

Τμήμα Τεχνολόγων Γεωπόνων / Κατ. Ανθοκομίας – Αρχιτεκτονικής Τοπίου

Πτυχιακή εργασία

ΑΠΟΚΡΙΣΗ ΧΛΟΟΤΑΠΗΤΑ ΕΜΒΟΛΙΑΣΜΕΝΟΥ ΜΕ ΣΥΜΒΙΩΤΙΚΟΥΣ ΜΙΚΡΟΟΡΓΑΝΙΣΜΟΥΣ ΥΠΟ ΔΙΑΦΟΡΕΤΙΚΑ ΠΡΟΓΡΑΜΜΑΤΑ ΑΡΔΕΥΣΗΣ



Γκαβούνα Μαρία Μαγδαληνή

Άρτα 2014

Εκπαιδευτικό ίδρυμα:	Τ.Ε.Ι. Ηπείρου
Τμήμα:	Τεχνολόγων Γεωπόνων Κατ. Ανθοκομίας – Αρχιτεκτονικής Τοπίου
Τίτλος:	Απόκριση χλοοτάπητα εμβολιασμένου με συμβιωτικούς μικροοργανισμούς υπό διαφορετικά προγράμματα άρδευσης
Σπουδαστές:	Γκαβούνα Μαρία Μαγδαληνή
ΥΠΕΥΘΥΝΟΣ ΠΤΥΧΙΑΚΗΣ:	Τσιρογιάννης Ιωάννης Επίκουρος Καθηγητής
Περιοχή:	ΑΡΤΑ
Έτος:	2014

Εικόνα εξωφύλλου: πειράματα με χλοοτάπητα στο ΤΕΙ Ηπείρου, 2014

Ευχαριστίες

Θα ήθελα να ευχαριστήσω όλους όσους συνέβαλαν με οποιονδήποτε τρόπο στην ολοκλήρωση της πτυχιακής μου εργασίας.

Πρώτα από όλους, τον Επίκουρο Καθηγητή τού τμήματος Τεχνολόγων Γεωπόνων και επιβλέποντα της εργασίας αυτής Δρ. Τσιρογιάννη Ιωάννη για την επιλογή του θέματος και την υποστήριξη που μου πρόσφερε κατά τη διάρκεια διεξαγωγής του πειράματος. Την αρωγή που μου παρείχε για την εκπόνηση της πτυχιακής αυτής με τις ουσιαστικές παρατηρήσεις και διορθώσεις του.

Επίσης, την κ. Μπαλιτζώη Πηνελόπη, Γεωπόνο MSc, για την ηθική και επιστημονική βοήθεια που μου παρείχε το διάστημα που διήρκησε το πείραμα, καθώς και για την προσωπική της καθοδήγηση κατά τη συγγραφή της πτυχιακής μου.

Την κ. Δήμου Δήμητρα Γεωπόνο PhD, και την κ. Υφαντή Παρασκευή μέλος ΕΤΠ ΤΕΙ ΗΠΕΙΡΟΥ για τις πολύτιμες πρακτικές και επιστημονικές γνώσεις τους κατά τη διάρκεια πραγματοποίησης του πειράματος.

Τους Φωτιά Κωνσταντίνα Γεωπόνο MSc, Μπακέα Μαρία Τεχν. Γεωπονίας και τους συμφοιτητές μου Τσαϊκόφσκι Βαρθολομαίο, Λέκκα Κίμωνα, Παντίρ Αμέτ, Μπάτση Σταύρο και Νικολαΐδη Λεωνίδα.

Σε αυτό το σημείο θέλω να ευχαριστήσω ανθρώπους, που υπήρξαν σημαντικοί πόλοι στη ζωή μου. Την οικογένειά μου, η οποία με στήριξε ηθικά και οικονομικά σε όλη τη διάρκεια των φοιτητικών μου χρόνων.

***Την παρούσα εργασία την αφιερώνω
στην αδερφή μου, Ανδριάννα***

ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ

ΠΕΡΙΛΗΨΗ.....	8
ΕΙΣΑΓΩΓΗ.....	9
ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΚΗ ΑΝΑΣΚΟΠΗΣΗ.....	11
ΧΛΟΟΤΑΠΗΤΑΣ.....	11
Χαρακτηριστικά της ποιότητας του χλοοτάπητα	11
Κλιματική ταξινόμηση των ειδών χλοοτάπητα	13
FESTUCA ARUNDINACEA.....	14
Συστηματική ταξινόμηση	15
ΜΥΚΟΡΡΙΖΕΣ	16
Τύποι μυκορριζών	17
Συστηματική ταξινόμηση	18
Μορφολογικά χαρακτηριστικά και λειτουργία των AM μυκορριζών	18
Εμβολιασμός φυτών με AM μυκορριζικούς μύκητες.....	19
Επίδραση στην υδατική κατάσταση των φυτών.....	20
TRICHODERMA SPP.....	22
Συστηματική ταξινόμηση	23
Το T-22 ως εμπορικό σκεύασμα.....	23
BACILLUS SPP.....	25
Συστηματική ταξινόμηση	26
Το <i>Bacillus amyloliquefaciens</i>	26
ΥΛΙΚΑ ΚΑΙ ΜΕΘΟΔΟΙ	27
ΣΚΟΠΟΣ ΤΟΥ ΠΕΙΡΑΜΑΤΟΣ.....	27
ΓΕΩΓΡΑΦΙΚΗ ΘΕΣΗ.....	27
ΜΕΤΕΩΡΟΛΟΓΙΚΑ – ΚΛΙΜΑΤΙΚΑ ΣΤΟΙΧΕΙΑ	28
ΠΕΡΙΓΡΑΦΗ ΠΕΙΡΑΜΑΤΙΚΗΣ ΔΙΑΤΑΞΗΣ	30
Μεταχειρίσεις.....	30
Τύπος εδάφους	34
Ποικιλία χλοοτάπητα.....	35
Εμβολιασμός του χλοοτάπητα με το μύκητα <i>Glomus intraradices</i>	36
Εμβολιασμός του χλοοτάπητα με το μύκητα <i>Trichoderma harzianum</i>	36
Εμβολιασμός του χλοοτάπητα με το βακτήριο <i>Bacillus amyloliquefaciens</i>	37

ΑΡΔΕΥΤΙΚΟ ΣΥΣΤΗΜΑ ΚΑΙ ΠΡΟΓΡΑΜΜΑ ΑΡΔΕΥΣΗΣ	38
Αρδευτικό σύστημα	38
Πρόγραμμα άρδευσης	40
ΣΥΣΤΗΜΑΤΑ ΜΕΤΡΗΣΗΣ ΠΑΡΑΜΕΤΡΩΝ ΑΞΙΟΛΟΓΗΣΗΣ	46
Μετεωρολογικός σταθμός θερμοκηπίου ΤΕΙ, Δ. Σάββας	46
Μέτρηση υγρασίας εδάφους	46
Υδρόμετρα (ρολόγια μέτρησης νερού)	49
Εκτίμηση όγκου νερού απορροής	50
ΠΟΣΟΤΙΚΗ & ΠΟΙΟΤΙΚΗ ΑΞΙΟΛΟΓΗΣΗ ΧΛΟΟΤΑΠΗΤΑ	51
Κοπές και ξηρό βάρος για αξιολόγηση ανάπτυξης	51
Εκτίμηση ποιότητας χλοοτάπητα μέσω μετρήσεων από απόσταση και χρήση αντικειμενικών δεικτών	52
Ανάκλαση ακτινοβολίας από τα φυτά	52
Φορητό πολυφασματικό ραδιόμετρο	55
ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ	58
ΚΛΙΜΑΤΙΚΕΣ ΣΥΝΘΗΚΕΣ	58
ΥΓΡΑΣΙΑ ΥΠΟΣΤΡΩΜΑΤΟΣ	61
ΑΘΡΟΙΣΤΙΚΗ ΚΑΤΑΝΑΛΩΣΗ ΝΕΡΟΥ	61
ΑΝΑΠΤΥΞΗ ΧΛΟΟΤΑΠΗΤΑ (ΞΗΡΟ ΒΑΡΟΣ ΚΟΠΩΝ)	62
ΠΟΙΟΤΗΤΑ ΧΛΟΟΤΑΠΗΤΑ (PRI)	63
ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ	65
ΑΝΑΦΟΡΕΣ	67

Εικόνες

Εικόνα 1 <i>Festuca arundinacea</i>	15
Εικόνα 2 <i>Glomus intraradices</i>	18
Εικόνα 3 <i>Trichoderma harzianum</i>	23
Εικόνα 4 <i>Bacillus amyloliquefaciens</i>	26
Εικόνα 5 Χάρτης νομού Άρτας (πηγή: Περιφερειακή Ενότητα Άρτας)	27
Εικόνα 6 Γενική κάτοψη της περιοχής μελέτης (πηγή: GoogleEarth, 2014)	28
Εικόνα 7 Ομβροθερμικό διάγραμμα για την Άρτα	29
Εικόνα 8 Πανοραμική φωτογραφία του χώρου που πραγματοποιήθηκε το πείραμα	32
Εικόνα 9 Σχηματική απεικόνιση του πειράματος με όλες τις μεταχειρίσεις	33
Εικόνα 10 Τριγωνικό διάγραμμα για τη μηχανική σύσταση του εδάφους (με κύκλο σημειώνεται η θέση που αντιστοιχεί στο έδαφος που χρησιμοποιήθηκε	34

Εικόνα 12 Η εικόνα του πειράματος λίγες μέρες μετά τη σπορά	35
Εικόνα 13 Εμβολιασμός των αντίστοιχων πειραματικών τεμαχίων με τους μικροοργανισμούς α) πρώτος εμβολιασμός β) επαναληπτικός εμβολιασμός ενώ η καλλιέργεια είχε αναπτυχθεί	37
Εικόνα 14 Τα 3 εμπορικά σκευάσματα που χρησιμοποιήθηκαν για τον εμβολιασμό των μικροοργανισμών	37
Εικόνα 15 Hunter 8A Pro και MPR2000	38
Εικόνα 16 Άποψη της πειραματικής διάταξης με τους εκτοξευτήρες Hunter MPR2000	39
Εικόνα 17 Βασικές έννοιες άρδευσης (πηγή Τσιρογιάννης, 2007)	41
Εικόνα 18 α) Προγραμματιστής Orbit (εσωτερικός των 4 στάσεων και β) Αισθητήρας βροχής	45
Εικόνα 19 Μετεωρολογικός σταθμός	46
Εικόνα 20 Γεωμετρικά χαρακτηριστικά και περιοχή δείγματος του 10 HS (Decagon, 2009)	47
Εικόνα 21 Σχέδιο απεικόνισης της πειραματικής κατασκευής στο οποίο φαίνονται τα σημεία στα οποία τοποθετήθηκαν οι αισθητήρες 10HS	48
Εικόνα 22 Καταγραφικό Decagon Em50	49
Εικόνα 23 Υδρόμετρα	49
Εικόνα 24 α) Τα βαρέλια απορροής β) Το σημείο που ξεκινούσε το λάστιχο απορροής του plot και κατέληγε στο αντίστοιχο βαρέλι απορροής	50
Εικόνα 25 Εξοπλισμός κοπής χλοοτάπητα	51
Εικόνα 26 Φάσμα ανάκλασης από φυτικές επιφάνειες διαφορετικού τύπου καθώς και από φύλλα υπό μάρανση (Smith, 2001)	53
Εικόνα 27 Πειραματικές πληροφορίες στο πλαίσιο ανάπτυξης του PRI (Gamon, 2014)	54
Εικόνα 28 Τυπικό διάγραμμα ανάκλασης από φυτική επιφάνεια (CropScan σημειώνονται οι περιοχές μέτρησης του multispectral radiometer 87)	55
Εικόνα 29 Φορητό πολυφασματικό ραδιόμετρο CropScan	56
Εικόνα 30 Χρήση CropScan υπό πραγματικές συνθήκες στο πλαίσιο του πειράματος	56
Εικόνα 31 Ενδεικτικές μετρήσεις ανάκλασης με χρήση CropScan στο πλαίσιο του πειράματος	57
Εικόνα 32 Θερμοκρασίες και βροχές που επικρατούν στην περιοχή	58
Εικόνα 33 Παρουσίαση καταγραφής επιλεγμένων κλιματικών παραμέτρων κατά τη διάρκεια του Ιουνίου 2014	59
Εικόνα 34 Παρουσίαση καταγραφής επιλεγμένων κλιματικών παραμέτρων κατά τη διάρκεια του Ιουλίου 2014	59
Εικόνα 35 Παρουσίαση καταγραφής επιλεγμένων κλιματικών παραμέτρων κατά τη διάρκεια του Αυγούστου 2014	60
Εικόνα 36 Υγρασία υποστρώματος	61
Εικόνα 37 Εξέλιξη παραγόμενης φυτομάζας κατά τη διάρκεια της υδατικής καταπόνησης για την υδατική μεταχείριση 50%	62
Εικόνα 38 Εξέλιξη παραγόμενης φυτομάζας κατά τη διάρκεια της υδατικής καταπόνησης για την υδατική μεταχείριση 100%	63
Εικόνα 42 Εξέλιξη του δείκτη PRIcropscan κατά την περίοδο της υδατικής καταπόνησης στη μεταχείριση 50%	63
Εικόνα 43 Εξέλιξη του δείκτη PRIcropscan κατά την περίοδο της υδατικής καταπόνησης στη μεταχείριση 100%	64

Πίνακες

Πίνακας 1 Το σύνολο των μεταχειρίσεων του πειράματος.....	31
Πίνακας 2 Εκτίμηση εξατμισοδιαπνοής αναφοράς με βάση τη μέθοδο Hargreaves	43
Πίνακας 3 Κατάρτιση προγράμματος άρδευσης μεταχείρισης 100%	44
Πίνακας 4 Κατάρτιση προγράμματος άρδευσης μεταχειρίσεων 75% και 50%.....	45

ΠΕΡΙΛΗΨΗ

Ο ρόλος των μυκορριζών στην πρόσληψη νερού και οι μηχανισμοί μεταξύ αυτών και της υδατικής κατάστασης του εδάφους και των φυτών, έχουν διερευνηθεί σε γενικό όμως πλαίσιο, χωρίς η έρευνα να αναφέρεται στο πρακτικό όφελος ως προς την χρήση νερού για πολλές καλλιέργειες αλλά και φυτά που χρησιμοποιούνται ευρέως σε έργα πράσινου όπως ο χλοοτάπητας.

Η πτυχιακή αυτή εργασία πέρα από βιβλιογραφική ανασκόπηση σχετικά με τη χρήση μυκορριζικών και άλλων συμβιωτικών μικροοργανισμών για τη βελτίωση της πρόσληψης νερού από τα φυτά αφορά την παρουσιάζει και στοιχεία από ένα πείραμα με στόχο την διερεύνηση της επίδρασης των μυκορριζικών και άλλων συμβιωτικών μικροοργανισμών στην συμπεριφορά του χλοοτάπητα υπό υδατική καταπόνηση.

Το πείραμα διεξάχθηκε στην υπαίθρια εγκατάσταση χλοοτάπητα του Τ.Ε.Ι. Ηπείρου. Δοκιμάστηκαν -σε σχέση με τον μάρτυρα- τρία είδη συμβιωτικών μικροοργανισμών (σε αντίστοιχα εμπορικά σκευάσματα) τα οποία εμβολιάστηκαν στον χλοοτάπητα. Στις μεταχειρίσεις αυτές εφαρμόστηκαν τρεις καταστάσεις όσο αφορά την άρδευση (διατήρηση εδαφικής υγρασίας στο 100%ΔΥ, 75%ΔΥ και 50%ΔΥ, όπου ΔΥ (διαθέσιμη υγρασία) = Υδατοικανότητα - Σημείο μόνιμης μάρανσης). Για κάθε ένα από τους συνδυασμούς αυτούς εφαρμόστηκαν 3 επαναλήψεις.

Οι μετρήσεις αφορούσαν την καταγραφή των κλιματικών συνθηκών, της εδαφικής υγρασίας καθώς και της ποσότητας νερού που εφαρμόζονταν σε κάθε πειραματικό τεμάχιο.

Ο υπολογισμός των αναγκών σε νερό έγινε με βάση τη μεθοδολογία που προτείνεται στο FAO-Paper56 χρησιμοποιώντας δεδομένα (θερμοκρασία, υγρασία αέρα, ηλιακή ακτινοβολία και ταχύτητα ανέμου) από τον μετεωρολογικό σταθμό του παρακείμενου γυάλινου θερμοκηπίου υδροπονίας. Η εφαρμογή του προγράμματος άρδευσης ελεγχόταν μέσω δεδομένων καταγραφής της εδαφικής υγρασίας.

Για την αξιολόγηση της απόκρισης των διαφορετικών μεταχειρίσεων στον χλοοτάπητα χρησιμοποιήθηκαν: α) η ανάπτυξη του χλοοτάπητα (κοπή πάνω από συγκεκριμένη έκταση ανά διαστήματα και ζύγισμα των κομμένων κορυφών) του ξηρού βάρους βλαστού και της ρίζας και β)) η φωτοσυνθετική κατάσταση του χλοοτάπητα μέσω μετρήσεων δείκτη ανάκλασης της ηλιακής ακτινοβολίας.

ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Η έννοια της λέξεως χλοοτάπητας σημαίνει μία επιφάνεια ή ένας τάπητας από χλόη.

Η πρωτόγονη εμφάνιση του χλοοτάπητα γίνεται όταν ο άνθρωπος αρχίζει να μετατρέπεται από κυνηγό σε καλλιεργητή και εγκαταλείπει τη νομαδική περιπλάνηση του για αναζήτηση τροφής. Η εκτροφή των ζώων δημιουργεί την ανάγκη λιβαδιών για βοσκή και τα λιβάδια αυτά είναι η αρχή της δημιουργίας του χλοοτάπητα. Ο χλοοτάπητας από απλό λιβάδι μεταβάλλεται σε ουσιαστικό στοιχείο του σχεδιασμού του τοπίου και παίζει σημαντικό ρόλο στην καθημερινή ζωή του ανθρώπου.

Ένας τέτοιος χλοοτάπητας θα πρέπει να καλύπτει τρεις βασικές χρήσεις (Σπαντιδάκης 2011):

- **Λειτουργική χρήση.** Έλεγχο των διαβρώσεων που προκαλούνται από το νερό, τον αέρα, μείωση του θορύβου, της ανακλώμενης θερμότητας του εδάφους, περιορισμό μολύνσεων κ.λπ.
- **Διακοσμητική χρήση,** δεδομένου ότι είναι απαραίτητο πλέον στοιχείο της αρχιτεκτονικής τοπίου και του κήπου και μάλιστα πολλές φορές επιτακτική ανάγκη για τη δημιουργία εντυπωσιακού περιβάλλοντος και προβολής κτιρίων και κατασκευών.
- **Αθλητική χρήση.** Πολλά αθλήματα ατομικά και ομαδικά παίζονται σε γήπεδα καλυμμένα με χλοοτάπητα. Σε αυτές τις περιπτώσεις, το χόρτο λειτουργεί και ως μέσο προφύλαξης και αποφυγής τραυματισμών και χτυπημάτων.

Όσο αφορά τα έργα πράσινου με χλοοτάπητα (χώροι πράσινου, νησίδες, πάρκα, γήπεδα κοκ), οι ανάγκες σε νερό, ο σχετικός προγραμματισμός των αρδεύσεων και η αποτελεσματικότητα των συστημάτων άρδευσης έχουν μελετηθεί σε μεγάλη έκταση (Pittenger κ.α., 2001). Οι μεγάλες απαιτήσεις του χλοοτάπητα σε νερό (6-8mm/ημέρα ή αλλιώς 6-8 λίτρα ανά τετραγωνικό μέτρο ανά ημέρα στην Ελλάδα (ΓΓΔΕ, 2009)) δημιουργούν πολλές φορές προβλήματα σχετικά με την κατανάλωση νερού και την ορθολογική χρήση των υδάτινων πόρων. Στο πλαίσιο αυτό η ανάπτυξη τεχνικών που κάνουν το χλοοτάπητα ανθεκτικότερο στην υδατική καταπόνηση έχει ιδιαίτερο ενδιαφέρον. Μεταξύ των τεχνικών αυτών η αξιοποίηση συμβιωτικών της ρίζας μικροοργανισμών του εδάφους αποτελεί μία πολλά υποσχόμενη προσέγγιση.

Με τον όρο μυκόρριζα καλείται η σχέση μεταξύ των ριζών των περισσότερων φυτών με το συμβιωτικό μύκητα και ο μορφολογικός μετασχηματισμός αυτών των ριζών το οποίο και καλείται μυκόρριζα (μύκητες – ρίζες) (Μπαλτζώη, 2006 από Tale, 1987). Αυτού του είδους η συμβίωση αναμφισβήτητα αποτελεί ένα

από τα πιο διαδεδομένα και ενδιαφέροντα παραδείγματα παρασιτισμού που συμβαίνει στη φύση.

Άλλοι συμβιωτικοί μικροοργανισμοί όπως στελέχη του *Trichoderma harzianum*, προωθούν την ανάπτυξη των φυτών, όπως την αύξηση του μήκους της ρίζας, το ύψος και τη διάμετρο του βλαστού, τον αριθμό των ριζών, τον αριθμό των φύλλων, κ.λπ. (Sofo κ.α., 2010 και 2012) και ενεργοποιούν τους μηχανισμούς ανθεκτικότητας των φυτών (Harman κ.α., 2004).

Τα ριζοβακτήρια που προάγουν την ανάπτυξη είναι μία ομάδα βακτηρίων που αποικίζουν τη ριζόσφαιρα και προάγουν την ανάπτυξη και απόδοση των φυτών (Vessey, 2003). Μεταξύ των μηχανισμών με τους οποίους τα ριζοβακτήρια ασκούν τις ευεργετικές επιδράσεις στα φυτά είναι η διευκόλυνση της απορρόφησης των θρεπτικών συστατικών όπως τον φώσφορο, μέσω της διαλυτοποίησης των φωσφορικών, η σύνθεση φυτορμονών όπως αυξίνες, κυτοκινίνες και γιββερελλίνες (Vessey, 2003) ή συμβάλλοντας στον έλεγχο των βλαβερών συνεπειών των παθογόνων μέσω της σύνθεσης αντιβιοτικών και με τη διέγερση του αμυντικού συστήματος των φυτών (Compant κ.α., 2005).

ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΚΗ ΑΝΑΣΚΟΠΗΣΗ

ΧΛΟΟΤΑΠΗΤΑΣ

Χλοοτάπητας ονομάζεται μια φυτοκοινωνία που αποτελείται από ένα ή περισσότερα βοτανικά είδη συνήθως αγρωστώδη, αναπτύσσεται σε στενή επαφή, εξάρτηση και σχέση με το ανώτερο στρώμα της επιφάνειας του εδάφους το οποίο καλύπτει, ελέγχεται συνεχώς κατά το ύψος με το κούρεμα και χρησιμοποιείται για διακόσμηση, κυκλοφορία και διάφορες άλλες ανθρώπινες δραστηριότητες και χρήσεις (Σπαντιδάκης, 2011).

