

Γεωπονικό Πανεπιστήμιο Αθηνών
Τμήμα Επιστήμης της Φυτικής Παραγωγής
Εργαστήριο Ανθοκομίας και Αρχιτεκτονικής Τοπίου

Πρόγραμμα Μεταπτυχιακών σπουδών

Αρχιτεκτονικής Τοπίου

«Μελέτη της καταλληλότητας του αυτοφυούς φυτού *Dianthus fruticosus* για χρήση σε φυτοδάματα του Αττικού Τοπίου»



Μεταπτυχιακή Μελέτη

Ιωάννη Κ. Αμούντζια

Αθήνα 2011

ΜΕΤΑΠΤΥΧΙΑΚΗ ΜΕΛΕΤΗ : ΙΩΑΝΝΗ Κ. ΑΜΟΥΝΤΖΙΑ

«Μελέτη της καταλληλότητας του αυτοφυούς φυτού *Dianthus fruticosus* για χρήση σε φυτοδώματα του Αττικού Τοπίου»

ΕΞΕΤΑΣΤΙΚΗ ΕΠΙΤΡΟΠΗ

Επιβλέπων: Νεκτάριος Παναγιώτης (Επίκουρος Καθηγητής)

Μέλος: Παπαφωτίου Μαρία (Αναπληρώτρια Καθηγήτρια)

Μέλος: Παρασκευοπούλου Αγγελική (Λέκτορας)

ΑΘΗΝΑ 2011

*«στον παππού μου πρωτοπρεσβύτερο
π. Βασίλειο Τσιάκα
και στη γιαγιά μου Ευφροσύνη»*

Αντί Προλόγου

Αντί προλόγου θα επιθυμούσα να ευχαριστήσω τους ανθρώπους, οι οποίοι συνέβαλλαν να πραγματοποιηθεί η συγκεκριμένη μεταπτυχιακή μελέτη. Θεωρώ υποχρέωσή μου να ευχαριστήσω θερμά τον επιβλέποντα καθηγητή μου, κύριο Νεκτάριο Παναγιώτη αρχικώς για την εμπιστοσύνη που μου έδειξε αναθέτοντάς μου το συγκεκριμένο θέμα και εν συνεχεία για την ανεξάντλητη υπομονή του και για την καθοριστική, συνεχή και ουσιαστικότερη βοήθεια και καθοδήγησή του σε όλους τους τομείς της πραγματοποίησης του πειράματος και της συγγραφής της μελέτης.

Ακόμα θα ήθελα να ευχαριστήσω τον διδακτορικό φοιτητή Ντούλα Νικόλαο, τόσο για την συνδρομή του σε εξειδικευμένα θέματα όσο και για την πρακτική βοήθειά του και την φοιτήτρια Κοκκίνου Ηρώ για την πολύτιμη πρακτική της συνεισφορά στη διεξαγωγή του πειράματος. Επίσης ευχαριστώ θερμά και όλους όσους βοήθησαν να στηθεί το πείραμα (μεταπτυχιακούς και προπτυχιακούς φοιτητές).

Τέλος νοιώθω την ανάγκη να ευχαριστήσω τα άτομα του οικογενειακού μου περιβάλλοντος που με στήριξαν με κάθε τρόπο, όπως τους γονείς μου Κων/νο και Βασιλική, την αδερφή μου Ευφροσύνη για την αμέριστη ηθική, οικονομική και πρακτική συνεισφορά τους καθ' όλη τη διάρκεια του πειράματος, και τα ξαδέρφια μου Ευθύμιο και Στυλιανό Μανταλόβα για την έμπρακτη υποστήριξή τους, τη θεία μου Δήμητρα Τσιάκα για τις φιλολογικές της επισημάνσεις, ενώ αφήνω για το τέλος τον θείο μου Βασίλειο Μανταλόβα χωρίς την προτροπή του οποίου ίσως και να μην είχε ξεκινήσει αυτή η προσπάθεια.

Πίνακας Περιεχομένων

Περίληψη	9
Abstract	10
1. Εισαγωγή.....	12
1.1 Φυτεμένα δώματα	12
1.1.1 Πλεονεκτήματα φυτεμένων δωματίων	13
1.1.2 Μειονεκτήματα	22
1.2 Τύποι φυτοδώματος.....	23
1.2.1 Εντατικός τύπος	23
1.2.2 Ημιεντατικός ή ημιεκτατικός τύπος.....	24
1.2.3 Εκτατικός τύπος φυτοδώματος.....	25
1.3 Μεγιστοποίηση των πλεονεκτημάτων των φυτοδωμάτων	26
1.4 Προβληματισμοί για την εγκατάσταση φυτοδωμάτων στα κέντρα των πόλεων	27
1.4.1 Αποτέλεσμα των παραπάνω προβληματισμών	28
1.4.2 Μετριασμός του φορτίου	28
1.5 Υποστρώματα εκτατικών φυτοδωμάτων.....	29
1.6 Βάθος εκτατικών υποστρωμάτων	30
1.7 Άρδευση	32
1.8 Φυτικό υλικό εκτατικών φυτοδωμάτων.	35
1.8.1 Εγκατάσταση αυτοφυών σε εκτατικά φυτοδώματα	36
1.9 Σκοπός της εργασίας	37
2. Υλικά και Μέθοδοι	38
2.1 Κατασκευή πειραματικών τεμαχίων - διαστάσεις πειραματικών	38
2.2 Διαστρώσεις πειραματικών τεμαχίων	38
2.3 Υποστρώματα ανάπτυξης	41
2.4 Φυτικό υλικό.....	43
2.5 Πειραματικό σχέδιο και επεμβάσεις.....	44
2.6 Κοκκομετρία	45
2.7 Χαρακτηριστικές καμπύλες υγρασίας, pH, EC υποστρωμάτων	45
2.8 Βιομετρικές μετρήσεις (δείκτης ανάπτυξης φυτών, ύψος φυτών, διάμετρο βλαστού, αριθμός πλαγίων βλαστών, μήκος πλαγίων βλαστών, φωτογραφίες).....	48
2.9 Νωπά και Ξηρά βάρη	48
2.10 Μέτρηση φυλλικής επιφάνειας.....	50

2.11 Προγραμματισμός της Άρδευσης	50
2.12 Υγρασία-θερμοκρασία-EC Υποστρωμάτων	51
2.13 SPAD, Χλωροφύλλες και καροτενοειδή	51
2.14 Υδατικό δυναμικό	52
2.15 Μέτρηση υγρασίας θερμοκρασίας και υδατικών κατακρημνίσεων του περιβάλλοντος.....	53
3. Αποτελέσματα	54
3.1 Καμπύλη υγρασίας των υποστρωμάτων	54
3.2. Διακύμανση υγρασίας υποστρώματος κατά την περίοδο καταπόνησης	55
3.2.1 Επίδραση του είδους του υποστρώματος	55
3.2.2 Επίδραση του βάθους του υποστρώματος	55
3.2.3 Επίδραση της ποσότητας άρδευσης	55
3.3 Διακύμανση της θερμοκρασίας του υποστρώματος των μέσων ανάπτυξης	57
3.3.1 Επίδραση του είδους του υποστρώματος	57
3.3.2 Σύγκριση της θερμοκρασίας σε σχέση με το βάθος του υποστρώματος	57
3.3.3 Επίδραση της ποσότητας άρδευσης	57
3.4 Ηλεκτρική αγωγιμότητα υποστρώματος (ECb)	59
3.4.1 Επίδραση του είδους του υποστρώματος	59
3.4.2 Σύγκριση των τιμών ECb των δύο βαθών	59
3.4.3 Επίδραση της ποσότητας άρδευσης	59
3.5 Δείκτης ανάπτυξης των φυτών	61
3.5.1 Επίδραση του υποστρώματος στην ανάπτυξη των φυτών.	61
3.5.2 Σύγκριση της ανάπτυξης των φυτών στα δύο βάθη	61
3.5.3 Επίδραση της ποσότητας άρδευσης στην ανάπτυξη των φυτών.....	62
3.6 Ύψος φυτών	63
3.6.1 Επίδραση του είδους του υποστρώματος στο ύψος των φυτών	63
3.6.2 Επίδραση του βάθους του υποστρώματος στο ύψος των φυτών.	63
3.6.3 Επίδραση της άρδευσης στο ύψος των φυτών	64
3.7 Διάμετρος βλαστού	65
3.7.1 Επίδραση των υποστρωμάτων στη διάμετρο των βλαστών	65
3.7.2 Επίδραση του βάθους του υποστρώματος στη διάμετρο βλαστού.....	65
3.7.3 Επίδραση των ποσοτήτων άρδευσης στη διάμετρο του βλαστού	65
3.8 Συνολικό μήκος πλαγίων βλαστών.....	67

3.8.1 Επίδραση των υποστρωμάτων στο συνολικό μήκος βλαστών	67
3.8.2 Επίδραση του βάθους στο συνολικό μήκος βλαστών	67
3.8.3 Επίδραση της ποσότητας άρδευσης στο ολικό μήκος πλαγίων βλαστών	67
3.9 Αριθμός πλαγίων βλαστών	69
3.9.1 Επίδραση του τύπου του υποστρώματος στον αριθμό των πλαγίων βλαστών	69
3.9.2 Σύγκριση του βάθους του υποστρώματος για τον αριθμό πλαγίων βλαστών ..	69
3.9.3 Επίδραση της ποσότητας άρδευσης στον αριθμό των πλαγίων βλαστών	69
3.10 Μέτρηση SPAD.....	71
3.10.1 Σύγκριση υποστρωμάτων για τις τιμές του SPAD	71
3.10.2 Σύγκριση του διαφορετικού βάθους των υποστρωμάτων όσον αφορά τις μετρήσεις SPAD	71
3.10.3 Επίδραση της ποσότητας άρδευσης και τιμές του SPAD.....	72
3.11 Μέτρηση ολικής χλωροφύλλης	74
3.11.1 Επίδραση του υποστρώματος στην ολική χλωροφύλλη	74
3.11.2 Επίδραση του βάθους του υποστρώματος στην ολική χλωροφύλλη.....	74
3.11.3 Επίδραση της ποσότητας άρδευσης στην ολική χλωροφύλλη.	74
3.12 Μέτρηση χλωροφύλλης α.....	76
3.12.1 Επίδραση του υποστρώματος στα επίπεδα της χλωροφύλλης α	76
3.12.2 Επίδραση του βάθους του υποστρώματος στη χλωροφύλλη α	76
3.12.3 Επίδραση της ποσότητας άρδευσης στη χλωροφύλλη α	77
3.13 Μετρήσεις χλωροφύλλης β.....	78
3.13.1 Επίδραση του υποστρώματος στα επίπεδα της χλωροφύλλης β	78
3.13.2 Επίδραση του βάθους στη χλωροφύλλη β.....	78
3.13.3 Επίδραση της ποσότητας άρδευσης στη χλωροφύλλη β	78
3.14 Μέτρηση καροτενοειδών	80
3.14.1 Επίδραση των υποστρωμάτων στα καροτενοειδή των φυτών.....	80
3.14.2 Επίδραση του βάθους στα επίπεδα των καροτενοειδών.	80
3.14.3 Επίδραση της ποσότητας άρδευσης στα επίπεδα των καροτενοειδών των φυτών.....	80
3.15 Συνολική επιφάνεια φύλλων.....	82
3.16 Περίμετρος φύλλων	82
3.17 Μέσο μήκος φύλλων.....	82
3.18 Μέσο πλάτος φύλλων	82

3.19	Σχετικό υδατικό δυναμικό	82
3.20	Νωπό βάρος φυτών	84
3.21	Ξηρό βάρος φυτών	84
3.22	Ξηρό βάρος βλαστών	84
3.21	Ξηρό βάρος ριζών	84
4.	Συμπεράσματα – Συζήτηση	86
4.1	Ιδιότητες των Υποστρωμάτων και χαρακτηριστικές καμπύλες υγρασίας.	86
4.2	Διακύμανση υγρασίας των υποστρωμάτων	86
4.3	Διακύμανση θερμοκρασίας υποστρώματος	87
4.4	Ηλεκτρική αγωγιμότητα υποστρώματος (ECb)	88
4.5	Βιομετρικές μετρήσεις και μετρήσεις ξηρού βάρους	89
4.6	Μέτρησεις SPAD και χλωροφυλλών	91
	Βιβλιογραφία	95

Περίληψη

Τα φυτεμένα δώματα είναι μια υποσχόμενη τεχνολογία για την επανεισαγωγή της κλωρίδας στα υποβαθμισμένα αστικά περιβάλλοντα. Όμως η εφαρμογή τους σε ημερημικές περιοχές χρήζει περαιτέρω διερεύνησης. Ως εκ τούτου η παρούσα έρευνα έγινε με σκοπό να καθοριστούν τα αποτελέσματα του τύπου υποστρώματος, του βάθους υποστρώματος και της ποσότητας άρδευσης, κατά τη διάρκεια περιόδου ξηρασίας πάνω στην εγκατάσταση, την ανάπτυξη και τη φυσιολογία του αυτοφυούς είδους *Dianthus fruticosus* sub. *fruticosus*.

