις χαμηλόσωμες αλλά έχουν πιο ανεπτυγμένο ριζικό σύστημα.

β) Χορτοδοτικές (Αγγλ. grass sorghum). Τύπος *Sudanense*, το ονομαζόμενο σόργο του Σουδάν. Βάρος 1000 κόκκων 8 – 9 g. Ποικιλίες λεπτοστέλεχες, ύψους ως 2,5 m, με πολλά αδέρφια και πλούσιο φύλλωμα, χωρίς (ή με ίχνη) υδροκυανίου και συνεπώς κατάλληλες για χλωρή ζωοτροφή ή ενσίρωση. Στις καλλιεργητικές φροντίδες, η παραγωγικότητα και χρησιμοποίηση θεωρείται ανάμεσα στα αγροστώδη όπως η μηδική στα ψυχανθή. Γι' αυτό και δικαιολογημένα θεωρείται η μηδική των αγροστωδών (παράγει χλωρομάζα κατώτερης όμως ποιότητας). Θερίζεται 2 - 4 φορές το έτος (κόβεται όταν αποκτά ύψος περίπου 1 m), αρδεύεται και λιπαίνεται ισχυρά (απαιτητικό σε N, σε αντίθεση προς τη μηδική) και παράγει μεγάλη ποσότητα χόρτου εύπεπτου και πλούσιου σε υδατάνθρακες (Σφήκας, 1991). Ελληνική συνθετική ποικιλία του Ι.Κ.Φ. και Β., με το όνομα Κρόκιο αποδίδει περίπου 8,5 t χλωρό χόρτο ή 1,8 t ξηρό χόρτο (Γαλανοπούλου, 2003).

γ) Σακχαρόφρες (Αγγλ. sorgho). Βάρος 1000 κόκκων 15 – 23 g. Στην εντεριώνη του στελέχους τους περιέχουν χυμό με σακχαρώδεις ουσίες (13 – 17

% και πλέον). Είναι τύποι χονδροστέλεχοι, υψηλόσωμοι, όψιμοι και καλλιεργούνται για την εξαγωγή σακχαρώδους χυμού ή για παραγωγή χλωράς νομής για ενσίρωση.

δ) Σκούπα (Αγγλ. broom corn). Βάρος 1000 κόκκων 15 – 20 g. Στην Ελλάδα καλλιεργείται για καρπό και για την παραγωγή σαρώθρων, ιδίως στο νομό Έβρου. Χαρακτηριστική είναι η πολύ μακριά ταξιανθία του (έως 60 cm) που χρησιμοποιείται για κατασκευή σαρώθρων.

2.3 Οικολογικές απαιτήσεις

Κλίμα. Το σόργο είναι φυτό τροπικής προελεύσεως, βραχείας φωτοπεριόδου, κατάλληλο για θερμές και ξηρές περιοχές. Σπέρνεται περίπου δύο εβδομάδες μετά το καλαμπόκι. Φυτρώνει στους 7 – 10 °C, αλλά για την ανάπτυξη του χρειάζεται υψηλές θερμοκρασίες, πάνω από 15 °C. Για καλές αποδόσεις ο Ιούλιος πρέπει να έχει μέση θερμοκρασία 27 – 29 °C. Το άριστο της θερμοκρασίας για αύξηση του σόργου τοποθετείται αρκετά ψηλά, στους 37 °C (Σφήκας, 1991). Ανεπτυγμένα φυτά σόργου νεκρώνονται σε θερμοκρασίες μόλις κατώτερες του μηδενός, τα μικρά φυτά όμως, μόλις βγουν από το έδαφος, είναι κάπως πιο ανθεκτικά.

Υψηλές αποδόσεις δεν μπορούμε να πάρουμε σε μέρη που η μέση θερμοκρασία του Ιουλίου είναι κάτω από 25 °C. Ωστόσο στις Η.Π.Α., με τη δημιουργία πρώιμων ποικιλιών κατόρθωσαν να επεκτείνουν προς βορρά την καλλιέργεια του σόργου σε περιοχές με βροχοπτώσεις 400 περίπου χιλιοστών, με βλαστική περίοδο απαλλαγμένη παγετών 4,5 μηνών και με μέση θερμοκρασία Ιουλίου μόλις 21 °C. Υπό πειραματικές συνθήκες μέσα σε θερμοκήπιο, φυτά σόργου δεν υπέστησαν ζημιές από επανειλημμένη ανύψωση της θερμοκρασίας αέρα σε 50 – 60 °C. Πάντως έχει παρατηρηθεί ότι θερμοκρασίες ανώτερες των 38 °C είναι επιζήμιες, ιδίως όταν τα φυτά πλησιάζουν το στάδιο της ανθοφορίας.

Όταν οι θερμοκρασίες από τη σπορά έως την άνθιση διατηρούνται γύρω στους 30 °C, το σόργο θέλει για να ωριμάσει το μισό χρονικό διάστημα από ότι στους 20 °C. Την πρωίμιση της παραγωγής επηρεάζει επίσης και η φωτοπερίοδος (Φασούλας και Φωτιάδης, 1984).

Οι απαιτήσεις του σόργου σε βλαστική περίοδο είναι συνήθως 100 – 120 ημέρες. Υπάρχουν όμως βιότυποι με μικρότερες απαιτήσεις (μερικές πρώιμες ποικιλίες ωριμάζουν σε 80 μόνο ημέρες από τη σπορά). Επίσης, η απαιτούμενη βλαστική περίοδος συντομεύει με αύξηση της θερμοκρασίας και μείωση της φωτοπεριόδου (μείωση 1 ώρας οδηγεί σε πρωίμιση κατά 10 – 14 ημέρες).

Το σόργο έχει μεγάλη αντοχή στις υψηλές θερμοκρασίες και στην ξηρασία. Είναι το μόνο καλλιεργούμενο φυτό που μπορεί να χαρακτηριστεί σαν ξηρόφυτο. Μπορεί να υποστεί υψηλές θερμοκρασίες με λιγότερη ζημιά περισσότερο από κάθε άλλη καλλιέργεια. Η αντοχή του αυτή φαίνεται να οφείλεται στο πλούσιο ριζικό σύστημα, τη μικρή φυλλική επιφάνεια με κατάλληλη ανατομική κατασκευή (π.χ. παχιά αδιαπέραστη εφυμενίδα των φύλλων και του βλαστού), στο μικρό δείκτη διαπνοής και στο γεγονός ότι παραμένει σε κατάσταση λήθαργου όταν επικρατεί ξηρασία και αναλαμβάνει μόλις εξασφαλιστεί υγρασία στο έδαφος καθώς και στην ικανότητα του να αναβλαστάνει και όταν ακόμη ξεραθεί το κεντρικό στέλεχος. Αντίθετα, ξηρασία κατά την κριτική περίοδο εκμηδενίζει την παραγωγή του αραβόσιτου. Η επιτυχία του σόργου στις πολύ ξηροθερμικές συνθήκες του έδωσε το χαρακτηρισμό της “καμήλας” ανάμεσα στα φυτά μεγάλης καλλιέργειας (Γαλανοπούλου, 2003).

Παρ’ όλα αυτά καλή απόδοση μπορεί να δώσει μόνο με άρδευση ή με ικανοποιητική θερινή βροχόπτωση και συνολικό ετήσιο ύψος βροχής 350 – 650 mm (Σφήκας, 1991). Οι περιοχές των Η.Π.Α. όπου καλλιεργείται το σόργο έχουν ετήσια βροχόπτωση τουλάχιστον 375 – 425 mm με το μεγαλύτερο μέρος της βροχής κατά τη βλαστική περίοδο. Στις πολύ ξηρές δυτικές πολιτείες (Καλιφόρνια, Αριζόνα), όπου η καλοκαιρινή βροχόπτωση είναι μηδαμινή, το σόργο δεν καλλιεργείται παρά μόνο με άρδευση, στην οποία και αντιδρά καλά. Στην Ελλάδα η κατανομή της βροχοπτώσεως (πέφτει κυρίως το φθινόπωρο και το χειμώνα) εξυπηρετεί μόνο τα χειμερινά σιτηρά. Επομένως, τα χειμερινά σιτηρά βρίσκονται σε πλεονεκτικότερη θέση έναντι του σόργου, όταν αυτό δεν αρδεύεται (Φασούλας και Φωτιάδης, 1984). Με άρδευση και χωράφια γόνιμα πλεονεκτεί ο αραβόσιτος έναντι του σόργου γιατί δίνει μεγαλύτερες αποδόσεις. Οπότε το σόργο θα υποκαθιστά τον αραβόσιτο σε πτωχά ή μέτριας γονιμότητας εδάφη με περιορισμένες δυνατότητες αρδεύσεως ή με ανεπαρκή βροχόπτωση. Επίσης, η επίσπορος καλλιέργεια του σόργου ευνοείται από τις υψηλές θερμοκρασίες της εποχής, οι οποίες είναι οριακές για τον αραβόσιτο. Στην

περίπτωση αυτή, αν πρόκειται για καρποδοτικό σόργο, θα πρέπει να σπαρθούν πρώιμα υβρίδια.

Έδαφος. Το σόργο δεν είναι πολύ απαιτητικό ως προς τον τύπο του εδάφους. Μπορεί να δώσει ικανοποιητική απόδοση σε όλους τους τύπους, ενώ το πλεονέκτημά του έναντι του αραβόσιτου φαίνεται στα πτωχά εδάφη. Στις βροχερές χρονιές συνήθως αποδίδει πιο πολύ στα βαριά χωράφια, ενώ στις ξηρές στα ελαφρά. Επίσης το σόργο ανέχεται τα ελαφρώς αλατούχα και αλκαλιωμένα εδάφη (Σφήκας, 1991). Αν προσθέσει κανείς και την αντοχή του στα έντομα το σόργο αποτελεί υποκατάστατο του αραβόσιτου για πολλές αντίξοες συνθήκες, αλλά, όπως έχει αναφερθεί, μειονεκτεί σοβαρά γιατί υφίσταται ζημιές από τα πτηνά, φυτρώνει δυσκολότερα, ο σπόρος συντηρείται δυσκολότερα και έχει μικρότερη θρεπτική αξία. Γενικώς όμως φαίνεται να πλεονεκτεί στα πλαίσια της LISA και γι' αυτό ίσως πρέπει να προσεχθεί ειδικότερα ως φυτό βιοενέργειας (Γαλανοπούλου, 2003).

2.4 Καλλιέργεια

Αμειψισπορά. Το σόργο μπορεί να ακολουθήσει οποιαδήποτε καλλιέργεια στο σύστημα αμειψισποράς. Επίσης μπορεί να σπέρνεται συνεχώς επί αρκετά έτη ή να εναλλάσσεται με άλλους τύπους σόργου ή με αραβόσιτο. Χρειάζεται όμως προσοχή για τις καλλιέργειες που ακολουθούν το σόργο.

Το σόργο εξαντλεί την υγρασία και κυρίως τα θρεπτικά στοιχεία του εδάφους επειδή επιζεί μέχρι τους πρώτους χειμερινούς παγετούς. Τα φυτικά του υπολείμματα (ρίζες κλπ) είναι πλούσια σε υδατάνθρακες (αρκετά σάκχαρα) και παρέχουν ενέργεια για τον πολλαπλασιασμό των μικροοργανισμών του εδάφους. Οι μικροοργανισμοί όμως αυτοί ανταγωνίζονται σε άζωτο τα φυτά που ακολουθούν κατά τη διάρκεια της αποσυνθέσεως των φυτικών υπολειμμάτων του σόργου. Έτσι, αν μετά από σόργο σπαρθούν χειμερινά σιτηρά, αυτά δυσκολεύονται από την έλλειψη νερού και θρεπτικών συστατικών.

Ακόμη και εαρινές αρδευόμενες καλλιέργειες αποδίδουν λιγότερο αν καλλιεργηθούν μετά από σόργο. Η κατάσταση βελτιώνεται σε αρδευόμενα χωράφια αν κάνουμε χλωρή λίπανση με ψυχανθή ή λιπάνουμε με κοπριά και ανόργανα αζωτούχα λιπάσματα. Όψιμες εαρινές καλλιέργειες ζημιώνονται

λιγότερο, γιατί με τη συντελούμενη αποσύνθεση των φυτικών υπολειμμάτων του σόργου αρχίζει η αποκατάσταση της παροχής αζώτου στο έδαφος.

Κατεργασία του εδάφους. Γίνεται η ίδια όπως στον αραβόσιτο με τη διαφορά ότι το σόργο είναι πιο απαιτητικό στην προπαρασκευή της σποροκλίνης. Αυτό οφείλεται στο μικρότερο μέγεθος του σπόρου και στη βραδύτερη ανάπτυξη του σόργου κατά τη νεαρή ηλικία. Γι' αυτό η αποτυχία του φυτρώματος είναι συχνότερη στο σόργο παρά στον αραβόσιτο (Σφήκας, 1991). Συνιστάται ένα θερινό ή φθινοπωρινό όργωμα και σβανίσματα λίγο πριν τη σπορά αλλά αρέσκεται και σε περιορισμένη κατεργασία (μείωση κόστους), ίσως και μόνο στη λωρίδα σποράς.

Λίπανση. Εφαρμόζεται η ίδια περίπου λίπανση που εφαρμόζεται στα διπλά υβρίδια αραβόσιτου. Το σόργο αντιδρά πολύ καλά στην αζωτούχο και στη φωσφορική λίπανση. Στο σανοδοτικό σόργο μπορεί να προστίθενται επιφανειακά περίπου 2 μονάδες N/στρέμμα στην αρχή της αναβλαστήσεως για κάθε επόμενη κοπή. Σε περίπτωση υπερβολικής λίπανσης αζώτου παρατηρείται ονίμηση της καλλιέργειας και αυξάνεται η ποσότητα του γλυκοζιδίου ντουρίνη το οποίο ύστερα από υδρόλυση παράγει υδροκυάνιο και είναι τοξικό για τα ζώα (Γαλανοπούλου, 2003). Συνήθως χορηγούνται 4 – 15 μονάδες N και 4 – 7 μονάδες P στο στρέμμα αντίστοιχα (Dercas et al., 1995). Εννοείται πως αν δεν βρέξει θα πρέπει να γίνει άρδευση του σόργου μετά τη λίπανση.

Σπορά. Για να πετύχει το φύτεμα του σόργου απαιτείται καλή προετοιμασία της σποροκλίνης, επαρκής υγρασία και θερμοκρασία άνω των 7 – 10 °C. Με απολυμασμένο σπόρο ξεπερνά ευκολότερα τους κινδύνους από μη ευνοϊκές συνθήκες σποράς και μπορεί να σπέρνεται λίγο νωρίτερα. Γενικά η εποχή σποράς του αρχίζει 1 – 2 εβδομάδες μετά την έναρξη σποράς του αραβόσιτου και η επιτυχία του φυτρώματος είναι συγκριτικά δυσκολότερη.

Οι σανοδοτικές ποικιλίες σπέρνονται σε αποστάσεις γραμμών 35 – 40 cm, ενώ οι καρποδοτικές σε αποστάσεις 60 – 80 cm αν αρδεύονται ή 80 – 100 cm σε ξηρική καλλιέργεια. Έτσι το ποσό του σπόρου ανά στρέμμα κυμαίνεται στις σανοδοτικές ποικιλίες από 3 – 4 kg και 2 – 2,5 kg στις καρποδοτικές.

Η σπορά γίνεται με κοινή σπαρτική σίτου που τοποθετεί το σπόρο σε βάθος 3 - 4 cm. Αν η υγρασία δεν είναι αρκετή, συνιστάται να γίνει κυλίνδρισμα μετά τη σπορά, οπότε πετυχαίνεται καλύτερο φύτεμα.

Αραιώμα. Μαζί με το σκάλισμα γίνεται και το αραιώμα μόνο στις καρποδοτικές καλλιέργειες. Ο επιθυμητός αριθμός φυτών κυμαίνεται από 2500 φ/στρ. στα ξηρικά μέχρι 5000 στα αρδευόμενα χωράφια.

Άρδευση. Το σόργο αρδεύεται με τα ίδια συστήματα όπως και ο αραβόσιτος, δηλαδή με αυλάκια, καταιονισμό ή σταγόνα. Συνήθως δίνονται τρεις αρδεύσεις συνολικά. Στις χορτοδοτικές καλλιέργειες δίνεται μια άρδευση πριν από την πρώτη κοπή και ανά μία μετά την πρώτη και δεύτερη κοπή αν πρόκειται να γίνει και τρίτη κοπή. Στις καρποδοτικές καλλιέργειες η τελευταία άρδευση γίνεται πριν ή όταν ο καρπός είναι στο στάδιο του γάλακτος (Σφήκας, 1991).

Στην περίπτωση που η καλλιέργεια αρδεύεται είναι πολλά υποσχόμενη, έτσι ώστε με μέτρια ποσά άρδευσης της τάξης των 250 – 300 mm year⁻¹ έχουν σημειωθεί παραγωγικότητες που υπερβαίνουν τους 3,5 t/στρέμμα σε ξηρή ουσία (Dercas et al. 1995, Dercas et al. 1996).

Ζιζανιοκτονία. Γίνεται με μηχανικά μέσα και ζιζανιοκτόνα. Θεωρείται πτωχός ανταγωνιστής στο νεαρό στάδιο, ιδιαίτερα το καρποδοτικό, αλλά αργότερα γίνεται ισχυρός ανταγωνιστής (Γαλανοπούλου, 2003). Στο καρποδοτικό σόργο γίνονται συνήθως 2 – 3 σκαλίσματα με το χέρι ή μηχανικώς. Στις πυκνές καλλιέργειες μπορεί να χρησιμοποιηθεί περιστροφικό σκαλιστήρι πριν ή αμέσως μετά το φύτευμα για την καταπολέμηση των νεαρών ζιζανίων.

Η ζιζανιοκτονία είναι παρόμοια με του καλαμποκιού. Συγκριτικά με τον αραβόσιτο, το σόργο είναι πιο ευπαθές στο 2,4 D, ώστε η χημική ζιζανιοκτονία να είναι λιγότερο αποτελεσματική.

Από τα προφυτρωτικά ζιζανιοκτόνα συνιστώνται η προπαζίνη σε δόσεις 150 – 250 g ή το CDAA σε δόσεις 100 – 200 g το στρέμμα.

Συγκομιδή. Το θέρισμα των σανοδοτικών ποικιλιών γίνεται με χορτοκοπτική μηχανή. Το χόρτο συνήθως χρησιμοποιείται ως χλωρή τροφή ή για ενσίρωση. Συνήθως γίνονται 2 – 3 κοπές στο στάδιο εμφανίσεως της ταξιανθίας. Με ευνοϊκές συνθήκες μπορεί να γίνει και τέταρτη κοπή.

Για τη σποροπαραγωγή του σανοδοτικού σόργου (σόργο του Σουδάν) η πρώτη κοπή γίνεται συνήθως νωρίς για σανό και η δεύτερη παραγωγή αφήνεται να δώσει σπόρο.

Οι καρποδοτικές ποικιλίες συγκομίζονται με τη θεριζοαλωνιστική μηχανή. Η συγκομιδή πρέπει να γίνεται όταν ο καρπός είναι ώριμος για

καλύτερη απόδοση και ποιότητα προϊόντος, ευκολότερη συντήρηση, αλλά και καλή λειτουργία της μηχανής. Ο καρπός είναι ώριμος μόλις αρχίζει να σκληραίνει ενώ συγχρόνως έχει αποκτήσει το φυσικό του χρώμα. Τότε έχει υγρασία 18 – 20 %. Για να χρησιμοποιηθεί η θεριζοαλωνιστική, καλό είναι η υγρασία να κατέβει στο 13 – 14 %, ώστε η συντήρηση του καρπού να είναι καλή, εκτός εάν ακολουθήσει ξήρανση μετά τον αλωνισμό.

Η συγκομιδή της σκούπας γίνεται όταν οι σπόροι βρίσκονται στο γάλα. Ακολουθεί ξήρανση επί 10 – 20 ημέρες. Ο σπόρος χωρίζεται πριν ή μετά την ξήρανση. Η καθυστέρηση του θερισμού της σκούπας δίνει σάρωθρα που σπάζουν εύκολα γιατί ελαττώνεται η ελαστικότητα των ινών. Καλύτερη ποιότητα σκούπας παίρνουμε αν η απόληψη του σπόρου γίνει πριν την ξήρανση, οπότε οι πιο πολλοί λεπτοί κλάδοι μένουν ανέπαφοι.

2.5 Εχθροί και ασθένειες

Το σόργο ζημιώνεται από τις ίδιες ασθένειες και έντομα που προσβάλλουν τον αραβόσιτο, με τη διαφορά ότι το σόργο παθαίνει λιγότερες ζημιές από τις αγρότιδες και τους μύκητες στη νεαρή ηλικία (Σφήκας, 1991). Οι πιο συνηθισμένοι εχθροί είναι οι σιδηροσκώληκες (*Agriotes sp.*), το πράσινο σκουλήκι (*Heliothis armigera*), το οποίο τρώει τα φύλλα και τους σχηματιζόμενους καρπούς. Σημαντικοί εχθροί είναι επίσης, η μύγα του σόργου του οποίου η προνύμφη διεισδύει μέσα στο στέλεχος του φυτού και δημιουργεί στοές. Τέλος, πρέπει να αναφερθεί η σεσάμια (*Sesamia nonagrioides*), της οποίας η προνύμφη κάνει παρόμοιες προσβολές με το προηγούμενο.

Ο σοβαρότερος εχθρός του καρποδοτικού σόργου είναι τα πουλιά, για τα οποία δεν υπάρχει τρόπος για αποτελεσματική αντιμετώπιση.

Οι σπουδαιότερες ασθένειες είναι οι τήξεις φυταρίων, οι οποίες είναι πολύ έντονες σε χαμηλές θερμοκρασίες. Πρέπει να αναφερθούν και οι σηψιρριζίες που προκαλούν νανισμό και θάνατο των φυτών, οι σήψεις που προκαλούν πλάγιασμα και πρόωμη ωρίμανση και οι σκωριάσεις. Επίσης, ο άνθρακας και το ελμινθοσπόριο προσβάλλουν συχνά το σόργο. Συνιστώνται τα ίδια μέτρα όπως και στον αραβόσιτο. Το ίδιο ισχύει και για τις προσβολές του καρπού κατά την αποθήκευση. Συνήθως αντιμετωπίζονται με τη χρήση

κατάλληλων μυκητοκτόνων, με τη χρήση υγιούς απολυμασμένου σπόρου, με τη χρησιμοποίηση ανθεκτικών ποικιλιών, με αμειψισπορά και με καταστροφή των προσβεβλημένων ταξιανθιών (Σφήκας, 1984).

2.6 Προϊόντα

Ο καρπός του σόργου στις φτωχότερες περιοχές της γης χρησιμοποιείται για τη διατροφή του ανθρώπου, ενώ στις πλούσιες, όπως π.χ. στις Η.Π.Α., χρησιμοποιείται ως ζωοτροφή. Το 75 % της παγκόσμιας παραγωγής διατίθεται για τον πρώτο σκοπό, ενώ το 16 % για τον δεύτερο. Το υπόλοιπο βρίσκει άλλες χρήσεις (Φασούλας και Φωτιάδης, 1984). Σε χώρες της Ασίας και της Αφρικής χρησιμοποιείται στη διατροφή του ανθρώπου. Χρησιμοποιείται όπως και το ρύζι, δηλαδή ως edώδιμο, ή μπορεί να αλεσθεί και να παραχθεί αλεύρι (Γεωργία – Κτηνοτροφία, 1996). Στην Αφρική, ο καρπός του σόργου χρησιμοποιείται και για παραγωγή χωρικής μύρας ενώ ο καψαλισμένος σπόρος χρησιμοποιείται και ως υποκατάστατο του καφέ. Στο Δυτικό κόσμο χρησιμοποιείται ως ζωοτροφή. Έχει την ίδια ή μικρότερη θρεπτική αξία συγκρινόμενο με τον αραβόσιτο, γι' αυτό και η τιμή του είναι μικρότερη. Το χόρτο (χλωρό ή ενσιρωμένο) χρησιμοποιείται αποκλειστικά ως ζωοτροφή (Σφήκας, 1991). Ο σανός θεωρείται πολύ καλός για ζώα εργασίας και κρεοπαραγωγικά βοοειδή, ενώ υστερεί για αγελάδες γαλακτοπαραγωγής όπου κατά κύριο λόγο χρησιμοποιείται η μηδική.

Ο σπόρος αναφέρεται ότι έχει πολλές φαρμακευτικές ιδιότητες όπως καταπραϋντικές, διουρητικές, μαλακτικές, αντιοξειδωτικές ενώ επίσης έχει και ευεργετικές ιδιότητες κατά την εγκυμοσύνη. Υπάρχουν αναφορές, κυρίως από τη λαϊκή παράδοση, που λένε ότι είναι γιατρικό για τον καρκίνο, την επιληψία και για το στομαχόπονο. Στη νότια Ροδεσία, οι ρίζες του φυτού χρησιμοποιούνται για την ελονοσία, οι σπόροι για ασθένειες στήθους και τη διάρροια, ενώ ο μίσχος για τη φυματίωση. Στην Ινδία το φυτό θεωρείται ανθελμινθικό και εντομοκτόνο και στη νότια Αφρική σε συνδυασμό με το *Erigeron canadense* L., χρησιμοποιείται για έκζεμα. Στην Κίνα, όπου οι σπόροι χρησιμοποιούνται για την παραγωγή οиноπνεύματος, το κέλυφος του σπόρου σιγοψήνεται με καφέ ζάχαρη και λίγο νερό έτσι ώστε να αντιμετωπίσει την ιλαρά. Σύμφωνα με τον Morton οι ιθαγενείς του νησιού Curacao πίνουν το αφέψημα των φύλλων για την

ιλαρά, ενώ αλέθουν τους σπόρους με εκείνους της κολοκυθιάς (*Crescentia*) για ασθένειες του πνεύμονα. Οι κάτοικοι της Βενεζουέλας ζεσταίνουν και πολτοποιούν τους σπόρους για τη διάρροια. Οι Βραζιλιάνοι πίνουν το αφέψημα των σπόρων για τις βρογχίτιδες, το βήχα, και άλλες ασθένειες του στήθους ενώ, πιθανόν χρησιμοποιούν τη στάχτη για τη βρογχοκήλη. Οι κάτοικοι της Αρούμπα βάζουν κατάπλασμα στην πλάτη εκείνων που υποφέρουν από πνευμονική συμφόρηση. Σύμφωνα με τη βοτανική του Grieve, ένα αφέψημα από 50 γρ. σπόρου διαλυμένα σε 1 λίτρο νερό, βράζεται έτσι ώστε να μειωθεί ο όγκος στο μισό και χρησιμοποιείται για τα νεφρά και τις παθήσεις του ουρικού συστήματος (Γεωργία – Κτηνοτροφία, 1996).

Οι βιομηχανικές χρήσεις του σόργου είναι ανάλογες με αυτές του αραβόσιτου. Έτσι, από τον καρπό εξάγεται άμυλο και λάδι, παράγονται σακχαρούχα προϊόντα, κολλητικές ουσίες κλπ.

Από τα στελέχη του σακχαροφόρου σόργου εξάγεται, με επεξεργασία ανάλογη με αυτή του σακχαροκάλαμου, σιρόπι που περιέχει υψηλό ποσοστό σακχάρου. Ορισμένες ποικιλίες δίνουν χυμό με 13 – 17 % σάκχαρο, από το οποίο το περισσότερο (10 – 14 %) είναι σακχαρόζη. Προσπάθειες για οικονομική εξαγωγή κρυσταλλικής σακχαρόζης από το σόργο δεν πέτυχαν ως τώρα. Η χρήση του σόργου στη σακχαροβιομηχανία μειονεκτεί από άποψη κόστους εξαγωγής σακχάρους, συγκριτικά με το σακχαροκάλαμο και τα ζαχαρότευτλα.

Τέλος ειδικές ποικιλίες σόργου είναι κατάλληλες για την κατασκευή σαρώθρων (σκούπες) (Σφήκας, 1991).

Όπως προαναφέρθηκε, παρουσιάζει ενδιαφέρον και ως φυτό βιοενέργειας. Τόσο το ινώδες όσο και το σακχαρώδες σόργο παράγουν πολύ καλή ποιότητα βιομάζας, η οποία χρησιμοποιείται για την παραγωγή βιοαιθανόλης και στερεών βιοκαυσίμων, τα οποία χρησιμοποιούνται κυρίως στις μεταφορές και στην παραγωγή θερμικής και ηλεκτρικής ενέργειας.

Τέλος, πρέπει να αναφερθεί ότι από αυτά τα είδη του σόργου, παράγεται χαρτοπολτός και πρώτη ύλη για παραγωγή οικοδομικών υλικών (Γεωργία – Κτηνοτροφία, 1996).

2.7 Σόργο και καλαμπόκι

Το σόργο και το καλαμπόκι μοιάζουν ως προς τον τρόπο ανάπτυξης, έχουν το ίδιο περίπου μέγεθος και εμφάνιση και καλλιεργούνται σε παρόμοια περιβάλλοντα. Η βασική διαφορά μεταξύ τους είναι ότι το καλαμπόκι έχει μια χαρακτηριστική κριτική περίοδο. Έλλειψη υγρασίας κατά την περίοδο αυτή ελαττώνει μέχρι εκμηδενισμού την απόδοση. Αντίθετα, το σόργο μπορεί να υπομείνει μια περίοδο ξηρασίας και να συνεχίσει την ανάπτυξή του μόλις βρει νερό. Έτσι το σόργο μπορεί να αποδώσει έστω και μια μέτρια παραγωγή εκεί που το καλαμπόκι θα αποτύγχανε λόγω ανεπάρκειας νερού. Μια άλλη σπουδαία διαφορά είναι ότι το σόργο αντέχει πολύ περισσότερο από το καλαμπόκι στην υψηλή θερμοκρασία. Θερμοκρασίες ύψους 27 °C θέτουν όρια στην επωφελή καλλιέργεια του καλαμποκιού. Για το σόργο οι θερμοκρασίες αυτές είναι ιδεώδεις. Με λίγα λόγια το σόργο είναι μια καλλιέργεια κατάλληλη για περιοχές περισσότερο θερμές και λιγότερο υγρές από ό,τι χρειάζεται το καλαμπόκι για την κανονική ανάπτυξή του. Το σόργο αντέχει επίσης περισσότερο από το καλαμπόκι στις προσβολές εντόμων, όπως οι ακρίδες και η *Pyrausta nubilalis*, καθώς και τα αλκάλια και τα άλατα. Τέλος, και το σόργο και ο αραβόσιτος μπορούν να χρησιμοποιηθούν για την παραγωγή βιοκαυσίμου (βιοαιθανόλης) αλλά το σόργο υπερέχει σε απόδοση σε βιοκαύσιμο. Η απόδοση σε βιοκαύσιμο για το σόργο και το καλαμπόκι είναι αντίστοιχα 700 – 900 και 240 – 360 λίτρα/στρέμμα. Ένας από τους λόγους που συμβαίνει αυτό είναι ότι η απόδοση του σόργου σε προϊόν (kg/στρέμμα), το οποίο χρησιμοποιείται ως πρώτη ύλη για την παραγωγή βιοενέργειας, είναι μεγαλύτερη από αυτή του καλαμποκιού.

Θα μπορούσε να πει κανείς ότι το καλαμπόκι και το σόργο είναι δύο φυτά που το ένα συμπληρώνει το άλλο στην αξιοποίηση του περιβάλλοντος. Το πρώτο αξιοποιεί γόνιμα χωράφια και άφθονο νερό, ενώ το δεύτερο φτωχότερα χωράφια και περιορισμένη βροχή ή άρδευση.

Το σόργο όμως, παρουσιάζει και αρκετά μειονεκτήματα. Αφήνει το χωράφι όπου καλλιεργήθηκε εξαντλημένο από απόψεως υγρασίας και αζώτου. Οι καλλιέργειες που το ακολουθούν αποδίδουν μειωμένη παραγωγή, ιδίως όταν αυτές είναι φθινοπωρινές που σπέρνονται αμέσως μετά τη συγκομιδή του σόργου. Δυσχέρειες επίσης παρουσιάζει το σόργο στο φύτευμά του. Η θρεπτική του αξία είναι μικρότερη από αυτή του καλαμποκιού, και η τιμή του στο εμπόριο

πο χαμηλή. Άλλο ένα μειονέκτημα είναι ότι παθαίνει μεγάλες ζημιές από τα πουλιά, ιδίως όταν καλλιεργείται σε περιορισμένη έκταση (Φασούλας και Φωτιάδης, 1984).

2.8 Είδη σόργου που χρησιμοποιούνται ως ενεργειακή καλλιέργεια

2.8.1 Ινώδες σόργο

Ανάλογα με την ενεργειακή χρήση του σόργου διακρίνουμε δύο ποικιλίες, το γλυκό σόργο (sweet sorghum) για την παραγωγή βιοαιθανόλης, και το ινώδες σόργο (fiber sorghum) για την παραγωγή βιομάζας.

Το ινώδες σόργο αποτελεί υβρίδιο του καρποδοτικού σόργου και του σόργου που χρησιμοποιείται για την κατασκευή σκούπας. Ως ενεργειακό φυτό, το ινώδες σόργο καλλιεργείται σε πολλές Ευρωπαϊκές χώρες αλλά και στο εξωτερικό. Παρόλο που έχει τροπική προέλευση, από πρόσφατες έρευνες (Dalianis 1996, Chatziathanassiou et al. 1998) η συγκεκριμένη καλλιέργεια παρουσίασε μία εντυπωσιακή προσαρμοστικότητα τόσο σε εύκρατα όσο και σε υποτροπικά κλίματα. Κάποια υβρίδια παρουσίασαν μεγάλη απόδοση και σε μεσογειακές συνθήκες. Είναι ετήσιο φυτό με μεγάλη φωτοσυνθετική ικανότητα, μεγάλη παραγωγή σε βιομάζα, με αντοχή στην ξηρασία και μικρές απαιτήσεις σε άζωτο. Έχει μικρή περιεκτικότητα σε ζάχαρη (9 – 12 %), ενώ η υψηλή ενεργειακή του αξία οφείλεται στο υψηλό ποσοστό σε λινοκυτταρικές ίνες (περίπου 2 τόνους/στρέμμα) που περιέχει. Το ριζικό σύστημα είναι πολύ ανεπτυγμένο με πολλές πλάγιες ρίζες, κάτι που κάνει το φυτό πολύ ανθεκτικό σε συνθήκες ξηρασίας και ικανό να κινητοποιεί το φυσικό άζωτο και τα θρεπτικά συστατικά του εδάφους. Επίσης, το εκτεταμένο ριζικό σύστημα σε συνδυασμό με τους πυκνούς πληθυσμούς μειώνει τον κίνδυνο διάβρωσης του εδάφους σε λοφώδεις περιοχές ή πλαγιές.

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

Σπέρνεται την άνοιξη, όταν η θερμοκρασία του εδάφους είναι περίπου 15 °C. Οι αποστάσεις των σειρών είναι 70 cm, ενώ τα φυτά σπέρνονται ανά 10 – 20

cm επί της σειράς. Με τις ελληνικές συνθήκες απαιτούνται 300 – 700 mm άρδευση, ανάλογα φυσικά και με την περιοχή στην οποία καλλιεργείται. Οι απαιτήσεις σε λίπανση είναι μικρές και συνήθως παρέχονται 5 μονάδες N. Η απόδοση σε χλωρό βάρος φθάνει τους 9 τόνους/στρέμμα, ενώ σε ξηρό τους 3 τόνους/στρέμμα. Γνωστές ποικιλίες ινώδους σόργου είναι η ABF 306, η NK 506, η H 132 και η FS 5 (Panoutsou).

2.8.2 Γλυκό σόργο

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

Πλεονεκτήματα του γλυκού σόργου είναι: **1)** η υψηλή απόδοση σε βιομάζα, **2)** οι μικρές απαιτήσεις σε άζωτο και **3)** η εύκολη εγκατάσταση με χαμηλό κόστος.

Μειονεκτήματά του είναι: **1)** είναι ευάλωτο στο τίναγμα σε συνθήκες όπου επικρατούν έντονοι άνεμοι, **2)** χαρακτηρίζεται από μικρή περίοδο επεξεργασίας για παραγωγή βιοαιθανόλης και **3)** υπάρχει ανάγκη για χρησιμοποίηση ειδικού μηχανήματος συγκομιδής που θα ξεχωρίζει τα φύλλα από τους μίσχους.

Στα συμπεράσματα πειράματος που πραγματοποιήθηκε στη νότια Ρουμανία (Roman et al., 1998), αναφέρεται ότι η μέγιστη παραγωγή σε ξηρή βιομάζα του γλυκού σόργου έφτασε τους 2,8 t/στρέμμα, χωρίς περιορισμούς στις δόσεις άρδευσης (κάλυψη των αναγκών στο 100 % της εξατμισοδιαπνοής).

Αντίστοιχα ήταν και αποτελέσματα πειραμάτων που πραγματοποιήθηκαν στην Ισπανία (Curt, 1998), όσον αφορά την παραγωγή σε ξηρή βιομάζα του γλυκού και ινώδους σόργου, εφαρμόζοντας τρία διαφορετικά επίπεδα λιπαντικής αγωγής (0, 60, 120 kg N ha⁻¹). Έτσι, η ποικιλία γλυκού σόργου Keller έφτασε τους 2,8 t/στρέμμα και η ποικιλία του ινώδους σόργου H 128 τους 2,6 t/στρέμμα σε παραγωγή ξηρής βιομάζας.

Βέβαια σημαντικό ρόλο στην παραγωγικότητα του φυτού παίζουν, πέρα των κλιματολογικών δεδομένων, η γονιμότητα του εδάφους και η καλλιεργητική

τεχνική που εφαρμόζεται. Αντίθετα, σε κλιματολογικές ζώνες όπου η έλλειψη νερού είναι σημαντική ο κυριότερος παράγοντας μεγιστοποίησης της παραγωγής είναι το διαθέσιμο νερό άρδευσης.

Σε πειράματα που πραγματοποιήθηκαν (Dercas et al., 1995, 1996) φάνηκε ότι με μέτρια ποσά άρδευσης της τάξης των 250 – 300 mm/χρόνο έχουν σημειωθεί παραγωγικότητες που υπερβαίνουν τους 3,5 t/στρέμμα σε ξηρή ουσία ή τους 1,4 τόνους ισοδύναμου πετρελαίου.

Σε γενικές γραμμές οι απαιτήσεις καλλιέργειας είναι παρόμοιες με αυτές του ινόδους σόργου. Η απόδοση σε χλωρό βάρος είναι περίπου 9 τόνους/στρέμμα και σε ξηρό περίπου 2 τόνους/στρέμμα. Σε ιδανικές συνθήκες ποτίσματος και λιπάνσεως, η παραγωγή αιθανόλης εκτιμάται στα 670 λίτρα ανά στρέμμα. Ποικιλίες γλυκού σόργου είναι η SOFRA, η KORALL, η COWLEY, η KELLER και η MN 1500 (Alexoroulou et al., Nikolaou).

Για την περαιτέρω διάδοση του προϊόντος πρέπει να επιτευχθεί ευαισθητοποίηση της κοινής γνώμης και της πολιτείας σε θέματα περιβάλλοντος, ενημέρωση πάνω στις νέες καλλιέργειες και οικονομική ενίσχυση των παραγωγών τουλάχιστον τα πρώτα χρόνια (επιχορηγήσεις, θέσπιση φοροαπαλλαγών για τους αγρότες που ασχολούνται αποκλειστικά και μόνο με την παραγωγή ενεργειακών φυτών, διευκολύνσεις για την αγορά λιπασμάτων – υλικών άρδευσης), μείωση της τιμής διάθεσης του προϊόντος και ευκολία στη διάθεση με τη δημιουργία εργοστασίων παραγωγής βιοκαυσίμων. Μείωση στην τιμή μπορεί να επιτευχθεί αφενός μεν αν βελτιωθεί η αλυσίδα παραγωγής (μειώνοντας το κόστος παραγωγής, συγκομιδής, αποθήκευσης, μεταφοράς και επεξεργασίας) και αφετέρου δε αν αυξηθεί συνολικά η παραγόμενη ποσότητα.

2.9 Βελτίωση

Το σόργο έχει μελετηθεί επισταμένως από γενετιστές και βελτιωτές φυτών. Ο χρωματισμός του καρπού, η περιεκτικότητα του στελέχους σε σακχαρώδεις ουσίες, η αντοχή στις ασθένειες και άλλα γνωρίσματα προσέχτηκαν ιδιαίτερα από τους βελτιωτές. Ιδιαίτερα στις χώρες του Τρίτου Κόσμου γίνεται σοβαρή προσπάθεια να βελτιωθεί η θρεπτική αξία του καρποδοτικού σόργου στη χρήση του για τον άνθρωπο. Όλες οι νέες τεχνικές της βελτιώσεως

(πολυπλοειδία, μεταλλαγές, διασταυρώσεις μεταξύ ειδών) χρησιμοποιήθηκαν στη βελτίωσή του. Η κατάληξη είναι τα νέα παραγωγικά υβρίδια σόργου, που διαδίδονται όλο και περισσότερο, τόσο στους καρποδοτικούς όσο και στους σανοδοτικούς τύπους. Πρέπει με την ευκαιρία να τονισθεί ότι οι σανοδοτικοί τύποι σόργου είναι τελείως διαφορετικοί από τους καρποδοτικούς, πράγμα που δεν συμβαίνει στον αραβόσιτο. Η στρεμματική απόδοση του καρποδοτικού σόργου στις Η.Π.Α. τριπλασιάστηκε μεταξύ 1940 και 1970.

2.9.1 Μέθοδοι

Το σόργο είναι φυτό συχνά διασταυρούμενο, με έντονα ετερωτικά φαινόμενα. Η δυσκολία στην παραγωγή των υβριδίων, λόγω ερμαφρόδιτων ανθέων, ανάγκασε τους παλαιότερους βελτιωτές να εφαρμόζουν τις μεθόδους βελτιώσεως των αυτογονιμοποιούμενων φυτών για τη δημιουργία νέων ποικιλιών σόργου. Η δυσκολία αυτή παρακάμφθηκε τελευταία με την απόκτηση (γονιδιακής και κυττοπλασματικής) αρρενοστεριότητας. Διασταύρωση μπορεί να γίνει και με άλλα είδη του γένους *Sorghum*. Έτσι βρέθηκε στην Αργεντινή υβρίδιο πολυετές από φυσική διασταύρωση μεταξύ σόργου και βέλιουρα που ονομάστηκε *Sorghum alatum* και το οποίο καλλιεργείται ως χορτοδοτικό στις Η.Π.Α. και άλλες χώρες. Επειδή είναι πολυετές και επίσης τινάζει τον σπόρο του, υπάρχει φόβος να καταστεί ζιζάνιο στις χώρες αυτές.

Σήμερα παράγονται υβρίδια εντός του είδους που υπερέχουν στην απόδοση κατά 25 – 40 % συγκριτικά με τις συνηθισμένες ποικιλίες σόργου. Σημειώνουμε εδώ πως στο σόργο δεν παρουσιάζεται η έντονη μείωση της παραγωγικότητας που είναι χαρακτηριστική στις καθαρές σειρές του καλαμποκιού.

Στη δημιουργία υβριδίων χρησιμοποιούνται δύο πηγές αρρενοστεριότητας:

1. Ποικιλία Day. Τα αρρενόστερα φυτά της ποικιλίας αυτής, δίνουν με ορισμένες ποικιλίες πάλι αρρενόστερα, ενώ με άλλες γόνιμα υβρίδια. Για την παραγωγή των υβριδίων χρησιμοποιούνται τρεις σειρές (A, B, C) και δύο αγροί διασταυρώσεων κατά το κατωτέρω σχήμα:

α) Σειρά Α. Καλλιεργείται σε απομονωμένο χωράφι όπου δίνει φυτά κατά 50 % αρρενόστειρα. Από τα αρρενόστειρα, συλλέγεται σπόρος, ο οποίος παρήχθηκε από γύρη των γόνιμων φυτών της ίδιας ποικιλίας, και σπέρνεται στον αγρό διασταυρώσεων 1. Τα φυτά ελέγχονται πριν την άνθηση και όσα είναι γόνιμα απομακρύνονται.

β) Σειρά Β. Είναι γόνιμη, χωρίς γονίδια αποκαταστάσεως της γονιμότητας και αναπαράγεται σε απομονωμένο χωράφι. Χρησιμοποιείται ως επικονιαστής της Α στον αγρό 1.

γ) Το προϊόν της διασταυρώσεως $A \times B$ του αγρού 1 σπέρνεται σε γραμμές στον αγρό διασταυρώσεων 2. Ως επικονιαστής χρησιμοποιείται η σειρά C, η οποία είναι γόνιμη και συγχρόνως έχει γονίδια αποκαταστάσεως της γονιμότητας.

δ) Το προϊόν του αγρού 2 ($A \times B \times C$) συγκομίζεται και δίνεται στους παραγωγούς για καλλιέργεια.

2. Κυττοπλασματική αρρενοστειρότητα. Σ' αυτή την περίπτωση χρησιμοποιείται η ακόλουθη τακτική για την παραγωγή των υβριδίων:

α) Σειρά Α. Είναι αρρενόστειρη και αναπαράγεται σε απομονωμένο αγρό από την αντίστοιχη γόνιμη σειρά Α', που διαφέρει μόνο ως προς το κυτόπλασμα.

β) Η σειρά Α διασταυρώνεται με τη σειρά R, που περιέχει γονίδια αποκαταστάσεως της γονιμότητας.

γ) Το προϊόν της απλής διασταυρώσεως $A \times R$ αποτελεί το σπόρο του υβριδίου που διατίθεται στους παραγωγούς.

2.9.2 Γνωρίσματα για βελτίωση

Τα επιθυμητά χαρακτηριστικά εξαρτώνται από το είδος του προϊόντος για το οποίο καλλιεργείται το σόργο. Το σόργο καλλιεργείται για καρπό, σανό, ενσίρωση, βοσκή, παραγωγή σιροπιού, κατασκευή σαρώθρων, ως φυτό βιοενέργειας κλπ. Έτσι, ανάλογα είναι και τα χαρακτηριστικά που ενδιαφέρουν τον βελτιωτή, τα κυριότερα από τα οποία είναι τα ακόλουθα:

Απόδοση. Αποτελεί την κυριότερη επιδίωξη του βελτιωτή. Υπάρχουν πολλοί παράγοντες, που ανάλογα με τον προορισμό του προϊόντος, επηρεάζουν την παραγωγικότητα του σόργου. Τέτοιοι παράγοντες είναι η πρωιμότητα, το

ύψος των φυτών, η φωτοπερίοδος κ.ά., ανάλογα και με το περιβάλλον καλλιέργειάς του (Σφήκας, 1991). Γενικά οι καρποδοτικές ποικιλίες είναι βραχύσωμες (κάτω του 1 m), ενώ οι χορτοδοτικές πρέπει να είναι υψηλόσωμες για μεγάλη απόδοση φυτομάζας (Γαλανοπούλου, 2003).

Πρωιμότητα. Η επιθυμητή πρωιμότητα σχετίζεται κατά κύριο λόγο με τη βλαστική περίοδο της περιοχής. Η χρησιμοποίηση του σόργου για σανό ή καρπό, η σπορά του σαν κανονική ή επίσπορη καλλιέργεια (δεύτερη καλλιέργεια μετά από χειμερινό σιτηρό) κλπ λαμβάνονται υπόψη.

Αντοχή σε εχθρούς και ασθένειες. Στο σημείο αυτό έγινε σημαντική πρόοδος, ιδίως για αντοχή στις ασθένειες. Ως προς τα έντομα, οι πρώιμες ποικιλίες αποφεύγουν αρκετές προσβολές.

Αντοχή στο τίναγμα. Με τη γενίκευση της μηχανικής συγκομιδής, η αντοχή στο τίναγμα παρουσιάζει μεγαλύτερο ενδιαφέρον. Για να εργαστεί η θεριζοαλωνιστική πρέπει ο σπόρος να μην έχει πολλή υγρασία. Γι' αυτό καθυστερεί η συγκομιδή, οπότε ο κίνδυνος τινάγματος και ζημιών από πουλιά είναι μεγαλύτερος.

Ζημιές από πουλιά. Το καρποδοτικό σόργο συχνά υφίσταται ζημιές από τα πουλιά. Για την προστασία από τα πτηνά έχουν δημιουργηθεί στο Ισραήλ, ορισμένα υβρίδια με δυσάρεστη γεύση που την αντιπαθούν τα πουλιά. Μετά την ωρίμανση η γεύση αυτή εξαφανίζεται και συνεπώς ο καρπός είναι εξίσου καλός, όπως στα συνηθισμένα υβρίδια.

Αντοχή στο πλάγιασμα. Αφορά κυρίως τις καρποδοτικές ποικιλίες. Έτσι οι χαμηλόσωμες ποικιλίες και ποικιλίες που αντέχουν στις ασθένειες και τα έντομα έχουν καλύτερη αντοχή στο πλάγιασμα.

Προσαρμογή στη μηχανική συγκομιδή. Οι χαμηλόσωμες ποικιλίες είναι πιο κατάλληλες για μηχανική συγκομιδή, και ευτυχώς είναι και πιο παραγωγικές. Ποικιλίες που δεν πλαγιάζουν και δεν τινάζουν ταιριάζουν επίσης στη μηχανική συλλογή του καρποδοτικού σόργου.

Η μηχανική συγκομιδή των σανοδοτικών ποικιλιών συνήθως δεν παρουσιάζει προβλήματα.

Ποιότητα. Τα προϊόντα του σόργου έχουν πολλές χρήσεις. Ανάλογη είναι και η προσπάθεια βελτιώσεως των ποικιλιών.

α) Καρποδοτικό σόργο. Ενδιαφέρει η χημική σύσταση του καρπού (ποσοστό πρωτεϊνών και αμύλου). Για την παραγωγή αμύλου είναι ανεπιθύμητες

οι χρωστικές του καρπού, γιατί απορροφούνται κατά την εξαγωγή του αμύλου και το χρωματίζουν. Από την άλλη πλευρά όμως, το κίτρινο ενδοσπέρμιο, που οφείλεται στις καροτίνες και τις ξανθοφύλλες, είναι θρεπτικότερο.

β) Χορτοδοτικό σόργο. Ενδιαφέρει εκτός από το ποσό της χλωρομάζας, η πεπτικότητα και η χημική σύσταση. Είναι επιθυμητή η υψηλή περιεκτικότητα σε σακχαρούχο χυμό, ο οποίος κυμαίνεται από 17 – 48 %. Αντίθετα η περιεκτικότητα σε πρωσικό οξύ είναι ανεπιθύμητη και πρέπει να κρατείται σε όσο το δυνατόν χαμηλότερο ποσοστό (Σφήκας, 1991).

γ) Ζαχαρούχο σόργο. Ενδιαφέρει η περιεκτικότητα σε ζαχαρούχο χυμό (Γαλανοπούλου, 2003).

Παραγωγή ξηρής βιομάζας. Αποτελεί την κύρια επιδίωξη του βελτιωτή όταν το σόργο χρησιμοποιείται αποκλειστικά για την παραγωγή βιοενέργειας. Στόχος των βελτιωτών είναι η δημιουργία ποικιλιών οι οποίες σε συνδυασμό με την εφαρμογή σύγχρονων καλλιεργητικών τεχνικών θα αποδίδουν ικανοποιητική παραγωγή ξηρής βιομάζας.

ΥΓΡΑ ΑΠΟΒΛΗΤΑ ΓΙΑ ΑΡΔΕΥΣΗ

3.1 Γενικά

Ο αριθμός των μονάδων επεξεργασίας υγρών αστικών αποβλήτων αυξάνεται με ταχείς ρυθμούς τόσο διεθνώς όσο και στη χώρα μας. Σημαντικό μέρος των εκροών αυτών μπορεί να αξιοποιηθεί στη γεωργία με σημαντικά οικονομικά και περιβαλλοντικά οφέλη (Papadopoulos et al. 1995, Πανώρας και Ηλίας 1997α, β, Πανώρας κ.ά. 1997α, β, 1998α, β, 1999). Σκοπός της επεξεργασίας των υγρών αστικών αποβλήτων είναι τόσο η προστασία του περιβάλλοντος κατά τη διάθεση αυτών στους υδάτινους αποδέκτες όσο και η δημιουργία προϋποθέσεων για την επαναχρησιμοποίησή τους.

Τα επεξεργασμένα υγρά αστικά απόβλητα, όταν αποφεύγεται η διάθεσή τους σε υδάτινους αποδέκτες, μπορούν να αξιοποιηθούν με διάφορους τρόπους, σημαντικότεροι των οποίων είναι η άρδευση γεωργικών και αστικών εκτάσεων (πάρκα, αθλητικοί χώροι, ζώνες πράσινου δίπλα σε δρόμους, κοιμητήρια κλπ), η χρήση αυτών στη βιομηχανία και ο εμπλουτισμός των υπόγειων υδροφορέων. Η άρδευση των καλλιεργειών είναι ο πιο ενδεδειγμένος τρόπος επαναχρησιμοποίησης των επεξεργασμένων υγρών αστικών αποβλήτων, γιατί α) αποφεύγεται η υποβάθμιση των υδάτινων αποδεκτών (το οργανικό φορτίο και τα θρεπτικά που περιέχονται ακόμη και στα επεξεργασμένα υγρά απόβλητα δημιουργούν προβλήματα στο περιβάλλον), β) επιτυγχάνεται η φυσική τροφοδοσία του εδάφους και των φυτών με θρεπτικά στοιχεία, γεγονός που μπορεί να μειώσει την ανάγκη προσθήκης χημικών λιπασμάτων (Asano and Levine 1995, F.A.O. 1991, Pescod 1992) και γ) αποτελούν έναν επιπλέον υδατικό πόρο, γεγονός ιδιαίτερα σημαντικό σε χώρες όπου οι βροχοπτώσεις είναι ανεπαρκείς. Στην κατηγορία αυτή ανήκει και η χώρα μας, στην οποία οι μειωμένες βροχοπτώσεις των τελευταίων ετών (Maheras 1988, Maheras and Kolyba – Mahera 1990, Βαφειάδης 1991, Μαυρουδής και Πανώρας 1992, Πέννας 1992, Μαυρουδής και Πανώρας 1993α, Louisakis et al. 1998) σε

συνδυασμό με την αύξηση της ζήτησης νερού τόσο για γεωργική όσο και για βιομηχανική – αστική χρήση, δημιούργησαν ελλειμματικό ισοζύγιο νερού και μείωσαν σημαντικά τους διαθέσιμους υδατικούς πόρους.

Οι αγρότες της πεδιάδας της Θεσσαλονίκης έχουν πρόσφατη την εμπειρία του καλοκαιριού του 1990, έτος κατ' εξοχή άνυδρο, κατά το οποίο αναγκάστηκαν να χρησιμοποιήσουν κάθε διαθέσιμη ποσότητα νερού. Ήταν η πρώτη φορά που χρησιμοποιήθηκαν τα νερά του ποταμού Λουδία, μετά από μεγάλες και συντονισμένες προσπάθειες όλων των φορέων που ασχολούνται με τα εγγειοβελτιωτικά έργα (Πανώρας και Χατζηγιαννάκης, 1992). Επίσης, ήταν η πρώτη φορά που οι αγρότες ζήτησαν να χρησιμοποιήσουν τα επεξεργασμένα υγρά αστικά απόβλητα της Θεσσαλονίκης.

Η αξιολόγηση της καταλληλότητας των επεξεργασμένων αστικών αποβλήτων για άρδευση γίνεται με βάση κριτήρια που αναφέρονται σε φυσικές, χημικές και μικροβιολογικές παραμέτρους. Ο όρος “καταλληλότητα” αναφέρεται όχι μόνο στα φυτά και το έδαφος αλλά και στον άνθρωπο και τα ζώα που έρχονται σε επαφή με τα νερά αυτά ή καταναλώνουν καρπούς και φυτική μάζα που αρδεύονται με νερά αυτού του είδους.

Τα τελευταία χρόνια αρκετά Ινστιτούτα Αγροτικής Έρευνας εξετάζουν τη δυνατότητα επαναχρησιμοποίησης των αποβλήτων για άρδευση καλλιεργειών στον αγρό ή υπό κάλυψη. Συγκεκριμένα διερευνήθηκε η δυνατότητα χρήσης των υγρών αποβλήτων της Λάρισας για άρδευση αραβόσιτου (Τσαντήλας και Σαμαράς, 1996) και των υγρών αποβλήτων της Θεσσαλονίκης για άρδευση ζαχαρότευτλων, βαμβακιού και των θερμοκηπιακών καλλιεργειών τομάτας, πιπεριάς καθώς και του ανθοκομικού είδους ζέρμπερα (Traka – Mavrona et al. 1996, Maloupa et al 1997).

Τριετής έρευνα (1995 – 1997) σχετικά με την επαναχρησιμοποίηση των επεξεργασμένων υγρών αστικών αποβλήτων της Θεσσαλονίκης στην άρδευση των ζαχαρότευτλων (Πανώρας κ.ά., 1998α, β, 1999α, β) έδειξε ότι τα συγκεκριμένα απόβλητα προσέθεταν στο έδαφος ποσότητες αζώτου, φωσφόρου και καλίου που κυμαίνονταν από 20,5 – 30,5, 4,5 – 6,8 και 11,7 – 13,5 kg/στρέμμα κατά αρδευτική περίοδο, αντίστοιχα. Όπως γίνεται φανερό σημαντικές ποσότητες αζώτου, φωσφόρου και καλίου παρέχονται στα φυτά από τα υγρά αστικά απόβλητα. Επίσης, χρήσιμα ιχνοστοιχεία που περιέχονται στα υγρά αστικά απόβλητα έχουν επιπρόσθετα οφέλη στην παραγωγή.

Όσον αφορά την επίδραση των υγρών αποβλήτων στις ιδιότητες του εδάφους οι απόψεις διίστανται. Οι Mathers et al. (1977), Mathers and Stewart (1980), Clanton and Slack (1987), Papadopoulos (1995β) διαπίστωσαν βελτίωση των φυσικών και υδραυλικών ιδιοτήτων του εδάφους. Αντίθετα, οι Barrington and Jutras (1983) διαπίστωσαν χειροτέρευση των υδραυλικών ιδιοτήτων του εδάφους. Όσο παράξενο και αν φαίνεται, μπορεί και οι δύο διαπιστώσεις να είναι σωστές ανάλογα με τα ποιοτικά χαρακτηριστικά των υγρών αποβλήτων, το είδος του εδάφους στο οποίο εφαρμόζονται, το χρονικό διάστημα που μεσολαβεί από την εφαρμογή των υγρών αποβλήτων στο έδαφος καθώς και τις λοιπές καλλιεργητικές πρακτικές.

3.2 Διεθνής εμπειρία

Η πρώτη χρήση υγρών αποβλήτων για άρδευση έχει τις ρίζες της στην Ελλάδα και ιδιαίτερα στο Μινωικό πολιτισμό (F.A.O. 1991, Angelakis and Spyridakis 1996). Η πρακτική αυτή βρήκε επίσης εφαρμογή για αιώνες στην Κίνα. Συστηματική όμως χρήση υγρών αστικών αποβλήτων στη γεωργία έγινε το 16ο αιώνα σε αγροκτήματα της Γερμανίας και το 19ο αιώνα σε αγροκτήματα της Αγγλίας (F.A.O. 1991, Metcalf and Eddy 1991). Στις Η.Π.Α., η πρακτική χρήσης ανεπεξέργαστων υγρών αποβλήτων στη γεωργία εγκαταλείφθηκε στις αρχές του 20ου αιώνα. Συγκεκριμένα, από το 1930 και μετά χρειαζόταν μία ελάχιστη πρωτοβάθμια επεξεργασία για τη χρήση των υγρών αποβλήτων στην άρδευση των καλλιεργειών (Ali, 1987). Η εποχή της ευρείας επεξεργασίας και χρήσης των υγρών αποβλήτων άρχισε τη δεκαετία του 1960 (Asano and Levine, 1995).

Είναι γεγονός ότι οι άνθρωποι δε νοιώθουν άνετα στην ιδέα χρήσης των υγρών αποβλήτων για αρδευτικούς σκοπούς, αν και είναι γνωστό ότι τα νερά πολλών υδάτινων πηγών που χρησιμοποιούνται για άρδευση περιέχουν σημαντικές ποσότητες υγρών αποβλήτων (ποταμοί Ρήνος, Τάμεσης κλπ).

Σε αρκετές χώρες τα υγρά αστικά απόβλητα παίζουν σημαντικό ρόλο στο σχεδιασμό αξιοποίησης των υδατικών πόρων, γεγονός που συμβάλλει στην προστασία του περιβάλλοντος και στην εξοικονόμηση αντίστοιχων ποσοτήτων φρέσκου νερού για άλλες χρήσεις.

Στις **Η.Π.Α.**, τα έργα ανάκτησης και επαναχρησιμοποίησης υγρών αποβλήτων αυξήθηκαν από 540 το 1979 σε 1900 το 1992 (Αγγελάκης και Tsobanoglous, 1995). Στην **Καλιφόρνια**, η χρήση των υγρών αποβλήτων για αρδευτικούς σκοπούς άρχισε από τις αρχές του 1980, εποχή κατά την οποία γινόταν επαναχρησιμοποίηση ανεπεξέργαστων υγρών αποβλήτων σε μεμονωμένα αγροκτήματα. Το ποσοστό των επεξεργασμένων υγρών αστικών αποβλήτων που χρησιμοποιούνταν για άρδευση γεωργικών και αστικών εκτάσεων κατά το 1990, ξεπερνούσε το 78 %, με αντίστοιχη εξοικονόμηση ποσοτήτων φρέσκου νερού.

Στο **Ισραήλ** η επεξεργασία των υγρών αποβλήτων αποσκοπεί στην προστασία του περιβάλλοντος και στην εξοικονόμηση σημαντικών ποσοτήτων φρέσκου νερού (Shelef, 1990, 1991). Οι εγκαταστάσεις ποικίλου βαθμού επεξεργασίας υγρών αποβλήτων είναι 577 και έχουν ετήσια παραγωγή 260 Mm^3 (Shelef and Azon, 1995). Το 72 % του όγκου αυτού χρησιμοποιείται για άρδευση, ενώ το 28 % εμπλουτίζει τους υπόγειους υδροφορείς. Η καλλιέργεια στην οποία διοχετεύεται το μεγαλύτερο μέρος των προς άρδευση υγρών αποβλήτων είναι το βαμβάκι. Ακολουθούν οι δενδρώδεις καλλιέργειες και τα λαχανικά.

Στη **Γαλλία** η χρήση των υγρών αποβλήτων για άρδευση ήταν παραδοσιακή πρακτική. Τα τελευταία χρόνια τα υγρά απόβλητα χρησιμοποιούνται κυρίως στην άρδευση γηπέδων golf, εκτάσεων πρασίνου σε τουριστικές περιοχές και ημιβιομηχανικών φυτών μεγάλων απαιτήσεων σε νερό, όπως είναι το καλαμπόκι. Οι γαλλικές οδηγίες χρήσης των υγρών αποβλήτων για άρδευση (Ministere Charge de la Sante, 1991) μοιάζουν αρκετά με τις οδηγίες του Παγκόσμιου Οργανισμού Υγείας (W.H.O., 1989), αλλά συνιστούν επιπλέον και μέτρα διαχείρισης των υγρών αποβλήτων. Γενικά στη Γαλλία, η χρήση των επεξεργασμένων υγρών αστικών αποβλήτων είναι περιορισμένη στη γεωργία, ενώ και η χρήση του χλωρίου ως απολυμαντικού προβληματίζει έντονα τους επιστήμονες.