Χαρακτηριστικά της ποιότητας του χλοοτάπητα

Μακροσκοπικά στοιχεία. Καθορίζουν τη γενική εμφάνιση του χλοοτάπητα και είναι:

- **Ομοιομορφία.** Ο σωστός χλοοτάπητας παρουσιάζεται ενιαίος σε όλη του την έκταση χωρίς κενά σημεία, ζιζάνια, ανώμαλη και ανισοϋψή ανάπτυξη και με σταθερή ποσοτική αναλογία αριθμού φυτού ή φυτών ανά μονάδα επιφάνειας.
- **Πυκνότητα.** Ένα από τα σπουδαιότερα χαρακτηριστικά του χλοοτάπητα το οποίο εκφράζεται ποσοτικά με τον αριθμό βλαστών ή φύλλων ανά μονάδα επιφάνειας.
- **Υφή.** Εξαρτάται από το πλάτος των φύλλων κάθε είδους και κυμαίνεται από αδρή έως λεπτή. Η ομοιόμορφη υφή είναι ένα χαρακτηριστικό που καθορίζει την ποιότητα ενός σωστού μίγματος σπόρων διακοσμητικού χλοοτάπητα.
- **Χρωματισμός.** Καθορίζει αποφασιστικά τη γενική φυσική κατάσταση του χλοοτάπητα και είναι το μέτρο του φωτός που αντανακλάται από το χλοοτάπητα.
- **Τρόπος ανάπτυξης.** Διακρίνονται τρεις τρόποι ανάπτυξης που χρησιμοποιούνται για το χλοοτάπητα. Με τον όρο ανάπτυξη εννοούμε τον τρόπο διάδοσης, εξάπλωσης και πύκνωσης του χλοοτάπητα.

α) Ανάπτυξη με ριζώματα, όπου ρίζωμα είναι υπόγειος βλαστός ο οποίος αναπτύσσεται προς όλες τις κατευθύνσεις.

β) Ανάπτυξη με στόλωνα, όπου στόλωνας είναι ο επίγειος βλαστός ο οποίος έχει τη δυνατότητα ανάπτυξης προς όλες τις διευθύνσεις με ταυτόχρονη ριζοβολία στο σημείο κάθε κόμβου.

γ) Ανάπτυξη κατά θυσάνους, όπου κάθε φυτό πυκνώνει με τη δημιουργία «αδελφών» δηλαδή βλαστών που αναπτύσσονται από τυχαίους οφθαλμούς που βρίσκονται στο ύψος του λαιμού. Σε αυτές τις περιπτώσεις που το «αδέλφωμα» είναι ο κύριος τρόπος ανάπτυξης του φυτού η επιτυχημένη πυκνότητα και ομοιομορφία εξαρτάται πολύ από την ισορροπημένη και ομοιόμορφη σπορά.

- **Λειότητα ή απαλότητα.** Αφορά τους χλοοτάπητες που έχουν λειτουργική ή αθλητική σημασία και αναφέρεται ειδικότερα στο πόσο «στρωτός» είναι ο χλοοτάπητας. Είναι δηλαδή ένα μέτρο τριβής που χαρακτηρίζει την επιφάνειά του.

Λειτουργικά χαρακτηριστικά. Είναι αυτά που αφορούν κυρίως την εξυπηρέτηση ορισμένων σκοπών για τους οποίους κατασκευάστηκε ο χλοοτάπητας. Αυτά είναι:

- **Ακαμψία.** Είναι η αντοχή του χλοοτάπητα στη συμπίεση που προκαλείται κατά την κυκλοφορία και έχει άμεση σχέση με την αντοχή του ίδιου στη φθορά. Εξαρτάται από πολλούς παράγοντες την περιεχόμενη στο φυτό υγρασία, θερμοκρασία, πυκνότητα χλοοτάπητα κ.λπ.
- **Ελαστικότητα.** Είναι η ικανότητα των φύλλων ενός χλοοτάπητα που βρίσκεται σε καταπόνηση και συμπίεση να επανέλθει στην αρχική του κατάσταση αφού μηδενιστεί η δύναμη συμπίεσης. Η ικανότητα αυτή εξαφανίζεται όταν ο χλοοτάπητας βρίσκεται κάτω από συνθήκες παγετού.
- **Ευλυγισία.** Είναι η ικανότητα του χλοοτάπητα να απορροφά κάθε χτύπημα ή πίεση χωρίς να μετατρέπονται τα χαρακτηριστικά του και εξαρτάται κυρίως από το μέσον (έδαφος) επάνω στο οποίο έχει εγκατασταθεί.
- **Αναπλαστική ικανότητα (Αναβλαστική ικανότητα).** Είναι το σύνολο των ιδιοτήτων που έχει ένα είδος να συνέρχεται και να αναβλαστάνει μετά από κάποια ταλαιπωρία που οφείλεται σε ασθένεια ή φυσικό φαινόμενο. Αυτή η καταπόνηση επηρεάζεται άμεσα και καθοριστικά από το είδος του χλοοτάπητα, το πρόγραμμα συντήρησης, τις συνθήκες περιβάλλοντος κ.ο.κ.

Κλιματική ταξινόμηση των ειδών χλοοτάπητα

Η οικογένεια των Αγρωστωδών (Gramineae) περιλαμβάνει μεγάλο αριθμό ειδών και γενών τα οποία αναπτύσσονται σε διαφορετικές περιοχές και κλιματικούς τόπους της γήινης σφαίρας είτε ως αυτοφυή είτε ως καλλιεργούμενα. Τα είδη χλόης που χρησιμοποιούνται για χλοοτάπητες ανήκουν σε δύο βασικές κατηγορίες: α) τα θερμόφυλλα και β) τα ψυχρόφυλλα.

Θερμόφυλλα είδη

Τα είδη θερμής εποχής αναπτύσσονται πολύ καλά σε κλίματα με ζεστό καιρό, ήπιους χειμώνες χωρίς παγετούς. Οι θερμοκρασίες που ευδοκιμούν είναι από 26,7 °C (80 °F) έως 35 °C (95 °F). Αναπτύσσουν βαθύτερο ριζικό σύστημα και παρουσιάζουν αντοχή στην ξηρασία, στην υψηλή θερμοκρασία, την φθορά και την καταπόνηση. Σε χαμηλές θερμοκρασίες τον χειμώνα χάνουν το πράσινο χρώμα και πέφτουν σε λήθαργο αλλά επανέρχονται την άνοιξη μόλις η θερμοκρασία αρχίσει να ανεβαίνει. Παρουσιάζουν μεγάλη αντοχή στο χαμηλό κούρεμα και πολλαπλασιάζονται εκτός από το σπόρο με ριζώματα, στόλωνες και μοσχεύματα. Τα θερμόφυλλα διακρίνονται στα εξής γένη *Cynodon*, *Buchloe*, *Bouteloua*, *Zoysia*, *Stenotaphrum*, *Paspalum*, *Penisetum*, *Anoxopus*, *Dichondra* και *Eremochlea*.

Ψυχρόφυλλα είδη

Τα είδη ψυχρής εποχής αναπτύσσονται πολύ καλά σε κλίματα με χαμηλές θερμοκρασίες, αρκετή ατμοσφαιρική υγρασία και σε μικρής διάρκειας καλοκαίρι. Η άριστη θερμοκρασία που ευδοκιμούν είναι από 15,6 °C (60 °F) μέχρι 23,9 °C (75 °F) και η καλύτερη εποχή ανάπτυξης τους είναι από το φθινόπωρο έως την άνοιξη. Το χειμώνα επιζούν από τους παγετούς και το χιόνι, και το καλοκαίρι αντέχουν στις υψηλές θερμοκρασίες αρκεί να αρδεύονται καλά. Στη χώρα μας διατηρούνται όλη τη διάρκεια του χρόνου πράσινα. Ανήκουν στην υποοικογένεια Festucoidea και τα κυριότερα γένη που χρησιμοποιούνται για την καλλιέργεια του χλοοτάπητα είναι *Festuca*, *Poa*, *Lolium* και *Agrostis* και δευτερευόντως *Bromus*, *Cynosurus* και *Puccinellia*.

FESTUCA ARUNDINACEA

Η *Festuca arundinacea* είναι ένα είδος γρασιδιού κοινώς γνωστό ως ψηλή φεστούκα. Είναι ένα ψυχρόφυλλο πολυετές C₃ φυτό, ιθαγενές της Ευρώπης και ανήκει στη κατηγορία αυτών που φυτρώνουν σε “συστάδες”. Πρόκειται για ένα σημαντικό κτηνοτροφικό γρασίδι σε όλη την Ευρώπη, και πολλές ποικιλίες της έχουν χρησιμοποιηθεί στη γεωργία. Χρησιμοποιείται επίσης ως διακοσμητικό γρασίδι σε κήπους, αλλά και ως θεραπευτικό φυτό.

Η κυρίαρχη ποικιλία που έχει βρεθεί σε βρετανικά λιβάδια είναι η S170, ένα ενδόφυτο χωρίς ποικιλία. Στο φυσικό της Ευρωπαϊκό περιβάλλον, η ψηλή φεστούκα συναντάται σε υγρούς λειμώνες, όχθες ποταμών και σε παράκτιες παραθαλάσσιες τοποθεσίες.

Περιγραφή

Η φεστούκα είναι ένα μακρόβιο πολυετές είδος γρασιδιού. Η φωτοσύνθεση πραγματοποιείται από όλα τα φύλλα, τα οποία σχηματίζουν δέσμες και είναι παχιά και μεγάλα με εμφανείς νευρώσεις να «τρέχουν» παράλληλα σε όλο το μήκος του ελάσματος το οποίο έχει οδοντωτή άκρη. Η κάτω πλευρά του φύλλου μπορεί να είναι γυαλιστερή. Τα νεαρά αναδυόμενα φύλλα δεν έχουν εμφανές γλωσσίδιο. Τα ωτίδια έχουν αμβλύ σχήμα αλλά μερικές φορές έχουν και σχήμα “νυχιού”. Το στέλεχος, σε εγκάρσια διατομή, είναι κυκλικό. Συνήθως, αυτό το είδος γρασιδιού έχει μια μακρά καλλιεργητική περίοδο και κυμαίνεται από 2 έως 4 πόδια (1,2 μ) ύψος στο στάδιο της σποροποίησης.

Η ψηλή φεστούκα εξαπλώνεται μέσω των αδελφωμάτων και της σποροποίησης – όχι με στόλωνες ή ριζώματα, τα οποία είναι κοινά σε πολλά είδη γρασιδιού. Ωστόσο, η ψηλή φεστούκα μπορεί να έχει πολυάριθμους στείρους βλαστούς που εκτείνονται κατά πλάτος της κάθε δέσμης.

Η ψηλή φεστούκα αποδίδει καλύτερα σε εδάφη με τιμές pH μεταξύ 5,5 έως 7. Η ανάπτυξη μπορεί να πραγματοποιηθεί όλο το χρόνο αν οι συνθήκες είναι κατάλληλες, αλλά συνήθως η ανάπτυξη παύει όταν η θερμοκρασία εδάφους πέφτει κάτω από τους 4°C. (Σπαντιδάκης, 2011).

Συστηματική ταξινόμηση

Βασίλειο: Plantae

Διαίρεση: Spermatophyta

Υποδιαίρεση: Angiosperms

Κλάση: Monocots

Υπόταξη: Commelinids

Τάξη: Poales

Οικογένεια: Poaceae

Γένος: Festuca

Είδος: *F. arundinacea*



Εικόνα 1 *Festuca arundinacea*

ΜΥΚΟΡΡΙΖΕΣ

Η ύπαρξη των μυκορριζών είναι γνωστή από τις αρχές του 1880. Παλαιοντολογικά ευρήματα δείχνουν ότι μυκόρριζες σχημάτιζαν και τα πρώτα φυτικά είδη τα οποία εμφανίσθηκαν στη Γη. Η μυκόρριζα που συχνά αναφέρεται ως «η ρίζα των ριζών» (Andersen, 2013 από Jones, 2012), είναι μια συμβιωτική σχέση, που είναι εξειδικευμένη για μια ζωή στο έδαφος, μεταξύ ενός μύκητα και της ρίζας ενός φυτού. Ο όρος προέρχεται από τις ελληνικές λέξεις «μύκος» και «ρίζα», που σημαίνουν «μύκητας» και «ρίζα». Ορισμένοι μύκητες που ζουν στο έδαφος αποικίζουν τις ρίζες ενός φυτού ξενιστή και επεκτείνουν το ριζικό του σύστημα, επιτρέποντας έτσι στο φυτό να απορροφήσει περισσότερο νερό και θρεπτικά συστατικά από το χώμα σε ανταλλαγή των σακχάρων άνθρακα (Andersen, 2013 από Parniske 2008; Smith & Smith 2011).

Σε όλα τα εδαφικά συστήματα κάθε αναπτυσσόμενο φυτό σχηματίζει κάποιου είδους μικροβιακής αλληλεπίδρασης στη περιοχή της ριζοσφαιράς του. Η συντριπτική πλειοψηφία των ανώτερων φυτών σχηματίζουν μυκόρριζες και οι μύκητες αυτοί συντελούν στην αύξηση της διαθεσιμότητας των θρεπτικών στοιχείων για τα φυτά, σε οικοσυστήματα όπου παρατηρείται έλλειψη αυτών. Οι περισσότερες έρευνες που έχουν γίνει έχουν δείξει βελτίωση της μεταφοράς των θρεπτικών στους φυτικούς ιστούς μέσω της αύξησης της επιφάνειας απορρόφησης των ριζών λόγω της επέκτασης του μυκηλίου του μύκητα σε σημεία αρκετά πιο μακριά από τη ριζόσφαιρα. Οι πιο συνήθεις παρατηρήσεις που έχουν γίνει είναι αυτές της αύξησης της μεταφοράς P, N και νερού.

Οι μύκητες που σχηματίζουν μυκόρριζες όχι μόνο αυξάνουν τη μεταφορά των θρεπτικών από το έδαφος στο φυτό, αλλά μπορούν επίσης να συντελέσουν στην αύξηση της μεταφοράς των θρεπτικών μεταξύ των φυτών. Αυτή η γέφυρα υφών δημιουργείται μεταξύ φυτών τόσο του ίδιου όσο και διαφορετικού είδους. Με αυτό τον τρόπο φυτά που βρίσκονται σε μη ευνοϊκά σημεία (π.χ. σκιερά μέρη) μπορούν να επωφεληθούν από τη φωτοσυνθετική δραστηριότητα άλλων φυτών καθώς και να προσλάβουν θρεπτικά από το σύστημα σύνδεσης των υφών.

Εκτός από αυξημένη πρόσληψη θρεπτικών συστατικών, οι μυκόρριζες συχνά παρέχουν και πρόσθετα οφέλη στον ξενιστή, όπως αυξημένη αντοχή στην ξηρασία, τη ψύξη, την αλατότητα και τους παθογόνους μικροοργανισμούς. Λίγα είναι γνωστά για τον αποικισμό των μυκορριζών σε χλοοτάπητες, αλλά θεωρείται ότι τα σύνθετα υποστρώματα είναι πιο φτωχά σε μυκόρριζες σε σχέση με φυσικά εδάφη. Ο απώτερος στόχος είναι ο εμβολιασμός να βελτιώσει την ποιότητα των χλοοταπίτων μέσω της πρώιμης εγκατάστασης

τους, την ενίσχυση της ανάπτυξής τους καθώς και την αύξηση της αντοχής στο στρες (Andersen, 2013).

Τύποι μυκορριζών

Σήμερα είναι γνωστοί δύο τύποι μυκόρριζας οι εκτομυκόρριζες και οι ενδομυκόρριζες.

Οι εκτομυκόρριζες χαρακτηρίζονται από μια εξωκυτταρική ανάπτυξη του μύκητα στο φλοιό της ρίζας. Εμφανίζονται κυρίως στα δάση εύκρατων και βόρειων περιοχών και απαρτίζονται από 5000 είδη, μαζί με τους βασιδιομύκητες.

Οι ενδομυκόρριζες χαρακτηρίζονται από μία μέσο - και ενδοκυτταρική ανάπτυξη του μύκητα στο φλοιό της ρίζας, σχηματίζοντας ειδικά όργανα γνωστά ως κυστίδια (vesicles) και θύσανοι (arbuscules). Αυτή η χαρακτηριστική ανάπτυξη δίνει στην ενδομυκόρριζα και το εναλλακτικό όνομα vesicular arbuscular mycorrhiza (VAM) (θυσανώδης μυκόρριζα). Είναι η πιο ευρέως διαδεδομένη σχέση των φυτών.

Στις ενδομυκόρριζες ανήκουν και οι ερικοειδείς μυκόρριζες οι οποίες απαντώνται στα φυτά της τάξεως *Ericales* καθώς και η μυκόρριζα των φυτών που ανήκουν στην οικογένεια *Orchidaceae*. Όλοι οι μύκητες του εδάφους που σχηματίζουν θυσάνους σε συνεργασία με τα φυτά, ανήκουν στη τάξη *Glomeales* (Ζυγομύκητες). Αυτή η τάξη που σχηματίζει κυστίδια (*Acaulospora*, *Entrophospora*, *Glomus* και *Sclerocystis*) ανήκει στην υπόταξη *Glominae* και εκείνοι που σχηματίζουν βοηθητικά κύτταρα και όχι κυστίδια (*Gigaspora* και *Scutellispora*) ανήκουν στην υπόταξη *Gigasporinae*. Η ταξινόμηση των μυκορριζικών μυκήτων AM βασίζεται στη μορφολογία των χλαμυδοσπορίων και των ζυγοσπορίων.

Τρεις κύριες συνιστώσες συνθέτουν τη μυκορριζική σχέση: 1) Το έδαφος 2) ο μύκητας και 3) το φυτό. Η επίδραση του μύκητα αφορά τη παρουσία του στα κύτταρα της ρίζας και την επέκταση του μυκηλίου του στο έδαφος. Το μυκήλιο του μύκητα μπορεί να είναι αρκετά εκτεταμένο κάτω από ορισμένες συνθήκες, αλλά δε σχηματίζει κάποια φυτική δομή. Η κύρια λειτουργία του είναι η απορρόφηση των θρεπτικών του εδάφους. Η μεγάλη αποδοτικότητα των μυκορριζικών ριζών, σε αντίθεση με τις μη μυκορριζικές, οφείλεται στη δραστική πρόσληψη και μεταφορά των θρεπτικών στοιχείων από τις μυκόρριζες. Οι μυκόρριζες βελτιώνουν τη πρόσληψη πολλών θρεπτικών όπως P, N, K, Mg, Cu, Zn, Ca, Fe, Cd, Ni.

Οι εκτομυκόρριζες αναπτύσσονται εξωκυτταρικά και αντικαθιστούν μερικώς τα μεσαία κύτταρα του φλοιού των ριζικών τριχιδίων. Οι μύκητες αυτοί σχηματίζουν ένα πυκνό μυκηλιακό δίκτυο γύρω και ανάμεσα από τα φυτικά κύτταρα, το οποίο ονομάζεται δίκτυο Hartig. Οι εκτομυκόρριζες

χαρακτηρίζονται επίσης και από ένα πυκνό και γενικά συνεχές δίκτυο υφών πάνω από την επιφάνεια των ριζικών τριχιδίων το οποίο ονομάζεται μανδύας.

Οι ενδομυκόρριζες διακρίνονται από το γεγονός ότι ο μύκητας διαπερνά τα φλοιώδη κύτταρα των ριζικών τριχιδίων και μπορεί να σχηματίσει μεγάλα κυστίδια και θυσάνους. Αυτοί οι μύκητες δε σχηματίζουν πυκνούς μυκηλιακούς μανδύες, αλλά σχηματίζουν μια χαλαρή και ασυνεχή μυκηλιακή διάταξη στην επιφάνεια της ρίζας.

Η μόλυνση από μυκόρριζες μπορεί να μεταβάλλει τόσο τη λειτουργία και το ρυθμό ανάπτυξης της ρίζας όσο και την εκκριτική της δραστηριότητα, μέσω του εκτεταμένου μυκηλίου τους. Οι υφές της AM μυκόρριζας μπορεί να επεκτείνονται αρκετά εκατοστά από την επιφάνεια της ρίζας και με αυτό το τρόπο αυξάνουν τη πρόσληψη των θρεπτικών συστατικών.

Συστηματική ταξινόμηση

Βασίλειο: Fungi

Διαίρεση: Glomeromycota

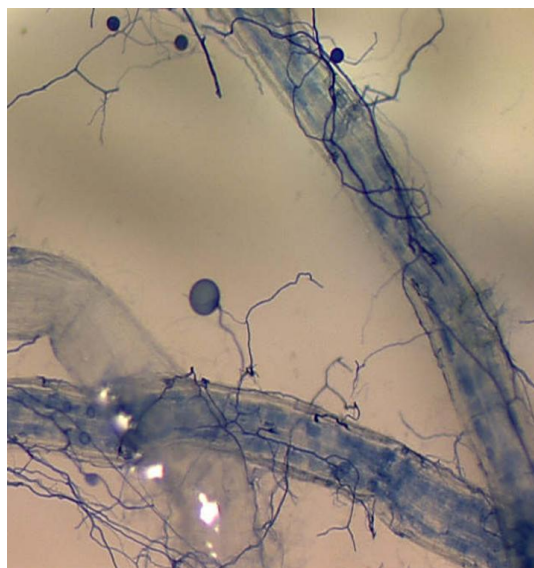
Κλάση: Glomeromycetes

Τάξη: Glomerales

Οικογένεια: Glomeraceae

Γένος: Glomus

Είδος: *G. intraradices*



Εικόνα 2 *Glomus intraradices*

Μορφολογικά χαρακτηριστικά και λειτουργία των AM μυκορριζών

Τα μορφολογικά χαρακτηριστικά των AM μυκορριζών είναι οι ισχυρά διακλαδιζόμενοι θυσανοί που διαθέτουν στα φλοιώδη κύτταρα, καθώς και οι εκτεταμένες υφές που αναπτύσσονται από την επιφάνεια της ρίζας στο έδαφος.

Στα λειτουργικά χαρακτηριστικά τους αναφέρεται ότι οι υφές τους αυξάνουν την επιφάνεια απορρόφησης θρεπτικών.

Εμβολιασμός φυτών με AM μυκορριζικούς μύκητες

Τα τελευταία χρόνια παρουσιάζεται έντονο ενδιαφέρον για τη χρήση AM μυκορριζας στη γεωργική παραγωγή. Τα οφέλη αυτής της συμβίωσης επικεντρώνονται κυρίως στην αύξηση της πρόσληψης των θρεπτικών στοιχείων από το έδαφος καθώς και στην αύξηση της αντοχής των φυτών τόσο στη ξηρασία όσο και σε διάφορα παθογόνα.

Ο εμβολιασμός των φυτών με μύκητα που σχηματίζει AM μπορεί να πραγματοποιηθεί είτε με τη χρήση μολυσμένων ριζών είτε με πολλαπλασιαστικά όργανα του μύκητα, όπως υφές και σπόρια. Η εισαγωγή του εμβολίου, για τη μόλυνση των φυτών, γίνεται τόσο προφυτρωτικά όσο και μεταφυτρωτικά. Επίσης είναι δυνατός και ο εμβολιασμός σποροφύτων, πριν τη μεταφύτευσή τους.

Σε περιπτώσεις όπου το καλλιεργούμενο έδαφος έχει απολυμανθεί, και οι περισσότεροι ιθαγενείς μύκητες έχουν εξολοθρευτεί, ο εμβολιασμός με μυκορριζα είναι συχνά επιτυχής. Η καλύτερη μέθοδος για την εξαφάνιση του ιθαγενούς πληθυσμού μυκήτων φαίνεται να είναι η εφαρμογή ζεστού ατμού παρά η απολύμανση με καπνό. Παρόλα αυτά έχει επίσης διαπιστωθεί ότι η χρήση ατμού θα μπορούσε να εμποδίσει τη μελλοντική μόλυνση με μυκορριζες των μεταφυτευμένων και εμβολιασμένων σποροφύτων.

Ο ρυθμός ανάπτυξης μπορεί να εξαρτάται από τη ταχεία εγκατάσταση του μύκητα. Η πυκνότητα του πολλαπλασιαστικού υλικού, η βιωσιμότητά του, και η τοποθεσία όπου βρίσκεται είναι παράγοντες που μπορούν να συμβάλουν στη ταχεία εγκατάσταση του μύκητα. Ως πυκνότητα του πολλαπλασιαστικού υλικού ορίζεται η συγκέντρωση των μολυσματικών μονάδων των μυκήτων μέσα στο εμβόλιο ή στο αναπτυσσόμενο καλλιεργητικό μέσο. Η ταχέως αναπτυσσόμενη μυκορριζα μπορεί να εγκατασταθεί σε δεκτικές ρίζες σποροφύτων μέσα σε διάστημα δύο ημερών, ενώ η εγκατάσταση από σπόρια μπορεί να διαρκέσει πάνω από δέκα μέρες, μετά τη βλάστησή τους.