Οι επεμβάσεις συμπεριλάμβαναν α) δύο τύπους υποστρώματος: ένα υπόστρωμα χωρίς έδαφος ($P_{um50}:P_{er20}:C_{20}:Z_{10}$) και ένα υπόστρωμα με προσθήκη αμμοπηλώδους εδάφους ($S_{15}:P_{um40}:P_{er20}:C_{20}:Z_5$), όπου P_{um} : η ελαφρόπετρα, P_{er} : ο περλίτης, C : το κόμποστ, Z : ο κλινοπτινολιτικός ζεόλιθος και S : το αμμοπηλώδες έδαφος ενώ οι δείκτες υποδεικνύουν την ποσοστιαία ογκομετρική αναλογία συμμετοχής του κάθε συστατικού στο μίγμα του κάθε υποστρώματος. β) Δύο βάθη υποστρώματος (7,5 cm και 15 cm) και γ) δύο ποσότητες άρδευσης κατά την περίοδο ξηρασίας: 15% και 30% των μέσων όρων της εξάτμισης τριών λυσίμετρων, τοποθετημένων στον πειραματικό αγρό (E_{pan}).

Στις μετρήσεις συμπεριλαμβάνονταν τα χαρακτηριστικά των υποστρωμάτων, οι χαρακτηριστικές καμπύλες υγρασίας και η επιτόπια μέτρηση υγρασίας, θερμοκρασίας και ηλεκτρικής αγωγιμότητας, κατά τη διάρκεια της υδατικής καταπόνησης. Η ανάπτυξη των φυτών προσδιορίστηκε με τις βιομετρικές μετρήσεις όπως ο δείκτης ανάπτυξης (GI), το ύψος των φυτών, ο αριθμός και το μήκος των πλαγίων βλαστών, η διάμετρος του κεντρικού βλαστού, η συνολική επιφάνεια των φύλλων, η συνολική περίμετρος των φύλλων, το μέσο μήκος και πλάτος των φύλλων, το σχετικό υδατικό δυναμικό (ΣΥΔ) των φύλλων, το νωπό βάρος των φυτών, το ξηρό βάρος των φυτών, το ξηρό βάρος των βλαστών και το ξηρό βάρος των ριζών. Τέλος καταγράφηκαν και οι φυσιολογικοί δείκτες όπως το SPAD, η ολική κλωροφύλλη, η κλωροφύλλη α, η κλωροφύλλη β και τα καροτενοειδή.

Τα αποτελέσματα έδειξαν ότι ο καθοριστικός παράγοντας για την ανάπτυξη του φυτού *Dianthus fruticosus* sub. *fruticosus*, ήταν το βάθος του υποστρώματος, καθ' όλη τη διάρκεια της μελέτης. Ωστόσο τα φυτά είναι σε θέση να αναπτυχθούν επιτυχώς σε ρηχό υπόστρωμα (7,5cm) ακόμα και με μειωμένη άρδευση (15% E_{pan}). Με βάση τα αποτελέσματα των μετρήσεων του SPAD, η ενσωμάτωση του εδάφους στο υπόστρωμα ανάπτυξης, παρέχει καλύτερη φυσιολογική κατάσταση πριν την

περίοδο της ξηρασίας, αλλά δεν επηρεάζει την ανάπτυξη των φυτών, κατά το πρώτο έτος ανάπτυξης.

Εν κατακλείδι, σύμφωνα με την παρούσα έρευνα το φυτό *D. fruticosus sub. fruticosus*, είναι ένα πολλά υποσχόμενο ενδημικό είδος με πολλή καλή δυνατότητα για εγκατάσταση σε ημιάγονα, φυτεμένα δώματα της περιοχής της μεσογείου.

Abstract

Greening roofs is one promising technology for reintroducing lost flora in degraded urban environments, but further research is needed for their application in semiarid regions. Therefore, research was undertaken to determine the effects of substrate type and depth and the amount of irrigation during a drought period on the establishment, growth, and physiology of the native species *Dianthus fruticosus sub. fruticosus*.

Treatments included two substrate types [a soilless substrate (Pum50:Per20:C20:Z10) or a substrate with soil (S15:Pum40:Per20:C20:Z5), in which Pum = pumice; Per = perlite; C = compost; Z = clinoptinolite zeolite; and S = sandy loam soil, mixed in a volumetric proportion indicated by their subscripts], two substrate depths (7.5 cm or 15.0 cm), and two irrigation regimens during drought [15% or 30% of pan evaporation (Epan)].

Measurements included substrate characteristics, water characteristic curves, and in situ determination of substrate moisture, temperature and electricity conductance during drought stress. Plant growth was determined based on biometric measurements such as growth index (GI), height of plants, number and length of lateral shoots, stem diameter, total area and perimeter of leaves, length and width of leaves, and relative water potential of leaves, fresh and dry weight of plants, dry weight of shoots and roots. Were also identified the physiological indicators such as SPAD, chlorophylla+b, chlorophyll a, chlorophyll b and carotenoid contents.

It was found that the determinant factor for *Dianthus fruticosus sub. fruticosus* growth is the substrate depth, throughout the entire study. However, plants are able to develop successfully in shallow substrate (7,5 cm) even with reduced irrigation (15% Epan). Based on the results of measurements of SPAD, soil

incorporation of the substrate development, provides a better physiological state before the dry season, but does not affect plant growth during the first year of growth. In conclusion, according to the present investigation the plant *D. fruticosus* sub. *fruticosus*, is a promising endemic species with very good potential for establishment in semi-arid, green roofs of the Mediterranean region.

1. Εισαγωγή

Σε ένα σύγχρονο αστικό κέντρο η ένταξη του πρασίνου στο σχεδιασμό του, διαδραματίζει καθοριστικό ρόλο στη βελτίωση της ποιότητας ζωής των κατοίκων αλλά και των επισκεπτών. Το πράσινο εκτός από την αισθητική βελτίωση που παρέχει, επιδρά σημαντικά και στο μικροκλίμα της περιοχής, εξαιτίας των ιδιοτήτων του οι οποίες περιλαμβάνουν το υψηλό ποσοστό απορρόφησης της ηλιακής ακτινοβολίας, τη μειωμένη θερμοχωρητικότητα και θερμική αγωγιμότητα που διαθέτει σε σύγκριση με τα δομικά υλικά των κτιρίων, την ικανότητα μείωσης της θερμοκρασίας του περιβάλλοντος αέρα μέσω της διαπνοής, τη μειωμένη εκπεμπόμενη υπέρυθη ακτινοβολία, , την συγκράτηση της ατμοσφαιρικής σκόνης και των ρύπων, την ηχοπροστασία που παρέχει κ.ά.

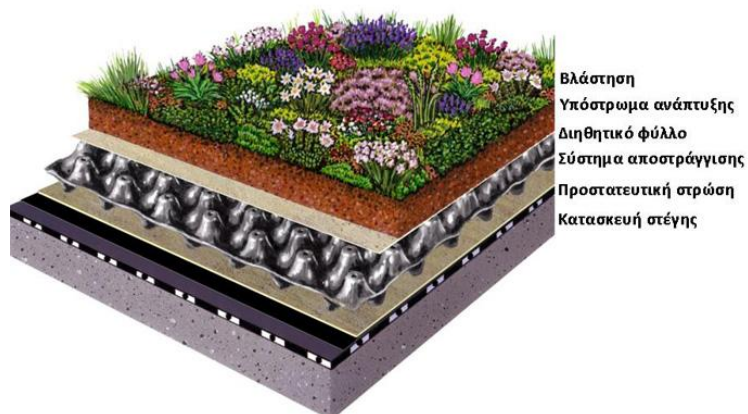
Σε μια προσπάθεια ένταξης της εκτοπισμένης βλάστησης σε ένα αστικό κέντρο, μια μέθοδος πλην των γνωστών τρόπων ενοποίησης του αστικού και περιαστικού πρασίνου, είναι η φύτευση των δωματίων, η οποία, μπορεί να αποκαταστήσει εν μέρει το χαμένο φυσικό έδαφος, και τη βλάστηση και να επαναφέρει μέρος των οικοσυστημάτων σε ένα υψηλότερο επίπεδο, με τις επακόλουθες ευεργετικές συνέπειες. Έτσι στις σύγχρονες τάσεις σύμφωνα με τις αρχές της βιώσιμης αστικής ανάπτυξης και της βιοκλιματικής αρχιτεκτονικής, συμπεριλαμβάνεται και η δημιουργία φυτεμένων δωματίων.

1.1 Φυτεμένα δώματα

Ως φυτοδώμα ή φυτεμένο δώμα νοείται κάθε φυτοκαλυμμένη επιφάνεια η οποία εδράζεται σε φέροντα οργανισμό ο οποίος χαρακτηρίζεται ως δομική κατασκευή και μπορεί να υπάρξει σε οποιοδήποτε υψομετρική διαφορά από το φυσικό έδαφος.

Τα φυτεμένα δώματα παρέχουν πολυάριθμα οικολογικά, περιβαλλοντικά και οικονομικά πλεονεκτήματα στα οποία συμπεριλαμβάνονται: η διαχείριση του νερού της βροχής και των ομβρίων υδάτων (Van Woert et al. 2005; Compton and Whitlow, 2006; Oberndorfer et al., 2007; Simmons et al., 2008; Lundholm et al, 2009), η εξοικονόμηση της κτηριακής ενέργειας (Oberndorfer et al., 2007; Sailor, 2008), ο μετριασμός του φαινομένου της αστικής θερμικής νησίδας (Osmundson, 1999; Shinner 2006; Oberndorfer et al., 2007; Alexandri and Jones, 2008), ο

μετριάσμος των θορύβων (Ven Renterghem and Botteldooren 2011) και των ατμοσφαιρικών ρύπων (Bartfelder and Köhler, 1986) κ.α. Παρ' όλου που οι σύγχρονες τάσεις βιοκλιματικού σχεδιασμού των πόλεων έχουν ενστερνιστεί μόλις πρόσφατα, τα περιβαλλοντικά και τα υπόλοιπα πλεονεκτήματα των φυτεμένων δωμάτων, αυτά έχουν χρησιμοποιηθεί στο διάβα της ιστορίας, τόσο σαν λειτουργικά στοιχεία (για μόνωση) όσο και σαν αισθητικές ανέσεις (αναψυχή).



Εικόνα 1.1 Τυπική διάταξη ενός φυτεμένου δώματος (πηγή: <http://www.egreen.gr/system-build-ups.html>)

1.1.1 Πλεονεκτήματα φυτεμένων δωμάτων

1.1.1.1 Περιβαλλοντικά οφέλη

Ανάκτηση χαμένων επιφανειών

Η ανάκτηση χαμένων φυσικών επιφανειών εντός των αστικών ιστών θεωρείται σημαντικό πλεονέκτημα των φυτοδωμάτων. Στα μεγάλα αστικά κέντρα, η δομημένη επιφάνεια αυξάνεται ολοένα και περισσότερο εις βάρος των φυσικών επιφανειών. Αυτό έχει σαν αποτέλεσμα την εμφάνιση πλήθους αρνητικών συνεπειών, όπως είναι η επιπλέον επιβάρυνση του περιβάλλοντος, η ενίσχυση των δυσμενών επιπτώσεων του φαινομένου της αστικής θερμικής νησίδας, η υποβάθμιση του μικροκλίματος της περιοχής ανοικοδόμησης κ.α. Συνεπώς η φύτευση των δωμάτων συμβάλλει στην εξοικονόμηση φυσικών πόρων και στην αύξηση των ελεύθερων φυσικών επιφανειών σε ένα υποβαθμισμένο αστικό τοπίο.