Η **Κύπρος** αντιμετωπίζει δύο σημαντικά προβλήματα, την έλλειψη νερού λόγω ανεπαρκών βροχοπτώσεων και την προστασία των ακτών της από τα νερά των αποχετευτικών δικτύων. Η αξιοποίηση των υγρών αστικών αποβλήτων για αρδευτικούς σκοπούς συμβάλλει αποφασιστικά στην επίλυση των παραπάνω προβλημάτων. Λειτουργούν σύγχρονες εγκαταστάσεις καθαρισμού των υγρών

αποβλήτων στη Λεμεσό, Λάρνακα, Αγία Νάπα – Παραλίμνη. Οι συνολικές ποσότητες των αποβλήτων ανέρχονται σε 25 Mm³/έτος. Οι οδηγίες χρήσης για αρδευτικούς σκοπούς συντάχθηκαν το 1989 (Kypris, 1989) και είναι αυστηρότερες από τις αντίστοιχες του Παγκόσμιου Οργανισμού Υγείας (W.H.O., 1989).

Στην **Τυνησία** η επαναχρησιμοποίηση των υγρών αστικών αποβλήτων στη γεωργία είναι μία πρακτική που εφαρμόζεται εδώ και αρκετές δεκαετίες ενώ σήμερα αποτελεί ένα ολοκληρωμένο τμήμα του σχεδίου αξιοποίησης των εθνικών πόρων νερού της χώρας αυτής. Το ποσό των διαθέσιμων επεξεργασμένων υγρών αστικών αποβλήτων το έτος 2000 προβλεπόταν να ξεπεράσει τα 125 Mm³ (Bahri, 1988). Κατά το έτος 1988 υπήρχαν 26 εγκαταστάσεις επεξεργασίας υγρών αποβλήτων, ενώ ως το 1996 προβλεπόταν να υπάρχουν 54 τέτοιες εγκαταστάσεις. Η χρήση των επεξεργασμένων υγρών αποβλήτων στην Τυνησία είναι εποχιακή (άνοιξη, καλοκαίρι) και τα υγρά απόβλητα συχνά αναμειγνύονται με τα υπόγεια νερά πριν χρησιμοποιηθούν στην άρδευση εσπεριδοειδών, ελαιώνων, βαμβακιού και φυτών που προορίζονται για ζωοτροφές και κάλυψη χώρων πρασίνου σε ξενοδοχειακές εγκαταστάσεις. Η άρδευση λαχανικών με επεξεργασμένα υγρά αστικά απόβλητα απαγορεύεται. Με την εκτέλεση και τη σχεδίαση νέων εγκαταστάσεων επεξεργασίας υγρών αστικών αποβλήτων η συνολική έκταση που αρδεύεται με αυτά θα ανέλθει σε 67.000 στρέμματα, αξιοποιώντας το 95 % των αποβλήτων για αρδευτικούς σκοπούς (Stauss and Blumenthal, 1989β).

Στο **Κουβέιτ**, ανεπεξέργαστα υγρά αστικά απόβλητα χρησιμοποιούνται για πολλά χρόνια στην άρδευση δασικών εκτάσεων μακριά από κατοικημένες περιοχές. Επεξεργασμένα υγρά αστικά απόβλητα της πόλης Giwan, που δέχονται δευτεροβάθμια επεξεργασία, χρησιμοποιήθηκαν για άρδευση σε πειραματικούς αγρούς από το 1956. Από το 1987 λειτουργούν τέσσερις εγκαταστάσεις επεξεργασίας υγρών αποβλήτων με συνολικό όγκο επεξεργασμένων αποβλήτων 321.000 m³/ημέρα (Pescod, 1992).

Στο **Μεξικό** η χρήση ανεπεξέργαστων υγρών αποβλήτων για άρδευση άρχισε το 1886 στην κοιλάδα Mezquital της λεκάνης του ποταμού Tula (Sanchez Duron, 1988). Ωστόσο, μόνο μετά το 1945 το Υπουργείο Γεωργίας και Υδατικών Πόρων έθεσε τους όρους για τη διανομή των υγρών αποβλήτων και τη χρήση τους στην άρδευση των καλλιεργειών στην παραπάνω κοιλάδα, όπου η άρδευση

είναι πολύ σημαντική εξαιτίας των περιορισμένων βροχοπτώσεων. Ένα μεγάλο δίκτυο καναλιών δίνει τη δυνατότητα στους αγρότες να αρδεύουν 430.000 στρέμματα (ενώ υπάρχει δυνατότητα άρδευσης 480.000 στρεμμάτων) και επιτρέπει την εντατική καλλιέργεια σε όλη τη διάρκεια του χρόνου. Η ετήσια ροή υγρών αποβλήτων, με μέση παροχή $55 \text{ m}^3/\text{s}$, μπορεί να καλύψει πλήρως τις ανάγκες σε αρδευτικό νερό της περιοχής στην οποία καλλιεργούνται μηδική, καλαμπόκι, σιτάρι, βρώμη, κριθάρι, φασόλια, ντομάτες και πιπεριές (Sanchez Duron 1988, Strauss and Blumenthal 1989β). Έξι αρδευτικές περιφέρειες άρχισαν πρόσφατα να χρησιμοποιούν υγρά αστικά απόβλητα και η κυβέρνηση έχει κάνει σχέδια για άλλες έντεκα περιφέρειες. Στις έξι περιφέρειες, όπου χρησιμοποιούνται ήδη τα παραγόμενα υγρά απόβλητα, αρδεύονται 829.000 στρέμματα, ενώ η διαθέσιμη παροχή υγρών αποβλήτων μπορεί να αρδεύσει 1.336.000 στρέμματα. Με την αξιοποίηση των υγρών αστικών αποβλήτων και στις περιφέρειες όπου τέτοια συστήματα είναι σε ανάπτυξη είναι δυνατό να αρδεύονται 11.663.000 στρέμματα (Strauss and Blumenthal, 1989β).

Στην **Ελλάδα**, άμεση χρήση υγρών αποβλήτων δε γίνεται παρά μόνο για πειραματικούς σκοπούς. Η έμμεση όμως χρήση μέσω των νερών των ποταμών και των λιμνών που αποτελούν αποδέκτες αποβλήτων είναι σύνηθες φαινόμενο. Στο χάρτη του **Σχήματος 3.1** φαίνονται οι θέσεις των υπαρχόντων εγκαταστάσεων καθαρισμού στη χώρα μας.



Σχήμα 3.1. Τοποθεσίες εγκαταστάσεων επεξεργασίας υγρών αποβλήτων (Parissopoulos et al., 1995).

3.3 Μέθοδοι επεξεργασίας

Τα αστικά ή βιομηχανικά υγρά απόβλητα πριν από τη διάθεσή τους πρέπει να υποστούν κάποια επεξεργασία για να αποφευχθούν πιθανοί κίνδυνοι για το περιβάλλον και την υγεία των ανθρώπων. Η επεξεργασία των υγρών αποβλήτων περιλαμβάνει φυσικές, χημικές και βιολογικές διεργασίες με σκοπό τη μείωση του οργανικού φορτίου, των αιωρούμενων στερεών και των παθογόνων μικροοργανισμών. Ο επιθυμητός βαθμός επεξεργασίας εξαρτάται από τον τελικό χρήστη ή αποδέκτη των επεξεργασμένων υγρών αποβλήτων. Η βέλτιστη εγκατάσταση επεξεργασίας υγρών αποβλήτων είναι αυτή που παράγει την επιθυμητή ποιότητα νερού, με λογικό κόστος κατασκευής, λειτουργίας και συντήρησης.

Η μείωση του οργανικού φορτίου, το οποίο συχνά εκφράζεται με την τιμή της βιοχημικής απαίτησης οξυγόνου (BOD), των αιωρούμενων στερεών (SS) και των παθογόνων μικροοργανισμών αποτελούν τα βασικά κριτήρια επιλογής του κατάλληλου συστήματος επεξεργασίας των υγρών αστικών αποβλήτων προκειμένου να χρησιμοποιηθούν για αρδευτικούς σκοπούς ή να αποβληθούν σε υδάτινους αποδέκτες ελαχιστοποιώντας τη ρύπανση ή μόλυνση του περιβάλλοντος. Είναι γενικά αποδεκτό ότι η συμβατική πρωτοβάθμια και δευτεροβάθμια επεξεργασία είναι αποτελεσματικές ως προς τη μείωση του οργανικού φορτίου και την απομάκρυνση των αιωρούμενων στερεών, ενώ δεν είναι ιδιαίτερα αποτελεσματικές ως προς την απομάκρυνση των παθογόνων μικροοργανισμών. Αντίθετα, η παραμονή/επεξεργασία σε δεξαμενές σταθεροποίησης, όπου φύκια, βακτήρια και ηλιακό φως εξυγιαίνουν με φυσικό τρόπο τα υγρά απόβλητα, είναι περισσότερο αποτελεσματική ως προς την απομάκρυνση των παθογόνων μικροοργανισμών, ενώ μειώνει δραστικά και το οργανικό φορτίο και τα αιωρούμενα στερεά, εφόσον το σύστημα είναι σχεδιασμένο σωστά. Στη συνέχεια ακολουθεί μία σύντομη περιγραφή των διαφόρων μεθόδων επεξεργασίας των υγρών αστικών αποβλήτων.

3.3.1 Συμβατική επεξεργασία

Η συμβατική επεξεργασία (conventional process) περιλαμβάνει φυσικές και βιολογικές διεργασίες με ταυτόχρονη προσθήκη ενέργειας και χημικών ουσιών, με σκοπό την απομάκρυνση των στερεών και του οργανικού φορτίου των υγρών αποβλήτων. Κατά κανόνα η επεξεργασία γίνεται σε επιλεγμένες τοποθεσίες κοντά στα αστικά κέντρα τα οποία εξυπηρετεί. Οι μονάδες επεξεργασίας αυτού του τύπου καταλαμβάνουν περιορισμένη έκταση σε σχέση με τον όγκο των υγρών αποβλήτων που επεξεργάζονται και μπορεί να περιλαμβάνουν το σύνολο ή ορισμένα από τα παρακάτω στάδια:

- α) προκαταρκτική επεξεργασία (preliminary treatment ή pretreatment)
- β) πρωτοβάθμια επεξεργασία (primary treatment)
- γ) δευτεροβάθμια επεξεργασία (secondary treatment)
- δ) τριτοβάθμια ή προχωρημένη επεξεργασία (tertiary treatment)
- ε) απολύμανση (disinfection)
- ζ) αποθήκευση (effluent storage)

Προκαταρκτική επεξεργασία. Περιλαμβάνει διεργασίες απομάκρυνσης των χονδρόκοκκων στερεών και άλλων υλικών μεγάλου μεγέθους που συνήθως βρίσκονται στα υγρά απόβλητα. Η απομάκρυνση αυτή είναι απαραίτητη για τη βελτίωση των υπόλοιπων διεργασιών και περιλαμβάνει εσχάρωση και απλή καθίζηση.

Πρωτοβάθμια επεξεργασία. Συνίσταται στην απομάκρυνση των καθιζανόντων οργανικών και ανόργανων στερεών με κάποια διαδικασία καθίζησης καθώς και στην απομάκρυνση των επιπλεόντων συστατικών με ξάφρισμα των υγρών αποβλήτων. Περίπου το 25 με 50 % της αρχικής βιοχημικής απαίτησης οξυγόνου, το 35 με 50 % της χημικής απαίτησης οξυγόνου (COD), το 50 με 70 % των ολικών αιωρούμενων στερεών και το 65 % των ελαίων και λιπών, απομακρύνονται κατά την πρωτοβάθμια επεξεργασία, ενώ μένουν ανέπαφα τα διαλυμένα στερεά και κολλοειδή. Επίσης, ένα μέρος του οργανικού αζώτου, του οργανικού φωσφόρου και των βαρέων μετάλλων, τα οποία είναι κατά κάποιο τρόπο συνδεδεμένα με τα αιωρούμενα στερεά,

απομακρύνονται από τα υγρά απόβλητα κατά τη διαδικασία της πρωτοβάθμιας καθίζησης.

Δευτεροβάθμια επεξεργασία. Η δευτεροβάθμια επεξεργασία εφαρμόζεται με σκοπό την περαιτέρω βελτίωση των χαρακτηριστικών του νερού που εκβάλλει από την πρωτοβάθμια επεξεργασία, μειώνοντας ακόμη περισσότερο το οργανικό φορτίο και τα αιωρούμενα στερεά. Στις περισσότερες περιπτώσεις η δευτεροβάθμια επεξεργασία ακολουθεί την πρωτοβάθμια και περιλαμβάνει την απομάκρυνση της βιοδιασπώμενης, διαλυμένης και κολλοειδούς οργανικής ύλης με τη χρήση αερόβιων μικροοργανισμών. Στο τέλος αυτής της διαδικασίας οι μικροοργανισμοί διαχωρίζονται από τα επεξεργασμένα υγρά απόβλητα με δευτεροβάθμια καθίζηση.

Οι διαδικασίες αυτές ονομάζονται και διαδικασίες υψηλού ρυθμού. Οι πιο συνηθισμένες υψηλού ρυθμού βιολογικές διαδικασίες είναι αυτές που γίνονται με την ενεργό ιλύ, τα σταλάζοντα φίλτρα ή βιοφίλτρα και με τις περιστρεφόμενες βιολογικές επιφάνειες.

Τριτοβάθμια ή προχωρημένη επεξεργασία. Η τριτοβάθμια ή προχωρημένη επεξεργασία των υγρών αποβλήτων εφαρμόζεται για την απομάκρυνση συγκεκριμένων συστατικών που δεν μπορούν να απομακρυνθούν με τις συνήθεις διαδικασίες επεξεργασίας, όπως: **α)** άζωτο και φώσφορος, **β)** μη διασπώμενες οργανικές ουσίες, **γ)** απολυμαντικά, απορρυπαντικά, αποσκληρυντικά νερού, **δ)** βαρέα μέταλλα, **ε)** διαλυμένα στερεά, αλλά επίσης και για περαιτέρω μείωση του οργανικού φορτίου και των αιωρούμενων στερεών.

Πρέπει να τονισθεί ότι το άζωτο και ο φώσφορος απομακρύνονται για να μειωθούν οι κίνδυνοι ευτροφισμού στους υδάτινους αποδέκτες, όπου πιθανώς καταλήγουν τα υγρά απόβλητα, ενώ στην περίπτωση που αυτά χρησιμοποιούνται για αρδευτικούς σκοπούς η ύπαρξη αυτών των στοιχείων, αποτελεί κατά κανόνα πλεονέκτημα.

Απολύμανση. Η απολύμανση είναι συνήθως το τελευταίο στάδιο της επεξεργασίας των υγρών αποβλήτων και το μοναδικό με αποκλειστικό σκοπό την καταστροφή των παθογόνων μικροοργανισμών, αν και μερική απομάκρυνση ή καταστροφή τους γίνεται και στα άλλα στάδια επεξεργασίας. Η απολύμανση μπορεί να γίνει με διάφορες μεθόδους, όπως με έγχυση αερίου χλωρίου, υποχλωριώδους νατρίου (ή ασβεστίου), όζοντος, ή με χρήση υπεριώδους ακτινοβολίας. Επειδή η χρήση του χλωρίου δημιουργεί ανησυχίες που

σχετίζονται με το περιβάλλον και την υγεία των ανθρώπων, οι υπόλοιποι τρόποι απολύμανσης αρχίζουν να συγκεντρώνουν το ενδιαφέρον των ερευνητών, χωρίς όμως να βρίσκουν μέχρι στιγμής μεγάλη εφαρμογή στην πράξη.

Αποθήκευση. Η αποθήκευση των επεξεργασμένων υγρών αποβλήτων παρόλο που δεν θεωρείται ως στάδιο επεξεργασίας, αποτελεί ένα σημαντικό ενδιάμεσο στάδιο μεταξύ της εγκατάστασης επεξεργασίας των υγρών αποβλήτων και της χρήσης τους για αρδευτικούς σκοπούς (Asano και Tsobanoglous, 1987). Η αποθήκευση των επεξεργασμένων υγρών αποβλήτων είναι σημαντική για τους εξής λόγους:

- α) Επιτυγχάνεται εξισορρόπηση στη διακύμανση της ροής κατά τη διάρκεια της ημέρας, ενώ δίνεται η δυνατότητα αποθήκευσης του νερού όταν η ζήτηση είναι μειωμένη, όπως κατά την περίοδο του χειμώνα.
- β) Ικανοποιούνται οι ανάγκες άρδευσης κατά την περίοδο αιχμής, όταν η ζήτηση ξεπερνά τη μέση παραγόμενη παροχή αποβλήτων από τη μονάδα επεξεργασίας.
- γ) Μειώνονται τα προβλήματα που προκύπτουν από τις δυσλειτουργίες της μονάδας επεξεργασίας των υγρών αποβλήτων καθώς και από πιθανή αδυναμία να χρησιμοποιηθεί το νερό στην άρδευση (βλάβη δικτύου κλπ). Με την αποθήκευση και ανάμειξη του νερού για μεγάλο χρονικό διάστημα, ανάλογα με την αποθηκευτικότητα της δεξαμενής, αποφεύγεται η παροχέτευση μη κατάλληλου ποιοτικά νερού στο δίκτυο άρδευσης.
- δ) Επιτυγχάνεται μία επιπλέον επεξεργασία των υγρών αποβλήτων καθώς η βιοχημική απαίτηση οξυγόνου, τα αιωρούμενα στερεά, το άζωτο και οι παθογόνοι μικροοργανισμοί μειώνονται κατά το χρόνο αποθήκευσης των επεξεργασμένων υγρών αποβλήτων.

3.3.2 Σύγκριση συστημάτων επεξεργασίας

Είναι προφανές ότι κατά την επιλογή του συστήματος επεξεργασίας πρέπει να λαμβάνεται μέριμνα για τη μικρότερη δυνατή επιβάρυνση του περιβάλλοντος, την ασφαλέστερη χρήση των αποβλήτων, τόσο κατά την επεξεργασία όσο και κατά την επαναχρησιμοποίησή τους και την οικονομικότητα του συστήματος.

3.4 Ποιοτικά χαρακτηριστικά

Τα υγρά αστικά απόβλητα αποτελούνται κατά 99,9 % από νερό με σχετικά μικρές περιεκτικότητες αιωρούμενων και διαλυτών οργανικών και ανόργανων στερεών. Μεταξύ των οργανικών υλικών συμπεριλαμβάνονται υδρογονάνθρακες, λιγνίνες, λίπη, εστέρες, απορρυπαντικά, πρωτεΐνες, προϊόντα αποσύνθεσής τους και σε κάποιες περιπτώσεις ποικίλα φυσικά και συνθετικά οργανικά και ανόργανα προϊόντα βιοτεχνικής δραστηριότητας. Όσον αφορά στις διάφορες ανόργανες ουσίες των αποβλήτων δεν αποκλείεται η παρουσία τοξικών στοιχείων, όπως αρσενικό, κάδμιο, χρώμιο, χαλκός, μόλυβδος, υδράργυρος, ψευδάργυρος κλπ. Η παρουσία και η συγκέντρωση των στοιχείων αυτών πρέπει να ερευνάται με ιδιαίτερη προσοχή, για να αποφεύγεται η δημιουργία προβλημάτων στα φυτά και τους ανθρώπους όταν τα απόβλητα επαναχρησιμοποιούνται για άρδευση. Τα συστατικά των αποβλήτων που πρέπει να εξετάζονται, όταν αυτά πρόκειται να επαναχρησιμοποιηθούν για αρδευτικούς σκοπούς, δίνονται στον **Πίνακα 3.1**.

Επίσης, στα απόβλητα υπάρχουν και άλλες ενώσεις, οργανικές και ανόργανες, οι οποίες παράγονται κυρίως ως αποτέλεσμα βιομηχανικών διεργασιών και πιθανώς εκβάλλονται ως βιομηχανικά απόβλητα στα αποχετευτικά δίκτυα των οικισμών. Τέτοιες ενώσεις, οργανικές, μπορεί να είναι χλωριωμένες παραφίνες, χλωριωμένες φαινόλες, εντομοκτόνα και ζιζανιοκτόνα. Ανόργανες ουσίες που προκαλούν μεγάλα προβλήματα, εκτός των βαρέων μετάλλων τα οποία έχουν ήδη αναφερθεί, είναι τα νιτρικά.

Γενικά, δεν υπάρχουν σαφείς πληροφορίες σχετικά με τη μεταλλαξιογόνο (καρκινογόνο) δράση αρκετών γνωστών ή ύποπτων οργανικών ενώσεων. Υπάρχουν όμως βάσιμες υπόνοιες ότι η πιθανή συσσώρευσή τους στους φυτικούς ιστούς μπορεί να δημιουργήσει προβλήματα τόσο στον άνθρωπο όσο και στα ζώα και για το λόγο αυτό ο έλεγχός τους τυγχάνει ιδιαίτερης προσοχής από τον Παγκόσμιο Οργανισμό Υγείας. Ο κίνδυνος που σχετίζεται με τις ενώσεις αυτές έχει να κάνει περισσότερο με την ανεξέλεγκτη (μη ορθολογική) χρήση των ουσιών αυτών σε αρδευόμενες περιοχές, παρά με τη χρήση αποβλήτων στην άρδευση των καλλιεργειών (Hillman, 1988).

Στον **Πίνακα 3.2** παρουσιάζονται τα τυπικά επίπεδα συγκεντρώσεων των σημαντικότερων συστατικών των ανεπεξέργαστων υγρών αστικών αποβλήτων

με ισχυρή, μέτρια και ασθενή σύνθεση. Στις ξηρές και ημίξηρες περιοχές, η κατανάλωση νερού είναι συνήθως περιορισμένη και τα υγρά αστικά απόβλητα τείνουν να έχουν μεγάλες συγκεντρώσεις συστατικών (εξαιτίας της μικρής αραίωσης), όπως για παράδειγμα στο Αμάν της Ιορδανίας.

Από την πλευρά της υγιεινής, σε σχέση με τη χρήση των υγρών αστικών αποβλήτων για αρδευτικούς σκοπούς, οι πιο σημαντικοί παράγοντες μόλυνσης είναι οι παθογόνοι μικρο- και μακρο- οργανισμοί. Παθογόνοι ιοί, βακτήρια, πρωτόζωα και έλμινθες μπορεί να υπάρχουν στα ακατέργαστα υγρά αστικά απόβλητα.

Πίνακας 3.1. Συστατικά των υγρών αστικών αποβλήτων, που πρέπει να ελέγχονται προκειμένου να χρησιμοποιηθούν για αρδευτικούς σκοπούς.

Συστατικά	Μετρούμενες παράμετροι	Αιτία ελέγχου
Αιωρούμενα στερεά	Αιωρούμενα στερεά που περιλαμβάνουν ασταθείς και σταθερές ενώσεις.	Τα αιωρούμενα στερεά μπορεί να οδηγήσουν στη δημιουργία λασποδών ιζημάτων και αναερόβιων συνθηκών, όταν ανεπεξέργαστα υγρά απόβλητα εκβάλλουν σε υδάτινο περιβάλλον. Υπερβολική ποσότητα αιωρούμενων στερεών μπορεί να δημιουργήσει προβλήματα εμφράξεων σε συστήματα άρδευσης.
Βιοδιασπώμενη οργανική ύλη	Βιοχημική (BOD) και χημική (COD) απαίτηση οξυγόνου.	Συνίσταται κυρίως από πρωτεΐνες, υδρογονάνθρακες και λίπη. Όταν αποβάλλονται σε φυσικά συστήματα, η βιολογική τους αποσύνθεση μπορεί να οδηγήσει σε έλκεισμα διαλυμένου οξυγόνου στους υδάτινους αποδέκτες και στην ανάπτυξη σηπτικών συνθηκών.
Παθογόνοι μικροοργανισμοί	Ενδεικτικοί μικροοργανισμοί, ολικά και εντερικής προέλευσης κο-λοβακτηρίδια.	Μπορεί να μεταδοθούν ασθένειες από βακτήρια, ιούς και παράσιτα των αποβλήτων.
Θρεπτικά στοιχεία	Άζωτο, φώσφορος, κάλιο.	Το άζωτο, ο φώσφορος και το κάλιο είναι ουσιώδη θρεπτικά στοιχεία για την ανάπτυξη των φυτών και η παρουσία τους κατά κανόνα επαυξάνει την αξία του νερού. Όταν εκβάλλουν σε υδάτινο περιβάλλον, το άζωτο και ο φώσφορος μπορεί να προκαλέσουν ανάπτυξη ανεπιθύμητης δραστηριότητας (υδροχαρής βλάστηση, ευτροφισμός). Όταν αποβάλλονται σε μεγάλες ποσότητες στο έδαφος, το άζωτο μπορεί να προκαλέσει ρύπανση των υπόγειων υδροφορέων.
Σταθερά οργανικά	Επιλεγμένες ενώσεις (π.χ. φαινόλες, εντομοκτόνα, χλωριωμένοι υδρογονάνθρακες).	Αυτά τα οργανικά τείνουν να αντιστέκονται στις συμβατικές μεθόδους επεξεργασίας των αποβλήτων. Μερικές οργανικές ενώσεις είναι τοξικές στο περιβάλλον και η παρουσία τους μπορεί να καταστήσει τα απόβλητα ακατάλληλα για άρδευση.

Συνέχεια του Πίνακα 3.1.		
Συστατικά	Μετρούμενες παράμετροι	Αιτία ελέγχου
Συγκέντρωση ιόντων υδρογόνου	pH	Το pH των αποβλήτων επηρεάζει τη διαλυτότητα των μετάλλων όπως επίσης και τη νατρίωση των εδαφών. Το συνηθισμένο εύρος pH σε υγρά αστικά απόβλητα είναι 6.5 – 8.5, αλλά οι βιομηχανικές εκροές μπορεί να μεταβάλλουν το pH σημαντικά.
Βαρέα μέταλλα	Επιλεγμένα στοιχεία (π.χ. Cd, Zn, Ni, Hg).	Κάποια από τα βαρέα μέταλλα συσσωρεύονται στο περιβάλλον και ασκούν τοξική δράση στα φυτά και στα ζώα. Η παρουσία τους σε ορισμένες συγκεντρώσεις μπορεί να καταστήσει τα απόβλητα ακατάλληλα για άρδευση.
Διαλυμένα ανόργανα	Ολικά διαλυμένα στερεά, ηλεκτρική αγωγιμότητα, επιλεγμένα στοιχεία (π.χ. Na, Ca, Mg, Cl, B).	Υπερβολική αλατότητα μπορεί να προξενήσει ζημιές σε κάποιες καλλιέργειες. Ορισμένα ιόντα, όπως το χλώριο, το νάτριο και το βόριο, δρουν τοξικά σε κάποια φυτά. Το νάτριο μπορεί να δημιουργήσει και προβλήματα περατότητας στο έδαφος.
Υπολειμματικό χλώριο	Ελεύθερο και δεσμευμένο χλώριο.	Υπερβολική ποσότητα ελεύθερου χλωρίου (>0.05mg/l Cl ₂) μπορεί να προκαλέσει εγκαύματα στα φύλλα και γενικά να προξενήσει ζημιές σε ορισμένες καλλιέργειες. Ωστόσο, το μεγαλύτερο μέρος του χλωρίου σε ανακυκλωμένα απόβλητα βρίσκεται υπό μορφή ενώσεων, που γενικά δεν προκαλούν ζημιές στα φυτά. Προσοχή πρέπει να δίνεται στην πιθανότητα μόλυνσης των υπόγειων υδροφορέων με τις ιδιαίτερα τοξικές οργανοχλωριωμένες ενώσεις.

Πηγή: Asano et al. (1985).

Πίνακας 3.2. Τυπική σύσταση ανεπεξέργαστων υγρών αστικών αποβλήτων.

Συστατικά	Όρια συγκέντρωσης ^α			Μέσες τιμές Η.Π.Α.
	Μεγάλη	Μέση	Μικρή	
Ολικά στερεά	1200	720	350	-
Λιαλυμένα ^β (TDS)	850	500	250	-
Αιωρούμενα (SS)	350	220	100	192.0
Καθιζάνοντα στερεά, ml/l	20	10	5	-
Βιοχημική απαίτηση οξυγόνου, (BOD ₅ , 20°C)	400	220	110	181.0
Ολικός οργανικός άνθρακας (TOC)	290	160	80	102.0
Χημική απαίτηση οξυγόνου (COD)	1000	500	250	417.0
Άζωτο ολικό (ως N)	85	40	20	34.0
Ορν. - N	35	15	8	13.0
NH ₄ - N	50	25	12	20.0
NO ₂ - N	0	0	0	-
NO ₃ - N	0	0	0	0.6
Φώσφορος ολικός (ως P)	15	8	4	9.4
Οργανικός	5	3	1	2.6
Ανόργανος	10	5	3	6.8
Χλωρίοντα ^β	100	50	30	-
Βόριο				0.7-1.7 ^γ
Διαλυτό Na (%)				50-70 ^γ
EC (dS/m)				2.0-3.0 ^γ
SAR (me/l) ^{1/2}				3.0-9.0 ^γ
Σκληρότητα (CaCO ₃)				200-300 ^γ
Αλκαλικότητα (ως CaCO ₃) ^β	200	100	50	211
Λίπη - Έλαια	150	100	50	-
Ολικά κολοβακτηρίδια, MPN/100ml	-	-	-	22·10 ⁶
Κολοβακτηρίδια εντερικής προέλευσης, MPN/100ml	-	-	-	8·10 ⁶
Ιοί, PFU/100ml ^δ	-	-	-	3.6

Πηγή: Asano et al. (1985), U.N.D.T.C.D. (1985), Asano (1994β).

α. Όλες οι τιμές εκφράζονται σε mg/l, εκτός αν αναφέρεται διαφορετικά.

β. Οι τιμές πρέπει να αυξάνονται κατά ένα ποσό σε οικιακά απόβλητα.

γ. Από επιλεγμένες μονάδες επεξεργασίας αστικών αποβλήτων στην Καλιφόρνια.

δ. Plaque – forming units.

3.5 Καταλληλότητα για άρδευση

Η απάντηση που δίνεται σε κάθε ενδιαφερόμενο σχετικά με τη δυνατότητα χρησιμοποίησης των επεξεργασμένων υγρών αστικών αποβλήτων για αρδευτικούς σκοπούς είναι κατά κανόνα θετική. Υπάρχουν όμως ορισμένες βασικές προϋποθέσεις που πρέπει να τηρηθούν για να μην παρατηρηθούν δυσμενείς επιπτώσεις στο έδαφος, τα φυτά, το αρδευτικό σύστημα, τα ζώα και τον άνθρωπο.

3.5.1 Χημική ανάλυση

Κατά το σχεδιασμό της χρήσης των επεξεργασμένων υγρών αστικών αποβλήτων για αρδευτικούς σκοπούς, απαιτείται συστηματικό πρόγραμμα αναλύσεων προτού τα νερά αυτά χρησιμοποιηθούν για αρδεύσεις.

Κύριος στόχος των αναλύσεων των υγρών αποβλήτων που πρόκειται να χρησιμοποιηθούν για άρδευση είναι η απόκτηση πληροφοριών για πιθανά προβλήματα που μπορεί να δημιουργηθούν στα φυτά, το έδαφος, το σύστημα άρδευσης και τον άνθρωπο, καθώς και η γνώση της περιεκτικότητάς τους σε θρεπτικά στοιχεία. Οι εργαστηριακοί προσδιορισμοί που είναι απαραίτητοι για την αξιολόγηση του αρδευτικού νερού δίνονται στον **Πίνακα 3.3**. Στον ίδιο πίνακα δίνονται και οι συνήθεις συγκεντρώσεις των παραμέτρων αυτών στα νερά άρδευσης.

Τα δείγματα που λαμβάνονται για ποιοτικό έλεγχο πρέπει να είναι αντιπροσωπευτικά των υγρών αποβλήτων που θα χρησιμοποιηθούν για άρδευση. Δεν υπάρχουν αυστηροί κανόνες για τη θέση, το χρόνο και τον τρόπο λήψης τους.

Σε γενικές γραμμές απαιτείται κατάλληλος προγραμματισμός αναλύσεων ώστε να είναι δυνατή η παρακολούθηση/γνώση των διακυμάνσεων κάποιων ζωτικών ποιοτικών παραμέτρων των αποβλήτων, όπως της αγωγιμότητας και της περιεκτικότητας σε άζωτο.

Κάθε περίπτωση πρέπει να εξετάζεται χωριστά από ειδικούς επιστήμονες, οι οποίοι ανάλογα με τις διακυμάνσεις της παροχής και της ποιότητας των αποβλήτων, τις αρδευτικές και καλλιεργητικές πρακτικές, τους τοπικούς

πολιτισμικούς και κοινωνικούς παράγοντες, θα καθορίζουν το πρόγραμμα των δειγματοληψιών – αναλύσεων που θα εξασφαλίζει τους όρους για την ασφαλή και αποδεκτή χρήση των αποβλήτων στη γεωργία.

Πίνακας 3.3. Εργαστηριακοί προσδιορισμοί που είναι απαραίτητοι για την εκτίμηση της ποιότητας των αρδευτικών νερών.

Παράμετροι	Σύμβολο	Μονάδες	Σύνηθες εύρος συ- γκέντρωσης στο αρδευτικό νερό
Φυσικές Περιεχόμενα άλατα Ηλεκτρική αγωγιμότητα Ολικά διαλυμένα στερεά Θερμοκρασία Χρώμα - Θολότητα Σκληρότητα Ιζήματα	EC _w TDS Τα	dS/m mg/l °C NTU/JTU mg equiv. CaCO ₃ /l g/l	0 - 3 0 - 2000
Χημικές Κατιόντα και ανιόντα Ασβέστιο Μαγνήσιο Νάτριο Ανθρακικά Όξινα ανθρακικά Χλωριόντα Θειικά	Ca ⁺⁺ Mg ⁺⁺ Na ⁺ CO ₃ ⁼ HCO ₃ ⁻ Cl ⁻ SO ₄ ⁼	mg/l me/l mg/l me/l mg/l me/l mg/l me/l mg/l me/l	0 - 400 0 - 20 0 - 60 0 - 5 0 - 900 0 - 40 0 - 3 0 - 0.1 0 - 600 0 - 10 0 - 1100 0 - 30 0 - 1000 0 - 20
Διάφορα Βόριο Οξύτητα/Αλκαλικότητα Σχέση προσρόφησης νατρίου Τοξικά στοιχεία Ιχνοστοιχεία Νιτρικό άζωτο Φωσφορικός φώσφορος Κάλιο	B pH SAR ή adj. SAR NO ₃ -N PO ₄ -P K	mg/l (me/l) ^{0.5} mg/l mg/l mg/l	0 - 2 6.5 - 8.5 0 - 15 0 - 10 0 - 2 0 - 2

Πηγή: Ayers and Westcot (1985), Westcot and Ayers (1985), Kandiah (1990α).

3.5.2 Αξιολόγηση ποιοτικών χαρακτηριστικών

Οι διάφορες ποιοτικές ταξινομήσεις του αρδευτικού νερού (Πανώρας 1985, Μισοπολινός 1991, Μήτσιος 1994, Παπαζαφειρίου και Αντωνόπουλος 1991) βοηθούν σημαντικά στην αξιολόγηση της καταλληλότητας των επεξεργασμένων υγρών αστικών αποβλήτων για άρδευση. Πρέπει όμως να τονισθεί ότι οι ταξινομήσεις αυτές παρέχουν ενδεικτικές οδηγίες και η εφαρμογή τους πρέπει να προσαρμόζεται στις εκάστοτε συνθήκες που επικρατούν στο χώρο εφαρμογής των αρδεύσεων.

Όσον αφορά στην εκτίμηση της καταλληλότητας των επεξεργασμένων υγρών αστικών αποβλήτων για άρδευση καλλιεργειών, συνιστάται η χρήση της ποιοτικής κατάταξης των Ayers και Westcot (1985), που είναι η πλέον περιεκτική και πρόσφατη.

Στη συνέχεια ακολουθεί μία σύντομη ανάλυση των βασικών παραμέτρων που λαμβάνει υπόψη της η ποιοτική κατάταξη του νερού σύμφωνα με τους Ayers και Westcot (1985), όπως είναι η αλατότητα, η διηθητικότητα, τα ιχνοστοιχεία και η τοξικότητά τους.

3.5.2.1 Αλατότητα

Η αλατότητα αναφέρεται στην ποσότητα και το είδος των διαλυμένων αλάτων στο νερό άρδευσης. Κατά κανόνα εκτιμάται με τη μέτρηση της ηλεκτρικής αγωγιμότητας του νερού (EC_w) που γίνεται εύκολα με ειδικά όργανα, τόσο στο πεδίο όσο και στο εργαστήριο. Είναι μία από τις πιο σημαντικές παραμέτρους για την εκτίμηση της καταλληλότητας ενός νερού για άρδευση.

Τα επεξεργασμένα υγρά αστικά απόβλητα έχουν γενικά μεγαλύτερες τιμές αλατότητας από τα νερά των συμβατικών πηγών και υπάρχει αυξημένη πιθανότητα να δημιουργηθούν προβλήματα στο έδαφος και τις καλλιέργειες κατά τη χρήση τους.

Τα άλατα συσσωρεύονται στο έδαφος με την εφαρμογή του αρδευτικού νερού και τα προβλήματα παρουσιάζονται όταν οι συγκεντρώσεις των αλάτων φθάσουν σε επίπεδα που είναι βλαπτικά για το έδαφος ή/και τα φυτά. Ο ρυθμός συσσώρευσης των αλάτων εξαρτάται από το ρυθμό απόθεσής τους στο έδαφος

με το αρδευτικό νερό και από το ρυθμό απομάκρυνσής τους με έκπλυση. Για μακρές χρονικές περιόδους, η ποσότητα των αλάτων που εισέρχεται στο έδαφος πρέπει να είναι ίση με την ποσότητα που απομακρύνεται. Η μόνη διαδικασία που μπορεί να διατηρήσει την αλατότητα του εδάφους στα επιθυμητά επίπεδα είναι η έκπλυση που επιτυγχάνεται με την εφαρμογή περισσότερου νερού από αυτό που μπορεί να συγκρατήσει το έδαφος και να καταναλώσουν τα φυτά. Για την εφαρμογή της έκπλυσης είναι απαραίτητη η καλή έως άριστη στράγγιση του εδάφους, έτσι ώστε να είναι δυνατή η συνεχής ροή του νερού από τη ζώνη του ριζοστρώματος προς τα κάτω.

Γενικά, πρέπει να υιοθετούνται κατάλληλες πρακτικές διαχείρισης των αποβλήτων για να αποφεύγεται ο κίνδυνος δημιουργίας αλατούχων εδαφών, ανεξάρτητα από την περιεκτικότητα των αποβλήτων σε άλατα. Η επιλογή καλλιεργειών ανθεκτικών στα άλατα, ο σωστός προγραμματισμός των αρδεύσεων (συχνότερες αρδεύσεις με μικρές αρδευτικές δόσεις), η αύξηση του κλάσματος έκπλυσης, η στράγγιση, η ανάμειξη με νερά μικρότερης ηλεκτρικής αγωγιμότητας, η άρδευση κατά τη διάρκεια της νύχτας, η αλλαγή μεθόδου άρδευσης και διάφορες καλλιεργητικές πρακτικές (όπως η ισοπέδωση των αγρών, η βαθιά άροση και η σωστή τοποθέτηση του σπόρου) είναι ορισμένες από τις σημαντικότερες πρακτικές που πρέπει να εφαρμόζονται όταν η άρδευση γίνεται με νερά υψηλής αλατότητας. Στην περίπτωση που χρησιμοποιούνται υγρά αστικά απόβλητα για την άρδευση των καλλιεργειών, οι παραπάνω πρακτικές αποκτούν μεγαλύτερη σημασία. Μία άλλη πρακτική ελαχιστοποίησης των πιθανών προβλημάτων συγκέντρωσης αλάτων στο έδαφος και διατήρησης της παραγωγικότητας του εδάφους όταν χρησιμοποιούνται επεξεργασμένα υγρά αστικά απόβλητα χαμηλής ποιότητας για άρδευση είναι η χρήση αυτών κατ'εναλλαγή με φρέσκο νερό και όχι με ανάμειξη. Σε σχέση με την αλατότητα, η εναλλαγή των νερών έχει καλύτερα αποτελέσματα από την ανάμειξή τους (Grattan and Rhoades 1990, Rhoades et al. 1992). Μειονέκτημα της πρακτικής αυτής είναι η απαίτηση για διπλό δίκτυο μεταφοράς των νερών. Καλλιέργειες ευαίσθητες στα άλατα, θα παρουσιάσουν δραστικές μειώσεις στην παραγωγή όταν αρδεύονται με νερά που έχουν ηλεκτρική αγωγιμότητα μεγαλύτερη από 3 dS/m, ακόμα και κάτω από άριστες συνθήκες διαχείρισης.

Σε περιοχές με ανεπαρκή στράγγιση, η υψηλή υπόγεια στάθμη μπορεί να αποτελέσει ένα επιπρόσθετο παράγοντα που συμβάλλει σημαντικά στη

συσσώρευση αλάτων στο έδαφος. Ο ρυθμός αλάτωσης του εδάφους εξαρτάται από τη μέθοδο άρδευσης, τη συγκέντρωση των αλάτων στο νερό, το βάθος της στάθμης, τον τύπο του εδάφους και το κλίμα. Η μακροχρόνια χρήση των αποβλήτων για άρδευση δεν είναι δυνατή χωρίς επαρκή στράγγιση. Σε πολλές περιοχές οι εδαφικές συνθήκες είναι τέτοιες, ώστε η άρδευση με σημαντικά περισσότερο νερό από αυτό που μπορεί να καταναλώσει η καλλιέργεια, προκαλεί άνοδο της υπόγειας στάθμης.

3.5.2.2 Διηθητικότητα

Τα άλατα του νατρίου στο αρδευτικό νερό, εκτός από τις άμεσες δυσμενείς επιδράσεις στα φυτά, μπορεί να επιδράσουν και στην εδαφική δομή μειώνοντας τόσο το ρυθμό με τον οποίο το νερό διεισδύει στο έδαφος όσο και τον αερισμό του εδάφους. Εάν η διηθητικότητα μειωθεί δραστικά, μπορεί να καταστεί αδύνατη η εφαρμογή της απαραίτητης ποσότητας νερού για την καλή ανάπτυξη των φυτών. Επακόλουθο της καταστροφής της εδαφικής δομής είναι το επιφανειακό λίμνασμα του νερού, η δημιουργία κρούστας, η υπερβολική ανάπτυξη ζιζανίων και η έλλειψη επαρκούς αερισμού του εδάφους. Η άρδευση με επεξεργασμένα υγρά αστικά απόβλητα εφαρμόζεται συχνά σε ήδη υποβαθμισμένα εδάφη, γεγονός που καθιστά το πρόβλημα ακόμη μεγαλύτερο.

Τα προβλήματα διηθητικότητας αφορούν συνήθως ένα μικρό βάθος του επιφανειακού εδάφους και σχετίζονται κυρίως με υψηλή περιεκτικότητα νατρίου ή πολύ χαμηλή περιεκτικότητα ασβεστίου στη ζώνη αυτή ή στο εφαρμοζόμενο νερό. Τα προβλήματα έλλειψης ασβεστίου δημιουργούνται από άρδευση με νερά πολύ μικρής αλατότητας, τα οποία διαλύουν και ξεπλένουν το ασβέστιο του εδάφους ή με νερά πολύ υψηλής περιεκτικότητας σε νάτριο, που προκαλούν μεγάλη συσσώρευση νατρίου στο έδαφος σε σχέση με το ασβέστιο.

Κατά κανόνα τα επεξεργασμένα υγρά αστικά απόβλητα περιέχουν πολλά άλατα και άφθονο ασβέστιο, οπότε δεν αναμένεται διαλυτοποίηση και έκπλυση του ασβεστίου του επιφανειακού εδάφους. Επειδή όμως τα νερά αυτά ενδέχεται να είναι πλούσια σε νάτριο, η πιθανή υψηλή τιμή του SAR πρέπει να λαμβάνεται σοβαρά υπόψη στα προγράμματα επαναχρησιμοποίησης υγρών αποβλήτων.

Η σχέση προσρόφησης νατρίου (SAR) εκφράζει τη δυνατότητα του νερού να εφοδιάζει την εναλλακτική φάση του εδάφους με ιόντα νατρίου, επηρεάζοντας με τον τρόπο αυτό τη διηθητικότητα του εδάφους.

3.5.2.3 Τοξικότητα ιόντων

Ορισμένα ιόντα που προσλαμβάνονται από τα φυτά, ακόμη και σε μικρές ποσότητες, ασκούν τοξική δράση σε αυτά με αποτέλεσμα την πρόκληση ζημιών στο φυτό και τη μείωση της παραγωγής. Τα προβλήματα τοξικότητας των ιόντων παρουσιάζονται συχνά μαζί με εκείνα της αλατότητας κάνοντάς τα πιο πολύπλοκα, παρόλο που μερικές φορές προβλήματα τοξικότητας εμφανίζονται και σε χαμηλές τιμές αλατότητας. Τα ιόντα στα οποία πρέπει να δίνεται ιδιαίτερη προσοχή κατά την άρδευση με υγρά απόβλητα είναι το βόριο, το νάτριο και το χλώριο.

Γενικά είναι δύσκολο να περιοριστεί η τοξική δράση ορισμένων ιόντων στις ευαίσθητες καλλιέργειες, χωρίς αλλαγή νερού άρδευσης, αρδευτικού συστήματος, καλλιέργειας ή συνδυασμό αυτών. Τα συμπτώματα εμφανίζονται σχεδόν σε όλες τις καλλιέργειες, όταν οι συγκεντρώσεις είναι αρκετά υψηλές, ενώ το πρόβλημα γίνεται εντονότερο στα θερμά κλίματα.

α) Βόριο

Η πιο συχνά εφαρμοζόμενη τοξικότητα από τη χρήση των υγρών αστικών αποβλήτων στη γεωργία προέρχεται από το βόριο (B). Πηγές βορίου είναι συνήθως τα οικιακά απορρυπαντικά και οι εκροές από βιομηχανίες. Γενικά, συγκεντρώσεις βορίου μεγαλύτερες από 3 ppm επηρεάζουν τις περισσότερες καλλιέργειες.

β) Χλώριο

Στα ευαίσθητα φυτά τα συμπτώματα της τοξικότητας εμφανίζονται όταν η συγκέντρωση του χλωρίου στα φύλλα ανέρχεται στο 0,3 – 1,0 % της ξηράς ουσίας τους. Η πρόσληψη του χλωρίου από τα φυτά εξαρτάται όχι μόνο από την

ποιότητα του νερού άρδευσης αλλά και από τη συγκέντρωση του χλωρίου στο εδαφικό διάλυμα. Επίσης, εξαρτάται από τις συνθήκες στράγγισης του χωραφιού και από την ικανότητα του φυτού να αποκλείει το χλώριο κατά την πρόσληψη των θρεπτικών στοιχείων από τις ρίζες του.

γ) Νάτριο

Γενικά η τοξική δράση του νατρίου (Na) δεν είναι εύκολο να διαγνωσθεί. Συμπτώματα τοξικότητας νατρίου εμφανίζονται στα φύλλα των φυτών, όταν η συγκέντρωση ανέρχεται σε 0,25 – 0,5 % της ξηράς ουσίας των φύλλων.

Στην άρδευση με καταιονισμό, το νάτριο ή/και το χλώριο απορροφώνται απευθείας από τη φυλλική επιφάνεια και προκαλούν ζημιές στα φυτά. Τέτοιες τοξικότητες συμβαίνουν σε συγκεντρώσεις νατρίου και χλωρίου μικρότερες από αυτές που προκαλούν τοξικότητες κατά την επιφανειακή άρδευση.

3.5.2.4 Ιχνοστοιχεία

Η ύπαρξη ιχνοστοιχείων στα υγρά αστικά απόβλητα σχετίζεται με την προέλευση των νερών και τις δραστηριότητες της αστικής περιοχής από την οποία προέρχονται τα απόβλητα. Επίσης, η παλαίωση και η σταδιακή διάβρωση των δικτύων ύδρευσης και αποχέτευσης συνεισφέρει στην παρουσία ιχνοστοιχείων στα υγρά απόβλητα. Για τους λόγους αυτούς, έστω και μικρές ποσότητες ιχνοστοιχείων βρίσκονται πάντοτε στα υγρά αστικά απόβλητα. Κάποια αποχετευτικά δίκτυα δέχονται και βιομηχανικές εκροές με αποτέλεσμα να παρατηρούνται αυξημένες συγκεντρώσεις ιχνοστοιχείων στα απόβλητα.

Νερά που προέρχονται από κοινότητες μικρού και μεσαίου μεγέθους, κατά κανόνα δεν είναι επιβαρυνμένα με μεγάλες συγκεντρώσεις ιχνοστοιχείων, καθώς οι περιοχές αυτές δεν είναι ιδιαίτερα βιομηχανοποιημένες.

Παρόλο που οι συμβατικές εγκαταστάσεις επεξεργασίας αποβλήτων δεν είναι σχεδιασμένες για την απομάκρυνση των ιχνοστοιχείων, μέρος αυτών προσροφάται στα οργανικά και ανόργανα στερεά και απομακρύνεται με τις διαδικασίες των καθιζήσεων των αιωρούμενων στερεών.

Μεταξύ των ιχνοστοιχείων που βρίσκονται στα απόβλητα τα στοιχεία βόριο, κάδμιο, χαλκός, υδράργυρος, μολυβδαίνιο, νικέλιο, σελήνιο και ψευδάργυρος θεωρούνται επικίνδυνα, εάν εισαχθούν στα καλλιεργούμενα εδάφη χωρίς έλεγχο (Council on Agricultural Science and Technology, 1976). Τα ιχνοστοιχεία αργίλιο, αρσενικό, χρώμιο, σίδηρος, μαγγάνιο, μόλυβδος και αντιμόνιο, τα οποία εισάγονται στα εδάφη κατά την άρδευση με απόβλητα, δεν οδηγούν σε φυτοτοξικότητες, ούτε εκθέτουν τους καταναλωτές σε κινδύνους εφόσον εφαρμοσθούν οι κοινές καλλιεργητικές πρακτικές.

Τα ποσά των ιχνοστοιχείων που απομακρύνονται από τις καλλιέργειες είναι μικρά, συγκρινόμενα με αυτά που εισάγονται στο έδαφος κατά την άρδευση των καλλιεργειών με υγρά αστικά απόβλητα. Γενικά, με τις συγκομιζόμενες καλλιέργειες δεν αναμένεται να απομακρυνθεί περισσότερο από 10 % των ιχνοστοιχείων που έχουν εισαχθεί στο έδαφος με την άρδευση.

Συνοψίζοντας την αναφορά στα ιχνοστοιχεία που περιέχονται στα υγρά αστικά απόβλητα, μπορεί να ειπωθεί ότι οι συγκεντρώσεις των ιχνοστοιχείων στα νερά αυτά δεν είναι αρκετά υψηλές για να δημιουργήσουν προβλήματα κατά τη βραχυπρόθεσμη χρήση τους. Ωστόσο, τα ιχνοστοιχεία έχουν την τάση να συσσωρεύονται στα εδάφη ύστερα από μακροχρόνια χρήση των υγρών αστικών αποβλήτων και να αυξάνονται σταδιακά οι συγκεντρώσεις τους. Για το λόγο αυτό οι πιθανές επιζήμιες συνέπειες τους δεν πρέπει να αγνοούνται κατά τη χρήση των υγρών αποβλήτων στη γεωργία.

3.5.2.5 Θρεπτικά στοιχεία

Τα θρεπτικά στοιχεία που περιέχονται στα επεξεργασμένα υγρά αστικά απόβλητα αποτελούν ένα βασικό πλεονέκτημα της άρδευσης με τέτοιο νερό, επειδή μειώνουν την ανάγκη προσθήκης θρεπτικών στοιχείων με χημικά λιπάσματα. Ωστόσο, σε ορισμένες περιπτώσεις η περίσσεια θρεπτικών στοιχείων στα υγρά απόβλητα μπορεί να προκαλέσει προβλήματα σε κάποιες καλλιέργειες. Η γενική αρχή είναι να γίνονται περιοδικοί έλεγχοι για την εκτίμηση των θρεπτικών στοιχείων που περιέχονται στα απόβλητα, έτσι ώστε να υπολογίζονται οι ποσότητες που δίνονται στο έδαφος και φυσικά στην καλλιέργεια μέσω των αρδεύσεων. Τα στοιχεία αυτά πρέπει να λαμβάνονται υπόψη κατά τον

υπολογισμό της λίπανσης που χορηγείται στο σύστημα έδαφος – φυτό με την κλασική λίπανση.

Τα θρεπτικά στοιχεία που συνήθως υπάρχουν στα υγρά αστικά απόβλητα περιλαμβάνουν το άζωτο, το φώσφορο και περιστασιακά το κάλιο, τον ψευδάργυρο, το βόριο και το θείο.

α) Άζωτο

Η συνολική ποσότητα αζώτου που περιέχεται σε αστικά απόβλητα που έχουν υποστεί δευτεροβάθμια επεξεργασία, κυμαίνεται συνήθως από 20 έως 60 mg/l, ενώ τόσο η συγκέντρωση του αζώτου όσο και οι μορφές με τις οποίες βρίσκεται στα απόβλητα εξαρτώνται από την προέλευση και το βαθμό και το είδος της επεξεργασίας που έχουν υποστεί. Σε κάθε άρδευση μαζί με το νερό εφαρμόζεται και άζωτο που λιπαίνει τα φυτά. Ο τρόπος αυτός λίπανσης είναι ευνοϊκός κατά τα πρώτα στάδια ανάπτυξης των φυτών, αλλά δημιουργεί προβλήματα κατά το στάδιο της ωριμότητας σε κάποιες καλλιέργειες (οψίμιση παραγωγής κλπ). Σε τέτοιες περιπτώσεις συνιστάται η αλλαγή του νερού άρδευσης με άλλο διαθέσιμο νερό χαμηλής περιεκτικότητας σε άζωτο ή η ανάμειξή του με άλλο αρδευτικό νερό επίσης μικρής περιεκτικότητας σε άζωτο για τη μείωση της συγκέντρωσής του.

Ένα από τα βασικά ζητήματα σχετικά με το άζωτο των υγρών αποβλήτων όταν αυτά χρησιμοποιούνται στην άρδευση των καλλιεργειών, είναι η πιθανότητα ρύπανσης των υπόγειων και των επιφανειακών νερών και οι συνεπαγόμενοι κίνδυνοι υγείας.

β) Φώσφορος

Ο φωσφόρος είναι επίσης απαραίτητος για όλα τα φυτά. Η συγκέντρωση του φωσφόρου στα αστικά απόβλητα που έχουν υποστεί δευτεροβάθμια επεξεργασία κυμαίνεται συνήθως από 6 έως 15 mg/l, εκτός από τις περιπτώσεις που γίνεται ειδική επεξεργασία για την απομάκρυνσή του. Η άρδευση με απόβλητα αυξάνει σταδιακά τα επίπεδα φωσφόρου στο έδαφος, μειώνοντας την ανάγκη για μελλοντική συμπληρωματική λίπανση με φώσφορο. Περίσσεια

φωσφόρου δεν αποτελεί πρόβλημα για τη γεωργία. Ωστόσο είναι χρήσιμο να παρακολουθείται η παρουσία φωσφόρου στα απόβλητα και το έδαφος.

γ) Κάλιο

Στα αστικά υγρά απόβλητα που έχουν υποστεί δευτεροβάθμια επεξεργασία το κάλιο κυμαίνεται συνήθως από 10 έως 30 mg/l.

δ) Ψευδάργυρος

Σχεδόν όλα τα υγρά αστικά απόβλητα περιέχουν αρκετό ψευδάργυρο για να διορθωθούν οι ελλείψεις του εδάφους σε διάστημα από 1 έως 3 έτη. Η ύπαρξη του ψευδαργύρου θεωρείται ευεργετική για εδάφη με έλλειμμα ψευδαργύρου, αλλά οι μέγιστες τιμές συγκεντρώσεων στα νερά άρδευσης δεν πρέπει να υπερβαίνονται.

ε) Θείο

Σε μέρη όπου το ετήσιο ύψος βροχής είναι υψηλό μπορεί να υπάρξει έλλειψη θείου, που προκαλεί μειωμένη παραγωγή στις καλλιέργειες. Στα υγρά αστικά απόβλητα υπάρχει κατά κανόνα επαρκές θείο, ώστε να διορθώνονται οι ελλείψεις του εδαφικού θείου.

στ) Βόριο

Τα υγρά αστικά απόβλητα περιέχουν επαρκείς ποσότητες βορίου, ώστε να διορθώνουν ελλείψεις του στοιχείου αυτού στο έδαφος. Μεγαλύτερη προσοχή πρέπει να δίνεται σε πιθανή περίσσεια βορίου, η οποία μπορεί να οδηγήσει σε μειωμένη παραγωγή.

3.5.3 Διάφορα προβλήματα

Κατά την άρδευση με αστικά απόβλητα μπορεί να εμφανιστούν διάφορα προβλήματα, όπως ανωμαλίες στο pH, διάβρωση αγωγών και εξοπλισμού, απόφραξη συστημάτων άρδευσης, υψηλό υπολειμματικό χλώριο κ.ά. Τα προβλήματα αυτά, όταν παρουσιάζονται, πρέπει να εκτιμώνται και να αντιμετωπίζονται κατά περίπτωση.

Το pH του νερού σπάνια αποτελεί από μόνο του πρόβλημα. Ωστόσο, τιμή του pH έξω από τα συνηθισμένα όρια (6,5 – 8,5) αποτελεί ένδειξη ότι το νερό είναι υποβαθμισμένης ποιότητας με πιθανή παρουσία τοξικών ιόντων. Τιμή του pH εκτός των παραπάνω ορίων πρέπει να αποτελεί προειδοποίηση και να οδηγεί σε περαιτέρω αναλύσεις και εκτιμήσεις για την ποιότητα του νερού.

Άλλο πιθανό πρόβλημα είναι η εμφραξη συστημάτων άρδευσης καταιονισμού ή στάγδην. Η ανάπτυξη διαφόρων μικροοργανισμών στις εξόδους των ακροφυσίων και των σταλακτήρων ή στους σωλήνες μεταφοράς του νερού, προκαλούν εμφράξεις (Meyer 1985, Nakayama and Bucks 1985, Padmakumari and Sivanappan 1985), όπως επίσης και οι μεγάλες συγκεντρώσεις φυκιών (English, 1985) και αιωρούμενων στερεών (Bucks et al., 1982). Τα πλέον συχνά παρατηρούμενα προβλήματα εντοπίζονται στα συστήματα στάγδην άρδευσης.

Εάν τα επίπεδα υπολειμματικού χλωρίου παραμένουν υψηλά κατά το χρόνο εφαρμογής του νερού, προκαλούνται ζημιές στα φυτά, στις περιπτώσεις που χρησιμοποιούνται συστήματα καταιονισμού. Η ποσότητα του υπολειμματικού χλωρίου μειώνεται εντυπωσιακά αν το νερό παραμείνει σε ανοικτές δεξαμενές για αρκετές ώρες. Υπολειμματικό χλώριο (Cl_2) λιγότερο από 1 mg/l δεν επηρεάζει το φύλλωμα των φυτών, αλλά όπου υπερβαίνει τα 5 mg/l μπορεί να προκαλέσει σοβαρές ζημιές. Το μέγεθος των ζημιών που προκαλεί είναι ανάλογο με την αύξηση της συγκέντρωσής του πάνω από το 1 mg/l.

3.6 Υγειονομικοί κίνδυνοι

Η χρήση των υγρών αστικών αποβλήτων για αρδευτικούς σκοπούς εμπεριέχει κατά κανόνα μεγαλύτερο κίνδυνο για τη δημόσια υγεία από τη χρήση νερών που προέρχονται από άλλες μη μολυσμένες πηγές, εξαιτίας της έκθεσης

των αγροτών και του κοινού σε παθογόνους μικροοργανισμούς ή τοξικές ουσίες. Ένας από τους σημαντικότερους στόχους της επεξεργασίας των υγρών αποβλήτων που πρόκειται να χρησιμοποιηθούν στη γεωργία είναι η μείωση του κινδύνου αυτού σε αποδεκτά επίπεδα. Σε γενικές γραμμές, οι κίνδυνοι για την υγεία των ανθρώπων είναι ανάλογοι του βαθμού έκθεσης αυτών στα υγρά απόβλητα, της ποιότητας των αποβλήτων και της αξιοπιστίας των συστημάτων επεξεργασίας τους.

3.6.1 Παθογόνοι μικροοργανισμοί

Ο κύριος όγκος των υγρών αστικών αποβλήτων αποτελείται από οικιακές εκροές και για το λόγο αυτό οι μικροοργανισμοί και τα παράσιτα που βρίσκονται στον εντερικό σωλήνα των ανθρώπων βρίσκονται και στα απόβλητα. Συνέπεια του γεγονότος αυτού είναι η πιθανή διάδοση διαφόρων μολυσματικών ασθενειών με πηγή τα αστικά απόβλητα. Ο αριθμός των παθογόνων οργανισμών στα υγρά αστικά απόβλητα έχει μειωθεί δραστικά κατά τις τελευταίες δεκαετίες, εξαιτίας της βελτίωσης των συνθηκών υγιεινής και του ελέγχου των ασθενειών με αντιβιοτικά. Ωστόσο, οι παθογόνοι μικροοργανισμοί που ήταν υπεύθυνοι για τις επιδημίες του παρελθόντος είναι ακόμη παρόντες στα αστικά απόβλητα (Crook, 1985).

Οι κυριότεροι μικροοργανισμοί μπορούν να ταξινομηθούν σε τρεις μεγάλες κατηγορίες: τα βακτήρια, τα παράσιτα (πρωτόζωα και έλμινθες) και τους ιούς.

1. Βακτήρια

Ο αριθμός των ολικών κολοβακτηριδίων (total coliforms), εντερικής και μη εντερικής προέλευσης, σε ανεπεξέργαστα υγρά απόβλητα κυμαίνεται μεταξύ $10^6 - 10^9$ ανά λίτρο, εξαρτώμενος από τους όρους υγιεινής της κοινότητας από την οποία προέρχονται (Feachem et al. 1983, Asano et al. 1985). Τα ολικά κολοβακτηρίδια και τα κολοβακτηρίδια εντερικής προέλευσης είναι οι πιο συχνά χρησιμοποιούμενοι δείκτες εκτίμησης της υγιεινής κατάστασης ενός υδατικού συστήματος. Το είδος *Escherichia coli* είναι ο πιο συνηθισμένος δείκτης

βακτηριακής μόλυνσης των υγρών αποβλήτων από εντερικής προέλευσης κολοβακτηρίδια.

Μερικά από τα πιο κοινά βακτήρια, εκτός της *E. coli*, είναι τα *Salmonella*, *Vibrio cholerae*, *Shigella* και άλλα.