Η εξάπλωση του μύκητα εξαρτάται από το βαθμό ανάπτυξης των ριζών. Όταν υπάρχουν περισσότεροι από ένας μύκητες που σχηματίζουν AM μέσα στο καλλιεργητικό μέσο, η κατάληψη των ριζών εξαρτάται από το σημείο τοποθέτησης του εμβολίου και την επιθετικότητα του κάθε μύκητα. Μία ρίζα μπορεί να καταληφθεί από περισσότερους του ενός μύκητες AM.

Ο μύκητας που σχηματίζει AM μπορεί να παραμένει στο έδαφος με τη μορφή σπορίων, μολυσμένων ριζών, ή σαν δίκτυο υφών. Για την εισαγωγή ενός τέτοιου μύκητα που θέλουμε να πραγματοποιεί συνεχή εγκατάσταση, θα πρέπει αυτός συνεχώς να καταλαμβάνει νέες ρίζες ή να σχηματίζει ανθεκτικά όργανα (σπόρια ή κυστίδια) με τα οποία θα επιβιώνει κατά την απουσία

ριζών. Στα περισσότερα καλλιεργητικά συστήματα, η χρησιμοποίηση των μυκηλιακών υφών ως πολλαπλασιαστικό υλικό, για συνεχή εγκατάσταση, είναι μη αποτελεσματική λόγω της συχνής διατάραξης του εδάφους.

Η χρήση μυκορριζών θα μπορούσε να αποτελέσει μια εναλλακτική λύση για συμπληρωματική θρέψη των φυτών ακόμη και κάτω από συνθήκες ξηρασίας, αλλά περισσότερο χρήσιμη αποδεικνύεται για τη βιολογική γεωργία όπου απαιτείται μείωση της χρήσης λιπασμάτων.

Επίδραση στην υδατική κατάσταση των φυτών

Τα τελευταία χρόνια παρουσιάζεται έντονο ενδιαφέρον για τη χρήση AM μυκόρριζας στη γεωργική παραγωγή. Τα οφέλη αυτής της συμβίωσης επικεντρώνονται κυρίως στην αύξηση της πρόσληψης των θρεπτικών στοιχείων από το έδαφος καθώς και στην αύξηση της αντοχής των φυτών τόσο στη ξηρασία όσο και σε διάφορα παθογόνα.

Ο εμβολιασμός των φυτών με μύκητα που σχηματίζει AM μπορεί να πραγματοποιηθεί είτε με τη χρήση μολυσμένων ριζών είτε με πολλαπλασιαστικά όργανα του μύκητα, όπως υφές και σπόρια. Η εισαγωγή του εμβολίου, για τη μόλυνση των φυτών, γίνεται τόσο προφυτρωτικά όσο και μεταφυτρωτικά. Επίσης είναι δυνατός και ο εμβολιασμός σποροφύτων, πριν τη μεταφύτευσή τους.

Σε περιπτώσεις όπου το καλλιεργούμενο έδαφος έχει απολυμανθεί, και οι περισσότεροι ιθαγενείς μύκητες έχουν εξολοθρευτεί, ο εμβολιασμός με μυκόρριζα είναι συχνά επιτυχής. Η καλύτερη μέθοδος για την εξαφάνιση του ιθαγενούς πληθυσμού μυκήτων φαίνεται να είναι η εφαρμογή ζεστού ατμού παρά η απολύμανση με καπνό. Παρόλα αυτά έχει επίσης διαπιστωθεί ότι η χρήση ατμού θα μπορούσε να εμποδίσει τη μελλοντική μόλυνση με μυκόρριζες των μεταφυτευμένων και εμβολιασμένων σποροφύτων.

Ο ρυθμός ανάπτυξης μπορεί να εξαρτάται από τη ταχεία εγκατάσταση του μύκητα. Η πυκνότητα του πολλαπλασιαστικού υλικού, η βιωσιμότητά του, και η τοποθεσία όπου βρίσκεται είναι παράγοντες που μπορούν να συμβάλουν στη ταχεία εγκατάσταση του μύκητα. Ως πυκνότητα του πολλαπλασιαστικού υλικού ορίζεται η συγκέντρωση των μολυσματικών μονάδων των μυκήτων μέσα στο εμβόλιο ή στο αναπτυσσόμενο καλλιεργητικό μέσο. Η ταχέως αναπτυσσόμενη μυκόρριζα μπορεί να εγκατασταθεί σε δεκτικές ρίζες σποροφύτων μέσα σε διάστημα δύο ημερών, ενώ η εγκατάσταση από σπόρια μπορεί να διαρκέσει πάνω από δέκα μέρες, μετά τη βλάστησή τους.

Η εξάπλωση του μύκητα εξαρτάται από το βαθμό ανάπτυξης των ριζών. Όταν υπάρχουν περισσότεροι από ένας μύκητες που σχηματίζουν AM μέσα στο καλλιεργητικό μέσο, η κατάληψη των ριζών εξαρτάται από το σημείο

τοποθέτησης του εμβολίου και την επιθετικότητα του κάθε μύκητα. Μία ρίζα μπορεί να καταληφθεί από περισσότερους του ενός μύκητες AM.

Ο μύκητας που σχηματίζει AM μπορεί να παραμένει στο έδαφος με τη μορφή σπορίων, μολυσμένων ριζών, ή σαν δίκτυο υφών. Για την εισαγωγή ενός τέτοιου μύκητα που θέλουμε να πραγματοποιεί συνεχή εγκατάσταση, θα πρέπει αυτός συνεχώς να καταλαμβάνει νέες ρίζες ή να σχηματίζει ανθεκτικά όργανα (σπόρια ή κυστίδια) με τα οποία θα επιβιώνει κατά την απουσία ριζών. Στα περισσότερα καλλιεργητικά συστήματα, η χρησιμοποίηση των μυκηλιακών υφών ως πολλαπλασιαστικό υλικό, για συνεχή εγκατάσταση, είναι μη αποτελεσματική λόγω της συχνής διατάραξης του εδάφους.

Η χρήση μυκορριζών θα μπορούσε να αποτελέσει μια εναλλακτική λύση για συμπληρωματική θρέψη των φυτών ακόμη και κάτω από συνθήκες ξηρασίας, αλλά περισσότερο χρήσιμη αποδεικνύεται για τη βιολογική γεωργία όπου απαιτείται μείωση της χρήσης λιπασμάτων.

TRICHODERMA SPP.

Η πρώτη αναφορά στα είδη *Trichoderma* έγινε από τους King and Oudemans (1902), οι οποίοι στην πρώτη τους απομόνωση έδωσαν το όνομα *T. koningii*. Το γένος *Trichoderma* περιλαμβάνει πάνω από 20 είδη με πιο συνήθη τα *T. aureoviride*, *T. longibrachiatum*, *T. harzianum* Rifai, *T. koningii*, *T. hamatum*, *T. piluliferum*, *T. polysporum*, *T. pseudokoningii* και *T. viride*.

Μερικά από αυτά παράγουν ένζυμα και αντιβιοτικά και κάποια έχουν καλή δράση σαν παράγοντες βιολογικού ελέγχου με αποτέλεσμα να είναι οικονομικώς σημαντικά.

Οι μύκητες του γένους *Trichoderma* είναι ευρέως διαδεδομένοι στα εδάφη, ιδιαίτερα στα οργανικά, όπου ζουν σαπροφυτικά ή παρασιτικά πάνω σε άλλους μύκητες. Κάποια πειράματα έδειξαν ότι θα μπορούσαν να χρησιμοποιηθούν και για τη μετασυλλεκτική προστασία των φυτών έναντι των φυτοπαθογόνων μυκήτων.

Πολλοί παράγοντες επηρεάζουν την εγκατάσταση, ανάπτυξη, πολλαπλασιασμό, και δράση των μυκοπαράσιτων αυτών. Από τους πιο σημαντικούς είναι η θερμοκρασία, η υγρασία, η οργανική ουσία, ο ανταγωνισμός και τα απολυμαντικά ευρέως φάσματος.

Ο ανταγωνισμός στα εδάφη από την μικροχλωρίδα είναι έντονος. Η άριστη θερμοκρασία ανάπτυξης για τους μύκητες του γένους *Trichoderma* είναι γύρω στους 25-30°C όμως οι *T. viride* και *T. polysporum* μπορούν να αναπτυχθούν ακόμα και στους 2°C, οι *T. harzianum* και *T. longibrachiatum* δεν αναπτύσσονται κάτω από τους 5°C, ενώ ο *T. pseudokoningii* ξεκινά να αναπτύσσεται γύρω στους 9°C.

Η αναγνώριση του ξενιστή από το μυκοπαράσιτο είναι ένας ακόμα χώρος με αρκετά σκοτεινά σημεία. Τα *Trichoderma* φαίνεται πως μπορούν να ανιχνεύσουν το ξενιστή τους από κάποια απόσταση.

Αν και μειώνουν την ένταση της ασθένειας, τα είδη του γένους *Trichoderma* συχνά αποτυγχάνουν να εγκατασταθούν στη ριζόσφαιρα ή δεν είναι τόσο αποτελεσματικά όσο τα μυκητοκτόνα σαν επικάλυψη σπόρων και γι αυτό διάφορες στρατηγικές έχουν αναπτυχθεί ώστε να βελτιώσουν τη δραστηριότητα και αποτελεσματικότητα τους. Η ωφέλιμη δράση του μυκοπαράσιτου μπορεί προφανώς να ξεπεραστεί κάτω από την υψηλή πίεση της ασθένειας. Στα πειράματα φαίνεται πως ο χρόνος εφαρμογής του μυκοπαράσιτου σε σχέση με το χρόνο εφαρμογής του φυτοπαθογόνου φαίνεται να παίζει κάποιο ρόλο.

Όπως αναφέρθηκε παραπάνω οι περισσότεροι δοκιμασμένοι τρόποι εφαρμογής ενός μυκοπαράσιτου είναι:

- ο εμβολιασμός σπόρων
- η ενσωμάτωση στο μείγμα σποράς
- η ενσωμάτωση στο υπόστρωμα μεταφύτευσης
- η ευρεία εφαρμογή με την μορφή σφαιριδίων στο θερμοκήπιο και το χωράφι
- η εφαρμογή στην γραμμή σποράς και το ριζοπότισμα κατά την μεταφύτευση.

Συστηματική ταξινόμηση

Βασίλειο: Fungi

Διαίρεση: Ascomycota

Υποδιαίρεση: Pezizomycota

Κλάση: Sordariomycetes

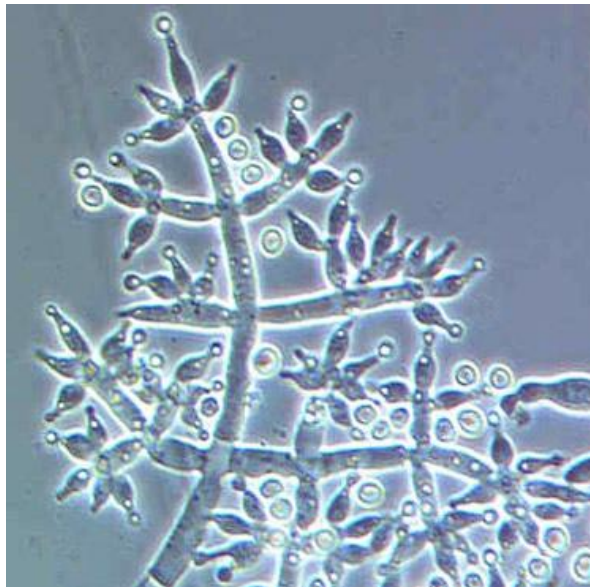
Τάξη: Hypocreales

Οικογένεια: Hypocreaceae

Γένος: Trichoderma

Είδος: *T. harzianum*

Υποείδος: T-22



Εικόνα 3 *Trichoderma harzianum*

Το T-22 ως εμπορικό σκεύασμα

Το T-22 προωθεί την ανάπτυξη και αυξάνει την αντίσταση των φυτών ενάντια σε πιέσεις που προκαλούνται από μη κανονική λίπανση άρδευση και περιβαλλοντολογικές συνθήκες.

Επίσης αυξάνουν την πρόσληψη θετικών στοιχείων. Αυτό μπορεί να αυξήσει την ανάπτυξη του ριζικού συστήματος και των υπέργειων τμημάτων του φυτού. Δεν είναι φυτοπροστατευτικό προϊόν και δεν καταπολεμά καμία ασθένεια ή εχθρό των φυτών.

Συνιστάται για χρήση στην καλλιέργεια λαχανικών, μαλακών φρούτων, βοτάνων, βολβών, καλλωπιστικών φυτών, δενδροκομίας και καλλιέργεια ποωδών και πολυετών φυτών σε θερμοκήπιο ή εκτός και σε χλοοτάπητες.

Το T-22 δίνει καλά αποτελέσματα σε μεγάλο εύρος θερμοκρασιών (10-34 °C),σε εύρος pH (4-8) καθώς και σε διάφορα μέσα ανάπτυξης των φυτών.

BACILLUS SPP.

Οι Βάκιλλοι είναι αερόβια, ραβδόμορφα, Gram-θετικά βακτήρια, με χαμηλή περιεκτικότητα σε G / C. Αυτά είναι ευρέως κατανεμημένα στο έδαφος, στον αέρα και στο νερό, και σχηματίζουν οβάλ ενδοσπόρια, ως συνέπεια να στερούνται περιβαλλοντικές συνθήκες. Αντιπρόσωποι αυτού του γένους, αποτελούνται από περίπου 51 έγκυρα περιγράφοντα είδη, τα οποία χρησιμοποιούνται σε ένα ευρύ φάσμα βιομηχανικών διεργασιών, κυρίως λόγω της ικανότητάς τους να παράγουν εξωκυτταρικά ένζυμα, αντιβιοτικά και εντομοκτόνα, τα οποία εκκρίνουν σε υψηλές συγκεντρώσεις (Koumoutsis, 2007).

Τα βακτήρια που σχετίζονται με τις ρίζες των φυτών και ασκούν τις ευεργετικές επιδράσεις στην ανάπτυξη τους αναφέρονται ως ριζοβακτήρια. Αυτά αποικίζουν ανταγωνιστικά τις ρίζες των φυτών και μπορούν ταυτόχρονα να ενεργούν ως βιολογικά λιπάσματα και ως ανταγωνιστές (βιολογικά φυτοφάρμακα) των αναγνωρισμένων παθογόνων των ριζών, συμπεριλαμβανομένων των βακτηριδίων, των μυκήτων και των νηματωδών. Τα ριζοβακτήρια που προάγουν την ανάπτυξη των φυτών, τα περισσότερα από τα οποία είναι τα *Pseudomonas* και *Bacillus* spp., εφαρμόζονται σε ένα ευρύ φάσμα των γεωργικών ειδών για την ενίσχυση της ανάπτυξης τους, για παράδειγμα, με την προώθηση της παραγωγής σπόρων, την ανάπτυξη βιομάζας των φυτών και τον έλεγχο ασθενειών. Τα ριζοβακτήρια που προάγουν την ανάπτυξη, ανταγωνίζονται τα παθογόνα του εδάφους για εξεύρεση πόρων όπως ο σίδηρος, ή με την παραγωγή αντιβιοτικών ή λυτικών ενζύμων (Chen κ.α., 2007).

Πολλά είδη βακτηρίων του εδάφους που ευδοκιμούν στη ριζόσφαιρα των φυτών, τα οποία μπορούν να αναπτυχθούν μέσα, πάνω και γύρω από τους φυτικούς ιστούς, μπορούν να διεγείρουν την ανάπτυξη των φυτών από μια πληθώρα μηχανισμών. Αυτά τα βακτήρια είναι συλλογικά γνωστά ως PGPR (βακτήρια των ριζών που προωθούν την ανάπτυξη των φυτών). Η αναζήτηση για PGPR και η διερεύνηση των τρόπων δράσης τους αυξάνονται με ταχύ ρυθμό, όπως και οι προσπάθειες για την εκμετάλλευσή τους ως βιολογικά λιπάσματα (Vessey, 2003).

Συστηματική ταξινόμηση

Βασίλειο: Bacteria

Φύλλο: Firmicutes

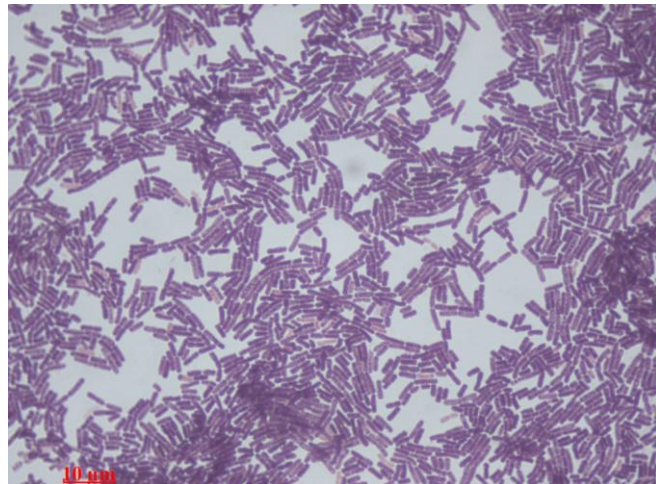
Κλάση: Bacilli

Τάξη: Bacillales

Οικογένεια: Bacillaceae

Γένος: Bacillus

Υποείδος: FZB42



Εικόνα 4 *Bacillus amyloliquefaciens*

Το *Bacillus amyloliquefaciens*

Το βακτήριο *B. amyloliquefaciens* στέλεχος FZB42 το οποίο αποικίζει στις ρίζες του φυτού είναι ένα φυσικώς απαντώμενο προϊόν απομόνωσης, διακρίνεται από το μοντέλο οργανισμό *Bacillus subtilis* 168 από τις ικανότητές του να διεγείρει την ανάπτυξη των φυτών και την καταστολή φυτικών παθογόνων (Chen κ.α., 2007).

ΥΛΙΚΑ ΚΑΙ ΜΕΘΟΔΟΙ

ΣΚΟΠΟΣ ΤΟΥ ΠΕΙΡΑΜΑΤΟΣ

Η παρούσα πειραματική πτυχιακή εργασία, πέρα από βιβλιογραφική ανασκόπηση σχετικά με τη χρήση συμβιωτικών και μη μικροοργανισμών για τη βελτίωση της πρόσληψης νερού από τα φυτά, έχει ως στόχο τη διερεύνηση της επίδρασης συγκεκριμένων ειδών μικροοργανισμών στη συμπεριφορά του χλοοτάπητα υπό συνθήκες υδατικής καταπόνησης. Συγκεκριμένα ελέγχθηκε η απόκριση του χλοοτάπητα στην υδατική καταπόνηση παρουσία 3 ειδών μικροοργανισμών, συμβιωτικών και μη. Τα τρία είδη μικροοργανισμών που χρησιμοποιήθηκαν, κυκλοφορούν ήδη ευρέως ως εμπορικά σκευάσματα και εφαρμόζονται σε διάφορες καλλιέργειες.

Για την αξιολόγηση της απόκρισης των διαφορετικών μεταχειρίσεων στον χλοοτάπητα θα χρησιμοποιηθεί το ξηρό βάρος της κομμένης φυτομάζας του χλοοτάπητα. Επιπλέον θα υπολογιστεί η ανακλώμενη ακτινοβολία από την φυλλική επιφάνεια για την παρακολούθηση δεικτών ανάκλασης που σχετίζονται με την υδατική καταπόνηση και την αξιολόγηση της κατάστασης.

ΓΕΩΓΡΑΦΙΚΗ ΘΕΣΗ

Η πειραματική αξιολόγηση υλοποιήθηκε στον περιβάλλοντα χώρο του κτηρίου του τμήματος Ανθοκομίας – Αρχιτεκτονικής Τοπίου που βρίσκεται στην τεχνόπολη (campus) του ΤΕΙ Ηπείρου, στους Κωστακίους Άρτας.

Ο νομός Άρτας βρίσκεται στο βορειοδυτικό τμήμα της Ελλάδας και ανήκει γεωγραφικά και διοικητικά στην Ήπειρο, καταλαμβάνει το ΝΑ τμήμα της Ηπείρου (Εικόνα 5).



Εικόνα 5 Χάρτης νομού Άρτας (πηγή: Περιφερειακή Ενότητα Άρτας)

Η τεχνόπολη (campus) του ΤΕΙ Ηπείρου, στους Κωστακικούς Άρτας (Εικόνα 6). Η τεχνόπολη έχει μια δομημένη κεντρική περιοχή έκτασης περίπου σαράντα στρεμμάτων, με μέσο υψόμετρο +10,5m, ενώ οι συντεταγμένες κέντρου της εν λόγω περιοχής σε ΕΓΣΑ'87 είναι οι εξής: $X= 235.743,575$ $Y= 4.334.481,659$.



Εικόνα 6 Γενική κάτοψη της περιοχής μελέτης (πηγή: GoogleEarth, 2014)

ΜΕΤΕΩΡΟΛΟΓΙΚΑ – ΚΛΙΜΑΤΙΚΑ ΣΤΟΙΧΕΙΑ

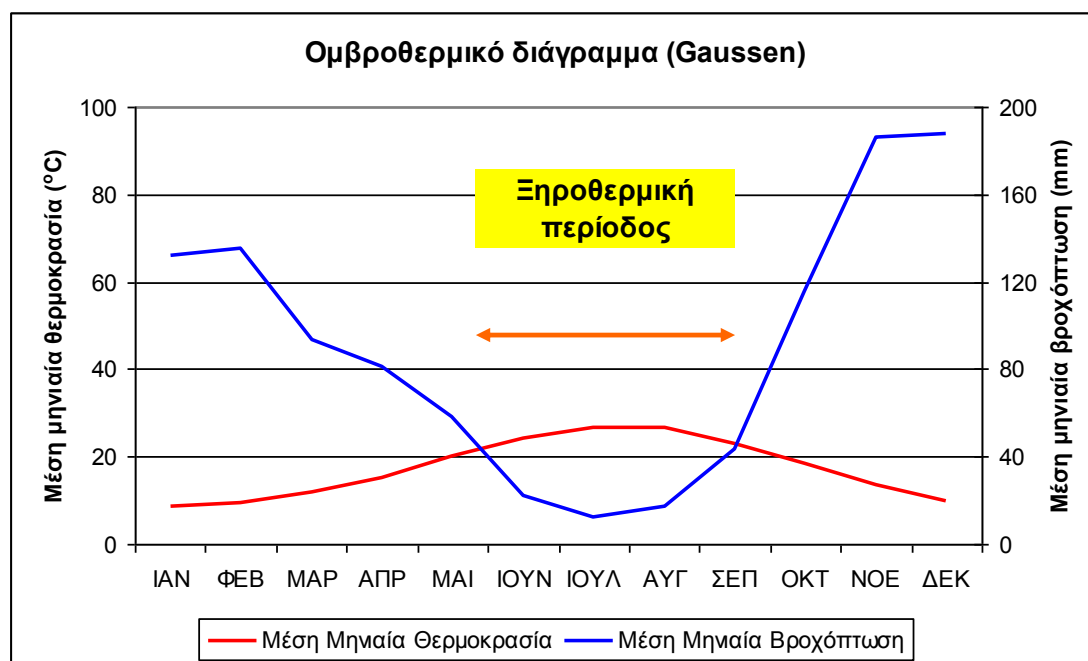
Τα μετεωρολογικά στοιχεία που παρουσιάζονται προέρχονται από την ΕΜΥ (2014) αφορούν τα έτη 1976-1997. Το κλίμα της περιοχής της Άρτας, με ξηρό θέρος, υγρό αλλά όχι ψυχρό χειμώνα χαρακτηρίζεται σαν ήπιο μεσογειακού τύπου.