Δέσμευση διοξειδίου του άνθρακα

Μία σημαντική θετική επίδραση των φυτεμένων δωματίων η οποία απορρέει από την λειτουργία του φυτικού οργανισμού είναι η απορρόφηση του διοξειδίου του άνθρακα με ταυτόχρονη έκλυση οξυγόνου. Όλα τα πράσινα φυτά ως γνωστόν επιτελούν τη λειτουργία της φωτοσύνθεσης η οποία είναι μια διεργασία κατά την οποία επιτυγχάνεται η σύνθεση των απαραίτητων οργανικών ουσιών από ανόργανα στοιχεία, με την παρουσία του φωτός. Επομένως τα φυτά έχουν τη δυνατότητα να βιοσυνθέτουν υδατάνθρακες, χρησιμοποιώντας το CO₂ της ατμόσφαιρας και το H₂O με την παρουσία της ηλιακής ενέργειας, ελκύοντας ταυτόχρονα O₂. Κατά συνέπεια κατασκευάζοντας φυτοδώματα αυξάνεται το πράσινο σε μία περιοχή με αποτέλεσμα την ευεργετική παραγωγή οξυγόνου αλλά και τη δέσμευση του διοξειδίου του άνθρακα (Getter et al., 2009; Li et al., 2010), η αύξηση του οποίου, εν τέλει αποτελεί και την αιτία της δημιουργίας του φαινομένου του θερμοκηπίου. Μάλιστα η φύτευση των δωματίων των πολυκατοικιών και των εμπορικών κέντρων, δύναται να θεωρηθεί ως ανταγωνιστική λύση για τη μείωση των αερίων του θερμοκηπίου όταν συμπεριλαμβάνονται και κοινωνικές παροχές (Blackhurst et al. 2010). Σε διετή έρευνά τους οι Getter et al. (2009) με είδη του γένους *Sedum* βρήκαν ότι οι συνολική απορρόφηση ενός φυτεμένου δώματος ανέρχεται σε 375 g·C·m⁻². Το ποσό αυτό είναι το άθροισμα των μέσων όρων απορρόφησης του υπέργειου μέρους των φυτών (168 gC·m⁻²), του ριζικού συστήματος (107 gC·m⁻²) και του υποστρώματος (100 gC·m⁻²)., ενώ η ποσότητα απορρόφησης εξαρτάται από το φυτικό είδος, το βάθος του υποστρώματος ανάπτυξης και την ηλικία του φυτεμένου δώματος.

Βελτίωση της ποιότητας του αέρα

Τα φυτά με τη δυνατότητά τους να συγκρατήσουν σωματίδια σκόνης και ατμοσφαιρικούς ρύπους έχουν ένα επιπλέον πλεονέκτημα σε σύγκριση με τις σκληρές επιφάνειες. Βελτιώνουν την ποιότητα του αέρα, λόγω της προσκόλλησης των ρυπογόνων ουσιών και των σωματιδίων της σκόνης στη φυλλική επιφάνεια, τα οποία στη συνέχεια, με το νερό της βροχής καταλήγουν στο έδαφος. Οι Currie and Bass (2008) επισημαίνουν την σημαντική ικανότητα των φυτοδωματίων να συμβάλουν στον καθαρισμό ατμόσφαιρας των πόλεων. Οι Johnston and Newton (1996) έχουν υποστηρίξει ότι φυτεμένα δώματα με χλοοτάπητα 2000m² δύνανται να απομακρύνουν πάνω από 4000 kg σωματιδίων από την περιβάλλουσα ατμόσφαιρα. Άλλες έρευνες έχουν δείξει την ικανότητα των φυτών να συγκρατούν ακόμα και

βαρέα μέταλλα, αν και δεν τα χρειάζονται για τη θρέψη τους (Bartfelder and Köhler, 1986; Parry, 1995; Currie and Bass, 2008). Η συσσώρευση των βαρέων μετάλλων γίνεται κατά κύριο λόγο στα χυμοτόπια των κυττάρων των φύλλων των βλαστών και σε μικρότερο βαθμό στο ριζικό σύστημα (Parry J., 1995).

Ρύθμιση της θερμοκρασίας και υγρασίας

Στα σημαντικότερα πλεονεκτήματα της εγκατάστασης των φυτοδωμάτων περιλαμβάνεται και ο έλεγχος της ατμοσφαιρικής θερμοκρασίας και υγρασίας διαμέσου της φυσιολογικής λειτουργίας της εξατμισοδιαπνοής των φυτών των φυτοδωμάτων. Τα φυτά εξατμίζουν ικανές ποσότητες νερού με αποτέλεσμα την αύξηση της ατμοσφαιρικής σχετικής υγρασίας. Είναι αποδεδειγμένη η συνεισφορά του πρασίνου στην αύξηση της ατμοσφαιρικής υγρασίας κατά την περίοδο ξηροθερμικών συνθηκών και γενικά στη διαχείριση του εδαφικού και ατμοσφαιρικού νερού.

Ιδιαίτερος σημαντικό αποτέλεσμα που απορρέει από τη φύτευση των δωμάτων είναι η μείωση της θερμοκρασίας (Simmons et al., 2008; Lundholm et al., 2009; Kumar and Kaushik, 2004). Μετά την εφαρμογή των φυτοδωμάτων έχει καταγραφεί μείωση της ηλιακής ακτινοβολίας, της ημερήσιας θερμοκρασιακής παραλλακτικότητας και μείωση της θερμικής διακύμανσης (Eumorfoulou and Aravantinos 1998). Οι μειωμένες θερμοκρασίες γίνονται ιδιαίτερα αισθητές κατά τους θερινούς μήνες, ιδιαίτερα στις περιοχές της Μεσογείου που οι ημερήσιες θερμοκρασίες είναι αρκετά αυξημένες. Ως πρωταρχική αιτία μείωσης της θερμοκρασίας, θεωρείται η προστασία που παρέχουν τα φυτοδώματα στον φέροντα οργανισμό, όσον αφορά την άμεση έκθεσή του στην ηλιακή ακτινοβολία. Επιπλέον, έλεγχος των υψηλών θερμοκρασιών επέρχεται και από:

- α) τη σκίαση που προκαλείται από τη βλάστηση,
- β) την εξατμισοδιαπνοή των φυτών, κατά την οποία η προσπίπτουσα ηλιακή ενέργεια, καταναλώνεται διαρκώς για την εξάτμιση του ύδατος,
- γ) την ανάκλαση της ηλιακής ακτινοβολίας που προκαλείται από τη φυλλική επιφάνεια,
- δ) την απορρόφηση μέρους της ηλιακής ακτινοβολίας για τη λειτουργία της φωτοσύνθεσης (Feng et al., 2010).

Οι Takakura et al. (2000) επισημαίνουν ότι πάνω από 30 % της ολικής ψύξης αποδίδεται στη διαπνοή των φυτών. Τα φυτεμένα δώματα έχει αποδειχθεί ότι έχουν

την ικανότητα να μειώνουν τη θερμική και θερμοκρασιακή διακύμανση τόσο της εξωτερικής όσο και της εσωτερικής επιφάνειας των δομικών κατασκευών πάνω στις οποίες, είναι εγκατεστημένα. Συνεπώς παρατηρείται το φαινόμενο, οι χώροι κάτω από τα φυτεμένα δώματα να έχουν μειωμένες ανάγκες σε ψύξη και θέρμανση κατά τις εποχές του θέρους και του χειμώνα αντίστοιχα. Η αξιολόγηση των ενεργειακών αποδόσεων σε σχολικό κτήριο στην Αθήνα, έδειξε σημαντική μείωση των ενεργειακών απαιτήσεων σε ψύξη κατά της θερινούς μήνες. Η μείωση που καταγράφηκε κυμαίνονταν σε ποσοστό από 6% μέχρι 49% για ολόκληρο το σχολικό κτήριο, ενώ για τον όροφο κοντά στο φυτοδώμα παρατηρήθηκε μια μείωση των ενεργειακών απαιτήσεων, της τάξεως του 12% έως 87% (Santamouris et al., 2007). Σε άλλη έρευνα που διεξήχθη από τους Denardo et al. (2005), καταγράφηκε ότι η μέγιστη επιφανειακή θερμοκρασία των φυτοδωμάτων ήταν κατά μέσο όρο 6 °C υψηλότερη το χειμώνα και πάνω από 19 °C χαμηλότερη το καλοκαίρι. Οι Loundholm et al. (2010) επισημαίνουν ότι όσα περισσότερα είδη φυτών συμπεριληφθούν, στην εγκατάσταση ενός φυτεμένου δώματος, τόσο καλύτερα και επωφελέστερα αποτελέσματα θα παρέχει. Ένα από αυτά αφορά και τη μείωση των επιφανειακών θερμοκρασιών. Οι Liu and Baskaran (2003), αναφέρουν ότι οι ημερήσιες κτηριακές ενεργειακές απαιτήσεις μειώθηκαν στη 1,5 kWh ανά ημέρα. Η θερμομόνωση που παρέχουν τα φυτοδώματα έχει αποδοθεί: α) στο στρώμα αέρα που υπάρχει κάτω από την κόμη των φυτών του οποίου η επίδραση αυξάνεται ανάλογα με την πυκνότητα και το πάχος του φυτικού στρώματος, β) στη μείωση δι' ακτινοβολίας των απωλειών θερμότητας, γ) στη μειωμένη κίνηση του αέρα στο επίπεδο του υποστρώματος εξαιτίας της πυκνής βλάστησης. Επομένως οι απώλειες θερμότητας είναι μηδενικές, με αποτέλεσμα το πυκνό φυτικό στρώμα ενός φυτεμένου δώματος να προσφέρει αποτελεσματικότερη εξοικονόμηση ενέργειας (Minke, 2009).

Σαν έμμεσο πλεονέκτημα μπορεί να θεωρηθεί και η μείωση του στροβιλισμού της σκόνης. Ένα απλό δώμα χωρίς βλάστηση, τις καλοκαιρινές ημέρες μπορεί να έχει ακραίες τιμές θερμοκρασίας, με αποτέλεσμα πάνω από αυτό να δημιουργείται μια κατακόρυφη κίνηση του αέρα (άνωση). Ως αποτέλεσμα αυτού του φαινομένου, προκαλείται απελευθέρωση σωματιδίων σκόνης και ρύπων, προκαλώντας θολότητα της ατμόσφαιρας από υδρατμούς και ρύπους, κυρίως πάνω από τα αστικά κέντρα. Η βλάστηση που υπάρχει στα φυτοδώματα μειώνει την κίνηση αυτή των αερίων μαζών καθώς η θερμοκρασία του φυτικού σώματος παραμένει μικρότερη της θερμοκρασίας του αέρα και κατά συνέπεια δεν δημιουργείται άνωση πάνω από τα φυτικά σώματα (Minke, 2009).

Ακόμη μία θετική επίδραση των φυτεμένων δωματίων είναι και η συμμετοχή τους στον περιορισμό του φαινομένου της αστικής θερμικής νησίδας, καθώς η βλάστηση επηρεάζει θετικά το μικροκλίμα της περιοχής. Η αστική θερμική νησίδα είναι ένα φαινόμενο που εμφανίζεται στο κέντρο των μεγαλουπόλεων, το οποίο σχετίζεται με την ανάπτυξη υψηλότερων θερμοκρασιών στο κέντρο των πόλεων λόγω του θετικότερου θερμικού ισοζυγίου της περιοχής (Oke 1973; Oke et al. 1991; Τσίρος 2010). Η αύξηση των εκτάσεων πρασίνου εντός του αστικού ιστού επηρεάζει σημαντικά τον μετριασμό του φαινομένου της αστικής θερμικής νησίδας (Dimouidi and Nikolouroulou, 2003). Τα φυτοδώματα ως ο ευκολότερος και γρηγορότερος τρόπος αύξησης των επιφανειών πρασίνου εντός των πυκνοδομημένων αστικών ιστών, μετριάζουν το φαινόμενο της αστικής θερμικής νησίδας, μέσω της μείωση των υψηλών θερμοκρασιών του θέρους.

Έχει αποδειχθεί ότι η διαφορά θερμοκρασίας μεταξύ αστικών και αγροτικών περιοχών είναι μεγάλη και φθάνει μέχρι τους 12°C κατά τη διάρκεια ανέφελων και ήρεμων ημερών. Τα υλικά κατασκευής των πόλεων, διαφέρουν από εκείνα της επαρχίας συμβάλλοντας έτσι στην ένταση του φαινομένου της αστικής θερμικής νησίδας, λόγω της μεγαλύτερης δυνατότητας αποθήκευσης θερμότητας από αυτά της υπαίθρου. Δύο αρχικές αιτίες για τη δημιουργία του φαινομένου της αστικής θερμικής νησίδας είναι η δομή και οι διαφορές των υλικών (Oke et al. 1991), ενώ άλλοι παράγοντες είναι οι ανθρωπογενείς πηγές θερμότητας, η ατμοσφαιρική ρύπανση και η μειωμένη εξάτμιση (Oke, 1987). Τα αυξημένο ποσοστό σκληρών δομικών υλικών σε σύγκριση με το φυτικό υλικό αποτελεί την κύρια αιτία εμφάνισης των υψηλών θερμοκρασιών. Η εγκατάσταση συνεπώς φυτεμένων δωματίων σε περιοχές που εμφανίζουν φαινόμενα θερμικής νησίδας συνιστάται, ενώ σε πολλές περιπτώσεις μπορεί να θεωρηθεί επιβεβλημένη.