2. Παράσιτα

α) Πρωτόζωα

Το πιο επικίνδυνο παράσιτο θεωρείται ότι είναι το *Entamoeba histolytica* που ανήκει στη κατηγορία των πρωτόζωων και το οποίο είναι υπεύθυνο για την αμοεβική δυσεντερία και την αμοεβική ηπατίτιδα. Ένα άλλο πρωτόζωο, το *Giardia lamblia*, είναι αιτία γαστρεντερικών διαταραχών (διαρροιών) και άλλων ενοχλήσεων και παρουσιάζει αντίσταση στην απολύμανση που γίνεται με χλώριο (National Academy of Sciences, 1977). Ιδιαίτερο ενδιαφέρον παρουσιάζει το *Cryptosporidium* spp., το οποίο αποτελεί έναν από τους μεγαλύτερους κινδύνους υδατογενούς μόλυνσης τόσο του ανθρώπου όσο και των ζώων.

β) Έλμινθες

Πρόκειται για μία ομάδα σκωλήκων που μολύνουν τον ανθρώπινο εντερικό σωλήνα και περιλαμβάνουν το *Ascaris lumbricoides*, το *Taenia saginata*, το *Trichuris trichiura*, το *Ancylostoma duodenale*, το *Necator americanus* και το *Strongyloides stercoralis*.

Η αναγνώριση της σημαντικότητας των ελμίνθων για τη δημόσια υγεία είναι πρόσφατη και το όριο για τη συγκέντρωση των αυγών ελμίνθων στα υγρά απόβλητα είναι μικρότερο από ένα αυγό ανά λίτρο (I.R.C.W.D., 1985). Τα αυστηρά αυτά όρια τέθηκαν τόσο εξαιτίας των κινδύνων που συνεπάγεται η ύπαρξή τους για τη δημόσια υγεία, όσο και εξαιτίας της αντοχής τους στις διάφορες μεθόδους επεξεργασίας των υγρών αποβλήτων.

Οι μεγάλοι χρόνοι επιβίωσης και η ικανότητα ορισμένων ελμινθικών σκωλήκων να διαπερνούν το δέρμα του ανθρώπου, κάνουν δύσκολο τον έλεγχο των μολύνσεων, εκτός από την περίπτωση κατά την οποία εφαρμόζονται

κατάλληλες μέθοδοι επεξεργασίας των υγρών αποβλήτων για την απομάκρυνσή τους.

3. Ιοί

Είναι πολύ ανθεκτικοί, τόσο στα απόβλητα όσο και στα εδάφη. Υπάρχουν περισσότεροι από 100 διαφορετικοί εντερικοί ιοί ικανοί να προκαλέσουν μολύνσεις ή ασθένειες στους ανθρώπους. Η μεγάλη ανησυχία σχετικά με την παρουσία τους στα απόβλητα οφείλεται στο γεγονός, ότι και ένας μόνο ιός μπορεί να μολύνει τον άνθρωπο (Hillman, 1988).

Έχει διατυπωθεί η άποψη, ότι η απομάκρυνση των ιών κατά την επεξεργασία των αποβλήτων συμβαίνει ταυτόχρονα με την απομάκρυνση των αιωρούμενων στερεών, καθώς οι περισσότεροι ιοί είναι ενωμένοι με τα στερεά που περιέχονται στα υγρά απόβλητα. Πολλοί παράγοντες επηρεάζουν την επιβίωση των ιών στο έδαφος και στις καλλιέργειες, όπως το pH, η περιεχόμενη υγρασία, η θερμοκρασία, η έκθεση στο ηλιακό φως (συγκεκριμένα στην υπεριώδη ακτινοβολία) και η περιεχόμενη οργανική ύλη. Οι χρόνοι επιβίωσης των ιών στο έδαφος είναι μεγαλύτεροι από ότι στις καλλιέργειες, γεγονός που οφείλεται στις ευνοϊκότερες συνθήκες που επικρατούν εκεί (μικρότερη έκθεση στην ηλιακή ακτινοβολία, περισσότερη διαθέσιμη υγρασία κλπ).

Πρέπει να τονιστεί ότι η παρουσία των ιών είναι δύσκολο να εκτιμηθεί και αυτό μπορεί να γίνει μόνο από εξειδικευμένα εργαστήρια, καθώς οι καλλιέργειες κυττάρων που απαιτούνται είναι εξαιρετικά ευάλωτες σε μολύνσεις βακτηρίων και μυκήτων (Pescod, 1992).

3.6.2 Προστασία της δημόσιας υγείας

Κατά την επαναχρησιμοποίηση των αποβλήτων για άρδευση των καλλιεργειών, τα συγκεκριμένα μέτρα προστασίας που πρέπει να λαμβάνονται για τη διαφύλαξη της υγείας των ανθρώπων μπορεί να χωριστούν στις εξής κατηγορίες: **α)** επεξεργασία των αποβλήτων, **β)** περιορισμοί στην επιλογή των καλλιεργειών, **γ)** ελεγχόμενη εφαρμογή των αποβλήτων και **δ)** έλεγχος της ανθρώπινης έκθεσης.

3.6.2.1 Περιορισμοί στην επιλογή των καλλιεργειών

Όταν ο αγρότης αρδεύει με φρέσκο νερό, η επιλογή της καλλιέργειας βασίζεται στο αναμενόμενο οικονομικό όφελος, το κλίμα, το έδαφος, τη διαθέσιμη ποσότητα νερού, τη διαθεσιμότητα εργατικής δύναμης και μηχανικού εξοπλισμού και την παράδοση. Όταν η άρδευση της καλλιέργειας γίνεται με επεξεργασμένα υγρά αστικά απόβλητα, τότε πρέπει να λαμβάνονται υπόψη επιπλέον παράγοντες, όπως η αντοχή της καλλιέργειας στα άλατα, η τοξική δράση ορισμένων ιόντων και η πιθανή συσσώρευσή τους στο έδαφος και τα φυτά, η περιεκτικότητα σε θρεπτικά στοιχεία καθώς επίσης και η πρόληψη κινδύνων υγείας. Γενικά, όταν τα προς άρδευση απόβλητα είναι ικανοποιητικής ποιότητας, τότε η χρήση τους δεν επηρεάζει σημαντικά την επιλογή των καλλιεργειών.

Σύμφωνα με τους Mara και Cairncross (1988), Pescod (1989), Hespanhol (1989, 1990), οι απαραίτητες προϋποθέσεις για την εφαρμογή του περιορισμού των καλλιεργειών, δηλαδή της πειθαρχημένης επιλογής των καλλιεργειών είναι οι εξής:

- α) Ύπαρξη ισχυρού νομοθετικού πλαισίου.
- β) Ύπαρξη δημόσιου φορέα διαχείρισης των επεξεργασμένων αποβλήτων.
- γ) Ύπαρξη ισχυρού φορέα διαχείρισης των αρδευτικών έργων.
- δ) Οι προτεινόμενες καλλιέργειες να είναι επιθυμητές από τους αγρότες.
- ε) Οι τιμές των παραγόμενων προϊόντων να είναι ελκυστικές.
- στ) Η αγορά να είναι πρόθυμη για την απορρόφηση των παραγόμενων προϊόντων.

Στην περίπτωση κατά την οποία εφαρμόζεται ελεγχόμενη άρδευση σε επιλεγμένες καλλιέργειες και οι αγρότες είναι η μόνη ομάδα πληθυσμού που έρχεται σε επαφή με τα απόβλητα, υπάρχουν μικρότερες απαιτήσεις για την επεξεργασία του νερού.

Γενικά, οι καλλιέργειες μπορεί να χωριστούν στις εξής κατηγορίες ανάλογα με την ομάδα του πληθυσμού που εκτίθεται σε κάποιο κίνδυνο και με τα μέτρα που πρέπει να λαμβάνονται για την προστασία της δημόσιας υγείας:

Κατηγορία Α: Απαιτείται προστασία των καταναλωτών, των αγροτών και γενικότερα του κοινού. Η κατηγορία περιλαμβάνει καλλιέργειες οι οποίες είναι πιθανό να καταναλωθούν νωπές, φρούτα που αρδεύονται με καταιονισμό και χώρους πρασίνου στους οποίους έχει άμεση πρόσβαση το κοινό.

Κατηγορία Β: Απαιτείται προστασία μόνο για τους αγρότες. Αυτή η κατηγορία περιλαμβάνει δημητριακά, βιομηχανικά φυτά, εδώδιμες καλλιέργειες που προορίζονται για κονσερβοποίηση, καλλιέργειες που προορίζονται για ζωοτροφή, βοσκές και δενδρώδεις καλλιέργειες. Σε κάποιες περιπτώσεις ορισμένες καλλιέργειες της κατηγορίας Α μπορεί να θεωρηθεί ότι ανήκουν στην κατηγορία Β, όπως για παράδειγμα λαχανικά που προορίζονται για κονσερβοποίηση ή που δεν καταναλώνονται νωπά, φυτά που αναπτύσσονται σε αρκετό ύψος ώστε να μην υπάρχει περίπτωση να μολυνθούν από τα απόβλητα (εφόσον εξασφαλίζεται ότι δεν έρχονται σε επαφή με το έδαφος και δε μολύνονται από άρδευση με καταιονισμό). Στις περιπτώσεις αυτές πρέπει να εξασφαλίζεται η προστασία των χώρων όπου καθαρίζονται, συσκευάζονται και αποθηκεύονται τα προϊόντα αυτά από μολύνσεις.

3.6.2.2 Ελεγχόμενη εφαρμογή των αποβλήτων

Η **υπόρδευση** και η **άρδευση με σταγόνες** είναι μέθοδοι άρδευσης οι οποίες διασφαλίζουν σε μεγάλο βαθμό την προστασία της δημόσιας υγείας. Επίσης, η επιφανειακή άρδευση μπορεί να χρησιμοποιηθεί με ασφάλεια, εφόσον τα δίκτυα μεταφοράς και διανομής του νερού είναι κλειστά και οι καλλιέργειες αναπτύσσονται ψηλότερα από το έδαφος. Μέθοδοι άρδευσης που προκαλούν διασπορά των αποβλήτων υπό μορφή σταγονιδίων θεωρούνται ακατάλληλες (εκτός από την περίπτωση κατά την οποία η ποιότητα των επεξεργασμένων αποβλήτων βρίσκεται μέσα στα αποδεκτά όρια για χωρίς περιορισμούς άρδευση), επειδή μπορεί να μολυνθούν φυτά και αγρότες και είναι πιθανό να μεταφερθούν παθογόνοι μικροοργανισμοί με τον άνεμο σε γειτονικές περιοχές.

Ο συνδυασμός της μερικής τουλάχιστον επεξεργασίας των αποβλήτων με τον περιορισμό των καλλιεργειών και την ελεγχόμενη εφαρμογή αποβλήτων στον αγρό προσφέρει επαρκή προστασία τόσο στους καταναλωτές όσο και στους αγρότες που έρχονται σε επαφή με τα απόβλητα.

3.6.2.3 Έλεγχος της ανθρώπινης έκθεσης

Οι ομάδες ανθρώπων που διατρέχουν κάποιο δυνητικό κίνδυνο να μολυνθούν από τα υγρά αστικά απόβλητα είναι οι αγρότες και οι οικογένειές τους, όσοι έρχονται σε επαφή με τα παραγόμενα προϊόντα, οι καταναλωτές γεωργικών προϊόντων και οι κάτοικοι γειτονικών περιοχών.

Τα μέτρα που λαμβάνονται για την προστασία των **εργαζομένων** που έρχονται με κάποιο τρόπο σε επαφή με τα απόβλητα, περιλαμβάνουν την ένδυση με ειδικά προστατευτικά ρούχα, τη διατήρηση υψηλής στάθμης κανόνων υγιεινής, την ενημέρωση και εκπαίδευση του γεωργικού πληθυσμού, την ανοσοποίηση σε επιλεγμένες μολύνσεις (π.χ. ηπατίτιδα Α) και τους συχνούς ιατρικούς ελέγχους.

Η προστασία των **καταναλωτών** εξασφαλίζεται σε μεγάλο βαθμό με το μαγείρεμα των προϊόντων και τη διατήρηση υψηλής στάθμης κανόνων ατομικής υγιεινής.

Για την προστασία των **κατοίκων που διαμένουν κοντά σε εκτάσεις που αρδεύονται με αστικά απόβλητα**, η απόσταση των αγρών από κατοικημένες περιοχές ή δρόμους πρέπει να είναι μεγαλύτερη από 50 ή και 100 m ακόμη, διαφορετικά η άρδευση των καλλιεργειών με απόβλητα πρέπει να αποφεύγεται, ιδιαίτερα όταν γίνεται με καταιονισμό. Μεγάλη προσοχή πρέπει να δίνεται στη σήμανση του δικτύου μεταφοράς των αποβλήτων, ώστε να αποτρέπεται η κατά λάθος χρησιμοποίησή τους. Στις περιπτώσεις αυτές οι αγωγοί μεταφοράς και οι υδροληψίες του νερού πρέπει να είναι προστατευμένες, να σημειώνεται με ευκρίνεια ότι πρόκειται για απόβλητα και εάν είναι δυνατό να είναι βαμμένες με κάποιο ιδιαίτερο χρώμα.

3.6.3 Μικροβιολογικά κριτήρια για άρδευση

Οι κίνδυνοι για την ανθρώπινη υγεία που προέρχονται από την επαναχρησιμοποίηση των αποβλήτων είναι υπαρκτοί και για το λόγο αυτό τα ποιοτικά κριτήρια και οι οδηγίες αξιολόγησης της καταλληλότητας των υγρών αποβλήτων για αρδευτικούς σκοπούς έχουν σαν κύριο στόχο την προστασία της δημόσιας υγείας.

Αρχικά, εξαιτίας της έλλειψης επαρκών επιδημιολογικών δεδομένων και με βάση το δυνητικό κίνδυνο από την ύπαρξη παθογόνων μικροοργανισμών στα απόβλητα, τα όρια που τέθηκαν για την ασφαλή χρήση των νερών αυτών ήταν οι ελάχιστες συγκεντρώσεις οι οποίες ήταν δυνατό να ανιχνευθούν με τις υπάρχουσες μεθόδους ανάλυσης, ώστε να μηδενιστεί ο κίνδυνος. Σε κάποιες περιπτώσεις τα όρια ήταν ίδια με αυτά που αφορούσαν το πόσιμο νερό.

Ο αριθμός των μικροβιακών ειδών στα αστικά απόβλητα είναι τόσο μεγάλος που η διαπίστωση και μελέτη κάθε μικροβιακού είδους χωριστά είναι πρακτικά αδύνατη. Για το λόγο αυτό επινοήθηκαν οι μικροβιακοί δείκτες, που είναι ομάδες μικροβιακών ειδών με συγγενείς ιδιότητες ή μεμονωμένα μικρόβια και υποδηλώνουν την ύπαρξη ή την απουσία μιας γενικότερης ομάδας μικροβίων. Οι μετρήσεις των μικροβιακών δεικτών αποτελούν αναλύσεις ρουτίνας για τα ειδικευμένα εργαστήρια, καθώς οι μέθοδοι οι οποίες χρησιμοποιούνται είναι αξιόπιστες, σχετικά εύκολες στην εκτέλεσή τους, οικονομικές και ευαίσθητες.

Οι χώρες που έχουν θεσπίσει κανονισμούς επαναχρησιμοποίησης των υγρών αστικών αποβλήτων ανά χρήση είναι λίγες. Επίσης, ο Παγκόσμιος Οργανισμός Υγείας έχει θεσπίσει μικροβιολογικά κριτήρια επαναχρησιμοποίησης επεξεργασμένων αστικών αποβλήτων για άρδευση (W.H.O., 1989). Στον **Πίνακα 3.4** δίνονται τα μικροβιολογικά κριτήρια επαναχρησιμοποίησης των υγρών αστικών αποβλήτων που συνιστώνται για άρδευση από τον Παγκόσμιο Οργανισμό Υγείας καθώς και ο απαιτούμενος βαθμός επεξεργασίας για την επίτευξη των συνιστώμενων αυτών ορίων.

Όσον αφορά στα κολοβακτηρίδια εντερικής προέλευσης, για χωρίς περιορισμούς άρδευση καλλιεργειών θεωρείται ότι η συγκέντρωση των 1000/100 ml είναι πρακτικά εφικτή. Επίσης, εδώδιμα προϊόντα όπως ντομάτες που προορίζονται για κονσερβοποίηση, φιστίκια που πρόκειται να ψηθούν πριν καταναλωθούν ή γήπεδα που δεν πρόκειται να χρησιμοποιηθούν για αρκετές εβδομάδες μετά την άρδυσή τους με απόβλητα, μπορεί να θεωρηθεί ότι ανήκουν στην κατηγορία Β του **Πίνακα 3.4**. Στις περιπτώσεις όπου η μόνη εκτιθέμενη ομάδα είναι οι αγρότες δεν τίθεται όριο βακτηριακού φορτίου, καθώς δεν υπάρχουν αποδείξεις για τον κίνδυνο που διατρέχουν από τα βακτήρια. Ανεξάρτητα όμως από τη χρήση του νερού, κάποια μείωση του βακτηριακού φορτίου είναι επιθυμητή.

Πίνακας 3.4. Μικροβιολογικά κριτήρια επαναχρησιμοποίησης των υγρών αστικών αποβλήτων που συνιστώνται για άρδευση από τον Παγκόσμιο Οργανισμό Υγείας^α.

Κατηγορία	Συνθήκες επαναχρησιμοποίησης	Εκτιθέμενη ομάδα	Εντερικοί νηματώδεις σκώληκες ^β (αριθμ. μέσος αριθμού αυγών/l) ^γ	Κολοβακτηρίδια εντερικής προέλευσης (γεωμετρικός μέσος όρος ανά 100 ml) ^γ	Επεξεργασία των αστικών αποβλήτων, που αναμένεται να δώσει την επιθυμητή μικροβιολογική ποιότητα
Α	Άρδευση καλλιεργειών που καταναλώνονται νωπές, γηπέδων αθλοπαιδιών και πάρκων αναψυχής ^δ	Αγρότες, καταναλωτές, κοινό	≤ 1	≤ 1000 ^δ	Σειρά δεξαμενών σταθεροποίησης σχεδιασμένων για να πετυχαίνουν την επιθυμητή μικροβιολογική ποιότητα, ή ισοδύναμη μεταχείριση.
Β	Άρδευση δημητριακών, βιομηχανικών φυτών, βοσκών και δένδρων ^ε	Αγρότες	≤ 1	Δε συνιστάται κάποιο όριο	Παραμονή σε δεξαμενές σταθεροποίησης για 8 – 10 ημέρες, ή ισοδύναμη απομάκρυνση ελμίνθων και κολοβακτηριδίων εντερικής προέλευσης.
Γ	Τοπική άρδευση καλλιεργειών της κατηγορίας Β, όταν δε συμβαίνει έκθεση αγροτών και κοινού	Καμία	Δεν τίθεται όριο	Δεν τίθεται όριο	Προεπεξεργασία όπως απαιτείται από το σύστημα άρδευσης, αλλά όχι λιγότερο από πρωτοβάθμια καθίζηση.

Πηγή: W.H.O. (1989).

- α.** Σε ειδικές περιπτώσεις τοπικοί επιδημιολογικοί, κοινωνικοπολιτικοί και περιβαλλοντικοί παράγοντες πρέπει να λαμβάνονται υπόψη και οι οδηγίες να προσαρμόζονται κατάλληλα.
- β.** Είδη *Ascaris* και *Trichuris* και νηματώδεις σκώληκες.
- γ.** Κατά τη διάρκεια της αρδευτικής περιόδου.
- δ.** Μία πιο αυστηρή οδηγία (≤ 200 κολοβακτηρίδια εντερικής προέλευσης ανά 100 ml) είναι κατάλληλη για κοινόχρηστες επιφάνειες πρασίνου, όπου το κοινό έρχεται σε άμεση επαφή με την αρδευόμενη επιφάνεια.
- ε.** Στην περίπτωση των οπωροφόρων δένδρων, τα φρούτα των οποίων καταναλώνονται αμέσως μετά την κοπή, η τελευταία άρδευση πρέπει να γίνεται δύο εβδομάδες πριν τη συγκομιδή και δεν πρέπει να συλλέγονται φρούτα από το έδαφος. Άρδευση με καταιονισμό δεν πρέπει να χρησιμοποιείται.

Η επιτρεπόμενη συγκέντρωση βακτηρίων εντερικής προέλευσης του **Πίνακα 3.4** βρίσκεται μέσα στα όρια που αποδέχονται πολλές χώρες για τα νερά των ποταμών που χρησιμοποιούνται για χωρίς περιορισμούς άρδευση, δίχως να παρατηρηθούν συνέπειες.

Η οδηγία του **Πίνακα 3.4** για τα αυγά των ελμίνθων τίθεται ως ένα κριτήριο για την κατασκευή των συστημάτων επεξεργασίας των αποβλήτων και όχι απαραίτητα ως όριο που πρέπει να ελέγχεται στις αναλύσεις ρουτίνας των επεξεργασμένων υγρών αποβλήτων.

Οι οδηγίες του **Πίνακα 3.4** πρέπει να ερμηνεύονται και να τροποποιούνται ανάλογα με τις τοπικές συνθήκες. Ιδιαίτερη προσοχή πρέπει να δίνεται στις περιπτώσεις όπου ευαίσθητες σε μολύνσεις ομάδες πληθυσμού έρχονται σε επαφή με απόβλητα. Αντίθετα, σε άλλες περιπτώσεις μπορεί να επιτρέπεται μεγαλύτερη ελαστικότητα. Έτσι, σε περιοχές όπου οι ελμινθικές μολύνσεις δεν είναι ενδημικές, η επιδίωξη απομάκρυνσής τους κατά 99 % δεν είναι απαραίτητη.

Στη χώρα μας, η δημιουργία κριτηρίων ανάκτησης και επαναχρησιμοποίησης των υγρών αστικών αποβλήτων στα οποία συμπεριλαμβάνονται και μικροβιολογικά κριτήρια θεωρείται απαραίτητη. Μέχρι τότε όμως, προτείνεται η υιοθέτηση κάποιων συγκεκριμένων κριτηρίων που επί σειρά ετών εφαρμόζονται με επιτυχία σε άλλες χώρες. Στον **Πίνακα 3.5** παρουσιάζονται τα μικροβιολογικά κριτήρια που έχουν θεσπιστεί και χρησιμοποιούνται σε χώρες που έχουν παράδοση στην επαναχρησιμοποίηση των υγρών αστικών αποβλήτων για άρδευση, όπως είναι η Κύπρος. Η μελέτη των κριτηρίων οδηγεί στο συμπέρασμα ότι υπάρχουν σαφείς διαφορές στα όρια που καθιέρωσαν οι διάφορες χώρες και ο W.H.O. σχετικά με την επαναχρησιμοποίηση των υγρών αστικών αποβλήτων.

Πίνακας 3.5. Μικροβιολογικά κριτήρια επαναχρησιμοποίησης των υγρών αστικών αποβλήτων για άρδευση στην Κύπρο.

Συνθήκες επαναχρησιμοποίησης ^{α, β}	Κολοβ/δια εντερικής προέλευσης ανά 100 ml	Σκώληκες εντερικής προέλευσης ανά lt	Απαιτούμενη επεξεργασία
Άρδευση χώρων αναψυχής με ελεύθερη προσπέλαση	50 ^γ 100 ^δ	Κανένας	B/βάθμια, Γ/βάθμια και απολύμανση.
Άρδευση φυτών που τα προϊόντα τους καταναλώνονται από τον άνθρωπο και χώρων αναψυχής με περιορισμένη προσπέλαση	200 ^γ 1000 ^δ	Κανένας	B/βάθμια, αποθήκευση > 1 εβδομάδας και απολύμανση ή Γ/βάθμια και απολύμανση.
	200 ^γ 1000 ^δ	Κανένας	Δεξαμενές σταθεροποίησης – ωρίμανσης με χρόνο παραμονής > 30 ημερών ή B/βάθμια και αποθήκευση > 30 ημερών.
Άρδευση χορτοδοτικών φυτών	1000 ^γ 5000 ^δ 1000 ^γ	Κανένας Κανένας	B/βάθμια και αποθήκευση > 1 εβδομάδας ή Γ/βάθμια και απολύμανση. Δεξαμενές σταθεροποίησης – ωρίμανσης με χρόνο παραμονής > 30 ημερών ή B/βάθμια και αποθήκευση > 30 ημερών.
Άρδευση βιομηχανικών φυτών	3000 ^γ 10000 ^δ	-	B/βάθμια και απολύμανση.
	3000 ^γ 10000 ^δ	-	Δεξαμενές σταθεροποίησης – ωρίμανσης με χρόνο παραμονής > 30 ημερών ή B/βάθμια και αποθήκευση > 30 ημερών.

Πηγή: Kypris (1989), Papadopoulos (1995β).

- α. Άρδευση λαχανικών και ανθοκομικών ειδών για εμπορικούς σκοπούς δεν επιτρέπεται.
- β. Στοιχεία που συγκεντρώνονται στα εδάδιμα μέρη των φυτών και αποδεδειγμένα είναι τοξικά για ανθρώπους και ζώα δεν πρέπει να υπάρχουν στα απόβλητα.
- γ. Μέγιστες τιμές στο 80 % των δειγμάτων του μήνα.
- δ. Μέγιστες επιτρεπόμενες τιμές.

Κατά τη θέσπιση κριτηρίων για τη μικροβιακή ποιότητα των αποβλήτων που προορίζονται για άρδευση καλλιεργειών γίνεται μια προσπάθεια συμβιβασμού του θεωρητικά επιθυμητού και ασφαλούς για τη δημόσια υγεία, με εκείνο που είναι πρακτικά εφικτό. Όρια πολύ αυστηρά θα μπορούσαν να αποκλείσουν τη χρήση των υγρών αστικών αποβλήτων, με αποτέλεσμα την

απώλεια μιας πολύτιμης πηγής νερού. Τα κριτήρια που επιβάλλονται πρέπει να έχουν σαν κύριο στόχο την προστασία της δημόσιας υγείας αλλά και το όφελος που προκύπτει από την επαναχρησιμοποίηση των αποβλήτων. Τα όρια αυτά πρέπει να είναι τεχνολογικά και πρακτικά εφικτά και να επιτυγχάνονται με χαμηλό κόστος από συστήματα επεξεργασίας σταθερής και υψηλής απόδοσης (Πανώρας και Ηλίας, 1999). Στον **Πίνακα 3.6** που ακολουθεί, δίνονται κάποιες συνιστώμενες οδηγίες για την επαναχρησιμοποίηση υγρών αποβλήτων στην περιοχή της Μεσογείου.

Πίνακας 3.6. Συνιστώμενες οδηγίες για επαναχρησιμοποίηση υγρών αποβλήτων στην περιοχή της Μεσογείου.

Κατηγορία νερού	Κριτήρια ποιότητας			Επεξεργασία αποβλήτων
	Μικροβιακά		Φυσικο-Χημικά	
	Εντερικοί νηματώδεις ^α (αυγά/λίτρο)	Κολοβακτηρίδια ^β ή <i>E. coli</i> (cfu/100 ml)	SS ^γ (mg/l)	
Κατηγορία Ι				
Α) Οικιστική επαναχρησιμοποίηση (άρδευση ιδιωτικών κήπων, πλύσιμο μηχανών κλπ)	≤ 0,1 ^η	≤ 200 ^δ	≤ 10	Δευτεροβάθμια επεξεργασία + φιλτράρισμα, + απολύμανση
Β) Αστική χρήση (άρδευση πάρκων, καθαρισμός οδών, πυρόσβεση κλπ)				
Γ) Χρήση σε αρχιτεκτονική τοπίου και χώρους αναψυχής (λίμνες κλπ)				
Κατηγορία ΙΙ				
Α) Άρδευση λαχανικών, ζωοτροφών, οπωρώνων κλπ	≤ 0,1 ^η	≤ 1000 ^δ	≤ 20 ≤ 150 ^{στ}	Δευτεροβάθμια επεξεργασία ή ισοδύναμη ^ε + φιλτράρισμα + απολύμανση ή Δευτ. επεξεργ. ή ισοδ. + αποθήκευση, δεξαμενές ωρίμανσης
Β) Πλήρωση υδροφόρων στρωμάτων				
Γ) Βιομηχανική χρήση	-			

Συνέχεια του Πίνακα 3.6.				
Κατηγορία III				
Άρδευση δημητριακών και ελαιοδοτικών φυτών, κλωστικών φυτών, φυτωρίων, δασών, οπωρώνων ^ε κλπ	≤ 1	Δεν απαιτείται	≤ 35 $\leq 150^{στ}$	Δευτεροβάθμια επεξεργασία ή ισοδύναμη ^ς + λίγες ημέρες αποθήκευση ή Σύστημα αερόβιων δεξαμενών
Κατηγορία IV				
Α) Άρδευση λαχανικών με επιφ. και υπόγεια στάγδην άρδευση χωρίς επαφή αποβλήτων και εδώδιμου μέρους φυτών	Δεν απαιτείται	Δεν απαιτείται	Προεπεξεργασία όπως απαιτείται αλλά όχι λιγότερη από την πρωτοβάθμια καθίζηση	
Β) Άρδευση φυτών κατ. III με σταλακτήρες				
Γ) Άρδευση πάρκων που δεν είναι προσβάσιμοι στο κοινό με επιφανειακούς σταλακτήρες				
Δ) Άρδευση πάρκων, γηπέδων γκολφ, αθλητικών χώρων με υπόγεια στάγδην άρδευση				

Πηγή: Bahri and Brissaud (2002).

- α. Είδη *Ascaris* και *Trichuris* και Αγκυλόστομα (Επίσης για προστασία από παρασιτικά πρωτόζωα).
- β. Κοπρώδη κολοβακτηρίδια ή *Escherichia coli* (cfu: colony forming units – μονάδες σχηματισμού αποικιών).
- γ. Αιωρούμενα στερεά.
- δ. Οι τιμές πρέπει να διαμορφώνονται στο 80 % των δειγμάτων ανά μήνα, ελάχιστος αριθμός δειγμάτων 5.
- ε. Στην περίπτωση οπωρώνων, η άρδευση πρέπει να σταματά δύο εβδομάδες πριν τη συγκομιδή και κανένα φρούτο δεν πρέπει να συγκομίζεται από το έδαφος. Δεν πρέπει να χρησιμοποιείται ο καταιονισμός.
- στ. Δεξαμενές σταθεροποίησης.
- ζ. Όπως προχωρημένη πρωτοβάθμια επεξεργασία (Jimenez et al., 1999, 2001).
- η. Καθώς πολύ λίγες εξετάσεις έχουν γίνει για το όριο < 0,1 αυγά νηματωδών/λίτρο, συνήθως αντικαθιστάται από το < 1 αυγά νηματωδών/λίτρο.

ΜΕΘΟΔΟΙ ΑΡΔΕΥΣΗΣ

4.1 Γενικά

Η προσπάθεια για την επίτευξη μικρότερου κόστους και μεγαλύτερης αποτελεσματικότητας κατά την εφαρμογή του νερού στις αρδεύσεις, είχε ως αποτέλεσμα την ανάπτυξη πολλών και ποικίλων μεθόδων άρδευσης.

Μέθοδοι άρδευσης ονομάζονται οι διάφοροι τρόποι εφαρμογής του αρδευτικού νερού στο έδαφος.

Οι μέθοδοι αυτοί εξαρτώνται από τις εδαφικές, κλιματικές και υδρολογικές συνθήκες, την τοπογραφική διαμόρφωση της επιφάνειας του εδάφους, το είδος της καλλιέργειας, την ποιότητα του αρδευτικού νερού και γενικά από την γεωργοτεχνική ανάπτυξη στον τομέα των αρδεύσεων.

Για να είναι επιτυχής μία άρδευση πρέπει:

1. Να εφοδιάζει το χωράφι με τόσο νερό ώστε η υγρασία στη ζώνη του ριζοστρώματος να φθάσει στην υδατοϊκανότητα, δηλαδή να εφοδιάσει το έδαφος με νερό ίσο με την ωφέλιμη υγρασία.
2. Να περιορίσει στο ελάχιστο τις επιφανειακές απώλειες από τη βαθιά διήθηση, ώστε η αποδοτικότητα εφαρμογής να φθάνει τη μονάδα.
3. Να εφαρμόζεται το νερό ομοιόμορφα στην επιφάνεια του αγρού επί όσο χρόνο χρειάζεται για να διηθηθεί στο έδαφος ποσότητα ίση με την ωφέλιμη υγρασία.

Οι μέθοδοι άρδευσης διακρίνονται, ανάλογα με τον τρόπο εφαρμογής του νερού, σε επιφανειακές μεθόδους (κατάκλυση, λωρίδες, αυλάκια), καταιονισμό (τεχνητή βροχή) και στάγδην άρδευση (πρόσφατα, και υπόγεια στάγδην άρδευση) (Σακελλαρίου, 2003).

4.2 Επιλογή μεθόδου άρδευσης

Η ορθολογική χρήση του αρδευτικού νερού είναι το κυρίαρχο ζήτημα στη γεωργία, άσχετα από την ποιότητα και την προέλευσή του. Στην περίπτωση της χρήσης αστικών αποβλήτων για αρδευτικούς σκοπούς είναι αυτονόητο, ότι ο τρόπος εφαρμογής τους στον αγρό έχει ακόμη μεγαλύτερη σημασία, γιατί συνδέεται άμεσα με πιθανές δυσμενείς επιπτώσεις στο περιβάλλον. Όσο μικρότερος είναι ο βαθμός της αρδευτικής αποδοτικότητας, τόσο μεγαλύτερος είναι ο κίνδυνος ρύπανσης ή μόλυνσης εδάφους και νερών (επιφανειακών ή υπόγειων). Η επιλογή της κατάλληλης μεθόδου άρδευσης μπορεί να παίζει σημαντικό ρόλο στην ορθολογική χρήση των προς άρδευση αποβλήτων.

Κάτω από κανονικές συνθήκες, η μέθοδος άρδευσης που θα επιλεγεί εξαρτάται από την παροχή και την ποιότητα του νερού, το κλίμα, το έδαφος, την καλλιέργεια, το κόστος της μεθόδου και την ικανότητα του αγρότη να διαχειρίζεται το σύστημα άρδευσης. Ωστόσο, όταν χρησιμοποιούνται υγρά απόβλητα για άρδευση, πρέπει να λαμβάνονται υπόψη και άλλοι παράγοντες όπως η ποιότητα των επεξεργασμένων αποβλήτων, το είδος της καλλιέργειας (βιομηχανικά φυτά, βοσκές, λαχανικά, δενδρώδεις καλλιέργειες κλπ), η διαβροχή ή μη του φυλλώματος και των καρπών, ο τρόπος κατανομής νερού – αλάτων – ρυπαντών στο έδαφος, η δυνατότητα διατήρησης της εδαφικής υγρασίας σε υψηλά επίπεδα, η αποδοτικότητα εφαρμογής του νερού, η πιθανότητα πρόκλησης ζημιών στο αρδευτικό σύστημα, η πιθανότητα μόλυνσης αγροτών και καταναλωτών και η πιθανή ρύπανση του περιβάλλοντος.

Όταν χρησιμοποιούνται υγρά απόβλητα, ένας από τους καθοριστικούς παράγοντες για την επιλογή του συστήματος άρδευσης είναι η ελαχιστοποίηση ή εφόσον είναι δυνατό η πλήρης αποφυγή των κινδύνων που σχετίζονται με την ανθρώπινη υγεία. Η μέθοδος άρδευσης, το είδος της καλλιέργειας, ο βαθμός επεξεργασίας των υγρών αστικών αποβλήτων και ο έλεγχος της ανθρώπινης έκθεσης αποτελούν ένα αλληλοεξαρτώμενο σύστημα, κάθε παράμετρος του οποίου επηρεάζει τις υπόλοιπες και επηρεάζεται από αυτές. Έτσι, ένα ήδη υφιστάμενο σύστημα άρδευσης καθορίζει τον απαιτούμενο βαθμό επεξεργασίας των αποβλήτων (όπου αυτό είναι δυνατό να επιλεγεί), το βαθμό ελέγχου της ανθρώπινης έκθεσης και την επιλογή των καλλιεργειών. Αντίθετα, οι

δυνατότητες για την επιλογή ενός συστήματος άρδευσης περιορίζονται, όταν η επεξεργασία των υγρών αποβλήτων είναι δεδομένη.

Η άρδευση με **κατάκλυση** ή **λωρίδες** απαιτεί πλήρη κάλυψη της επιφάνειας του εδάφους με το νερό άρδευσης, άρα και με τα επεξεργασμένα υγρά αστικά απόβλητα. Με αυτή την τεχνική άρδευσης τα απόβλητα διαβρέχουν τμήμα των φυτών (χαμηλά φύλλα, βλαστός) με πιθανή συνέπεια τη μόλυνσή τους, ενώ επίσης υπάρχει σημαντική πιθανότητα επαφής των χειριστών του αρδευτικού συστήματος με τα απόβλητα με αποτέλεσμα την έκθεσή τους σε κάποιο κίνδυνο μόλυνσης. Επομένως, σε σχέση με την προστασία της υγείας, τόσο των καταναλωτών όσο και των αγροτών, οι δύο παραπάνω μέθοδοι δεν προσφέρουν ικανοποιητική προστασία.

Η άρδευση με **αυλάκια** δεν διαβρέχει όλη την επιφάνεια του εδάφους. Η μέθοδος μπορεί να μειώσει την πιθανότητα μόλυνσης της καλλιέργειας, επειδή τα φυτά αναπτύσσονται στον αυχένα των αυλακιών, αλλά δεν μπορεί να εξασφαλιστεί πλήρης προστασία της υγείας των καταναλωτών χωρίς πρόσθετα μέτρα. Ο κίνδυνος μόλυνσης των αγροτών είναι μέσος ως υψηλός, εξαρτώμενος από το βαθμό αυτοματισμού του συστήματος. Στην περίπτωση κατά την οποία τα επεξεργασμένα υγρά αστικά απόβλητα μεταφέρονται με σωλήνες και διανέμονται στο κάθε αυλάκι χωριστά, ο κίνδυνος για τους αγρότες είναι ελάχιστος (Πανώρας κ.ά., 1998α, β, 1999α, β).

Γενικά, η αποτελεσματικότητα των επιφανειακών μεθόδων άρδευσης (λωρίδες, λεκάνες και αυλάκια) δεν επηρεάζεται πολύ από την ποιότητα του νερού, ωστόσο ο κίνδυνος για την υγεία των καταναλωτών γεωργικών προϊόντων και των αγροτών είναι ένα σημείο που χρειάζεται ιδιαίτερη προσοχή. Κάποια προβλήματα εμφανίζονται στην περίπτωση που τα επεξεργασμένα απόβλητα περιέχουν μεγάλες ποσότητες αιωρούμενων στερεών, τα οποία κατακάθονται και εμποδίζουν τη ροή στους αγωγούς μεταφοράς του νερού, στις εξόδους του νερού και στα διάφορα εξαρτήματα των συστημάτων άρδευσης. Η χρήση των υγρών αστικών αποβλήτων, μετά από πρωτοβάθμια επεξεργασία, θα λύσει πολλά από αυτά τα προβλήματα. Για να αποφευχθεί το λίμνασμα των επεξεργασμένων αποβλήτων κατά την επιφανειακή άρδευση πρέπει να γίνει λεπτομερής ισοπέδωση του εδάφους (Hinz and Halderman 1978, Dedrick et al. 1982, Χατζηγιαννάκης και Θεοδώρου 1991, Πανώρας κ.ά. 1993) και να δοθεί η κατάλληλη κλίση.

Η άρδευση με **καταιονισμό** είναι αποδοτικότερη των επιφανειακών αρδεύσεων. Βασική προϋπόθεση είναι ο καλός σχεδιασμός του δικτύου και η άριστη λειτουργία του. Ωστόσο, η εφαρμογή των αποβλήτων με καταιονισμό μπορεί να μολύνει τόσο τις καλλιέργειες όσο και τους αγρότες. Επίσης, παθογόνοι μικροοργανισμοί που περιέχονται στα υγρά απόβλητα μπορεί να μεταφερθούν με τον άνεμο και να δημιουργήσουν κίνδυνο για την υγεία των κατοίκων κοντινών περιοχών. Τα συστήματα με καταιονισμό επηρεάζονται πιο πολύ από την ποιότητα του νερού σε σχέση με τα επιφανειακά συστήματα άρδευσης, κυρίως λόγω της έμφραξης των ακροφυσίων των εκτοξευτήρων, των ενδεχόμενων ζημιών των φύλλων και της φυτοτοξικότητας, καθώς και της πιθανότητας συσσώρευσης ιζήματος στους σωλήνες, τις βάνες, τους αυτοματισμούς και το σύστημα διανομής. Επισημαίνεται η δυσκολία επέμβασης στο σύστημα εφαρμογής του νερού (π.χ. στους καταιονιστήρες) κατά τη διάρκεια της άρδευσης, καθώς και η σχεδόν βέβαιη διαβροχή των αρδευτών με τα υγρά απόβλητα η οποία μπορεί να σημαίνει σημαντικούς κινδύνους μόλυνσής τους. Γενικά, τα υγρά απόβλητα που έχουν υποστεί δευτεροβάθμια επεξεργασία είναι κατάλληλα για διανομή από εκτοξευτήρες, αρκεί να μην είναι πολύ αλατούχα. Συχνά υιοθετούνται πρόσθετα μέτρα πρόληψης, όπως επεξεργασία με χαλκικό φίλτρα ή φίλτρα σίτας και αύξηση της διαμέτρου των ακροφυσίων.

Τα συστήματα **τοπικής άρδευσης** (κυρίως **υπόγεια στάγδην άρδευση**), εφόσον είναι καλά σχεδιασμένα και συντηρούνται σωστά, έχουν υψηλό βαθμό αποδοτικότητας εφαρμογής του νερού στον αγρό, με αποτέλεσμα οι αποδόσεις των καλλιεργειών να είναι υψηλές και στην περίπτωση που χρησιμοποιούνται αστικά απόβλητα εξασφαλίζεται υψηλός βαθμός προστασίας του κοινού, των καταναλωτών και των αγροτών. Τα συστήματα τοπικής άρδευσης θεωρούνται ιδανικά για άρδευση με υγρά αστικά απόβλητα επειδή: **α)** αποτελούν κλειστά συστήματα και δεν εκθέτουν σε κίνδυνο τους αγρότες, **β)** δεν προκαλούν διασπορά των αποβλήτων με τον άνεμο, όπως υπάρχει πιθανότητα να συμβεί με τον καταιονισμό ή τα συστήματα ψεκασμού και **γ)** δεν δημιουργούν απώλειες απορροής προς γειτονικές περιοχές ή κινδύνους ρύπανσης των υπόγειων νερών από βαθιά διήθηση των αποβλήτων, όπως συμβαίνει με τις επιφανειακές μεθόδους. Βέβαια, τα συστήματα αυτά είναι ακριβά και απαιτούν υψηλής ποιότητας επεξεργασμένα υγρά αστικά απόβλητα, για να αποφευχθεί η έμφραξη των οπών εξόδου του νερού λόγω φυσικών, χημικών και βιολογικών αιτιών. Η

ύπαρξη στερεών τεμαχιδίων στα υγρά αστικά απόβλητα που δέχθηκαν δευτεροβάθμια επεξεργασία και η ανάπτυξη μικροοργανισμών στους σταλακτήρες μπορεί να δημιουργήσουν προβλήματα που ξεπερνιούνται με τη χρήση χαλικοφίλτρων και το συχνό καθάρισμά τους με άφθονο νερό (Papadopoulos and Stylianos, 1988). Η χλωρίωση των αποβλήτων είναι απαραίτητη για την αποφυγή ανάπτυξης βακτηριακής μάζας και φυκιών στο σύστημα διανομής τους. Επειδή η περιεκτικότητα του ασβεστίου στα απόβλητα είναι συνήθως υψηλή, πρέπει να υπολογίζεται ο δείκτης LSI (Nakayama and Bucks 1985, Πανώρας κ.ά. 1992), που εκφράζει τον πιθανό κίνδυνο έμφραξης των σταλακτών από την καθίζηση του ασβεστίου (Πανώρας και Ηλίας, 1999).

4.3 Υπόγεια στάγδην άρδευση

4.3.1 Γενικά

Η στάγδην άρδευση, επιφανειακή ή υπόγεια, ανήκει στις μεθόδους τοπικής ή μερικής άρδευσης. Έτσι χαρακτηρίζονται οι μέθοδοι εκείνες, που χορηγούν το νερό απευθείας στη ζώνη της μεγαλύτερης ριζικής δραστηριότητας των φυτών και μόνο εκεί, σε αντίθεση με τις διάφορες παραδοσιακές μεθόδους που χορηγούν το νερό σε όλη (κατάκλυση, καταιονισμός) ή σχεδόν σε όλη (αυλάκια) την έκταση που καταλαμβάνει η καλλιέργεια.

Η στάγδην άρδευση συνίσταται στην εφαρμογή νερού υπό μορφή σταγόνων στην περιοχή του ριζοστρώματος των φυτών, έτσι ώστε κάθε φυτό χωριστά να εφοδιάζεται με την απαραίτητη για την κανονική του ανάπτυξη και απόδοση υγρασία, με τη βοήθεια ειδικών σταλακτών (drippers ή emitters), που είναι τοποθετημένοι σε ορισμένες αποστάσεις επάνω σε σωλήνες από πολυαιθυλένιο, πολύ μικρής διαμέτρου οι οποίοι είναι απλωμένοι στο έδαφος κατά μήκος των γραμμών φύτευσης των φυτών.

Ιστορικά, θα μπορούσε να πει κανείς, ότι η πρώτη παρατήρηση των πλεονεκτημάτων της άρδευσης με μικρές παροχές έγινε το 1860 στη Γερμανία, όταν οι γεωργοί χρησιμοποιούσαν ένα στραγγιστικό σύστημα από πηλοσωλήνες με ανοιχτούς αρμούς για άρδευση και στράγγιση ταυτόχρονα. Η απόδοση των καλλιεργειών στην περιοχή αυξήθηκε σημαντικά (Σακελλαρίου, 2003).

Η μέθοδος της στάγδην άρδευσης ή άρδευσης με σταγόνες (drip irrigation) αρχικά εφαρμόστηκε για την άρδευση λαχανικών, οπωρώνων και αμπελώνων αλλά τα τελευταία όμως χρόνια έχει επεκταθεί στην άρδευση των περισσότερων γραμμικών καλλιεργειών (Τερζίδης και Παπαζαφειρίου, 1997).

Η υπόγεια στάγδην άρδευση είναι μια εναλλακτική μορφή της συμβατικής επιφανειακής στάγδην άρδευσης. Τα λάστιχα είναι τοποθετημένα σε ορισμένο βάθος κάτω από την επιφάνεια του εδάφους, το οποίο εξαρτάται από τις καλλιεργητικές πρακτικές και από την καλλιέργεια που πρόκειται να αρδευτεί.

Η υπόγεια στάγδην άρδευση είναι πιθανόν η πιο παλιά από τα μοντέρνα συστήματα άρδευσης. Οι Phene et al. (1983, 1993) αναφέρουν ότι στην Αμερική, το 1913, καλλιεργούνταν μήλα, μηδική και δημητριακά με τη χρήση υπόγειων πορωδών σωλήνων. Ακόμη αναφέρουν ότι επειδή η μέθοδος ήταν ακριβή για μικρές καλλιέργειες η χρήση της συνιστούσαν μόνο σε εντατικές καλλιέργειες.

Το 1930 ένας Ισραηλινός μηχανικός ο Symeh Blass, παρατήρησε ότι δίπλα σε μία κάνουλα που είχε διαρροή, η ανάπτυξη των φυτών ήταν μεγαλύτερη. Έτσι στη αρχή κατασκεύασε ένα υπόγειο σύστημα αγωγών στο οποίο ενσωμάτωσε διόδους νερού τύπου σπράλ, αρκετού μήκους. Η τεχνική αυτή αργότερα βελτιώθηκε από τον ίδιο και από άλλους κατασκευαστές, ιδίως μετά την εμφάνιση των πλαστικών σωλήνων στην αγορά (Σακελλαρίου, 2003).

Η υπόγεια στάγδην άρδευση αναπτύχθηκε τεχνολογικά πριν 50 χρόνια περίπου στις Η.Π.Α. και τη Μεγάλη Βρετανία με τη λήξη του Β΄ Παγκοσμίου πολέμου, εξαιτίας της χαμηλής τιμής των υλικών PE και PVC (“πλαστική επανάσταση”).

Η εφαρμογή της μεθόδου στη δυτική ακτή των Η.Π.Α. για την άρδευση χορτοδοτικών αλλά και καλλωπιστικών φυτών δίπλα σε λεωφόρους, είχε ως συνέπεια την ταχεία εξάπλωση αυτής σε ολόκληρο τον κόσμο.

Η μαθηματική θεωρία που αφορά τη διήθηση και την πλευρική μετακίνηση του αρδευτικού νερού στην υπόγεια άρδευση με σταγόνα

αναπτύχθηκε αρκετά νωρίς από τους Philip (1968) και Zachman και Thomas (1973).

Χρησιμοποιήθηκε αρχικά σε μεγάλης αξίας καλλιέργειες όπως τα οπωροφόρα δέντρα, τα λαχανικά, τα καρύδια, το ζαχαροκάλαμο, το βαμβάκι κ.ά. Αργότερα χρησιμοποιήθηκε και σε καλλιέργειες αμπέλου. Ήδη από το 1959 χρησιμοποιείται κατά κόρον σε μεγάλες εκτάσεις της Καλιφόρνιας, της Χαβάης και του Τέξας των Η.Π.Α. εξαιτίας της έλλειψης σε αρδευτικό νερό των περιοχών αυτών (Phene et al., 1992).

Το 1986 ο Phene σε πειράματα τομάτας αυξάνει τη μέση παραγωγή, από 30 t/acre με τη χρήση παραδοσιακών μεθόδων επιφανειακής άρδευσης, σε 50 έως 60 t/acre με τη χρήση υπόγειας στάγδην άρδευσης.

Την επίδραση της υπόγειας στάγδην άρδευσης σε ζαχαρότευτλα μελετούν οι Amaducci et al. (1989) στη βόρεια και νότια Ιταλία και παρατήρησαν αύξηση της συνολικής παραγωγής ζάχαρης. Επίσης, στην Ελλάδα έχει αξιολογηθεί η επιφανειακή και η υπόγεια στάγδην άρδευση σε καλλιέργεια ζαχαρότευτλων (Σακελλαρίου - Μακραντωνάκη κ.ά., 2000) όπου διαπιστώθηκε αύξηση του βάρους των ριζών και του ζαχαρικού τίτλου, καθώς και υψηλότερες τιμές υγρασίας σε μεγαλύτερα βάθη του εδάφους κάτω από συνθήκες υπόγειας στάγδην άρδευσης.

Στο Ισραήλ, οι Oron et al. (1992) αρδεύουν με υπόγεια σταγόνα καλλιέργειες λαχανικών και φρούτων με τη χρήση απόβλητου ύδατος μετά από δευτεροβάθμια επεξεργασία με ικανοποιητικά αποτελέσματα.

Οι Hutmacher et al. (1992) επιτυγχάνουν μεγάλη μείωση του συνολικού κόστους άρδευσης και υλικών με την εφαρμογή της υπόγειας στάγδην άρδευσης σε λιβαδικές καλλιέργειες. Ταυτόχρονα επιτυγχάνεται μείωση της επιφανειακής εξάτμισης καθώς το έδαφος παραμένει ξηρό μετά από κάθε εφαρμογή.

Σε πείραμα που πραγματοποίησαν οι Phene et al. (1992) σε αργιλοπηλώδες έδαφος παρατήρησαν ότι η τοποθέτηση του υπόγειου δικτύου άρδευσης στα 45 cm βάθος από την επιφάνεια του εδάφους, είχε ως αποτέλεσμα τη διατήρηση της εδαφικής υγρασίας κοντά στο τμήμα του ενεργού ριζοστρώματος σε απολύτως ικανοποιητικά ποσοστά.

Το 1993 χρησιμοποιείται για πρώτη φορά το Trifluralin – 5 στην υπόγεια άρδευση ως ριζοαπωθητικό. Κατασκευάζεται με το εμπορικό όνομα RootGuard. Η ενσωμάτωση του ζιζανιοκτόνου Treflan στους σταλακτήρες και η αργή

αποδέσμευσή του οδηγεί στην παύση παρείσφρησης της ρίζας παράπλευρα και εντός των σταλακτήρων. Η κατασκευάστρια εταιρεία εγγυάται μάλιστα άριστη λειτουργία του συστήματος για 10 έως 20 χρόνια ανάλογα με τον τρόπο εγκατάστασης και συντήρησης.

Σε πειράματα στη Χαβάη το 1994 ο καθηγητής I Pai Wu αναφέρει ότι η κατανάλωση ενέργειας της αντλίας για την παροχή νερού στην υπόγεια στάγδην άρδευση είναι μειωμένη σε ποσοστό 30 έως 90 % σε σχέση με την ενέργεια που απαιτείται για άρδευση με τεχνητή βροχή της αντίστοιχης καλλιεργήσιμης έκτασης.

Η βελτίωση της μεθόδου οφείλεται κυρίως σε Ισραηλινές εταιρείες οι οποίες επένδυσαν σημαντικό χρόνο και χρήμα στην εξέλιξή της. Οι Shani et al. (1996) απέδειξαν ότι η παροχή του σταλάκτη στην υπόγεια στάγδην άρδευση εξαρτάται από την τιμή της υδραυλικής αγωγιμότητας.

Οι Zoldoske et al. (1998) στα συμπεράσματά τους αναφέρουν σημαντική αύξηση σε παραγωγή σταφυλιών ανά συστάδα σε καλλιέργεια αμπέλου η οποία αρδεύτηκε με υπόγεια στάγδην άρδευση, σε αντίθεση με την επιφανειακή στάγδην, και μάλιστα με μειωμένες δόσεις άρδευσης σε ποσοστό 20 % επί της ημερήσιας τιμής εξατμισοδιαπνοής. Επιτεύχθηκε επίσης με την υπόγεια άρδευση μεγαλύτερη ισορροπία στο χρόνο ωρίμανσης της καλλιέργειας.

Ο Ruskin (2000) αναφέρει ότι το σύστημα υπόγειας στάγδην άρδευσης μπορεί να εφαρμόζεται σε μικρά, συχνά ποσά, επειδή σε εδάφη μέσης και βαριάς υφής η κίνηση του νερού στο έδαφος οφείλεται κυρίως στις τριχοειδείς δυνάμεις. Έτσι εφαρμόζοντας την ίδια ποσότητα νερού, επιτυγχάνεται ακόμη και 46 % αποταμίευση νερού με το σύστημα υπόγειας στάγδην άρδευσης.

Η μέθοδος της υπόγειας στάγδην άρδευσης γίνεται όλο και περισσότερο γνωστή ανά τον κόσμο και πιστεύεται ότι θα αντικαταστήσει στο άμεσο μέλλον την επιφανειακή στάγδην άρδευση σε μεγάλο ποσοστό καλλιεργήσιμων εκτάσεων.

Η μικρή απαίτηση της μεθόδου σε εργατικά ημερομίσθια τα οποία έχουν σημειώσει μεγάλη άνοδο και οι υψηλές αποδόσεις των καλλιεργειών όπου χρησιμοποιείται, τείνουν να καλύψουν το υψηλό κόστος εγκατάστασης και συντελούν στην περαιτέρω εξάπλωσή της (Σακελλαρίου, 2003).

Στην Ελλάδα η υπόγεια στάγδην άρδευση δεν έχει εφαρμοστεί ακόμη, παρά μόνο πειραματικά, σε αντίθεση με την επιφανειακή στάγδην άρδευση.

παρά το γεγονός ότι το νερό άρδευσης βρίσκεται σε έλλειμμα και παρά το ότι σε πολλές άλλες χώρες η υπόγεια στάγδην άρδευση έχει γίνει αποδεκτή και εφαρμόσιμη μέθοδος.

4.3.2 Περιγραφή του συστήματος υπόγειας στάγδην άρδευσης

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

Η **κεφαλή** ή **μονάδα ελέγχου** συνδέεται με την υδροληψία ή το αντλητικό συγκρότημα.

Αποτελείται από διάφορα μέρη (Γιακουμάκης, 1985). Τα μέρη αυτά είναι: ένα υδρόμετρο που καταγράφει την ποσότητα νερού που ξοδεύεται για τη χρέωση και μπορεί να ρυθμιστεί κατά τέτοιο τρόπο ώστε το συγκρότημα να διακόπτει την παροχή ύστερα από τη διέλευση της επιθυμητής ποσότητας νερού.

Μπορεί να περιλαμβάνονται επίσης ανάλογα με την καθαρότητα του νερού μηχανισμοί για τη συγκράτηση φερτών υλών μεγαλύτερου ειδικού βάρους από το νερό (υδροκυκλώνας) ή φίλτρα για τη συγκράτηση ελαφρύτερων υλικών (φίλτρα χαλικιών ή σίτας) ώστε να μην αποφράσσονται οι σταλακτήρες. Καλό είναι να υπάρχουν μετρητές πιέσεων πριν και μετά το φίλτρο ώστε να εκτιμάται μέχρι ποιο σημείο το φίλτρο έχει βουλώσει.

Η κεφαλή μπορεί να είναι εφοδιασμένη και με δοχείο λίπανσης μέσα στο οποίο τοποθετείται η ποσότητα του λιπάσματος, από το οποίο το νερό που περνάει μέσα από το δίκτυο παίρνει την επιθυμητή ποσότητα λιπάσματος. Επίσης μπορεί στο διάλυμα να χρησιμοποιηθούν και ζιζανιοκτόνα, μυκητοκτόνα ή νηματοκτόνα φάρμακα (Σακελλαρίου, 2003).

Τέλος, στη μονάδα ελέγχου μπορεί να χρησιμοποιηθούν μηχανισμοί όπως π.χ. ένας προγραμματιστής για την αυτοματοποίηση της λειτουργίας του δικτύου (Τερζίδης και Παπαζαφειρίου, 1997).

Το **δίκτυο μεταφοράς** αποτελείται από τους κύριους και τους δευτερεύοντες αγωγούς. Οι κύριοι μεταφέρουν το νερό από την πηγή του στους δευτερεύοντες αγωγούς. Οι κύριοι είναι κατασκευασμένοι από πολυαιθυλένιο (PE) ή άκαμπτο χλωριούχο πολυβινύλιο (PVC) ή γαλβανισμένο ατσάλι. Οι δευτερεύοντες είναι από πολυαιθυλένιο ή άκαμπτο ή εύκαμπτο PVC. Οι δευτερεύοντες αγωγοί μεταφέρουν το νερό από τους κύριους αγωγούς στους αγωγούς εφαρμογής. Το δίκτυο μεταφοράς μπορεί να είναι υπέργειο (PE) ή υπόγειο (PVC). Στη δεύτερη περίπτωση εξασφαλίζεται προστασία των αγωγών από τις καιρικές συνθήκες και ευκολότερη μετακίνηση των γεωργικών μηχανημάτων.

Το **δίκτυο εφαρμογής** αποτελείται από αγωγούς μικρότερης εξωτερικής διαμέτρου (12 – 32 mm), στους οποίους, σε προκαθορισμένες θέσεις, τοποθετούνται ή ενσωματώνονται οι σταλακτήρες. Μεταφέρουν το νερό από τους δευτερεύοντες αγωγούς στους σταλακτήρες μέσω των οποίων το νερό φθάνει στο έδαφος με τη μορφή σταγόνων. Είναι κατασκευασμένοι από πολυαιθυλένιο ή εύκαμπτο PVC. Πρέπει να είναι μη διαβρώσιμοι, ανθεκτικοί και εύχρηστοι. Αντέχουν σε πίεση 4 - 6 atm.

Πολλές φορές η πίεση κυμαίνεται λόγω του ανάγλυφου του αγρού. Σ' αυτές τις περιπτώσεις τοποθετούνται ρυθμιστές πίεσης οι οποίοι μειώνουν μία υψηλότερη της επιθυμητής πίεσης εισόδου και διατηρούν μία σταθερή προκαθορισμένη πίεση εξόδου (Σακελλαρίου, 2003).

Βάση του συστήματος στάγδην άρδευσης είναι οι **σταλακτήρες**. Το νερό εμφανίζεται στην έξοδο των σταλακτήρων με τη μορφή σταγόνων κατά τακτά χρονικά διαστήματα, έτσι ώστε σε κάθε θέση να διηθούνται στο έδαφος λίγα λίτρα νερού την ώρα (Τερζίδης και Παπαζαφειρίου, 1997). Οι παροχές των σταλακτήρων κυμαίνονται από 1 - 10 l/h σε πίεση 0,2 - 2 atm.

Κατασκευάζονται από σκληρή πλαστική ύλη, συνήθως από πολυπροπυλένιο, είναι μαύρου χρώματος και διαφόρου σχήματος ή μεγέθους.

Οι σταλακτήρες αποτελούν το 1/3 του συνολικού κόστους ενός συστήματος άρδευσης με σταγόνες (Σακελλαρίου, 2003). Στην αγορά συναντώνται σε διάφορους τύπους, καθένας με τις δικές του ιδιότητες. Οι αυτορυθμιζόμενοι σταλακτήρες είναι κατά κανόνα και αυτοκαθαριζόμενοι και είναι ο τύπος που χρησιμοποιείται περισσότερο σήμερα (Τερζίδης και Παπαζαφειρίου, 1997).

Σύμφωνα με τους Phene et al. (1995), ο σχεδιασμός και η λειτουργία των υποεπιφανειακών στάγδην συστημάτων εξελίχθηκε με το χρόνο, αλλά τα υποεπιφανειακά στάγδην συστήματα διαφέρουν ελάχιστα από τα επιφανειακά συστήματα, εκτός από τρία σημαντικά κριτήρια:

α) Πρέπει να τοποθετηθούν βαλβίδες ανακούφισης σε αρκετά σημεία, κυρίως στα υψηλότερα υψομετρικά σημεία του συστήματος.

β) Τα συστήματα υπόγειας στάγδην άρδευσης απαιτούν συχνή πλύση των πρωτευόντων και πλευρικών αγωγών, ειδικότερα κατά τη διάρκεια των 6 πρώτων μηνών της λειτουργίας τους.

γ) Επειδή το ριζικό σύστημα των φυτών που αρδεύονται με υπόγεια στάγδην άρδευση είναι βαθύτερα, η λίπανση των καλλιεργειών καθίσταται ιδιαιτέρως σημαντική από τη στιγμή που το ριζικό σύστημα επεκτείνεται σε έδαφος με έλλειψη θρεπτικών στοιχείων.

Ένα τέταρτο σημείο στο οποίο θα μπορούσαμε να πούμε ότι διαφέρουν τα υποεπιφανειακά συστήματα στάγδην άρδευσης από τα επιφανειακά είναι ότι στο υπόγειο σύστημα στάγδην άρδευσης είναι απαραίτητο να χορηγούνται στο δίκτυο ουσίες ριζοαπωθητικές έτσι ώστε να μην γίνει έμφραξη του δικτύου λόγω της αύξησης του ριζικού συστήματος (Αλεξίου κ.ά. 2003, Γεωργία – Κτηνοτροφία 1996).

4.3.3 Πλεονεκτήματα υπόγειας στάγδην άρδευσης

Τα κυριότερα πλεονεκτήματα ενός συστήματος υπόγειας στάγδην άρδευσης είναι:

1. Αποτελεσματική χρήση του νερού. Το νερό εφαρμόζεται σε μικρές ποσότητες και υψηλές συχνότητες ενώ παράλληλα οι απώλειες λόγω εξάτμισης από το έδαφος ή διαπνοής από τα ζιζάνια δεν υφίστανται καθώς η υγρή ζώνη περιορίζεται κατά μήκος του αγωγού εφαρμογής και μάλιστα κάτω από την επιφάνεια του εδάφους με αποτέλεσμα αυτή να παραμένει ξερή (Σακελλαρίου, 2003).