Τα κλιματικά στοιχεία μιας περιοχής παρουσιάζουν πάντοτε διακυμάνσεις μέσα στον χρόνο, κατά τις οποίες φθάνουν σε απόλυτα μέγιστες και απόλυτα ελάχιστες τιμές. Είναι φυσικό όμως ότι, για να πλησιάζουν τις πραγματικές τιμές, μέσα στις οποίες διακυμαίνεται το στοιχείο αυτό, απαιτείται σειρά μακράς χρονικής περιόδου κλιματικών παρατηρήσεων.

Η γνώση των απόλυτα μέγιστων και ελάχιστων τιμών της θερμοκρασίας έχει μεγάλη σημασία, τόσο από κλιματικής άποψης, όσο και από πρακτικής εφαρμογής.

Η ηλιοφάνεια φθάνει περίπου τις 2500 ώρες το χρόνο. Ο μέσος ετήσιος αριθμός ημερών ηλιοφάνειας ανέρχεται σε 121,1 ημέρες. Απόλυτα ελάχιστες θερμοκρασίες σημειώνονται συνήθως τον Ιανουάριο και οι απόλυτα μέγιστες ξηροθερμικούς μήνες, δηλαδή τον Ιούλιο και τον Αύγουστο.

Σε γενικές γραμμές η ετήσια πορεία της σχετικής υγρασίας ακολουθεί την ετήσια πορεία των βροχών και είναι αντίστροφη σχεδόν με την ετήσια πορεία της θερμοκρασίας και της ηλιοφάνειας. Οι βροχές στην περιοχή διακρίνονται από άνιση κατανομή στην διάρκεια του έτους, χαρακτηριστικό εξάλλου του Μεσογειακού κλίματος. Έτσι διαμορφώνονται δύο τελείως διαφορετικές περίοδοι, μια πολύομβρη από τα μέσα του φθινοπώρου μέχρι τα μέσα της άνοιξης και μια σχεδόν άνομβρη το θέρος. Οι πρώτες βροχές συμβαίνουν συνήθως στα μέσα Σεπτεμβρίου ή αργότερα στα νότια πεδινά. Συνήθως ακολουθεί μια μικρή περίοδος με ηλιόλουστες και σχετικά ζεστές φθινοπωρινές ημέρες, το γνωστό μικρό καλοκαιράκι και από τα μέσα σχεδόν του Οκτωβρίου αρχίζουν οι έντονες και παρατεταμένες βροχές, που διατηρούνται μέχρι τα μέσα της άνοιξης σχεδόν. Από τον Οκτώβριο και μέχρι τον Ιανουάριο οι βροχές είναι άφθονες.



Εικόνα 7 Ομβροθερμικό διάγραμμα για την Άρτα

Όσο αφορά τη σχετική υγρασία, το μέγιστο σημειώνεται συνήθως κατά το Νοέμβριο και τον Δεκέμβριο που επικρατούν υψηλές βροχοπτώσεις και νότιοι άνεμοι. Το ελάχιστο σημειώνεται τον Ιούλιο και τον Αύγουστο. Από τον Ιανουάριο η σχετική υγρασία αρχίζει προοδευτική ελάττωση, η οποία γίνεται

αλματώδης στο δίμηνο Μαΐου και Ιουνίου, και λαμβάνει τις μικρότερες τιμές τον Ιούλιο και τον Αύγουστο. Ο Ιούλιος και ο Αύγουστος διαφέρουν ελάχιστα και από το Σεπτέμβριο αρχίζει αλματώδης άνοδος μέχρι τα τέλη Νοεμβρίου. Κατά το Δεκέμβριο υπάρχει ελαφρά κάμψη της τιμής της υγρασίας και από τον Ιανουάριο αρχίζει προοδευτικά η ελάττωση. Το φαινόμενο δροσιάς παρατηρείται συνήθως την άνοιξη και στις αρχές φθινοπώρου, ενώ της πάχνης από τα μέσα φθινοπώρου μέχρι την αρχή της άνοιξης και ειδικότερα κατά τις πρωινές ώρες. Η ομίχλη παρουσιάζεται συνήθως τους φθινοπωρινούς και χειμερινούς μήνες και κυρίως τις νυχτερινές και πρωινές ώρες.

Ολικοί παγετοί δεν παρατηρούνται στην περιοχή παρά μόνο μερικοί που διαρκούν λίγες ώρες και εμφανίζονται από τον Νοέμβριο μέχρι τον Μάρτιο και κυρίως τον Ιανουάριο με Φεβρουάριο. Οι ημέρες παγετού το χρόνο ανέχονται σε 12,4 κατά μέσω όρο. Ζημιές από παγετούς παρατηρούνται μόνο στα εσπεριδοειδή για τα οποία λαμβάνονται μέτρα προστασίας. Χαλαζόπτωση παρατηρείται σπανίως κατά φθινοπωρινούς μήνες, είναι μικρής διάρκειας και με κόκκους μικρής διαμέτρου.

Στην περιοχή επικρατούν βορειοανατολικοί άνεμοι και η ένταση τους κυμαίνεται από 4,6 μέχρι και 6,5 Beaufort (EMY, 2014).

Με βάση τα δεδομένα της EMY μπορούμε να σχεδιάσουμε το ομβροθερμικό διάγραμμα από το οποίο προκύπτει ότι η ξηροθερμική εκτείνεται από Μάιο έως Σεπτέμβριο (Εικόνα 7).

ΠΕΡΙΓΡΑΦΗ ΠΕΙΡΑΜΑΤΙΚΗΣ ΔΙΑΤΑΞΗΣ

Μεταχειρίσεις

Δοκιμάστηκαν σε σχέση με το μάρτυρα, 3 είδη μικροοργανισμών, οι οποίοι εμβολιάστηκαν στο χλοοτάπητα:

1. μία μυκόρριζα, η *Glomus intraradices*
2. ένα “κατά περίπτωση” συμβιωτικός μύκητας, ο *Trichoderma harzianum* και
3. ένα βακτήριο, το *Bacillus amyloliquefaciens*

Στις μεταχειρίσεις αυτές εφαρμόστηκαν 3 υδατικές καταστάσεις όσο αφορά τη ποσότητα άρδευσης:

1. 100%ΔΥ: Διατήρηση υγρασίας στο 100% της Διαθέσιμης Υγρασίας του εδάφους (ΔΥ = Υδατοικανότητα - Σημείο μόνιμης μάρανσης)

2. 75%ΔΥ: Διατήρηση υγρασίας στο 75% της Διαθέσιμης Υγρασίας του εδάφους
3. 50%ΔΥ: Διατήρηση υγρασίας στο 100% της Διαθέσιμης Υγρασίας του εδάφους

Έτσι προκύπτουν 12 διαφορετικές μεταχειρίσεις. Με 3 επαναλήψεις για κάθε μία, απαιτούνται 36 πειραματικά τεμάχια (plots) αλλά εμείς χρησιμοποιήσαμε 34 λόγω περιορισμών στην υφιστάμενη διάταξη (κάποια στην 100%ΔΥ δεν είχαν 3 επαναλήψεις, αλλά 2), οπότε χρησιμοποιήθηκαν 34 πειραματικά τεμάχια.

Συνοπτικά, το σύνολο των μεταχειρίσεων φαίνεται στο παρακάτω πίνακα (Πίνακας 1):

Πίνακας 1 Το σύνολο των μεταχειρίσεων του πειράματος

Άρδευση 75%ΔΥ	Μάρτυρας	x3	12 πειραματικά τεμάχια
	Glomus intraradices	x3	
	Trichoderma harzianum	x3	
	Bacillus amyloliquefaciens	x3	
Άρδευση 50%ΔΥ	Μάρτυρας	x3	12 πειραματικά τεμάχια
	Glomus intraradices	x3	
	Trichoderma harzianum	x3	
	Bacillus amyloliquefaciens	x3	
Άρδευση 100%ΔΥ	Μάρτυρας	x3	10 πειραματικά τεμάχια
	Glomus intraradices	x3	
	Trichoderma harzianum	x2	
	Bacillus amyloliquefaciens	x2	

Στην (Εικόνα 9) φαίνεται μια σχηματική απεικόνιση του πειράματος και των 34 μεταχειρίσεων ενώ στην (Εικόνα 8) φαίνεται μια άποψη της περιοχής του πειράματος κατά την περίοδο σχεδιασμού του.

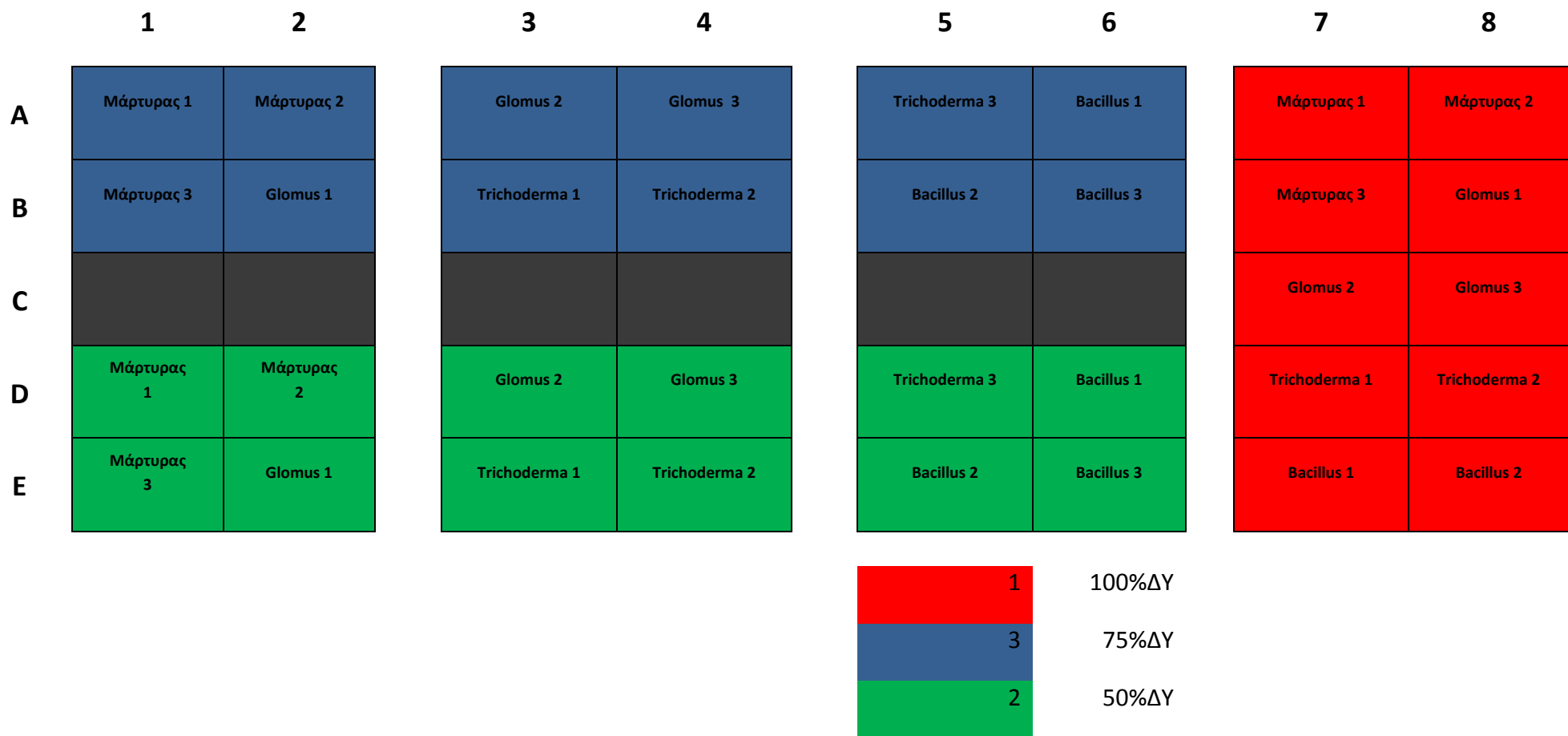
Η πειραματική διάταξη αποτελούταν από μεταλλικές “λεκάνες” βάθους 30 cm και διαστάσεων $2 \times 1 \text{ m}^2$. Κάθε πειραματικό τεμάχιο ήταν και μια επανάληψη της μεταχείρισης. Το πάνω μέρος της διάταξης (μπλε χρώμα) ήταν η μεταχείριση όπου εφαρμόστηκε το 75% της ΔΥ (12 πειραματικά τεμάχια). Το κάτω μέρος της διάταξης (πράσινο χρώμα) ήταν η μεταχείριση όπου εφαρμόστηκε το 50% της ΔΥ (12 πειραματικά τεμάχια). Οι τελευταίες δύο σειρές της διάταξης (κόκκινο χρώμα) ήταν η μεταχείριση όπου εφαρμόστηκε το 100% της ΔΥ (10 πειραματικά τεμάχια).

Κάθε πειραματικό τεμάχιο είχε διαμορφωμένη υπόγεια σύνδεση όπου συλλεγόταν το νερό της απορροής σε ξεχωριστό βαρέλι (Εικόνα 23).

Η κωδικοποίηση και η ονοματολογία των πειραματικών τεμαχίων είναι αυτή που φαίνεται και στην (Εικόνα 9) όπου η οριζόντια γραμμή ονοματίστηκε με τα νούμερα 1 – 8 και η κάθετη γραμμή ονοματίστηκε με τα γράμματα από Α – Ε.



Εικόνα 8 Πανοραμική φωτογραφία του χώρου που πραγματοποιήθηκε το πείραμα



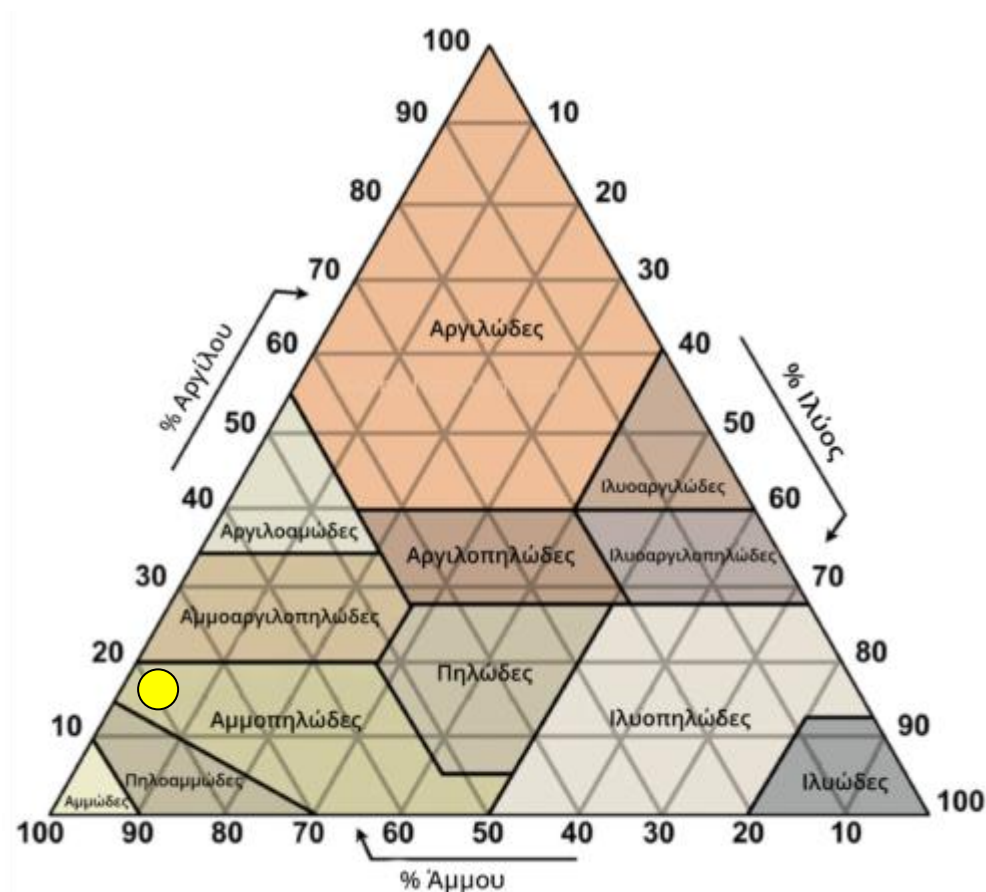
Εικόνα 9 Σχηματική απεικόνιση του πειράματος με όλες τις μεταχειρίσεις

Τύπος εδάφους

Όσον αφορά το υπόστρωμα του πειράματος το οποίο χρησιμοποιήθηκε, ήταν το μίγμα: 85% άμμος, 2% τύρφη και 13% κηπαίο χώμα. Με αυτό το μίγμα γέμισε κάθε πειραματικό τεμάχιο αφού προηγουμένως το μίγμα είχε αναμιχθεί ώστε να εξασφαλιστεί ομοιομορφία. Στο υπόστρωμα αυτό έγινε προσδιορισμός κοκκομετρικής σύστασης και προέκυψε ότι η κλάση του εδάφους είναι η κατηγορία αμμοπηλώδες (Sandy Loam).

Για τέτοια εδάφη αναμένονται:

- Υδατοικανότητα, FC: 18%
- Σημείο μόνιμης μάρανσης, PWP ή WP: 8%
- Διαθέσιμη υγρασία εδάφους, AW: 12%
- Τελική ταχύτητα διήθησης, if : 20-30 mm h⁻¹



Εικόνα 10 Τριγωνικό διάγραμμα για τη μηχανική σύσταση του εδάφους (με κύκλο σημειώνεται η θέση που αντιστοιχεί στο έδαφος που χρησιμοποιήθηκε)

Ποικιλία χλοοτάπητα

Στις 7/5/2014 πραγματοποιήθηκε η σπορά του χλοοτάπητα στα πειραματικά τεμάχια. Χρησιμοποιήθηκε ο σπόρος ποικιλίας *Festuca arundinacea*, Grande II και σπάρθηκε ποσότητα σπόρου 50 g/m².

Πριν τη σπορά, η σποροκλίνη των πειραματικών τεμαχίων διαμορφώθηκε κατάλληλα και η σπορά πραγματοποιήθηκε με το χέρι. Στη συνέχεια εφαρμόστηκε σκέπασμα του σπόρου και κυλίνδρισμα ώστε να έχουμε καλή επαφή του σπόρου με το έδαφος. Ταυτόχρονα εφαρμόστηκε και εντομοκτόνο σε μορφή σκόνης για τη προστασία του σπόρου από τα μυρμήγκια.

Η πρώτη σπορά του χλοοτάπητα άφησε αρκετά κενά σημεία τα οποία έπρεπε να καλυφθούν. Η ύπαρξη αυτών των κενών σημείων οφείλεται τόσο στη δράση των μυρμηγκιών όσο και στις αστοχίες των εκτοξευτήρων του αρδευτικού συστήματος στις πρώτες μέρες όπου το νερό παρέσυρε ανομοιόμορφα τους σπόρους. Για τους παραπάνω λόγους, πραγματοποιήθηκε επανασπορά.



Εικόνα 11 Η εικόνα του πειράματος λίγες μέρες μετά τη σπορά

Η επανασπορά πραγματοποιήθηκε στις 5/6/2014, δηλαδή ένα μήνα μετά τη κύρια σπορά. Συγκεκριμένα χρησιμοποιήθηκαν 30 g σπόρου ποικιλίας *Festuca arundinacea* Grande II ανά m², τα οποία αφού προηγουμένως αναμίχθηκαν με μίγμα άμμου: τύρφης αναλογίας 1:1, εφαρμόστηκαν σε κάθε πειραματικό τεμάχιο ομοιόμορφα και στα πεταχτά. Πριν την επανασπορά έγινε ελαφρύ τσουγκράνισμα των πειραματικών τεμαχίων ώστε να επιτύχουμε τη καλύτερη επαφή του σπόρου με το έδαφος.

Εμβολιασμός του χλοοτάπητα με το μύκητα *Glomus intraradices*

Η πρώτη μόλυνση των αντίστοιχων μεταχειρίσεων με τα σπόρια του μύκητα *Glomus intraradices* πραγματοποιήθηκε την ημέρα της σποράς (αμέσως πριν την εφαρμογή του σπόρου).

Συγκεκριμένα εφαρμόστηκε το εμπορικό σκεύασμα Mycosym Tri-ton (Παρασκευαστής: Mycosym Triton S.L. Riogordo (Malaga), Spain για την Mycosym International A.G. Ελβετία). Εφαρμόστηκαν επιφανειακά 15 g/m² σε κοκκώδη μορφή και η εφαρμογή έγινε ομοιόμορφα. Οι κόκκοι του μολύσματος αναμίχθηκαν με τα πρώτα 2-3 επιφανειακά εκατοστά του εδάφους και εφαρμόστηκαν ομοιόμορφα στην επιφάνεια κάθε πειραματικού τεμαχίου. Ακολούθησε η σπορά του χλοοτάπητα. Η μόλυνση με το μύκητα *Glomus intraradices* δεν επαναλήφθηκε ξανά κατά τη διάρκεια του πειράματος.

Εμβολιασμός του χλοοτάπητα με το μύκητα *Trichoderma harzianum*

Η πρώτη μόλυνση με τα σπόρια του μύκητα *Trichoderma harzianum* (strain T-22) πραγματοποιήθηκε την επομένη μέρα της σποράς. Συγκεκριμένα εφαρμόστηκε το εμπορικό σκεύασμα Trianum-P (Παρασκευαστής: KOPPERTB.V., The Nederland) με ψεκασμό σε κάθε πειραματικό τεμάχιο. Εφαρμόστηκε 1L διαλύματος/m² όπου κάθε λίτρο περιείχε 0,45g σκευάσματος. Το διάλυμα του μολύσματος ψεκάστηκε ομοιόμορφα πάνω από κάθε πειραματικό τεμάχιο (Εικόνα 12).

Η μόλυνση με το μύκητα *Trichoderma harzianum* επαναλήφθηκε μία φορά ανά μήνα που ακολούθησε (Ιούνιος, Ιούλιος, Αύγουστος), δηλαδή άλλες τρεις μολύνσεις, με την ίδια αναλογία μολύσματος, ώστε να εξασφαλιστεί ο σωστός αποικισμός από το μύκητα (Εικόνα 12). Η επανάληψη της μόλυνσης επιβάλλεται και από το κατασκευαστή του εμπορικού σκευάσματος.



Εικόνα 12 Εμβολιασμός των αντίστοιχων πειραματικών τεμαχίων με τους μικροοργανισμούς α) πρώτος εμβολιασμός β) επαναληπτικός εμβολιασμός ενώ η καλλιέργεια είχε αναπτυχθεί

Εμβολιασμός του χλοοτάπητα με το βακτήριο *Bacillus amyloliquefaciens*

Η πρώτη μόλυνση των αντίστοιχων πειραματικών τεμαχίων με τα σπόρια του βακτηρίου *Bacillus amyloliquefaciens* πραγματοποιήθηκε την επομένη της σποράς. Συγκεκριμένα εφαρμόστηκε το εμπορικό σκεύασμα Greener (2,5x10¹⁰cfu/g), (κατασκευάστρια εταιρία: ABITEB GmbH). Η εφαρμογή έγινε με ψεκασμό 1L διαλύματος/m² όπου κάθε λίτρο περιείχε 0,5 ml σκευάσματος. Η μόλυνση επαναλήφθηκε μία φορά ανά μήνα που ακολούθησε (Ιούνιος, Ιούλιος, Αύγουστος), δηλαδή άλλες τρεις μολύνσεις, με την ίδια αναλογία μολύσματος, ώστε να εξασφαλιστεί ο σωστός αποικισμός από το μύκητα. Η επανάληψη της μόλυνσης επιβάλλεται και από το κατασκευαστή του εμπορικού σκευάσματος.