Η θερμότητα που απορροφάται κατά τη διάρκεια της ημέρας από τις δομικές κατασκευές των πόλεων, επανεκπέμπεται κατά τη διάρκεια της νύκτας, δημιουργώντας θερμοκρασιακές διαφορές μεταξύ των κέντρων των πόλεων και των γειτονικών περιαστικών περιοχών χωρίς δόμηση.

Η ικανότητα των φυτοδωμάτων ως προς τη μείωση της αστικής θερμικής νησίδας λόγω της μείωσης της θερμοκρασίας της ατμόσφαιρας έχει εξεταστεί και έχει επισημανθεί κατά καιρούς από πολλούς ερευνητές (Köhler et al., 2003; Berghage et al., 2009; Alexandri and Johnes, 2008; Oberndorfer et al. 2007). Επίσης λόγω της μειωμένης εσωτερικής θερμοκρασίας των κτηρίων κατά το θέρος, μειώνονται οι ανάγκες δροσισμού, συνεπώς και εμμέσως λειτουργεί υπέρ της

άμβλυνσης του φαινομένου της αστικής θερμικής νησίδας (Osmundson, 1999). Στην έρευνα των Dimoudi and Nikolopoulou (2003) για τη συμβολή των φυτών στο μετριασμό του φαινομένου, απεδείχθη ότι τα φυτά με τη σκίαση και με την εξατμισοδιαπνοή μπορούν να μειώσουν την ατμοσφαιρική θερμοκρασία και κατά συνέπεια το φαινόμενο της θερμικής νησίδας. Συμπεραίνοντας έτσι ότι τα φυτά βελτιώνουν το μικροκλίμα της κάθε περιοχής, ενώ η αύξηση της φύτευσης στο αστικό τοπίο είναι μία από τις πιο αποτελεσματικές οδούς για τη μείωση του φαινομένου της αστικής θερμικής νησίδας.

Διαχείριση ομβρίων υδάτων

Η δυνατότητα να αποθηκεύουν το νερό της βροχής και να αποχετεύουν την περίσσια με αργό ρυθμό, προσδίδει στα φυτοδώματα, ένα ακόμη πλεονέκτημα έναντι των γυμνών επιφανειών. Ένα σύγχρονο αστικό κέντρο με την οργιάζουσα δόμηση και τη χρήση σκληρών επιφανειών εις βάρος των φυσικών, είναι επιρρεπές σε πλημμύρες χωρίς απαραίτητα η ποσότητα και η διάρκεια της βροχόπτωσης να είναι υψηλή. Με ήπιας έντασης βροχόπτωση, παρατηρείται το φαινόμενο των πλημμυρών, με αποτέλεσμα να επιβαρύνεται το αποχετευτικό σύστημα από τα όμβρια ύδατα ενώ ταυτόχρονα η περίσσια ύδατος αποχετεύεται ανεκμετάλλευτη. Η αποδεδειγμένη καθυστέρηση και μείωση της ποσότητας της απορροής των ομβρίων (Liu and Minor, 2005), έπειτα από μια έντονη βροχόπτωση θεωρείται πολύ σημαντικό πλεονέκτημα, για την αποφόρτιση του αποχετευτικού συστήματος. Το ποσοστό της υδατικής απορροής ενός φυτοδώματος εξαρτάται από τον τύπο του φυτεμένου δώματος, από το υπόστρωμα που θα χρησιμοποιηθεί, από το βάθος του υποστρώματος και από την κλίση του δώματος (Köhler, 2004; VanWoert et al., 2005; Rowe et al, 2003; Hoffman, 2006; Mentens et al., 2006; Getter et al., 2007; FLL 2002). Επίσης εξαρτάται από το είδος και την πυκνότητα του φυτικού υλικού, καθώς και από την εποχή του έτους και την ένταση της ξηρασίας (Menten, 2009; FLL 2002). Για παράδειγμα τους θερινούς μήνες τα ποσοστά της μείωσης της απορροής των υδάτων δύνανται να αγγίξουν το 100% ενώ τα αντίστοιχα ποσοστά για τους χειμερινούς μήνες είναι 40 % - 50 % (Peck et al., 1999). Οι VanWoert et al. (2005) βρήκαν ότι η ποσοστιαία διατήρηση του νερού της βροχής, ανήλθε στο 82,8% για τα φυτεμένα δώματα σε σύγκριση με το αντίστοιχο ποσοστό του 48,7% των δωματίων με χαλίκι. Οι Nagase and Dunnett (2008) παρατήρησαν ότι οι διαφορετικές φυτεύσεις, σε ένα φυτοδώμα προσδίδουν και διαφορετική ικανότητα

μείωσης του νερού της βροχής. Οι χλοοτάπητες τονίζουν ότι είναι οι πλέον αποτελεσματικοί για τη μείωση της απορροής των ομβρίων υδάτων ενώ ακολουθούν οι φυτεύσεις με βότανα και με φυτά του γένους *Sedum*. Επιπλέον επισημαίνουν ότι ακόμη και η δομή του φυτού, η γωνία του φύλλου πάνω στο βλαστό, η υφή και η μορφολογία των φύλλων των φυτών, επηρεάζουν την ποσότητα απορροής.

Ηχοπροστασία

Τα φυτοδώματα προσφέρουν επίσης και ηχοπροστασία δια της απορρόφησης, της ανάκλασης και της διάχυσης των ηχητικών κυμάτων από τα φυτά. Έχουν γίνει πολλές έρευνες πάνω στο θέμα της ηχοπροστασίας των φυτοδωμάτων. Μετρήσεις έδειξαν ότι η διάδοση του ήχου σε εκτατικά φυτεμένα δώματα ήταν μειωμένη σε σχέση με την διάδοση του ήχου σε ένα απλό μη φυτεμένο δώμα (Van Renterghem and Botteldooren, 2011). Οι Peck and Kuhn, (2001) έδειξαν ότι φυτοδώμα με βάθος υποστρώματος 13 cm μπορεί να μειώσει την ηχορύπανση κατά 40 dB. Σε άλλη έρευνα βρέθηκε ότι το γρασίδι είχε μεγαλύτερη ηχοαπορροφητική ικανότητα σε σύγκριση με ένα βαρύ τάπητα που αποτελείτο από στρώμα μονωτικών ινών στην κατώτερη επιφάνεια του (Robinette, 1972). Επιπλέον ηχομόνωση προσφέρεται και από το υπόστρωμα του φυτοδώματος καθώς η ηχομονωτική του ικανότητα για βάθος 12 cm είναι 40 dB ενώ όταν το βάθος αυξάνεται στα 20 cm η ηχομονωτική του ικανότητα φθάνει τα 46 dB. Οι Connolly and Hodgson (2008) σε πείραμα που διεξήχθη σε δύο εκτατικά φυτοδώματα 33 m², κατέγραψαν σε dB την απώλεια μετάδοσης του ήχου δια μέσου των φυτοδωμάτων. Τα αποτελέσματα έδειξαν μια αύξηση από 5 έως 13 dB για τις χαμηλές συχνότητες (50 Hz - 2000 Hz) και 2 dB έως 8 dB αύξηση των απωλειών στη μετάδοση του ήχου σε σύγκριση με την απώλεια διάδοσης στην οροφή που είχαν ως σημείο αναφοράς.

Πυροπροστασία

Ένα φυτοδώμα μπορεί επίσης να παρέχει προληπτική πυροπροστασία στη στέγη του φέροντος οργανισμού ενώ ταυτόχρονα επιβραδύνει την εξάπλωση της φωτιάς, από και προς το κτήριο μέσω της στέγης. Ωστόσο στις περιπτώσεις όπου τα φυτά είναι ξηρά μπορεί να αποτελέσουν και τα ίδια εστία ανάπτυξης πυρκαγιάς.

1.1.1.2 Οικονομικά οφέλη

Ένα φυτοδώμα προσφέρει προστασία των μονώσεων της οροφής με αποτέλεσμα τη μεγαλύτερη διάρκεια ζωής των υλικών, τη μειωμένη συντήρηση και την εξοικονόμηση των δαπανών αντικατάστασης των υλικών αυτών. Η θερμότητα, το ψύχος, οι βροχοπτώσεις, η υπεριώδεις ακτινοβολία, το όζον και η ατμοσφαιρική ρύπανση, μπορούν να προκαλέσουν συνδυασμό μηχανικών και χημικών βλαβών στα εκτεθειμένα υλικά στεγών. Αντίθετα με τη χρήση φυτοδωμάτων υπάρχει απόλυτη προστασία της στέγης από τις μηχανικές βλάβες και την υπεριώδη ακτινοβολία (Getter and Rowe, 2006).

Στα οικονομικά οφέλη περιλαμβάνεται και η εξοικονόμηση ενέργειας και κατά συνέπεια μείωση σε δαπάνες θέρμανσης και ψύξης, ανάλογα με το μέγεθος του κτιρίου, το κλίμα και το είδος του φυτοδωματος. Οι Sfakianaki et al. (2009), σε πειράματα που πραγματοποίησαν σε δύο περιοχές των Αθηνών Περιστερί και Ψυχικό, αξιολόγησαν τα οφέλη των φυτοδωμάτων από άποψη ενέργειας και διαπιστώθηκε ότι μειώνεται η ζήτηση σε ψύξη. Η μείωση του φορτίου ψύξης στα μελετηθέντα κτήρια, άγγιζε το 11%. Διαπίστωσαν ότι σε μια ηλιόλουστη ανοιξιάτικη ημέρα, με θερμοκρασία περιβάλλοντος 23°C, η μέση θερμοκρασία στις επιφάνειες των φυτοδωμάτων ήταν 6,5 και 9°C χαμηλότερη από τη μέση θερμοκρασία που καταγράφηκε σε οροφές με γκρι και καφέ πλακίδια αντίστοιχα. Ενώ η θερμοκρασία στην επιφάνεια του γρασιδιού ήταν 16°C, η θερμοκρασία στην γκρι και καφέ επιφάνεια με πλακάκια ήταν 22,5°C και 25°C αντίστοιχα. Επισημαίνεται από πολλούς ερευνητές ότι τα μεγαλύτερα ενεργειακά κέρδη σημειώνονται κατά τη διάρκεια του θέρους. Οι Liu and Baskaran (2003) μετά από παρατήρηση ότι η διακύμανση της θερμοκρασίας σε γυμνή οροφή έφθανε τους 45°C ενώ η αντίστοιχη σε φυτοδώμα πάχους 15cm, ήταν 6°C, κατέληξαν ότι υπήρχε μείωση των ημερήσιων απαιτήσεων σε ενέργεια τους καλοκαιρινούς μήνες της τάξεως του 75%. Παρομοίως οι Kumar and Kaushik (2005), κατέγραψαν μειωμένη εσωτερική θερμοκρασία, κατά τους θερμούς μήνες, (κατά μέσο όρο 5,1°C), σε κτήρια με εγκατεστημένο φυτεμένο δώμα, σε σύγκριση με κτήρια χωρίς φυτεμένο δώμα και επισημαίνουν ότι ένα φυτεμένο δώμα παρέχει δυνατότητα δροσισμού που αντιστοιχεί σε κατανάλωση ενέργειας 3,02kWh ανά ημέρα.

Τέλος η εγκατάσταση ενός φυτοδωματος αυξάνει την αντικειμενική αξία της οικοδομής/κτιρίου με συνέπεια το οικονομικό όφελος του ιδιοκτήτη κατά την ενοικίαση ή την πώληση.

1.1.1.3 Κοινωνικά-οικολογικά και αισθητικά οφέλη

Εκτός των άλλων ευεργετικών αποτελεσμάτων που απορρέουν από την εγκατάσταση ενός φυτοδώματος, προστίθεται και η αισθητική αξία των κτιρίων η οποία αναβαθμίζεται, επιδρώντας θετικά στην ψυχολογική κατάσταση και την ποιότητα ζωής των κατοίκων. Η ένταξη της βλάστησης και του φυσικού τοπίου εντός του αστικού ιστού, επιδρά ευεργετικά στη διάθεση, στην ευφορία, στη μείωση του άγχους και της καταπόνησης, στη μονοτονία της καθημερινότητας και στην αναζωογόνηση μετά από κούραση.

Η αίσθηση της ηρεμίας, που προσφέρει και η συμμετοχή όλων των αισθήσεων, κατά την διάρκεια της παραμονής σε ένα φυτοδώμα, προσδίδουν μια μεγαλύτερη αξία, της ψυχοσωματικής ευεργεσίας. Ασθενείς σε νοσοκομεία στα οποία υπάρχει εμφανώς το πράσινο έχουν γρηγορότερη ανάρρωση, ενώ η ηρεμία που μεταδίδεται από το πράσινο ωφελεί πολλές κατηγορίες ασθενών (για παράδειγμα ουσιοεξαρτώμενους, με ψυχιατρικά προβλήματα κ.ά., Peck and Kuhn, 2001). Η μείωση του άγχους και των πονοκεφάλων που προσφέρει το πράσινο σε εργαζόμενους που έχουν οπτική επαφή με αυτό, μπορεί εμμέσως να αυξήσει την παραγωγικότητα, την ψυχική ευεξία και τη διάθεση των εργαζομένων (Getter and Rowe, 2006).