Σε καλλιέργεια τομάτας το κέρδος από την εφαρμογή υπόγειας στάγδην άρδευσης προκύπτει από το αυξανόμενο εισόδημα, λόγω μεγαλύτερης παραγωγής και την ετήσια μείωση του κόστους των παραδοσιακών καλλιεργητικών και ενεργειακών δαπανών, συγκρινόμενο με την άρδευση με καταιονισμό (Hanson et al., 2004).

2. Εφαρμογή σε δύσκολα εδάφη. Το σύστημα της στάγδην άρδευσης μπορεί να εφαρμοστεί σε όλους σχεδόν τους τύπους εδαφών, καθώς και σε αγρούς με περίεργους σχηματισμούς και ανώμαλη τοπογραφία χωρίς την ανάγκη ισοπέδωσης.

3. Διατήρηση μικρών αρνητικών πιέσεων στο έδαφος. Η αρνητική πίεση του νερού στο έδαφος (η δύναμη με την οποία το νερό συγκρατείται από το έδαφος), παραμένει σε χαμηλά επίπεδα και έτσι τα φυτά μπορούν εύκολα να παραλάβουν το νερό. Η καλύτερη υγρασία για τα φυτά θεωρείται η υδατοϊκανότητα, δηλαδή η υγρασία που παραμένει στο έδαφος αφού απομακρυνθεί με τη στράγγιση το νερό της βαρύτητας, οπότε η αρνητική πίεση κυμαίνεται από 0 έως 3 ατμόσφαιρες.

Με τη στάγδην άρδευση ο παραγωγός μπορεί να ρυθμίσει την παροχή έτσι ώστε η υγρασία να βρίσκεται διαρκώς σε αυτά τα επίπεδα. Έτσι τα φυτά αναπτύσσονται χωρίς stress σε ένα ιδανικό περιβάλλον υγρασίας.

4. Πρωίμηση της παραγωγής. Ένα από τα ευνοϊκότερα αποτελέσματα της έλλειψης stress στα φυτά με την άρδευση με σταγόνες είναι ότι αναπτύσσονται ομοιόμορφα και φθάνουν έτσι στην ωρίμανση νωρίτερα από εκείνα που ποτίζονται με άλλες μεθόδους. Μία πρώιμη συγκομιδή πωλείται σε υψηλότερες τιμές, συνδυαζόμενη δε και με υψηλές αποδόσεις οι οποίες επιτυγχάνονται λόγω της ομοιόμορφης ανάπτυξης, μπορεί να δώσει το υψηλότερο επιθυμητό οικονομικό αποτέλεσμα.

5. Οικονομία νερού. Το σύστημα παρουσιάζει το μικρότερο βαθμό απωλειών. Η μείωση των απωλειών οφείλεται στο ότι η εξάτμιση από την επιφάνεια του εδάφους είναι σημαντικά μειωμένη αφού το σύστημα έχει την ικανότητα διαβροχής του εδάφους κάτω από τη ριζική ζώνη με αποτέλεσμα η επιφάνεια του εδάφους να παραμένει στεγνή. Στην οικονομία νερού συντελεί επίσης, και η μείωση των απωλειών από επιφανειακή απορροή και βαθιά διήθηση.

6. Οικονομικά και ενεργειακά οφέλη. Το κόστος εγκατάστασης ενός υπόγειου συστήματος στάγδην άρδευσης είναι υψηλότερο από τις άλλες μεθόδους. Αυτό είναι οπωσδήποτε ένα μειονέκτημα της μεθόδου το οποίο όμως αντισταθμίζεται από το κόστος άντλησης (κατανάλωση ενέργειας) και το κόστος της εργασίας που είναι χαμηλότερα. Στα προτερήματα αυτά προστίθεται και ο μεγάλος βαθμός απόδοσης ενός συστήματος υπόγειας στάγδην άρδευσης.

7. Πλεονεκτεί σε περιοχές όπου το νερό που διατίθεται για την άρδευση παρουσιάζει έλλειμμα ή είναι πολύ ακριβό, γιατί δίνει τη δυνατότητα εφαρμογής στην άρδευση συγκεκριμένης ποσότητας νερού (Σακελλαρίου, 2003).

Σε καλλιέργεια καλαμποκιού οι απαιτήσεις άρδευσης, με τη χρήση υπόγειας στάγδην άρδευσης μπορούν να μειωθούν κατά 25 % ή και περισσότερο (Lamm et al., 1995).

8. Η εφαρμογή θρεπτικών ουσιών γίνεται με μεγαλύτερη ακρίβεια διότι γίνεται απευθείας στη ζώνη διαβροχής και έτσι απορροφάται γρήγορα από τα φυτά (Σακελλαρίου, 2003). Παράλληλα με τη μείωση του κόστους των λιπασμάτων μειώνονται και οι απώλειες των νιτρικών (Phene, 1999).

Ο Solomon (1993) αναφέρει ότι όταν χρησιμοποιείται το σύστημα της υπόγειας στάγδην άρδευσης το νερό άρδευσης και τα διάφορα χημικά λιπάσματα, εφαρμόζονται απευθείας στη ρίζα. Αυτό είναι ένα σημαντικό πλεονέκτημα για τα θρεπτικά συστατικά που έχουν μικρή κινητικότητα στο έδαφος.

9. Αυξάνονται οι πιθανότητες χρησιμοποίησης νερού υποβαθμισμένης ποιότητας. Μικρότερες και πιο συχνές εφαρμογές άρδευσης μπορούν να διατηρήσουν ένα πιο συνεκτικό και μικρότερο περίβλημα εδάφους, το οποίο μειώνει τους κινδύνους της αλατότητας, γιατί έτσι μειώνεται η αλατότητα στην περιοχή του ενεργού ριζοστρώματος (Al-Omran et al., 2004).

Επίσης, η υπόγεια στάγδην άρδευση δίνει τη δυνατότητα άρδευσης με τη χρήση υγρών αποβλήτων (Σακελλαρίου κ.ά., 2003, 2004). Το σύστημα υπόγειας στάγδην άρδευσης θεωρείται η πλέον αποδεκτή μέθοδος διάθεσης των υγρών αστικών αποβλήτων για γεωργική χρήση γιατί έχει πολλά πλεονεκτήματα μεταξύ των οποίων η μειωμένη ανθρώπινη επαφή με τα υγρά απόβλητα και η μη ύπαρξη ανάγκης για τριτοβάθμια επεξεργασία.

10. Επιτυγχάνεται μεγαλύτερη ομοιομορφία κατά την εφαρμογή του νερού.

11. Με την εφαρμογή του υπόγειου συστήματος στάγδην άρδευσης βελτιώνεται η υγεία των φυτών εφόσον το φύλλωμα των φυτών δεν διαβρέχεται. Η υπόγεια στάγδην άρδευση δεν διαβρέχει τα φύλλα και έτσι δεν εκπλύνονται τα φυτοφάρμακα από την επιφάνεια τους.

Η εμφάνιση ασθενειών λόγω ζιζανίων και μυκήτων μειώνεται λόγω του μειωμένου περιεχόμενου υγρασίας του εδάφους. Επίσης η ανάπτυξη ζιζανίων περιορίζεται γιατί η επιφάνεια του αγρού παραμένει ξερή ενώ σε περίπτωση εμφάνισης ζιζανίων αυτά καταπολεμούνται έγκαιρα με την εφαρμογή ζιζανιοκτόνων, αφού το ψεκαστικό μηχάνημα μπορεί εύκολα να κινηθεί οποιαδήποτε στιγμή (Henggeler 1995, Bui and Osgood 1990, Alam and Dumler 2002).

12. Παρατηρείται μεγαλύτερη και βαθύτερη ανάπτυξη των ριζών. Το σύστημα της υπόγειας στάγδην άρδευσης ευνοεί τη ριζική ανάπτυξη σε σύγκριση με την επιφανειακή στάγδην άρδευση. Εξαιτίας αυτών των φυσιολογικών διαφορών, παρατηρείται μικρότερη αναπνοή του ριζικού συστήματος σε φυτά που έχουν καλλιεργηθεί με υπόγεια στάγδην άρδευση, που έχει ως αποτέλεσμα μια σημαντική αύξηση της φωτοσύνθεσης.

Έχει παρατηρηθεί ότι το μήκος της ρίζας ανά μονάδα όγκου ξηρού εδάφους σε γλυκό καλαμπόκι, είναι μεγαλύτερο όταν καλλιεργείται με υπόγεια στάγδην άρδευση, σε σύγκριση με την απλή στάγδην άρδευση (Phene et al., 1983, 1993).

13. Προσφέρεται για αυτοματοποίηση της άρδευσης.

14. Το σύστημα της υπόγειας στάγδην άρδευσης πλεονεκτεί ως προς την ακεραιότητά του. Υπάρχουν λιγότερα μηχανοποιημένα τμήματα σε ένα τέτοιο σύστημα συγκρινόμενο με ένα σύστημα απλού ποτίσματος. Τα περισσότερα υλικά του συστήματος είναι πλαστικά και δεν υπόκεινται σε διάβρωση. Τα συστήματα υπόγειας στάγδην άρδευσης δεν απαιτούν απομάκρυνση και επανεγκατάσταση μεταξύ των καλλιεργειών και έτσι προκαλούν μικρότερη καταστροφή στην καλλιέργεια (Schwankl, 2002).

15. Το σύστημα δεν εκτίθεται σε υπερϊώδη ακτινοβολία και δεν υποβάλλεται σε εναλλαγές ξηρού – υγρού ή ζεστού και κρύου με αποτέλεσμα ο σταλάζων σωλήνας να είναι λιγότερο επιρρεπής στη φθορά και να έχουμε μεγαλύτερη διάρκεια ζωής των υλικών.

16. Η επιφάνεια του εδάφους διατηρείται ξηρή, με εξαίρεση τις περιόδους των βροχοπτώσεων, και έτσι διευκολύνεται η κίνηση των γεωργικών μηχανημάτων και παρατηρείται μικρότερη διάβρωση του εδάφους. Οι καλλιεργητικές εργασίες όπως ψεκάσμοι, συγκομιδή, κλαδέματα μπορούν να γίνουν οποιαδήποτε στιγμή κρίνει ο καλλιεργητής και χωρίς να διακόπτεται η άρδευση.

17. Το σύστημα ευνοεί την εφαρμογή διπλοκαλλιεργειών γιατί οι σωληνώσεις του συστήματος δεν απαιτούν μετακίνηση και επανατοποθέτηση.

18. Κάτω από συνθήκες υπόγειας στάγδην άρδευσης, επιτυγχάνεται καλύτερη ποιότητα και μεγαλύτερη παραγωγή για τις καλλιέργειες.

Σαφής υπεροχή της υπόγειας στάγδην άρδευσης έναντι της επιφανειακής στάγδην άρδευσης, με μεγαλύτερους ρυθμούς αύξησης και σημαντικά μεγαλύτερη τελική απόδοση ξηρής βιομάζας, με παράλληλη εξοικονόμηση αρδευτικού νερού, ήταν το αποτέλεσμα πειραματικής μελέτης σε καλλιέργεια σόργου (Σακελλαρίου – Μακραντωνάκη κ.ά., 2003).

19. Παρεμποδίζει την αποσύνθεση των ριζών και άλλες ασθένειες του εδάφους καθώς και το σχηματισμό επιφανειακής κρούστας που δυσχεραίνει τον αερισμό και την είσοδο του νερού της βροχής στο έδαφος..

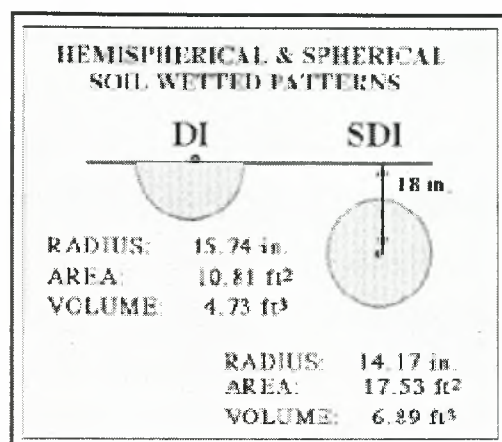
20. Η μόνιμη εγκατάσταση του σε κάποιο βάθος κάτω από την επιφάνεια του εδάφους, μειώνει τη χειρωνακτική εργασία της οποίας το κόστος είναι μεγάλο στις αναπτυγμένες χώρες.

Έχει αποδειχθεί ότι υπάρχει μια αύξηση στον όγκο του βρεγμένου εδάφους (έδαφος με σφαιρικό σχήμα) κατά την εφαρμογή συστήματος υπόγειας στάγδην άρδευσης (Phene, 1999). Για μια δεδομένη ποσότητα παρεχόμενου νερού σε εύφορο αργιλώδες έδαφος έχει αποδειχθεί ότι:

1. Ο σφαιρικός όγκος που διαβρέχεται με το σύστημα υπόγειας στάγδην άρδευσης είναι κατά 46 % μεγαλύτερος από τον ημισφαιρικό όγκο που διαβρέχεται με το σύστημα επιφανειακής στάγδην άρδευσης.

2. Η αντίστοιχη βρεγμένη περιοχή εδάφους που είναι διαθέσιμη για την προσρόφηση νερού από τη ρίζα είναι κατά 62 % μεγαλύτερη στην υπόγεια από ότι στην επιφανειακή άρδευση αποκλείοντας στην τελευταία την υγρή επιφάνεια του εδάφους και,

3. Η ακτίνα διαβροχής είναι κατά 10 % μικρότερη στο σύστημα υπόγειας από αυτή στο σύστημα επιφανειακής στάγδην άρδευσης (**Εικόνα 4.1**).



Εικόνα 4.1. Διαφορές στα γεωμετρικά χαρακτηριστικά του ημισφαιρικού και σφαιρικού διαβρεχόμενου σχεδίου της στάγδην άρδευσης και της υπόγειας στάγδην άρδευσης αντίστοιχα.

Συνέπεια όλων των παραπάνω είναι τα εξής:

α) ο όγκος του εδάφους που είναι βρεγμένος με το σύστημα υπόγειας στάγδην άρδευσης να έχει μικρότερη περιεκτικότητα σε νερό από ότι στο σύστημα της επιφανειακής,

β) η αντίστοιχη βρεγμένη περιοχή που διατίθεται για τη λήψη ύδατος και θρεπτικών στοιχείων από τη ρίζα να είναι μεγαλύτερη στο σύστημα υπόγειας στάγδην άρδευσης και,

γ) η πιο μικρή ακτίνα διαβροχής στην υπόγεια στάγδην άρδευση επιτρέπει μικρότερα διαστήματα μεταξύ των σταλακτήρων με αποτέλεσμα την καλύτερη ύγρανση και ομοιομορφία διανομής του νερού.

Όσον αφορά τα παραπάνω συμπεράσματα, σύμφωνα με τον Oron et al. (1999), η μορφή του βρεγμένου όγκου του εδάφους για την υπόγεια στάγδην άρδευση δεν είναι η παραπάνω, λόγω του ότι η βαρύτητα τροποποιεί τη μορφή του ανώτερου σχεδίου με αποτέλεσμα αυτή να είναι πολύ πιο σύνθετη και να επηρεάζεται από τα εδαφολογικά χαρακτηριστικά και την κατανομή της ρίζας.

Με όλα τα δυνητικά πλεονεκτήματα της υπόγειας στάγδην άρδευσης, η αναγωγή σε υπόγεια στάγδην άρδευση ενός ήδη υπάρχοντος συστήματος άρδευσης αυξάνει το κόστος παραγωγής, γι' αυτό θα πρέπει να υπάρχει ένα σημαντικό οικονομικό πλεονέκτημα για τους καλλιεργητές, ώστε να επιλέξουν αυτή τη μέθοδο άρδευσης.

4.3.4 Μειονεκτήματα υπόγειας στάγδην άρδευσης

Τα σημαντικότερα μειονεκτήματα ενός συστήματος υπόγειας στάγδην άρδευσης είναι τα παρακάτω:

1. Κόστος εγκατάστασης. Οποσδήποτε το κόστος της πρώτης εγκατάστασης είναι σημαντικό, οι παρατηρούμενες όμως υψηλές αποδόσεις των καλλιεργειών σε συνδυασμό με το μικρό ποσοστό εργατικών χεριών που απαιτεί η μέθοδος και χάρη στη μείωση του κόστους λόγω της βιομηχανικής παραγωγής των σωληνώσεων και άλλων εξαρτημάτων, τείνουν να εμφανίσουν αμελητέο το εν λόγω μειονέκτημα.

2. Εμφράξεις σταλακτήρων. Διακρίνονται σε: α) Μηχανικές εμφράξεις οι οποίες οφείλονται στην παρουσία στερεών σωματιδίων στο νερό άρδευσης. β) Χημικές εμφράξεις οι οποίες οφείλονται σε ιζήματα σιδήρου ή ασβεστίου, καθίζηση ανθρακικών αλάτων τα οποία συσσωρεύονται με τη βοήθεια βακτηρίων. γ) Βιολογικές ή οργανικές εμφράξεις οι οποίες οφείλονται στην ανάπτυξη μικροοργανισμών στους σωλήνες (βακτήρια, μύκητες, άλγη, πρωτόζωα), οι οποίοι υπό μορφή αποικιών φράζουν τους σταλακτήρες.

3. Συσσώρευση αλάτων. Τα άλατα συσσωρεύονται στην περιφέρεια της υγρής ζώνης. Αυτά μπορεί να προκαλέσουν προβλήματα στις επόμενες καλλιέργειες αν αρδευτούν με μία άλλη μέθοδο άρδευσης κυρίως σε ξηρές περιοχές όπου οι βροχές δεν είναι αρκετές για να εκπλύνουν τα άλατα. Το πρόβλημα ελαττώνεται αν γίνει άρδευση με καταιονισμό ή επιφανειακή ή αν η επόμενη καλλιέργεια αρδεύεται πάλι με σταγόνες.

4. Μηχανικές ζημιές. Προκαλούνται από τα καλλιεργητικά μηχανήματα ή τα ζώα (τρωκτικά) (Σακελλαρίου, 2003).

5. Προβλήματα επίσης παρουσιάζονται και με το φιλτράρισμα του νερού. Όπως και σε όλα τα συστήματα μικροάρδευσης, το φιλτράρισμα του νερού αποτελεί παράγοντα - κριτήριο για τη σωστή λειτουργία και διατήρηση του συστήματος.

6. Με την εφαρμογή του συστήματος παρατηρούνται δυσκολίες στην παρακολούθηση και αξιολόγηση της άρδευσης. Η εφαρμογή του νερού με το σύστημα δεν μπορεί να παρακολουθηθεί και αυτό καθιστά δύσκολη την εκτίμηση της λειτουργίας του συστήματος και την ομοιομορφία της εφαρμογής.

Απαιτείται παρακολούθηση των ροόμετρων και των καταστολέων πίεσης για τη διαπίστωση της σωστής λειτουργίας του συστήματος.

Ο Schwankl, 2002 κατά τον πειραματισμό του σε αμύγδαλα, για την παρακολούθηση της άρδευσης προτείνει τη χρήση οπτικών δεικτών.

7. Απαιτείται η επιλογή ζιζανιοκτόνων που δεν απαιτούν υγρασία για να ενεργοποιηθούν, μιας και με το σύστημα υπόγειας στάγδην άρδευσης όλη η επιφάνεια του εδάφους παραμένει ξηρή.

8. Ένα άλλο πρόβλημα αφορά στο διάστημα μεταξύ των σειρών και τις εναλλαγές των καλλιεργειών. Καθώς το σύστημα στάγδην άρδευσης παρέχεται με βάση συγκεκριμένες αποστάσεις, πολλές φορές είναι πιο δύσκολος ο χειρισμός καλλιεργειών με διαφορετικό διάστημα σειρών (μερικές καλλιέργειες απαιτούν πολύ κοντινά διαστήματα τοποθέτησης των γραμμών στάλαξης).

9. Απαιτείται επιπλέον άρδευση φυτρώματος αφού με το σύστημα υπόγειας στάγδην άρδευσης το επιφανειακό στρώμα του εδάφους παραμένει ξηρό, οπότε δεν παρέχεται η αναγκαία υγρασία για το φύτευμα των σπόρων.

10. Τα συστήματα υπόγειας στάγδην άρδευσης σχεδιάζονται για μικρότερη διάρκεια ζωής σε σχέση με τα συμβατικά συστήματα, που σημαίνει ότι η ετήσια υποτίμηση του κόστους πρέπει να αυξηθεί ώστε να μπορεί να αντικατασταθεί το σύστημα.

Η αυξημένη μακροζωία του συστήματος υπόγειας άρδευσης είναι πιθανόν ο σημαντικότερος παράγοντας για την υπερίσχυση του στον οικονομικό ανταγωνισμό με το σύστημα του περιστροφικού αρδευτή (Lamm et al., 2003).

11. Το φράξιμο των σταλακτήρων που προκαλείται από την παρείσφρηση ρίζας είναι ένα σημαντικό πρόβλημα του συστήματος υπόγειας στάγδην άρδευσης, αλλά μπορεί να ελαχιστοποιηθεί με τη χρήση χημικών ουσιών, με κατάλληλο σχεδιασμό των σταλακτήρων και με σωστή διαχείριση της άρδευσης (Camp R. C. et al., 2000).

Έχει παρατηρηθεί ότι μια σφαιρική περιοχή διαμέτρου 2,54 cm γύρω από τους σταλακτήρες παρέμεινε καθαρή από την παρουσία ριζών, όταν χρησιμοποιήθηκε ζιζανιοκτόνο Treflan. Στο ίδιο πείραμα παρατηρήθηκε ότι στους σταλακτήρες τύπου Techline της εταιρίας Netafim, δεν παρουσιάστηκε το πρόβλημα παρείσφρησης ρίζας (Solomon and Jorgensen, 1993).

12. Υψηλός βαθμός συντήρησης του συστήματος. Χρειάζεται συνεχής διατήρηση και επισκευή του συστήματος ενώ και η επιθεώρησή του είναι

δύσκολη. Οι διαρροές που προκαλούνται από τα τρωκτικά είναι δύσκολες στην επισκευή τους ειδικά όταν πρόκειται για συστήματα που είναι εγκατεστημένα σε μεγάλο βάθος.

Όσον αφορά το δίκτυο σταλακτηφόρων αγωγών στην υπόγεια στάγδην άρδευση που παραμένει μόνιμα στον αγρό, αναφέρεται ότι με κατάλληλο σχεδιασμό, εγκατάσταση και διαχείριση μπορεί να λειτουργήσει αξιόπιστα έως και 20 έτη (Camp et al., 2000).

ΕΓΚΑΤΑΣΤΑΣΗ ΤΟΥ ΠΕΙΡΑΜΑΤΟΣ – ΥΛΙΚΑ ΚΑΙ ΜΕΘΟΔΟΙ

5.1 Χάραξη του πειραματικού αγρού

Η επίδραση της υπόγειας στάγδην άρδευσης με επεξεργασμένα υγρά αστικά απόβλητα στην ανάπτυξη και απόδοση του γλυκού σόργου (*Sorghum bicolor* L.), ως ενεργειακού φυτού, και η αξιολόγηση της εξοικονόμησης νερού από τη χρήση υγρών αστικών αποβλήτων έναντι της χρήσης καθαρού νερού μελετήθηκε σε πείραμα αγρού (**Εικόνα 5.1**) στο Αγρόκτημα του Πανεπιστημίου Θεσσαλίας (Βελεστίνο) κατά την καλλιεργητική περίοδο του έτους 2006.

Τα χαρακτηριστικά της τοποθεσίας του αγροκτήματος ήταν γεωγραφικό πλάτος 39°23', γεωγραφικό μήκος 22°45' και 50 m υψόμετρο από την επιφάνεια της θάλασσας. Το κλίμα που επικρατεί στην περιοχή θεωρείται το τυπικό ηπειρωτικό κλίμα της ευρύτερης περιοχής της Μεσογείου, που χαρακτηρίζεται από μεγάλες διακυμάνσεις στη διάρκεια του χρόνου (ζεστά και ξηρά καλοκαίρια και ψυχροί – υγροί χειμώνες).

Το πείραμα διεξήχθη με την εφαρμογή ενός πλήρους τυχαιοποιημένου σχεδίου (τροποποιημένο) το οποίο περιλάμβανε 2 μεταχειρίσεις (άρδευση με καθαρό νερό και άρδευση με επεξεργασμένα υγρά αστικά απόβλητα) σε 4 επαναλήψεις. Έτσι, ο αγρός χωρίστηκε σε 8 πειραματικά τεμάχια, από τα οποία τα 4 τεμάχια προοριζόταν για τη μεταχείριση που αρδεύτηκε με καθαρό νερό και τα άλλα 4 για τη μεταχείριση που αρδεύτηκε με καθαρό νερό και λύμα (**Εικόνα 5.2 (α) και (β)**). Κάθε πειραματικό τεμάχιο είχε διαστάσεις 5 m μήκος και 4 m πλάτος, δηλαδή εμβαδόν 20 m² και περιελάμβανε 4 σειρές φυτών. Ανάμεσα από κάθε επανάληψη υπήρχε διάδρομος μήκους ενός μέτρου. Στο μέσο του αγρού, μεταξύ των δύο μεταχειρίσεων, παρέμεινε επίσης, χωρίς να σπαρθεί ένας μικρός διάδρομος (μικρότερος από εκείνον ανάμεσα στις επαναλήψεις).

Η μία μεταχείριση ποτίστηκε μόνο με καθαρό νερό από τη γεώτρηση του αγροκτήματος και στη συνέχεια θα αναφέρεται ως “Καθαρό νερό”. Η δεύτερη

μεταχείριση ποτίστηκε εναλλάξ με απόβλητα και καθαρό νερό και στη συνέχεια θα αναφέρεται ως “Λύμα”. Κάθε άρδευση με τα απόβλητα ακολουθήθηκε από δύο εφαρμογές άρδευσης με καθαρό νερό, λόγω της αυξημένης συγκέντρωσης αλάτων και ιόντων χλωρίου στο λύμα. Και στις δύο μεταχειρίσεις οι ποσότητες νερού εφαρμόστηκαν για να καλύψουν το 100 % της υπολογιζόμενης εξατμισοδιαπνοής, βάση εξατμισιμέτρου τύπου Α.



Εικόνα 5.1. Πειραματικός αγρός.



(α)



(β)

Εικόνα 5.2 (α), (β). Οριοθέτηση – χάραξη των πειραματικών τεμαχίων.

Στο **Σχήμα 5.1** που ακολουθεί, παρουσιάζεται η διάταξη του πειραματικού αγρού και ένα πειραματικό τεμάχιο σε μεγέθυνση. Στο ίδιο σχήμα απεικονίζεται και ένας σταλακτηφόρος σωλήνας σε μεγέθυνση.

Επεξήγηση συμβόλων για το Σχήμα 5.1.

ΥΚ: Σόργο αρδευόμενο με καθαρό νερό με υπόγεια στάγδην άρδευση.

ΥΛ: Σόργο αρδευόμενο με λύμα με υπόγεια στάγδην άρδευση.

Με τους δείκτες **1, 2, 3** και **4** σημειώνονται οι επαναλήψεις της κάθε μεταχείρισης.

ΠΕ: Πίνακας ελέγχου.

Μ: Υδρομετρητές.

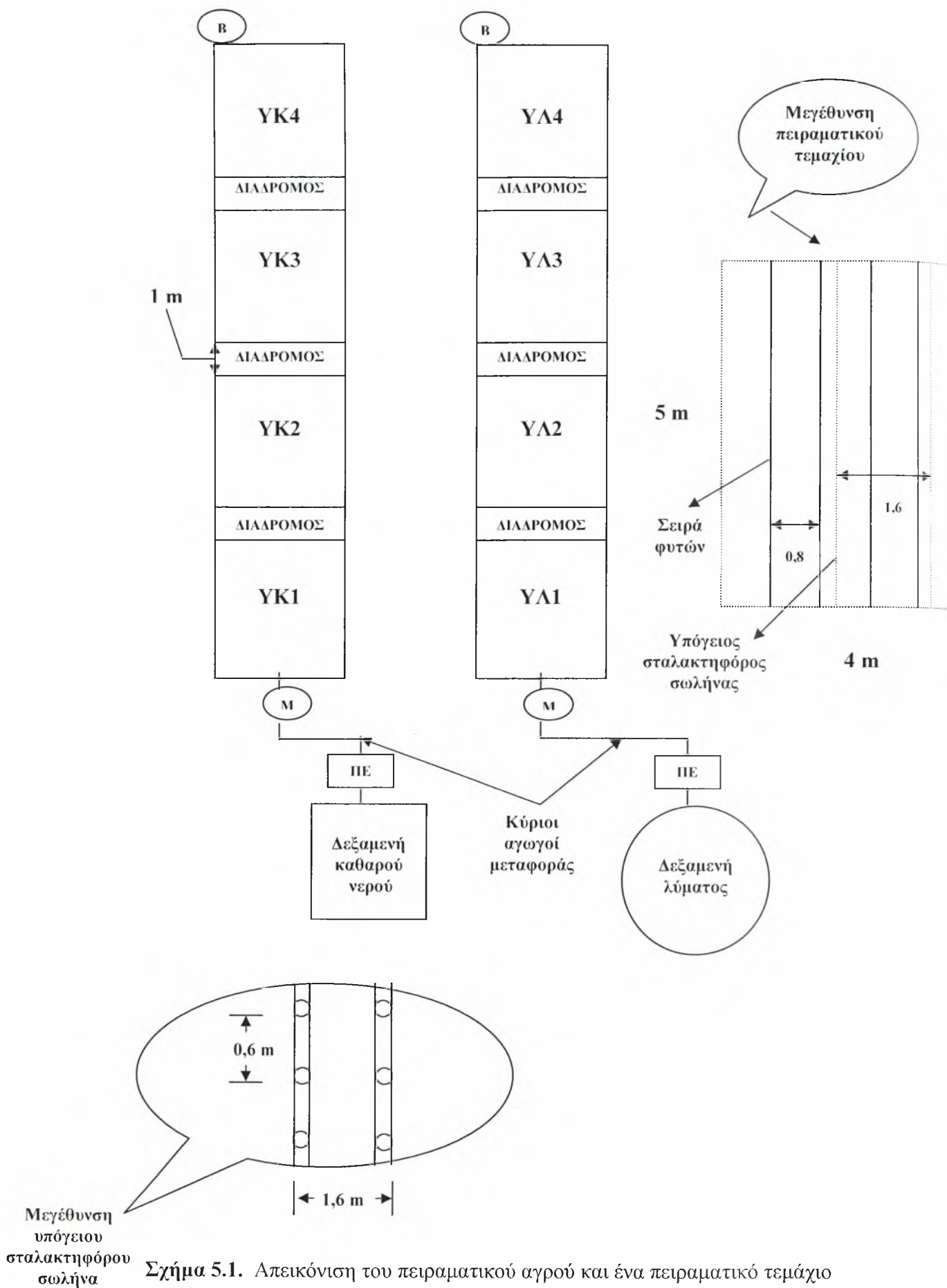
Β: Βαλβίδες εκτόνωσης κενού.

Απόσταση σταλακτηφόρων σωλήνων 1,6 m.

Απόσταση σταλακτήρων 0,6 m.

Απόσταση μεταξύ των γραμμών σποράς 0,8 m.





Σχήμα 5.1. Απεικόνιση του πειραματικού αγρού και ένα πειραματικό τεμάχιο σε μεγέθυνση με τις διαστάσεις του.

5.2 Εδαφολογικά χαρακτηριστικά του πειραματικού αγρού

Το έδαφος, στο οποίο πραγματοποιήθηκε το πείραμα, είναι καλά στραγγιζόμενο, ασβεστούχο, ιλλο – αργιλοπηλώδες και ανήκει στην υποομάδα των Typic Xerochrepts (USDA, 1975). Τα εδάφη αυτά έχουν υφή αμμοαργιλοπηλώδη έως αργιλώδη και κοκκομετρική σύσταση μετρίως λεπτόκοκκη έως λεπτόκοκκη.

Στην περιοχή επικρατούν συνθήκες εδαφικής υγρασίας xeric και εδαφικής θερμοκρασίας thermic.

Η κατάσταση υδρομορφίας είναι καλή και εκφράζεται με Β΄ βαθμό αποστράγγισης ο οποίος βελτιώνεται με το βάθος του εδάφους εξαιτίας της πορώδους σύστασής του.

Το pH βρίσκεται σε αλκαλικά επίπεδα χωρίς όμως να είναι ακόμη προβληματικό.

Το πορώδες είναι καλά αναπτυγμένο, αποτελούμενο κυρίως από μικρούς και μεσαίου μεγέθους πόρους (Μήτσιος κ.ά., 2000).

5.3 Εγκατάσταση της καλλιέργειας

Η κατεργασία του εδάφους ήταν ίδια σε όλα τα πειραματικά τεμάχια. Πραγματοποιήθηκαν συνολικά τρία φρεζαρίσματα. Το πρώτο έγινε μετά τη συγκομιδή της προηγούμενης καλλιέργειας για την κοπή των υπολειμμάτων, το δεύτερο έγινε λίγο πριν την άνοιξη και το τρίτο φρεζάρισμα (2 – 3 περάσματα) έγινε πριν τη σπορά (**Εικόνα 5.3**).

Η σπορά έγινε στις 11 Μαΐου του 2006 με τετράσειρη σπαρτική μηχανή βαμβακιού (**Εικόνα 5.5**). Όπως αναφέρθηκε, πριν τη σπορά προηγήθηκε φρεζάρισμα την ίδια ημέρα. Χρησιμοποιήθηκε η ποικιλία γλυκού σόργου Keller (**Εικόνα 5.4**). Η επιλογή της συγκεκριμένης ποικιλίας έγινε γιατί βάση πειραματικών αποτελεσμάτων (Νικολάου κ.ά., 2000) έχει προκύψει ότι είναι η πλέον παραγωγική ποικιλία σακχαρούχου σόργου για τα Ελληνικά δεδομένα (3,8

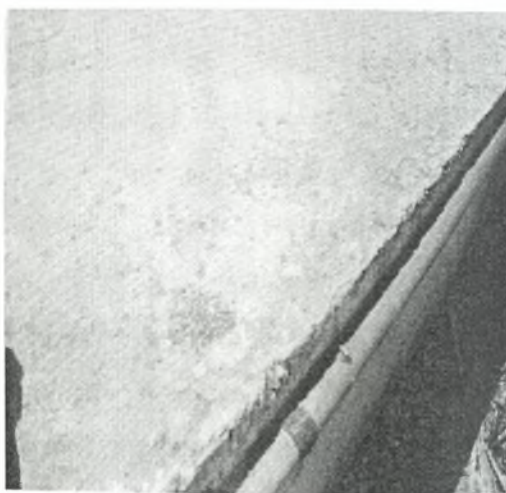
t στρ.⁻¹ ξηρής βιομάζας) και ακολουθούν, η Tracy και το υβρίδιο H 132 (3,7 t στρ.⁻¹ ξηρής βιομάζας).

Κατά τη διάρκεια του πειράματος δεν πραγματοποιήθηκε καμία λιπαντική αγωγή.

Η τοποθέτηση των σπόρων έγινε σε βάθος 4,5 cm και σε αποστάσεις 0,80 m μεταξύ των γραμμών και 0,14 m επί της γραμμής.



Εικόνα 5.3. Προετοιμασία του αγρού για σπορά.



Εικόνα 5.4. Σπόρος γλυκού σόργου.



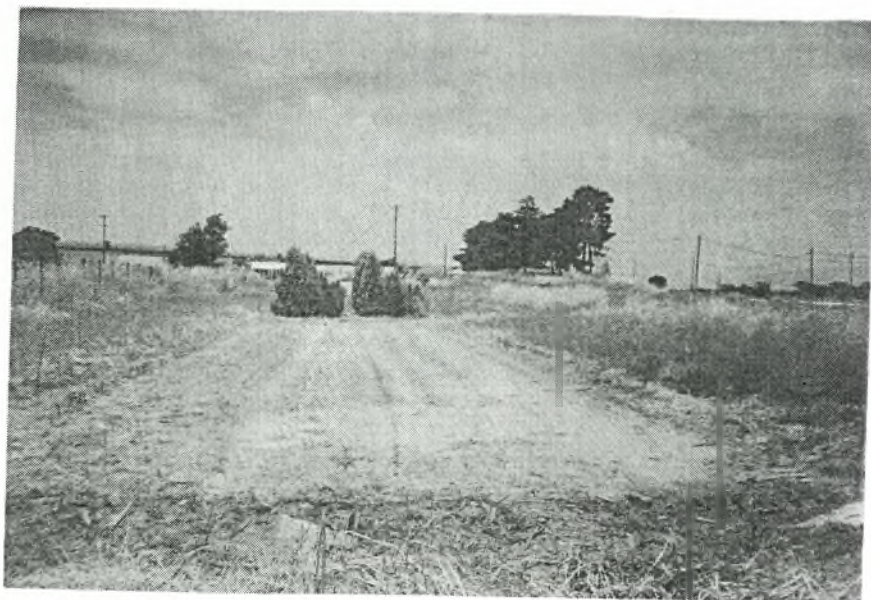
Εικόνα 5.5. Σπορά με τετράσειρη σπαρτική μηχανή βαμβακιού.

Μετά τη σπορά ακολούθησε πότισμα με καταιονισμό. Το φύτευμα της καλλιέργειας έγινε περίπου στις 20 Μαΐου και είχε 95 % επιτυχία.

Η καλλιέργεια στη συνέχεια δέχθηκε όλες τις απαραίτητες καλλιεργητικές φροντίδες, όπως σκάλισμα με το χέρι για την αντιμετώπιση ζιζανίων όπως η περικοκλάδα, η λουβουδιά, το τριβόλι, το βλήτο, η γλυστρίδα, η αγριάδα. Στα τέλη Ιουλίου είχαμε πολύ μικρή προσβολή από ελμινθοσπόριο (*Elminthosporium spp.*) αλλά δεν πραγματοποιήθηκε κανένας ψεκασμός για την αντιμετώπισή του, αφού η ποσότητα μολύσματος ήταν τέτοια που δεν δημιουργούσε πρόβλημα ανησυχίας για την καλλιέργεια.

Στη συνέχεια, παρατίθενται κάποιες φωτογραφίες που δείχνουν τη γενική εμφάνιση του πειραματικού αγρού σε διάφορες χρονικές περιόδους (**Εικόνα 5.6** έως **Εικόνα 5.15**).

Μία καλύτερη άποψη των τεσσάρων πειραματικών τεμαχίων – επαναλήψεων της κάθε μεταχείρισης, μπορεί κανείς να έχει παρατηρώντας της φωτογραφίες που παρατίθενται στο παράρτημα (σελ. 249 - 256).



Εικόνα 5.6. Πειραματικός αγρός στις 31/05/2006.



Εικόνα 5.7. Πειραματικός αγρός στις 07/06/2006.



Εικόνα 5.8. Πειραματικός αγρός στις 26/06/2006.



Εικόνα 5.9. Πειραματικός αγρός στις 05/07/2006.



Εικόνα 5.10. Πειραματικός αγρός στις 21/07/2006.



Εικόνα 5.11. Πειραματικός αγρός στις 04/08/2006.



Εικόνα 5.12. Πειραματικός αγρός στις 16/08/2006.



Εικόνα 5.13. Πειραματικός αγρός στις 01/09/2006.



Εικόνα 5.14. Πειραματικός αγρός στις 15/09/2006.

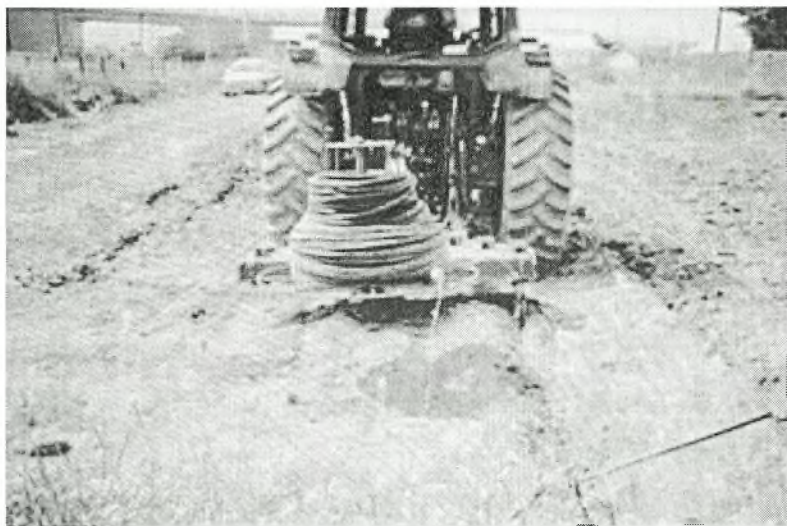


Εικόνα 5.15. Πειραματικός αγρός στις 07/10/2006.

5.4 Υλικά άρδευσης

Για την πραγματοποίηση του πειράματος, επιλέχθηκε η **υπόγεια στάγδην άρδευση** ως μέθοδος άρδευσης, διότι σύμφωνα με τους **Bahri και Brissaud, 2002** **δεν τίθεται κάποιο όριο όσον αφορά τα μικροβιολογικά χαρακτηριστικά των επεξεργασμένων υγρών αστικών αποβλήτων** επειδή δεν έρχονται σε άμεση επαφή τα απόβλητα με το κοινό και τους εργαζόμενους στο χώρο.

Η εγκατάσταση του υπόγειου δικτύου άρδευσης έγινε την προηγούμενη χρονιά (2005), τα πειράματα άρχισαν το 2005 και το 2006 είναι η δεύτερη χρονιά που επαναλαμβάνεται το πείραμα. Η τοποθέτηση του υπόγειου δικτύου άρδευσης έγινε σε βάθος 45 cm με τη χρήση υπεδαφοθέτη (**Εικόνα 5.16**).



Εικόνα 5.16. Εγκατάσταση υπόγειου συστήματος στάγδην άρδευσης με τη βοήθεια υπεδαφοθέτη.

Η εγκατάσταση διπλού δικτύου μεταφοράς των νερών κρίνεται απαραίτητη καθώς η μία μεταχείριση ποτιζόταν μόνο με καθαρό νερό και η άλλη μεταχείριση ποτιζόταν εναλλάξ με καθαρό νερό και απόβλητα.

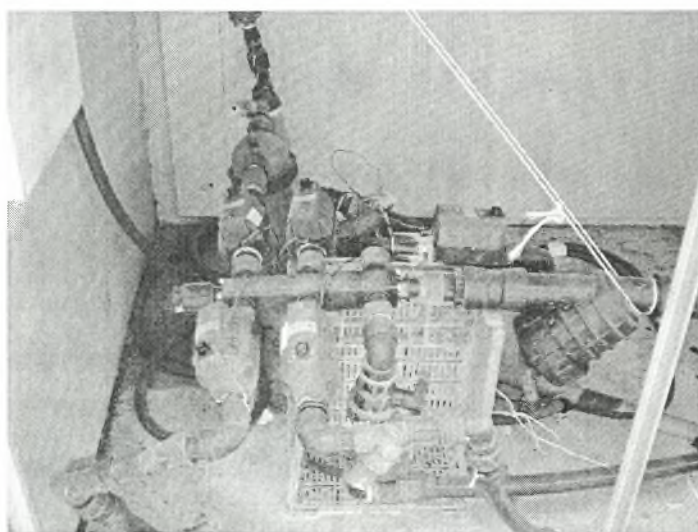
Οι αγωγοί μεταφοράς του αρδευτικού νερού ήταν από πολυαιθυλένιο (PE), διατομής 32 mm και πίεση λειτουργίας στις 6 atm. Στα πειραματικά τεμάχια υπήρχε σύνδεση των αγωγών μεταφοράς με τους αγωγούς εφαρμογής οι

οποίοι ήταν επίσης κατασκευασμένοι από ΡΕ αλλά είχαν διατομή 20 mm. Η απόσταση των αγωγών εφαρμογής μεταξύ τους ήταν 1,60 m και η τοποθέτηση τους έγινε σειρά παρά σειρά μεταξύ των γραμμών σποράς της καλλιέργειας. Έτσι, ανάμεσα σε δύο σταλακτηφόρους αγωγούς παρεμβάλλονταν δύο σειρές φυτών.

Οι υπόγειοι σταλακτηφόροι σωλήνες έφεραν ενσωματωμένους σταλάκτες, οι οποίοι ήταν αυτορυθμιζόμενοι και αυτοκαθαριζόμενοι, παροχής $3,6 \text{ l h}^{-1}$ σε πίεση λειτουργίας 3,5 atm και ωριαίου ύψους βροχής $3,75 \text{ mm h}^{-1}$ και η ισαποχή τους επί των γραμμών άρδευσης ήταν 0,6 m.

Επίσης έγινε τοποθέτηση ειδικών βαλβίδων εκτόνωσης της πίεσης για να αποφεύγεται η αναρρόφηση νερού και συνεπώς το φράξιμο των σταλακτήρων από στερεά εδαφικά σωματίδια κατά τη διακοπή της άρδευσης, καθώς και φίλτρο δίσκων (teck filter) εμποτισμένο με Treflan, ένα ζιζανιοκτόνο με δραστική ουσία Trifluralin, για την αποφυγή της έμφραξης των σταλακτών από την είσοδο των ριζών.

Το σύνολο του δικτύου άρδευσης ολοκληρώνεται με τη χρήση ηλεκτροβανών με σκοπό την αυτόματη έναρξη και λήξη της άρδευσης και υδρομετρητές, αντίστοιχα με τις ηλεκτροβάνες, για τον έλεγχο των πιθανών αποκλίσεων από τις επιθυμητές τιμές των δόσεων άρδευσης. Συνολικά, προϋπήρχαν από την πρώτη χρονιά του πειράματος 2 ηλεκτροβάνες (μία για κάθε μεταχείριση) (Εικόνα 5.17) και 2 υδρόμετρα (ένα για κάθε μεταχείριση) (Εικόνα 5.18). Οι ηλεκτροβάνες ήταν τύπου Aquanet II, με τάση λειτουργίας 9 – 40 V.



Εικόνα 5.17. Ηλεκτροβάνες.

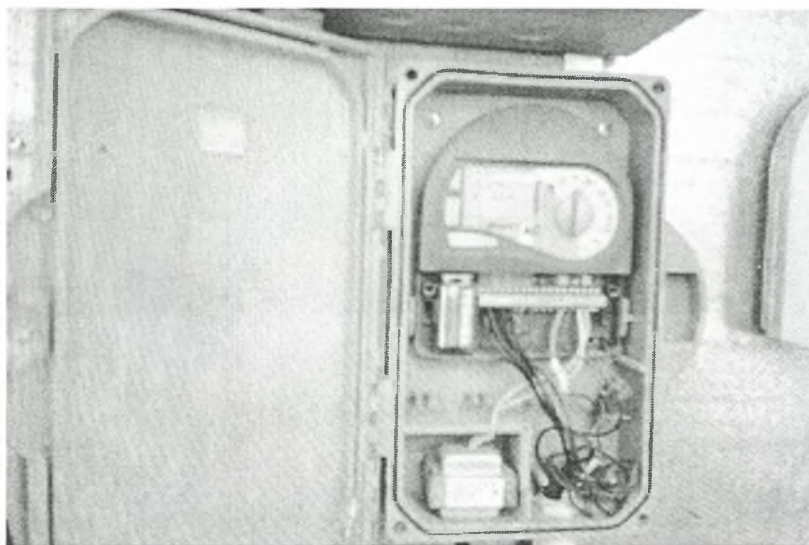


Εικόνα 5.18. Υδρόμετρο.

Όλες οι ηλεκτροβάνες συνδέθηκαν με ειδικό προγραμματιστή Miracle DC της εταιρίας Netafim (**Εικόνα 5.19**) με σκοπό την αυτοματοποίηση της άρδευσης. Ο συγκεκριμένος προγραμματιστής παρέχει τη δυνατότητα λειτουργίας 4 ηλεκτροβανών ταυτόχρονα σε 3 διαφορετικά προγράμματα και αποτελείται από την ψηφιακή οθόνη προγραμματισμού, τα πλήκτρα εντολών (καθορισμός ημέρας, ώρας έναρξης άρδευσης και διάρκειας άρδευσης), την μπαταρία λιθίου 9 V, τον πίνακα ελέγχου, τα καλώδια με τις συνδέσεις τους και το πλαίσιο στήριξης.

Έχοντας τρία ανεξάρτητα προγράμματα, μπορεί να μοιράσει τις ηλεκτροβάνες σε τρεις διαφορετικές ομάδες με ανεξάρτητες ημέρες και ώρες ποτίσματος. Δίνει τη δυνατότητα 4 επαναλήψεων του προγράμματος στο ίδιο 24ωρο. Η δυνατότητα άρδευσης είναι από 1 min έως και 9 h και 59 min για την κάθε ηλεκτροβάνα και την κάθε επανάληψη. Παρέχει επίσης τη δυνατότητα εβδομαδιαίου προγραμματισμού των αρδεύσεων, τη δυνατότητα αύξησης του χρόνου ποτίσματος, σε βήματα του 10 %, χωρίς να απαιτείται επαναπρογραμματισμός, τη δυνατότητα διακοπής του προγράμματος για προεπιλεγμένο χρόνο και μέχρι 99 ημέρες επιστρέφοντας αυτόματα στο πρόγραμμα που είχε επιλεγεί μετά την πάροδο του χρόνου αυτού και πρόγραμμα ασφαλείας 10 min για την κάθε ημέρα. Επίσης, σε περιπτώσεις βλαβών προσπερνά την προβληματική στάση και συνεχίζει την άρδευση στην επόμενη

χωρίς διακοπή λειτουργίας της κεντρικής βάνας. Τέλος, η ενεργοποίηση των ηλεκτροβανών μπορεί να γίνει και χειροκίνητα όποτε αυτό είναι επιθυμητό.



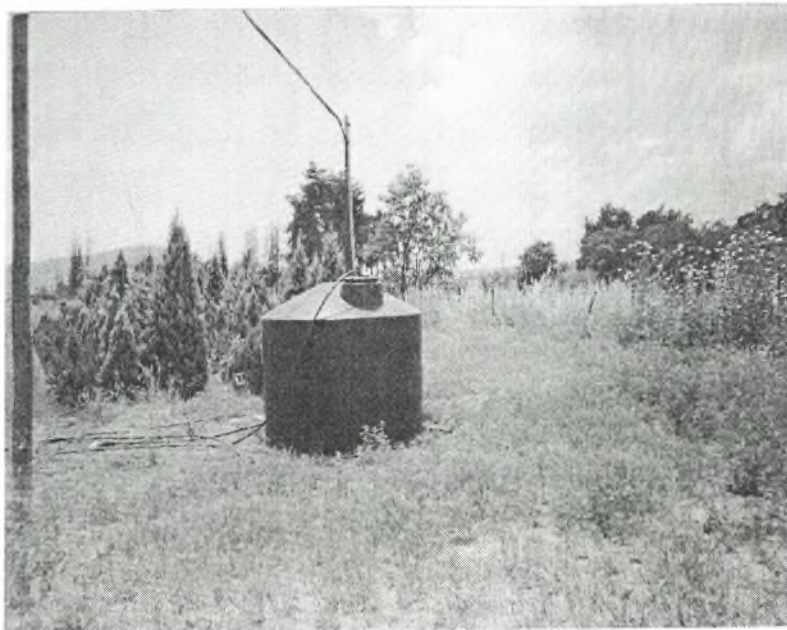
Εικόνα 5.19. Προγραμματιστής (Miracle DC) της εταιρείας Netafim.

Η διάθεση του απαιτούμενου για την άρδευση καθαρού νερού γινόταν από τσιμεντένια ορθογώνια δεξαμενή χωρητικότητας 50 m^3 (**Εικόνα 5.20**). Η πλήρωση της δεξαμενής γινόταν από παρακείμενη γεώτρηση (αντλία μέσης παροχής $60 - 80 \text{ m}^3/\text{h}$ με άξονα και σωλήνα 4").

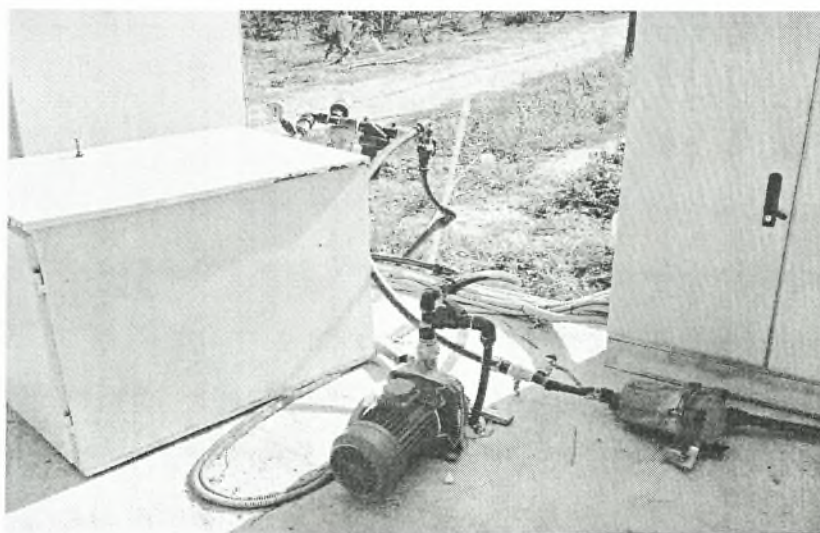


Εικόνα 5.20. Δεξαμενή συγκέντρωσης καθαρού νερού άρδευσης.

Για την υποδοχή των επεξεργασμένων υγρών αποβλήτων υπήρχε δεξαμενή χωρητικότητας 5 m^3 (**Εικόνα 5.21**) η οποία συνδεόταν με αντλία και η αντλία συνδεόταν μέσω πλαστικού αγωγού με την κεντρική ηλεκτροβάννα. Η αντλία ήταν οριζόντια, πολυβάθμια, κλειστού τύπου και ισχύος 3 Hp (**Εικόνα 5.22**).

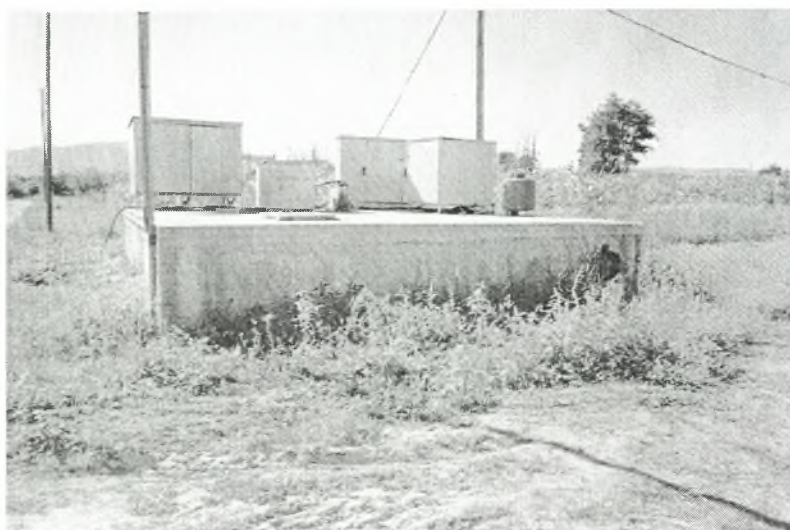


Εικόνα 5.21. Δεξαμενή αποβλήτων.



Εικόνα 5.22. Αντλία.

Όλος ο μηχανολογικός εξοπλισμός της άρδευσης (κεντρική ηλεκτροβάννα άρδευσης, αντλία προώθησης του νερού στα αρδευτικά δίκτυα, ηλεκτροβάνες, φίλτρα, βαλβίδα κενού, αγωγός επιστρεφόμενων, μανόμετρα ένδειξης πίεσης λειτουργίας των αγωγών, προγραμματιστής άρδευσης κ.ά.) τοποθετήθηκε σε ειδικά διαμορφωμένα κουτιά (**Εικόνα 5.23 (α) και (β)**).



(α)



(β)

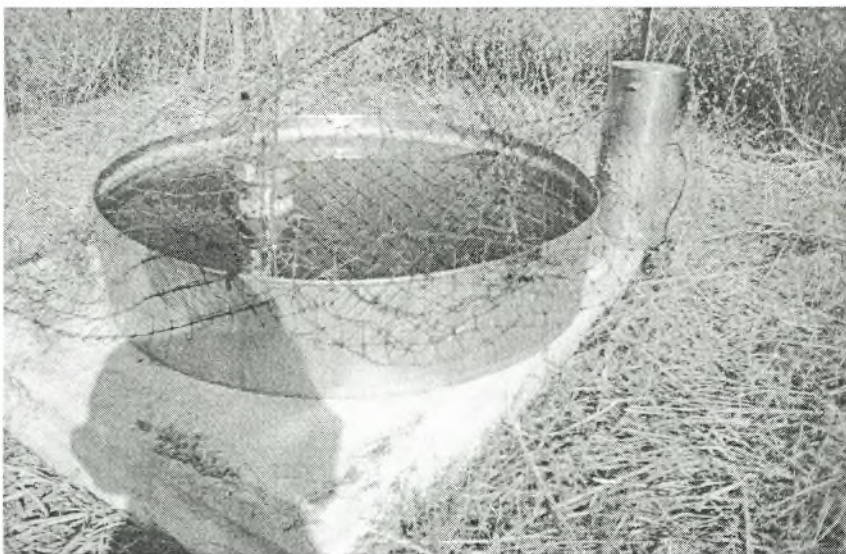
Εικόνα 5.23 (α), (β). Ειδικά κουτιά με το μηχανολογικό εξοπλισμό της άρδευσης.

5.5 Εξατμισόμετρο τύπου Α

Το εξατμισόμετρο τύπου Α χρησιμοποιήθηκε για τη μέτρηση της εξατμίσης, απαραίτητης για τον υπολογισμό των αναγκών άρδευσης της καλλιέργειας. Η μέθοδος υπολογισμού της εξατμισοδιαπνοής μέσω εξατμισιμέτρου τύπου Α είναι μία αρκετά αξιόπιστη μέθοδος.

Το εξατμισόμετρο τύπου Α (**Εικόνα 5.24**) είναι μία κυλινδρική λεκάνη κατασκευασμένη από γαλβανισμένο χάλυβα με διάμετρο 121 cm και βάθος 25,4 cm που τοποθετείται πάνω σε ξύλινη βάση ώστε ο πυθμένας της να είναι απόλυτα οριζοντιωμένος και να απέχει 15 cm από την επιφάνεια του εδάφους. Στη συνέχεια το έδαφος υπερυψώνεται κάτω από τη λεκάνη έτσι που τελικά να απέχει 5 cm από τον πυθμένα της. Η λεκάνη γεμίζεται με νερό μέχρι 5 cm κάτω από το πάνω χείλος της, η δε στάθμη του νερού κατά τη λειτουργία του οργάνου δεν πρέπει να πέφτει κάτω από 7,5 cm από το χείλος αυτό.

Η έκθεση ενός εξατμισιμέτρου λεκάνης είναι επίσης σημαντική. Ο λόγος E_{pan} προς την υπολογιζόμενη ET_o κυμαίνεται από 0,6 έως 2,0 ανάλογα με την έκθεση του. Οι μικρότερες τιμές παρατηρούνται όταν βρίσκεται σε σκιασμένο μέρος ή είναι σε αρδευόμενο χωράφι.



Εικόνα 5.24. Εξατμισόμετρο τύπου Α.

Το νερό της λεκάνης πρέπει να ανανεώνεται συχνά για να μη θολώνει. Επίσης, δεν πρέπει ζώα και πουλιά να έχουν πρόσβαση και δεν πρέπει να αναπτύσσονται μύκητες ή άλγη. Η χρήση μεταλλικού πλέγματος είναι απαραίτητη και μειώνει την εξάτμιση κατά 13 % (Τερζίδης και Παπαζαφειρίου 1994, Καλφούντζος 2002). Τα τοιχώματα της λεκάνης κάθε χρόνο θα πρέπει να χρωματίζονται με χρώμα αλουμινίου.

Η εύρεση της πτώσης της στάθμης γινόταν μέσω ενός γυάλινου ογκομετρικού σωλήνα. Ο ογκομετρικός σωλήνας ήταν κατασκευή της εταιρείας Fortuna (Γερμανία). Είχε μήκος 28,5 cm και διάμετρο 1,2 cm. Είχε χωρητικότητα 50 ml, με διακριτότητα 0,1 ml. Ο κύλινδρος ήταν κατασκευασμένος σύμφωνα με τα πρότυπα DIN AS με σφάλμα ανάγνωσης 0,05 ml.

Οι μετρήσεις στο βάθος του νερού στη λεκάνη γίνονταν με σταθμήμετρο με ακίδα. Οι ενδείξεις αυτές που αντιπροσώπευαν την εξάτμιση από τη λεκάνη σε mm/ημέρα (E_{pan}), πολλαπλασιαζόμενες με το συντελεστή διόρθωσης του εξατμισιμέτρου ($K_p = 0,80$) μας δίνουν την εξατμισοδιαπνοή αναφοράς (ET_0). Η εξατμισοδιαπνοή αναφοράς πολλαπλασιαζόμενη με την αντίστοιχη για κάθε περίοδο τιμή του φυτικού συντελεστή K_c της καλλιέργειας έδιναν την τιμή της ημερήσιας εξατμισοδιαπνοής της καλλιέργειας (ET_c).

5.6 Μέτρηση εδαφικής υγρασίας

Για τη διαπίστωση του χρόνου και της δόσης άρδευσης είναι απαραίτητο να προσδιοριστεί η υγρασία του εδάφους. Επειδή η εδαφική υγρασία αυξομειώνεται με το χρόνο λόγω της επίδρασης ανθρωπογενών και βιολογικών παραγόντων, τα αποτελέσματα προσδιορισμού της εδαφικής υγρασίας, αντιπροσωπεύουν την υγρασιακή κατάσταση του εδάφους τη στιγμή της δειγματοληψίας (ή του επί τόπου προσδιορισμού) και μόνο.

Η εδαφική υγρασία μετριέται άμεσα (σταθμική μέθοδος, φωτιστικού οينوπνεύματος και λυσιμέτρων) ή υπολογίζεται έμμεσα από τη σχέση μεταξύ αυτής και μιας άλλης ιδιότητας του εδάφους όπως στις μεθόδους μέτρησης της

ηλεκτρικής αντίστασης, σκεδασμού νετρονίων, ακτίνων γ, τασιμέτρων και T.D.R.

Η μέτρηση της εδαφικής υγρασίας στο συγκεκριμένο πείραμα έγινε με τη μέθοδο T.D.R. (Time Domain Reflectometry), η οποία είναι μία μη ραδιενεργός μέθοδος, γρήγορη και ανεξάρτητη από τον τύπο του εδάφους.

Στις αρχές της δεκαετίας του '80, η Soilmoisture Equipment Corp. απέκτησε ενδιαφέρον για μια τεχνολογία γνωστή ως T.D.R., για επί τόπου μέτρηση της κατ' όγκο εδαφικής υγρασίας. Αυτή η νεοεμφανιζόμενη, τότε, τεχνολογία είχε πολλά θετικά στοιχεία που την έκαναν εμπορικά ενδιαφέρουσα. Επίσης, επειδή αυτή η μεθοδολογία μπορεί να εφαρμοστεί σε όργανα με χρήση Η/Υ για αυτόματη ανάλυση, είναι εξαιρετικά γρήγορη συγκρινόμενη με μεθόδους προσδιορισμού της υγρασίας ξηρού βάρους (Σακελλαρίου, 2003).