Εικόνα 13 Τα 3 εμπορικά σκευάσματα που χρησιμοποιήθηκαν για τον εμβολιασμό των μικροοργανισμών

ΑΡΔΕΥΤΙΚΟ ΣΥΣΤΗΜΑ ΚΑΙ ΠΡΟΓΡΑΜΜΑ ΑΡΔΕΥΣΗΣ

Αρδευτικό σύστημα

Στο πείραμά μας χρησιμοποιήθηκαν σε καθορισμένες γωνίες εκτοξευτήρες 90° και 180°. Για τις δύο μεταχειρίσεις 50%ΔΥ και 75%ΔΥ χρησιμοποιήθηκαν από 6 εκτοξευτήρες Hunter MPR2000 ενώ για τη μεταχείριση του 100% χρησιμοποιήθηκαν 12 εκτοξευτήρες Hunter 8A Pro. Η διάταξη των εκτοξευτήρων άρδευσης φαίνονται στη σχηματική απεικόνιση του πειράματος (Εικόνα 14)



Εικόνα 14 Hunter 8A Pro και MPR2000

Τα βασικά χαρακτηριστικά του ακροφυσίου Hunter MPR2000 που επιλέχθηκε για τα τμήματα 50% και 75% είναι τα ακόλουθα:

- Χαμηλός ρυθμός καταιονισμού
- Ομοιόμορφος ρυθμός καταιονισμού σε οποιαδήποτε ρύθμιση τόξου ή ακτίνας
- Πολυακτινική εχνολογία που δεν επηρεάζεται από τον άνεμο
- Συνιστώμενη πίεση λειτουργίας: 2.8 bar
- Ρυθμιζόμενη γωνία διαβροχής από 90 ° έως 360 °
- Ακτίνα: 4 έως 6,4 m
- Η ακτίνα μπορεί να μειωθεί μέχρι 25%

Σύμφωνα με τις τεχνικές προδιαγραφές λειτουργίας του πολυακτινικού MPR 2000 σε πίεση 2bar, τα ακροφύσια αναμένεται να έχουν παροχή 1,23lpm για τις 90° και 2,35lpm για τις 180°. Η συνολική παροχή για κάθε σύστημα 6 εκτοξευτήρων είναι 9,62 lpm. Αν κάνουμε τους υπολογισμούς για την

περίπτωση της ακτίνας διαβροχής 2m, προκύπτει ότι η ένταση διαβροχής (PR) είναι $18,04 \text{ mm h}^{-1}$.

Τα βασικά χαρακτηριστικά του ακροφυσίου Hunter 8A Pro που επιλέχθηκε για το τμήμα 100% είναι τα ακόλουθα:

- Έχει οδοντωτές και καθορισμένες άκρες
- Ακτίνα διαβροχής από 2,4m έως 5,2m
- Εύκολη λαβή κορυφής για απλή προσαρμογή
- Σχεδιασμένος για να παράγει μεγαλύτερα σταγονίδια νερού και μεγαλύτερη αντίσταση στον άνεμο
- Χρωματική κωδικοποίηση για εύκολη αναγνώριση
- Ρυθμιζόμενη γωνία διαβροχής από 0° έως 360°
- Συνιστώμενη πίεση λειτουργίας: 2.1 bar

Σύμφωνα με τις τεχνικές προδιαγραφές λειτουργίας του Hunter 8A Pro σε πίεση 2bar, τα ακροφύσια αναμένεται να έχουν παροχή 1,09lpm για τις 90° και 2,13lpm για τις 180° (ακτίνα 2,4m, PR (ένταση εφαρμογής) 46 mm h^{-1}). Η συνολική παροχή για κάθε σύστημα 8 εκτοξευτήρων είναι 12,88 lpm. Αν κάνουμε τους υπολογισμούς για την περίπτωση της ακτίνας διαβροχής 2m, προκύπτει ότι η ένταση διαβροχής είναι $64,40 \text{ mm h}^{-1}$.



Εικόνα 15 Άποψη της πειραματικής διάταξης με τους εκτοξευτήρες Hunter MPR2000

Πρόγραμμα άρδευσης

Η κατάρτιση προγράμματος άρδευσης συνίσταται στον υπολογισμό διάρκειας αρδευτικών γεγονότων και συχνότητας αυτών. Για να γίνουν οι σχετικοί υπολογισμοί πρέπει να εκτιμηθούν οι ανάγκες των φυτών σε νερό, οι φυσικές παράμετροι του εδάφους που σχετίζονται με την κίνηση και την αποθήκευση του νερού καθώς και τα χαρακτηριστικά του συστήματος άρδευσης.

Όσο αφορά την γεωργία, οι ανάγκες των φυτών σε νερό, ο σχετικός προγραμματισμός των αρδεύσεων και η αποτελεσματικότητα των δικτύων άρδευσης έχουν μελετηθεί σε μεγάλη έκταση (τόσο στο εργαστήριο όσο και στον αγρό) για την πλειονότητα των καλλιεργούμενων ειδών. Για το αστικό πράσινο (χώροι πράσινου, νησίδες, πάρκα, γήπεδα κοκ) σχετικές διαδικασίες έχουν ακολουθηθεί κυρίως για τους χλοοτάπητες. Σε κάθε περίπτωση ο συνδυασμός αναγνωρισμένων μεθόδων υπολογισμού εξατμισοδιαπνοής (Allen κ.α., 1998) σε συνδυασμό με φυτικούς συντελεστές για φυτά που χρησιμοποιούνται σε έργα πράσινου (WUCOLS, 2000), μπορούν να δώσουν πολύ καλά αποτελέσματα.

Σύμφωνα με την τυπική προσέγγιση κατάρτισης προγράμματος άρδευσης, η καλλιέργεια θεωρείται ως μία ομοιογενής αρδευτική ζώνη τόσο όσο αφορά τις ανάγκες των φυτών σε νερό όσο και το έδαφος (κλίση, μηχανική κατάσταση). Στο έδαφος μπορούμε να δώσουμε μία μέγιστη δόση σε κάθε άρδευση το μέγεθος της οποίας εξαρτάται από:

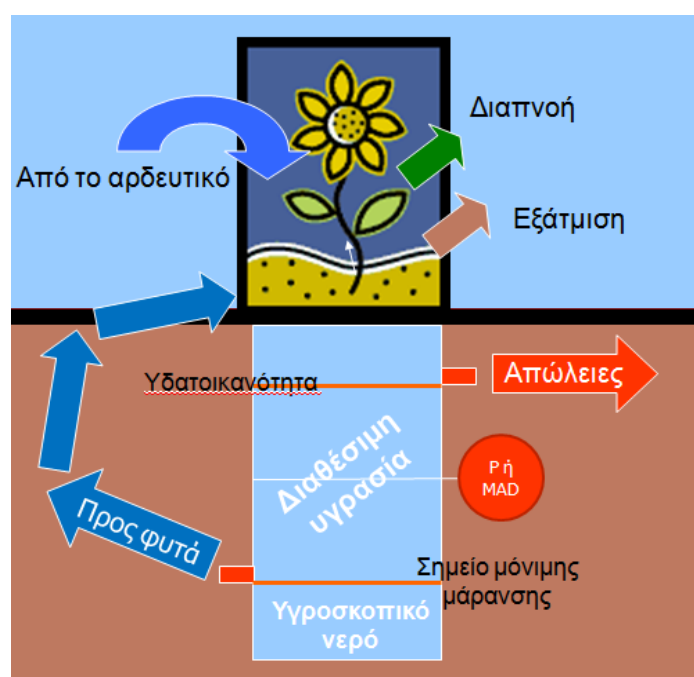
- την υγρασία του εδάφους,
- την καλλιέργεια μέσω του βάθους του ενεργού ριζοστρώματος και το μετά από ποιο ποσοστό εξάντλησης της διαθέσιμης υγρασίας πρέπει να γίνει ξανά άρδευση (δεν την εξαντλούμε ποτέ όλη -το ποσοστό έχει βρεθεί από μελέτες που αφορούν την διατήρηση της παραγωγικότητας στο βέλτιστο- γιατί τότε θα φτάναμε και επικίνδυνα κοντά στο σημείο μόνιμης μάρανσης και θα είχαμε μείωση παραγωγής)

Η δόση αυτή μπορεί να δοθεί με ένα μέγιστο ρυθμό που εξαρτάται από τη διηθητικότητα του εδάφους. Η ποσότητα νερού που χορηγείται στα φυτά σε κάθε άρδευση ονομάζεται δόση άρδευσης. Για να φτάσει στα φυτά η ποσότητα πρέπει συνήθως να ρίξουμε κάτι παραπάνω λόγω του ότι το σύστημα έχει απώλειες (δεν είναι 100% αποτελεσματικό). Από το νερό που είναι διαθέσιμο στα φυτά μετά από κάθε πότισμα ποσότητα ίση με την ημερήσια υδατοκατανάλωση καταναλώνεται κάθε μέρα υπό ιδανικές συνθήκες. Ακόμη θεωρούμε ότι υπάρχει ομοιόμορφη κατανομή των βροχοπτώσεων, η ενεργός ποσότητα νερού των οποίων αφαιρείται από την ημερήσια υδατοκατανάλωση (δηλαδή κάτι σα να βρέχει το μέσο ημερήσιο όρο κάθε ημέρα, βέβαια αυτό δεν μπορεί να συμβεί στην πραγματικότητα, η υπόθεση αυτή μπορεί να παραληφθεί θεωρώντας μηδενική τη βροχόπτωση

κατά τον υπολογισμό του έτσι και αλλιώς θεωρητικού προγράμματος άρδευσης έχοντας κατά νου ότι στην πράξη εάν βρέξει απλά δεν θα γίνει άρδευση -ή χρήση αισθητήρων βροχής-).

Επομένως σε χρονικό διάστημα που ονομάζεται εύρος άρδευσης όλο το νερό που δόθηκε θα έχει καταναλωθεί και πρέπει να ποτίσουμε ξανά. Πολλές φορές το θεωρητικά υπολογισμένο εύρος άρδευσης σε ημέρες δεν είναι πρακτικά εφαρμόσιμο νούμερο π.χ. 2,6 επομένως αποφασίζουμε εμείς κάποιο πρακτικό εύρος (πάντα μικρότερο του θεωρητικού) π.χ. 2. Αν βάζαμε μεγαλύτερο έπρεπε να ρίξουμε μεγαλύτερη δόση εφαρμογής ώστε να καλύπτουν τα φυτά ανάγκες περισσότερων ημερών άρα θα “εκβιάζαμε” το έδαφος να απορροφήσει μεγαλύτερη καθαρή δόση από αυτή που μπορεί ή από την άλλη μπορεί η εδαφική υγρασία να πέσει κάτω από το όριο που θέλουμε, όμως αυτό θα οδηγήσει σε πρόβλημα. Έτσι προκύπτει μία νέα δόση εφαρμογής (που θα είναι μικρότερη από τη θεωρητική).

Αν πολλαπλασιάσουμε την δόση αυτή με την επιφάνεια που αντιστοιχεί σε κάθε στάση έχουμε τον όγκο νερού σε κάθε στάση σε κάθε πότισμα.



Εικόνα 16 Βασικές έννοιες άρδευσης (πηγή Τσιρογιάννης, 2007)

Όσο αφορά το χρόνο που διαρκεί κάθε άρδευση, θέλουμε να χορηγούμε νερό με ένταση όση η τελική ταχύτητα διήθησης (απλοποίηση που μπορεί να γίνει αποδεκτή για πρακτικούς λόγους) επομένως διαιρώντας την ποσότητα νερού κάθε άρδευσης (δα τελική) με την τελική ταχύτητα διήθησης παίρνουμε ως αποτέλεσμα το χρόνο που πρέπει να διαρκέσει η άρδευση. Ο χρόνος αυτός

είναι ουσιαστικά κάτω όριο στον χρόνο άρδευσης, αν χρησιμοποιηθεί μικρότερος χρόνος για να χορηγηθεί το νερό η ένταση διαβροχής θα είναι μεγαλύτερη από το ρυθμό με τον οποίο μπορεί να απορροφήσει νερό το έδαφος και θα είχα επιφανειακή συσσώρευση και επιφανειακή απορροή έστω και με την παραμικρή κλίση (απώλεια νερού).

Ανάλογα με τη συνολική παροχή των εξόδων του συστήματος (γιατί δεν μπορούμε να κάνουμε πρόγραμμα με θεωρητική παροχή) προκύπτει η πραγματική διάρκεια άρδευσης που πρέπει να είναι ίση ή μεγαλύτερη του κάτω ορίου που υπολογίστηκε. Αν δεν είναι, πρέπει να επιλεγούν έξοδοι (εκτοξευτήρες ή σταλάκτες) με μικρότερη παροχή (να δίνουν πιο αργά το νερό).

Αυτό που πρέπει να τονιστεί είναι ότι οι χρόνοι που προκύπτουν είναι ουσιαστικά όρια, το τι θα επιλεγεί στο τέλος έχει να κάνει με τη στρατηγική της άρδευσης. Π.χ. βρίσκουμε εύρος 5 ημέρες και αποφασίζουμε να ποτίζουμε κάθε μέρα (με μικρότερη τελική δόση προφανώς) αυτό μπορεί να οδηγήσει τα φυτά π.χ. γρασίδι στην ανάπτυξη αβαθούς ριζικού συστήματος και να τα κάνει ευάλωτα σε πιθανή ξηρασία.

Στην πολύ απλοποιημένη προσέγγιση που χρησιμοποιήθηκε (Melby, 1995) συμμετέχουν το σύστημα άρδευσης μέσω της έντασης εφαρμογής, το έδαφος μέσω της διηθητικότητας (τελικής ταχύτητας διήθησης) και το φυτό μέσω της εξατμισοδιαπνοής. Τα βασικά μεγέθη του προγράμματος υπολογίζονται με τη βοήθεια των σχέσεων:

- Εβδομαδιαίος χρόνος λειτουργίας συστήματος: $WT = (ET_c / IE) \text{ (mm/εβδομάδα)} / PR \text{ (mm/min)}$, όπου IE η αποτελεσματικότητα του συστήματος άρδευσης που εκτιμάται σε 65-80% για τον καταιονισμό.
- Μέγιστος επιτρεπτός χρόνος λειτουργίας του συστήματος: $RT_{max} = IF \text{ (mm/h)} / PR \text{ (mm/min)}$, όπου IF η διηθητικότητα ή τελική ταχύτητα του εδάφους (εξαρτάται από τον τύπο και την κλίση)
- Συχνότητα άρδευσης: $FR = WT / RT_{max}$

Το RT_{max} είναι ο μέγιστος χρόνος που μπορώ να αρδεύσουμε με αυτή την ταχύτητα εφαρμογής, αν συνεχίσουμε πέραν αυτού θα αρχίσει ο σχηματισμός επιφανειακής στρώσης νερού και απορροή κατά την κλίση του εδάφους.

Προφανώς πρέπει:

- η εβδομαδιαία διάρκεια λειτουργίας για κάλυψη των αναγκών να έχει κάποιο λογικό άνω όριο,
- η μέγιστη επιτρεπτή διάρκεια ενός αρδευτικού γεγονότος να μην είναι πολύ μικρή και

- οι συστάσεις σχετικά με διάρκεια και συχνότητα άρδευσης πρέπει να είναι διαθέσιμες στις επιλογές του προγραμματιστή που θα χρησιμοποιηθεί.

Σύμφωνα με την μέθοδο απλοποιημένου σχεδιασμού αρδευτικών συστημάτων πράσινου (Melby, 1995) αφού υπολογιστούν οι εβδομαδιαίες ανάγκες σε νερό με κάποια αναγνωρισμένη μεθοδολογία, το επόμενο βήμα είναι να υπολογίσουμε την ταχύτητα εφαρμογής του συστήματος. Για να βρούμε για πόσο χρόνο πρέπει να αρδεύουμε σε εβδομαδιαία βάση για να καλύψουμε τις ανάγκες αυτές διαιρούμε τις εβδομαδιαίες ανάγκες σε νερό με την ταχύτητα εφαρμογής του συστήματος. Στη συνέχεια εκτιμάται η μέγιστη διάρκεια κάθε άρδευσης (σχετίζεται με την ταχύτητα εφαρμογής και την διηθητικότητα). Τέλος υπολογίζεται η συχνότητα, πόσες αρδεύσεις την εβδομάδα θα χρειαστούν. Αν η διαθέσιμη παροχή ή η πίεση δεν επαρκούν για την λειτουργία όλου του συστήματος (αρδευτικής ζώνης) ταυτόχρονα θα πρέπει αυτό να χωριστεί σε στάσεις.

Για τον υπολογισμό της εξατμισοδιαπνοής αναφοράς χρησιμοποιήθηκε η μέθοδος Hargreaves (**Εξίσωση 1**, Allen κ.α., 1998) με χρήση των ιστορικών κλιματικών δεδομένων της ΕΜΥ. Η μέθοδος αυτή προτείνεται για χρήση όταν δεν υπάρχουν διαθέσιμα δεδομένα σχετικά με την ηλιακή ακτινοβολία, την σχετική υγρασία, την ταχύτητα του ανέμου και θα πρέπει αυτά να εκτιμηθούν μέσω υπολογιστικών προσεγγίσεων.

Εξίσωση 1 Μέθοδος Hargreaves για την εκτίμηση της ETo

$$ETo = 0,0023 \times (T_{mean} + 17,8) \times (T_{max} - T_{min})^{0.5} \times Ra$$

όπου ETo και Ra σε mm day⁻¹ και T σε °C

Για να φτάσουμε στην λύση της εξίσωσης χρησιμοποιήσαμε τα δεδομένα του παρακάτω πίνακα (Πίνακας 2).

Πίνακας 2 Εκτίμηση εξατμισοδιαπνοής αναφοράς με βάση τη μέθοδο Hargreaves

Μήνας	Θερμοκρασίες περιόδου αναφοράς (π.χ. μήνα)			Υπολογισμός ακτινοβολίας για χαρακτηριστική ημέρα της περιόδου αναφοράς		Βροχόπτωση	Εξατμισοδιαπνοή αναφοράς
	Αριθμός ημέρας	Tmin (°C)	Tmax (°C)	Tmean (°C)	Ra (mm day ⁻¹)	Rain (mm/month)	ETo (mm day ⁻¹)
Ιουν	162	17,30	29,10	24,00	41,73	21,80	5,62
Ιουλ	199	19,50	31,80	26,50	40,55	12,60	5,91
Αυγ	229	19,90	32,00	26,50	36,45	17,20	5,27

Για να βρούμε την εξατμισοδιαπνοή του χλοοτάπητα για κάθε ένα από τους 3 μήνες, πολλαπλασιάζουμε την εξατμισοδιαπνοή αναφοράς (Πίνακας 2) με τον κατάλληλο συντελεστή τοπίου (WUCOLS, 2000). Οι συντελεστές μικροκλίματος (k_{mc}), πυκνότητας (k_d) και φυτού (k_s) εκτιμήθηκε ότι έχουν τιμές 1, 1 και 0,8 αντίστοιχα. Επομένως η μέση ημερήσια εξατμισοδιαπνοή χλοοτάπητα εκτιμάται σε 4,50, 4,73 και 4,22 mm d⁻¹ για τον Ιούνιο, τον Ιούλιο και τον Αύγουστο αντίστοιχα.

Ο Πίνακας 3 παρουσιάζει τους υπολογισμούς που έγιναν σχετικά με το πρόγραμμα άρδευσης για το τμήμα 100%. Για τους κρίσιμους μήνες αποφασίστηκε συχνότητα άρδευσης 2 ημερών και με βάση αυτή η διάρκεια άρδευσης είναι 15min. Για την περίοδο της άνοιξης (Απρίλιος-Μάιος) του φθινοπώρου (Σεπτέμβριος-Οκτ) εκτιμάται ότι μπορεί να εφαρμοστεί μείωση διάρκειας (water budget) της τάξης του 60%. Τα αποτελέσματα της συγκεκριμένης μείωσης δεν παρουσιάζονται στο πλαίσιο αυτής της πτυχιακής.

Αντίστοιχα ο Πίνακας 4 παρουσιάζει τους υπολογισμούς που έγιναν σχετικά με το πρόγραμμα άρδευσης για τα τμήματα 75% και 50%. Για τους κρίσιμους μήνες αποφασίστηκε συχνότητα άρδευσης 2 ημερών και με βάση αυτή η διάρκεια άρδευσης είναι 50 min.

Πίνακας 3 Κατάρτιση προγράμματος άρδευσης μεταχείρισης 100%

Μήνας	Παροχή στάσης αρδευτικού συστήματος Q (l/min)	Ένταση εφαρμογής (mm/h)	Απαιτούμενη εβδομαδιαία διάρκεια άρδευσης (min/week)	Μέγιστη διάρκεια κάθε άρδευσης (min)	Αριθμός εβδομαδιαίων αρδεύσεων	Πρακτικό αριθμός εβδομαδιαίων αρδεύσεων	Διάρκεια άρδευσης (min)
Απρ	12,88	64,40	30	22	1,36	3,5	8,57
Μαϊ	12,88	64,40	41	22	1,86	3,5	11,71
Ιουν	12,88	64,40	49	22	2,23	3,5	14,00
Ιουλ	12,88	64,40	51	22	2,32	3,5	14,57
Αυγ	12,88	64,40	46	22	2,09	3,5	13,14
Σεπ	12,88	64,40	35	22	1,59	3,5	10,00
Οκτ	12,88	64,40	22	22	1,00	3,5	6,29

Πίνακας 4 Κατάρτιση προγράμματος άρδευσης μεταχειρίσεων 75% και 50%

Μήνας	Παροχή στάσης αρδευτικού συστήματος Q (l/min)	Ένταση εφαρμογής (mm/h)	Απαιτούμενη εβδομαδιαία διάρκεια άρδευσης (min/week)	Μέγιστη διάρκεια κάθε άρδευσης (min)	Αριθμός εβδομαδιαίων αρδεύσεων	Πρακτικό αριθμός εβδομαδιαίων αρδεύσεων	Διάρκεια άρδευσης (min)
Απρ	9,62	18,04	107	77	1,39	3,5	30,57
Μαϊ	9,62	18,04	146	77	1,90	3,5	41,71
Ιουν	9,62	18,04	175	77	2,27	3,5	50,00
Ιουλ	9,62	18,04	184	77	2,39	3,5	52,57
Αυγ	9,62	18,04	164	77	2,13	3,5	46,86
Σεπ	9,62	18,04	123	77	1,60	3,5	35,14
Οκτ	9,62	18,04	78	77	1,01	3,5	22,29



Εικόνα 17 α) Προγραμματιστής Orbit (εσωτερικός των 4 στάσεων και β) Αισθητήρας βροχής

Στο αρδευτικό σύστημα τοποθετήθηκε και αισθητήρας βροχής (Εικόνα 17). Ο αισθητήρας, ρυθμίστηκε στα 13mm ύψος βροχής και συνδεόταν σε ειδική θέση στον προγραμματιστή άρδευσης ώστε να αναστέλλει την αυτόματη λειτουργία ποτίσματος σε περίπτωση που το ύψος της βροχής ξεπεράσει το όριο ύψους βροχής που είχε οριστεί.

ΣΥΣΤΗΜΑΤΑ ΜΕΤΡΗΣΗΣ ΠΑΡΑΜΕΤΡΩΝ ΑΞΙΟΛΟΓΗΣΗΣ

Μετεωρολογικός σταθμός θερμοκηπίου ΤΕΙ, Δ. Σάββας

Ο μετεωρολογικός αυτός σταθμός βρίσκεται δίπλα στο χώρο όπου έγιναν οι αξιολογήσεις και διαθέτει πυρανόμετρο, θερμόμετρο, υγρασιόμετρο, ανεμόμετρο και βροχόμετρο. Οι παράμετροι καταγράφονται ανά 30min.