Ένα φυτοδώμα μπορεί να θεωρηθεί επίσης, ως ένα μέσο επαναφοράς της βιοποικιλότητας σε ένα αστικό τοπίο (Brenneisen, 2006; Oberndorfer et al., 2007; Köhler, 2006), καθώς επαναφέρει τη χαμένη προϋπάρχουσα χλωρίδα και πανίδα του τοπίου, που έχει πληγεί ανεπανόρθωτα από την εντατικοποιημένη δόμηση των αστικών κέντρων. Τα εκτατικού κυρίως τύπου φυτοδώματα, όπου η πρόσβαση είναι περιορισμένη έως αδύνατη, λειτουργούν σαν ενδιστάτηματα για μικρά ασπόνδυλα, έντομα και πτηνά (Getter and Rowe, 2006; Lundholm et al. 2009; Coffman and Davis, 2005; Millett, 2004). Η χρήση δε διαφορετικών φυτικών ειδών στην εγκατάσταση ενός φυτοδώματος επιδρά θετικά στην αύξηση της βιοποικιλότητας (Dunnett and Kingsbury, 2004). Οι Colla et al. (2009), απέδειξαν ότι ένα φυτοδώμα παρέχει ενδιαίτημα σε πολλά είδη μέλισσας λόγω αναζήτησης τροφής. Ενώ ο Liu (2004), επισημαίνει ότι τα φυτεμένα δώματα, προσφέρουν χώρο για σπάνια και απειλούμενα είδη φυτών που αναπτύσσονται και μελετώνται χωρίς τη διατάραξη από το ευρύ κοινό ή τους φυσικούς εχθρούς τους.

Τέλος, η εκμετάλλευση του διαθέσιμου ανεκμετάλλευτου χώρου της οροφής είναι πολύ σημαντικό πλεονέκτημα των φυτεμένων δωματίων. Η λειτουργική και αισθητική αναβάθμιση που προσφέρουν σε ένα κτίριο, αυξάνουν τις παροχές που

προσφέρονται, μετατρέποντας ανεκμετάλλευτους χώρους σε χώρους ανάπαυλας, ξεκούρασης, αναψυχής και επαφής με το φυσικό τοπίο. Εκτός αυτού, τα φυτοδώματα μπορούν να αυξήσουν τα έσοδα στους ιδιοκτήτες των κτηρίων. Παραδείγματα εμπορικών κέντρων που εγκατέστησαν φυτοδώματα ανοικτά και εκμεταλλεύσιμα προς το κοινό αύξησαν τη διάρκεια των αγορών των πελατών τους καθώς χρησιμοποιούνται σαν χώροι ανάπαυλας και ξεκούρασης από τις αγορές.

1.1.2 Μειονεκτήματα

Το κυριότερο μειονέκτημα που δρα και σαν περιοριστικός παράγοντας στην επέκταση των φυτοδωμάτων, είναι η αρχική οικονομική επιβάρυνση κατά την εγκατάσταση. Το υψηλό κόστος είναι η κυριότερη αιτία περιορισμού της εξάπλωσης και της μειωμένης ευρείας απήχησης των φυτεμένων δωματίων.

Ένα ακόμα μειονέκτημα είναι ο κίνδυνος πρόκλησης μηχανικών βλαβών στα υποκείμενα μονωτικά στρώματα του φέροντος οργανισμού κατά την εγκατάσταση των φυτοδωμάτων. Έτσι χρειάζεται μεγάλη προσοχή καθ' όλες τις εργασίες εγκατάστασης καθώς υπάρχει ο κίνδυνος διείσδυσης της υγρασίας στο εσωτερικό του κτιρίου, ενώ επίσης υπάρχει δυσκολία επισκευής των στεγανωτικών στρώσεων σε περίπτωση βλάβης.

Ένα πρόβλημα στην Ελλάδα που χρήζει αντιμετώπισης, είναι η ηλικία των κτηρίων που υπάρχουν σε ένα αστικό κέντρο. Τα περισσότερα κτήρια και τα οικήματα στην Ελλάδα, είναι παλαιά χωρίς τις απαιτούμενες σύγχρονες προδιαγραφές στατικότητας, θερμομονώσεως και υδατοστεγάνωσης των νεόκτιστων οικημάτων. Από τα 4 εκατομμύρια κτήρια που υπάρχουν στην Ελλάδα τα 3 εξ' αυτών είναι κτίρια κατοικίας και το 85% είναι κτισμένα πριν το 1985, πριν δηλαδή την εφαρμογή του κανονισμού θερμομόνωσης. Έτσι η στατική επιβάρυνση ενός κτιρίου θεωρείται ένα από τα μειονεκτήματα και θα πρέπει να αντιμετωπίζεται σε κάθε περίπτωση ξεχωριστά. Ο τύπος του φυτεμένου δώματος που θα χρησιμοποιηθεί καθώς και τα υλικά, θα πρέπει να είναι ανάλογα των δυνατοτήτων του οικήματος, ενώ απαραίτητη κρίνεται η στατική μελέτη από ειδικούς.

Η αξιολογή αύξηση του φορτίου του οικήματος στο οποίο εφαρμόζεται ένα φυτεμένο δώμα είναι σοβαρό μειονέκτημα που χρήζει αντιμετώπισης με διαρθρωτικές κινήσεις, δίνοντας έμφαση στην επιλογή εδαφικού υποστρώματος χαμηλού βάρους, ενώ ταυτόχρονα να δύναται να υποστηρίξει την ανάπτυξη του φυτικού στρώματος. Η κύρια αιτία αύξησης του φορτίου είναι πρωτίστως το

εδαφικό υπόστρωμα και δευτερευόντως το φυτικό υλικό (Scrivens, 1990). Η αξιολόγηση των υποστρωμάτων θα πρέπει να επικεντρωθεί στο βάρος κορεσμού, στην υδατοϊκανότητα, καθώς και στην ικανότητά τους να υποστηρίξουν την σωστή ανάπτυξη των φυτών (Nektarios et al., 2003; Getter and Rowe, 2006; Rowe et al. 2006; ASTM, 2006)

1.2 Τύποι φυτοδώματος

Ανάλογα με τις δυνατότητες και αντοχές του κάθε κτίσματος, ανάλογα με τις χρήσεις που προορίζεται το φυτοδώμα, με τις επιθυμίες και την οικονομική δυνατότητα των ιδιοκτητών τα φυτεμένα δώματα χωρίζονται σε τρεις τύπους. Τον εντατικό τύπο, τον ημιεντατικό τύπο ή ημιεκτατικό τύπο και τον εκτατικό τύπο.

1.2.1 Εντατικός τύπος

Το σύστημα του εντατικού τύπου συνίσταται στη δημιουργία ενός κανονικού κήπου, σε υπόστρωμα βάθους από 15 cm και άνω. Το εντατικό σύστημα χαρακτηρίζεται ως η προσομοίωση του φυσικού τοπίου, ενώ έχει αυξημένες απαιτήσεις συντήρησης. Συνήθως σχεδιάζονται ως οροφόμενοι για ανθρώπινη χρήση και απαιτούν άρδευση, τακτή συντήρηση και πρόσθετη δομική ενίσχυση της οροφής (Oberndorfer et al., 2007).

Ο εντατικός τύπος περιλαμβάνει μεγάλη ποικιλία βλάστησης από ποώδη φυτά μέχρι δεινόφυτα και θαμνώδη είδη. Τα φυτά που χρησιμοποιούνται σε αυτού του τύπου φυτοδώματα έχουν κανονικές ή αυξημένες απαιτήσεις όσον αφορά την υποδομή, τη διαθεσιμότητα νερού και θρεπτικών στοιχείων.

Στους εντατικούς τύπους φυτεμένων δωματίων υπάρχει ευρύ φάσμα διαθέσιμων επιλογών για σχέδια και χρήσεις το οποίο σημαίνει ότι οι προς κατασκευή χώροι μπορούν να τροποποιηθούν και να κατασκευαστούν κατά τέτοιο τρόπο ώστε να δημιουργείται μια θελκτικότητα συγκρίσιμη των πάρκων που βρίσκονται στο επίπεδο του φυσικού εδάφους. Τα εντατικά φυτοδώματα καλύπτουν ουσιαστικά μια ολόκληρη σειρά επιλογών φυτικού υλικού αλλά και επιλογών εξωραϊσμού όμοιων με αυτές που χρησιμοποιούνται στις επίγειες κατασκευές κήπων (FLL, 2002).



Εικόνα 1.2 Εντατικός τύπος φυτεμένου δώματος στον κήπο του Μεγάρου Μουσικής Αθηνών (πηγή: <http://www.megaron.gr/default.asp?pid=109&la=1>)

1.2.2 Ημιεντατικός ή ημικεκτατικός τύπος

Ο ημιεντατικός τύπος φυτοδώματος έχει περισσότερους περιορισμούς απ' ό τι ο εντατικός τύπος καθώς και μειωμένη λειτουργικότητα. Για τη φύτευση ενός ημιεντατικού συστήματος συμπεριλαμβάνεται η χρήση κλοσταπήτων, αυτοφυών φυτών και θάμνων, φυτών εδαφοκάλυψης και θαμνοσυστάδες. Οι διαθέσιμες επιλογές όσον αφορά το φυτικό υλικό δεν είναι τόσο ευρείες όπως του εντατικού συστήματος. Οι απαιτήσεις του εγκατεστημένου φυτικού υλικού τόσο σε άρδευση όσο και σε επάρκεια θρεπτικών στοιχείων είναι μειωμένες σε σχέση με τις απαιτήσεις των φυτών των εντατικών φυτοδωμάτων. Όπως είναι φυσικό, και η οικονομική επιβάρυνση θα είναι μικρότερη από ότι των εντατικών φυτοδωμάτων (FLL, 2002).

Ο ημιεντατικός τύπος φυτοδώματος συνδυάζει πολλά από τα περιβαλλοντικά πλεονεκτήματα του εκτατικού τύπου με μερικές από τις αισθητικές δυνατότητες που προσφέρει ο εντατικός τύπος. Ίσως το πιο σημαντικό που προσφέρει είναι, ότι επιτρέπει ένα ευρύ φάσμα επιλογής φυτικών ειδών που δύνανται να αναπτυχθούν σε φυτοδώματα χωρίς να χρειάζονται σημαντικές διαρθρωτικές τροποποιήσεις των κτιρίων (Dunnnett and Nolan, 2004).



Εικόνα 1.3 Τύπος ημιεντατικού φυτοδώματος (πηγή:

http://www.interlocbuild.co.uk/environmental_carbon_neutral.phpwww.green-flat-roofs.com/rubber-flat-roof.html)

1.2.3 Εκτατικός τύπος φυτοδώματος

Χαρακτηρίζεται ως το σύστημα φύτευσης με το μικρότερο φορτίο για τον φέροντα οργανισμό (από 20 μέχρι 120 kg m⁻²). Το υπόστρωμα ανάπτυξης έχει βάθος μέχρι 15 cm, ενώ δεν προβλέπεται η οποιαδήποτε καλλιεργητική φροντίδα. Τα εκτατικά φυτοδώματα δημιουργούν μια διαρκή κλειστή φυτική οροφή η οποία δίνει την εντύπωση του φυσικού εδάφους. Τα εκτατικά φυτοδώματα θεωρούνται περισσότερο ως ένα κομμάτι της φύσης παρά ως μέρος ενός αρχιτεκτονικού σχεδίου.

Τα φυτά που χρησιμοποιούνται πρέπει να είναι ιδιαιτέρως κατάλληλα για την αντιμετώπιση του ευρέως φάσματος δυσμενών συνθηκών που πρόκειται να αντιμετωπίσουν, ενώ χρειάζεται να είναι ικανά για αυτό-πολλαπλασιασμό (FLL, 2002). Χρησιμοποιούνται φυτά χαμηλών απαιτήσεων και ανθεκτικά στην ξηρασία και στο κρύο. Έτσι, η μεγάλη ικανότητα αναγέννησης των φυτών συνεκτιμάται κατά την επιλογή τους, ενώ προτιμητέα είναι τα αυτοφυή φυτά της τοπικής κλωρίδας της κάθε περιοχής καθώς και βρύα, παχύφυτα (όπως είδη του γένους *Sedum*), πλώδη φυτά, και φυτά εδαφοκάλυψης. Επιθυμητή είναι και η μίξη των φυτικών ειδών καθώς και η εμφάνιση νέων ειδών επί του φυτοδώματος.