Η μέθοδος T.D.R. που χρησιμοποιείται για τη μέτρηση της ογκομετρικής περιεκτικότητας του εδάφους σε νερό, σήμερα αποτελεί μια από τις πλέον αξιόπιστες και ακριβείς μεθόδους. Αρκετές εργασίες έχουν πραγματοποιηθεί σχετικά με τη μέτρηση της εδαφικής υγρασίας με τη μέθοδο αυτή (Τζιμόπουλος κ.ά. 1983, Σακελλαρίου κ.ά. 1997, Σακελλαρίου κ.ά. 1998, Σακελλαρίου κ.ά. 1999, Τζιμόπουλος κ.ά. 2000, Ντιούδης κ.ά. 2000, Καλφούντζος κ.ά. 2000, Sakellariou et al. 2001, Sakellariou et al. 2002 κ.ά.).

Η αρχή λειτουργίας της μεθόδου βασίζεται στην απευθείας μέτρηση της φαινόμενης διηλεκτρικής σταθεράς του υπό μελέτη εδάφους και την αναγωγή αυτής σε κατ' όγκο περιεκτικότητα νερού (Σακελλαρίου – Μακραντωνάκη κ.ά., 1997). Δηλαδή βασίζεται στην χρονομετρημένη απόκριση του ηλεκτρομαγνητικού σήματος της πηγής του οργάνου για διάφορα βάθη από 0 – 75 cm ή 0 – 120 cm και την αναγωγή του χρόνου καθυστέρησης με τη χρήση πολυωνυμικών εξισώσεων σε μονάδες εδαφικής υγρασίας (% κ.ο.). Η διηλεκτρική σταθερά του εδάφους είναι γνωστό ότι εξαρτάται από το ποσοστό του νερού που περιέχεται σε αυτό (Topp et al., 1980).

Το σύστημα περιλαμβάνει:

- τη συσκευή T.D.R. (**Εικόνα 5.25**) με ενσωματωμένο επεξεργαστή μετατροπής και την οθόνη προβολής των ενδείξεων,
- τον αισθητήρα του οργάνου (probe),
- τον φορτιστή μπαταριών του οργάνου,

- τα καλώδια επικοινωνίας της συσκευής με τον αισθητήρα και τον υπολογιστή και,
 - την ομάδα εργαλείων για την εισαγωγή και εξαγωγή των αισθητήρων.
- Η βαθμονόμηση του οργάνου έχει γίνει από τον κατασκευαστή.



Εικόνα 5.25. Συσκευή T.D.R.

Στον πειραματικό αγρό τοποθετήθηκαν δύο αισθητήρες μήκους 120 cm (**Εικόνα 5.26 (α), (β) και (γ)**), έτσι ώστε να αντιστοιχεί ένας αισθητήρας σε κάθε μεταχείριση. Η θέση των αισθητήρων ήταν επί της γραμμής σποράς στο μέσο της απόστασης δύο διαδοχικών φυτών (**Εικόνα 5.27**). Με τη βοήθεια των αισθητήρων αυτών μετρήθηκε η υγρασία στα 0 – 15 cm, 15 – 30 cm, 30 – 60 cm, 60 – 90 cm, 90 – 120 cm.

Για την καταγραφή της εδαφικής υγρασίας και των διακυμάνσεων αυτής σε ολόκληρο το εύρος της εδαφικής κατατομής (0 – 120 cm) πραγματοποιήθηκαν 9 μετρήσεις υγρασίας για την κάθε μεταχείριση (μία μέτρηση πριν την άρδευση και μία δύο ημέρες μετά την άρδευση).



(α)



(β)



(γ)

Εικόνα 5.26 (α), (β), (γ). Τοποθέτηση αισθητήρων μέτρησης της εδαφικής υγρασίας.



Εικόνα 5.27. Η κεφαλή του αισθητήρα όπως φαίνεται στον αγρό.

5.7 Συσκευή προσδιορισμού του Δείκτη Φυλλικής Επιφάνειας (LAI)

Η εκτίμηση του δείκτη φυλλικής επιφάνειας πραγματοποιήθηκε με τη χρήση του αυτόματου οργάνου LI - COR (**Εικόνα 5.28**).

Το όργανο αυτό υπολογίζει το δείκτη φυλλικής επιφάνειας από τις μετρήσεις ακτινοβολίας που γίνονται με έναν οπτικό αισθητήρα (οπτικό πεδίο 148°) και τα αποτελέσματα καταγράφονται και αποθηκεύονται αυτόματα στη μονάδα ελέγχου.

Ο δείκτης φυλλικής επιφάνειας θεωρείται μέτρο έκφρασης της ανάπτυξης μιας καλλιέργειας κι αυτό έγκειται στο γεγονός ότι ο προσδιορισμός του ποσοστού αφομοίωσης για ένα φύλλο απαιτεί την ακριβή μέτρηση της περιοχής επιφάνειάς του.

Η εκτίμηση του δείκτη φυλλικής επιφάνειας με το αυτόματο όργανο LI – COR είναι μία τεχνική για γρήγορες και μη καταστρεπτικές μετρήσεις της φυλλικής επιφάνειας (LAI).



Εικόνα 5.28. Αυτόματο όργανο για τη μέτρηση του LAI.

Πραγματοποιήθηκαν 12 μετρήσεις, στο διάστημα από 5 Ιουλίου έως 7 Οκτωβρίου. Γινόταν μετρήσεις σε τυχαίες θέσεις σε οποιαδήποτε σειρά φυτών και σε όλα τα πειραματικά τεμάχια κάθε μεταχείρισης. Έτσι, και στις δύο μεταχειρίσεις τα αποτελέσματα ανά ημερομηνία μέτρησης προκύπτουν από το μέσο όρο των μετρήσεων και στα 4 πειραματικά τεμάχια κάθε μεταχείρισης. Οι μετρήσεις γινόταν πάντα την ίδια ώρα του 24ώρου.

Η πρώτη μέτρηση έγινε στις 5/7/2006 και οι επόμενες στις 12/7/2006, 19/7/2006, 26/7/2006, 4/8/2006, 9/8/2006, 16/8/2006, 23/8/2006, 30/8/2006, 6/9/2006, 13/9/2006 και στις 7/10/2006.

5.8 Άρδευση με υγρά απόβλητα

Η πρώτη άρδευση με υγρά αστικά απόβλητα πραγματοποιήθηκε στις 21 Ιουνίου. Με αυτά αρδεύτηκε η μεταχείριση του “Λύματος”. Τα επεξεργασμένα υγρά αστικά απόβλητα προέρχονταν από τη μονάδα βιολογικού καθαρισμού της πόλης του Βόλου.

Η μονάδα ιδρύθηκε το 1979 και εξυπηρετεί τους δήμους Βόλου, Νέας Ιωνίας, Αισωνίας και τις δύο βιομηχανικές περιοχές Βόλου και Βελεστίνου. Επεξεργάζεται 11.000.000 m³ λύματος ετησίως (2005) και επιτυγχάνει δευτεροβάθμια επεξεργασία με αφαίρεση θρεπτικού αζώτου και φωσφόρου. Ως εκ τούτου, τα απόβλητα δεν περιείχαν σε μεγάλες ποσότητες τα διάφορα θρεπτικά στοιχεία που είναι απαραίτητα για τα φυτά, όπως N, P, K. Όμως, περιείχαν σε μεγάλη ποσότητα ιόντα χλωρίου, σε συγκεντρώσεις που είναι απαγορευτικές για άρδευση καλλιεργειών. Για το λόγο αυτό, όπως έχει αναφερθεί, κάθε άρδευση με απόβλητα ακολουθούσαν δύο αρδεύσεις με καθαρό νερό από τη γεώτρηση του αγροκτήματος. Στην υφιστάμενη μονάδα δεν πραγματοποιείται απολύμανση της εκροής.

Η σχέση που δίνει την αναλογία των όγκων νερού είναι η εξής (Πανώρας και Ηλίας, 1999):

$$C_a * Q_a / (Q_a + Q_b) + C_b * Q_b / (Q_a + Q_b) = C_{τελ} \quad (5.1)$$

όπου:

C_a = η συγκέντρωση χλωρίου (Cl^- , mg/l) της μιας ποιότητας νερού (καθαρό νερό),

C_b = η συγκέντρωση χλωρίου (Cl^- , mg/l) της δεύτερης ποιότητας νερού (λύμα),

Q_a = ο όγκος που χρησιμοποιείται στη μία ποιότητα νερού (l καθαρού νερού),

Q_b = ο όγκος που χρησιμοποιείται στη δεύτερη ποιότητα νερού (l λύματος),

$C_{\text{τελ}}$ = η επιθυμητή τελική συγκέντρωση του αναμειγμένου νερού (έστω 500 mg/l Cl^-).

Παίρνοντας ως αρχικές τιμές τις $C_a = 22 \text{ mg/l Cl}^-$ και $C_b = 1400 \text{ mg/l Cl}^-$ και γνωρίζοντας ότι ισχύει $Q_a + Q_b = 1 \text{ l}$ και $C_{\text{τελ}} = 500 \text{ mg/l Cl}^-$ η **Σχέση 5.1** γίνεται:

$$22 \text{ mg/l} * Q_a + 1400 \text{ mg/l} * (1 - Q_a) = 500 \text{ mg/l} \Rightarrow$$

$$1378 * Q_a = 900 \text{ mg/l} \Rightarrow$$

$$Q_a = 0,65 \text{ l} \text{ άρα } Q_b = 0,35 \text{ l}.$$

Επομένως, προκύπτει ότι αναφέρθηκε και παραπάνω, ότι δηλαδή απαιτούνται δύο αρδεύσεις με καθαρό νερό και μία με λύμα.

Τα απόβλητα διοχετεύονταν σε πλαστική δεξαμενή (**Εικόνα 5.29**) η οποία μετά την άρδευση με απόβλητα ξεπλένονταν με καθαρό νερό. Συνολικά διενεργήθηκαν 12 αρδεύσεις με επεξεργασμένα υγρά αστικά απόβλητα στη μεταχείριση του “Λύματος”, με την τελευταία άρδευση να πραγματοποιείται στις 13 Σεπτεμβρίου.



Εικόνα 5.29. Διάθεση των υγρών αστικών αποβλήτων από τη Δ.Ε.Υ.Α.Μ.Β. στην πλαστική μαύρη δεξαμενή.

Για την εύρεση των ποιοτικών χαρακτηριστικών των επεξεργασμένων αποβλήτων, διενεργούνταν χημικές αναλύσεις στα απόβλητα, στις εγκαταστάσεις του βιολογικού καθαρισμού. Οι παράμετροι που μετρούνταν στο βιολογικό καθαρισμό ήταν: pH, Cl⁻, SS (αιωρούμενα στερεά), COD (Χημική απαίτηση Οξυγόνου), N-NH₃, N-NO₃, P_{ολ} και αγωγιμότητα. Στον **Πίνακα 5.1** που ακολουθεί, φαίνονται τα ποιοτικά χαρακτηριστικά εκροής των επεξεργασμένων αποβλήτων καθώς και οι αντίστοιχες ημερομηνίες άρδευσης με απόβλητα.

Από τα αποτελέσματα των χημικών αναλύσεων των αποβλήτων (**Πίνακας 5.1**), διαπιστώνουμε ότι πιο επικίνδυνη παράμετρος για την καλλιέργεια θεωρείται η συγκέντρωση των ιόντων Cl⁻. Ως ελάχιστο όριο ασφαλείας θεωρούνται τα 355 mg Cl⁻/l, ενώ για τις ανθεκτικότερες καλλιέργειες μπορεί να εφαρμοστεί το όριο των 710 mg Cl⁻/l. Από τις άλλες παραμέτρους η ηλεκτρική αγωγιμότητα ήταν παραπάνω από το όριο των 3 dS/m, που όμως με την εναλλαγή των αρδεύσεων με καθαρό νερό θεωρείται ότι μειώνεται σημαντικά η επίδρασή της. Άλλωστε το σόργο είναι φυτό σχετικά ανθεκτικό στην αλατότητα (Maas, 1985).

Πίνακας 5.1. Αποτελέσματα χημικών αναλύσεων των επεξεργασμένων υγρών αστικών αποβλήτων και οι αντίστοιχες ημερομηνίες άρδευσης με απόβλητα.

Παράμετρος μέτρησης:	pH	Cl ⁻ (mg/l)	SS (mg/l)	COD (mg/l)	N-NH ₃ (mg/l)	N-NO ₃ (mg/l)	P _{ox} (mg/l)	αγωγιμότητα (dS/m)
Ημερομηνία:								
21/6/2006	7,9	1.207	4	43	7,4	9,8	1,5	4,53
7/7/2006	7,75	1.193	34	75	2,3	5,3	1,5	-
12/7/2006	7,92	1.560	26	64	0,9	5,4	0,7	5,72
19/7/2006	7,94	1.321	6	41	0,3	6,7	0,5	5
26/7/2006	7,88	1.575	24	70	3,8	5,2	0,9	5,65
2/8/2006	7,88	1.803	2	33	2,47	6,9	1	6,55
9/8/2006	7,92	2.968	38	88	8,6	4,4	1,7	10,27
16/8/2006	7,91	2.513	10	55	6,2	6,2	2,2	-
23/8/2006	8,19	1.705	8	47	1,9	6,3	1,2	7,44
30/8/2006	8,06	3.180	18	56	7,9	6	1,8	10,42
6/9/2006	8,13	1.660	30	54	2	8	1,5	5,85
13/9/2006	8,14	1.605	2	39	1,2	9,1	0,5	5,88
Όρια ασφαλείας:	6,5 – 8,5	0 - 700	0 - 15	0 - 40		0 – 10	0 - 15	0 – 3 dS/m

Τα νιτρικά ιόντα βρισκόταν μέσα στα προτεινόμενα όρια. Άλλωστε μία ποσότητα αζώτου και φωσφόρου που περιέχεται στα απόβλητα που χρησιμοποιούνται για άρδευση προσλαμβάνεται από τα φυτά. Το ποσοστό του αζώτου και του φωσφόρου που αφομοιώνεται από τα φυτά εξαρτάται μεταξύ άλλων, και από το είδος του φυτού (Πανώρας και Ηλίας, 1999). Αναφέρεται ότι μία αντιπροσωπευτική καλλιέργεια σόργου με απόδοση σε σπόρο 494 kg/στρέμμα απομακρύνει 19,1 kg/tn προϊόντος N και 3,0 kg/tn προϊόντος P ενώ με 445 kg/στρέμμα απόδοση σε καλαμιά (υπέργεια βιομάζα μετά τη συγκομιδή του σπόρου) απομακρύνει 9,5 kg/tn προϊόντος N και 1,5 kg/tn προϊόντος P (Broadbent and Reisenauer, 1985).

Οι τιμές των αιωρούμενων στερών (SS) κάποιες φορές ήταν σε πολύ χαμηλά επίπεδα ενώ άλλες φορές βρισκόταν πάνω από το ενδεικνυόμενο όριο των 15 mg/l, αλλά ποτέ δεν ξεπέρασαν τα 50 mg/l, κάτι που σημαίνει ότι ο περιορισμός στη χρήση του νερού και ο κίνδυνος έμφραξης των σταλακτιήρων ήταν μικρός.

Ακόμη, ο δείκτης COD στις περισσότερες περιπτώσεις βρισκόταν ελάχιστα πάνω από το ενδεικνυόμενο όριο των 40 mg/l, ενώ υπήρχαν και περιπτώσεις που ξεπερνούσε τα ενδεικνυόμενα όρια πιο πολύ.

Τέλος, ο $P_{ολ}$ χαρακτηρίζεται από μικρές συγκεντρώσεις.

5.9 Προσδιορισμός χαρακτηριστικών σόργου (ανάπτυξη και παραγωγικότητα της καλλιέργειας)

5.9.1 Ύψος φυτών

Προκειμένου να παρατηρηθεί ο ρυθμός αύξησης του σόργου μετρήθηκε το ύψος του (**Εικόνα 5.30 (α) και (β)**), κάνοντας δειγματοληπτικά 10 μετρήσεις σε κάθε πειραματικό τεμάχιο. Έτσι, σε κάθε ημερομηνία, το μέσο ύψος της κάθε μεταχείρισης προκύπτει μετά από μετρήσεις σε 40 διαφορετικά φυτά μέσα σε κάθε μεταχείριση. Οι μετρήσεις ξεκίνησαν αμέσως μετά το φύτεμα των φυτών και συνεχίστηκαν ανά τακτά χρονικά διαστήματα γιατί στην αρχή του πειράματος, ο ρυθμός αύξησης των φυτών ήταν μεγάλος.

Το όργανο που χρησιμοποιήθηκε ήταν ένα μέτρο. Στην πρώτη μέτρηση του ύψους επιλέχθηκαν τυχαία 10 φυτά σε κάθε πειραματικό τεμάχιο στα οποία μετρήθηκε το ύψος. Την ίδια ημέρα, τα φυτά αυτά σημάνθηκαν με κορδελάκια, έτσι ώστε στις επόμενες μετρήσεις να παρακολουθείται η εξέλιξη του ύψους από τα ίδια κάθε φορά φυτά σε κάθε πειραματικό τεμάχιο.

Συνολικά πραγματοποιήθηκαν 9 μετρήσεις. Η πρώτη μέτρηση έγινε στις **2/6/2006** και οι επόμενες στις **13/6/2006, 26/6/2006, 7/7/2006, 19/7/2006, 1/8/2006, 14/8/2006, 28/8/2006** και **21/9/2006**.



(α)



(β)

Εικόνα 5.30 (α), (β). Μέτρηση ύψους φυτών.

5.9.2 Αριθμός φύλλων και αδελφιών

Οι μετρήσεις αριθμού φύλλων πάρθηκαν ακριβώς τις ίδιες ημέρες με τις μετρήσεις του ύψους (**Εικόνα 5.31**) και αφορούν το κεντρικό φυτό μαζί με τα αδέλφια του. Οι μετρήσεις του αριθμού αδελφιών ανά φυτό έγιναν τις ίδιες ημερομηνίες με τις μετρήσεις αριθμού φύλλων και ύψους αλλά από τις 26/6 και μετά.

Μετρήθηκε ο αριθμός φύλλων και αδελφιών από 10 φυτά σε κάθε πειραματικό τεμάχιο. Έτσι, σε κάθε ημερομηνία, ο μέσος αριθμός φύλλων και αδελφιών της κάθε μεταχείρισης προκύπτει μετά από μετρήσεις σε 40 διαφορετικά φυτά μέσα σε κάθε μεταχείριση.



Εικόνα 5.31. Μέτρηση αριθμού αδελφιών.

Τα φυτά στα οποία μετρούνταν ο αριθμός φύλλων και αδελφιών ήταν κάθε φορά τα ίδια με τα φυτά στα οποία μετρούνταν το ύψος.

5.9.3 Αριθμός φοβών

Από την εμφάνιση της πρώτης ταξιανθίας και ως το τέλος της καλλιεργητικής περιόδου, γινόταν σε κάθε πειραματικό τεμάχιο μέτρηση του αριθμού των φυτών που είχαν ταξιανθία καθώς και ο αριθμός ταξιανθιών που είχε το κάθε φυτό (**Εικόνα 5.32 (α) και (β)**). Η πρώτη ταξιανθία εμφανίστηκε στις 10/7/2006.

Συνολικά έγιναν 8 μετρήσεις. Η πρώτη μέτρηση έγινε στις **21/7/2006** και οι επόμενες στις **28/7/2006, 4/8/2006, 11/8/2006, 18/8/2006, 25/8/2006, 1/9/2006** και στις **15/9/2006**.



(α)



(β)

Εικόνα 5.32 (α), (β). Ταξιανθίες της καλλιέργειας στις 28/07/2006 και 01/08/2006, αντίστοιχα.

5.9.4 Χλωρή και ξηρή βιομάζα

Σε αντίθεση με το δείκτη φυλλικής επιφάνειας ο οποίος είναι μέσο έκφρασης της ανάπτυξης της καλλιέργειας, η παραγωγή σε χλωρή και ξηρή βιομάζα εκφράζει την παραγωγικότητα της καλλιέργειας.

Για την εύρεση της παραγωγικότητας σε χλωρή και ξηρή βιομάζα των δύο μεταχειρίσεων του σόργου, γίνονταν κατά τη διάρκεια του πειράματος κοπές του υπέργειου τμήματος του σόργου σε καθορισμένα χρονικά διαστήματα.

Τα υλικά που χρησιμοποιούνταν ήταν: κλαδευτήρι, κολλητική ταινία, μαρκαδόρος, σακούλες και ειδική ζυγαριά ακριβείας με μέγιστο αποδεκτό βάρος τα 100 kg.

Από κάθε πειραματικό τεμάχιο συγκομίζονταν, με τη βοήθεια ενός ψαλιδιού κλαδέματος, 5 φυτά από τα οποία στη συνέχεια αφαιρούνταν τα φύλλα, και αργότερα και οι ταξιανθίες, με το χέρι (**Εικόνα 5.33 (α) και (β)**). Το κόψιμο των φυτών γινόταν ακριβώς πάνω από το έδαφος γιατί σε αυτό το σημείο συγκομίζει και η μηχανή. Η επιλογή των φυτών γινόταν έτσι ώστε σε κάθε κοπή – δειγματοληψία να υπάρχουν φυτά ψηλά, κοντά και μετρίου ύψους (δεν επιλεγόταν φυτά όμως στα οποία γινόταν άλλα είδη μετρήσεων όπως ύψος,

αριθμός φύλλων κλπ). Σε κάθε κοπή, λοιπόν, παίρνονταν συνολικά 20 δείγματα φυτών για την κάθε μεταχείριση. Στη συνέχεια, σε κάθε φυτό ζυγίζόταν με ζυγαριά ακριβείας το χλωρό του βάρος (φύλλα και στέλεχος χωριστά) (**Εικόνα 5.36**). Το στέλεχος κάθε φυτού είχε προηγουμένως κοπεί στη μέση ή σε μικρότερα τμήματα (ίσα μεταξύ τους) (**Εικόνα 5.34**), τα οποία δενόταν με ταινία στην οποία αναγραφόταν με μαρκαδόρο το είδος της μεταχείρισης, ο αριθμός της επανάληψης και ο αριθμός του δείγματος (π.χ. ΥΛ11 που σημαίνει Υπόγειο Λύμα, 1η επανάληψη, 1ο δείγμα φυτού, ΥΚ24 που σημαίνει Υπόγειο Καθαρό, 2η επανάληψη, 4ο δείγμα φυτού κλπ) (**Εικόνα 5.35 (α) και (β)**).

Δηλαδή, σε κάθε μια από τις 4 επαναλήψεις της κάθε μεταχείρισης (Καθαρό, Λύμα) το ζύγισμα της νωπής βιομάζας του κάθε φυτού γινόταν χωριστά.

Στη συνέχεια τα φύλλα και τα στελέχη του κάθε πειραματικού τεμαχίου τοποθετούνταν ξεχωριστά σε σακούλες και μεταφερόταν για ξήρανση σε ειδικό χώρο (θερμοκήπιο), μέχρι σταθεροποίησης των βαρών τους (**Εικόνα 5.37**). Μετά τη διαδικασία της ξήρανσης (**Εικόνα 5.38**), στελέχη και φύλλα ζυγίζόταν ξανά, στην ίδια ζυγαριά ακριβείας, ώστε να προσδιοριστεί το ξηρό τους βάρος. Σε αυτή τη φάση, όσον αφορά τα φύλλα γινόταν μέτρηση του συνολικού ξηρού βάρους των φύλλων και των δύο μεταχειρίσεων, δηλαδή τα φύλλα και των δύο μεταχειρίσεων ζυγίζόταν όλα μαζί έτσι ώστε να προσδιοριστεί απλά η απώλεια υγρασίας. Σε αντίθεση, το ξηρό βάρος των στελεχών προσδιοριζόταν χωριστά για κάθε δείγμα φυτού (π.χ. δείγμα ΥΛ11, ΥΛ12, ΥΛ21, ΥΛ22 κλπ). Άλλωστε, αυτό που μας ενδιέφερε ήταν το ξηρό βάρος των στελεχών, αφού η βιοαιθανόλη που μπορεί να χρησιμοποιηθεί ως βιοκαύσιμο βγαίνει από τα στελέχη και όχι από τα φύλλα.

Η μέση παραγωγή σε χλωρή και ξηρή βιομάζα κάθε μεταχείρισης σε κάθε κοπή προκύπτει μετά από μετρήσεις σε 20 διαφορετικά φυτά μέσα σε κάθε μεταχείριση (5 φυτά από κάθε επανάληψη, 4 επαναλήψεις).

Η ίδια διαδικασία επαναλαμβανόταν σε κάθε κοπή. Πραγματοποιήθηκαν συνολικά 6 κοπές κατά τη διάρκεια του πειράματος. Οι κοπές έγιναν περίπου 60, 80, 100, 120, 135 και 150 ημέρες από τη σπορά, μέχρι που σταθεροποιήθηκε το ξηρό βάρος. Η πρώτη κοπή έγινε στις **10/7/2006** και οι επόμενες στις **31/7/2006**, **18/8/2006**, **8/9/2006**, **26/9/2006** και στις **7/10/2006**.

Ο υπολογισμός αντιστοιχίας της παραγωγής ξηρής βιομάζας σε τόνους ισοδυνάμου πετρελαίου (ΤΙΠ) έγινε με βάση την ακόλουθη σχέση: η μέση θερμογόνος δύναμη της βιομάζας αντιστοιχεί σε 0,4 τόνους ισοδυνάμου πετρελαίου (ΤΙΠ) ανά τόνο ξηρής βιομάζας (Dolcioti et al., 1996).



(α)



(β)

Εικόνα 5.33 (α), (β). Κοπή φυτών και διαχωρισμός των φυτικών τμημάτων (φύλλα και ταξιανθίες από τα στελέχη), αντίστοιχα.



Εικόνα 5.34. Κοπή του στελέχους κάθε φυτού σε μικρότερα τμήματα.



(α)



(β)

Εικόνα 5.35 (α), (β). Δείγματα φυτών για τον προσδιορισμό της χλωρής και ξηρής βιομάζας των μεταχειρίσεων.



Εικόνα 5.36. Ζύγισμα χλωρού βάρους.



Εικόνα 5.37. Μεταφορά για ξήρανση στο θερμοκήπιο (4η κοπή).

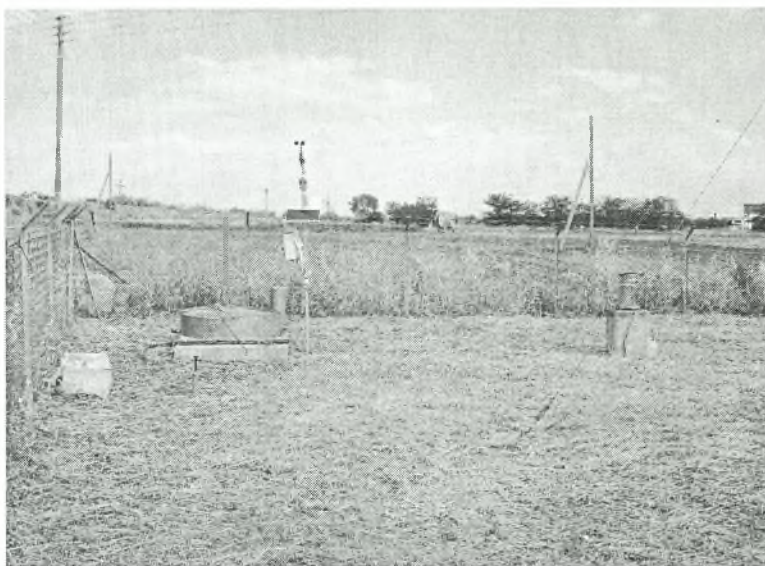


Εικόνα 5.38. Ξήρανση φύλλων και στελεχών στο θερμοκήπιο (3η κοπή, 14 ημέρες μετά).

5.10 Μετεωρολογικά δεδομένα

Για την καταγραφή των μετεωρολογικών δεδομένων (ημερήσια διακύμανση της θερμοκρασίας του αέρα και άθροισμα ημερήσιας βροχόπτωσης) της περιοχής χρησιμοποιήθηκε ο μετεωρολογικός σταθμός του Εργαστηρίου Γεωργικής Υδραυλικής ο οποίος βρίσκεται στο Αγρόκτημα του Πανεπιστημίου Θεσσαλίας, στο Βελεστίνο (**Εικόνα 5.39**).

Η καταγραφή των μετεωρολογικών δεδομένων γινόταν σε ωριαία βάση καθ' όλη τη διάρκεια του 24ώρου. Η συλλογή τους έγινε με τη βοήθεια data logger και η επεξεργασία τους με το πρόγραμμα Excel της Microsoft.



Εικόνα 5.39. Μετεωρολογικός σταθμός στο Αγρόκτημα του Πανεπιστημίου Θεσσαλίας.

5.11 Εδαφολογικά χαρακτηριστικά των πειραματικών τεμαχίων

Στην αρχή του πειράματος (στις **20/6/2006**) και πριν αρχίσουν οι αρδεύσεις με επεξεργασμένα υγρά απόβλητα έγινε δειγματοληψία εδάφους (**Εικόνα 5.40**).

Η δειγματοληψία του εδάφους έγινε με σκοπό τον προσδιορισμό των φυσικών και χημικών ιδιοτήτων του εδάφους. Λήφθηκαν συνολικά 2 δείγματα, ένα για κάθε μεταχείριση. Η επιλογή του πειραματικού τεμαχίου από το οποίο έγινε δειγματοληψία εδάφους ήταν τυχαία. Τα υλικά που χρησιμοποιήθηκαν ήταν δειγματολήπτης εδάφους και σακουλάκια δειγματοληψίας. Στη συνέχεια ακολούθησε ανάλυση των δειγμάτων στο εργαστήριο Εδαφολογίας του Πανεπιστημίου Θεσσαλίας.

Υπολογίστηκαν: μηχανική σύσταση, pH, ηλεκτρική αγωγιμότητα (mS/cm), οργανική ουσία (%), CaCO_3 (%), K (ppm), P (ppm), N (ppm), Cu (ppm) και Zn (ppm).



Εικόνα 5.40. Δειγματοληψία εδάφους.

Μετά το τέλος των αρδεύσεων (στις **7/10/2006**) έγινε πάλι δειγματοληψία εδάφους σε κάθε μεταχείριση, με τον ίδιο τρόπο όπως στην αρχή του πειράματος, και προσδιορίστηκαν και πάλι οι ίδιες παράμετροι.

Η όλη διαδικασία έγινε με σκοπό να προσδιοριστούν οι συγκεντρώσεις θρεπτικών στοιχείων, ιχνοστοιχείων και βαρέων μετάλλων, πριν και μετά την

άρδευση με απόβλητα, και να βρεθεί αν υπήρξε επίδραση των υγρών αποβλήτων στις συγκεντρώσεις των παραπάνω στοιχείων και στις ιδιότητες του εδάφους (ερμηνεία των αποτελεσμάτων δια της συσχέτισεως αυτών με την άρδευση με επεξεργασμένα υγρά απόβλητα).

5.12 Στατιστική ανάλυση των αποτελεσμάτων

Για τη στατιστική ανάλυση των αποτελεσμάτων χρησιμοποιήθηκε το στατιστικό πακέτο SPSS v. 11.0. Έγινε στατιστική επεξεργασία των μετρήσεων με το t-test, που είναι το καταλληλότερο κριτήριο για τον έλεγχο δύο μέσων όρων ή μιας σειράς δύο μέσων όρων. Έγινε σύγκριση μεταξύ των δύο μεταχειρίσεων των μέσων όρων της μεταβολής του ύψους, του δείκτη φυλλικής επιφάνειας, της χλωρής και ξηρής βιομάζας, του αριθμού φύλλων και αδελφιών και του αριθμού φοβών τόσο ανά ημερομηνία μέτρησης, όσο και συνολικά.

5.13 Υπολογισμός δόσης, εύρους και διάρκειας άρδευσης

Ο καθορισμός της δόσης άρδευσης και για τις δύο μεταχειρίσεις βασίστηκε στην ημερήσια ένδειξη εξάτμισης του εξατμισιμέτρου τύπου Α. Με βάση αυτές υπολογίζονται οι καθαρές ανάγκες σε νερό της καλλιέργειας, το ποσό δηλαδή του νερού που θα πρέπει να προστεθεί στην καλλιέργεια μέσω της άρδευσης.

Η ένδειξη του εξατμισιμέτρου (E_{pan}), που εκφράζει τη μέση εξάτμιση του 24ώρου σε mm/ημέρα, πολλαπλασιαζόμενη με το συντελεστή διόρθωσης του εξατμισιμέτρου K_p μας δίνει την εξατμισοδιαπνοή αναφοράς ET_o . Δηλαδή:

$$ET_o = K_p * E_{pan}, \text{ (mm/ημέρα)} \quad (5.2)$$

Ο συντελεστής διόρθωσης του εξατμισιμέτρου, K_p , υπολογίζεται σαν συνάρτηση της ταχύτητας του ανέμου, της μέσης σχετικής υγρασίας και του

είδους και της έκτασης της επιφάνειας που περιβάλλει το εξατμισόμετρο. Στη συγκεκριμένη θέση η τιμή του είναι 0,80 (FAO, 1998).

Στη συνέχεια, η τιμή της εξατμισοδιαπνοής αναφοράς πολλαπλασιαζόμενη με το φυτικό συντελεστή της καλλιέργειας K_c , μας δίνει την εξατμισοδιαπνοή της καλλιέργειας (ET_c) ή πραγματική ET.

$$ET_c = ET_0 * K_c, \text{ σε mm} \quad (5.3)$$

Η εξατμισοδιαπνοή δηλαδή, εκφράζει τις συνολικές ανάγκες σε νερό της καλλιέργειας. Αν από την τιμή της ET_c αφαιρεθεί το ύψος της ωφέλιμης βροχής, η τιμή που προκύπτει εκφράζει τις καθαρές ανάγκες της καλλιέργειας σε νερό (I_n), την ποσότητα δηλαδή του νερού που πρέπει να χορηγηθεί μέσω άρδευσης. Δηλαδή η πρακτική δόση άρδευσης (I_{da}), που αντιστοιχεί στο 100 % της εξατμισοδιαπνοής υπολογίζεται από τη σχέση:

$$I_{da} = I_n = ET_c - \Omega B, \text{ σε mm} \quad (5.4)$$

όπου: B είναι το ύψος βροχής και ΩB είναι το ωφέλιμο ύψος βροχής που υπολογίζεται ίσο με 0,8 B (Μιχελάκης, 1998).

Στο εξατμισόμετρο τύπου A όμως, η ημερήσια ένδειξη, αν δεν συμπεριληφθεί η βροχή οδηγεί απευθείας στις καθαρές ανάγκες σε νερό (FAO, 1998), με τη χρήση των Σχέσεων 5.2 και 5.3. Συνεπώς, για να υπολογιστεί η εξατμισοδιαπνοή της καλλιέργειας πρέπει στην τιμή των καθαρών αναγκών σε νερό που προκύπτει από την ένδειξη του εξατμισιμέτρου, να προστεθεί το ωφέλιμο ύψος βροχής. Δηλαδή σύμφωνα με τη Σχέση 5.4, στην περίπτωση αυτή θα ισχύει:

$$ET_c = I_n + \Omega B, \text{ σε mm} \quad (5.5)$$

Στον Πίνακα 5.2 παρουσιάζονται αναλυτικά ο τρόπος υπολογισμού των καθαρών αναγκών (I_n) και η εξατμισοδιαπνοή της καλλιέργειας (ET_c) με βάση την ημερήσια ένδειξη εξάτμισης (E_{pan}) του εξατμισιμέτρου τύπου A.

Ο υπολογισμός της διάρκειας άρδευσης (I_t) έγινε βάση της σχέσης:

$$I_t = I_{da} / I_{dh}, \text{ σε h} \quad (5.6)$$

όπου: I_{da} είναι η αντίστοιχη πρακτική δόση άρδευσης και I_{dh} είναι το ωριαίο ύψος βροχής.

Το ωριαίο ύψος βροχής δίνεται από την παρακάτω σχέση:

$$I_{dh} = (q * n) / (St * Sr), \text{ σε mm/h} \quad (5.7)$$

όπου: q είναι η παροχή του σταλακτήρα σε l/h,

$n = St / (2 * Se)$ είναι ο αριθμός σταλακτήρων ανά φυτό,

St είναι η ισαποχή των φυτών επί της γραμμής σποράς σε m,

Sr είναι η ισαποχή των γραμμών σποράς σε m και,

Se είναι η ισαποχή των σταλακτήρων επί του αγωγού σε m (Δημοπούλου, 2005).

Στον **Πίνακα 5.3** παρουσιάζονται οι δόσεις και η διάρκεια άρδευσης καθώς και οι ημερομηνίες των αρδεύσεων για κάθε μεταχείριση.

Πίνακας 5.2. Υπολογισμός των καθαρών αναγκών σε νερό και της εξατμισοδιαπνοής της καλλιέργειας.

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
Ημερομηνία	Ημέρες από 1/1/2006	Πλήρωση εξαμ./τρωο	Ημερήσια ένδεση	Διαφορά ημέρας Εραν	Βροχή B	Οφθαλμή Βροχή $\Omega B=0,8*B$ $0,8*(6)$	Εξάτμιση/ημερ αναφορές $E_o=Kp*E_{pan}$ $0,8*(5)$	K_c	Καθαρές ανά/κας $I_n=E_o*K_c$ $(8)*(9)$	Εξάτμιση/ημερ καλλιέργειας $E_T=I_n+\Omega B$ $(10)+(7)$
19/6/2006	170		26	8			6,4	1,088	6,96	6,96
20/6/2006	171		34	6	0,25	0,2	4,8	1,094	5,25	5,45
21/6/2006	172		40	7			5,6	1,1	6,16	6,16
22/6/2006	173		47	8			6,4	1,106	7,08	7,08
23/6/2006	174		55	2			1,6	1,112	1,78	1,78
24/6/2006	175		57	5	6,3	5,04	4	1,118	4,47	9,51
25/6/2006	176		62	6			4,8	1,124	5,39	5,39
26/6/2006	177		68	8			6,4	1,129	7,23	7,23
27/6/2006	178		76	6	1	0,8	4,8	1,135	5,45	6,25
28/6/2006	179		82	8			6,4	1,141	7,3	7,3
29/6/2006	180		90	6			4,8	1,147	5,51	5,51
30/6/2006	181		96	6			4,8	1,153	5,53	5,53
1/7/2006	182		102	5			4	1,159	4,64	4,64
2/7/2006	183		107	5			4	1,165	4,66	4,66
3/7/2006	184		112	-7	4	3,2	-5,6	1,171	-6,56	-3,36
4/7/2006	185		105	3	8,75	7	2,4	1,176	2,82	9,82
5/7/2006	186		108	7			5,6	1,182	6,62	6,62
6/7/2006	187		115	6			4,8	1,188	5,7	5,7
7/7/2006	188	10	121	5			4	1,194	4,78	4,78
8/7/2006	189		15	4			3,2	1,2	3,84	3,84

Πίνακας 5.2. Υπολογισμός των καθαρών αναγκών σε νερό και της εξατμισοδιαπνοής της καλλιέργειας (συνέχεια).

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
Ημερομηνία	Ημέρες από 1/1/2006	Πλήρωση εξατμ/τρου	Ημερήσια ένδειξη	Διαφορά ημέρας Εραν	Βρόχι B	Ωφέλιμη Βρόχι $\Omega B=0.8*B$ 0,8*(6)	Εξατμ/πνοή αναφοράς $E_o=Kp^*E_{pan}$ 0,8*(5)	Kc	Καθαρές ανάγκες $In=E_o*Kc$ (8)*(9)	Εξατμ/πνοή καλλιέργειας $E_{Te}=In+\Omega B$ (10)+(7)
9/7/2006	190		19	4			3,2	1,2	3,84	3,84
10/7/2006	191		23	4			3,2	1,2	3,84	3,84
11/7/2006	192		27	7			5,6	1,2	6,72	6,72
12/7/2006	193		34	6			4,8	1,2	5,76	5,76
13/7/2006	194		40	5	0,25	0,2	4	1,2	4,8	5
14/7/2006	195		45	7			5,6	1,2	6,72	6,72
15/7/2006	196		52	6			4,8	1,2	5,76	5,76
16/7/2006	197		58	6			4,8	1,2	5,76	5,76
17/7/2006	198		64	9			7,2	1,2	8,64	8,64
18/7/2006	199		73	3			2,4	1,2	2,88	2,88
19/7/2006	200		76	6	2,64	2,11	4,8	1,2	5,76	7,87
20/7/2006	201		82	7			5,6	1,2	6,72	6,72
21/7/2006	202		89	7			5,6	1,2	6,72	6,72
22/7/2006	203		96	7			5,6	1,2	6,72	6,72
23/7/2006	204		103	7			5,6	1,2	6,72	6,72
24/7/2006	205		110	7			5,6	1,2	6,72	6,72
25/7/2006	206		117	5			4	1,2	4,8	4,8
26/7/2006	207	1	122	5			4	1,2	4,8	4,8
27/7/2006	208		6	7			5,6	1,2	6,72	6,72
28/7/2006	209		13	7			5,6	1,2	6,72	6,72

Πίνακας 5.2. Υπολογισμός των καθαρών αναγκών σε νερό και της εξατμισοδιαπνοής της καλλιέργειας (συνέχεια).

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
Ημερομηνία	Ημέρες από 1/1/2006	Πλήρωση εξατμ/πνοῦ	Ημερήσια ένδεξη	Διαφορά ημέρας Εραν	Βροχή B	Ωφέλιμη Βροχή $\Omega B=0,8*B$ 0,8*(6)	Εξατμ/πνοή αναφορές $E_o=K_p*E_{pan}$ 0,8*(5)	Kc	Καθαρές ανάγκες $I_n=E_o*K_c$ (8)*(9)	Εξατμ/πνοή καλλιέργειας $E T_c=I_n+\Omega B$ (10)+(7)
29/7/2006	210		20	7			5,6	1,2	6,72	6,72
30/7/2006	211		27	7			5,6	1,2	6,72	6,72
31/7/2006	212		34	6	0,25	0,2	4,8	1,2	5,76	5,96
1/8/2006	213		40	7			5,6	1,2	6,72	6,72
2/8/2006	214		47	7			5,6	1,2	6,72	6,72
3/8/2006	215		54	8			6,4	1,2	7,68	7,68
4/8/2006	216		62	7			5,6	1,2	6,72	6,72
5/8/2006	217		69	8			6,4	1,2	7,68	7,68
6/8/2006	218		77	8			6,4	1,2	7,68	7,68
7/8/2006	219		85	7			5,6	1,2	6,72	6,72
8/8/2006	220		92	8			6,4	1,2	7,68	7,68
9/8/2006	221	1	100	6			4,8	1,2	5,76	5,76
10/8/2006	222		7	3			2,4	1,2	2,88	2,88
11/8/2006	223		10	6		2,22	4,8	1,2	5,76	7,98
12/8/2006	224		16	7	2,77		5,6	1,2	6,72	6,72
13/8/2006	225		23	7			5,6	1,2	6,72	6,72
14/8/2006	226		30	6			4,8	1,2	5,76	5,76
15/8/2006	227		36	7			5,6	1,2	6,72	6,72
16/8/2006	228		43	7			5,6	1,2	6,72	6,72
17/8/2006	229		50	7			5,6	1,2	6,72	6,72

Πίνακας 5.2. Υπολογισμός των καθαρών αναγκών σε νερό και της εξατμισοδιαπνοής της καλλιέργειας (συνέχεια).

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
Ημερομηνία	Ημέρες από 1/1/2006	Πλήρωση εξατμ./τρου	Ημερήσια ένδειξη	Διαφορά ημέρας Εραν	Βροχή B	Ωφέλιμη Βροχή ΩΒ=0.8*B 0.8*(6)	Εξατμ/πνοή αναφορές Εο=Kp*Εραν 0.8*(5)	Kc	Καθαρές ανάγκες In=Eo*Kc (8)*(9)	Εξατμ/πνοή καλλιέργειας ETc=In+ΩΒ (10)+(7)
18/8/2006	230		57	6			4,8	1,2	5,76	5,76
19/8/2006	231		63	8			6,4	1,2	7,68	7,68
20/8/2006	232		71	8			6,4	1,2	7,68	7,68
21/8/2006	233		79	8			6,4	1,195	7,65	7,65
22/8/2006	234		87	7			5,6	1,189	6,66	6,66
23/8/2006	235		94	6			4,8	1,184	5,68	5,68
24/8/2006	236		100	5			4	1,179	4,72	4,72
25/8/2006	237		105	7			5,6	1,173	6,57	6,57
26/8/2006	238		112	6			4,8	1,168	5,61	5,61
27/8/2006	239		118	6			4,8	1,163	5,58	5,58
28/8/2006	240		124	7			5,6	1,157	6,48	6,48
29/8/2006	241	1	131	7			5,6	1,152	6,45	6,45
30/8/2006	242		8	8			6,4	1,146	7,33	7,33
31/8/2006	243		16	8			6,4	1,141	7,3	7,3
1/9/2006	244		24	6			4,8	1,136	5,45	5,45
2/9/2006	245		30	5			4	1,13	4,52	4,52
3/9/2006	246		35	5			4	1,125	4,5	4,5
4/9/2006	247		40	6			4,8	1,12	5,38	5,38
5/9/2006	248		46	6			4,8	1,114	5,35	5,35
6/9/2006	249		52	7			5,6	1,109	6,21	6,21

Πίνακας 5.2. Υπολογισμός των καθαρών αναγκών σε νερό και της εξατμισοδιαπνοής της καλλιέργειας (συνέχεια).

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
Ημερομηνία	Ημέρες από 1/1/2006	Πλήρωση εξατμ/πνοῦ	Ημερήσια ένδειξη	Διαφορά ημέρους Εραν	Βροχή B	Ωφέλιμη Βροχή $\Omega B=0.8*B$ 0.8*(6)	Εξατμ/πνοή αναφορές $E_o=K_p*E_{ραν}$ 0.8*(5)	Kc	Καθαρές ανάγκες $I_n=E_o*K_c$ (8)*(9)	Εξατμ/πνοή καλλιέργειας $E_{Tc}=I_n+\Omega B$ (10)+(7) mm
7/9/2006	250		59	5			4	1,104	4,42	4,42
8/9/2006	251		64	6			4,8	1,098	5,27	5,27
9/9/2006	252		70	4			3,2	1,093	3,5	3,5
10/9/2006	253		74	5			4	1,088	4,35	4,35
11/9/2006	254		79	5			4	1,082	4,33	4,33
12/9/2006	255		84	3			2,4	1,077	2,58	2,58
13/9/2006	256		87	4			3,2	1,071	3,43	3,43
14/9/2006	257		91	5			4	1,066	4,26	4,26
15/9/2006	258		96	4			3,2	1,061	3,39	3,39
16/9/2006	259		100	3			2,4	1,055	2,53	2,53
17/9/2006	260		103	0,5			0,4	1,05	0,42	0,42
18/9/2006	261		103,5	1,5	2,39	1,91	1,2	1,05	1,26	3,17
19/9/2006	262		105	4			3,2	1,05	3,36	3,36
20/9/2006	263		109	-	-	-	-	-	-	-
ΣΥΝΟΛΟ					28,6	22,88			507,95	530,83

Πίνακας 5.3. Ημερομηνίες, Δόσεις και Διάρκεια των αρδεύσεων στο ενεργειακό φυτό σόργο.

1	2	3	4	5		6	7	8	9
Ημερομηνία	Ημέρες υπό 1/1/2006	Καθαρές ανάγκες In mm	Αθροισμα Καθαρών αναγκών mm	Δόση άρδευσης:		Δόση άρδευσης; m ³ /20m ²	n St/(2*Se) mm/h	Idh (q*n)/(St*Sr) mm/h	Διάρκεια άρδευσης (S)/(8) h
				mm ή	m ³ /στρ.				
19/6/2006	170	6,96							
20/6/2006	171	5,25	12,21						
21/6/2006	172	6,16		12,21	0,2442	0,12	3,75		3h 16'
22/6/2006	173	7,08	13,24						
23/6/2006	174	1,78		13,24	0,2648	0,12	3,75		3h 32'
24/6/2006	175	4,47							
25/6/2006	176	5,39	11,64						
26/6/2006	177	7,23		11,64	0,2328	0,12	3,75		3h 06'
27/6/2006	178	5,45	12,68						
28/6/2006	179	7,3		12,68	0,2536	0,12	3,75		3h 23'
29/6/2006	180	5,51	12,81						
30/6/2006	181	5,53		12,81	0,2562	0,12	3,75		3h 25'
1/7/2006	182	4,64							
2/7/2006	183	4,66	14,83						

Παροχή σταλακτήρα: q = 3,6 l/h
 Ισοποχή φυτών επί της γραμμής σποράς: St = 0,14 m
 Αριθμός σταλακτήρων ανά φυτό: n = St/(2*Se) = 0,12
 Ισοποχή σειρών φυτών: Sr = 0,80 m
 Ισοποχή σταλακτήρων επί του αγωγού: Se = 0,60 m

Πίνακας 5.3. Ημερομηνίες, Δόσεις και Διάρκεια των αρδεύσεων στο ενεργειακό φυτό σόργο (συνέχεια).

1	2	3	4	5		6	7	8	9
Ημερομηνία	Ημέρες από 1/1/2006	Καθαρές ανάγλυφες In mm	Αθροισμα Καθαρών ανηγρών mm	Δόση άρδευσης		n Sr/(2*Se)	Idh (q*n)/(Sr*Se)	mm/h	Αιάρκεια άρδευσης (5)/(8)
				mm ή m³/στρ.	m³/20m²				
3/7/2006	184	-6,56		14,83	0,2966	0,12	3,75		3h 57'
4/7/2006	185	2,82							
5/7/2006	186	6,62							
6/7/2006	187	5,7	8,58						
7/7/2006	188	4,78		8,58	0,1716	0,12	3,75		2h 17'
8/7/2006	189	3,84							
9/7/2006	190	3,84	12,46						
10/7/2006	191	3,84		12,46	0,2492	0,12	3,75		3h 19'
11/7/2006	192	6,72	10,56						
12/7/2006	193	5,76		10,56	0,2112	0,12	3,75		2h 49'
13/7/2006	194	4,8	10,56						
14/7/2006	195	6,72		10,56	0,2112	0,12	3,75		2h 49'
15/7/2006	196	5,76							
16/7/2006	197	5,76	18,24						

Παροχή σταλακτήρα: q = 3,6 l/h
Ισαποχή φυτών επί της γραμμής σποράς: St = 0,14 m
Αριθμός σταλακτήρων ανά φυτό: n = St/(2*Se) = 0,12
Ισαποχή σειρών φυτών: Sr = 0,80 m
Ισαποχή σταλακτήρων επί του αγωγού: Se = 0,60 m

Πίνακας 5.3. Ημερομηνίες, Δόσεις και Διάρκεια των αρδεύσεων στο ενεργειακό φυτό σόργο (συνέχεια).

1	2	3	4	5		6	7	8	9
Ημερομηνία	Ημέρες από 1/1/2006	Καθαρές ανάγκες In mm	Αθροισμα Καθαρών αναγκών mm	Δόση άρδευσης		m ³ /20m ²	n St/(2*Se)	Idh (q*n)/(St*Sr) mm/h	Διάρκεια άρδευσης (S)/(8) h
				mm ή m ³ /στρ.					
17/7/2006	198	8,64		18,24	0,3648		0,12	3,75	4h 52'
18/7/2006	199	2,88	11,52						
19/7/2006	200	5,76		11,52	0,2304		0,12	3,75	3h 01'
20/7/2006	201	6,72	12,48						
21/7/2006	202	6,72		12,48	0,2496		0,12	3,75	3h 20'
22/7/2006	203	6,72							
23/7/2006	204	6,72	20,16						
24/7/2006	205	6,72		20,16	0,4032		0,12	3,75	5h 23'
25/7/2006	206	4,8	11,52						
26/7/2006	207	4,8		11,52	0,2304		0,12	3,75	3h 01'
27/7/2006	208	6,72	11,52						
28/7/2006	209	6,72		11,52	0,2304		0,12	3,75	3h 01'
29/7/2006	210	6,72							
30/7/2006	211	6,72	20,16						

Παροχή σταλακτήρα: q = 3,6 l/h
 Ισοποχή φυτών επί της γραμμής σποράς: St = 0,14 m
 Αριθμός σταλακτήρων ανά φυτό: n = St/(2*Se) = 0,12
 Ισοποχή σειρών φυτών: Sr = 0,80 m
 Ισοποχή σταλακτήρων επί του αγωγού: Se = 0,60 m

Πίνακας 5.3. Ημερομηνίες, Δόσεις και Διάρκεια των αρδεύσεων στο ενεργειακό φυτό σόργο (συνέχεια).

1	2	3	4	5		6	7	8	9
Ημερομηνία	Ημέρες από 1/1/2006	Καθαρές ανάγκες In mm	Άθροισμα Καθαρών αναγκών mm	Δόση άρδευσης		n St/(2*Se)	Idh (q*n)/(St*Sr)		Διάρκεια άρδευσης (5)/(8) h
				mm ή m ³ /στρ.	m ³ /20m ²				
31/7/2006	212	5,76		20,16	0,4032	0,12	3,75		5h 23'
1/8/2006	213	6,72	12,48						
2/8/2006	214	6,72		12,48	0,2496	0,12	3,75		3h 20'
3/8/2006	215	7,68	14,4						
4/8/2006	216	6,72		14,4	0,288	0,12	3,75		3h 50'
5/8/2006	217	7,68							
6/8/2006	218	7,68	22,08						
7/8/2006	219	6,72		22,08	0,4416	0,12	3,75		5h 53'
8/8/2006	220	7,68	14,4						
9/8/2006	221	5,76		14,4	0,288	0,12	3,75		3h 50'
10/8/2006	222	2,88	8,64						
11/8/2006	223	5,76		8,64	0,1728	0,12	3,75		2h 18'
12/8/2006	224	6,72							
13/8/2006	225	6,72	19,2						

Παροχή σταλακτήρα: q = 3,6 l/h
Ισοποχή φυτών επί της γραμμής σποράς: St = 0,14 m
Αριθμός σταλακτήρων ανά φυτό: n = St/(2*Se) = 0,12
Ισοποχή σειρών φυτών: Sr = 0,80 m
Ισοποχή σταλακτήρων επί του αγωγού: Se = 0,60 m

Πίνακας 5.3. Ημερομηνίες, Δόσεις και Διάρκεια των αρδεύσεων στο ενεργειακό φυτό σόργο (συνέχεια).

1	2	3	4	5		6	7	8	9
Ημερομηνία	Ημέρες από 1/1/2006	Καθαρές ανάγκες In mm	Αθροισμα Καθαρών αναγκών mm	Δόση άρδευσης		S _t /(2*Se)	Idh (q*n)/(S*Sr)		Διάρκεια άρδευσης (S)/I8 h
				mm ή m ³ /στρ.	m ³ /20m ²				
14/8/2006	226	5,76		19,2	0,384	0,12	3,75		5h 07'
15/8/2006	227	6,72	12,48						
16/8/2006	228	6,72		12,48	0,2496	0,12	3,75		3h 20'
17/8/2006	229	6,72	13,44						
18/8/2006	230	5,76		13,44	0,2688	0,12	3,75		3h 35'
19/8/2006	231	7,68							
20/8/2006	232	7,68	21,12						
21/8/2006	233	7,65		21,12	0,4224	0,12	3,75		5h 38'
22/8/2006	234	6,66	14,31						
23/8/2006	235	5,68		14,31	0,2862	0,12	3,75		3h 49'
24/8/2006	236	4,72	10,4						
25/8/2006	237	6,57		10,4	0,208	0,12	3,75		2h 46'
26/8/2006	238	5,61							
27/8/2006	239	5,58	17,76						

Παροχή σταλακτήρα: q = 3,6 l/h
 Ισαποχή φυτών επί της γραμμής σποράς: St = 0,14 m
 Αριθμός σταλακτήρων ανά φυτό: n = S_t/(2*Se) = 0,12
 Ισαποχή σειρών φυτών: Sr = 0,80 m
 Ισαποχή σταλακτήρων επί του αγωγού: Se = 0,60 m

Πίνακας 5.3. Ημερομηνίες, Δόσεις και Διάρκεια των αρδύσεων στο ενεργειακό φυτό σόργο (συνέχεια).

1	2	3	4	5	6	7	8	9
Ημερομηνία	Ημέρες από 1/1/2006	Καθαρές ανάγκες In mm	Αθροισμα Καθαρών αναγκών mm	Δόση άρδευσης		n S/(2*S _ε)	Idh (q [*] *a)/(S _ε ² *Sr)	Διάρκεια άρδευσης (5)/(8) h
				mm ή m ³ /στρ.	m ³ /20m ²			
28/8/2006	240	6,48		17,76	0,3552	0,12	3,75	4h 44'
29/8/2006	241	6,45	12,93					
30/8/2006	242	7,33		12,93	0,2586	0,12	3,75	3h 27'
31/8/2006	243	7,3	14,63					
1/9/2006	244	5,45		14,63	0,2926	0,12	3,75	3h 54'
2/9/2006	245	4,52						
3/9/2006	246	4,5	14,47					
4/9/2006	247	5,38		14,47	0,2894	0,12	3,75	3h 52'
5/9/2006	248	5,35	10,73					
6/9/2006	249	6,21		10,73	0,2146	0,12	3,75	2h 52'
7/9/2006	250	4,42	10,63					
8/9/2006	251	5,27		10,63	0,2126	0,12	3,75	2h 50'
9/9/2006	252	3,5						
10/9/2006	253	4,35	13,12					

Παροχή σταλακτήρα: q = 3,6 l/h
Ισαποχή φυτών επί της γραμμής σποράς: St = 0,14 m
Αριθμός σταλακτήρων ανά φυτό: n = St/(2*Se) = 0,12
Ισαποχή σειρών φυτών: Sr = 0,80 m
Ισαποχή σταλακτήρων επί του αγωγού: Se = 0,60 m

Πίνακας 5.3. Ημερομηνίες, Δόσεις και Διάρκεια των αρδεύσεων στο ενεργειακό φυτό σόργο (συνέχεια).

1	2	3	4	5	6	7	8	9
Ημερομηνία	Ημέρες από 1/1/2006	Καθαρές ανάγκες In mm	Απορροσισμα Καθαρών αναγκών mm	Δόση άρδευσης		n St/(2*Se)	Idh (q*n)/(St*Sr) mm/h	Διάρκεια άρδευσης (5)/(8) h
				mm ή m³/στρ.	m³/20m²			
11/9/2006	254	4,33		13,12	0,2624	0,12	3,75	3h 30'
12/9/2006	255	2,58	6,91					
13/9/2006	256	3,43		6,91	0,1382	0,12	3,75	1h 50'
14/9/2006	257	4,26	7,69					
15/9/2006	258	3,39		7,69	0,1538	0,12	3,75	2h 00'
16/9/2006	259	2,53						
17/9/2006	260	0,42	6,34					
18/9/2006	261	1,26		6,34	0,1268	0,12	3,75	1h 41'
19/9/2006	262	3,36	4,62					
20/9/2006	263			4,62	0,0924	0,12	3,75	1h 14'
ΣΥΝΟΛΟ		507,95	507,95	507,95	10,159			

Παροχή σταλακτήρα: q = 3,6 l/h
Ισαποχή φυτών επί της γραμμής σποράς: St = 0,14 m
Αριθμός σταλακτήρων ανά φυτό: n = St/(2*Se) = 0,12
Ισαποχή σειρών φυτών: Sr = 0,80 m
Ισαποχή σταλακτήρων επί του αγωγού: Se = 0,60 m

Η δόση άρδευσης και το εύρος άρδευσης πρέπει να είναι τέτοια, ώστε η περιεκτικότητα του εδάφους σε υγρασία να βρίσκεται κοντά στην υδατοϊκανότητα (FC) και πάνω από το σημείο μόνιμης μάρανσης (PWP). Απαιτείται δηλαδή ο προσδιορισμός της πρακτικής δόσης άρδευσης την οποία η αθροιστική ένδειξη του εξατμισιμέτρου δεν θα πρέπει να υπερβαίνει.

Η μεθοδολογία που ακολουθείται για τον υπολογισμό της πρακτικής δόσης άρδευσης προϋποθέτει τον προσδιορισμό της υδατοϊκανότητας (FC, % ξηρού βάρους εδάφους), του σημείου μόνιμης μάρανσης (PWP, % ξηρού βάρους εδάφους) και του φαινόμενου ειδικού βάρους (Φ_{EB} , g/m^3) του εδάφους του αγρού. Ο προσδιορισμός τους έγινε εργαστηριακά και οι τιμές παρουσιάζονται στον **Πίνακα 5.4**.

Στον ίδιο **Πίνακα 5.4** δίνονται επίσης, το ποσοστό διαβροχής (P) του εδάφους για τη συγκεκριμένη διάταξη των σταλακτηφόρων αγωγών στον πειραματικό αγρό (Τερζίδης κ.ά., 1997), καθώς και οι τιμές του βάθους του ριζικού συστήματος των φυτών (h), του ορίου εξαντλήσεως της εδαφικής υγρασίας (c) (Σακελλαρίου, 1993), του συντελεστή που εξαρτάται από την καλλιέργεια (f1) (F.A.O., 1998) και του συντελεστή που εξαρτάται από την αναμενόμενη φυτοσκίαση του εδάφους (f2) (Σακελλαρίου, 1993) για κάθε έναν από τους τέσσερις άρδευτικούς μήνες.

Πίνακας 5.4. Τιμές δεδομένων που απαιτούνται για τον υπολογισμό της πρακτικής δόσης άρδευσης.

	FC % κ.β.	PWP % κ.β.	ΦΕΒ g/m ³	h m	C	P	Π	Π	E_o mm/ημ
ΙΟΥΝΙΟΣ	21,2	11,64	1,23	0,40	0,55	1	0,39	0,68	5,07
ΙΟΥΛΙΟΣ	21,2	11,64	1,23	0,75	0,55	1	0,83	0,88	6,10
ΑΥΓΟΥΣΤΟΣ	21,2	11,64	1,23	1,10	0,55	1	1	0,95	5,50
ΣΕΠΤΕΜΒΡΙΟΣ	21,2	11,64	1,23	1,30	0,55	1	1	0,95	3,58

Με βάση τα δεδομένα αυτά η διαδικασία υπολογισμού της πρακτικής δόσης άρδευσης παρουσιάζεται στον παρακάτω πίνακα (**Πίνακας 5.5**). Η μεθοδολογία αυτή οδηγεί επίσης, στον υπολογισμό της διάρκειας και του εύρους της στάγδην άρδευσης με θεωρητικό τρόπο, βασιζόμενο στα εδαφολογικά χαρακτηριστικά του εδάφους. Η μέθοδος αυτή δεν χρησιμοποιήθηκε στην παρούσα εργασία (παρά μόνο για τον υπολογισμό της πρακτικής δόσης άρδευσης), διότι αφ' ενός η ημερήσια εξάτμιση κατά τη διάρκεια ενός μήνα δεν είναι ποτέ σταθερή και αφετέρου, διότι απαιτούνται συνήθως πολύ μεγάλοι χρόνοι λειτουργίας του αρδευτικού συστήματος.