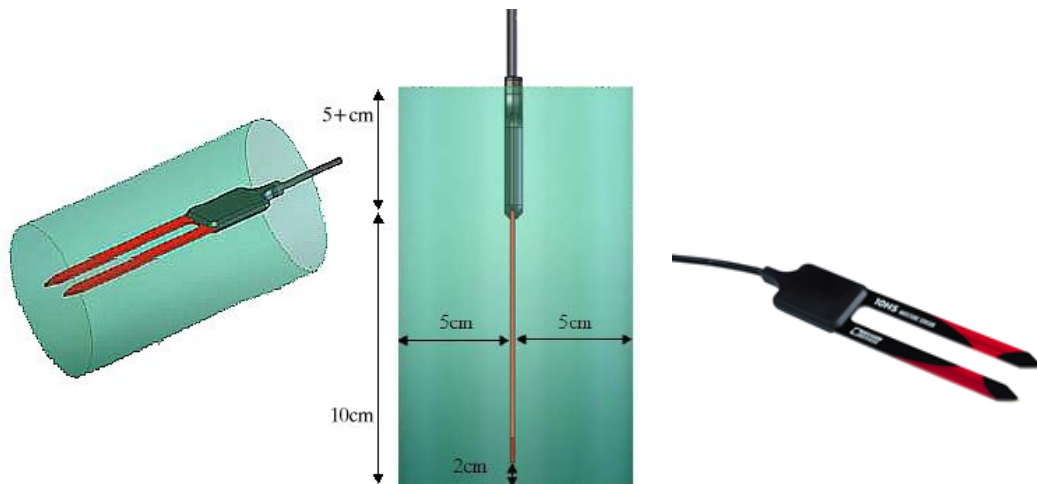


Εικόνα 18 Μετεωρολογικός σταθμός

Μέτρηση υγρασίας εδάφους

Κατά τη διάρκεια του πειράματος ελεγχόταν η πορεία της εδαφικής υγρασίας των πειραματικών τεμαχίων. Τοποθετήθηκαν μόνιμοι αισθητήρες υγρασίας εδάφους 10HS (Decagon devices, USA) σε επιλεγμένα πειραματικά τεμάχια κάθε μεταχείρισης. Τοποθετήθηκαν συνολικά 7 αισθητήρες υγρασίας εδάφους 10HS οι οποίοι λάμβαναν μετρήσεις υγρασίας ανά 30min σε βάθος 15cm. Το σχέδιο στο οποίο φαίνονται τα πειραματικά τεμάχια στα οποία τοποθετήθηκαν οι αισθητήρες φαίνεται στην Εικόνα 20.

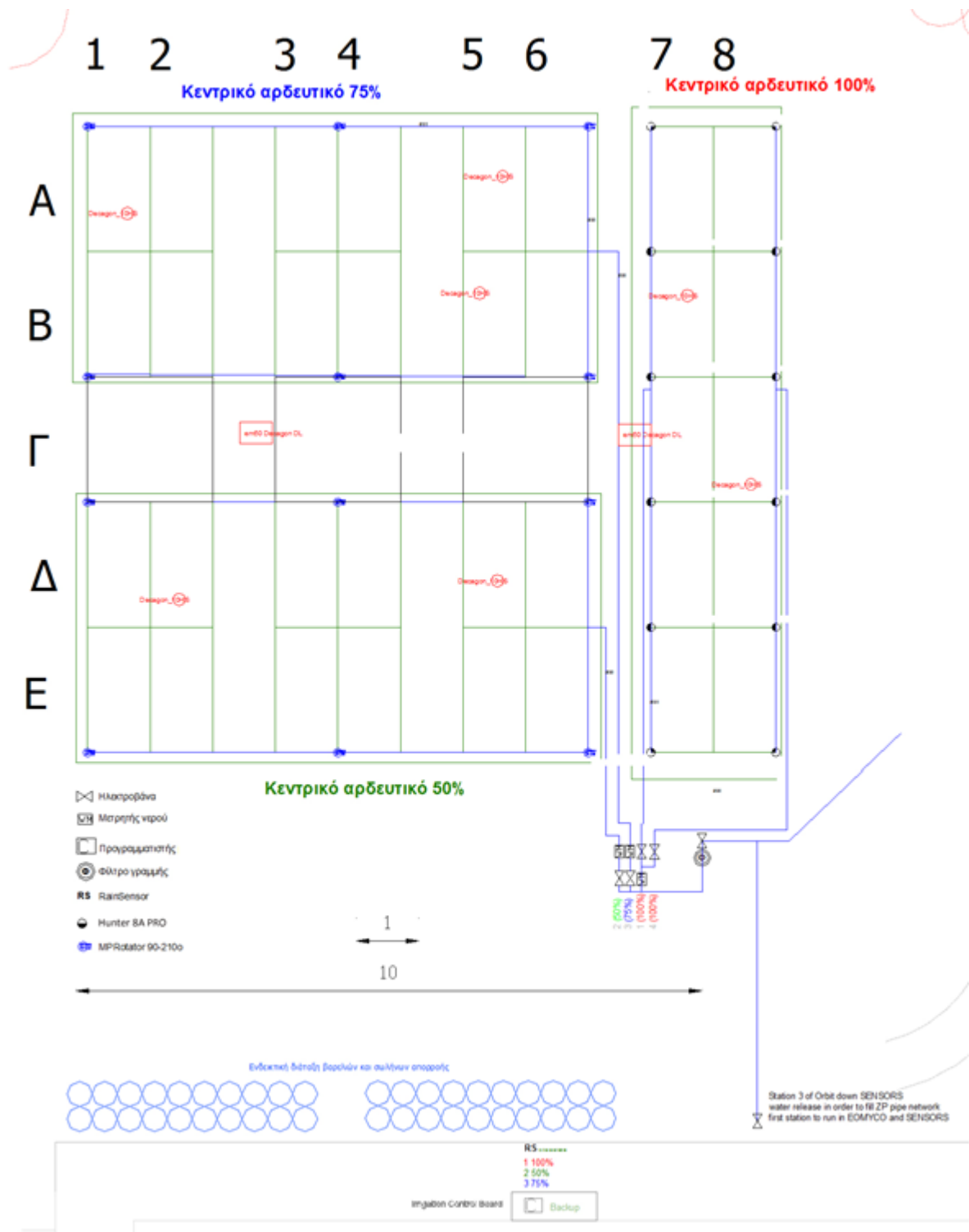
Ο αισθητήρας 10HS (Decagon devices, USA) είναι ένα όργανο μέτρησης διηλεκτρικής μέτρησης (τεχνολογίας Frequency Domain (FD) και ειδικότερα Frequency Domain Reflectometry (FDR)) που χρησιμοποιείται ευρέως για την μέτρηση της περιεχομένου υγρασίας σε εδάφη (Decagon, 2009). Ο όγκος μέτρησης του οργάνου είναι αρκετά μεγάλος, της τάξης των 1300 cm³).



Εικόνα 19 Γεωμετρικά χαρακτηριστικά και περιοχή δείγματος του 10 HS (Decagon, 2009)

Εξαιτίας ακριβώς του μεγάλου όγκου της περιοχής δείγματος ο κατασκευαστής δεν προτείνει τον αισθητήρα αυτό για υποστρώματα υδροπονίας ή μικρά δοχεία ή γενικά όπου δεν υπάρχουν διαθέσιμοι μεγάλοι όγκοι υποστρώματος (Decagon, 2009). Από την άλλη ο αισθητήρας έχει πολύ καλή συμπεριφορά σε υποστρώματα όπου η ομοιογένεια αποτελεί πρόβλημα.

Σύμφωνα με την Decagon (2009) η χρήση των γενικών μοντέλων για mineral organic εδάφη με τα οποία είναι εξ 'αρχής εφοδιασμένο το σύστημα μέτρησης (πολυώνυμα 2^{ου} βαθμού) δίνει ακρίβεια της τάξης του $\pm 0,03$ με $\pm 0,03 \text{ m}^3 \text{ m}^{-3}$ για εδάφη και $\pm 0,05 \text{ m}^3 \text{ m}^{-3}$ για υποστρώματα. Η βαθμονόμηση για το κάθε συγκεκριμένο υπόστρωμα μπορεί να βελτιώσει την ακρίβεια έως και τα επίπεδα του $\pm 0,01$ με $\pm 0,02 \text{ m}^3 \text{ m}^{-3}$.



Εικόνα 20 Σχέδιο απεικόνισης της πειραματικής κατασκευής στο οποίο φαίνονται τα σημεία στα οποία τοποθετήθηκαν οι αισθητήρες 10HS

Οι αισθητήρες αυτοί ήταν συνδεδεμένοι με καταγραφικό Decagon Em50. (Εικόνα 21). Ο Em50 μπορεί να δεχθεί έως και 5 αισθητήρες. Λειτουργεί με απλές αλκαλικές μπαταρίες, οι οποίες διαρκούν έως και 6 – 10 μήνες. Συνοδεύεται από λογισμικό προγραμματισμού και μεταφοράς των μετρήσεων VP-3.



Εικόνα 21 Καταγραφικό Decagon Em50

Υδρόμετρα (ρολόγια μέτρησης νερού)

Χρησιμοποιήθηκαν υδρόμετρα ριπής 1" (ρολόγια μέτρησης νερού) για την μέτρηση της συνολικής κατανάλωσης του καθ' όλη τη διάρκεια του πειράματος.



Εικόνα 22 Υδρόμετρα

Η μέτρηση της κατανάλωσης του νερού σε m^3 γινόταν με τη περιοδική καταγραφή των ενδείξεων των παροχόμετρων του αρδευτικού δικτύου. Στη πειραματική διάταξη υπήρχαν συνολικά τρία παροχόμετρα, ένα για κάθε μεταχείριση άρδευσης (100%, 75%, 50%) (Εικόνα 22). Με τον τρόπο αυτό προσδιορίστηκε η καθημερινή κατανάλωση νερού σε λίτρα για κάθε μεταχείριση.

Εκτίμηση όγκου νερού απορροής

Ο υπολογισμός του νερού απορροής κάθε πειραματικού τεμαχίου γινόταν με τη μέτρηση του ύψους της στάθμης του νερού που συλλεγόταν σε κάθε βαρέλι με το οποίο είναι συνδεδεμένο κάθε πειραματικό τεμάχιο. Η μέτρηση αυτή πραγματοποιούνταν μία φορά την εβδομάδα.

Σημειώνεται ότι μία σειρά από προβλήματα στο σύστημα συλλογής απορροής δεν επέτρεψε την καταγραφή αξιόπιστων στοιχείων όσο αφορά τον όγκο του νερού στα βαρέλια.



Εικόνα 23 α) Τα βαρέλια απορροής β) Το σημείο που ξεκινούσε το λάστιχο απορροής του plot και κατέληγε στο αντίστοιχο βαρέλι απορροής

ΠΟΣΟΤΙΚΗ & ΠΟΙΟΤΙΚΗ ΑΞΙΟΛΟΓΗΣΗ ΧΛΟΟΤΑΠΗΤΑ

Κοπές και ξηρό βάρος για αξιολόγηση ανάπτυξης

Καθ' όλη τη διάρκεια του πειράματος έγιναν κοπές και μετρήσεις ξηρού βάρους του χλοοτάπητα για την αξιολόγηση της ανάπτυξης του. Στις παρακάτω εικόνες φαίνεται ο εξοπλισμός με τα οποία γίνεται η κοπή του χλοοτάπητα (Εικόνα 24).



Εικόνα 24 Εξοπλισμός κοπής χλοοτάπητα

Αφού έγινε η σωστή εγκατάσταση του χλοοτάπητα και απέκτησε την ενδεδειγμένη πυκνότητα και ύψος, άρχισε να γίνεται και η κοπή του ανά δεκάημερο. Συγκεκριμένα σε κάθε κούρεμα του χλοοτάπητα γινόταν και δειγματοληψία της φυτομάζας από κάθε πειραματικό τεμάχιο.

Η δειγματοληψία πραγματοποιούνταν με τη βοήθεια ενός ειδικού μεταλλικού πλαισίου διαστάσεων 30 x 30 cm το οποίο οριοθετούσε το δείγμα μας (επιφάνεια δείγματος 0,9 m²) και το ύψος της κοπής του να είναι πάνω από τα 4,5 cm (Εικόνα 24). Η κοπή του δείγματος γινόταν με ένα ηλεκτρονικό μπορντουροψάλιδο. Στη συνέχεια η λήψη του δείγματος γινόταν με τη βοήθεια μιας ηλεκτρικής σκούπας η οποία και συνέλλεγε τη κομμένη φυτομάza. Τέλος το δείγμα ζυγιζόταν (νωπό βάρος) και τοποθετούνταν στο πυραντήριο στους 70 °C για 48 τουλάχιστον ώρες. Μετά τη ξήρανση παίρναμε το τελικό ξηρό βάρος κάθε δείγματος.

Κατά τη διάρκεια του πειράματος πραγματοποιήθηκαν 5 κοπές – δειγματοληψίες ανά 10ήμερο, για το χρονικό διάστημα από 22/7/2014 έως 1/9/2014.

Εκτίμηση ποιότητας χλοοτάπητα μέσω μετρήσεων από απόσταση και χρήση αντικειμενικών δεικτών

Η πιο συχνά χρησιμοποιούμενη προσέγγιση εκτίμησης της ποιότητας του χλοοτάπητα που συναντάμε στη βιβλιογραφία είναι η οπτική αξιολόγηση από ειδικούς. Μέσω αυτής εκτιμάται η πυκνότητα, η υφή και το χρώμα και βαθμολογούνται σε κλίμακα από 1 έως 9 (τέλειο). Η αξιολόγηση αυτή γίνεται με βάση το πρωτόκολλο που έχει αναπτυχθεί από το National Turfgrass Evaluation Program (NTEP) (Morris και Shearman, 2008). Σύμφωνα με πολλούς ερευνητές η αξιολόγηση περιέχει μεγάλη δόση υποκειμενικότητας και για το λόγο αυτό είναι απαραίτητη η ανάπτυξη αντικειμενικών μεθόδων. Στο πλαίσιο αυτό αναπτύχθηκε μία σειρά από μεθόδους που σχετίζονται με την ακτινοβολία που εκπέμπεται ή ανακλάται από την φυτική επιφάνεια. Η τελευταία κατηγορία είναι ευκολότερη στην εφαρμογή και για το λόγο αυτό έχει βρει μεγαλύτερη απήχηση. Σε αυτή ανήκουν τεχνικές που ξεκινούν από την χρήση ανάκλασης σε ορισμένα μήκη κύματος έως τεχνικές που χρησιμοποιούν κοινές ψηφιακές φωτογραφίες.

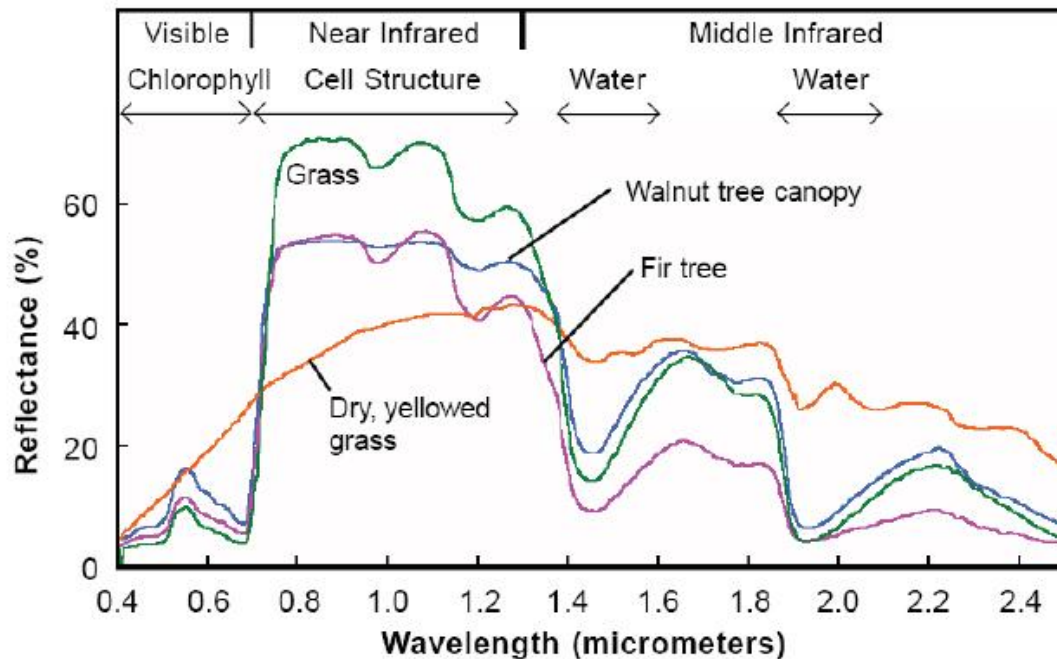
Στη συνέχεια θα γίνει αναφορά σε τεχνικές με χρήση ανάκλασης σε δύο ορισμένα μήκη κύματος μια και είναι η προσέγγιση που χρησιμοποιήθηκε στο πλαίσιο του συγκεκριμένου πειράματος.

Ανάκλαση ακτινοβολίας από τα φυτά

Όταν το ηλιακό φως προσπίπτει σε μία φυλλική επιφάνεια, ένα μέρος του ανακλάται (reflected), ένα άλλο μέρος διαπερνά (transmitted) τα φύλλα και ένα τρίτο μέρος απορροφάται (absorbed) από τα φύλλα. Η καταγραφή της ηλεκτρομαγνητικής ενέργειας που ανακλάται ή εκπέμπεται από μία εκτεταμένη επιφάνεια μέσω εναέριων αισθητήρων περιγράφεται με τον γενικό όρο τηλεπισκόπηση (remote sensing).

Η ανάκλαση από μία φυτική επιφάνεια επηρεάζεται από το σύνολο των φυσικών, βιολογικών, υδρολογικών και λοιπών ιδιοτήτων της. Σύμφωνα με τους Thenkabail κ.α. (2000), η ανάκλαση στην περιοχή του φάσματος μεταξύ 300 και 1050nm παρέχει σημαντικούς δείκτες για την καταγραφή φυσιολογικών ιδιοτήτων των φυτών και κυρίως του δείκτη φυλλικής επιφάνειας, του ποσοστού κάλυψης του εδάφους, της βιομάζας και του νωπού και ξηρού βάρους.

Οι αισθητήρες μέτρησης της ανάκλασης που τοποθετούνται πάνω από μία φυλλική επιφάνεια λαμβάνουν προφανώς το σύνολο της ακτινοβολίας που ανακλάται και εκπέμπεται υπό όλες αυτές τις επιδράσεις και κάθε συνδυασμός φυτού – καλλιεργητικής τεχνικής μπορεί να έχει μία χαρακτηριστική υπογραφή που επιτρέπει την αναγνώρισή του (Εικόνα 25).



Εικόνα 25 Φάσμα ανάκλασης από φυτικές επιφάνειες διαφορετικού τύπου καθώς και από φύλλα υπό μάρανση (Smith, 2001)

Επειδή η ηλιακή ακτινοβολία μεταβάλλεται με το χρόνο και τις ατμοσφαιρικές συνθήκες, η ανάκλαση σε ένα μήκος κύματος είναι χρήσιμη μόνο για τον εντοπισμό περιοχών του φάσματος που σχετίζονται με την υδατική κατάσταση και όχι για το χαρακτηρισμό μίας φυτικής επιφάνειας. Το πρόβλημα αυτό μπορεί να ξεπεραστεί με το συνδυασμό δεδομένων από δύο ή περισσότερα μήκη κύματος σχηματίζοντας με τον τρόπο αυτό φυτικούς φασματικούς δείκτες.

$$\frac{R_{\text{###}nm}}{R_{\text{$$$nm}}} \quad \frac{R_{\text{###}nm} - R_{\text{$$$nm}}}{R_{\text{###}nm} + R_{\text{$$$nm}}}$$

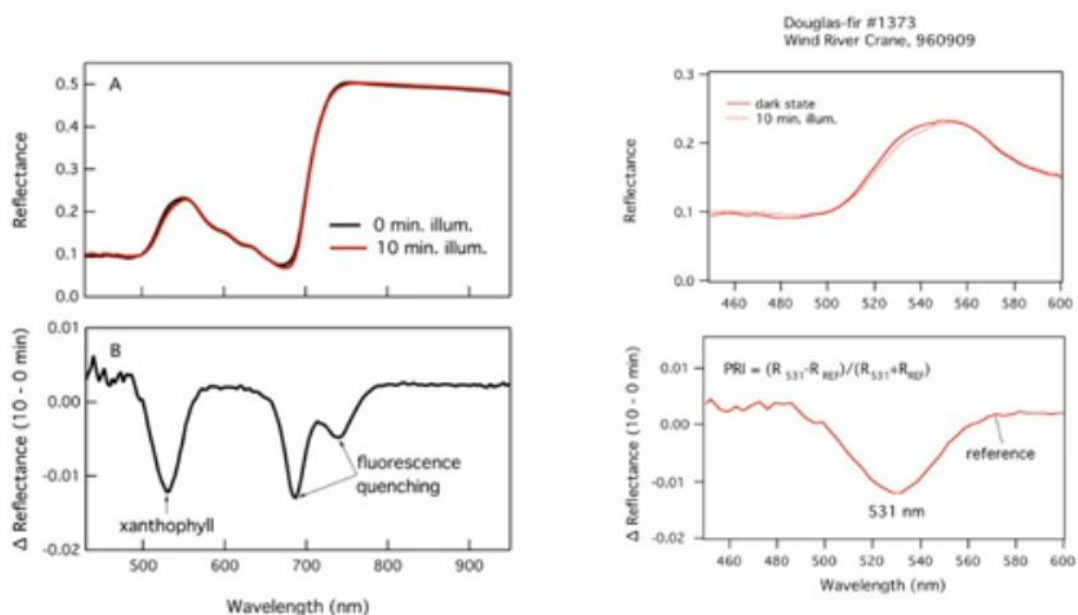
Εξίσωση 2 Βασικές μορφές φασματικών φυτικών δεικτών

Οι Zalaluk και Sri Ranjan (2008) κατηγοριοποίησαν τις βασικές μορφές φασματικών δεικτών που χρησιμοποιούνται και για την εκτίμηση της υδατικής καταπόνησης:

- οι απλοί λόγοι (simple ratios) είναι το πηλίκο της ανάκλασης σε δύο μήκη κύματος,

- οι κανονικοποιημένες διαφορές (normalized difference vegetation indices) υπολογίζονται διαιρώντας την διαφορά στην ανάκλαση σε δύο μήκη κύματος με το άθροισμα αυτών.

Οι Gamon κ.α. (1992) ανέπτυξαν ένα δείκτη ο οποίος 20 σχεδόν έτη μετά έχει φθάσει να αξιοποιείται σε πραγματικές συνθήκες Gamon (2014). Ο δείκτης αυτός ονομάζεται PRI (Photochemical Reflectance Index¹) και αποτελεί ένα μέσο για την καταγραφή της φωτοσυνθετικής δραστηριότητας και της φυτό υγειονομικής κατάστασης αειθαλών φυτικών επιφανειών. Ο δείκτης αυτός χρησιμοποιεί μετρήσεις του ποσοστού ανάκλασης του ηλιακού φωτός στα μήκη κύματος 531 και 570nm (και τα δύο εντός του ορατού και μάλιστα στην περιοχή του πράσινου) από τα οποία το πρώτο είναι πολύ ευαίσθητο στη φωτοσυνθετική δραστηριότητα ενώ το δεύτερο χαρακτηρίζει το τέλος της περιοχής επίδρασης και για αυτό χρησιμοποιείται ως αναφορά, $PRI = (R_{531} - R_{570}) / (R_{531} + R_{570})$. Η επιλογή των συγκεκριμένων έγινε μετά από θεωρητική ανάλυση της φυσιολογίας των φυτών και μακροχρόνιες πειραματικές δοκιμές (Εικόνα 26). Πολλοί ερευνητές χρησιμοποιούν το δείκτη με $R_{570} - R_{531}$ στον αριθμητή ώστε να μην λαμβάνει αρνητικές τιμές (Gamon, 2014).