Εικόνα 1.4 Η οροφή του κτηρίου του Υπουργείου οικονομικών στην οποία έχει εφαρμοστεί εκτατικό φυτοδώμα (<http://www.petridislandscape.gr/steges.html>)

Ο εκτατικός τύπος φυτοδώματος εφαρμόζεται κυρίως σε μη προσβάσιμες στέγες κτιριακών εγκαταστάσεων και σε κτιριακές δομές που δεν αντέχουν τα μεγάλα φορτία, ενώ η μειωμένη συντήρηση και το χαμηλό κόστος εγκατάστασης είναι πλεονεκτήματα που συνεκτιμώνται κατά την επιλογή του τύπου των φυτεμένων δωμάτων. Η μεγάλη διάρκεια ζωής και η δυνατότητα εγκατάστασής του σε μεγάλες κλίσεις (έως 30°) και σε μεγάλες εκτάσεις έχουν κάνει τον εκτατικό τύπο πολύ δημοφιλή σε πολλές χώρες του εξωτερικού.

1.3 Μεγιστοποίηση των πλεονεκτημάτων των φυτοδωμάτων

Ό,τι ισχύει σε κάθε πνεύμονα - πυρήνα - κοιτίδα πρασίνου το ίδιο ισχύει και στα φυτεμένα δώματα. Όσο μεγαλύτερη έκταση καταλαμβάνουν σε ένα τόπο, τόσο η επίδραση των ευεργετικών αποτελεσμάτων είναι μεγαλύτερη και εντονότερη. Η ύπαρξη μιας ενιαίας μάζας πρασίνου είναι αποτελεσματικότερη απ' ό,τι το κατακερματισμένο και διασκορπισμένο πράσινο, που παρατηρείται στα σύγχρονα αστικά κέντρα. Τα ευεργετικά πλεονεκτήματα που απορρέουν από την εγκατάσταση ενός φυτεμένου δώματος είναι εντονότερα όταν οι εγκαταστάσεις φυτοδωμάτων συνορεύουν με φυτοκαλυμμένους όγκους. Η ενοποίηση που επιτυγχάνεται με τη γειτνίαση ενός φυτοδώματος με το αστικό ή περιαστικό πράσινο βοηθά στην επέκταση και διεξόδυση στον αστικό ιστό, των

φυτοκαλυμμένων όγκων, με τα όποια πλεονεκτήματα συνεπάγονται από μια τέτοια ενοποίηση, τόσο για τους ιδιοκτήτες των φυτοδωμάτων όσο και για τους κατοίκους της γύρω περιοχής.

Επομένως η συνένωση πολλών φυτεμένων δωμαίων εντός του αστικού ιστού, δρουν ως ενιαίος όγκος πρασίνου και είναι σαφές ότι έτσι μεγιστοποιούνται τα πλεονεκτήματα που απορρέουν από το μεμονωμένο φυτεμένο δώμα.

1.4 Προβληματισμοί για την εγκατάσταση φυτοδωμάτων στα κέντρα των πόλεων

Η ιδέα της ανάκτησης χαμένων επιφανειών πρασίνου, σε ένα άλλο επίπεδο πάνω από το φυσικό έδαφος, είναι θεωρητικά η καλύτερη, η γρηγορότερη και η αποτελεσματικότερη λύση, χωρίς μάλιστα, επιπτώσεις στην πολεοδομική διάταξη. Έτσι, τα φυτεμένα δώματα λειτουργούν ως τρόπος αύξησης των φυτοκαλυμμένων εκτάσεων εντός των αστικών ιστών. Όμως η εγκατάστασή τους συναντά περιορισμούς όσον αφορά την ευρεία εξάπλωση τους εντός των προβληματικών από άποψη βιοκλιματολογίας περιοχών. Ένας σημαντικός προβληματισμός που τίθεται, είναι η παλαιότητα των κτιρίων. Η ηλικία των κτιριακών εγκαταστάσεων, οι καταπονημένοι σκελετοί των κτηρίων από το πέρας των χρόνων και των διαφόρων φυσικών φαινομένων που κατά καιρούς έπλητταν τις περιοχές, η όλη κατασκευαστική δομή των κτιρίων που εντάσσεται πριν την ένταξη σύγχρονων προδιαγραφών κατασκευής, είναι προβληματισμοί που χρήζουν επίλυσης για την επιτυχημένη εγκατάσταση φυτοδωμάτων.

Περιορισμός στην εξάπλωση των φυτοδωμάτων στα αστικά κέντρα είναι και το εισόδημα των κατοίκων. Στις περιοχές οι οποίες πλήττονται από θερμικές εντάσεις και χαρακτηρίζονται από ελλιπή ύπαρξη πρασίνου, κατοικούν κυρίως άνθρωποι με μικρό εισόδημα, οι οποίοι δε δύνανται να αντιμετωπίσουν ένα επιπλέον κόστος. Σε πολλά σύγχρονα αστικά κέντρα ζουν και μετανάστες οι οποίοι προσπαθούν να επιβιώσουν σε ένα ξένο κράτος με ανύπαρκτο πολλές φορές εισόδημα. Η ιδέα της εγκατάστασης φύτευσης στα δώματα όπως είναι φυσικό εγκαταλείπεται σε αυτές τις περιπτώσεις.

Επίσης περιορισμένο είναι και το ενδιαφέρον των κατοίκων για περιβαλλοντικά υπεύθυνες λύσεις. Το όλο θέμα χρήζει υποστήριξης από τον

κρατικό μηχανισμό με τρόπους οικονομικής ενίσχυσης των προσπαθειών υλοποίησης ιδεών περιβαλλοντικού ενδιαφέροντος.

Τέλος εκτός των άλλων οι πυκνοδομημένες περιοχές των κέντρων των πόλεων δυσκολεύουν την πρόσβαση συνεργείων και μηχανημάτων για τις εργασίες εγκατάστασης των φυτοδωμάτων.

1.4.1 Αποτέλεσμα των παραπάνω προβληματισμών

Η επιδίωξη επίλυσης και μετριασμού των παραπάνω προβληματισμών οδηγεί στο να χρησιμοποιούνται τεχνικές και μέθοδοι οι οποίες θα είναι αποδεκτές και δυνατές από τους κατοίκους, αλλά ταυτόχρονα οι εγκαταστάσεις θα υποστηρίζουν επάξια τον όρο "φυτοδώματα". Τέτοιες κινήσεις μετριασμού των προβληματισμών είναι η επιλογή εγκατάστασης εκτατικών φυτοδωμάτων με τα επακόλουθα θετικά αποτελέσματα, καθώς και η επιλογή οικονομικότερων και ελαφρύτερων υλικών, ώστε να μειωθεί το κόστος εγκατάστασης και να αντιμετωπιστεί το υψηλό φορτίο και η αντίστοιχη στατική επιβάρυνση.

1.4.2 Μετριασμός του φορτίου

Η κύρια αιτία αύξησης του φορτίου ενός φυτοδώματος είναι πρωτίστως το εδαφικό υπόστρωμα και δευτερευόντως το φυτικό υλικό (Scrivens 1990). Κατά την εγκατάσταση βλάστησης είναι επιθυμητό η επιλογή εδαφικού υποστρώματος να εστιαστεί στο όσο το δυνατόν μικρότερο βάρος με ταυτόχρονη δυνατότητα υποστήριξης και ανάπτυξης του φυτικού υλικού (Nektarios et al., 2003). Μείωση του βάρους αφενός επιτυγχάνεται με τη χρήση ελαφριών υλικών που απαρτίζουν ένα υπόστρωμα και αφετέρου, με την εφαρμογή ρηχών υποστρωμάτων. Τα αβαθή υποστρώματα, είναι περισσότερο επιθυμητά από τα βαθύτερα διότι τα κτήρια που υποδέχονται και υποστηρίζουν τις εγκαταστάσεις φυτοδωμάτων θα πρέπει να έχουν επαρκώς ισχυρή δομή (Getter and Rowe, 2007).

Η χρήση εδαφοβελτιωτικών, είναι ένας τρόπος μείωσης και ελέγχου του βάρους των υποστρωμάτων και εξαιτίας αυτού του χαρακτηριστικού τείνει να κυριαρχήσει η χρήση συστατικών ορυκτολογικής προέλευσης στα μίγματα υποστρωμάτων των φυτοδωμάτων (Beattie and Berghage, 2004; Nektarios et al., 2003, 2011). Ένας δεύτερος τρόπος μείωσης του βάρους των υποστρωμάτων είναι η

μείωση του βάθους τους, οπότε όταν αυτή συνδυαστεί με τα ελαφριά εδαφοβελτιωτικά, αναμένεται σημαντική μείωση του βάρους της κατασκευής (Nektarios et al., 2003).

1.5 Υποστρώματα εκτατικών φυτοδωμάτων

Μεγάλο μέρος ερευνών έχει διεξαχθεί σχετικά με τα υποστρώματα των φυτοδωμάτων. Όσον αφορά τα υποστρώματα των εκτατικών, εκτός των άλλων ιδιοτήτων που θα πρέπει να έχουν, θα πρέπει να δοθεί ιδιαίτερη σημασία στον παράγοντα βάρος. Όπως έχει προαναφερθεί ένας τρόπος αντιμετώπισης του βάρους είναι η προσθήκη εδαφοβελτιωτικών στο μίγμα, ενώ υπάρχει έλλειψη ερευνητικών μελετών αναφορικά με τη μείωση του φορτίου μέσω της χρήσης εδαφοβελτιωτικών. Ένας ακόμη παράγοντας που πρέπει να εξετασθεί κατά την επιλογή του υποστρώματος είναι η ισορροπία ανάμεσα στην υδατοϊκανότητα και την αποστράγγιση. Γενικά τα εδαφοβελτιωτικά εκτός της μείωσης του βάρους, αυξάνουν και το πορώδες του υποστρώματος, διατηρούν επαρκώς την υγρασία για την ανάπτυξη των φυτών, ενώ ταυτοχρόνως απομακρύνουν την περίσσια αυτής (Nektarios et al., 2003, 2011). Παράλληλα πρωταρχική λειτουργία ενός υποστρώματος είναι να παρέχει στήριξη και επαρκή αγκύρωση στο φυτικό υλικό (Nektarios et al., 2003) καθώς επίσης και απρόσκοπτη πρόσβασή, σε θρεπτικά στοιχεία, νερό και οξυγόνο (Handreck and Black, 2002). Επομένως τα υποστρώματα θα πρέπει να έχουν κατάλληλο pH και ηλεκτρική αγωγιμότητα για το φυτικό υλικό που θα επιλεγεί και συγκεκριμένα όσον αφορά τα υποστρώματα εκτατικών φυτοδωμάτων, θα πρέπει σύμφωνα με τις προδιαγραφές: το pH να κυμαίνεται μεταξύ 6,5 και 8,0, η περιεκτικότητα σε άλατα να είναι μικρότερη των 5,22 dS m⁻¹ ενώ θα πρέπει να διαθέτει και τα απαραίτητα θρεπτικά στοιχεία (N ≤ 80 mg L⁻¹, P ≤ 200 mg L⁻¹, K ≥ 700 mg L⁻¹, Mg ≤ 160 mg L⁻¹) (FLL, 2002). Οι Getter and Rowe (2006) επισημαίνουν ότι ένα υπόστρωμα θα πρέπει να περιλαμβάνει κατά το μεγαλύτερο μέρος του υλικά ορυκτολογικής προέλευσης. Επιπροσθέτως θα πρέπει να αποφεύγεται η προσθήκη μεγάλων ποσοτήτων κομπόστ και γενικά οργανικής προέλευσης ουσιών, εξαιτίας της αποδόμησης που υφίστανται, και η οποία οδηγεί σε συρρίκνωση και μείωση του αρχικού βάθους των υποστρωμάτων (Beattie and Berghage, 2004). Επίσης έχει παρατηρηθεί αύξηση του ποσοστού ανόργανων στοιχείων όπως N και P στο νερό απορροής μετά τη χρήση κομπόστ (Moran et al.,