Πίνακας 5.5. Θεωρητικός τρόπος υπολογισμού της δόσης, του εύρους και της διάρκειας άρδευσης (Σακελλαρίου, 1993).

	ΙΟΥΝΙΟΣ	ΙΟΥΛΙΟΣ	ΑΥΓΟΥΣΤΟΣ	ΣΕΠΤΕΜΒΡΙΟΣ
Διαθέσιμη υγρασία $\Delta.Y.=[(FC-PWP)/100]*\Phi EB,$ % Κ.Ο.	11,7588	11,7588	11,7588	11,7588
Θεωρητική δόση άρδευσης $I_d=\Delta.Y. * h * c * P,$ mm ή m ³ /στρ.	25,87	48,50	71,14	84,07
Πρακτική δόση άρδευσης $I_{da} = I_d / 0,95,$ mm ή m ³ /στρ. (0.95 είναι ο βαθμός εφαρμογής νερού στην στάγδην άρδευση)	27,23	51,05	74,88	88,49
Ωριαίο ύψος βροχής $I_{dh} = (q*n)/(St*S_r), mm/h$	3,75	3,75	3,75	3,75
Μέση ημερήσια πραγματική εξατμισοδιαπνοή $E'T_d=E_o * f_1 * f_2,$ mm/ημέρα	1,34	4,46	5,23	3,40
Εύρος άρδευσης $I_r=I_{da} / E'T_d, \text{ ημέρες}$	20,32	11,45	14,32	26,03
Διάρκεια άρδευσης $I_t=I_{da}/I_{dh},$ h	7h 15´	13h 36´	19h 58´	23h 36´

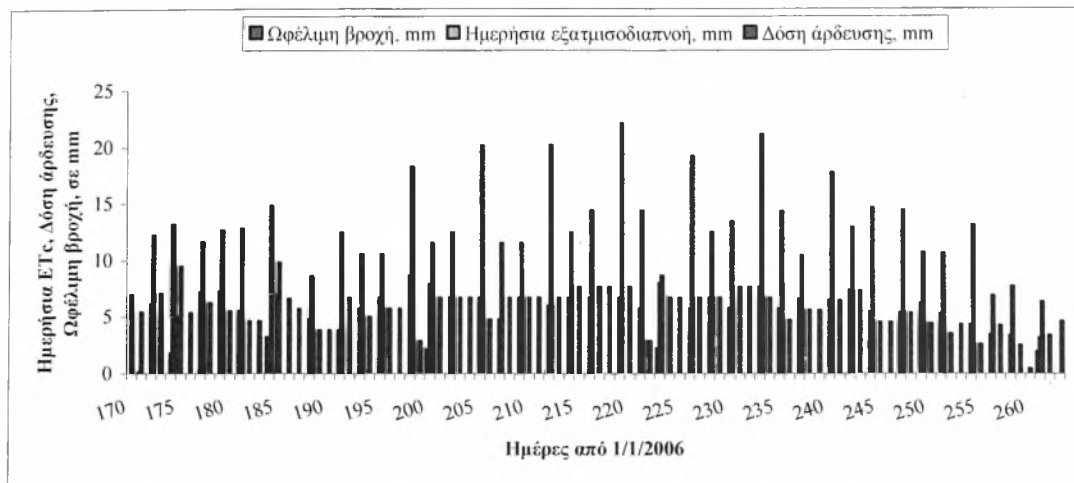
Παροχή σταλακτήρα: q = 3,6 l/ h
Ισαποχή μεταξύ των γραμμών σποράς: Sr = 0,80 m
Ισαποχή φυτών μεταξύ τους επί της γραμμή σποράς: St = 0,14 m
Ισαποχή σταλακτήρων επί του αγωγού: Se = 0,60 m
Αριθμός σταλακτήρων ανά φυτό: n = St / (2 * Se) = 0,12

Από τον **Πίνακα 5.5** φαίνεται ότι το άθροισμα των καθαρών αναγκών που λαμβάνεται υπόψη από το εξατμισόμετρο σε κάθε άρδευση, δεν θα πρέπει να υπερβαίνει την πρακτική δόση άρδευσης, δηλαδή τον Ιούνιο τα 27,23 mm, τον Ιούλιο τα 51,05 mm, τον Αύγουστο τα 74,88 mm και το Σεπτέμβριο τα 88,49 mm.

Ο προγραμματισμός της δόσης άρδευσης έγινε τηρουμένων των προδιαγραφών (παροχή σταλακτήρων, ωριαίο ύψος βροχής, διαστάσεις γραμμών άρδευσης και ισαποχή σταλακτήρων επί των γραμμών), με βάση τους μετρούμενους ρυθμούς ημερήσιας εξατμίσσης. Δηλαδή, η ημερήσια πραγματική εξατμισοδιαπνοή αντιπροσώπευε και την ημερήσια δόση άρδευσης σε mm.

Πραγματοποιήθηκαν 39 αρδεύσεις στο διάστημα από **21/6/2006** έως **20/9/2006**. Και οι δύο μεταχειρίσεις (Καθαρό, Λύμα) έλαβαν την ίδια ποσότητα νερού η οποία καθορίστηκε με τη βοήθεια εξατμισιμέτρου τύπου Α. Η αθροιστική εξατμισοδιαπνοή από την προηγούμενη άρδευση λαμβανόταν υπόψη και γινόταν η εύρεση της δόσης άρδευσης. Η διαφορά μεταξύ των δύο μεταχειρίσεων είναι στο ότι στη μεταχείριση του “Λύματος” κάποια ποσότητα από τις ανάγκες της καλλιέργειας σε νερό καλύφθηκε με τη χρήση επεξεργασμένων υγρών αποβλήτων.

Οι συνολικές ανάγκες της καλλιέργειας σε νερό (δόση άρδευσης, ωφέλιμη βροχή) σε σχέση με την ημερήσια εξατμισοδιαπνοή της καλλιέργειας, παρουσιάζονται στο **Σχήμα 5.2**.



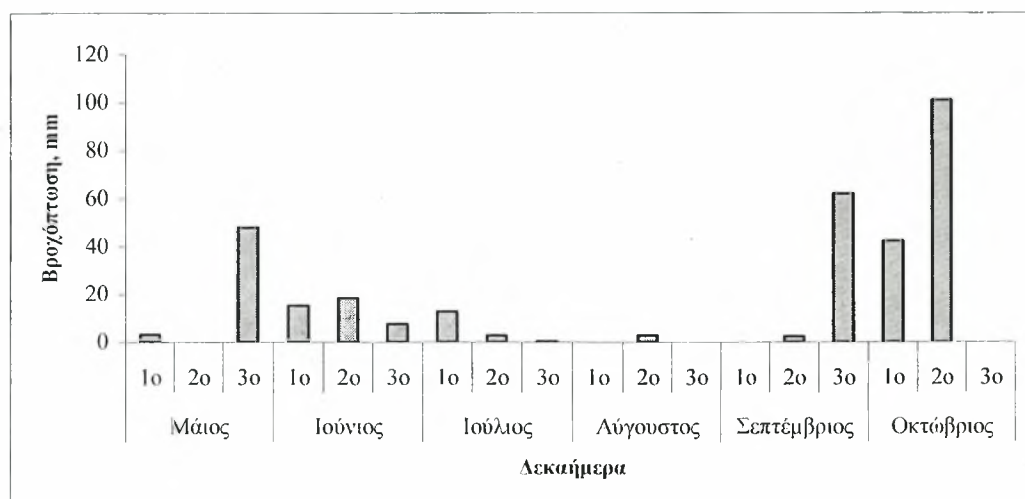
Σχήμα 5.2. Ημερήσια εξατμισοδιαπνοή και συνολικές ανάγκες της καλλιέργειας σε νερό και στις δύο μεταχειρίσεις (οι τιμές αντιστοιχούν στις στήλες 7 και 11 του Πίνακα 5.2 και στη στήλη 5 του Πίνακα 5.3).

Κεφάλαιο 6ο.

ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ – ΣΥΖΗΤΗΣΗ

6.1 Κλιματικά δεδομένα

Στο **Σχήμα 6.1** παρουσιάζονται οι τιμές της βροχόπτωσης κατά τη διάρκεια του πειράματος, το έτος 2006, στην περιοχή του Βελεστίνου Μαγνησίας, όπου διεξήχθη το πείραμα.



Σχήμα 6.1. Τιμές βροχόπτωσης κατά τη διάρκεια της καλλιεργητικής περιόδου 2006.

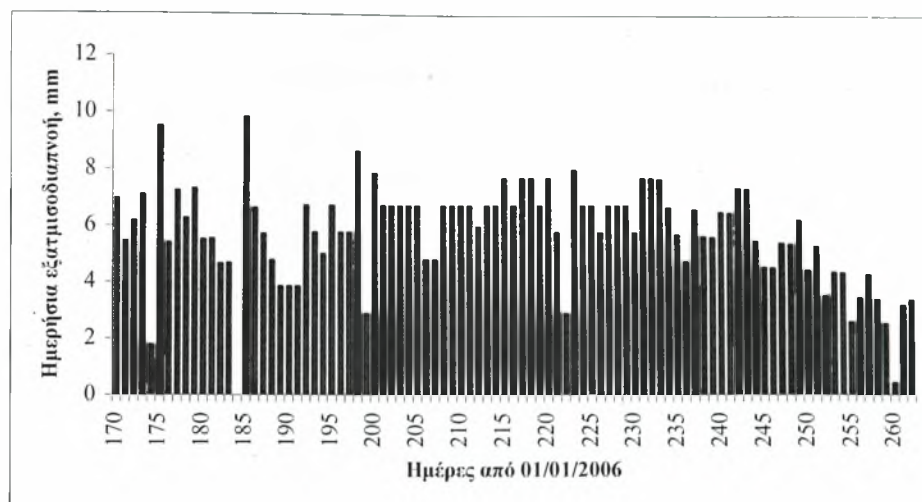
Όπως προκύπτει από το **Σχήμα 6.1** οι βροχοπτώσεις στο 3ο δεκαήμερο του Μαΐου και στο 1ο και 2ο δεκαήμερο του Ιουνίου αξιοποιήθηκαν από την καλλιέργεια στο στάδιο του φυτρώματος. Από την ημερομηνία σποράς (11/05/2006) έως και την

έναρξη της στάγδην άρδευσης η βροχόπτωση ήταν συνολικά 81,85 mm, με μεγαλύτερης έντασης επεισόδιο εκείνο που σημειώθηκε στις 26/05/2006 (47,8 mm). Από την ημερομηνία έναρξης της στάγδην άρδευσης (21/06/2006) μέχρι και τη λήξη των αρδεύσεων (20/09/2006) η βροχόπτωση ήταν συνολικά 28,35 mm. Κατά τη διάρκεια της αρδευτικής περιόδου (Ιούνιος – Σεπτέμβριος), συνέβησαν εννέα επεισόδια βροχόπτωσης αλλά σε κανένα το ύψος βροχής δεν ήταν μεγάλο. Μάλιστα, τα οχτώ από αυτά ήταν ύψους βροχής κάτω από 8 mm. Μεγαλύτερης έντασης επεισόδιο βροχόπτωσης ήταν εκείνο που σημειώθηκε στις 04/07/2006 (8,75 mm). Από τη λήξη των αρδεύσεων έως τις 07/10/2006, που είναι η ημερομηνία που πραγματοποιήθηκε η τελευταία κοπή για τον προσδιορισμό της βιομάζας, η βροχόπτωση ήταν συνολικά 61,88 mm, με μεγαλύτερης έντασης επεισόδιο εκείνο που σημειώθηκε στις 25/09/2006 (42 mm).

Οι τιμές βροχόπτωσης που επικράτησαν καθ' όλη τη διάρκεια του θέρους δεν κατέστη δυνατό να ικανοποιήσουν τις ανάγκες της καλλιέργειας σε νερό. Έτσι, επιβεβαιώνεται η ανάγκη των φυτών για αρδευτικό νερό με σκοπό να επιτευχθούν υψηλοί δείκτες ανάπτυξης και παραγωγικότητας, και μάλιστα άνευ λιπαντικής αγωγής.

Το γεγονός των μειωμένων βροχοπτώσεων επίσης, συντελεί στην πιο ξεκάθαρη αξιολόγηση των αποτελεσμάτων μιας και οι αναγκαίες για την καλλιέργεια ποσότητες νερού χορηγήθηκαν κυρίως μέσω της άρδευσης.

Η θερμοκρασία κατά τη διάρκεια του πειράματος κυμάνθηκε σε υψηλά επίπεδα (μέσες θερμοκρασίες 24ωρου μεγαλύτερες των 25 °C). Οι συνθήκες αυτές προκάλεσαν έντονη εξατμισοδιαπνοή της καλλιέργειας, όπως φαίνεται στο **Σχήμα 6.2**. Η διακύμανση της εξατμισοδιαπνοής καλλιέργειας παρουσιάζει ένα μέγιστο της τιμής των 9,82 mm στις 4/7 (185 ημέρες από 01/01/2006), χρονική περίοδο κατά την οποία σημειώθηκαν πολύ υψηλές θερμοκρασίες καθώς επίσης και καθόλου ή μικρή βροχόπτωση. Από τις 10/9 (253 ημέρες από 01/01/2006) και μετά η εξατμισοδιαπνοή καλλιέργειας σταδιακά μειωνόταν λόγω των χαμηλών θερμοκρασιών της εποχής.



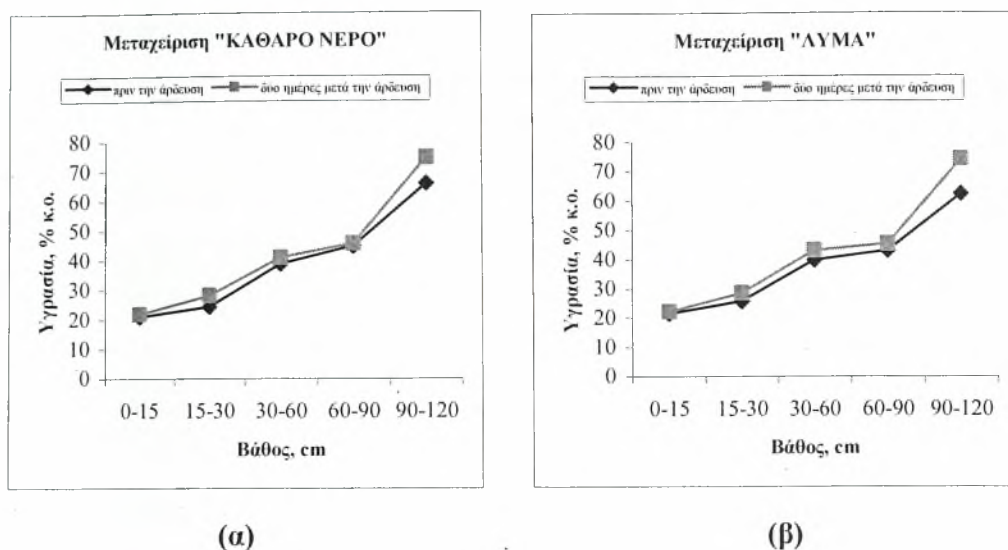
Σχήμα 6.2. Ημερήσια εξατμισοδιαπνοή της καλλιέργειας (οι τιμές αντιστοιχούν στη στήλη II του Πίνακα 5.2).

6.2 Υγρασία εδάφους

Ο κατάλληλος συγχρονισμός της άρδευσης και η εφαρμογή της απαραίτητης ποσότητας νερού μπορεί να μεγιστοποιήσει την παραγωγή των καλλιεργειών ελαχιστοποιώντας τους κινδύνους ασθeneιών, τη χρήση λιπασμάτων και τη χρήση νερού.

Το σόργο έχει ένα βαθύ ριζικό σύστημα που μπορεί να απορροφήσει αποτελεσματικά το νερό από αρκετά μεγάλο βάθος, εφόσον δεν υπάρχουν αδιαπέρατοι ορίζοντες στο εδαφικό προφίλ. Συνεπώς, η άρδευση μπορεί να είναι ελάχιστη, αν το επαρκές νερό είναι διαθέσιμο κοντά στη ζώνη του ριζοστρώματος.

Η διακύμανση της εδαφικής υγρασίας στο εδαφικό προφίλ στις δύο μεταχειρίσεις φαίνεται στα παρακάτω **Σχήματα 6.3 (α) και (β)**. Τα σχήματα αυτά αναφέρονται στις μετρήσεις πριν και μετά την άρδευση της 21^{ης} Ιουνίου, αλλά ανάλογη διακύμανση διαμορφώνεται σε όλες τις μετρήσεις, τα σχήματα των οποίων παρουσιάζονται στο Παράρτημα (σελ. 245 - 248).



Σχήμα 6.3 (α), (β). Διακύμανση της υγρασίας στο εδαφικό προφίλ στην 1^η μέτρηση εδαφικής υγρασίας: 21/06 – 23/06.

Παρατηρούμε ότι, και στις δύο μεταχειρίσεις η υγρασία στα βάθη 0 – 15 cm και 15 – 30 cm πριν την άρδευση έχει αρκετά χαμηλές τιμές σε σχέση με τις μετρήσεις τη δεύτερη ημέρα μετά την άρδευση. Σε βάθη όμως, μεγαλύτερα των 30 cm, το έδαφος έχει υψηλές τιμές υγρασίας τόσο πριν όσο και δύο ημέρες μετά την άρδευση.

Το γεγονός ότι η υγρασία είναι αυξημένη στο βάθος των 30 – 60 cm, γύρω δηλαδή από το βάθος που έχουν τοποθετηθεί οι σταλάκτες, και μειωμένη κοντά στην επιφάνεια του εδάφους έχει ως συνέπεια το νερό να είναι πιο εύκολα διαθέσιμο για πρόσληψη από τις ρίζες των φυτών.

Για την ορθολογική χρήση του νερού άρδευσης και για την επίτευξη όσο το δυνατόν μεγαλύτερης οικονομίας ύδατος πρέπει η εδαφική υγρασία στο κομμάτι του ενεργού ριζοστρώματος (μεταξύ 30 – 60 cm) να βρίσκεται πλησίον της τιμής της υδατοϊκανότητας. Κάτι τέτοιο, που είναι εφικτό να γίνει μόνο με τη μέθοδο της υπόγειας στάγδην άρδευσης, παρατηρούμε ότι ακολουθείται στις μετρήσεις και των δύο μεταχειρίσεων.

Αυτό δείχνει, ότι και στη μεταχείριση του καθαρού νερού και στη μεταχείριση του λύματος, η καλλιέργεια δεν βρέθηκε ποτέ σε κατάσταση υδατικής καταπόνησης.

Τα αποτελέσματα αυτά έρχονται σε συμφωνία με τη διαπίστωση των Neibling et al. (1997), για την ικανότητα του συστήματος άρδευσης με υπόγειους σταλακτηφόρους αγωγούς να διατηρεί την εδαφική υγρασία στο βάθος των 30 – 45 cm, σε επίπεδα τέτοια ώστε η τιμή της να μην υπερβαίνει ποτέ τα 50 cbars (ένδειξη τενσιομέτρου), τιμή πάνω από την οποία το έδαφος χαρακτηρίζεται ξηρό στους περισσότερους τύπους εδαφών.

Μελετώντας τα μέτωπα της εδαφικής υγρασίας, πριν και μετά την άρδευση, παρατηρούμε ότι σε μεγάλα βάθη (90 – 120 cm) πιθανόν να υπάρχει σκληρό αδιαπέρατο στρώμα (hard pan) είτε λόγω της συνεχής χρήσης μηχανημάτων είτε λόγω της ύπαρξης ορίζοντα με βαριά μηχανική σύσταση και μικρή υδραυλική αγωγιμότητα.

Η διατήρηση των τιμών της εδαφικής υγρασίας πλησίον της τιμής της υδατοϊκανότητας, παράλληλα με την ικανοποίηση μέρους των αναγκών της καλλιέργειας σε νερό με τη χρήση επεξεργασμένων υγρών αστικών αποβλήτων και σε συνδυασμό με τις υψηλές τιμές παραγωγικότητας, επιβεβαιώνει τον κανόνα της ορθολογικής διαχείρισης και εξοικονόμησης αρδευτικού νερού με τη χρήση υπόγειας στάγδην άρδευσης και επεξεργασμένων υγρών αστικών αποβλήτων για άρδευση.

Πολύ ενδιαφέρον επίσης, παρουσιάζουν και οι παρατηρήσεις που έγιναν στον αγρό, σχετικά με τη μη παρουσία ζιζανίων στα πειραματικά τεμάχια και των δύο μεταχειρίσεων (μετά την έναρξη της υπόγειας στάγδην άρδευσης και ως τέλος της καλλιεργητικής περιόδου πραγματοποιήθηκε μόνο ένα σκάλισμα - βοτάνισμα) και σχετικά με το γεγονός ότι δεν σημειώθηκε καμία σημαντική προσβολή από ασθένειες. Στα αποτελέσματα αυτά προφανώς συντέλεσε το γεγονός ότι λόγω της υπόγειας στάγδην άρδευσης, που επιλέχθηκε ως μέθοδος άρδευσης, τα επιφανειακά στρώματα του εδάφους παρέμεναν ξηρά. Αν ληφθεί υπόψη ότι η ζιζανιοκτονία και οι εφαρμογές φυτοπροστατευτικών ουσιών, κατέχουν ένα μεγάλο ποσοστό στο κόστος οποιασδήποτε καλλιέργειας, για ακόμη μία φορά αναδεικνύεται η υπεροχή της

υπόγειας στάγδην άρδευσης έναντι όλων των άλλων παραδοσιακών μεθόδων άρδευσης.

6.3 Δείκτης Φυλλικής Επιφάνειας (LAI)

Ο κύριος στόχος σε μια οποιαδήποτε καλλιέργεια για την αύξηση της παραγωγικότητας είναι να επιτευχθεί η μέγιστη δυνατή δέσμευση της ηλιακής ακτινοβολίας, η οποία συνδέεται άμεσα με τον Δείκτη Φυλλικής Επιφάνειας (Δ.Φ.Ε.).

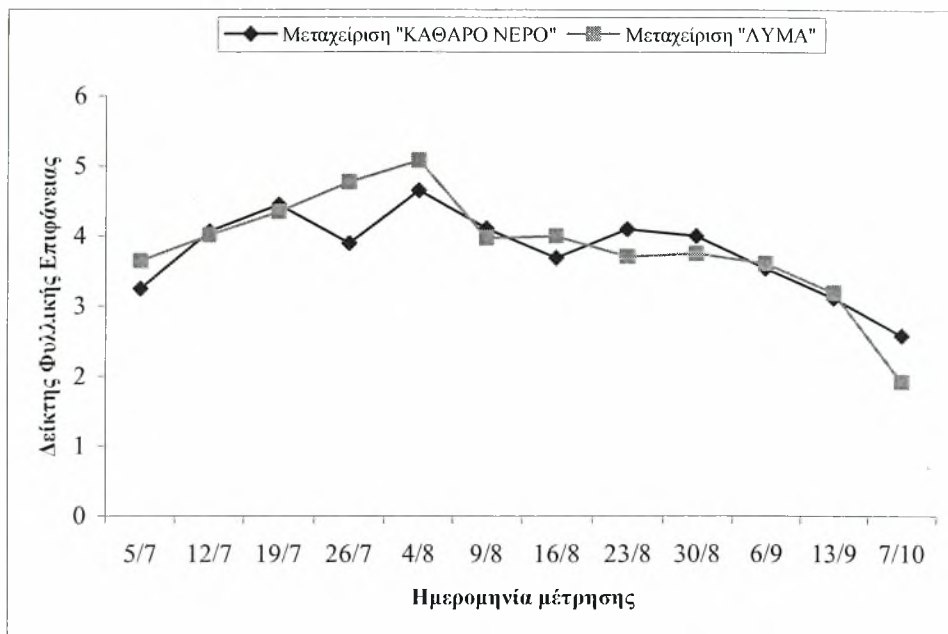
Στο **Σχήμα 6.4** φαίνεται η εξέλιξη του Δείκτη Φυλλικής Επιφάνειας και στις δύο μεταχειρίσεις.

Τα αποτελέσματα της στατιστικής ανάλυσης του Δείκτη Φυλλικής Επιφάνειας για κάθε ημερομηνία μέτρησης και για το σύνολο των μετρήσεων δίνονται στους **Πίνακες 6.1** και **6.2**, αντίστοιχα. Στο σύνολο των μετρήσεων, η σύγκριση των δύο μεταχειρίσεων δίνει υπεροχή στη μεταχείριση του λύματος, όχι όμως στατιστικά σημαντική. Μόνο στην τελευταία μέτρηση του Δείκτη Φυλλικής Επιφάνειας, στις 7/10, η μεταχείριση με καθαρό νερό υπερείχε στατιστικά σημαντικά του λύματος.

Όπως μπορούμε να παρατηρήσουμε στο **Σχήμα 6.4** οι μεταβολές στο ΔΦΕ δίνουν υπεροχή πότε στη μία και πότε στην άλλη μεταχείριση. Στη μέτρηση της 5/7, 26/7, 4/8, 16/8, 6/9 και 13/9 οι τιμές του ΔΦΕ (LAI) ήταν μεγαλύτερες στη μεταχείριση του λύματος ενώ στη μέτρηση της 12/7, 19/7, 9/8, 23/8, 30/8 και 7/10 οι τιμές του ΔΦΕ ήταν μεγαλύτερες στη μεταχείριση του καθαρού νερού.

Αξιοσημείωτο είναι το γεγονός πως και οι δύο μεταχειρίσεις προσδίδουν τη μέγιστη φυλλική επιφάνεια την ίδια χρονική περίοδο. Και οι δύο μεταχειρίσεις παρουσίασαν μέγιστη τιμή του ΔΦΕ κατά την 5η μέτρηση στις 4/8, 86 ημέρες δηλαδή μετά τη σπορά, με τιμή 4,65 για τη μεταχείριση του καθαρού νερού και 5,08 για τη μεταχείριση του λύματος. Πρέπει να σημειωθεί ότι αδημοσίευτα στοιχεία

πάνω στο γλυκό σόργο (cv. Keller) από CRES δίνουν μέγιστες τιμές LAI κοντά στο 4,5 κάτω από συνθήκες στάγδην άρδευσης.



Σχήμα 6.4. Εξέλιξη του Δείκτη Φυλλικής Επιφάνειας (LAI) κατά τη διάρκεια της βλαστικής περιόδου.

Η πτώση που παρουσιάζεται στο ΔΦΕ κατά την 6η μέτρηση (9/8) και στις δύο μεταχειρίσεις, προφανώς οφείλεται στην επίδραση στο φύλλωμα των πολύ υψηλών θερμοκρασιών ημέρας που επικράτησαν εκείνη την περίοδο. Η ανοδική πορεία ανάπτυξης του φυλλώματος επανέρχεται και στις δύο μεταχειρίσεις αλλά σε διαφορετική ημερομηνία. Στη μεταχείριση του λύματος επανέρχεται νωρίτερα, στη μέτρηση της 16/8, ενώ στη μεταχείριση του καθαρού νερού επανέρχεται στη μέτρηση της 23/8. Από 30/8 και έως το τέλος της καλλιεργητικής περιόδου (7/10) οι τιμές του ΔΦΕ και των δύο μεταχειρίσεων μειώνονται σταδιακά, γεγονός που σηματοδοτεί την ολοκλήρωση της ανάπτυξης του φυτού και τη γήρανση της καλλιέργειας.

Η αναπτυξιακή δραστηριότητα της καλλιέργειας δεν επηρεάζεται σημαντικά όταν η τιμή του LAI είναι μικρότερη της τιμής 6 και αντίστοιχα όχι μεγαλύτερη από την τιμή 4. Η τιμή 6 για το Δείκτη Φυλλικής Επιφάνειας έχει να κάνει με την αναγκαία και ικανή συνθήκη φυτοκάλυψης της επιφάνειας του εδάφους από το σύνολο των φύλλων της καλλιέργειας που υποστηρίζει (σε ποσοστό 99 %), ώστε να ενεργοποιείται πλήρως η φωτοσυνθετική δραστηριότητα αυτής. Για τιμές του ΔΦΕ μεταξύ του 4 με 5 η φυτοκάλυψη κρίνεται ως αρκετά καλή (90 – 98 %) και η φωτοσυνθετική διαδικασία λαμβάνει χώρα σε ικανοποιητικά επίπεδα.

Συγκρίνοντας τη χρονική διάρκεια διατήρησης της τιμής του ΔΦΕ πάνω από την τιμή 4 για το σύνολο των μεταχειρίσεων παρατηρούμε ότι, στα πειραματικά που αρδεύτηκαν με καθαρό νερό αυτή παρέμεινε πάνω από την τιμή 4 στις έξι από τις δώδεκα μετρήσεις ενώ στα πειραματικά που αρδεύτηκαν με λύμα παρέμεινε στις πέντε από τις δώδεκα μετρήσεις. Επίσης, παρατηρείται καθυστέρηση της οριστικής πτώσης του LAI κάτω από την επιθυμητή τιμή 4 στη μεταχείριση του καθαρού νερού διάρκειας περίπου 15 ημερών (στη μεταχείριση του λύματος η πτώση λαμβάνει χώρα στις 23/8 ενώ στη μεταχείριση του καθαρού νερού στις 6/9). Αυτό βέβαια συνεπάγεται κάποια επιβράδυνση στη γήρανση και υψηλότερες τιμές σε βιομάζα των φυτών που αρδεύτηκαν μόνο με καθαρό νερό αλλά οι διαφορές αυτές δεν είναι στατιστικά σημαντικές ($P > 0,05$).

Πίνακας 6.1. Μέσος όρος (Μ.Ο.) και τυπική απόκλιση (Std Deviation) για κάθε ημερομηνία μέτρησης του δείκτη φυλλικής επιφάνειας στις δύο μεταχειρίσεις.

		Μεταχειρίσεις	Μέσοι όροι επαναληπτικών μετρήσεων	Std Deviation
Δείκτης φυλλικής επιφάνειας (LAI)	1 ^η μέτρηση			
	5/7 [*]	“Καθαρό νερό”	3,25	1,281
	(56) ^{**}	“Λύμα”	3,65	1,586
	2 ^η μέτρηση			
	12/7	“Καθαρό νερό”	4,07	1,014
	(63)	“Λύμα”	4,02	1,637
	3 ^η μέτρηση			
	19/7	“Καθαρό νερό”	4,45	1,053
	(70)	“Λύμα”	4,35	1,791
	4 ^η μέτρηση			
	26/7	“Καθαρό νερό”	3,90	1,272
	(77)	“Λύμα”	4,77	1,257
	5 ^η μέτρηση			
	4/8	“Καθαρό νερό”	4,65	0,648
	(86)	“Λύμα”	5,08	1,483
	6 ^η μέτρηση			
	9/8	“Καθαρό νερό”	4,11	1,133
	(91)	“Λύμα”	3,97	1,547
	7 ^η μέτρηση			
	16/8	“Καθαρό νερό”	3,68	0,935
	(98)	“Λύμα”	4,00	1,189
	8 ^η μέτρηση			
	23/8	“Καθαρό νερό”	4,10	0,934
	(105)	“Λύμα”	3,71	1,042
	9 ^η μέτρηση			
	30/8	“Καθαρό νερό”	4,00	1,353
	(112)	“Λύμα”	3,75	1,263
	10 ^η μέτρηση			
	6/9	“Καθαρό νερό”	3,54	1,376
	(119)	“Λύμα”	3,61	1,566
	11 ^η μέτρηση			
	13/9	“Καθαρό νερό”	3,12	0,891
	(126)	“Λύμα”	3,18	1,378
	12 ^η μέτρηση			
	7/10	“Καθαρό νερό”	2,57 ^a	0,853
	(150)	“Λύμα”	1,92 ^b	0,871

^{*} Ημερομηνία μέτρησης

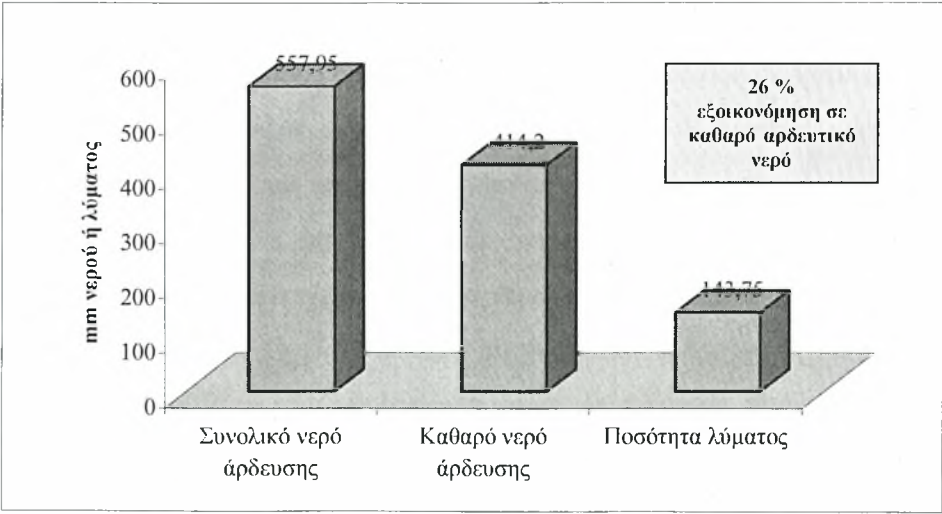
^{**} Ημέρες από τη σορά

Πίνακας 6.2. Μέσοι όροι (Μ.Ο.) και τυπική απόκλιση (Std Deviation) του δείκτη φυλλικής επιφάνειας των δύο μεταχειρίσεων στο σύνολο των μετρήσεων.

Μεταχείριση	Μέσος όρος	Std Deviation
“ΚΑΘΑΡΟ ΝΕΡΟ”	3,78	0,587
“ΛΥΜΑ”	3,83	0,795

6.4 Εξοικονόμηση νερού

Η συνολική ποσότητα νερού που χορηγήθηκε μέσω άρδευσης και στις δύο μεταχειρίσεις οι οποίες δέχθηκαν το 100 % των υπολογιζόμενων καθαρών αναγκών είναι 557,95 mm. Από τα 557,95 mm νερού τα 507,95 mm χορηγήθηκαν μέσω του συστήματος υπόγειας στάγδην άρδευσης κατά τη διάρκεια της αρδευτικής περιόδου από 21/6 έως 20/9 ενώ τα υπόλοιπα 50 mm νερού χορηγήθηκαν με κανόνι βροχής για το φύτευμα της καλλιέργειας. Ένα επιπλέον ποσό ύδατος 172,08 mm δέχθηκε η καλλιέργεια από βροχόπτωση από την ημερομηνία σποράς μέχρι την ημερομηνία που πραγματοποιήθηκε η τελευταία κοπή (11/5 έως 7/10), το ωφέλιμο ύψος της οποίας ήταν 137,66 mm.



Σχήμα 6.5. Συνολικό νερό που εφαρμόσθηκε με υπόγεια στάγδην άρδευση, καθαρό αρδευτικό νερό και ποσότητα επεξεργασμένων υγρών αποβλήτων.

Η μεγαλύτερη δόση νερού εφαρμόστηκε στις 6/8 ίση με 22,08 mm. Η ποσότητα των επεξεργασμένων υγρών αστικών αποβλήτων που χορηγήθηκε στη μεταχείριση “Λύμα” ήταν ίση με 143,75 mm ή $\text{m}^3/\text{στρέμμα}$. Έτσι επιτεύχθηκε μια εξοικονόμηση της τάξεως του 26 % σε καθαρό αρδευτικό νερό (**Σχήμα 6.5**).

Η αποδοτικότητα άρδευσης για τη μεταχείριση του καθαρού νερού ήταν $4,68 \text{ kg στρ.}^{-1} \text{ mm}^{-1}$ ή $0,21 \text{ mm kg}^{-1} \text{ στρ.}^{-1}$ ενώ για τη μεταχείριση του λύματος ήταν $4,58 \text{ kg στρ.}^{-1} \text{ mm}^{-1}$ ή $0,22 \text{ mm kg}^{-1} \text{ στρ.}^{-1}$. Η διαφορά μεταξύ των δύο μεταχειρίσεων είναι πάρα πολύ μικρή, που σημαίνει ότι τόσο η μεταχείριση που αρδεύτηκε μόνο με καθαρό νερό όσο και η μεταχείριση που αρδεύτηκε με καθαρό νερό και επεξεργασμένα υγρά απόβλητα αξιοποίησαν σχεδόν το ίδιο αποδοτικά το νερό που τους χορηγήθηκε.

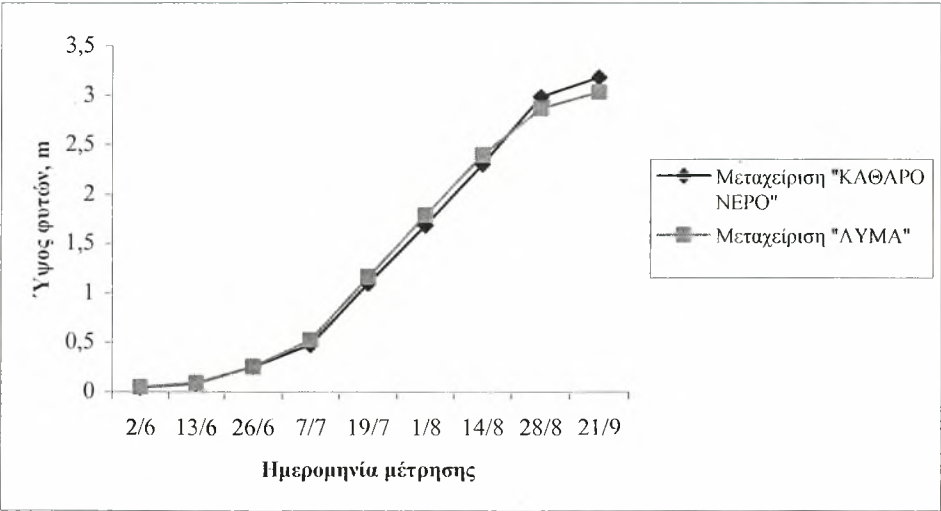
6.5 Αποτελέσματα προσδιορισμού χαρακτηριστικών σόργου (ανάπτυξη και παραγωγικότητα της καλλιέργειας)

6.5.1 Ύψος φυτών

Στο **Σχήμα 6.6** παρουσιάζεται το μέσο ύψος των φυτών κατά την άρδευση με καθαρό νερό και λύμα. Οι μετρήσεις πραγματοποιήθηκαν από 02/06/2006 μέχρι 21/09/2006.

Όπως φαίνεται και στο **Σχήμα 6.6**, το μέσο ύψος των φυτών στη μεταχείριση που αρδευόταν μόνο με καθαρό νερό έφτασε τα 3,17 m ενώ το μέσο ύψος των φυτών στη μεταχείριση που αρδευόταν με καθαρό νερό και επεξεργασμένα υγρά απόβλητα έφτασε τα 3,03 m. Από 2/6 έως 7/7 η μεταβολή του ύψους στις δύο μεταχειρίσεις ήταν παρόμοια ενώ από 19/7 έως 14/8 η μεταχείριση που αρδεύτηκε με λύμα υπερέβη ελάχιστα το ύψος των φυτών της μεταχείρισης που αρδεύτηκε μόνο με καθαρό νερό. Ο πιθανός λόγος αυτής της μικρής υπεροχής είναι ότι τα φυτά που αρδεύονταν με λύμα αξιοποίησαν τα θρεπτικά στοιχεία, N και P, που περιέχονταν στα επεξεργασμένα υγρά απόβλητα, έστω και σε μικρές ποσότητες. Από 28/8 έως 21/9 η μεταχείριση που αρδευόταν μόνο με καθαρό νερό υπερείχε αυτής που αρδευόταν με καθαρό νερό και επεξεργασμένα υγρά απόβλητα. Αυτή η απόκλιση μπορεί να οφείλεται σε αυξημένη συγκέντρωση αλάτων και ιόντων χλωρίων (το χλώριο θεωρείται ένα

από τα τοξικότερα στοιχεία για την ανάπτυξη των φυτών), καθώς μέχρι τις 28/8 που άρχισε να παρατηρείται η κατάσταση αυτή είχαν μεσολαβήσει 9 αρδεύσεις με λύμα. Στις 21/9, που είναι και η τελευταία μέτρηση του ύψους φυτών, παρατηρείται και στις δύο μεταχειρίσεις πολύ μικρή αύξηση του ύψους σε σχέση με την αύξηση που πραγματοποιήθηκε στις άλλες μετρήσεις γεγονός που οδηγεί στο συμπέρασμα ότι από εδώ και πέρα το ύψος μάλλον αρχίζει να σταθεροποιείται.



Σχήμα 6.6. Μέσο ύψος φυτών σόργου και στις δύο μεταχειρίσεις.

Παρόλα αυτά, όμως, στατιστικώς σημαντικές διαφορές στο επίπεδο του 0,05 δεν παρατηρήθηκαν ανάμεσα στις δύο μεταχειρίσεις τόσο μεταξύ των μετρήσεων όσο και συνολικά (**Πίνακας 6.3** και **Πίνακας 6.4**).

Πίνακας 6.3. Μέσος όρος (Μ.Ο.) και τυπική απόκλιση (Std Deviation) για κάθε ημερομηνία μέτρησης του ύψους φυτών στις δύο μεταχειρίσεις.

		Μεταχειρίσεις	Μέσοι όροι επαναληπτικών μετρήσεων	Std Deviation
Ύψος φυτών (cm)	1^η μέτρηση			
	2/6	“Καθαρό νερό”	4,415	1,84
		“Λύμα”	4,752	2,26
	2^η μέτρηση			
	13/6	“Καθαρό νερό”	8,440	3,46
		“Λύμα”	9,112	4,28
	3^η μέτρηση			
	26/6	“Καθαρό νερό”	25,622	15,59
		“Λύμα”	25,757	12,73
	4^η μέτρηση			
	7/7	“Καθαρό νερό”	47,412	29,17
		“Λύμα”	52,227	26,77
	5^η μέτρηση			
	19/7	“Καθαρό νερό”	109,727	49,28
		“Λύμα”	116,097	50,22
	6^η μέτρηση			
	1/8	“Καθαρό νερό”	168,417	49,88
		“Λύμα”	178,320	57,57
	7^η μέτρηση			
	14/8	“Καθαρό νερό”	229,782	55,69
		“Λύμα”	239,352	75,97
	8^η μέτρηση			
	28/8	“Καθαρό νερό”	298,408	45,43
		“Λύμα”	286,380	65,12
	9^η μέτρηση			
	21/9	“Καθαρό νερό”	317,941	39,22
		“Λύμα”	303,097	64,84

Πίνακας 6.4. Μέσοι όροι (Μ.Ο.) και τυπική απόκλιση (Std Deviation) του ύψους φυτών (cm) των δύο μεταχειρίσεων στο σύνολο των μετρήσεων.

Μεταχείριση	Μέσος όρος	Std Deviation
“ΚΑΘΑΡΟ ΝΕΡΟ”	134,463	124,303
“ΛΥΜΑ”	135,010	120,360

6.5.2 Αριθμός φύλλων και αδελφιών

Στα Σχήματα 6.7 και 6.8 παρουσιάζονται τα αποτελέσματα των μετρήσεων του αριθμού αδελφιών και φύλλων που έγιναν και στις δύο μεταχειρίσεις. Όπως φαίνεται, μεγαλύτερος αριθμός αδελφιών ανά φυτό παρατηρήθηκε στη μεταχείριση με καθαρό νερό. Η διαφορά αυτή ήταν στατιστικά σημαντική στο επίπεδο του 0,05 (Πίνακας 6.6). Αυτό πολύ εύκολα δικαιολογεί και τον μεγαλύτερο αριθμό φύλλων στην ίδια μεταχείριση, μιας και ο αριθμός φύλλων αφορά το κανονικό φυτό μαζί με τα αδέλφια του. Στο σύνολο των μετρήσεων η μεταχείριση του λύματος παρουσιάζει μικρότερο αριθμό φύλλων, η διαφορά αυτή δεν αποδείχθηκε όμως στατιστικά σημαντική (Πίνακας 6.8).

Η μεγαλύτερη τιμή στον αριθμό αδελφιών καταγράφηκε τον Ιούλιο στη μεταχείριση του καθαρού νερού (19/7 με τιμή 2,5) ενώ στη μεταχείριση του λύματος καταγράφηκε το Σεπτέμβριο (21/9 με τιμή 1,71). Η μεγαλύτερη τιμή του αριθμού φύλλων καταγράφηκε τον Αύγουστο στη μεταχείριση του καθαρού νερού (28/8 με τιμή 48,76) ενώ στη μεταχείριση του λύματος καταγράφηκε τον ίδιο μήνα που παρατηρήθηκε και ο μεγαλύτερος αριθμός αδελφιών ανά φυτό, δηλαδή το Σεπτέμβριο (21/9 με τιμή 42,68).

Ο αριθμός αδελφιών ανά φυτό στη μεταχείριση του καθαρού νερού στην αρχή αυξάνεται ενώ από τις αρχές Αυγούστου και ως το τέλος της καλλιεργητικής περιόδου (21/9) μειώνεται καθώς τα αδέλφια ξεραίνονται. Αντίθετα, στη μεταχείριση του λύματος ο αριθμός αδελφιών στην αρχή αυξάνεται, στα μέσα της καλλιεργητικής περιόδου (1/8 έως 28/8) μειώνεται και στο τέλος της καλλιεργητικής περιόδου (21/9) αυξάνεται και πάλι, κάτι που πιθανόν οφείλεται στο ότι η μεταχείριση ευνοήθηκε από την έναρξη των βροχοπτώσεων και την έκπλυση των αλάτων, που είχαν συγκεντρωθεί κατά την άρδευση με λύμα, στα βαθύτερα στρώματα. Η βροχόπτωση, άλλωστε, είναι συχνά η πιο αποτελεσματική μέθοδος έκπλυσης επειδή παρέχει υψηλής ποιότητας νερό με σχετικά αργό ρυθμό.

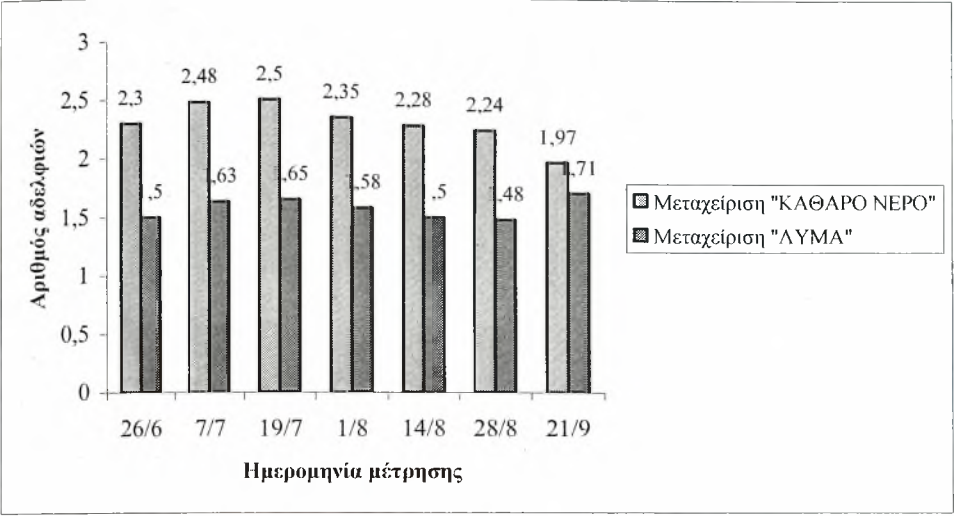
Ο αριθμός φύλλων στη μεταχείριση του καθαρού νερού στην αρχή αυξάνεται ενώ στο τέλος της καλλιεργητικής περιόδου μειώνεται καθώς έχει ολοκληρωθεί η αναπτυξιακή διαδικασία και τα φύλλα σχίζονται και

μαραίνονται. Η μείωση του αριθμού φύλλων δικαιολογεί και τη μείωση στο δείκτη φυλλικής επιφάνειας προς το τέλος της καλλιεργητικής περιόδου. Αντίθετα, στη μεταχείριση του λύματος στο τέλος της καλλιεργητικής περιόδου (μέσα Σεπτεμβρίου), ο αριθμός φύλλων αυξάνεται, λόγω της αύξησης που παρατηρείται και στον αριθμό αδελφιών την ίδια χρονική περίοδο.

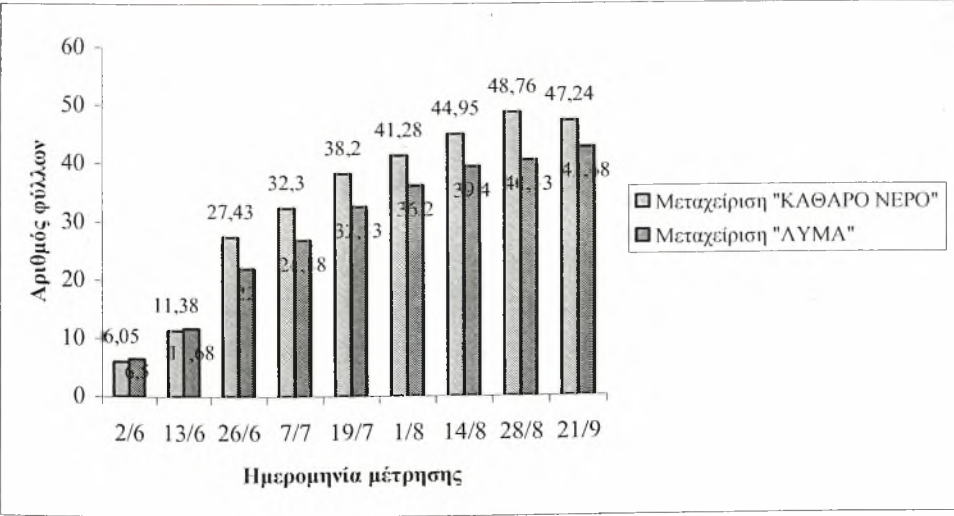
Από τη στατιστική επεξεργασία που πραγματοποιήθηκε στον αριθμό αδελφιών ανά φυτό ανάμεσα στις δύο μεταχειρίσεις ανά ημερομηνία μέτρησης (**Πίνακας 6.5**) προέκυψε ότι μόνο στη μέτρηση της 21/9 δεν υπήρχαν στατιστικά σημαντικές διαφορές ενώ σε όλες τις υπόλοιπες μετρήσεις οι δύο μεταχειρίσεις διέφεραν.

Τα αποτελέσματα του αριθμού φύλλων ανά ημερομηνία μέτρησης (**Πίνακας 6.7**) δεν διέφεραν στατιστικά σημαντικά στις δύο μεταχειρίσεις εκτός από την 3η και 4η μέτρηση, δηλαδή στις 26/6 και 7/7.

Η σύγκριση των δύο μεταχειρίσεων, “Καθαρό νερό” και “Λύμα”, ως προς τον αριθμό των αδελφιών ανά φυτό δίνει υπεροχή στην πρώτη, και μάλιστα στατιστικά σημαντική, αλλά το αποτέλεσμα αυτό μπορεί να θεωρηθεί τυχαίο.



Σχήμα 6.7. Μέσος όρος αριθμού αδελφίων ανά φυτό ανά ημερομηνία μέτρησης.



Σχήμα 6.8. Μέσος όρος αριθμού φύλλων ανά ημερομηνία μέτρησης.

Πίνακας 6.5. Μέσος όρος (Μ.Ο.) και τυπική απόκλιση (Std Deviation) για κάθε ημερομηνία μέτρησης του αριθμού αδελφιών ανά φυτό στις δύο μεταχειρίσεις.

		Μεταχειρίσεις	Μέσοι όροι επαναληπτικών μετρήσεων	Std Deviation
Αριθμός αδελφιών ανά φυτό	1^η μέτρηση			
	26/6	“Καθαρό νερό”	2,300 ^a	1,488
		“Λύμα”	1,500 ^b	1,396
	2^η μέτρηση			
	7/7	“Καθαρό νερό”	2,475 ^a	1,502
		“Λύμα”	1,625 ^b	1,427
	3^η μέτρηση			
	19/7	“Καθαρό νερό”	2,500 ^a	1,502
		“Λύμα”	1,650 ^b	1,442
	4^η μέτρηση			
	1/8	“Καθαρό νερό”	2,350 ^a	1,442
		“Λύμα”	1,575 ^b	1,318
	5^η μέτρηση			
	14/8	“Καθαρό νερό”	2,275 ^a	1,281
		“Λύμα”	1,500 ^b	1,320
	6^η μέτρηση			
	28/8	“Καθαρό νερό”	2,237 ^a	1,324
		“Λύμα”	1,475 ^b	1,281
	7^η μέτρηση			
	21/9	“Καθαρό νερό”	1,971	1,243
		“Λύμα”	1,710	1,716

Πίνακας 6.6. Μέσοι όροι (Μ.Ο.) και τυπική απόκλιση (Std Deviation) του αριθμού αδελφιών ανά φυτό των δύο μεταχειρίσεων στο σύνολο των μετρήσεων.

Μεταχείριση	Μέσος όρος	Std Deviation
“ΚΑΘΑΡΟ ΝΕΡΟ”	2,300 ^a	0,176
“ΛΥΜΑ”	1,576 ^b	0,088

Πίνακας 6.7. Μέσος όρος (M.O.) και τυπική απόκλιση (Std Deviation) για κάθε ημερομηνία μέτρησης του αριθμού φύλλων στις δύο μεταχειρίσεις.

		Μεταχειρίσεις	Μέσοι όροι επαναληπτικών μετρήσεων	Std Deviation
Αριθμός φύλλων	1 ^η μέτρηση			
	2/6	“Καθαρό νερό”	6,050	1,084
		“Λύμα”	6,500	1,396
	2 ^η μέτρηση			
	13/6	“Καθαρό νερό”	11,375	4,470
		“Λύμα”	11,675	4,329
	3 ^η μέτρηση			
	26/6	“Καθαρό νερό”	27,425 ^a	9,658
		“Λύμα”	22,000 ^b	8,933
	4 ^η μέτρηση			
	7/7	“Καθαρό νερό”	32,300 ^a	12,208
		“Λύμα”	26,875 ^b	11,521
	5 ^η μέτρηση			
	19/7	“Καθαρό νερό”	38,200	14,231
		“Λύμα”	32,525	15,298
	6 ^η μέτρηση			
	1/8	“Καθαρό νερό”	41,275	16,009
		“Λύμα”	36,200	16,934
	7 ^η μέτρηση			
	14/8	“Καθαρό νερό”	44,950	18,325
		“Λύμα”	39,400	17,526
	8 ^η μέτρηση			
	28/8	“Καθαρό νερό”	48,763	20,496
		“Λύμα”	40,525	16,364
	9 ^η μέτρηση			
	21/9	“Καθαρό νερό”	47,235	19,058
		“Λύμα”	42,677	15,861

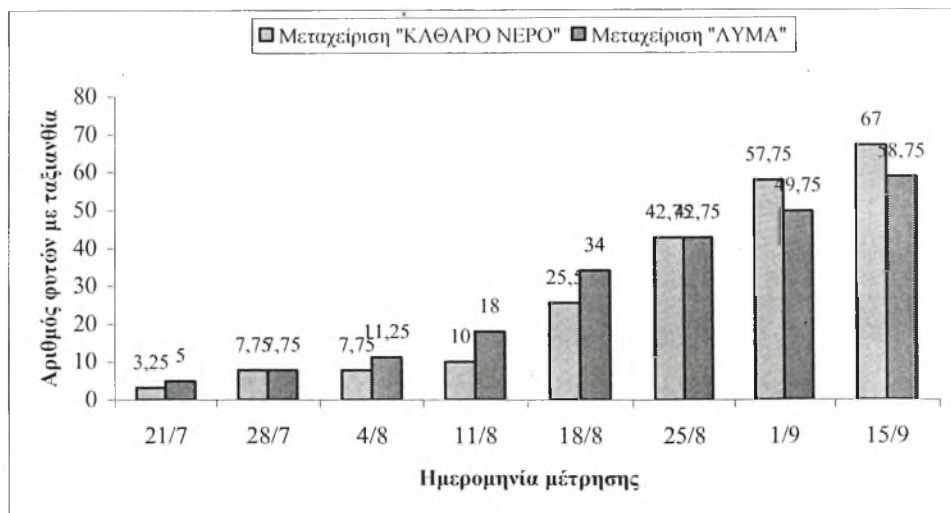
Πίνακας 6.8. Μέσοι όροι (M.O.) και τυπική απόκλιση (Std Deviation) του αριθμού φύλλων των δύο μεταχειρίσεων στο σύνολο των μετρήσεων.

Μεταχείριση	Μέσος όρος	Std Deviation
“ΚΑΘΑΡΟ ΝΕΡΟ”	33,063	15,471
“ΛΥΜΑ”	28,708	12,997

6.5.3 Αριθμός φυτών με ταξιανθία και αριθμός ταξιανθιών ανά φυτό

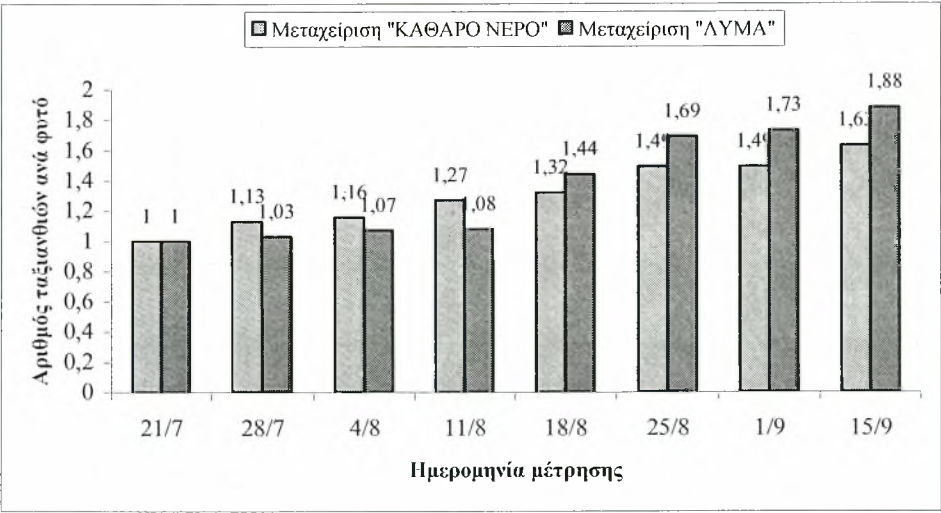
Στα Σχήματα 6.9 και 6.10 παρουσιάζεται ο μέσος αριθμός φυτών που είχαν ταξιανθία σε κάθε μεταχείριση και ο μέσος αριθμός ταξιανθιών ανά φυτό σε κάθε μεταχείριση, αντίστοιχα. Η μέτρηση του αριθμού ταξιανθιών γινόταν διότι σε κάθε πειραματικό τεμάχιο ταξιανθία δεν εμφάνιζε μόνο το κανονικό φυτό αλλά και τα αδέρφια του.

Όπως φαίνεται στα παρακάτω σχήματα, ο μέσος αριθμός φυτών που είχαν ταξιανθία στη μεταχείριση του καθαρού νερού μεταβλήθηκε από 3,25 που ήταν στην πρώτη μέτρηση (21/7) σε 67 στην τελευταία μέτρηση (15/9) ενώ στη μεταχείριση του λύματος από 5 σε 58,75. Στη μέτρηση της 28/7 και 25/8 ο μέσος αριθμός φυτών που είχαν ταξιανθία είναι ίδιος και στις δύο μεταχειρίσεις ενώ στη μέτρηση της 21/7, 4/8, 11/8 και 18/8 πλεονεκτεί η μεταχείριση του λύματος ενώ στη μέτρηση της 1/9 και 15/9 πλεονεκτεί η μεταχείριση του καθαρού νερού. Σε καμία όμως, ημερομηνία μέτρησης δεν σημειώνονται στατιστικώς σημαντικές διαφορές μεταξύ των μεταχειρίσεων (Πίνακας 6.9).



Σχήμα 6.9. Μέσος όρος αριθμού φυτών που είχαν ταξιανθία σε κάθε μεταχείριση ανά ημερομηνία μέτρησης.

Ανάμεσα στις δύο μεταχειρίσεις, καθαρό νερό και λύμα, η μεταβολή στο μέσο όρο του αριθμού ταξιανθιών ανά φυτό ήταν μεγαλύτερη στη μεταχείριση του λύματος. Στη μεταχείριση του καθαρού νερού ο μέσος όρος αριθμού ταξιανθιών ανά φυτό μεταβλήθηκε από 1 που ήταν στην πρώτη μέτρηση (21/7) σε 1,63 στην τελευταία μέτρηση (15/9) ενώ στη μεταχείριση του λύματος μεταβλήθηκε από 1 σε 1,88. Στη μέτρηση της 21/7 και οι δύο μεταχειρίσεις παρουσιάζουν την ίδια τιμή ενώ στη μέτρηση της 28/7 η μεταχείριση του καθαρού νερού έχει μεγαλύτερη τιμή. Η διαφορά αυτή διατηρείται και στις επόμενες δύο μετρήσεις, στις 4/8 και 11/8, ενώ αντίθετα στη μέτρηση της 18/8, 25/8, 1/9 και 15/9 μεγαλύτερη τιμή έχει η μεταχείριση του λύματος. Από τη στατιστική επεξεργασία στον αριθμό ταξιανθιών ανά φυτό προέκυψε ότι στη μέτρηση της 11/8, 25/8, 1/9 και 15/9 υπήρχαν διαφορές που αποδείχτηκαν στατιστικά σημαντικές (Πίνακας 6.11).



Σχήμα 6.10. Μέσος όρος αριθμού ταξιανθιών ανά φυτό σε κάθε μεταχείριση ανά ημερομηνία μέτρησης.

Το ότι στη μέτρηση της 15/9 μεγαλύτερη τιμή στο μέσο όρο αριθμού φυτών που είχαν ταξιανθία έχει η μεταχείριση του καθαρού νερού ενώ στην ίδια ημερομηνία μεγαλύτερη τιμή στο μέσο όρο του αριθμού ταξιανθιών ανά φυτό έχει η μεταχείριση του λύματος μας οδηγεί στο συμπέρασμα ότι στη

συγκεκριμένη ημερομηνία στη μεταχείριση του λύματος είχαν εμφανίσει ταξιανθία περισσότερα αδέρφια από ότι στη μεταχείριση του καθαρού νερού.

Στο σύνολο των μετρήσεων, και στις δύο παραπάνω παραμέτρους που μετρήθηκαν, η μεταχείριση του λύματος δίνει τις υψηλότερες τιμές και ακολουθεί η μεταχείριση του καθαρού νερού. Η διαφορά όμως αυτή δεν αποδείχτηκε στατιστικά σημαντική στο επίπεδο του 0,05 (Πίνακας 6.10 και Πίνακας 6.12).

Πίνακας 6.9. Μέσος όρος (Μ.Ο.) και τυπική απόκλιση (Std Deviation) για κάθε ημερομηνία μέτρησης του αριθμού φυτών που είχαν ταξιανθία στις δύο μεταχειρίσεις.