Εικόνα 26 Πειραματικές πληροφορίες στο πλαίσιο ανάπτυξης του PRI (Gamon, 2014)

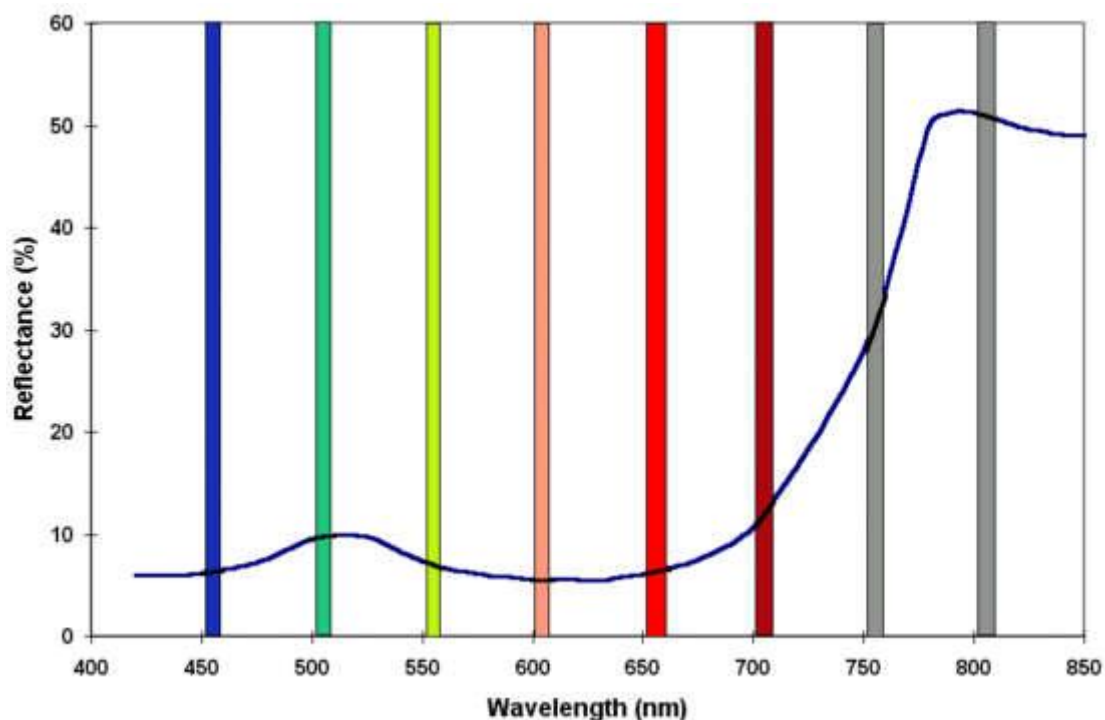
¹ Το ακρωνύμιο PRI χρησιμοποιείται από άλλους ερευνητές για τους όρους Physiological Reflectance Index

Άλλοι ερευνητές έχουν χρησιμοποιήσει για τον ίδιο σκοπό άλλα μήκη κύματος εντός της ίδιας περιοχής με την ίδια λογική, π.χ. οι Penñelas κ.α. (1994) χρησιμοποίησαν το ποσοστό ανάκλασης στα μήκη κύματος 530 και 550nm.

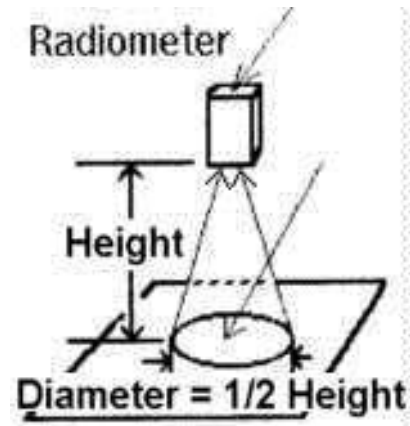
Φορητό πολυφασματικό ραδιόμετρο

Για την μέτρηση της ανακλώμενης ακτινοβολίας από την επιφάνεια του χλοοτάπητα χρησιμοποιήθηκε ένα φορητό πολυφασματικό ραδιόμετρο (MSR87, CropScan Inc., Rochester, USA) το οποίο μετρά σε 8 στενές (10nm) φασματικές λωρίδες κεντραρισμένες στα ακόλουθα μήκη κύματος (σε nm): 460, 510, 560, 610, 660, 710, 760 και 810 (Εικόνα 27).

Το όργανο αποτελείται από τον αισθητήρα, τη ράβδο προσάρτησης του αισθητήρα, το πληκτρολόγιο ελέγχου και τον υπολογιστή – καταγραφικό. Χαρακτηριστικό του οργάνου είναι ότι η διάμετρος της περιοχής αποτύπωσης είναι ίση με το μισό του ύψους του οργάνου πάνω από την επιφάνεια από την οποία καταγράφεται η ανάκλαση (Εικόνα 28).



Εικόνα 27 Τυπικό διάγραμμα ανάκλασης από φυτική επιφάνεια (CropScan σημειώνονται οι περιοχές μέτρησης του multispectral radiometer 87)



Εικόνα 28 Φορητό πολυφασματικό ραδιόμετρο CropScan

Οι μετρήσεις με το όργανο Cropscan πραγματοποιούνταν στο χρονικό διάστημα ανάμεσα από 2 κοπές ενώ για τη κρίσιμη περίοδο της υδατικής καταπόνησης, οι μετρήσεις ήταν πιο συχνές.

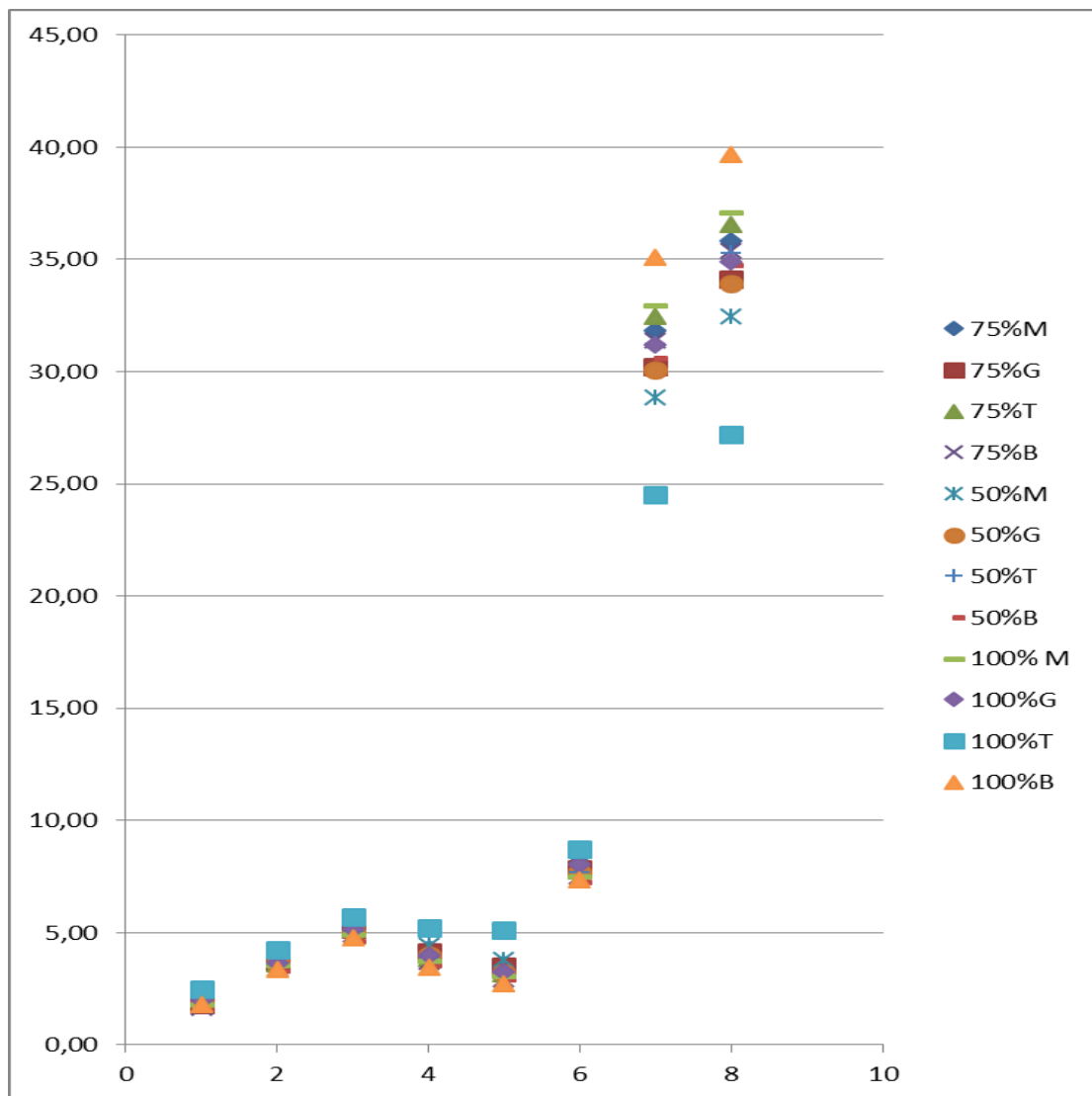
Λόγω των περιορισμών του οργάνου που χρησιμοποιήθηκε, για την αξιολόγηση της διαφοράς της ποιότητας χρησιμοποιήσαμε το ποσοστό ανάκλασης στα μήκη κύματος 510 και 560nm για να ορίσουμε ένα δείκτη παρόμοιο με τον PRI:

$$PRI_{cropscan} = (R_{560} - R_{510}) / (R_{560} + R_{510})$$

Εξίσωση 3 Δείκτης φασματικής ανάκλασης $PRI_{cropscan}$



Εικόνα 29 Χρήση CropScan υπό πραγματικές συνθήκες στο πλαίσιο του πειράματος



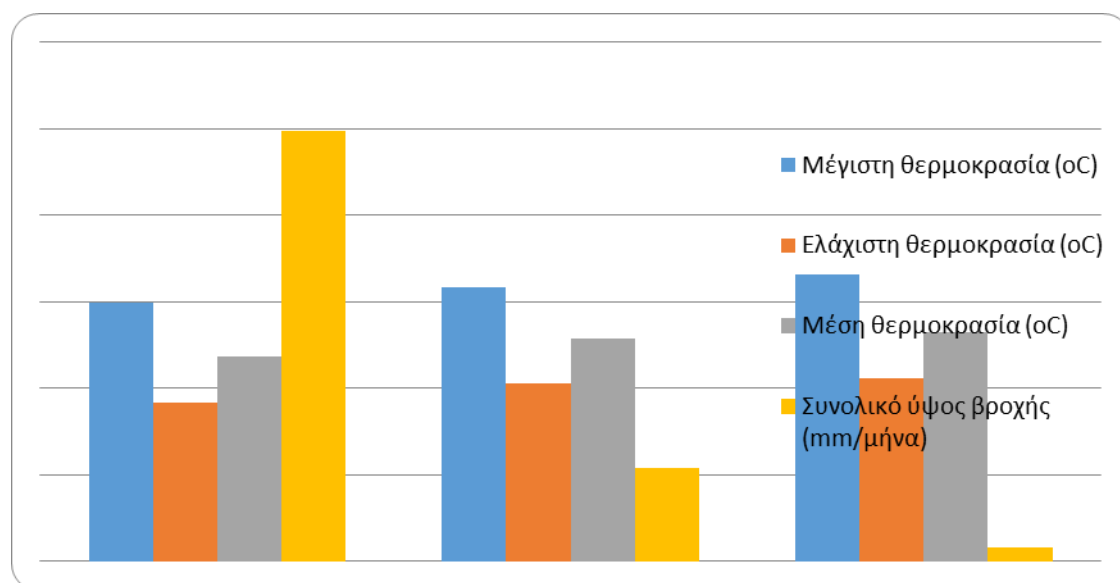
Εικόνα 30 Ενδεικτικές μετρήσεις ανάκλασης με χρήση CropScan στο πλαίσιο του πειράματος

ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ

Βάσει των τριών μηνών εφαρμογής του πειράματος πάρθηκαν μετρήσεις, σχετικά με την κατανάλωση του νερού, την ανάπτυξη του χλοοτάπητα μέσω των κοπών και το ποσοστό ανακλώμενης ακτινοβολίας από την φυλλική επιφάνεια, για την παρακολούθηση δεικτών ανάκλασης που σχετίζονται με την υδατική καταπόνηση.

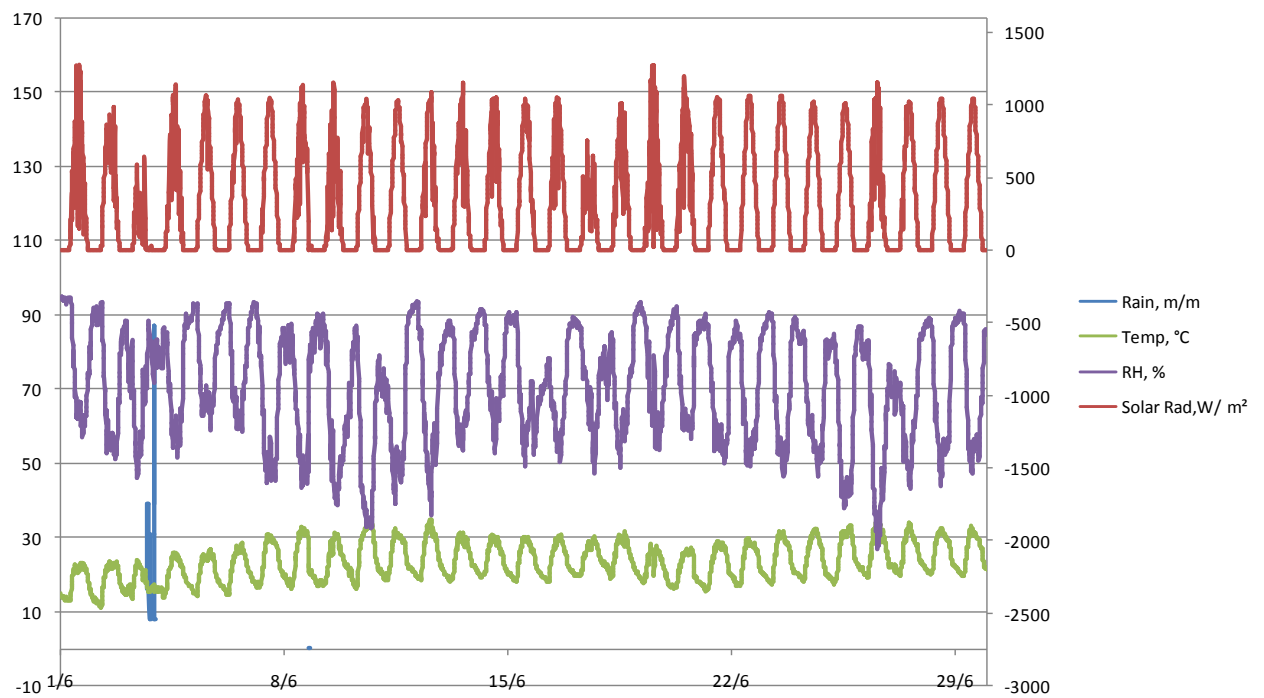
ΚΛΙΜΑΤΙΚΕΣ ΣΥΝΘΗΚΕΣ

Στα παρακάτω γραφήματα αναλύονται ξεχωριστά για κάθε μήνα το ύψος βροχής, οι θερμοκρασίες, το ποσοστό υγρασίας στην ατμόσφαιρα όπως και η ηλιακή ακτινοβολία που επικράτησαν στην περιοχή του πειράματός μας.

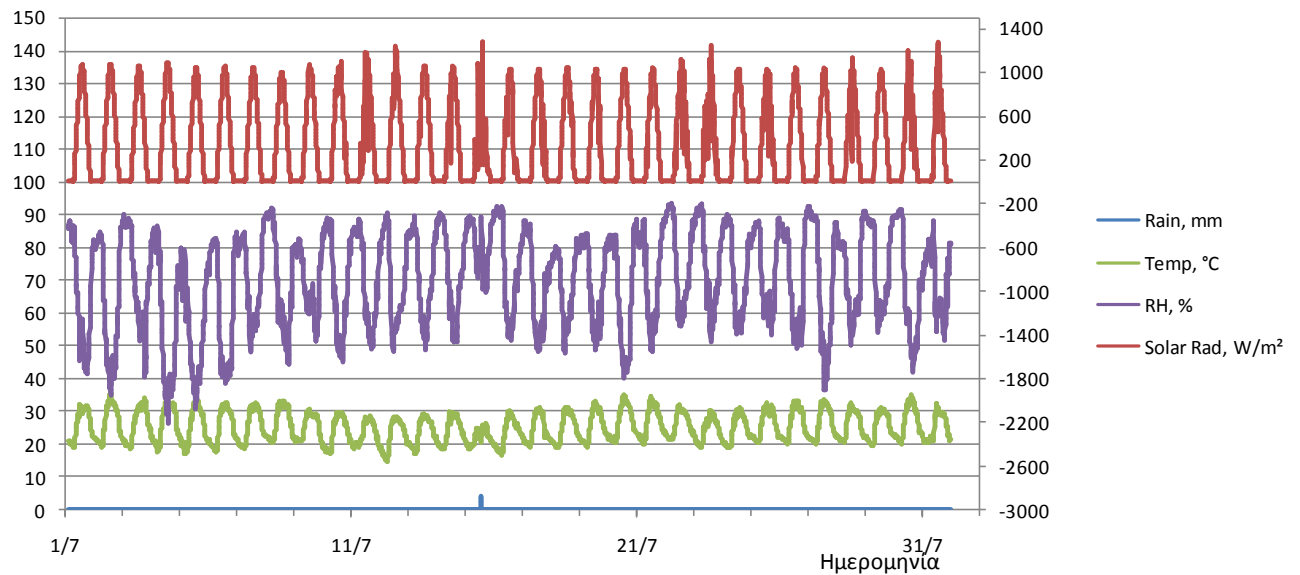


Εικόνα 31 Θερμοκρασίες και βροχές που επικρατούν στην περιοχή

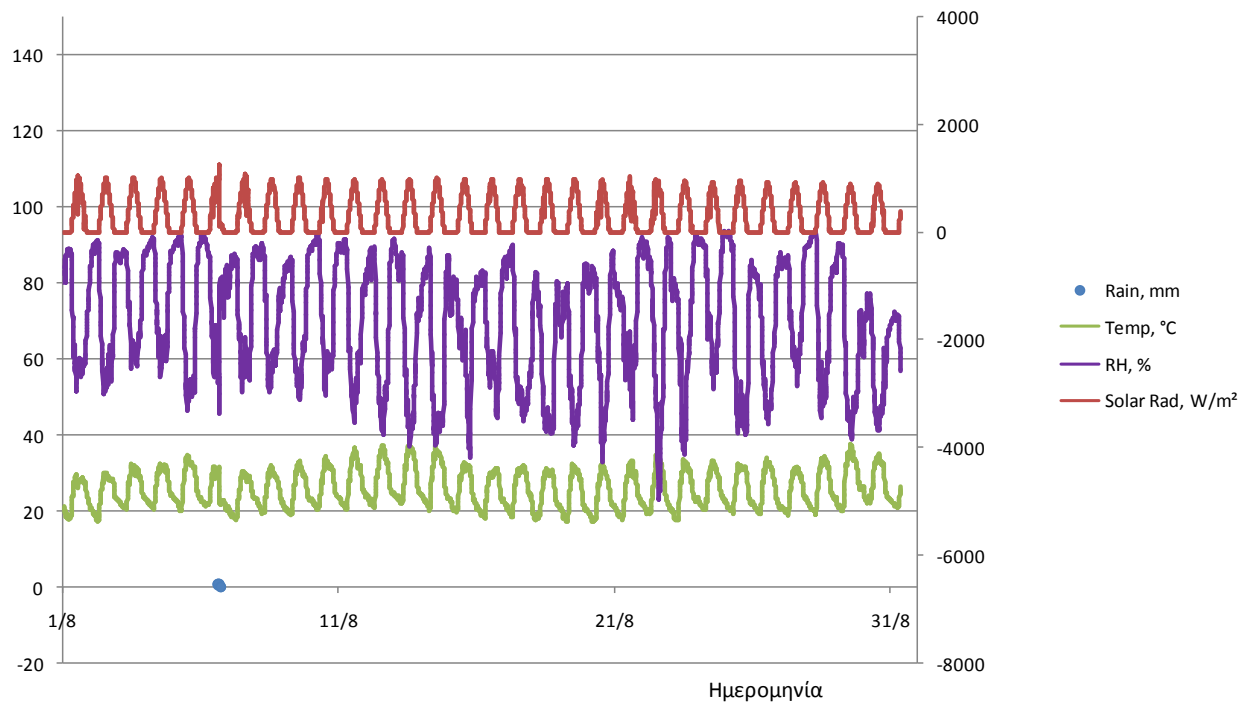
Στα διαγράμματα που ακολουθούν (Εικόνα 32, Εικόνα 33, Εικόνα 34) παρουσιάζεται αναλυτικότερα η διακύμανση επιλεγμένων κλιματικών παραμέτρων κατά τη διάρκεια των 3 μηνών της αξιολόγησης.



Εικόνα 32 Παρουσίαση καταγραφής επιλεγμένων κλιματικών παραμέτρων κατά τη διάρκεια του Ιουνίου 2014



Εικόνα 33 Παρουσίαση καταγραφής επιλεγμένων κλιματικών παραμέτρων κατά τη διάρκεια του Ιουλίου 2014

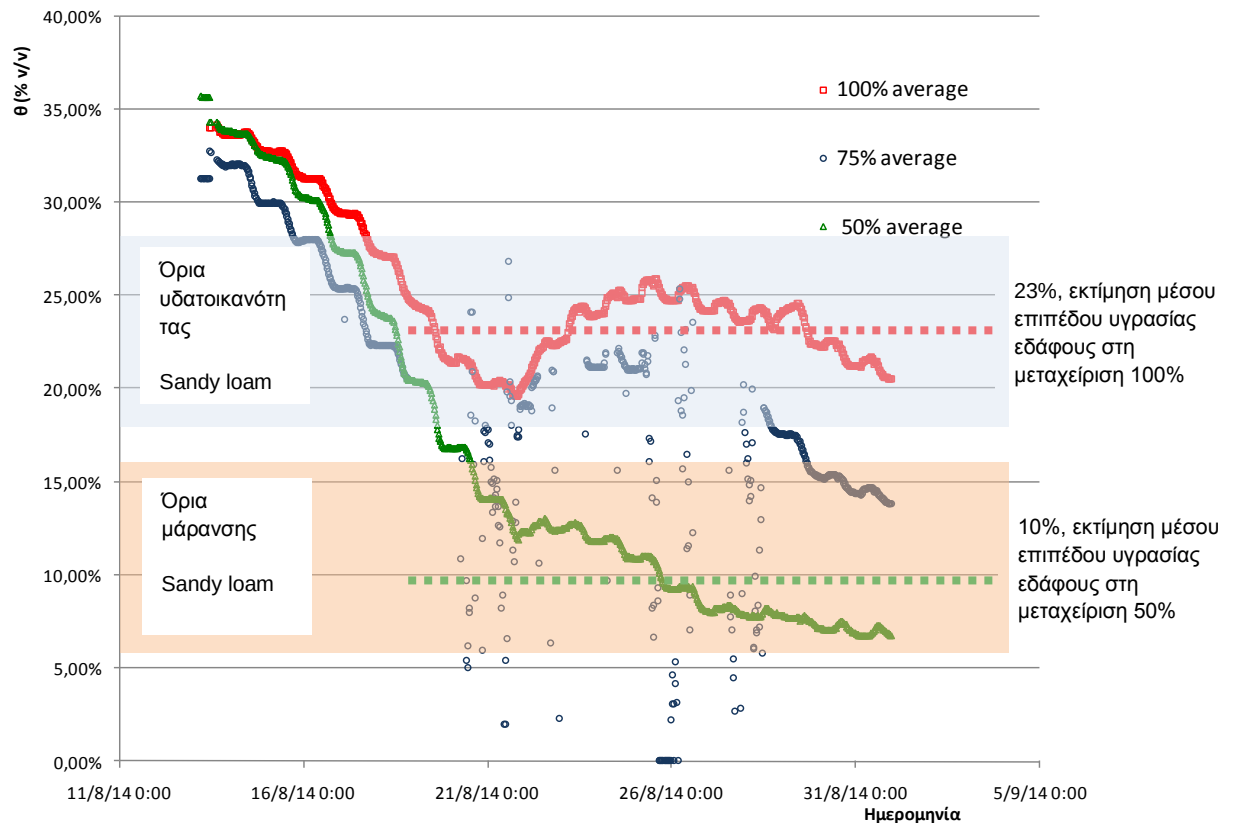


Εικόνα 34 Παρουσίαση καταγραφής επιλεγμένων κλιματικών παραμέτρων κατά τη διάρκεια του Αυγούστου 2014

ΥΓΡΑΣΙΑ ΥΠΟΣΤΡΩΜΑΤΟΣ

Από την ημερομηνία σποράς έως και τα τέλη Ιουλίου - αρχές Αυγούστου η υγρασία σε όλα τις μεταχειρίσεις διατηρήθηκε σε υψηλά επίπεδα (μεταξύ υδατοικανότητας και κορεσμού).