2005). Οι Nektarios et al. το 2003 μελέτησαν διάφορα μίγματα υποστρωμάτων με εδαφοβελτιωτικά, ως προς τις ιδιότητές τους και ως προς τη δυνατότητα μείωσης του φορτίου, ενώ ταυτόχρονα έγινε αξιολόγηση των συγκεκριμένων υποστρωμάτων ως προς την επίδρασή τους στην ανάπτυξη των φυτών. Οι Rowe et al. (2006) σε μελέτη που διενήργησαν, αξιολόγησαν τη χρήση θερμικά διογκωμένου σχιστόλιθου στην εγκατάσταση, ανάπτυξη και επιβίωση φυτών *Sedum* και αυτοφυών φυτών. Τα αποτελέσματα έδειξαν ότι τα υποστρώματα με την υψηλότερη περιεκτικότητα σε σχιστόλιθο έδωσαν φυτά με ελαφρώς χαμηλότερη ανάπτυξη και χαμηλότερες βαθμολογίες όσον αφορά τα ποιοτικά χαρακτηριστικά τους, ανεξάρτητα του φυτικού είδους. Όμως η χρήση του θερμικά διογκωμένου σχιστόλιθου σε μετρίως υψηλά ποσοστά εντός μιγμάτων υποστρωμάτων (80%), συνίσταται, για χρήση σε εκτατικά φυτοδώματα με παχύφυτα και αυτοφυή είδη, χωρίς αρνητικά αποτελέσματα στην υγεία των φυτών, ενώ ταυτοχρόνως σημειώνεται μείωση του φορτίου του φέροντος οργανισμού. Σε μια άλλη έρευνα στη Μελβούρνη των Williams et al. (2010) παρουσιάστηκαν δύο προϊόντα με πολλές υποσχέσεις για χρήση τους σε φυτεμένα δώματα. Η ηφαιστειακή τέφρα και η επεξεργασμένη τέφρα κλιβάνου, που παράγεται από την καύση άνθρακα για την παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας, δύνανται να παρέχουν άριστες φυσικές ιδιότητες. Ωστόσο οι ερευνητές εξήγησαν ότι χρειάζεται περισσότερη έρευνα πάνω στο συγκεκριμένο θέμα ιδίως στο να καθοριστούν οι ιδανικές ποσότητες και οι ιδιότητες που μπορούν να παρέχουν σε υποστρώματα φυτοδωμάτων τα συγκεκριμένα εδαφοβελτιωτικά. Οι Thuning et al. (2010) αξιολόγησαν τα αποτελέσματα της διογκωμένης αργίλου και σχιστόλιθου εμπλουτισμένα με κόμποστ μανιταριών, πάνω στην ανάπτυξη και το ξηρό βάρος πέντε παχύφυτων και αυτοφυών ειδών. Ως επί το πλείστον τα φυτά αναπτύσσονταν καλύτερα με τη διογκωμένη άργιλο και το σχιστόλιθο σαν αποτέλεσμα τη καλύτερης διατήρησης της υγρασίας και της ικανότητας συγκράτησης των θρεπτικών στοιχείων κατά την διάρκεια της υδατικής καταπόνησης.

1.6 Βάθος εκτατικών υποστρωμάτων

Το βάθος του υποστρώματος ενός φυτοδώματος, δύναται να προωθήσει τη γρήγορη εγκατάσταση του φυτικού υλικού, την πυκνότητα εδαφοκάλυψης, την επιβίωση κάτω από ακραίες περιβαλλοντικές συνθήκες και την ανάκαμψη των φυτών μετά από τη χειμερινή περίοδο (ASTM, 2006; Getter and Rowe, 2006). Το

κύριο χαρακτηριστικό των εκτατικών φυτοδωμάτων που τα διαφοροποιεί από τα εντατικά φυτοδώματα είναι το μικρό βάθος υποστρώματος. Η επίδραση των διαφόρων βαθών υποστρωμάτων των φυτοδωμάτων πάνω στην ανάπτυξη των φυτών έχει διερευνηθεί από πολλούς ερευνητές, για να καθοριστεί το μικρότερο βάθος με το οποίο τα φυτά μπορούν να αναπτύσσονται κανονικά σε μια προσπάθεια της ελαχιστοποίησης του φορτίου, της κτιριακής δομής και του κόστους κατασκευής. Οι Durhman et al., (2007) μελέτησαν 25 είδη παχύφυτων σε τρία διαφορετικά βάθη υποστρώματος (2,5 cm, 5 cm και 7,5 cm). Η μελέτη είχε ως στόχο την αξιολόγηση της επίδρασης του βάθους του υποστρώματος στην αρχική εγκατάσταση και επιβίωση των ειδών καθώς και την καταγραφή του ποσοστού κάλυψης των φυτών σε κάθε βάθος υποστρώματος. Τα αποτελέσματα έδειξαν ότι τα βαθύτερα υποστρώματα προωθούν καλύτερα την επιβίωση, την ανάπτυξη και το ποσοστό φυτοκάλυψης, αν και αρκετά είδη εξακολουθούσαν να επιβιώνουν στο ρηκό υπόστρωμα των 2,5 cm. Επίσης φάνηκε ότι τα βαθύτερα υποστρώματα προωθούν την καλύτερη επιβίωση μετά τη χειμερινή περίοδο και αυξάνουν τη διατήρηση υγρασίας. Οι Rowe et al., (2006) συμπέραναν ότι τα φυτά που δεν συγκαταλέγονταν στα παχύφυτα απαιτούσαν βαθύτερα υποστρώματα με πρόσθετη οργανική ουσία ή επιπλέον άρδευση. Τα αποτελέσματα μιας ακόμη έρευνα των Getter and Rowe (2007) έδειξε ότι το βάθος δεν επηρεάζει την επιβίωση των φυτών *Sedum*. Οι VanWoert et al. (2005), μετά από έρευνα κατέληξαν στο συμπέρασμα ότι υποστρώματα βαθύτερα των 6 cm, αξιολογήθηκαν ως τα καλύτερα σε σύγκριση με υποστρώματα των 2 cm σχετικά με τη διατήρηση της εδαφικής υγρασίας και της ανάπτυξης των φυτών, παρατήρησαν ότι στο βαθύτερο υπόστρωμα ένα μεγάλο ποσό εδαφικής υγρασίας διατηρούνταν και ήταν διαθέσιμο για τα φυτά κατά την περίοδο της ξηρασίας. Επίσης κατέληξαν στο συμπέρασμα ότι η άρδευση μπορεί να αντικαταστήσει εν μέρει το μειωμένο βάθος υποστρώματος. Οι Boivin et al. (2001) διαπίστωσαν ότι η διακύμανση της θερμοκρασίας στα ρηκά υποστρώματα ήταν μεγαλύτερη απ' ό,τι στα βαθύτερα γεγονός που επιδρούσε δυσμενώς στην επιβίωση και ανάπτυξη των φυτών. Οι Boivin et al. (2001) διερεύνησαν την επίδραση του βάθους των υποστρωμάτων πάνω στις βλάβες που προκαλούνται από την επίδραση των χαμηλών θερμοκρασιών στα φυτά ενός φυτοδωματος. Τα βάθη που αξιολογήθηκαν ήταν 5 cm, 10 cm και 15 cm. Τα αποτελέσματα της έρευνας έδειξαν ότι τα έξι αυτοφυή είδη που χρησιμοποιήθηκαν (*Ajuga reptans*, *Arenaria verna*, *Draba aizoides*, *Armeria maritime*, *Gypsophyla repens* και *Sedum xhybridum*), είχαν υποστεί μεγαλύτερη βλάβη στο ρηχότερο υπόστρωμα των 5 cm απ' ό,τι στα

άλλα δύο βαθύτερα υποστρώματα λόγω των μεγαλύτερων θερμοκρασιακών διακυμάνσεων και των μικρότερων ελάχιστων θερμοκρασιών που παρατηρήθηκαν στο ρηχότερο υπόστρωμα. Οι ερευνητές κατέληξαν στο συμπέρασμα ότι η επιβίωση των φυτών κατά τη χειμερινή περίοδο τελικά βασίζεται μόνο στο βάθος του μέσου ανάπτυξής τους. Παρόμοια αποτελέσματα βρήκαν και οι Dunnett and Nagase 2007, οι οποίοι κατέγραψαν το μέσο ύψος των φυτών, τη διάδοση του κάθε μεμονωμένου είδους καθώς και την ανθοφορία και επιβίωση. Ανακάλυψαν ότι θετικότερα αποτελέσματα έδωσαν τα φυτά του βαθύτερου υποστρώματος των 200 mm έναντι αυτών που ήταν εγκατεστημένα σε υπόστρωμα βάθους 100 mm. Ακόμη μια έρευνα που υποστηρίζει τη σημαντικότητα του βάθους στα υποστρώματα ανάπτυξης των φυτοδωμάτων είναι και αυτή των Getter and Rowe (2008), κατά την οποία αξιολογήθηκε το βάθος υποστρώματος ως προς την αρχική εγκατάσταση των φυτών του γένους *Sedum*. Τα αποτελέσματα έδειξαν ότι τα περισσότερα είδη παρουσίασαν καλύτερη ανάπτυξη και κάλυψη στα βαθύτερα υποστρώματα των 7 cm και 10 cm σε σύγκριση με αυτό των 4 cm καταλήγοντας έτσι στο συμπέρασμα ότι σε ένα εκτατικό φυτοδώμα συνίσταται η χρήση υποστρώματος βάθους 7 cm και άνω.

1.7 Άρδευση

Όσον αφορά την άρδευση των φυτοδωμάτων, και ειδικότερα για τον εκτατικό τύπο, βάση προδιαγραφών δεν προβλέπεται άρδευση. Όμως εξαιτίας των δυσμενών περιβαλλοντικών συνθηκών που επικρατούν στον Ελλαδικό χώρο κατά την θερινή περίοδο θα πρέπει κατά την εγκατάσταση να υπάρξει μέριμνα άρδευσης για την επιβίωση του φυτικού υλικού. Παρόλο που οι γερμανικές προδιαγραφές φυτεμένων δωμάτων (FLL 2002), έχουν διατυπωθεί για τα βορειότερα κλίματα και παρέχουν ελάχιστες πληροφορίες, για την άρδευση, των φυτοδωμάτων, έχει πλέον αναγνωρισθεί (διαπιστωθεί) από πολλούς ερευνητές ότι όταν πρόκειται για εγκατάσταση φυτοδωμάτων σε ημερημικές περιοχές η άρδευση καθίσταται αναγκαία ειδικά την περίοδο του πρώτου ή και του δεύτερου χρόνου εγκατάστασης και κατά τη διάρκεια σοβαρών περιόδων ξηρασίας το καλοκαίρι (Getter and Rowe, 2006; Latocha and Batorska, 2007; Williams et al. 2010; Wolf and Loundholm, 2008). Οι Getter and Rowe (2006), διευκρινίζουν πως αναλόγως την τοποθεσία, κατά την περίοδο εγκατάστασης και κατά τη διάρκεια του καλοκαιριού, ίσως

απαιτηθεί άρδευση και σκίαση. Οι ερευνητές θεωρούν ότι απαιτείται αρχική άρδευση κατά τη φύτευση και έπειτα η συχνότητα ποτίσματος κατά την περίοδο εγκατάστασης θα εξαρτηθεί από τις περιβαλλοντικές συνθήκες. Οι Worden et al. (2004), αναφέρουν ότι κατά τη διάρκεια της περιόδου εγκατάστασης του φυτικού υλικού σε ένα εκτατικό φυτοδώμα, η οποία συνήθως διαρκεί 6 μήνες, είναι αναγκαία η εφαρμογή άρδευσης, σε περίπτωση που δεν επικρατούν ευνοϊκές συνθήκες. Συνιστούν δε να γίνει εγκατάσταση συστήματος στάγδην, ώστε να χρησιμοποιηθεί σε περιπτώσεις ακραίων ξηροθερμικών συνθηκών. Επίσης ο Yajun et al. (2010), εξηγούν ότι εξαιτίας των μακρών περιόδων ξηρασίας στο Πεκίνο, το σύστημα άρδευσης είναι απαραίτητο όποιος και αν είναι ο τύπος φυτοδώματος που θα χρησιμοποιηθεί. Παρόμοια επισήμανση κάνει και ο Williams et al. (2010), τονίζοντας ότι στην Αυστραλία όπως και σε άλλες περιοχές με ξηροθερμικά ή μεσογειακά κλίματα η βιομηχανία των φυτεμένων δωματών είναι σε αρχικά ακόμα στάδια καθώς η έλλειψη πόσιμου νερού σε παγκόσμια κλίμακα οδηγεί σε σημαντικούς περιορισμούς της χρήσης αυτού, σε φυτοδώματα. Συνεπώς δεν είναι εφικτή η χρήση μεγάλων ποσοτήτων πόσιμου νερού για εφαρμογή στα φυτοδώματα οπότε επιβάλλεται η χρήση σκληραγωγημένου και ανθεκτικού στην ξηρασία φυτικού υλικού, το οποίο θα μπορεί να ανταπεξέλθει σε περιόδους αυξημένων θερμοκρασιών και ξηρασίας. Εντούτοις, οι πράσινες στέγες των οποίων η εγκατάσταση αποσκοπεί στην αποτελεσματική αντιμετώπιση της αστικής θερμικής νησίδας μέσω της εξατμισοδιαπνοής, θα χρειαστούν κάποια άρδευση, κατά τη διάρκεια των θερμών εποχών. (Dunnett and Kingsbury 2010; Spronken-Smith and Oke, 1998)