		Μεταχειρίσεις	Μέσοι όροι επαναληπτικών μετρήσεων	Std Deviation
Αριθμός φυτών με ταξιανθία	1 ^η μέτρηση			
	21/7	“Καθαρό νερό”	3,250	3,774
		“Λύμα”	5,000	6,000
	2 ^η μέτρηση			
	28/7	“Καθαρό νερό”	7,750	7,847
		“Λύμα”	7,750	8,381
	3 ^η μέτρηση			
	4/8	“Καθαρό νερό”	7,750	7,847
		“Λύμα”	11,250	8,301
	4 ^η μέτρηση			
	11/8	“Καθαρό νερό”	10,000	7,118
		“Λύμα”	18,000	14,537
	5 ^η μέτρηση			
	18/8	“Καθαρό νερό”	25,500	13,711
		“Λύμα”	34,000	28,437
	6 ^η μέτρηση			
	25/8	“Καθαρό νερό”	42,750	18,099
		“Λύμα”	42,750	27,280
	7 ^η μέτρηση			
	1/9	“Καθαρό νερό”	57,750	17,839
		“Λύμα”	49,750	23,113
	8 ^η μέτρηση			
	15/9	“Καθαρό νερό”	67,000	16,532
		“Λύμα”	58,750	16,700

Πίνακας 6.10. Μέσοι όροι (M.O.) και τυπική απόκλιση (Std Deviation) του αριθμού φυτών που είχαν ταξιανθία των δύο μεταχειρίσεων στο σύνολο των μετρήσεων.

Μεταχείριση	Μέσος όρος	Std Deviation
“ΚΑΘΑΡΟ ΝΕΡΟ”	27,718	25,031
“ΛΥΜΑ”	28,406	20,669

Πίνακας 6.11. Μέσος όρος (M.O.) και τυπική απόκλιση (Std Deviation) για κάθε ημερομηνία μέτρησης του αριθμού ταξιανθιών ανά φυτό στις δύο μεταχειρίσεις.

		Μεταχειρίσεις	Μέσοι όροι επαναληπτικών μετρήσεων	Std Deviation
Αριθμός ταξιανθιών ανά φυτό	1 ^η μέτρηση			
	21/7	“Καθαρό νερό”	1,000	0,000
		“Λύμα”	1,000	0,000
	2 ^η μέτρηση			
	28/7	“Καθαρό νερό”	1,129	0,427
		“Λύμα”	1,032	0,179
	3 ^η μέτρηση			
	4/8	“Καθαρό νερό”	1,161	0,522
		“Λύμα”	1,066	0,330
	4 ^η μέτρηση			
	11/8	“Καθαρό νερό”	1,275 ^a	0,598
		“Λύμα”	1,083 ^b	0,365
	5 ^η μέτρηση			
	18/8	“Καθαρό νερό”	1,323	0,746
		“Λύμα”	1,441	0,795
	6 ^η μέτρηση			
	25/8	“Καθαρό νερό”	1,491 ^a	0,870
		“Λύμα”	1,695 ^b	1,035
	7 ^η μέτρηση			
	1/9	“Καθαρό νερό”	1,493 ^a	0,931
		“Λύμα”	1,728 ^b	1,153
	8 ^η μέτρηση			
	15/9	“Καθαρό νερό”	1,634 ^a	1,122
		“Λύμα”	1,876 ^b	1,286

Πίνακας 6.12. Μέσοι όροι (M.O.) και τυπική απόκλιση (Std Deviation) του αριθμού ταξιανθιών ανά φυτό των δύο μεταχειρίσεων στο σύνολο των μετρήσεων.

Μεταχείριση	Μέσος όρος	Std Deviation
“ΚΑΘΑΡΟ ΝΕΡΟ”	1,313	0,215
“ΛΥΜΑ”	1,365	0,362

6.5.4 Χλωρή και ξηρή βιομάζα

Στα **Σχήματα 6.11** και **6.12** παρουσιάζεται η διακύμανση της χλωρής και ξηρής βιομάζας, αντίστοιχα, σε t/στρέμμα. Στο σύνολο της καλλιεργητικής περιόδου δεν παρατηρήθηκαν στατιστικώς σημαντικές διαφορές ανάμεσα στις δυο μεταχειρίσεις, συγκρινόμενες ανά ζεύγος τιμών (**Πίνακας 6.13** και **6.15**).

Οι μέγιστες αποδόσεις σε ξηρή βιομάζα, για το σύνολο των μεταχειρίσεων, επιτυγχάνονται περί τα τέλη Σεπτεμβρίου ακολουθώντας τις αντίστοιχες μέγιστες αποδόσεις σε χλωρή βιομάζα. Οι μεγαλύτερες αποδόσεις επιτεύχθηκαν στην κοπή της **26/9/2006** (5η κοπή), με 13,288 t/στρέμμα χλωρή βιομάζα και 3,189 t/στρέμμα ξηρή βιομάζα για τη μεταχείριση του λύματος και 13,574 t/στρέμμα χλωρή βιομάζα και 3,258 t/στρέμμα ξηρή βιομάζα για τη μεταχείριση του καθαρού νερού. Όσον αφορά την αθροιστική απόδοση, για το διάστημα από **10/7/2006** έως **7/10/2006**, η μεταχείριση του λύματος έδωσε 54,827 t/στρέμμα χλωρή βιομάζα και 12,49 t/στρέμμα ξηρή βιομάζα και η μεταχείριση του καθαρού νερού έδωσε 56,697 t/στρέμμα χλωρή βιομάζα και 12,934 t/στρέμμα ξηρή βιομάζα. Από τα αποτελέσματα διαπιστώθηκε ότι η παραγωγή βιομάζας ήταν ελαφρώς υψηλότερη στη μεταχείριση του καθαρού νερού, όπως φαίνεται στα **Σχήματα 6.13** και **6.14**, αλλά δεν υπήρξε σαφής υπεροχή της μιας μεταχείρισης έναντι της άλλης.

Και στις δύο μεταχειρίσεις η μέγιστη παραγωγή σε ξηρή βιομάζα κυμάνθηκε σε αρκετά υψηλά επίπεδα. Αξίζει να αναφερθεί ότι στα συμπεράσματα πειράματος που πραγματοποιήθηκε στη νότια Ρουμανία (Roman et al., 1998), η μέγιστη παραγωγή σε ξηρή βιομάζα του γλυκού σόργου έφτασε

τους 2,8 t/στρέμμα, χωρίς, όπως και στο συγκεκριμένο πείραμα, περιορισμούς στις δόσεις άρδευσης (κάλυψη των αναγκών στο 100 % της εξατμισοδιαπνοής).

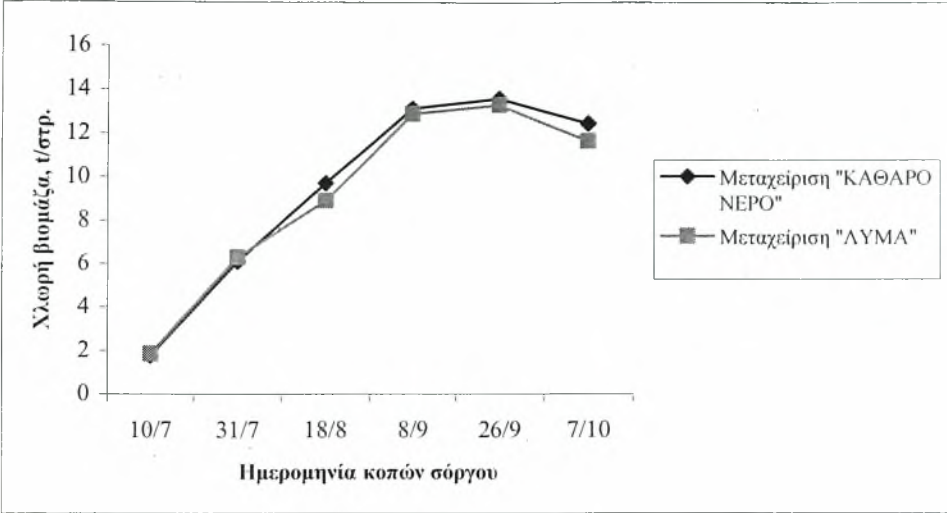
Από την 1η (10/07/2006) μέχρι και την 5η κοπή (26/09/2006) η χλωρή και ξηρή βιομάζα αυξάνεται ενώ στην 6η κοπή (07/10/2006) παρατηρείται μείωση της παραγωγής τόσο σε χλωρή όσο και σε ξηρή βιομάζα. Πέραν αυτής της ημερομηνίας, κρίθηκε ως μη απαραίτητη η διερεύνηση της εξέλιξης της χλωρής και ξηρής βιομάζας των μεταχειρίσεων.

Η τελική παραγωγή ξηρής βιομάζας έπεσε στους 2,907 t/στρέμμα στη μεταχείριση που αρδεύτηκε με επεξεργασμένα υγρά αστικά απόβλητα και στους 3,109 t/στρέμμα στη μεταχείριση που αρδεύτηκε με καθαρό νερό (περίπου 0,28 t/στρέμμα για τη μεταχείριση του λύματος και 0,15 t/στρέμμα για τη μεταχείριση του καθαρού νερού χαμηλότερα από τη μέγιστη τιμή τους που επιτεύχθηκε περίπου δέκα ημέρες νωρίτερα). Αξιοσημείωτο πάντως είναι το γεγονός ότι η μείωση στη μεταχείριση του καθαρού νερού είναι μικρότερη σε σχέση με τη μείωση στη μεταχείριση του λύματος.

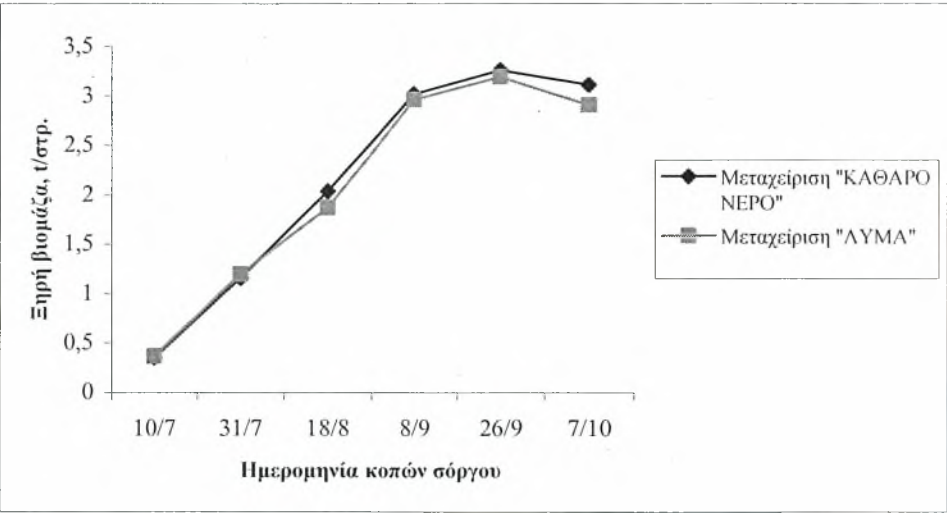
Αρνητικοί ρυθμοί παραγωγικότητας έχουν αναφερθεί και σε προηγούμενες μελέτες στο γλυκό σόργο (βιογραφικό σημείωμα Keller, CRES, αδημοσίευτα στοιχεία) και αποδόθηκαν στη φυσιολογική γήρανση των φύλλων καθώς και στις αυξανόμενες απώλειες λόγω αναπνοής, οι οποίες δεν αναπληρώνονται από τη φωτοσύνθεση, με αποτέλεσμα τους αρνητικούς ρυθμούς ανάπτυξης. Επομένως, ο χρόνος που επιτυγχάνεται η μέγιστη παραγωγή του γλυκού σόργου σε βιομάζα, άρα και ενέργεια, πρέπει να λαμβάνεται υπόψη για την επιλογή του κατάλληλου χρόνου συγκομιδής της καλλιέργειας με σκοπό τη μεγιστοποίηση των αποδόσεων για τα ελληνικά δεδομένα.

Από τη στατιστική ανάλυση που πραγματοποιήθηκε, δεν προέκυψε στατιστικά σημαντική διαφορά μεταξύ των δύο μεταχειρίσεων στο επίπεδο του 0,05 τόσο μεταξύ των ημερομηνιών κοπής, όσο και συνολικά (**Πίνακας 6.14** και **6.16**).

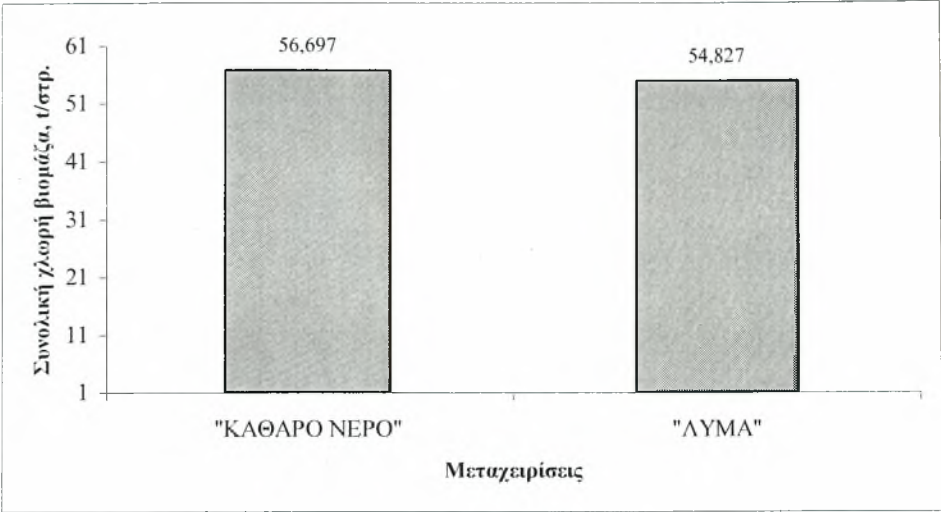
Με τη μέση θερμογόνο δύναμη της βιομάζας να αντιστοιχεί σε 0,4 τόνους ισοδυνάμου πετρελαίου (ΤΙΠ) ανά τόνο ξηρής βιομάζας (Dolcioti et al., 1996), η μέγιστη παραγωγή ξηρής βιομάζας που παρατηρήθηκε στη μεταχείριση του καθαρού νερού, 3,258 t/στρέμμα, αντιστοιχεί σε 1,303 ΤΙΠ ενώ η μέγιστη παραγωγή ξηρής βιομάζας που παρατηρήθηκε στη μεταχείριση του λύματος, 3,189 t/στρέμμα, αντιστοιχεί σε 1,276 ΤΙΠ.



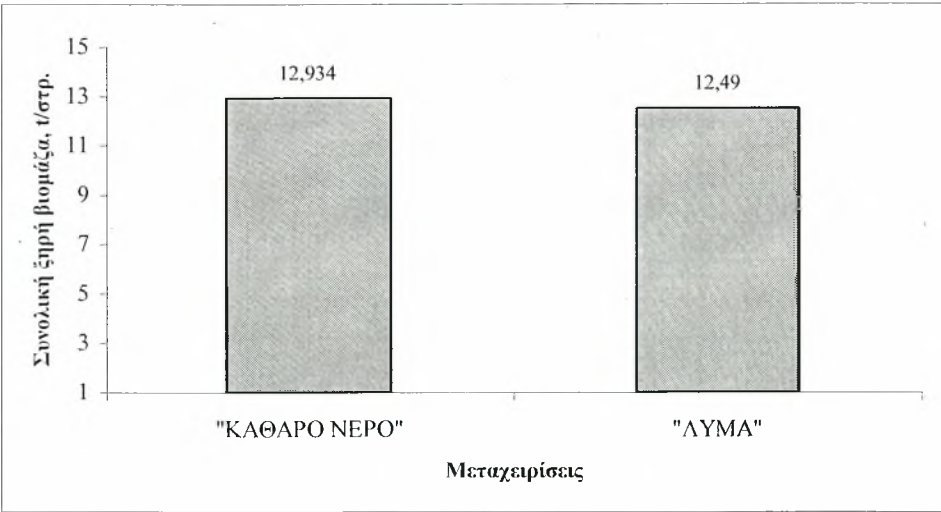
Σχήμα 6.11. Διακύμανση της χλωρής βιομάζας στις δύο μεταχειρίσεις.



Σχήμα 6.12. Διακύμανση της ξηρής βιομάζας στις δύο μεταχειρίσεις.



Σχήμα 6.13. Συνολική χλωρή βιομάζα για τις δύο μεταχειρίσεις στο διάστημα από 10/7 έως 7/10.



Σχήμα 6.14. Συνολική ξηρή βιομάζα για τις δύο μεταχειρίσεις στο διάστημα από 10/7 έως 7/10.

Πίνακας 6.13. Μέσος όρος (M.O.) και τυπική απόκλιση (Std Deviation) για κάθε ημερομηνία μέτρησης - κοπής της χλωρής βιομάζας στις δύο μεταχειρίσεις.

		Μεταχειρίσεις	Μέσοι όροι επαναληπτικών μετρήσεων	Std Deviation
Χλωρή βιομάζα	1 ^η μέτρηση - κοπή			
	10/7	“Καθαρό νερό”	0,2115	0,173
		“Λύμα”	0,2205	0,160
	2 ^η μέτρηση - κοπή			
	31/7	“Καθαρό νερό”	0,7270	0,311
		“Λύμα”	0,7495	0,328
	3 ^η μέτρηση - κοπή			
	18/8	“Καθαρό νερό”	1,1535	0,474
		“Λύμα”	1,0590	0,436
	4 ^η μέτρηση - κοπή			
	8/9	“Καθαρό νερό”	1,5615	0,385
		“Λύμα”	1,5320	0,450
	5 ^η μέτρηση - κοπή			
	26/9	“Καθαρό νερό”	1,6160	0,442
		“Λύμα”	1,5820	0,560
	6 ^η μέτρηση - κοπή			
	7/10	“Καθαρό νερό”	1,4760	0,388
		“Λύμα”	1,3845	0,272

Πίνακας 6.14. Μέσοι όροι (M.O.) και τυπική απόκλιση (Std Deviation) της χλωρής βιομάζας των δύο μεταχειρίσεων στο σύνολο των μετρήσεων - κοπών.

Μεταχείριση	Μέσος όρος	Std Deviation
“ΚΑΘΑΡΟ ΝΕΡΟ”	1,1243	0,5565
“ΛΥΜΑ”	1,0879	0,5286

Πίνακας 6.15. Μέσος όρος (Μ.Ο.) και τυπική απόκλιση (Std Deviation) για κάθε ημερομηνία μέτρησης - κοπής της ξηρής βιομάζας στις δύο μεταχειρίσεις.

		Μεταχειρίσεις	Μέσοι όροι επαναληπτικών μετρήσεων	Std Deviation
Ξηρή βιομάζα	1^η μέτρηση - κοπή			
	10/7	“Καθαρό νερό”	0,0423	0,034
		“Λύμα”	0,0441	0,032
	2^η μέτρηση - κοπή			
	31/7	“Καθαρό νερό”	0,1381	0,059
		“Λύμα”	0,1424	0,062
	3^η μέτρηση - κοπή			
	18/8	“Καθαρό νερό”	0,2422	0,099
		“Λύμα”	0,2224	0,091
	4^η μέτρηση - κοπή			
	8/9	“Καθαρό νερό”	0,3591	0,088
		“Λύμα”	0,3524	0,103
	5^η μέτρηση - κοπή			
	26/9	“Καθαρό νερό”	0,3878	0,106
		“Λύμα”	0,3797	0,134
	6^η μέτρηση - κοπή			
	7/10	“Καθαρό νερό”	0,3690	0,097
		“Λύμα”	0,3461	0,068

Πίνακας 6.16. Μέσοι όροι (Μ.Ο.) και τυπική απόκλιση (Std Deviation) της ξηρής βιομάζας των δύο μεταχειρίσεων στο σύνολο των μετρήσεων - κοπών.

Μεταχείριση	Μέσος όρος	Std Deviation
“ΚΑΘΑΡΟ ΝΕΡΟ”	0,2564	0,1417
“ΛΥΜΑ”	0,2478	0,1350

6.6 Εδαφολογική ανάλυση του πειραματικού αγρού

Στους Πίνακες 6.18 και 6.19 που ακολουθούν, παρουσιάζονται τα αποτελέσματα της εδαφολογικής ανάλυσης που έγινε πριν την έναρξη και μετά το τέλος των αρδεύσεων.

Στον Πίνακα 6.17 παρουσιάζονται τα επιτρεπτά όρια των εδαφολογικών παραμέτρων που μετρήθηκαν και αξιολογούνται σε κατηγορίες (φτωχό, επαρκώς εφοδιασμένο έδαφος κλπ) ανάλογα με τη συγκέντρωση των στοιχείων στο έδαφος.

Βάσει της ανάλυσης που έγινε, το έδαφος χαρακτηρίζεται αλκαλικό ως προς το pH (Methods of Soil Analysis, 1982). Γενικά θεωρείται ότι σε αυτό το pH οι περισσότερες καλλιέργειες μπορούν να αναπτυχθούν χωρίς ιδιαίτερα προβλήματα.

Με βάση το ποσοστό της οργανικής ουσίας, το έδαφος θεωρείται ότι είναι φτωχό σε οργανική ουσία.

Όσον αφορά την περιεκτικότητα σε CaCO_3 το έδαφος είναι αρκετά εφοδιασμένο και χαρακτηρίζεται ως ασβεστόχο.

Η ηλεκτρική αγωγιμότητα βρίσκεται σε οριακά επίπεδα.

Το K βρίσκεται σε ικανοποιητική συγκέντρωση σε αντίθεση με τον διαθέσιμο P ο οποίος είναι σε μέτρια γενικά επίπεδα.

Ως προς τη διαθεσιμότητα των ιχνοστοιχείων Cu και Zn, το έδαφος χαρακτηρίζεται επαρκώς εφοδιασμένο σε Cu σε αντίθεση με τον Zn ο οποίος βρίσκεται σε μέτρια επίπεδα.

Πίνακας 6.17. Αξιολόγηση των εδαφολογικών παραμέτρων που μετρήθηκαν.

pH	6,5 – 7 ελαφρώς όξινο	7,6 – 8,2 αλκαλικό	> 8,5 προβληματικό λόγω αλάτων	
Αγωγιμότητα (mS/cm)	< 1000 χαμηλή	1000 – 2000 οριακή	2000 – 3000 υψηλή	> 3000 πολύ υψηλή
% CaCO ₃	1 – 2 μέτρια εφοδιασμένο	2 – 7 επαρκώς εφοδιασμένο	7 – 12 αρκετά εφοδιασμένο	
Οργανική ουσία %	< 1 φτωχό	1 – 1,5 % μετρίως εφοδιασμένο	> 2 πλούσιο	
P (mg/kg)	< 10 χαμηλή	10 – 18 μέτρια εφοδιασμένο	18 – 25 επαρκώς εφοδιασμένο	> 25 υψηλή
K (mg/kg)	< 80 χαμηλή	80 – 160 οριακή	160 – 250 ικανοποιητική	250 – 300 πολύ υψηλή
Zn (mg/kg)	< 1 χαμηλή	1 – 3 μέτρια εφοδιασμένο	3 - 6 επαρκώς εφοδιασμένο	> 6 υψηλή
Cu (mg/kg)	< 0,8 χαμηλή	0,8 – 1,2 μέτρια εφοδιασμένο	1,2 – 2 επαρκώς εφοδιασμένο	> 2 υψηλή

Πηγή: Π.Ε.Γ.Ε.Α.Λ. Λάρισας.

Πίνακας 6.18. Εδαφολογική ανάλυση κατά μέσο όρο των μεταχειρίσεων πριν την έναρξη των αρδεύσεων.

pH	Αγωγιμότητα (mS/cm)	CaCO ₃ %	Οργανική ουσία %	N (mg/kg)	P (mg/kg)	K (mg/kg)	Zn (mg/kg)	Cu (mg/kg)	Μηχανική σύσταση
7,25	1250	12,56	0,93	70	10	165	1,9	2,2	Sandy Clay Loam

Πίνακας 6.19. Εδαφολογική ανάλυση των μεταχειρίσεων με καθαρό νερό και λύμα μετά το τέλος των αρδεύσεων.

	pH	Αγωγιμότητα (mS/cm)	CaCO ₃ %	Οργανική ουσία %	N (mg/kg)	P (mg/kg)	K (mg/kg)	Zn (mg/kg)	Cu (mg/kg)	Μηχανική σύσταση
“Καθαρό νερό”	7,5	1255	10,3	0,97	74	7	180	1,04	2,3	Sandy Clay Loam
“Λύμα”	7,8	1470	11,2	1,13	78	8	190	1,15	3,5	Sandy Clay Loam

Μετά το τέλος της αρδευτικής περιόδου έγινε εδαφολογική ανάλυση και στις δύο μεταχειρίσεις με σκοπό να μελετηθούν οι ιδιότητες του εδάφους καθώς και οι περιεκτικότητες των στοιχείων στο έδαφος μετά την άρδευση με καθαρό νερό και κυρίως μετά την άρδευση με επεξεργασμένα υγρά απόβλητα.

Διαπιστώνουμε λοιπόν ότι:

- α) Το pH παρέμεινε αμετάβλητο και στις δύο μεταχειρίσεις.
- β) Η ηλεκτρική αγωγιμότητα αυξήθηκε κατά την άρδευση με απόβλητα. Αντίθετα στη μεταχείριση του καθαρού νερού παρέμεινε στα ίδια επίπεδα. Με βάση τους πίνακες των Maas και Hoffman (1977) και του Maas (1984), οι οποίοι αναφέρονται στην αντοχή των φυτών και στη μείωση της απόδοσης τους σε σχέση με την αλατότητα του νερού άρδευσης (EC_{iw}) και τη μέση αλατότητα του εδάφους (EC_e) που μπορεί να ανεχθεί το φυτό, το σόργο είναι 100 % αποδοτικό σε τιμές $EC_{iw} = 4,5$ mS/cm και σε τιμές $EC_e = 6,8$ mS/cm. Μείωση της απόδοσης σε ποσοστό 50 % παρατηρείται σε τιμές $EC_{iw} = 6,7$ mS/cm και $EC_e = 9,9$ mS/cm, οι οποίες θεωρούνται εξαιρετικά υψηλές.
- γ) Κατά την άρδευση με καθαρό νερό η οργανική ουσία δεν μεταβλήθηκε ενώ κατά την άρδευση με απόβλητα παρατηρήθηκε αύξηση με αποτέλεσμα το έδαφος να μπορεί να χαρακτηριστεί μετρίως εφοδιασμένο σε οργανική ουσία.
- δ) Όσον αφορά τα στοιχεία N, P, K και Zn δεν παρατηρήθηκε καμία σημαντική αλλαγή στις τιμές τους ανάμεσα στις δύο μεταχειρίσεις. Μικρή αύξηση παρατηρήθηκε στη συγκέντρωση του N και μεγάλη αύξηση στη συγκέντρωση του K στη μεταχείριση του λύματος.
- ε) Ο Cu βρίσκεται σε πολύ υψηλές συγκεντρώσεις μετά την άρδευση με λύμα.
- στ) Και τέλος, η περιεκτικότητα του εδάφους σε $CaCO_3$ και στις δύο μεταχειρίσεις δεν υπέστη καμία σημαντική μεταβολή.

Χρήσιμο θα ήταν, μελλοντικές έρευνες σχετικά με την επαναχρησιμοποίηση υγρών αποβλήτων για άρδευση καλλιεργειών, να περιλαμβάνουν στην εδαφολογική τους ανάλυση και τα ιχνοστοιχεία As, Cd, Pb, Co, Ni, οι συγκεντρώσεις των οποίων, μετά από μακροχρόνια χρήση υγρών αστικών αποβλήτων για άρδευση, αυξάνονται σταδιακά.

ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ

Η διερεύνηση της επίδρασης της υπόγειας στάγδην άρδευσης με επεξεργασμένα υγρά απόβλητα στην ανάπτυξη και απόδοση του ενεργειακού σόργου, οδήγησε στη διεξαγωγή των παρακάτω συμπερασμάτων:

1. Τα επεξεργασμένα υγρά απόβλητα μπορεί να αποτελέσουν μια ελπιδοφόρα λύση εξοικονόμησης καθαρού νερού σε περιοχές όπου αντιμετωπίζεται έλλειψη νερού, με τη χρησιμοποίησή τους για άρδευση ορισμένων καλλιεργειών, όπως είναι το σόργο αφού δεν επηρεάζουν αρνητικά την ανάπτυξη και παραγωγή του. Η χρήση επεξεργασμένων υγρών αποβλήτων στην άρδευση καλλιεργειών έχει οικονομικά και περιβαλλοντικά οφέλη (εξοικονόμηση νερού, λύση του προβλήματος διάθεσης των αποβλήτων κλπ). Η επαναχρησιμοποίηση των λυμάτων λοιπόν, αποτελεί έναν τομέα στον οποίο θα πρέπει να δοθεί η ανάλογη προσοχή ενόψει των μεγάλων αλλαγών που συντελούνται τα τελευταία χρόνια γύρω από το θέμα της βιώσιμης διαχείρισης υδατικών πόρων.
2. Βασική προϋπόθεση είναι να γίνεται παρακολούθηση των φυσικών και χημικών παραμέτρων καθώς και του μικροβιακού φορτίου των επεξεργασμένων υγρών αστικών αποβλήτων με τις πλέον κατάλληλες και οικονομικά προσιτές μεθόδους χημικής ανάλυσης.
3. Η επιλογή της υπόγειας στάγδην άρδευσης, ως μέθοδο άρδευσης, στην περίπτωση χρήσης επεξεργασμένων υγρών αστικών αποβλήτων για άρδευση καλλιεργειών, κρίνεται απαραίτητη για την προστασία της δημόσιας υγείας. Προστασία τόσο των αγροτών όσο και των ανθρώπων που διαμένουν κοντά

σε αγροτικές εκτάσεις που αρδεύονται με απόβλητα ή τρέφονται με προϊόντα που έχουν αρδευτεί με απόβλητα. Στην υπόγεια στάγδην άρδευση δεν τίθεται κάποιο όριο όσον αφορά τα μικροβιολογικά χαρακτηριστικά των επεξεργασμένων υγρών αστικών αποβλήτων επειδή δεν έρχονται σε άμεση επαφή τα απόβλητα με το κοινό και τους εργαζόμενους στο χώρο (Bahri και Brissaud 2002). Κατά την επαναχρησιμοποίηση επεξεργασμένων υγρών αστικών αποβλήτων για την άρδευση καλλιέργειας σόργου δεν τίθεται θέμα κινδύνου για τους καταναλωτές αφού το σόργο στις αναπτυγμένες χώρες δεν χρησιμοποιείται στη διατροφή του ανθρώπου αλλά μόνο για παραγωγή ενέργειας.

4. Τόσο κατά τη διάρκεια όσο και στο τέλος της έρευνας, δεν παρατηρήθηκε στατιστικώς σημαντική διαφορά ανάμεσα στις δυο μεταχειρίσεις σε όλες σχεδόν τις παραμέτρους που μετρήθηκαν (ύψος φυτών, δείκτης φυλλικής επιφάνειας, αριθμός φύλλων, αριθμός φυτών με ταξιανθία και αριθμός ταξιανθιών ανά φυτό, παραγωγή χλωρής και ξηρής βιομάζας) γεγονός πολύ ενθαρρυντικό αν λάβουμε υπόψη την εξοικονόμηση του αρδευτικού νερού που έγινε. Μόνο ο αριθμός των αδελφιών ανά φυτό έδωσε στατιστικά σημαντική διαφορά μεταξύ των μεταχειρίσεων, υπέρ αυτών που αρδεύτηκαν με καθαρό νερό καθ' όλη τη διάρκεια της καλλιεργητικής περιόδου. Η άρδευση με επεξεργασμένα υγρά απόβλητα έδωσε παρόμοια ή και σε ορισμένες περιπτώσεις καλύτερα αποτελέσματα σε σύγκριση με το καθαρό νερό. Επίσης, από την εδαφολογική ανάλυση που διεξήχθη στη μεταχείριση του λύματος, δεν καταγράφηκε οποιαδήποτε συγκέντρωση τοξικών στοιχείων. Η θετική συμπεριφορά της υπόγεια στάγδην άρδευσης με επεξεργασμένα υγρά αστικά απόβλητα ενθαρρύνει τη χρήση επεξεργασμένων υγρών αστικών αποβλήτων για την άρδευση φυτών βιοενέργειας, όπως το σόργο, με άριστα αποτελέσματα εφόσον ακολουθείται ένα πρόγραμμα εναλλαγής φρέσκου νερού και λυμάτων.

5. Η μη ύπαρξη υπολειμματικής δράσης από την προηγούμενη χρονιά (2005) και το γεγονός ότι και τη δεύτερη χρονιά του πειράματος (2006) δεν πραγματοποιήθηκε καμία λιπαντική αγωγή αναδεικνύουν ακόμη ένα πλεονέκτημα της άρδευσης με επεξεργασμένα υγρά απόβλητα. Η αξιοποίηση επεξεργασμένων υγρών αποβλήτων στην άρδευση γεωργικών εκτάσεων τροφοδοτεί τα φυτά και το έδαφος με λιπαντικά στοιχεία έτσι ώστε να μην χρειάζεται να επέμβουμε με λιπάνσεις την ίδια ή και τις επόμενες χρονιές, όφελος και για τον αγρότη (οικονομικό) αλλά και για το περιβάλλον.
6. Η μέθοδος της υπόγειας στάγδην άρδευσης είναι η πλέον επικρατέστερη μεταξύ των σύγχρονων και των παραδοσιακών μεθόδων άρδευσης για τη μεγιστοποίηση των αποδόσεων, και μάλιστα με την πιο ορθολογική διαχείριση του αρδευτικού νερού. Αυτό οφείλεται στην άμεση διοχέτευση του αρδευτικού νερού απευθείας στο τμήμα του ενεργού ριζοστρώματος των φυτών με την ταυτόχρονη ελαχιστοποίηση των απωλειών λόγω εξάτμισης, καθώς επίσης και στη διατήρηση ικανοποιητικών τιμών εδαφικής υγρασίας (πλησίον της τιμής της υδατοϊκανότητας) μετά το πέρας της κάθε εφαρμογής και για ένα σχετικά μεγάλο χρονικό διάστημα (2 – 5 ημέρες) στο συγκεκριμένο τμήμα της εδαφικής κατατομής των 30 – 60 cm.
7. Η χορήγηση αρδευτικού νερού συμπληρωματικά ακόμα και στις χαμηλών απαιτήσεων καλλιέργειες για την κάλυψη των αναγκών σε εξατμισοδιαπνοή, κρίνεται αναγκαία για την επίτευξη υψηλής ανάπτυξης και παραγωγικότητας.
8. Ο σωστός προγραμματισμός των αρδεύσεων σε συνδυασμό με τις συνεχείς μετρήσεις της εδαφικής υγρασίας καθώς και οι κατάλληλες κλιματικές συνθήκες που επικράτησαν κατά τη διάρκεια του θέρους δεν διέκοψαν την αναπτυξιακή διαδικασία της καλλιέργειας, αντίθετα επιτεύχθηκαν μέγιστοι ρυθμοί ανάπτυξης και υψηλές τιμές σε παραγωγή χλωρής και ξηρής βιομάζας.

9. Ο ρυθμός ανάπτυξης και οι αποδόσεις σε ξηρή βιομάζα, και μάλιστα απουσία λιπαντικής αγωγής, καθιστούν φανερά τη δυναμική του γλυκού σόργου ως εναλλακτική καλλιέργεια για την παραγωγή βιομάζας, ενθαρρύνοντας έτσι και τη μελλοντική συμμετοχή του σε προγράμματα αμειψισπορών, στα πλαίσια μιας νέας, σύγχρονης, χαμηλών εισροών και συνεχώς εξελισσόμενης αειφορικής γεωργίας.
10. Συνολικά η Δ.Ε.Υ.Α.Μ.Β. σε όλη τη διάρκεια της αρδευτικής περιόδου μας εφοδίασε με 11.500 λίτρα λύμα. Επιτεύχθηκε έτσι, μια εξοικονόμηση της τάξης του 26 % σε καθαρό αρδευτικό νερό. Οι αποδόσεις των φυτών σε συνδυασμό με την εξοικονόμηση νερού από τη χρήση επεξεργασμένων υγρών αποβλήτων, δίνει πολλές ελπίδες για μελλοντική χρήση των επεξεργασμένων υγρών αποβλήτων για άρδευση τόσο σε χώρους πρασίνου εντός πόλης (πάρκα) όσο και σε καλλιέργειες ενεργειακών φυτών, όπως το σόργο, αφού δεν παρατηρείται καμία υστέρηση στην εμφάνιση των πειραματικών που αρδεύτηκαν με λύμα.
11. Το κέρδος θα ήταν μεγαλύτερο, αν στην εξοικονόμηση λόγω της χρήσης επεξεργασμένων υγρών αστικών αποβλήτων, συνυπολογιστεί και το 20 % της ποσότητας νερού που θα εξοικονομούνταν αν η δόση άρδευσης ήταν μειωμένη. Με τη χρήση της υπόγειας στάγδην άρδευσης, δύναται η δυνατότητα μείωσης της δόσης άρδευσης σε ποσοστό 20 %, σε σχέση με άλλες μεθόδους άρδευσης που χρησιμοποιούνται κατά κόρον στην ελληνική γεωργία, λόγω της ελαχιστοποίησης των απωλειών από επιφανειακή εξάτμιση καθώς επίσης και λόγω της άμεσης διοχέτευσης του αρδευτικού νερού στο ενεργό τμήμα του ριζοστρώματος. Με τη μείωση της δόσης άρδευσης στην υπόγεια στάγδην άρδευση μπορούμε να κατανοήσουμε πόσο σημαντική εξοικονόμηση χρημάτων θα μπορούσε να επιτύχει ένας παραγωγός όσον αφορά το κοστολόγιο νερού. Αντισταθμίζεται έτσι σε σημαντικό βαθμό και η διαφορά σε αξία αγοράς και τοποθέτησης των υλικών άρδευσης της υπόγειας στάγδην άρδευσης σε σχέση με τις επιφανειακές.

12. Η αποδοτικότητα άρδευσης για τη μεταχείριση του καθαρού νερού ήταν 4,68 kg στρ.⁻¹ mm⁻¹ ή 0,21 mm kg⁻¹ στρ.⁻¹ ενώ για τη μεταχείριση του λύματος ήταν 4,58 kg στρ.⁻¹ mm⁻¹ ή 0,22 mm kg⁻¹ στρ.⁻¹. Η διαφορά μεταξύ των δύο μεταχειρίσεων είναι πάρα πολύ μικρή, που σημαίνει ότι τόσο η μεταχείριση που αρδεύτηκε μόνο με καθαρό νερό όσο και η μεταχείριση που αρδεύτηκε με καθαρό νερό και επεξεργασμένα υγρά απόβλητα αξιοποίησαν σχεδόν το ίδιο αποδοτικά το νερό που τους χορηγήθηκε.

13. Ενθάρρυνση του συνδυασμού υπόγειας στάγδην άρδευσης και επεξεργασμένων υγρών αποβλήτων για μελλοντικές χρήσεις στη γεωργία λόγω της εξοικονόμησης καθαρού αρδευτικού νερού, της ελαχιστοποίησης ενεργειακών εισροών, της επίτευξης υψηλού βαθμού προστασίας τόσο για τους αγρότες όσο και για τους καταναλωτές σε συνδυασμό με την μη ύπαρξη ανάγκης για τριτοβάθμια επεξεργασία των υγρών αποβλήτων.

ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

1. Αγγελάκης, Α.Ν. και Tsobanoglous, G., 1995. Υγρά απόβλητα. Φυσικά συστήματα επεξεργασίας και ανάκτηση, επαναχρησιμοποίηση και διάθεση εκροών. Πανεπιστημιακές εκδόσεις Κρήτης.
2. Αλεξίου, Ι., Καλφούντζος, Δ., Κωτσόπουλος, Σ., Βύρλας, Π., και Καμπέλη, Σ., 2003. Σύγκριση της υποεπιφανειακής και της επιφανειακής στάγδην άρδευσης σε καλλιέργεια βαμβακιού. Πρακτικά 9^{ου} Συνεδρίου Υδροτεχνικής Ένωσης (EYE), 2-5 Απριλίου, Θεσσαλονίκη, σ.199-206.
3. Alexopoulou, E., and Chatziathanassiou, A. Description of growing experience on sweet sorghum in Greece.
4. Ali, I., 1987. Wastewater criteria for irrigation in arid regions. Journal Irrigation and Drainage Division, A.S.C.E., 113(2):173-183.
5. Al-Omran, M.A., Sheta, S.A., Falatah, M.A., and Al-Harbi, R.A., 2004. Effect of drip irrigation on squash (*Cucurbita pepo*) yield and water-use efficiency in sandy calcareous soils amended with clay deposits. Agricultural Water Management, Άρθρο υπό εκτύπωση.
6. Amaducci, M.T., Gucci, G., Caro De, A., Gherbin, P., Mambelli, S., and Venturi, G., 1989. Sugar beet yield response to irrigation in different environmental conditions. Irrigotione E drainaggio Vol. 36 No.
7. Anderson, E., and Martin, J.H., 1949. World production and consumption of millet and sorghum. Econ. Bot. 3:265-288.
8. Angelakis, A.N., and Spyridakis, S.V., 1996. The status of water resources in Minoan times-A preliminary study. In: Diachronic Climate Impacts on Water Resources with Emphasis on Mediterranean Region, Springer-Verlag, Heidelberg, Germany, 8:161-192.
9. Archontoulis, S.V., Danalatos, N.G., Struik, P.C., and Tsalikis, D., 2007. Irrigation and N-fertilization effects on the growth and productivity of sunflower in an aquic soil in central Greece. 15th European Biomass Conference and Exhibition: Biomass for Energy, Industry and Climate Protection, Berlin, German, May 7-11 (in press).

10. Asano, T., 1994β. Reusing urban wastewater-An alternative and a reliable water resource. *Water International*, 19:36-42.
11. Asano, T., and Lenine, 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.
12. Asano, T., Smith, R.G., and 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.
13. Asano, T., and Tsobanoglous, G., 1987. Municipal wastewater treatment and effluent utilization for irrigation. *Land and Water Development Division*, F.A.O., Rome.
14. Ayers, R.S., and Westcot, D.W., 1985. Water quality for agriculture. *F.A.O. Irrigation and Drainage Paper* 29:99-104, Rev.1.
15. Babajimopoulos, C., Panoras, A., Mavroudis, I., and 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". Organized by Wessex Institute of Technology Southampton, UK. Penag, Malaysia, 10-12 September 1996, 183-192.
16. 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.
17. Bahri, A., and Brissaud, F., 2002. "Guidelines for municipal water reuse in the Mediterranean countries", World Health Organization, Regional Office for Europe, WHO/EURO Project Office, Mediterranean Action Plan.
18. Βάλμης, Σ., 1990. Διαβρώσεις – συντήρηση εδαφών. Εκδόσεις Σταμούλης, Αθήνα.
19. Barrington, S., and Jutras, P.J., 1983. Soil sealing by manure in various soils. *Paper No 83-4571*, A.S.A.E., St. Joseph, MI 49085.

20. Bartzialis, D.I., Fitis, P.E., Skoufogianni, E., and Danalatos N.G., 2008. Ultra narrow row spacing for effective low-input cotton cropping in central Greece. International Conference on Agricultural Engineering and Industry exhibition to be held in Heraklion, Crete, Greece, June, 2008 (abstract submitted).
21. Βαφειάδης, Μ., 1991. Μελέτη των βροχοπτώσεων σε διαφορετικές κλίμακες χώρου και χρόνου. Εφαρμογή στην πεδιάδα της κεντρικής Μακεδονίας. Διδακτορική Διατριβή στον Τ.Υ.Τ.Π.-Α.Π.Θ.
22. Βαφειάδης, Π., 1995. Τεχνητός εμπλουτισμός των υδροφόρων στρωμάτων. Εκδόσεις Γιαχούδη-Γιαπούλη, Θεσσαλονίκη.
23. Bond, J.J. et al., 1964. Row spacing, plant populations and moisture supply as factors in dryland grain sorghum production. *Agron. J.* 56:3-7.
24. Bos, M.G., and Nugteren, J., 1983. On irrigation efficiencies. I.L.R.I., 3rd Edition, Wageningen, The Netherlands.
25. Bouwer, H., 1988. Groundwater recharge as a treatment of sewage effluent for unrestricted irrigation. Proceedings of the F.A.O. Regional Seminar on Treatment and Use of Sewage Effluent for Irrigation, Nicosia, Cyprus, October 7-9, 116-128.
26. Brandes, E.W., 1943-1947. Progress with sugar sorgho. pp. 344-352. In: USDA Yearbook of Agric.
27. Broadbent, F.E., and Reisenauer, H.M., 1985. Fate of wastewater constituents in soil and groundwater: Nitrogen and phosphorus. In: *Irrigation with Reclaimed Municipal Wastewater-A guidance manual*. 2nd Edition, Pettygrove, G.S., and Asano, T. (Eds.), Lewis Publishers, Inc., Chelsea, MI.
28. Broadhead, D.M., and Freeman, K.C., 1980. Stalk and sugar yield of sweet sorghum as affected by spacing. *Agron. J.* 72:523-524.
29. Bucks, D.A., Nakayama, F.S., and Warrick, A.W., 1982. Principles, practices and potentialities of trickle (drip) irrigation. In: *Advances in Irrigation*, I:219-298.
30. Γαλανοπούλου-Σενδουκά, Σ., 2003. Ειδική Γεωργία Ι. Πανεπιστημιακές παραδόσεις, Βόλος.
31. Camp, R.C., Lamm R.F., Evans, G.R., and Phene, J.C., 2000. Subsurface drip irrigation – Past, Present and Future. Proceedings of the 4th Decennial National Irrigation Symposium, Nov. 14-16, Phoenix AZ. pp. 363-372.

32. C.E.C.:Council of the European Communities, 1976. Council directive 76/160/E.E.E., concerning the quality of bathing water. Official Journal of the European Communities, I(31):1-7.
33. Chatziathanassiou, A., Christou, M., Alexopoulou, E., Zafiris, C., 1998. Biomass and sugar yields of sweet sorghum in Greece. In: Chartier et al. (Ed.), Proceedings of the 10th European Conference. C.A.R.M.E.N. Press, Germany, p. 209-212.
34. Christou, M., Panoutsou, K., and Alexopoulou, E. Promising agricultural Perennial Energy Crops in Greece.
35. Christov, I., Sadovski, A., Panoras, A., Mavroudis, A., Louisakis, A., 1998. Application of computer technology for crop irrigation scheduling to reduce negative impact of environment. Journal of Balkan Ecology (accepted).
36. Γιακουμάκης, Ε., 1985. Πότισμα με σταγόνες. Έκδοση Ι.Ε.Β., Θεσσαλονίκη.
37. Clanton, C.J., and Slack, D.C., 1987. Hydraulic properties of soils as affected by surface application of wastewater. Transactions of A.S.A.E., 30(3):683-687.
38. Cook, J., and Beyea, J. An analysis of the environmental impacts of energy crops in the USA: methodologies, conclusions and recommendations.
39. Council on Agricultural Science and Technology, 1976. Application of sewage sludge to cropland: Appraisal of potential hazards of the heavy metals to plants and animals. Office of Water Programs, E.P.A.-430/976-013, U.S. E.P.A., Washington D.C.
40. Crook, J., 1985. Health and regulatory considerations. In Irrigation with Reclaimed Municipal-A guidance manual. 2nd Edition, Pettygrove, G.S., and Asano, T. (Eds.), Lewis Publishers, Inc., Chelsea, MI.
41. Cummins, D.G., 1981. Yield and quality changes with maturity of silage type sorghum fodder. Agron. J. 73:988-990.
42. Curt, M.D., 1998. Environmental studies on sweet and fiber sorghum sustainable crops for biomass production and energy. Project FAIR CT3-CT96 1913. Spanish contribution. In: BioBase.

43. Curt, M.D., Fernandez, J., and Martinez, M., 1995. Productivity and water use efficiency of sweet sorghum (*Sorghum bicolor* (L.) Moench) cv. Keller in relation to water regime, Biomass and Bioenergy, p. 401-409.
44. Dalianis, C., 1996. Adaptation, productivity and agronomic aspects of sweet sorghum under EU conditions. Proceeding of the First European Seminar on Sorghum for Energy and Industry, held in France, 1-3 April, p. 15-25.
45. Danalatos, N.G., and Archontoulis, S.V., 2004. Potential growth and biomass productivity of kenaf under central Greek conditions: I. the influence of fertilization and irrigation. In: Van Swaailj, W.P.M., Fjalistrom, T., Helm, P., Grassi, A. (Ed.), Biomass for Energy, Industry and Climate Protection. Proceedings of the 2nd World Biomass Conference, Roma, Italy, May 10-14, pp. 323-326.
46. Danalatos, N.G., and Archontoulis, S.V., 2005. Sowing time and plant density effects on growth and biomass productivity of two kenaf varieties in central Greece. In: Pascual – Villalobos, M.J., Nakayama, F.S., Bailey, C.A., Correal, E., and Schloman, W.W. Jr. Proceedings of 2005 Annual Meeting of the Association for Advancement of Industrial Crops: International Conference on Industrial Crops and Rural Development, Murcia, Spain, September 17-21, pp. 889-901.
47. Danalatos, N.G., Archontoulis, S.V., Giannoulis, K.D, Pasxonis, K., Tsalikis, D., Pazaras, B., Papadoulis, N., and Zaitoudis, D., 2008. Cynara, sunflower, sweet and fiber sorghum on farm yields in north, central and south Greece in 2007. International Conference on Agricultural Engineering and Industry exhibition to be held in heronissos, Creta, Greece, June, 2008 (abstract submitted).
48. Danalatos, N.G., Archontoulis, S.V., Giannoulis, K., and Rozakis, S., 2006. Miscanthus and Cardoon as alternative crops for solid fuel production in central Greece. International Conference on Information Systems, Sustainable Agriculture, Agro-environment and Food technology, Volos, Greece, September 20-23, pp. 387-397.
49. Danalatos, N.G., Archontoulis, S.V., and Mitsios, I., 2007. Potential growth and biomass productivity of *Miscanthus sinensis* as affected by plant density and N-fertilization in central Greece. J. Biomass & Bioenergy (2007), 31:145-152.

50. Danalatos, N.G., Mitsios, I., and Archontoulis, S.V., 2005. Growth and biomass productivity of kenaf as biomass crop in Greece. 14th European Biomass Conference and Exhibition: Biomass for Energy, Industry and Climate Protection. Proceedings of the 14th European Biomass Conference, Paris, France, October 17-21, pp. 272-275.
51. Danalatos, N.G., Tsibukas, K., Archontoulis, S.V., Giannoulis, K., and Rozakis, S., 2007. Miscanthus and Cardoon as alternative energy crops for solid fuel production under new CAP conditions in Greece. 15th European Biomass Conference and Exhibition: Biomass for Energy, Industry and Climate Protection, Berlin, German, May 7-11 (in press).
52. Dedrick, A.R., Erie, L.J., and Clemmens, A.J., 1982. Level basin irrigation. In: Advances in Irrigation edited by D.Hillel, Academic Press, N.Y., 105-145.
53. Dercas, N., Panoutsou, C., and Sooter, C., 1995. Sweet Sorghum (*Sorghum bicolor* (L.) Moench). Response to four irrigation and two fertilization rates, In: Chartier et al. (Ed.), Biomass for Energy, Environment, Agriculture. Proceedings of the 8th E.C. Conference Vol. 1, Pergamon Press, U.K., 629-639.
54. Δημοπούλου, Κ., 2005. Μεταπτυχιακή Διατριβή, Επίδραση σύγχρονων συστημάτων άρδευσης στα παραγωγικά χαρακτηριστικά τεύτλων. Εργαστήριο Γεωργικής Υδραυλικής, Πανεπιστήμιο Θεσσαλίας.
55. Dinnen, R., 1991. Congress acts to increase the production of ethanol. Biologue 8(1):p.11-14.
56. Doggett, H., 1970. Sorghum. Longmans, Green and Co. Ltd., London.
57. Dolcioti, I., Mambelli, S., Grandi, S., and Venturi, G., 1996. Comparison of two Sorghum genotypes for sugar and fiber production. Industrial Crops and Products, 7:265-272.
58. Eck, H.V., and Musick, J.T., 1979. Plant water stress effects on irrigated grain sorghum. II. Effects on nutrients in plant tissues. Crop Sci. 19:592-598.
59. 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.
60. F.A.O., 1968. Sprinkler irrigation. Agricultural Development Paper 88, Rome.

61. F.A.O., 1974. Surface irrigation. Agricultural Development Paper 95, Rome.
62. F.A.O., 1980. Localized irrigation. Irrigation and Drainage Paper 36, Rome.
63. F.A.O., RNEA, 1991. Wastewater management for irrigation. R.N.E.A. Technical Bulletin Series, Land and Water No 1.
64. FAO, 1998. Irrigation and Drainage. Paper No 24.
65. Feachem, R.G., Bradley, D.J., Garelich, H., and Mara, D.D., 1983. Sanitation and disease: Health Aspects of Excreta and Wastewater Management. John Wiley and Sons, Chichester, U.K.
66. Ganoulis, J., 1995. Risk analysis of wastewater reclamation and reuse. Proceedings of 2nd International Symposium on Wastewater Reclamation and Reuse. I.A.W.Q., Iraklio, Crete, Greece, October 17-20, 2:661-667.
67. Grattan, S.R., and Rhoades, J.D., 1990. Irrigation with saline groundwater and drainage water. In: Agricultural Salinity Assessment and Management Manual. K.K. Tanji (ed.), A.S.C.E., New York, 432-449.
68. Hanson, B., and May, D., 2004. Effect of subsurface drip irrigation on processing tomato yield, water table depth, soil salinity and profitability. *Agricultural Water Management*, 68(1):1-17.
69. Harlan, J.R., and J.M.J. de Wet, 1972. A simplified classification of cultivated sorghum. *Crop Sci.* 12:172-176.
70. Harms, C.L., and Tucker, B.B., 1973. Influence of nitrogen fertilization and other factors on yield, prussic acid, and total nitrogen concentration of sudangrass cultivars. *Agron. J.* 65:21-26.
71. Herron, G.M. et al., 1963. Effect of soil moisture and N fertilization of irrigated grain sorghum on dry matter production and N uptake at selected stages of plant development. *Agron. J.* 55:393-396.
72. Hespanhol, I., 1989. Health and technical aspects of the use of wastewater in agriculture and aquaculture. September 18-25, Sophia Antipolis, France.
73. Hespanhol, I., 1990. Guidelines and integrated measures for public health protection and agricultural reuse systems. *Journal Water S.R.T.-Aqua*, 39(4):237-249.

74. Hillel, D., 1987. The effluent use of water in irrigation. World Bank Technical Paper No 64. The World Bank, Washington D.C.
75. Hillman, R.J., 1988. Health aspects of reuse of treated wastewater for irrigation. Proceedings of the F.A.O. Regional Seminar on Treatment and Use of Sewage Effluent for Irrigation, Nicosia, Cyprus, October 7-9, 52-63.
76. Hinz, W.W., and Halderman, A.D., 1978. Laser beam land leveling costs and benefits. Bulletin No A114, Cooperative Extension Service, Tuscon, Arizona.
77. Holt, E.C., and Alston, G.D., 1968. Response of sugar grass hybrids to cutting practices. Agron. J. 60:303-306.
78. Hutmacher, R.B., Phene, C.J., Mead, R.M., Clark, D., Shouse, P., Vail, S.S., Swain, R., M., van Genuchten, Donovan, T., and Jobes, J., 1992. Subsurface drip irrigation of alfalfa in the Imperial Valley. Proceedings of the 22nd California/Arizona Alfalfa Symposium 22:20-32, University of California and University of Arizona Cooperative Extensions, Holtville, CA, December 9-10.
79. International Reference Centre for Waste Disposal: I.R.C.W.D., 1985. Engelberg Report: Health aspects of wastewater and excreta use in agriculture and aquaculture. Dubendorf, Switzerland, I.R.C.W.D. News 23:11-29.
80. I-Pai Wu, 1994. Low Energy Subsurface Drip Irrigation (system for Pasture). Department of Animal Sc. Prepared by: Biosystems Engineering Dept. University of Hawaii.
81. Καλλέργης, Γ., 1985. Εφαρμοσμένη Υδρογεωλογία. Έκδοση Τ.Ε.Ε, Αθήνα, Β(17):1-29.
82. Καλφούντζος, Δ., 2002. Υδατοκατανάλωση καλλιεργειών. Βόλος.
83. Καλφούντζος, Δ., Σακελλαρίου-Μακραντωνάκη, Μ., Τζιμόπουλος, Χ., 2000. Πειραματικές διαδικασίες διήθησης-στράγγισης σε στρωματοποιημένα εδάφη. Πρακτικά 2^{ου} Εθνικού Συνεδρίου Γεωργικής Μηχανικής, σελ. 93-100. Βόλος, 28-30 Σεπτεμβρίου 2000.
84. Kandiah, A., 1990α. Water quality management for sustainable agricultural development. Natural Resources Forum, 14(1):22-32.
85. Καραμούζης, Δ.Ν. και Τερζίδης, Γ.Α., 1998. Υδραυλική υπόγειων νερών. Τόμος Ι (υπό έκδοση)

86. Keller, J., and Karmeli, D., 1974. Trickle irrigation design parameters. Transactions of ASAE, 1(4):678-684.
87. Kofoed, K.D. et al., 1978. Yield stability of sorghum random mating populations. Crop Sci. 18: 677-679.
88. Kypris, D., 1989. Considerations for the quality standards for the reuse of treated effluent. Proceedings of Wastewater Reclamation and Reuse, Cairo, Egypt, December, 11-16.
89. Κωνσταντινίδης, Κ.Α., 1975. Η μέθοδος αρδεύσεως δια καταιονίσεως. Εκδόσεις Αφοί Π. Σακούλα, Θεσσαλονίκη-Αθήνα.
90. Lamm, R.F., Rogers, H.D., and Spurgeon, E.W., 2003. Design and management Considerations for Subsurface Drip Irrigation Systems. First presented at the Central Place Irrigation Shortcourse and Equipment Exposition, Kearney, Nebraska, February 7-8, 1994. Slight revisions were made in January 1997. Significant revisions were made in January 2000 and also in January 2003.
91. Louisakis, A.D., Panoras, A.G., and Mavroudis, I.G., 1998. Actual water deficit and hydrological methodologies to solve problems for soil and water resources in Greece. Balkan Drought Workshop in "Developing a Strategy for Alleviating the Problem of Drought in the Balkan Region", 20-23 September, Yugoslavia.
92. Maas, E.V., 1984. Salt tolerance of plants. In: The handbook of plant Science in agriculture. B.R. Cristie (ed) CRC Press, Florida.
93. Maas, E.V., 1985. Crop tolerance to saline sprinkling water. Plant and soil 89, 273-284.
94. 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.
95. Maheras, P., 1988. Changes in precipitation conditions in the western Mediterranean over the last century. J. Climatol., 8:179-189.
96. Maheras, P., and Kolyva-Mahera, F., 1990. Temporal and spatial characteristics of annual precipitation over Balkans in the 20th century. J. Climatol., 10:495-504.

97. Maloupa, E., Traka-Mavrona, E., Papadopoulos, A., Pateras D., and Papadopoulos, F., 1997. Wastewater reuse in horticultural crops growing in soil and soilless media. *Acta Horticulturae* (in press).
98. Mara, D., and Cairncross, S., 1988. Guidelines for the safe use of wastewater and excreta in agriculture and aquaculture: Methods for public health protection. *I.R.C.W.D. News*, 24/25:4-12.
99. Martin, J.H., 1941. Climate and sorghum pp. 343-347. In: *Climate and man*. USDA Yearbook of Agric.
100. Mathers, A.C., and Stewart, B.A., 1980. The effect of feedlot manure on soil physical and chemical properties. From *Livestock Waste: A Renewable Resource*. Proceedings of the 4th International Symposium on Livestock Waste, April, Amarillo, TX.
101. Mathers, A.C., Stewart, B.A., and Thomas, J.C., 1977. Manure effects of water intake and runoff quality from irrigated grain sorghum plots. *Soil Science Society American Journal*, 41:782-785.
102. Μαυρουδής, Ι.Γ. και Πανώρας, Α.Γ. 1992. Η κατανομή της βροχής στη λεκάνη απορροής του ποταμού Λουδία. *Υδροτεχνικά*, 2(1):69-80.
103. Μαυρουδής, Ι.Γ. και Πανώρας, Α.Γ., 1993α. Κλιματολογικά δεδομένα της πεδιάδας Θεσσαλονίκης. Έκδοση Ι.Ε.Β.
104. Μαυρουδής, Ι.Γ., Πανώρας, Α.Γ. και Χατζηγιαννάκης, Σ.Λ., 1993. Διαρροές διωρύγων μεταφοράς αρδευτικού νερού. *Γεωπονικά*, 344:53-57.
105. Metcalf and Eddy, 1991. *Wastewater engineering: Treatment, disposal and reuse*. 3rd Ed., McGraw-Hill, Inc. N.Y., Ch.13.
106. *Methods of Soil Analysis*, 1982. Part 2, p.199-200.
107. 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.
108. Μήτσιος, Ι.Κ., 1994. Αλατούχα και νατριούχα εδάφη. Ποιοτικά κριτήρια των νερών άρδευσης-Διαχείριση των αρδευόμενων αλατούχων και νατριούχων εδαφών. Βόλος.
109. Μήτσιος, Ι.Κ., 1999. *Εδαφολογία*. Εκδόσεις Zymel, Αθήνα.