Από τα δεδομένα των αισθητήρων 10HS, για το κρίσιμο διάστημα της υδατικής καταπόνησης παρατηρούμε τη διαβάθμιση της υγρασίας του υποστρώματος στο παρακάτω διάγραμμα.



Εικόνα 35 Υγρασία υποστρώματος

ΑΘΡΟΙΣΤΙΚΗ ΚΑΤΑΝΑΛΩΣΗ ΝΕΡΟΥ

Κατά τη διάρκεια του πειράματος ανά συγκεκριμένα διαστήματα πήραμε μετρήσεις κατανάλωσης νερού, για τον υπολογισμό της συνολικής ποσότητας που χρησιμοποιήθηκε σε κάθε τεμάχιο.

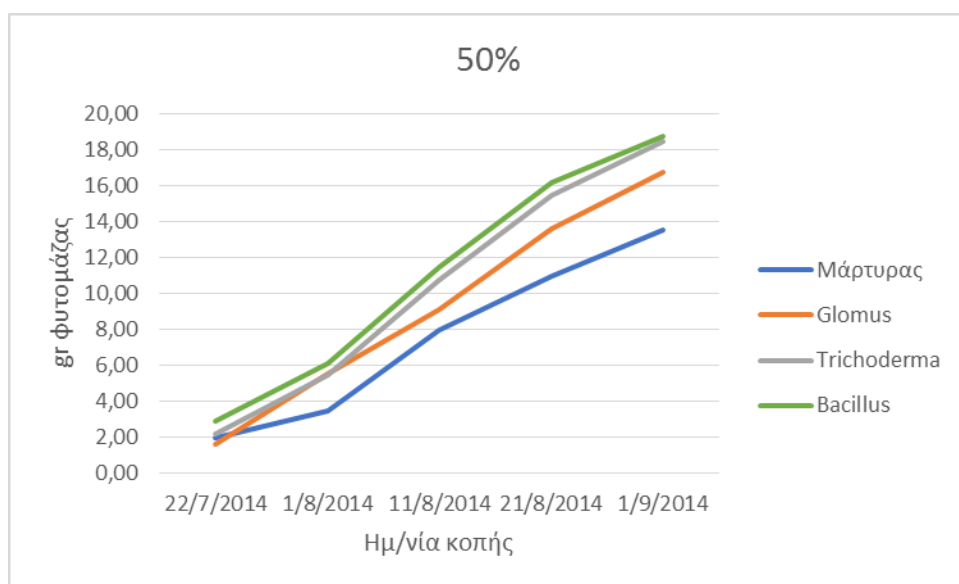
Κατά την εφαρμογή της άρδευσης τη περίοδο της υδατικής καταπόνησης γινόνταν συνεχείς μικροεπεμβάσεις στο πρόγραμμα του αρδευτικού, ώστε να επιτύχουμε τα πειραματικά ποσοστά της άρδευσης που προέβλεπε το αρχικό σχέδιο. Αυτές οι ακόμα και καθημερινές μικροεπεμβάσεις γινόνταν με γνώμονα τόσο τα επίπεδα της καθημερινής εδαφικής υγρασίας όσο και τις υπόλοιπες αρδευτικές παραμέτρους. Για το παραπάνω λόγο, η αποτύπωση των αθροιστικών καταναλώσεων νερού για τη μεταχείριση του 75% εμπεριέχει το

κίνδυνο λάθους ή και υπερεκτίμησης της συνολικής ποσότητας του καταναλωθέντος νερού. Για αυτό και επιλέξαμε να αποκλείσουμε από τα αποτελέσματά μας τη μεταχείριση του 75% και να κρατήσουμε μόνο τις μεταχειρίσεις 50% και 100%.

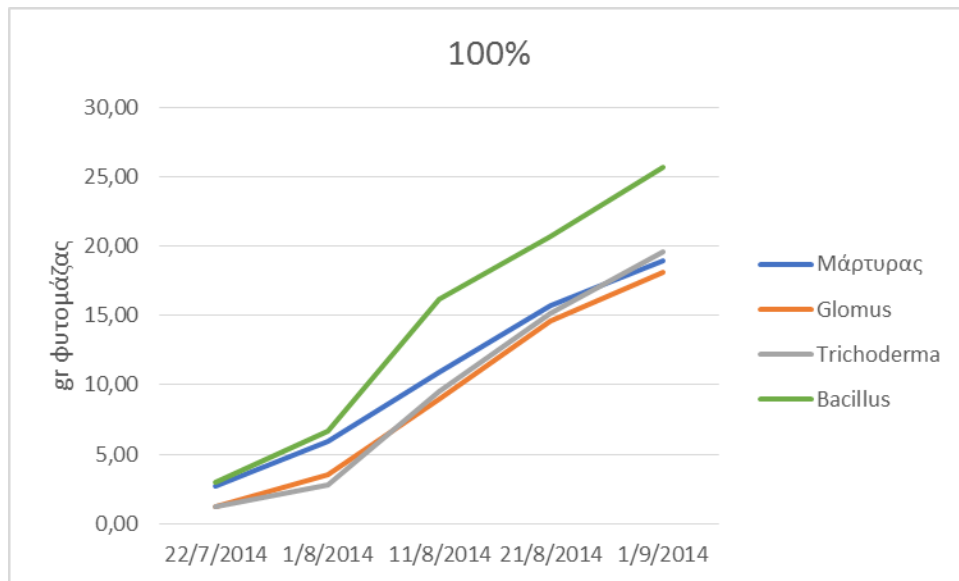
Για τη μεταχείριση του 100% το συνολικό το νερό που καταναλώθηκε για τη περίοδο εφαρμογής της υδατικής καταπόνησης (μήνας Αύγουστος) ήταν 392 lt ενώ αντίστοιχα για τη μεταχείριση του 50% ήταν 259 lt.

ΑΝΑΠΤΥΞΗ ΧΛΟΟΤΑΠΗΤΑ (ΞΗΡΟ ΒΑΡΟΣ ΚΟΠΩΝ)

Για να υπολογιστεί η ανάπτυξη του χλοοτάπητα, πάρθηκε ανά διαστήματα φυτικό υλικό που προήλθε από τις κοπές, στο οποίο έγινε ξήρανση και στη συνέχεια ζυγίστηκε για να υπολογιστεί το ξηρό βάρος. Υπολογίστηκαν οι μέσοι όροι της ξηρής παραγόμενης φυτομάζας κάθε μεταχείρισης και αυτές παριστάνονται γραφικά (Εικόνα 36, Εικόνα 37).



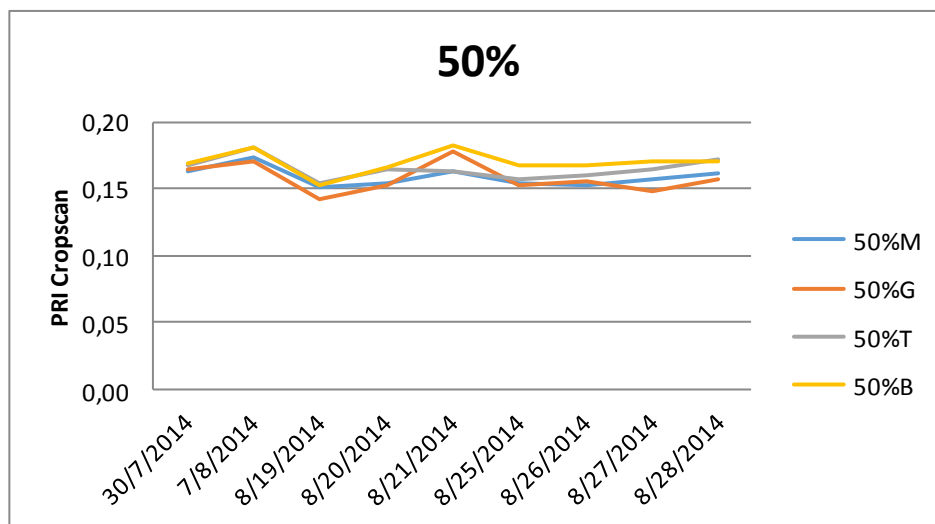
Εικόνα 36 Εξέλιξη παραγόμενης φυτομάζας κατά τη διάρκεια της υδατικής καταπόνησης για την υδατική μεταχείριση 50%



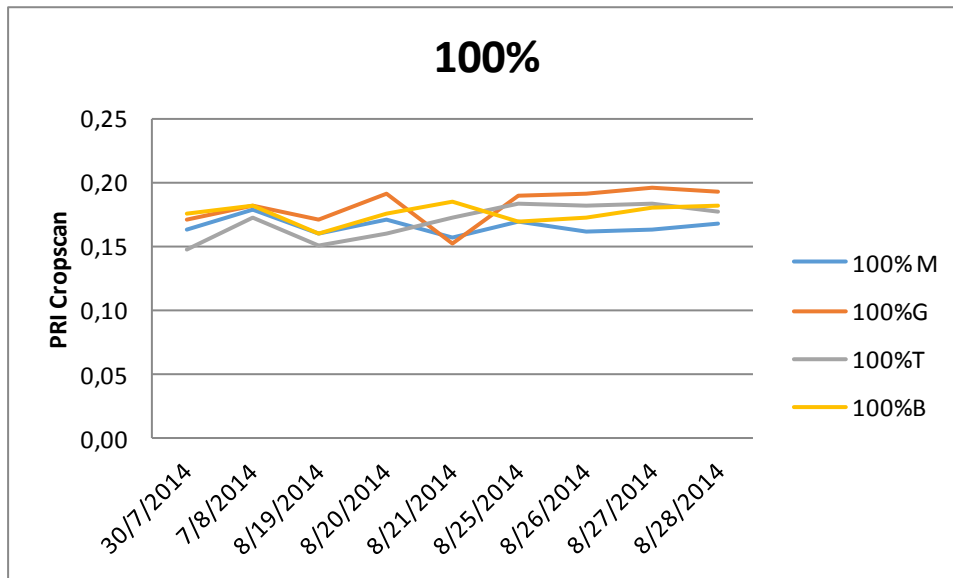
Εικόνα 37 Εξέλιξη παραγόμενης φυτομάζας κατά τη διάρκεια της υδατικής καταπόνησης για την υδατική μεταχείριση 100%

ΠΟΙΟΤΗΤΑ ΧΛΟΟΤΑΠΗΤΑ (PRI)

Όπως ήδη αναφέρθηκε, λόγω των περιορισμών του οργάνου που χρησιμοποιήθηκε, για την αξιολόγηση της διαφοράς της ποιότητας χρησιμοποιήσαμε το ποσοστό ανάκλασης στα μήκη κύματος 510 και 560nm για να ορίσουμε ένα δείκτη παρόμοιο με τον PRI: $PRI_{cropscan} = (R560 - R510) / (R560 + R510)$. Στις παρακάτω εικόνες παρουσιάζεται η εξέλιξη του δείκτη κατά την περίοδο της υδατικής καταπόνησης για τις δύο υδατικές μεταχειρίσεις.



Εικόνα 38 Εξέλιξη του δείκτη $PRI_{cropscan}$ κατά την περίοδο της υδατικής καταπόνησης στη μεταχείριση 50%



Εικόνα 39 Εξέλιξη του δείκτη PRIcropsan κατά την περίοδο της υδατικής καταπόνησης στη μεταχείριση 100%

ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ

Το καλοκαίρι του 2014 μπορεί να θεωρηθεί γενικά δροσερό σε σχέση με το κλίμα της περιοχής. Τον Ιούνιο μάλιστα οι βροχοπτώσεις ήταν σημαντικές (Εικόνα 31, Εικόνα 32, Εικόνα 33 και Εικόνα 34). Αυτός ήταν και ο λόγος που το διάστημα της υδατικής καταπόνησης περιορίστηκε μόνο μέσα στο μήνα Αύγουστο.

Από τη μακροσκοπική και μόνο παρατήρηση του πειράματος οφείλουμε να σημειώσουμε ότι στη μεταχείριση του 50%, ο μάρτυρας ήταν αυτός που παρουσίασε σημάδια έντονης ξήρανσης λόγω υδατικής καταπόνησης, και μάλιστα όλες του οι επαναλήψεις.

Παρατηρώντας τη συνολική παραγόμενη φυτομάζα στα γραφήματα (Εικόνα 38 και Εικόνα 39) φαίνεται καθαρά ότι για τη μεταχείριση του 50% τη μεγαλύτερη ποσότητα φυτομάζας είχαν οι μεταχειρίσεις του βακτηρίου *Bacillus amyloliquefaciens* και του μύκητα *Trichoderma harzianum*. Ακολούθησε η μεταχείριση του μυκορριζικού μύκητα *Glomus intraradices* και τελευταία σε παραγωγή φυτομάζας ήταν η μεταχείριση του μάρτυρα. Είναι λοιπόν προφανές ότι υπό συνθήκες υδατικής καταπόνησης, η παρουσία των μικροοργανισμών *Bacillus amyloliquefaciens* και *Trichoderma harzianum* βοήθησαν το φυτό να ανταπεξέλθει καλύτερα στην έλλειψη νερού και να μην εμφανίσει έντονα σημάδια ξήρανσης. Αναδεικνύεται λοιπόν η θετική επίδραση αυτών των μικροοργανισμών στη πρόσληψη νερού και στην αύξηση της αντοχής των φυτών. Μάλιστα η διαφορά στη παραγωγή φυτομάζας μεταξύ του *Bacillus amyloliquefaciens* και του μάρτυρα είναι σημαντική, αποκαλύπτοντας τη θετική επίδραση του βακτηρίου στην αύξηση της αντοχής του φυτού στην υδατική καταπόνηση.

Όσον αφορά τη συνολική παραγόμενη φυτομάζα για τη μεταχείριση του 100%, όπου εκεί τα φυτά δεν υπέστησαν υδατική καταπόνηση, βλέπουμε μια μεγάλη υπεροχή των μεταχειρίσεων του βακτηρίου *Bacillus amyloliquefaciens* έναντι των υπολοίπων, με τις άλλες τρεις που ακολουθούν να βρίσκονται στο ίδιο επίπεδο.

Ακόμη σημειώνεται ότι όπως ήταν λογικό τα επίπεδα παραγόμενης φυτομάζας ήταν για όλες τις μεταχειρίσεις χαμηλότερα στην περίπτωση του 50%ΔΥ σε σχέση με το 100%ΔΥ.

Συμπερασματικά μπορούμε να διατυπώσουμε τα εξής:

- Ο εμβολιασμός των φυτών με το βακτήριο *Bacillus amyloliquefaciens* αυξάνει τη συνολική παραγόμενη φυτομάζα του χλοοτάπητα.

- Οι μικροοργανισμοί *Bacillus amyloliquefaciens* και *Trichoderma harzianum* αυξάνουν την αντοχή των φυτών στην υδατική καταπόνηση διατηρώντας τη παραγόμενη φυτομάζα τους σε ικανοποιητικά επίπεδα.

Όσον αφορά τα αποτελέσματα του δείκτη PRI δεν παρατηρούμε κάποιες διαφορές μεταξύ των μεταχειρίσεων. Αυτό μπορεί σε πρώτο επίπεδο να μεταφραστεί σε παρόμοια ποιότητα χλοοτάπητα για όλες τις μεταχειρίσεις.

Εν κατακλείδι, προκύπτει ότι ο εμβολιασμός των φυτών με τους υπό μελέτη μικροοργανισμούς μπορεί να μας οδηγήσει σε εξοικονόμηση νερού άρδευσης μέσω της μείωσης της δόσης ανά περιόδους. Ακόμη η αναμενόμενη μείωση παραγόμενης φυτομάζας θα μειώσει το κόστος συντήρησης λόγω μικρότερων απαιτήσεων σε κοπές.

ΑΝΑΦΟΡΕΣ

- Allen, R.G., L.S. Pereira, D. Raes, M. Smith. 1998. Crop evapotranspiration - Guidelines for computing crop water requirements - FAO Irrigation and drainage. paper .56, Rome. Διαθέσιμο στο :<http://www.fao.org/docrep/x0490e/x0490e00.htm#Contents>
Προσπελάστηκε:24/09/2014
- Andersen T.E., 2013. Effects of root zone composition and nitrogen and phosphorus rates on mycorrhizal colonization in different turfgrass species on sand-based golf greens in Scandinavia. Norwegian University of Life Sciences.
- Chen X., Koumoutsis A., Scholz A., Eisenreich A., Schneider K., Heinemeyer I., Morgenstern B., Voss B., Hess W.R, Reva R., Junge H., Voigt B., Jungblut P.R., Vater J., Sussmuth J., Liesegang H., Strittmatter A., Gottschalk G. & Borriss R.. 2007. Comparative analysis of the complete genome sequence of the plant growth-promoting bacterium *Bacillus amyloliquefaciens* FZB42. Nature Publishing Group.
- Decagon Devices, Inc, 2009. 10HS Soil Moisture Sensor Operator's Manual. Pullman WA 99163.
- Gamon J.A., 2014. The Photochemical Reflectance Index (PRI): An Optical Metric of Plant Stress. Decagon Webinar, διαθέσιμο στο: <http://www.decagon.com/education/virtual-seminar-the-photochemical-reflectance-index-pri-an-optical-metric-of-plant-stress/>
Προσπελάστηκε:24/09/2014
- Gamon J.A., Penñelas J., and Field C.B., 1992. A narrow-waveband spectral index that tracks diurnal changes in photosynthetic efficiency. *Remote Sensing of Environment*, 41: 35-44. Wiley online Library διαθέσιμο στο: <http://onlinelibrary.wiley.com/doi/10.1111/j.1469-8137.2011.03791.x/full>
Προσπελάστηκε: 24/09/2014
- Google Earth, 2014. Δορυφορική εικόνα, Προσπελάστηκε: 20/1/2014
- Koumoutsis A., 2006. Functional genome analysis of the plant-growth promoting bacterium *Bacillus amyloliquefaciens* strain FZB42; characterizing its production and regulation of nonribosomal peptide synthetases.
- Melby P., 1995. Simplified Irrigation Design, Van Nostrand Reinhold
Προσπελάστηκε:24/09/2014

- Morris K.N., Shearman R.C. 2008. NTEP Turfgrass Evaluation Guidelines.
 Διαθέσιμο στο: <http://www.ntep.org/contents2.shtml>
 Προσπελάστηκε: 24/09/2014
- Penñuelas J., Gamon J. A., Fredeen A. L., Merino J. and Field C. B., 1994.
 Reflectance Indices Associated with Physiological Changes in
 Nitrogen- and Water-Limited Sunflower Leaves REMOTE SENS.
 ENVIRON. 48:135-146
- Pittenger, D. R., D. A. Shaw, D. R. Hodel, and D. B. Holt. 2001. Responses of
 landscape groundcovers to minimum irrigation. J. Environ. Hort. 19:78-
 74
- Smith R.B., 2001, Introduction to hyperspectral imaging. Διαθέσιμο στο:
www.microimages.com , προσπελάστηκε: 10/04/2014
- Suárez L., Zarco-Tejada P.J., González-Dugo V., Berni J.A.J., Sagardoy R.,
 Morales F. and Fereres E., 2009α. Detecting water stress effects on
 fruit quality in orchards with time-series PRI airborne imagery. Remote
 Sensing of Environment. Προσπελάστηκε: 10/04/2014
- Thenkabail PS, Smith RB, Pauw ED. 2000. Hyperspectral vegetation indices
 and their relationships with agricultural crop characteristics. Remote
 Sensing Environment 71: 158–182
- WUCOLS, University of California Cooperative Extension California
 Department of Water Resources, 2000. A Guide to Estimating Irrigation
 Water Needs of Landscape Plantings in California - The Landscape
 Coefficient Method and WUCOLS III (WUCOLS is the acronym for
 Water Use Classifications of Landscape Species). Διαθέσιμο στο:
<http://www.water.ca.gov/wateruseefficiency/docs/wucols00.pdf>.
 Προσπελάστηκε: 1/09/2014
- Zakaluk, R. and Sri Ranjan, R. 2008. Predicting the leaf water potential of
 potato plants using RGB reflectance. Can. Bios. Eng. 50:7.1-7.12.
- ΓΓΔΕ, 2009 Προσωρινές Προδιαγραφές Τεχνικών Έργων: 10-06-02-01
 Άρδευση φυτών
- ΓΓΔΕ, 2009 Προσωρινές Προδιαγραφές Τεχνικών Έργων: 10-06-02-02
 Άρδευση χλοοτάπητα - Φυτών εδαφοκάλυψης - Χλοοτάπητα πρανών
- Γεωργακοπούλου Α., 2012. Επίδραση της μυκόρριζας στην αύξηση φυτών
 αραβοσίτου (*Zea mays* L.).
- ΕΜΥ, Εθνική Μετεωρολογική Υπηρεσία, 2014. Κλιματολογικά στοιχεία Άρτας
 (ΠΕΡΙΟΔΟΣ ΔΕΔΟΜΕΝΩΝ: 1976-1997), Διαθέσιμα στο:
<http://www.hnms.gr/hnms/greek/climatology/>

climatology_region_diagrams_html?dr_city=Arta&dr_region=ClimEpirus , Προσπελάστηκε: 20/1/2014

Μπαλιτζώη Π., 2006. Η επίδραση των βαρέων μετάλλων (Cd, Ni, Pb) στη δράση των μυκόρριζων.

Μπαμπίλης Δ., 2004. Αρδευτικά Δίκτυα Πρασίνου. Εκδόσεις ΣΤΑΜΟΥΛΗ Α.Ε., Αθήνα.

Σπαντιδάκης Ι., 2011. «Γράστις. Επιστήμη και τεχνική του χλοοτάπητα». Εκδόσεις Αθ. Σταμούλης.

Τσάμη Ε., 2013. Η επίδραση εφαρμογής συμβιωτικών μικροοργανισμών στην ανάπτυξη ανθοκομικών φυτών και χλοοτάπητα, καλλιεργούμενα στο έδαφος ή εκτός εδάφους σε συνθήκες βιοτικής ή αβιοτικής καταπόνησης.

Τσιρογιάννης Γ., 2007. Σημειώσεις εργαστηριακών ασκήσεων άρδευσης έργων πράσινου», ΤΕΙ Ηπείρου Τμήμα Ανθοκομίας – Αρχιτεκτονικής Τοπίου, Άρτα 2009