110. Μήτσιος, Ι., Τούλιος, Μ., Χαρούλης, Α., Γάτσιος, Φ. και Φλωράς, Σ., 2000. Εδαφολογική μελέτη και εδαφολογικός χάρτης του αγροκτήματος του Πανεπιστημίου Θεσσαλίας στην περιοχή των Βελεστίνου. Εκδόσεις Zymel, Αθήνα.
111. Ministere Charge de la Sante, 1991. Conseil Superieur d' Hygiene Publique de France: "Recommandations sanitaires concernant l' utilisation, apres epuration, des eaux rsiduales pour l' irrigation des cultures et des espaces verts".
112. Μισοπολινός, Ν.Δ., 1991. Προβληματικά εδάφη. Μελέτη, προβλήματα, βελτίωση. Έκδοση Γιαχούδη-Γιαπούλη.
113. Mitsis, T., Efthimiadis, P., and Danalatos, N.G., 2008. Chemical desiccation of oilseed rape for maximizing yield during harvesting. International Conference on Agricultural Engineering and Industry exhibition to be held in Hersonissos, Crete, Greece, June, 2008 (abstract submitted).
114. Μιχελάκης, Ν., 1998. Συστήματα αυτόματης άρδευσης. Άρδευση με σταγόνες. Εκδόσεις Εκδοτική Αγροτεχνική Α.Ε., σελ. 319.
115. Musick, J.T. et al., 1963. Irrigation water management and nitrogen fertilization of grain sorghum. Agron. J. 55:295-298.
116. Nakayama, F.S., and Bucks, D.A., 1985. Drip/trickle irrigation in action: Temperature effect on calcium carbonate precipitate clogging of trickle emitters. Proceedings of 3rd International Drip/Trickle Irrigation Congress, November 18-21, Fresno, California, 1:45-50.
117. National Academy of Sciences, Safe Drinking Water Committee. 1977. Drinking water and health. National Academy of Sciences, Washington, D.C.
118. Neibling, W.H., and Gallian, J.J., 1997. Irrigation Water Management in Sugarbeet Production. Presented at Sugarbeet Schools on January 27-31, 1997. Also available in <http://www.uidaho.edu/sugarbeet/irrg/irrgbeet.htm>.
119. Nelson, C.E., 1951. Effect of spacing and nitrogen applications on yield of grain sorghums under irrigation. Agron. J. 44:303-305.
120. Nikolaou, N. Sweet sorghum, a promising annual crop for Greece.
121. Νικολάου, Α., Νάματοβ, Ε., Καβαδάκης, Γ., Τσιώτας, Κ., Πανούτσου, Κ. και Δαναλάτος, Ν., 2000. Αξιολόγηση της ανάπτυξης και παραγωγικότητας οκτώ

- γενοτύπων Σόργου για παραγωγή βιομάζας και ενέργειας. Πρακτικά 2^{ου} Εθνικού Συνεδρίου Γεωργικής Μηχανικής, σελ. 197-204.
122. Ντιούδης, Π., Σακελλαρίου-Μακραντωνάκη, Μ., Μασλάρης, Ν., Νούσιος, Γ., 2000. Διατάξεις άρδευσης με σταγόνες σε καλλιέργεια ζαχαρότευτλων. Πρακτικά 2^{ου} Εθνικού Συνεδρίου Εταιρείας Γεωργικών Μηχανικών Ελλάδος (ΕΓΜΕ), 28-30 Σεπτεμβρίου, Βόλος, σ. 149-156.
 123. Oron, G., DeMalach, Y., Gillerman, L., David, I., and Rao, P.V., 1999. Improved saline – water use under subsurface drip irrigation. Agriculture Water management. 39 (1), pp. 19-33.
 124. Oron, G., DeMalach, Y., Hoffman, Z., Karen, H., Hartman HY., and Planzer, H., 1990. Waste water disposal by subsurface trickle irrigation. Water Science Technology, 23:2149-2158.
 125. Padmakumari, O., and Sivanappan, R.K., 1985. Study on clogging of emitters in drip systems. Proceedings of the 3rd International Drip/Trickle Irrigation Congress, November 18-21, Fresno, California, 1:80-83.
 126. Panoutsou, K. Fiber sorghum, a promising annual crop for biomass production in Greece.
 127. Panoutsou, K. State of the art for energy crops in Greece.
 128. Panoutsou, K., and Alexopoulou, E., Promising annual Energy Crops in Greece.
 129. Πανώρας, Α.Γ., 1985. Ποιότητα αρδευτικών νερών. Εκτίμηση της ποιότητας των αρδευτικών νερών. Έκδοση Ι.Ε.Β., Σίνδος Θεσσαλονίκης.
 130. Πανώρας, Α.Γ., 1991. Υπάρδευση λαχανικών με πορώδεις σωλήνες αργίλου. Γεωργική Έρευνα, 15(1):159-175, ISSN 0253-9489.
 131. Πανώρας, Α.Γ., 1992. Μελέτη συμπεριφοράς συστήματος υπάρδευσης με πορώδεις σωλήνες αργίλου σε αμυγδαλέονα πλήρους παραγωγής. Γεωπονικά, 340:123-126, ISSN 0367-5009.
 132. Πανώρας, Α.Γ., Γιαννακάρης, Α., Δέλλιος, Μ., Dimon, S., Eneva, S., 1997α. Σχέση νερού παραγωγής καλαμποκιού στις συνθήκες της πεδιάδας Θεσσαλονίκης. Υδροτεχνικά, Τόμος 7:39-51, ISSN 1106-5419.

133. Πανώρας, Α.Γ., Γιαννακάρης, Α., Δέλλιος, Μ., Dimov, S., Eneva, S., 1997β. Σχέση νερού παραγωγής σιταριού στην πεδιάδα Θεσσαλονίκης. Γεωτεχνικά Επιστημονικά Θέματα, Τεύχος 4, Τόμος 8:45-51, ISSN 1105-9478.
134. Πανώρας, Α.Γ. και Ηλίας, Α.Κ., 1997α. Άρδευση με αστικά λύματα: Μία διεθνής πρακτική. Γεωτεχνική Ενημέρωση. Τεύχος 98:45-48.
135. Πανώρας, Α.Γ. και Ηλίας, Α.Κ., 1997β. Υγρά αστικά απόβλητα: Μία νέα πηγή νερού για τους Οργανισμούς Εγγείων Βελτιώσεων. Γεωπονικά, 369:73-85, ISSN 0367-5009.
136. Πανώρας, Α.Γ. και Ηλίας, Α.Κ., 1999. Άρδευση με επεξεργασμένα υγρά αστικά απόβλητα. Εκδόσεις Γιαχούδη-Γιαπούλη, Θεσσαλονίκη.
137. Πανώρας, Α., Ηλίας, Α., Σκαράκης, Γ., Παπαδόπουλος, Α., Παπαδόπουλος, Φ., Ζδράγκας, Α. και Αναγνωστόπουλος, Κ., 1999α. Άρδευση ζαχαρότευτλων με επεξεργασμένα υγρά αστικά απόβλητα (I). *Biologia Callo-Hellenica* (υπό δημοσίευση).
138. Πανώρας, Α., Ηλίας, Α., Σκαράκης, Γ., Παπαδόπουλος, Α., Παπαδόπουλος, Φ., Παρισόπουλος, Γ., Πατέρας, Δ., Παπαγιαννοπούλου, Α., Ζδράγκας, Α. και Αναγνωστόπουλος, Κ., 1998α. Άρδευση ζαχαρότευτλων με επεξεργασμένα υγρά αστικά απόβλητα (II). Πρακτικά Ημερίδας με τίτλο “Αποτελέσματα Ερευνητικού Έργου Ανάκτησης Αστικών Αποβλήτων με Χρήση Φυσικών Συστημάτων και Επαναχρησιμοποίησης τους για Άρδευση και Ανάπλαση Υγροτόπων, 132-145.
139. Πανώρας, Α., Ηλίας, Α., Σκαράκης, Γ., Παπαδόπουλος, Α., Παπαδόπουλος, Φ., Παρισόπουλος, Γ., Πατέρας, Δ., Παπαγιαννοπούλου, Α., Ζδράγκας, Α. και Αναγνωστόπουλος, Κ., 1999β. Επαναχρησιμοποίηση των επεξεργασμένων υγρών αστικών αποβλήτων της πόλης Θεσσαλονίκης για άρδευση ζαχαρότευτλων. Πρακτικά 4^{ου} Εθνικού Συνεδρίου της ΕΕΔΥΠ με θέμα “Διαχείριση υδατικών πόρων στις ευαίσθητες περιοχές του Ελλαδικού χώρου” Βόλος, 17-19 Ιουνίου (υπό δημοσίευση).
140. Πανώρας, Α.Γ., Καλαφατέλη, Δ., και Ρέρη, Ε., 1998β. Διερεύνηση της καταλληλότητας για άρδευση των επεξεργασμένων υγρών αστικών αποβλήτων

της Θεσσαλονίκης. Γεωτεχνικά Επιστημονικά Θέματα (υπό δημοσίευση), ISSN 1105-9478.

141. Πανώρας, Α.Γ., Μαυρουδής, Ι.Γ. και Χατζηγιαννάκης, Στ.Λ., 1993. Εφαρμογή της ισοπέδωσης με L.A.S.E.R. στην πεδιάδα Θεσσαλονίκης. Γεωτεχνικά Επιστημονικά Θέματα, 4(4):14-19, ISSN 1105-9478.
142. Πανώρας, Α.Γ., Μαυρουδής, Ι.Γ., Χατζηγιαννάκης, Στ.Λ. και Βαξεβάνη, Χ.Η., 1992. Πρόβλεψη του κινδύνου έμφραξης των σταλακτήρων από τη χρήση των υπόγειων νερών της Β. Ελλάδας. Υδροτεχνικά, 2(1):5-13, ISSN 1106-5419.
143. Πανώρας, Α.Γ. και Χατζηγιαννάκης, Στ.Λ., 1992. Εκτίμηση της παροχής και της ποιότητας των νερών του παλιρροιακού ποταμού Λουδία. Υδροτεχνικά, 2(1):25-38, ISSN 1106-5419.
144. Papadopoulos, I., 1995β. Wastewater management for agricultural production and environmental protection in the Near East Region. F.A.O. Regional Office for the Near East, Cairo, Egypt.
145. Papadopoulos, A., Parissopoulos, G., Papadopoulos, F., Panoras, A., Angelakis, A., Pateras, D., Maloupa, E., Traka, K., Papayannopoulou, A., Anagnostopoulos, K., and Zdragas, A., 1995. Wastewater reclamation with natural systems and reuse for irrigation. Abstract of poster presentation. 2nd International Symposium on Wastewater Reclamation and Reuse. International Association of Water Quality, Iraklio, Crete, Greece, 17-20 October, 3:9-9.
146. Papadopoulos, I., and Stylianou, Y., 1988. Trickle irrigation of cotton with sewage treated effluent. Journal of Environmental Quality, 17:574-580.
147. Papadopoulos, I., and Stylianou, Y., 1991. Trickle irrigation of sunflower with municipal wastewater. Agricultural Water Management, 19:67-75.
148. Παπαζαφειρίου, Ζ.Γ., 1984. Αρχές και πρακτική των αρδεύσεων. Εκδόσεις Ζήτη, Θεσσαλονίκη.
149. Παπαζαφειρίου, Ζ. και Αντωνόπουλος, Β., 1991. Υδραυλική περιβάλλοντος. Α.Π.Θ., Τμήμα Γεωπονίας, Έκδοση Υπηρεσίας Δημοσιευμάτων.
150. Parissopoulos, G.A., Philippousis, A.N., and Angelakis, A.N., 1995. Potential for irrigation with domestic wastewater effluents in Greece. 2nd

International Symposium on Wastewater Reclamation and Reuse. I.A.W.Q., Iraklio, Crete, Greece, October 17-20, 1:145-153.

151. Pasberg, S. et al., 1966. Response of grain sorghum to seedbed compaction. *Agron. J.* 58:199-201.
152. Πέννας, Π., 1992. Συμβολή στη μελέτη των βροχοπτώσεων στη Θεσσαλονίκη. Πρακτικά 1^{ου} Πανελληνίου Συνεδρίου Μετεωρολογίας-Κλιματολογίας-Φυσικής της Ατμόσφαιρας. Θεσσαλονίκη, 139-145.
153. Περιοδικό Γεωργία – Κτηνοτροφία, 1996. Διάφοροι μέθοδοι άρδευσης και αρδευτικά συστήματα. Μηχανήματα για τη Γεωργία (σ. 48-57).
154. Pescod, M.B., 1989. Wastewater in irrigation: Health risk, environmental impact and integrated control measures. *Proceedings of Wastewater Reclamation and Reuse*, Cairo, Egypt, December 1988, 11-16.
155. Pescod, M.B., 1992. Wastewater treatment and use in agriculture. F.A.O. *Irrigation and Drainage Paper* 47.
156. Pettygrove, G.S., and Asano, T. (Eds.), 1985. *Irrigation with reclaimed municipal wastewater-A guidance manual*. 2nd Edition, Lewis Publishers, Inc., Chelsea, MI.
157. Phene, C.J., 1999. Subsurface drip irrigation. Part I: Why and How? *Irrigation Journal*. April (01).
158. Phene, C.J., Blume, M.F., Hile, M.M.S., Meek, D.W., and Re, J.V., 1983. *Management of Subsurface Trickle Irrigation Systems*. ASAE paper No. 83-2598.
159. Phene, C.J., et al. 1986. Fertilization of high yielding subsurface trickle irrigated tomatoes. *Proceedings of the 34th Fertilizer Conference California Fertilizer Ass.* Fresno California. p. 33-43.
160. Phene, C.J., Hutmacher, R.B., and Ayars, J.E., 1993. Subsurface Drip Irrigation: Realizing the Full Potential. In: *Proc. of workshop "Subsurface Drip Irrigation, Theory, Practices and Application"*, February 2, Visalia, California, 97417.

161. Phene, J., and Ruskin, R., 1995. Potential of subsurface drip irrigation for management of nitrate in wastewater. Proceedings of the 5th International Microirrigation Congress, April 2-6, Orlando, Florida, pp.155-167.
162. Phene, C.J., Yue, R., I-Pai Wu, Ayars, J.E., Schoneman, R.A., and Meso, B., 1992. Distribution uniformity of subsurface drip irrigation systems. ASAE Paper No. 92-2569, p. 14.
163. Philip, J.R., 1968. Steady infiltration from buried point sources and spherical cavities. Water Resources Research 4(5):1039-1047.
164. Plaut, Z. et al., 1969. The effect of soil moisture regime and row spacing on grain sorghum production. Agron. J. 61:344-347.
165. Porter, K.B. et al., 1960. The effect of row spacing, fertilizer, and planting rate on the yield and water use of irrigated grain sorghum. Agron. J. 52:431-434.
166. Πουλοβασίλης, Α., και Παγώνης, Κ., 1981. Τεχνητός εμπλουτισμός των υπόγειων υδροφόρων σχηματισμών. Δελτίο Ε.Ε.Α.Α. 3-4, 11-16.
167. Quinby, J.R., 1973. The genetic control of flowering and growth in sorghum. Adv. Agron. 25:152-162.
168. Quinby, J.R., and Martin, J.H., 1954. Sorghum improvement. Adv. Agron. 6:305-359.
169. Rhoades, J.D., Kandiah, A., and Mashali, A.M., 1992. F.A.O., 1992. The use of saline waters for crop production. F.A.O. Irrigation and Drainage Paper 48, Rome.
170. Roman, G., Hall, D., Gosse, G., Roman, A., Ion, V., and Alexe, G., 1998. Researches on Sweet Sorghum. Productivity in the South Romanian Plain. Federation for Inf. Tec. In Agriculture. Agricultural Technology in Asia and Oceania.
171. Ruskin, R., 2000. Subsurface Drip Irrigation and Yields. www.geoflow.com.
172. Σακελλαρίου-Μακραντωνάκη, Μ., 1993. Άρδευση με σταγόνα. Άρδευση με αυλάκια. Πανεπιστημιακές σημειώσεις. Βόλος.
173. Σακελλαρίου-Μακραντωνάκη, Μ., 2003. Σημειώσεις αρδεύσεων. Πανεπιστημιακές Εκδόσεις Θεσσαλίας, Βόλος.

174. Σακελλαρίου-Μακραντωνάκη, Μ., Βαρδούλη, Β., Βύρλας, Π., Κολιού, Α., Παπανίκος, Ν., 2004. Επαναχρησιμοποίηση υγρών αστικών αποβλήτων για άρδευση πρασίνου. Πρακτικά 1^{ου} Πανελληνίου Περιβαλλοντικού Συνεδρίου, 7-9 Μαΐου, Ορεστιάδα.
175. Sakellariou-Makrantonaki, M., Vyrlas, P., Knenas, E., Koliou, A., and Vardouli, V., 2004. Landscape irrigation with treated municipal wastewater. Accepted for Intl. Conf. of Protection and Restoration of the Environment VII, 28 June-1 July, Mykonos, Greece, (CD-ROM).
176. Sakellariou-Makrantonaki, M., Kalfountzos, D., Vyrlas, 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.
177. Sakellariou-Makrantonaki, M., Kalfountzos, D., Vyrlas, P., Kapetanios, B., 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.
178. Σακελλαρίου-Μακραντωνάκη, Μ., Καλφούντζος, Δ. και Παπανίκος, Ν., 2000. Αξιολόγηση της επιφανειακής και υπόγειας στάγδην άρδευσης σε καλλιέργεια ζαχαρότευτλων. Πρακτικά 2^{ου} Εθνικού Συνεδρίου Εταιρείας Γεωργικών Μηχανικών Ελλάδος (ΕΓΜΕ), 28-30 Σεπτεμβρίου, Βόλος, σελ. 157-164.
179. Σακελλαρίου-Μακραντωνάκη, Μ., Μασλάρης, Ν., Καλφούντζος, Δ., Γούλας, Χ., 1998. Μελέτη διατάξεων άρδευσης με σταγόνες στην καλλιέργεια ζαχαρότευτλων. Πρακτικά 1^{ου} Εθνικού Συνεδρίου της Εταιρείας Γεωργικών Μηχανικών Ελλάδος (ΕΓΜΕ), Αθήνα, σ. 271-280.
180. Σακελλαρίου-Μακραντωνάκη, Μ., Μασλάρης, Ν., Νούσιος, Γ., Ντιούδης, Π., Καλφούντζος, Δ., 1999. Μελέτη διατάξεων άρδευσης με σταγόνες στην καλλιέργεια των ζαχαρότευτλων. Πρακτικά 4^{ου} Εθνικού Συνεδρίου Ελληνικής Εταιρείας Διαχείρισης Υδάτινων Πόρων (ΕΕΔΥΠ), Βόλος, σ. 162-169.

181. Σακελλαρίου-Μακραντωνάκη, Μ., Παπαλέξης, Δ., Δαναλάτος, Ν., Βουλτσάνης, Π., Νάκος, Ν., 2003. Επίδραση επιφανειακής και υπόγειας στάγδην άρδευσης στην ανάπτυξη και παραγωγή της ενεργειακής καλλιέργειας του σόργου στην Κεντρική Ελλάδα. Πρακτικά 9^{ου} Πανελληνίου Συνεδρίου της Ελληνικής Υδροτεχνικής Ένωσης (ΕΥΕ), 2-5 Απριλίου, Θεσσαλονίκη, σ. 183-190.
182. Sakellariou-Makrantonaki, M., Papalexis, D., Nakos, N., Kalavrouziotis, I.K., 2007. Effect of modern irrigation methods on growth and energy production of sweet sorghum (var. Keller) on a dry year in Central Greece. *Περιοδικό Agricultural Water Management (ScienceDirect)*, 02/05/2007, pp. 181-189. <http://www.sciencedirect.com>.
183. Sakellariou-Makrantonaki, M., Tentas, I., Koliou, A., Kalfountzos, D., 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.
184. Σακελλαρίου-Μακραντωνάκη, Μ., Τέντας, Ι., Κολιού, Α., Καλφούντζος, Δ. και Παπανίκος, Ν., 2003. Άρδευση πρασίνου με επεξεργασμένα υγρά αστικά απόβλητα. Πρακτικά 3^{ου} Πανελληνίου Συνεδρίου της Εταιρείας Γεωργικών Μηχανικών Ελλάδος (ΕΓΜΕ), 29-31 Μαΐου, Θεσσαλονίκη, σ. 265-272.
185. Sakellariou-Makrantonaki, M., Tzavela, E., Vyrlas, P., and Tzimopoulos, C., 2005. Wastewaters reuse through subsurface drip irrigation. *IASME Transactions*, 6(2):1071-1078.
186. Σακελλαρίου-Μακραντωνάκη, Μ., Τζιμόπουλος, Χ. και Καλφούντζος, Δ., 1997. Μέτρηση της εδαφικής υγρασίας με τη μέθοδο TDR και στατιστική επεξεργασία των μετρήσεων. Πρακτικά 7^{ου} Πανελληνίου Συνεδρίου Ελληνικής Υδροτεχνικής Ένωσης (ΕΥΕ), Πάτρα, σ. 184-192.
187. Sanchez Duron N., 1988. Mexican experience in using sewage effluent for large scale irrigation. *Treatment and Use of Sewage Effluent for Irrigation*. M.B. Pescod and A. Ayers (Eds.), Butterworths, Sevenoaks, Kent.
188. Scherpernzeel, J. Agenda 2000: consequences for energy crops.

189. Schertz, K.F. and Ritchey, J.M., 1978. Cytoplasmic-genic male-sterility systems in sorghum. *Crop Sci.* 18:890-893.
190. Shani, U., Xue, S., Gordin-Katz, R., and Warrick, A., 1996. Soil-limiting from subsurface emitters. I Pressure measurements. *J. of Irrigation and Drainage*.
191. Shelef, G., 1990. The role of wastewater in water resources management in Israel. *Water Science and Technology*, 22(10-12):2081-2089.
192. Shelef, G., 1991. Wastewater reclamation and water resources management. *Water Science and Technology*, 24:251-265.
193. Shelef, G., and Azov, Y., 1995. The coming era of intensive wastewater reuse in the Mediterranean region. 2nd International Symposium on Wastewater Reclamation and Reuse. I.A.W.Q., Iraklio, Crete, Greece, October 17-20, 1:138-146.
194. Sieglinger, J.R., and Martin, J.H., 1939. Tillering ability of sorghum varieties. *J.Am. Soc. Agron.* 31:475-488.
195. Skoufogianni, E., Bartzialis, D.I., and Danalatos, N.G., 2008. The influence of cover crops (*Pisum sativum*) on biomass productivity of maize and sunflower in central Greece. International Conference on Agricultural Engineering and Industry exhibition to be held in Hersonissos, Crete, Greece, June, 2008 (abstract submitted).
196. Solomon, H.K., and Jorgensen, G., 1993. Subsurface drip Irrigation. Research Report, Center for Irrigation Technology, CATI Publication #930405.
197. Stassen, H. FAIR1-CT95-0512: European energy crops processing and utilization in Europe.
198. Stephens, J.C., and Holland, R.F., 1954. Cytoplasmic male sterility for hybrid sorghum production. *Agron. J.* 46:20-23.
199. Strauss, M., and Blumenthal, U.J., 1989β. Human waste use in agriculture and aquaculture: Utilization practices and health perspectives. I.R.C.W.D. Report No. 08/09. International Reference Centre for Waste Disposal, Dubendorf, Switzerland.
200. Σφήκας, 1984. Ειδική Γεωργία. Πανεπιστημιακές παραδόσεις.

201. Σφήκας, Α.Γ., 1991. Ειδική Γεωργία. Ι. Σιτηρά, ψυχανθή και χορτοδοτικά φυτά. Θεσσαλονίκη.
202. Τερζίδης, Γ.Α. και Παπαζαφειρίου, Ζ.Γ., 1997. Γεωργική υδραυλική. Εκδόσεις Ζήτη, Θεσσαλονίκη.
203. Τερζίδης, Γ.Α. και Παπαζαφειρίου, Ζ.Γ., 1998. Γεωργική υδραυλική. Εκδόσεις Ζήτη, Θεσσαλονίκη.
204. Τζιμόπουλος, Χ., Σακελλαρίου-Μακραντωνάκη, Μ. και Γιακουμάκης, Σ., 1983. Πειραματικές μετρήσεις σε προβλήματα δύσγρανσης με τη βοήθεια της γ-ακτινοβολίας. Υδροτεχνικά, 1:IV 25-IV 33.
205. Τζιμόπουλος, Χ., Σακελλαρίου-Μακραντωνάκη, Μ. και Γιαννόπουλος, Σ., 2000. Μελέτη της υδραυλικής αγωγιμότητας κορεσμού στο ύπαιθρο με στατιστικές και γεωστατιστικές μεθόδους. Τεχνικά Χρονικά 20(1):31-40.
206. Todd, D.K., 1967. Groundwater Hydrology. John Wiley and Sons, U.S.A., 251-276.
207. 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.
208. Traka-Mavrona, E., Maloupa, E., Papadopoulos, F., and Papadopoulos, A., 1996. Response of greenhouse tomatoes to wastewater fertigation in soilless cultivation. Acta Horticulturae 458:411-415.
209. Τσαντήλας, Χ. και Σαμαράς, Β., 1996. Χρήση επεξεργασμένων υγρών αποβλήτων για άρδευση και λίπανση γεωργικών καλλιεργειών. Πρακτικά 2^{ου} Πανελληνίου Συνεδρίου με θέμα "Εγγειοβελτιωτικά έργα, διαχείριση υδατικών πόρων, εκμηχάνιση γεωργίας", Λάρισα, 24-27 Απριλίου, Τόμος 1:549-556.
210. Φασούλας, Α.Κ. και Φωτιάδης, Ν.Α., 1984. Αρχές της επιστήμης των καλλιεργούμενων φυτών. Θεσσαλονίκη.
211. U.N. Department of Technical Cooperation for Development, 1985. The use of non-conventional water resources in developing countries. Natural Water Resources Series No 14, United Nations, D.T.C.D., New York.
212. U.S.D.A., Soil Conservation Service, 1956. Methods of evaluating irrigation systems. Handbook No 82. Gov't Printing Office, Washington D.C.

213. U.S.D.A., Soil Conservation Service, 1974α. Border irrigation. National Engineering Handbook, Section 15, Chapter 4.
214. U.S.D.A., Soil Conservation Service, 1974β. Sprinkler irrigation. National Engineering Handbook, Section 15, Chapter 11.
215. U.S.D.A., Soil Conservation Service, 1984. Furrow irrigation (2nd edition). National Engineering Handbook, Section 15, Chapter 5.
216. U.S.D.A., 1990. USDA backgrounder. News division, Office of Public Affairs, Room 404-A, Washington, D.C.
217. Walker, W.R., and Skogerboe, G.V., 1986. The theory and practice of surface irrigation. Department of Agricultural and Irrigation Engineering, Utah State University, U.S.A.
218. Westcot, D.W., and Ayers, R.S., 1985. Irrigation water criteria. In Irrigation with Reclaimed Municipal Wastewater-A guidance manual. 2nd Edition, Pettygrove, G.S., and Asano, T. (Eds.), Lewis Publishers, Inc., Chelsea, MI.
219. W.H.O., 1989. Health guidelines for the use of wastewater in agriculture and aquaculture. W.H.O. Technical Report Series No 778.
220. Χατζηγιαννάκης, Σ. και Θεοδώρου, Ν., 1991. Η χρήση των ακτίνων L.A.S.E.R. στην ισοπέδωση των χωραφιών. Έκδοση Ι.Ε.Β.
221. Zachmann, D.W., and Thomas, A.W., 1973. A mathematical investigation on steady infiltration from line sources. Soil Sci. Soc. Amer. Proc. 37(4):495-500.
222. Zoldoske, D.F., Striegler, D., Berg, R.K., Jorgenson, G.T., Lake, G., C. BS. Graves, G., and Burnett, D.M., 1998. Evaluation of Trellis System and Subsurface Drip Irrigation for Wine Grape Production. Viticulture and Enology Resh. Center. CATI Bublication#980401.

ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ

I. ΗΜΕΡΟΛΟΓΙΟ ΕΡΓΑΣΙΩΝ

- **11/05/2006, Πέμπτη:** Προετοιμασία του αγρού για σπορά με μηχάνημα προετοιμασίας. Σπορά του σόργου. Άρδευση και των δύο μεταχειρίσεων με αυτοπροωθούμενο συγκρότημα με περιστρεφόμενο εκτοξευτή (κανόνι).
- **16/05/2006, Τρίτη:** Άρδευση με το κανόνι και των δύο μεταχειρίσεων.
- **18/05/2006, Πέμπτη:** Επίσκεψη στον αγρό. Εμφάνιση των πρώτων δύο φύλλων.
- **22/05/2006, Δευτέρα:** Χάραξη - οριοθέτηση των πειραματικών τεμαχίων. Τοποθέτηση υδρομέτρων σε κάθε μεταχείριση.
- **23/05/2006, Τρίτη:** Τελευταία άρδευση των μεταχειρίσεων με το κανόνι. Σύνολο αρδευτικού νερού για το φύτευμα της καλλιέργειας 50 mm ή 50 m³/στρέμμα. Έχει φυτρώσει το 95 % περίπου των φυτών.
- **24/05/2006, Τετάρτη:** Εγκατάσταση του ειδικού εξοπλισμού για την αυτοματοποίηση της λειτουργίας της υπόγειας στάγδην άρδευσης (προγραμματιστής, φίλτρα). Επίδειξη του αυτόματου προγράμματος άρδευσης. Δοκιμαστική λειτουργία του συστήματος.
- **29/05/2006, Δευτέρα:** Καθαρισμός και εγκατάσταση του εξατμισιμέτρου τύπου Α.
- **30/05/2006, Τρίτη:** Σκάλισμα και βοτάνισμα.
- **31/05/2006, Τετάρτη:** Επίσκεψη στον αγρό.

- **02/06/2006, Παρασκευή:** Τυχαία επιλογή φυτών, σήμανση τους και 1^η μέτρηση ύψους και αριθμού φύλλων των φυτών.
- **07/06/2006, Τετάρτη:** Τοποθέτηση αισθητήρων μέτρησης υγρασίας, έναν για κάθε μεταχείριση σε τυχαίο πειραματικό τεμάχιο κάθε μεταχείρισης.
- **13/06/2006, Τρίτη:** 2^η μέτρηση ύψους και αριθμού φύλλων των φυτών.
- **15/06/2006, Πέμπτη:** Επίδειξη του οργάνου μέτρησης της υγρασίας με τη μέθοδο T.D.R.
- **19/06/2006, Δευτέρα:** Σκάλισμα και βοτάνισμα.
- **20/06/2006, Τρίτη:** Μέτρηση εδαφικής υγρασίας με τη μέθοδο T.D.R. πριν την άρδευση και στις δύο μεταχειρίσεις. 1^η δειγματοληψία εδάφους (πριν την έναρξη των αρδεύσεων).
- **21/06/2006, Τετάρτη:** Μέτρηση εδαφικής υγρασίας με τη μέθοδο T.D.R. μετά την άρδευση και στις δύο μεταχειρίσεις. Έναρξη αυτοματοποιημένης άρδευσης. Άρδευση των μεταχειρίσεων. Η μεταχείριση ΥΚ αρδεύτηκε με καθαρό νερό και η μεταχείριση ΥΛ με επεξεργασμένα υγρά αστικά απόβλητα. 1^η άρδευση με επεξεργασμένα υγρά αστικά απόβλητα στη μεταχείριση του λύματος.
- **23/06/2006, Παρασκευή:** Άρδευση και των δύο μεταχειρίσεων με καθαρό νερό.
- **26/06/2006, Δευτέρα:** Μέτρηση εδαφικής υγρασίας με τη μέθοδο T.D.R. πριν την άρδευση και στις δύο μεταχειρίσεις. 3^η μέτρηση ύψους και αριθμού φύλλων των φυτών. 1^η μέτρηση αριθμού αδελφιών. Άρδευση και των δύο μεταχειρίσεων με καθαρό νερό.

- **28/06/2006, Τετάρτη:** Μέτρηση εδαφικής υγρασίας με τη μέθοδο T.D.R. μετά την άρδευση και στις δύο μεταχειρίσεις. Άρδευση και των δύο μεταχειρίσεων με καθαρό νερό.
- **30/06/2006, Παρασκευή:** Άρδευση και των δύο μεταχειρίσεων με καθαρό νερό.
- **03/07/2006, Δευτέρα:** Επίδειξη του αυτόματου οργάνου LI – COR για τη μέτρηση του Δείκτη Φυλλικής Επιφάνειας. Άρδευση και των δύο μεταχειρίσεων με καθαρό νερό.
- **05/07/2006, Τετάρτη:** 1^η μέτρηση του Δείκτη Φυλλικής Επιφάνειας (LAI) με το αυτόματο όργανο LI – COR.
- **07/07/2006, Παρασκευή:** 4^η μέτρηση ύψους και αριθμού φύλλων των φυτών. 2^η μέτρηση αριθμού αδελφιών. Άρδευση των μεταχειρίσεων. Η μεταχείριση ΥΚ αρδεύτηκε με καθαρό νερό και η μεταχείριση ΥΛ με επεξεργασμένα υγρά αστικά απόβλητα. 2^η άρδευση με επεξεργασμένα υγρά αστικά απόβλητα στη μεταχείριση του λύματος.
- **10/07/2006, Δευτέρα:** Μέτρηση εδαφικής υγρασίας με τη μέθοδο T.D.R. πριν την άρδευση και στις δύο μεταχειρίσεις. 1^η κοπή φυτών για τον προσδιορισμό της χλωρής βιομάζας. Άρδευση και των δύο μεταχειρίσεων με καθαρό νερό. Εμφάνιση της πρώτης ταξιανθίας.
- **12/07/2006, Τετάρτη:** Μέτρηση εδαφικής υγρασίας με τη μέθοδο T.D.R. μετά την άρδευση και στις δύο μεταχειρίσεις. 2^η μέτρηση του Δείκτη Φυλλικής Επιφάνειας (LAI) με το αυτόματο όργανο LI – COR. Άρδευση των μεταχειρίσεων. Η μεταχείριση ΥΚ αρδεύτηκε με καθαρό νερό και η μεταχείριση ΥΛ με επεξεργασμένα υγρά αστικά απόβλητα. 3^η άρδευση με επεξεργασμένα υγρά αστικά απόβλητα στη μεταχείριση του λύματος.

- **14/07/2006, Παρασκευή:** Άρδευση και των δύο μεταχειρίσεων με καθαρό νερό.
- **17/07/2006, Δευτέρα:** Μέτρηση εδαφικής υγρασίας με τη μέθοδο T.D.R. πριν την άρδευση και στις δύο μεταχειρίσεις. Άρδευση και των δύο μεταχειρίσεων με καθαρό νερό.
- **18/07/2006, Τρίτη:** Σκάλισμα και βοτάνισμα.
- **19/07/2006, Τετάρτη:** Μέτρηση εδαφικής υγρασίας με τη μέθοδο T.D.R. μετά την άρδευση και στις δύο μεταχειρίσεις. 5^η μέτρηση ύψους και αριθμού φύλλων των φυτών. 3^η μέτρηση αριθμού αδελφιών. 3^η μέτρηση του Δείκτη Φυλλικής Επιφάνειας (LAI) με το αυτόματο όργανο LI – COR. Άρδευση των μεταχειρίσεων. Η μεταχείριση ΥΚ αρδεύτηκε με καθαρό νερό και η μεταχείριση ΥΛ με επεξεργασμένα υγρά αστικά απόβλητα. 4^η άρδευση με επεξεργασμένα υγρά αστικά απόβλητα στη μεταχείριση του λύματος.
- **21/07/2006, Παρασκευή:** 1^η μέτρηση στις ταξιανθίες. Άρδευση και των δύο μεταχειρίσεων με καθαρό νερό.
- **24/07/2006, Δευτέρα:** Μέτρηση εδαφικής υγρασίας με τη μέθοδο T.D.R. πριν την άρδευση και στις δύο μεταχειρίσεις. Άρδευση και των δύο μεταχειρίσεων με καθαρό νερό.
- **26/07/2006, Τετάρτη:** Μέτρηση εδαφικής υγρασίας με τη μέθοδο T.D.R. μετά την άρδευση και στις δύο μεταχειρίσεις. 4^η μέτρηση του Δείκτη Φυλλικής Επιφάνειας (LAI) με το αυτόματο όργανο LI – COR. Άρδευση των μεταχειρίσεων. Η μεταχείριση ΥΚ αρδεύτηκε με καθαρό νερό και η μεταχείριση ΥΛ με επεξεργασμένα υγρά αστικά απόβλητα. 5^η άρδευση με επεξεργασμένα υγρά αστικά απόβλητα στη μεταχείριση του λύματος.

- **28/07/2006, Παρασκευή:** 2^η μέτρηση στις ταξιανθίες. Άρδευση και των δύο μεταχειρίσεων με καθαρό νερό. Πολύ μικρή προσβολή από ελμινθοσπόριο (*Elminthosporium spp.*)
- **31/07/2007, Δευτέρα:** 2^η κοπή φυτών για τον προσδιορισμό της χλωρής βιομάζας. Άρδευση και των δύο μεταχειρίσεων με καθαρό νερό.
- **01/08/2006, Τρίτη:** 6^η μέτρηση ύψους και αριθμού φύλλων των φυτών. 4^η μέτρηση αριθμού αδελφιών.
- **02/08/2006, Τετάρτη:** Μέτρηση εδαφικής υγρασίας με τη μέθοδο T.D.R. πριν την άρδευση και στις δύο μεταχειρίσεις. Άρδευση των μεταχειρίσεων. Η μεταχείριση ΥΚ αρδεύτηκε με καθαρό νερό και η μεταχείριση ΥΛ με επεξεργασμένα υγρά αστικά απόβλητα. 6^η άρδευση με επεξεργασμένα υγρά αστικά απόβλητα στη μεταχείριση του λύματος.
- **04/08/2006, Παρασκευή:** Μέτρηση εδαφικής υγρασίας με τη μέθοδο T.D.R. μετά την άρδευση και στις δύο μεταχειρίσεις. 3^η μέτρηση στις ταξιανθίες. 5^η μέτρηση του Δείκτη Φυλλικής Επιφάνειας (LAI) με το αυτόματο όργανο LI – COR. Άρδευση και των δύο μεταχειρίσεων με καθαρό νερό.
- **07/08/2006, Δευτέρα:** Άρδευση και των δύο μεταχειρίσεων με καθαρό νερό.
- **09/08/2006, Τετάρτη:** Μέτρηση εδαφικής υγρασίας με τη μέθοδο T.D.R. πριν την άρδευση και στις δύο μεταχειρίσεις. 6^η μέτρηση του Δείκτη Φυλλικής Επιφάνειας (LAI) με το αυτόματο όργανο LI – COR. Άρδευση των μεταχειρίσεων. Η μεταχείριση ΥΚ αρδεύτηκε με καθαρό νερό και η μεταχείριση ΥΛ με επεξεργασμένα υγρά αστικά απόβλητα. 7^η άρδευση με επεξεργασμένα υγρά αστικά απόβλητα στη μεταχείριση του λύματος.

- **11/08/2006, Παρασκευή:** Μέτρηση εδαφικής υγρασίας με τη μέθοδο T.D.R. μετά την άρδευση και στις δύο μεταχειρίσεις. 4^η μέτρηση στις ταξιανθίες. Ζύγισμα των ξηρών δειγμάτων της 1^{ης} κοπής με σκοπό τον προσδιορισμό της ξηρής βιομάζας των μεταχειρίσεων. Άρδευση και των δύο μεταχειρίσεων με καθαρό νερό.
- **14/08/2006, Δευτέρα:** 7^η μέτρηση ύψους και αριθμού φύλλων των φυτών. 5^η μέτρηση αριθμού αδελφιών. Άρδευση και των δύο μεταχειρίσεων με καθαρό νερό.
- **16/08/2006, Τετάρτη:** 7^η μέτρηση του Δείκτη Φυλλικής Επιφάνειας (LAI) με το αυτόματο όργανο LI – COR. Άρδευση των μεταχειρίσεων. Η μεταχείριση ΥΚ αρδεύτηκε με καθαρό νερό και η μεταχείριση ΥΛ με επεξεργασμένα υγρά αστικά απόβλητα. 8^η άρδευση με επεξεργασμένα υγρά αστικά απόβλητα στη μεταχείριση του λύματος.
- **18/08/2006, Παρασκευή:** 5^η μέτρηση στις ταξιανθίες. 3^η κοπή φυτών για τον προσδιορισμό της χλωρής βιομάζας. Άρδευση και των δύο μεταχειρίσεων με καθαρό νερό.
- **21/08/2006, Δευτέρα:** Άρδευση και των δύο μεταχειρίσεων με καθαρό νερό.
- **23/08/2006, Τετάρτη:** Μέτρηση εδαφικής υγρασίας με τη μέθοδο T.D.R. πριν την άρδευση και στις δύο μεταχειρίσεις. 8^η μέτρηση του Δείκτη Φυλλικής Επιφάνειας (LAI) με το αυτόματο όργανο LI – COR. Άρδευση των μεταχειρίσεων. Η μεταχείριση ΥΚ αρδεύτηκε με καθαρό νερό και η μεταχείριση ΥΛ με επεξεργασμένα υγρά αστικά απόβλητα. 9^η άρδευση με επεξεργασμένα υγρά αστικά απόβλητα στη μεταχείριση του λύματος.
- **25/08/2006, Παρασκευή:** Μέτρηση εδαφικής υγρασίας με τη μέθοδο T.D.R. μετά την άρδευση και στις δύο μεταχειρίσεις. 6^η μέτρηση στις ταξιανθίες. Άρδευση και των δύο μεταχειρίσεων με καθαρό νερό.

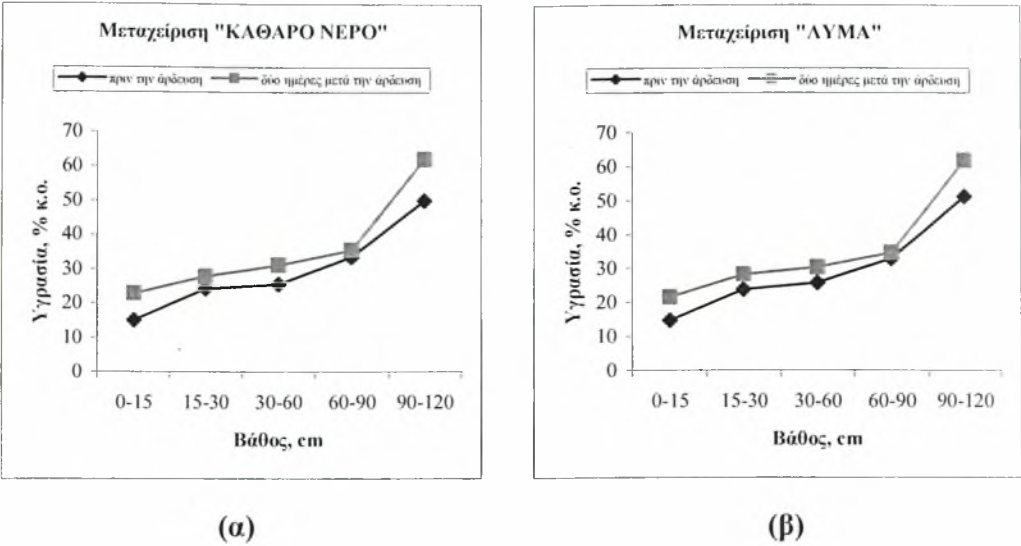
- **28/08/2006, Δευτέρα:** 8^η μέτρηση ύψους και αριθμού φύλλων των φυτών. 6^η μέτρηση αριθμού αδελφιών. Άρδευση και των δύο μεταχειρίσεων με καθαρό νερό.
- **30/08/2006, Τετάρτη:** 9^η μέτρηση του Δείκτη Φυλλικής Επιφάνειας (LAI) με το αυτόματο όργανο LI – COR. Άρδευση των μεταχειρίσεων. Η μεταχείριση ΥΚ αρδεύτηκε με καθαρό νερό και η μεταχείριση ΥΛ με επεξεργασμένα υγρά αστικά απόβλητα. 10^η άρδευση με επεξεργασμένα υγρά αστικά απόβλητα στη μεταχείριση του λύματος.
- **01/09/2006, Παρασκευή:** 7^η μέτρηση στις ταξιανθίες. Ζύγισμα των ξηρών δειγμάτων της 2^{ης} κοπής με σκοπό τον προσδιορισμό της ξηρής βιομάζας των μεταχειρίσεων. Άρδευση και των δύο μεταχειρίσεων με καθαρό νερό.
- **04/09/2006, Δευτέρα:** Άρδευση και των δύο μεταχειρίσεων με καθαρό νερό.
- **06/09/2006, Τετάρτη:** 10^η μέτρηση του Δείκτη Φυλλικής Επιφάνειας (LAI) με το αυτόματο όργανο LI – COR. Άρδευση των μεταχειρίσεων. Η μεταχείριση ΥΚ αρδεύτηκε με καθαρό νερό και η μεταχείριση ΥΛ με επεξεργασμένα υγρά αστικά απόβλητα. 11^η άρδευση με επεξεργασμένα υγρά αστικά απόβλητα στη μεταχείριση του λύματος.
- **08/09/2006, Παρασκευή:** 4^η κοπή φυτών για τον προσδιορισμό της χλωρής βιομάζας. Άρδευση και των δύο μεταχειρίσεων με καθαρό νερό.
- **11/09/2006, Δευτέρα:** Άρδευση και των δύο μεταχειρίσεων με καθαρό νερό.
- **13/09/2006, Τετάρτη:** Μέτρηση εδαφικής υγρασίας με τη μέθοδο T.D.R. πριν την άρδευση και στις δύο μεταχειρίσεις. 11^η μέτρηση του Δείκτη Φυλλικής Επιφάνειας (LAI) με το αυτόματο όργανο LI – COR. Άρδευση των μεταχειρίσεων. Η μεταχείριση ΥΚ αρδεύτηκε με καθαρό νερό και η μεταχείριση ΥΛ με επεξεργασμένα υγρά αστικά απόβλητα. 12^η άρδευση με επεξεργασμένα υγρά αστικά απόβλητα στη

μεταχείριση του λύματος. **Ολοκλήρωση των αρδεύσεων με επεξεργασμένα υγρά αστικά απόβλητα στη μεταχείριση του λύματος.**

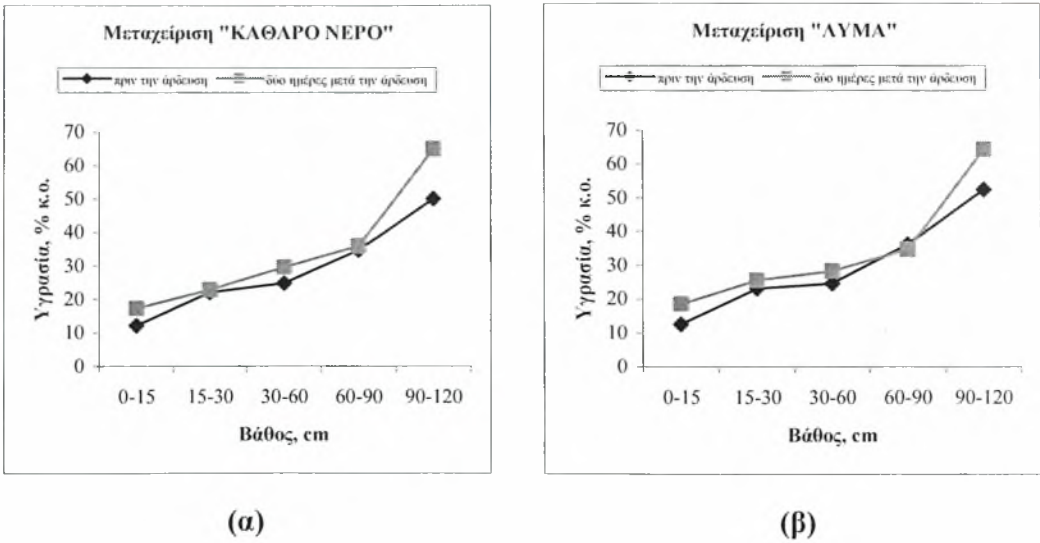
- **15/09/2006, Παρασκευή:** Μέτρηση εδαφικής υγρασίας με τη μέθοδο T.D.R. μετά την άρδευση και στις δύο μεταχειρίσεις. 8^η μέτρηση στις ταξιανθίες. Άρδευση και των δύο μεταχειρίσεων με καθαρό νερό. **Ολοκλήρωση των μετρήσεων στις ταξιανθίες.**
- **18/09/2006, Δευτέρα:** Άρδευση και των δύο μεταχειρίσεων με καθαρό νερό.
- **19/09/2006, Τρίτη:** Ζύγισμα των ξηρών δειγμάτων της 3^{ης} κοπής με σκοπό τον προσδιορισμό της ξηρής βιομάζας των μεταχειρίσεων.
- **20/09/2006, Τετάρτη:** Άρδευση και των δύο μεταχειρίσεων με καθαρό νερό. **Ολοκλήρωση των αρδεύσεων.**
- **21/09/2006, Πέμπτη:** 9^η μέτρηση ύψους και αριθμού φύλλων των φυτών. 7^η μέτρηση αριθμού αδελφιών. **Ολοκλήρωση των μετρήσεων του ύψους, του αριθμού φύλλων και του αριθμού αδελφιών.**
- **26/09/2006, Τρίτη:** 5^η κοπή φυτών για τον προσδιορισμό της χλωρής βιομάζας.
- **07/10/2006, Σάββατο:** 12^η μέτρηση του Δείκτη Φυλλικής Επιφάνειας (LAI) με το αυτόματο όργανο LI – COR. 6^η και τελευταία κοπή φυτών για τον προσδιορισμό της χλωρής βιομάζας. 2^η δειγματοληψία εδάφους (μετά το τέλος των αρδεύσεων). **Ολοκλήρωση των κοπών και των μετρήσεων του Δείκτη Φυλλικής Επιφάνειας.**
- **11/10/2006, Τετάρτη:** Ζύγισμα των ξηρών δειγμάτων της 4^{ης} κοπής με σκοπό τον προσδιορισμό της ξηρής βιομάζας των μεταχειρίσεων.

- **20/10/2006, Παρασκευή:** Αφαίρεση από τον πειραματικό αγρό των υδρομέτρων. Εξαγωγή των αισθητήρων μέτρησης της εδαφικής υγρασίας. Κλείσιμο του προγραμματιστή άρδευσης.
- **27/10/2006, Παρασκευή:** Ζύγισμα των ξηρών δειγμάτων της 5^{ης} κοπής με σκοπό τον προσδιορισμό της ξηρής βιομάζας των μεταχειρίσεων.
- **08/11/2006, Τετάρτη:** Ζύγισμα των ξηρών δειγμάτων της 6^{ης} κοπής με σκοπό τον προσδιορισμό της ξηρής βιομάζας των μεταχειρίσεων.
- **13/11/2006, Παρασκευή:** Κοπή όλων των υπόλοιπων φυτών που παρέμειναν στο χωράφι μετά την ολοκλήρωση του πειράματος. **Ολοκλήρωση των εργασιών στο χωράφι.**

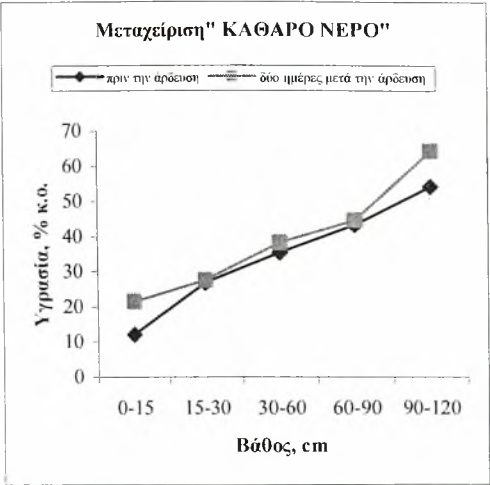
II. ΣΧΗΜΑΤΑ ΔΙΑΚΥΜΑΝΣΗΣ ΤΗΣ ΕΔΑΦΙΚΗΣ ΥΓΡΑΣΙΑΣ



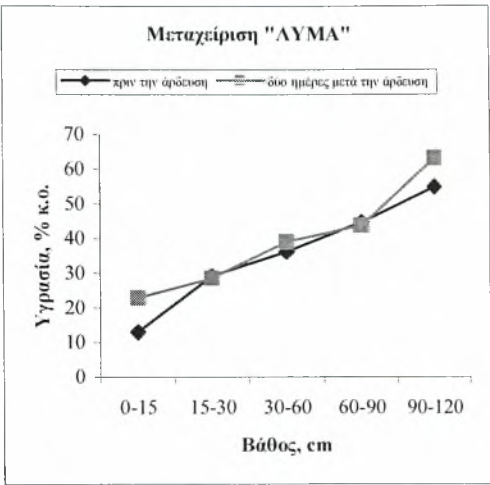
Σχήμα 1 (α), (β). Διακύμανση της υγρασίας στο εδαφικό προφίλ στη 2^η μέτρηση εδαφικής υγρασίας: 26/06 – 28/06.



Σχήμα 2 (α), (β). Διακύμανση της υγρασίας στο εδαφικό προφίλ στην 3^η μέτρηση εδαφικής υγρασίας: 10/07 – 12/07.

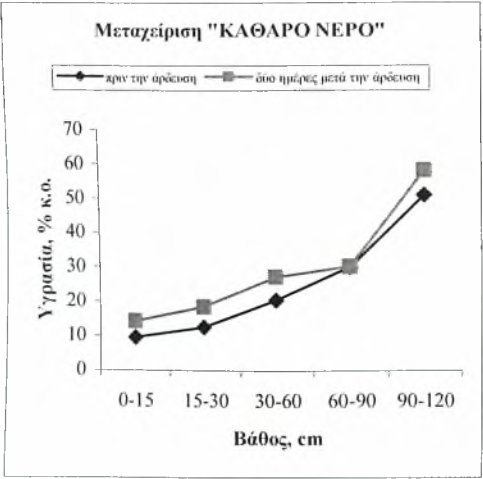


(α)

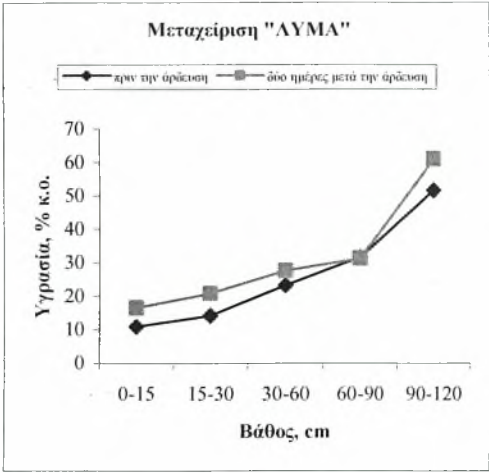


(β)

Σχήμα 3 (α), (β). Διακύμανση της υγρασίας στο εδαφικό προφίλ στην 4^η μέτρηση εδαφικής υγρασίας: 17/07 – 19/07.

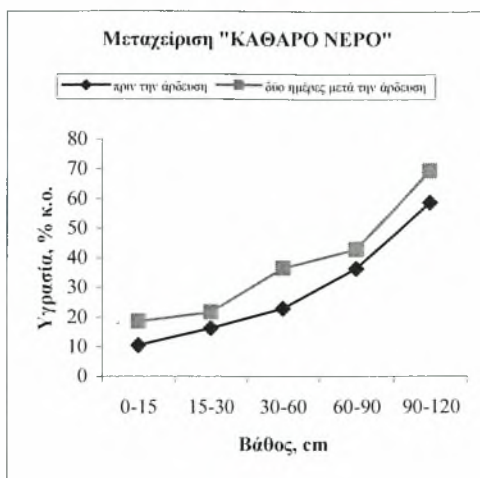


(α)

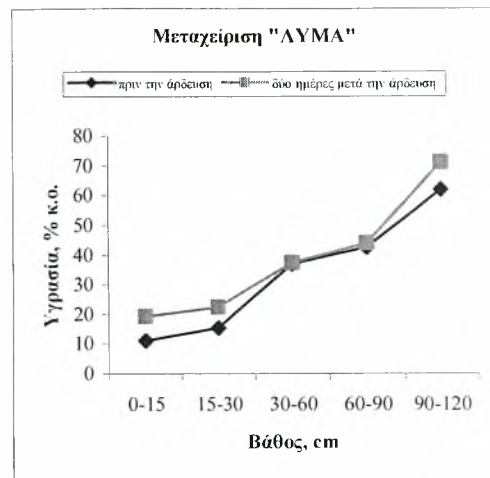


(β)

Σχήμα 4 (α), (β). Διακύμανση της υγρασίας στο εδαφικό προφίλ στην 5^η μέτρηση εδαφικής υγρασίας: 24/07 – 26/07.

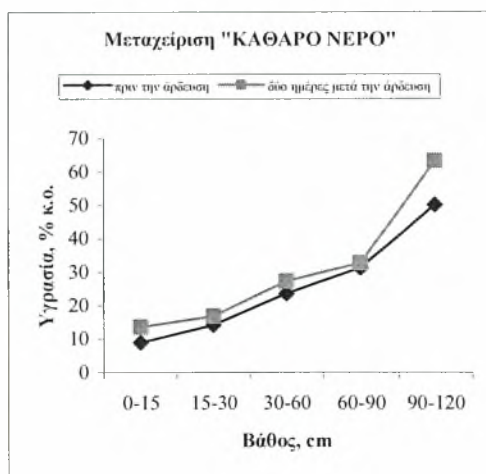


(α)

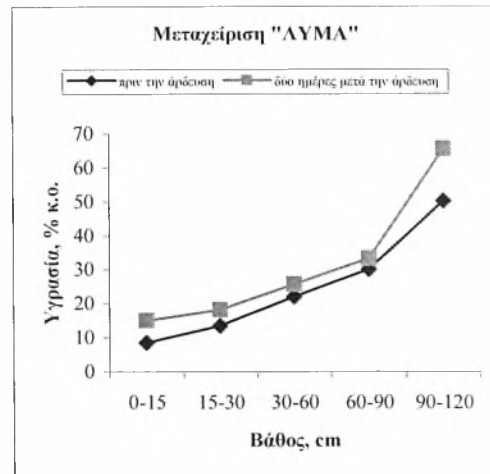


(β)

Σχήμα 5 (α), (β). Διακύμανση της υγρασίας στο εδαφικό προφίλ στην 6^η μέτρηση εδαφικής υγρασίας: 02/08 – 04/08.

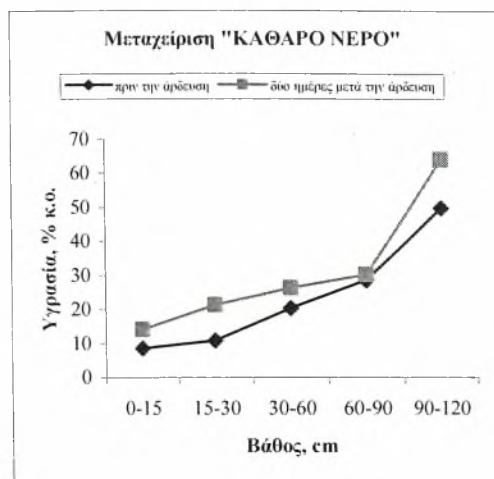


(α)

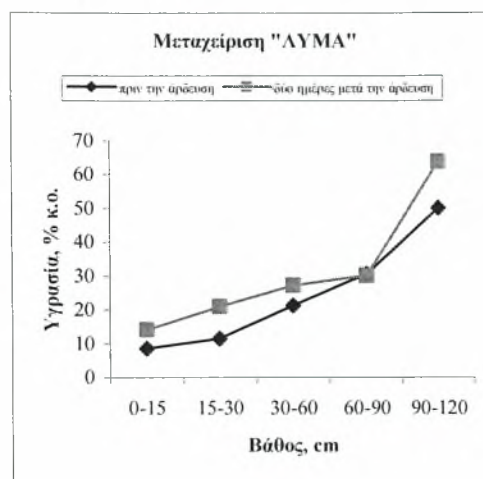


(β)

Σχήμα 6 (α), (β). Διακύμανση της υγρασίας στο εδαφικό προφίλ στην 7^η μέτρηση εδαφικής υγρασίας: 09/08 – 11/08.

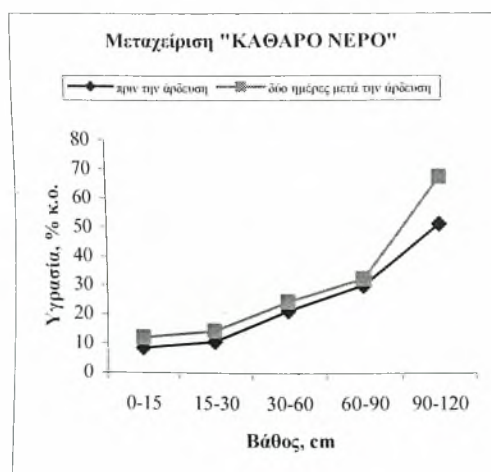


(α)

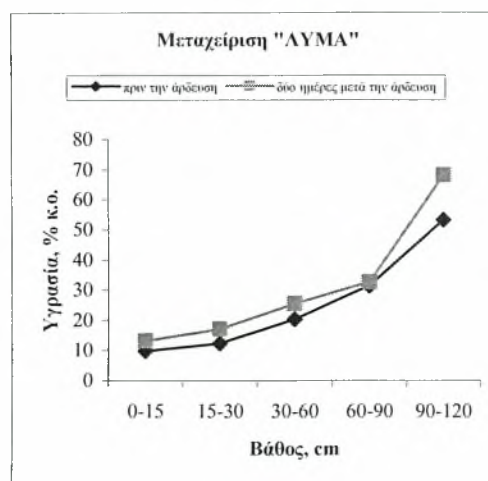


(β)

Σχήμα 7 (α), (β). Διακύμανση της υγρασίας στο εδαφικό προφίλ στην 8^η μέτρηση εδαφικής υγρασίας: 23/08 – 25/08.



(α)



(β)

Σχήμα 8 (α), (β). Διακύμανση της υγρασίας στο εδαφικό προφίλ στην 9^η μέτρηση εδαφικής υγρασίας: 13/09 – 15/09.

III. ΦΩΤΟΓΡΑΦΙΕΣ



1ο πειραματικό τεμάχιο



2ο πειραματικό τεμάχιο



3ο πειραματικό τεμάχιο



4ο πειραματικό τεμάχιο

Εικόνα 1 (α). Γενική άποψη των 4 επαναλήψεων της μεταχείρισης “ΚΑΘΑΡΟ ΝΕΡΟ” στα τέλη Ιουλίου (31/07/2006).



1ο πειραματικό τεμάχιο



2ο πειραματικό τεμάχιο



3ο πειραματικό τεμάχιο



4ο πειραματικό τεμάχιο

Εικόνα 1 (β). Γενική άποψη των 4 επαναλήψεων της μεταχείρισης “ΛΥΜΑ” στα τέλη Ιουλίου (31/07/2006).



1ο πειραματικό τεμάχιο



2ο πειραματικό τεμάχιο



3ο πειραματικό τεμάχιο



4ο πειραματικό τεμάχιο

Εικόνα 2 (α). Γενική άποψη των 4 επαναλήψεων της μεταχείρισης “ΚΑΘΑΡΟ ΝΕΡΟ” στα τέλη Αυγούστου (23/08/2006).



1ο πειραματικό τεμάχιο



2ο πειραματικό τεμάχιο



3ο πειραματικό τεμάχιο



4ο πειραματικό τεμάχιο

Εικόνα 2 (β). Γενική άποψη των 4 επαναλήψεων της μεταχείρισης “ΛΥΜΑ” στα τέλη Αυγούστου (23/08/2006).



1ο πειραματικό τεμάχιο



2ο πειραματικό τεμάχιο



3ο πειραματικό τεμάχιο



4ο πειραματικό τεμάχιο

Εικόνα 3 (α). Γενική άποψη των 4 επαναλήψεων της μεταχείρισης “ΚΑΘΑΡΟ ΝΕΡΟ” στις αρχές Σεπτεμβρίου (01/09/2006).



1ο πειραματικό τεμάχιο



2ο πειραματικό τεμάχιο



3ο πειραματικό τεμάχιο



4ο πειραματικό τεμάχιο

Εικόνα 3 (β). Γενική άποψη των 4 επαναλήψεων της μεταχείρισης “ΛΥΜΑ” στις αρχές Σεπτεμβρίου (01/09/2006).



1ο πειραματικό τεμάχιο



2ο πειραματικό τεμάχιο



3ο πειραματικό τεμάχιο



4ο πειραματικό τεμάχιο

Εικόνα 4 (α). Γενική άποψη των 4 επαναλήψεων της μεταχείρισης “ΚΑΘΑΡΟ ΝΕΡΟ” στα μέσα Σεπτεμβρίου (15/09/2006).



1ο πειραματικό τεμάχιο



2ο πειραματικό τεμάχιο



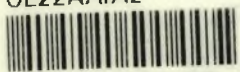
3ο πειραματικό τεμάχιο



4ο πειραματικό τεμάχιο

Εικόνα 4 (β). Γενική άποψη των 4 επαναλήψεων της μεταχείρισης “ΛΥΜΑ” στα μέσα Σεπτεμβρίου (15/09/2006).

ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ
ΘΕΣΣΑΛΙΑΣ



004000091126

257