Οι Latocha and Batorska (2007), επισημαίνουν πως οι συνθήκες σε ένα αστικό τοπίο είναι συνήθως αφιλόξενες για τα φυτά. Σε πολλές περιοχές κατά την περίοδο του θέρους οι ημερήσιες θερμοκρασίες είναι εξαιρετικά υψηλές, ενώ και οι νύκτες είναι θερμές εξαιτίας της θερμικής ακτινοβολίας που εκπέμπουν τα κτήρια και γενικά οι σκληρές επιφάνειες της πόλης. Η έρευνα των Latocha and Batorska (2007), διενεργήθηκε με σκοπό τη διερεύνηση της επίδρασης της άρδευσης στο φυτικό υλικό εκτατικών φυτοδωμάτων. Τα αποτελέσματα έδειξαν ότι η εφαρμογή της άρδευσης επηρεάζει θετικά το φυτικό υλικό ενώ κατά τη διάρκεια της ερευνητικής μελέτης, μερικά φυτικά είδη δεν μπόρεσαν να αντέξουν και να ανταπεξέλθουν κατά το εξαιρετικά ξηρό θέρος της πρώτης περιόδου. Τα περισσότερα από αυτά ήταν φυτά στα οποία δεν είχε εφαρμοστεί άρδευση. Στα φυτά που εφαρμόστηκε η άρδευση παρατηρήθηκε ότι δεν σημείωσαν μόνο

σημαντικά καλύτερη επιβίωση αλλά και καλύτερη ανάπτυξη σε σύγκριση με τα φυτά χωρίς άρδευση. Οι ερευνητές κατέληξαν στο συμπέρασμα ότι χωρίς την εφαρμογή άρδευσης στο υπόστρωμα μικρού βάθους (εν προκειμένου 8 cm) τα δοκιμαζόμενα φυτά δεν θα ήταν σε θέση να επιβιώσουν.

Οι Thuning et al. (2010), τονίζουν ότι εκτός από την ποσότητα της άρδευσης, ο χρόνος επιβολής της ξηρασίας (αμέσως μετά την εγκατάσταση ή αργότερα) έχει επίσης ένα σημαντικό αντίκτυπο, στην εγκατάσταση των φυτών γιατί η πρόωρη έκθεση σε ξηρασία προκαλεί ανεπιθύμητα αποτελέσματα στην ανάπτυξη τους.

Οι Wolf and Loundholm (2008) διενέργησαν έρευνα που είχε σαν σκοπό τη διερεύνηση της επίδρασης των φυτικών ειδών και της διαθεσιμότητας σε νερό, στην υδατική απορρόφηση στα φυτοδώματα. Χρησιμοποίησαν 14 φυτικά είδη χωρισμένα σε 4 ομάδες (παχύφυτα, ποώδη δικοτυλήδονα, αγρωστώδη και έρποντες θάμνους) και τρεις συχνότητες άρδευσης. Η άρδευση γινόταν ανά 4, 11 και 24 ημέρες. Μετά από δύο μήνες παρατηρήθηκε ότι στην ξηρή μεταχείριση επιβίωσαν μόνο τα παχύφυτα. Επίσης τα φυτά, κατά την μεταχείριση των περισσότερων ημερών διάρκειας άρδευσης (ξηρή μεταχείριση), έχασαν κατά 30% περισσότερο νερό από τα φυτά του μάρτυρα. Η φυτοκάλυψη που δημιουργήσαν τα *Sedum* βοήθησε στη διατήρηση της υγρασίας περισσότερο απ' ό,τι τα φυτά του μάρτυρα, και των άλλων ειδών, κατά τη διάρκεια της υγρής και ενδιάμεσης μεταχείρισης. Αυτό συνεπάγεται ότι η μορφή και ο τύπος ανάπτυξης εμπόδισαν την εξάτμιση από την επιφάνεια του εδαφικού στρώματος. Τονίζουν επίσης ότι η ποσότητα νερού που χάνεται μέσω της εξατμισοδιαπνοής σχετίζεται με την εδαφική υγρασία και με τον τύπο της βλάστησης, ενώ η συσχέτιση της βλάστησης με την απώλεια νερού από τα φυτοδώματα, επιβεβαιώνεται σε περιπτώσεις χαμηλού υδατικού δυναμικού. Κατά την υγρή μεταχείριση παρατηρήθηκε ότι τα φυτικά είδη διέφεραν μεταξύ τους στη σχέση τους με τη γενική απώλεια ύδατος.

Οι Durhman et al., (2006) μελέτησαν την επίδραση της υδατικής καταπόνησης πάνω στη χλωροφύλλη, και στην ανάπτυξη φυτών σε φυτοδώματα. Το πείραμα περιελάμβανε τόσο είδη *Sedum* όσο και C₃ και C₄ είδη σε βάθος υποστρώματος 7,5 cm. Τα αποτελέσματα έδειξαν ότι ακόμα και μετά από περίοδο τεσσάρων μηνών τα είδη *Sedum* επιβίωσαν και διατηρήσαν ενεργό φωτοσυνθετικό μεταβολισμό σε μεγαλύτερο βαθμό από τα C₃ και C₄ είδη. Επιπλέον όταν τα *Sedum* αρδεύτηκαν μετά από 28 ημέρες ξηρασίας οι τιμές της χλωροφύλλης επανήλθαν στις χαρακτηριστικές πριν την καταπόνηση τιμές. Αντίθετα τα C₃ και C₄ είδη φυτά για να

επιβιώσουν απαιτούσαν μία συχνότητα άρδευσης κάθε δεύτερη μέρα ώστε να διατηρηθούν ενεργά στην αύξηση και στην ανάπτυξη. Η μεγαλύτερη αύξηση σε συνολική συσσώρευση βιομάζας και η γρηγορότερη ανάπτυξη σημειώθηκαν κατά την περίοδο των συχνών ανά 2 ημέρες άρδευση.

Οι Nagase and Dunnett (2010), στην ερευνητική μελέτη που εκπόνησαν με σκοπό τη διερεύνηση της επίδρασης της ποικιλομορφίας της βλάστησης στην επιβίωση των φυτών κάτω από συνθήκες ξηρασίας, κατέληξαν ότι πράγματι η μίξη περισσότερων του ενός είδους, έδωσε καλύτερα αποτελέσματα όσον αφορά την επιβίωση και την οπτική ποιότητα. Χρησιμοποιήθηκαν 12 είδη φυτών καταναμεημένα σε τρεις ομάδες (πλατύφυλλα, *Sedum*, αγρωστώδη). Το πειραματικό σχέδιο περιελάμβανε φύτευση μονοκαλλιέργειας, μίγμα τεσσάρων ειδών, και μίγμα των 12 ειδών. Οι συχνότητες άρδευσης ήταν ανά μια, ανά δύο και ανά τρεις εβδομάδες. Το συμπέρασμα στο οποίο κατέληξαν είναι ότι ένα ποικίλο μίγμα φυτικών ειδών θεωρείται πιο συμφέρον από τη μονοκαλλιέργεια όσον αφορά τη μεγαλύτερη βιωσιμότητα και την υψηλότερη οπτική ποιότητα κάτω από συνθήκες ξηρασίας. Τα αποτελέσματα έδειξαν ότι συνδυασμοί φυτικών ειδών με ποικιλομορφία και διαφορετική πολυπλοκότητα των φυσιολογικών λειτουργιών, είναι πιο αποτελεσματικοί σε σχέση με την εγκατάσταση φυτών της ίδιας ταξινομικής ομάδας, εξαιτίας του μεγαλύτερου ανταγωνισμού για τους παρεχόμενους πόρους του μέσου ανάπτυξης. Όσον αφορά την αντοχή των φυτών στην ξηρασία καταλήγουν και αυτοί στο συμπέρασμα ότι τα φυτά του γένους *Sedum* παρουσίασαν καλύτερη συμπεριφορά από τα πλατύφυλλα και τα αγρωστώδη. Η διαφορά μεταξύ των πλατύφυλλων και των αγρωστωδών ήταν μικρή ενώ για την αποφυγή της ξήρανσης απαιτούσαν άρδευση. Τα φυτά που παρουσίασαν ξήρανση σε ποσοστό μικρότερο του 50% των φύλλων τους, κατάφεραν να επιβιώσουν μέχρι το πέρας της μελέτης.

1.8 Φυτικό υλικό εκτατικών φυτοδωμάτων.

Η επίτευξη των παραπάνω στόχων γίνεται χρησιμοποιώντας το κατάλληλο φυτικό υλικό. Οι περισσότερες έρευνες που γίνονται για την καταλληλότητα του φυτικού υλικού καταλήγουν στο ότι τα πλέον κατάλληλα για τις συνθήκες που επικρατούν σε ένα άνυδρο εκτατικό φυτοδώμα με μικρό βάθος υποστρώματος, είναι τα παχύφυτα και ιδιαίτερα τα φυτά του γένους *Sedum* (Durhman et al. 2007;

Getter and Rowe, 2008, 2009; Monterusso et al. 2005; Nagase and Dunnett, 2010; Snodgrass, 2005; VanWoert et al., 2005; Wolf and Loundholm, 2008). Η επιλογή του κατάλληλου φυτικού υλικού το οποίο να αντέχει στις καταπονήσεις είναι υψίστης σημασίας για την επιτυχή εγκατάσταση σε φυτοδώμα. Οι Monterusso et al. (2005) επισημαίνουν πως σχεδόν κάθε φυτικό είδος δύναται να χρησιμοποιηθεί σε εγκαταστάσεις φυτοδωμάτων, εφόσον το είδος ενδείκνυται για τις κλιματολογικές συνθήκες της επιλεγμένης περιοχής και εφόσον υπάρχει κατάλληλο υπόστρωμα, επαρκές βάθος και διαθεσιμότητα άρδευσης.

Τα αυτοφυή είδη θεωρούνται ιδανική επιλογή, εξαιτίας των φυσικών προσαρμογών στις εκάστοτε τοπικές κλιματολογικές συνθήκες. Όμως λόγω των σκληρών περιβαλλοντικών συνθηκών και του μικρού βάθους των υποστρωμάτων των εκτατικών φυτοδωμάτων, οι διαθέσιμες επιλογές αυτοφυών ειδών περιορίζονται σημαντικά (Dunnett and Kingsbury, 2010). Έτσι στα φυτοδώματα χρησιμοποιούνται τόσο τα ενδημικά όσο και τα μη ενδημικά φυτά. Η χρήση των παχύφυτων ειδών *Sedum* είναι πολύ δημοφιλής στα συστήματα φυτεμένων δωματίων στη Βόρεια Αμερική, όμως πολύ συχνή είναι και η χρήση αγριολούλουδων (Wark and Wark, 2003).

Οι Snodgrass and Snodgrass (2006) επισημαίνουν πως δεν μπορεί να είναι δυνατή η αντιγραφή ενός φυσικού λιβαδιού σε ένα περιβάλλον φυτοδωματός, λόγω του ότι το περιβάλλον του φυτοδωματός δεν είναι ίδιο με το φυσικό περιβάλλον. Κατά συνέπεια το ευρύ φάσμα των φυτικών ειδών που αποτελούν το φυσικό λιβάδι, ίσως να μην μπορέσει να προσαρμοστεί στις επικρατούσες συνθήκες. Σημειώνουν βέβαια, πως αυτοφυή φυτά έχουν ευδοκιμήσει σε φυτεμένα δώματα υπό προϋποθέσεις, όπως βαθιά υποστρώματα με ισορροπία θρεπτικών στοιχείων και μικροβιακού φορτίου.

1.8.1 Εγκατάσταση αυτοφυών σε εκτατικά φυτοδώματα

Το φυτικό υλικό ενός φυτοδωματός θα πρέπει να επιλέγεται με βάση τις τοπικές κλιματολογικές συνθήκες που επικρατούν (Dunnett and Kingsbury, 2004).

Τα αυτοφυή φυτά είναι ιδιαίτερα προσαρμόσιμα σε ένα τέτοιο, ανθρωπογενές ενδιαίτημα όπως είναι ένα φυτεμένο δώμα γι' αυτό είναι συχνή η εγκατάστασή τους σε φυτοδώματα (Oberdorfer et al., 2007). Τα περισσότερα δε από αυτά, έχουν αντιμετωπίσει και προσαρμοστεί σε παρόμοιες συνθήκες που

επικρατούν σε ένα εκτατικό φυτοδώμα. Επομένως φυτά της τοπικής κλωρίδας έχουν ένα πλεονέκτημα για γρηγορότερη εγκατάσταση. Είναι σε θέση να αντέξουν το λιγυστό εδαφικό υπόστρωμα, την αυξημένη θερμοκρασία της πόλης, τους ισχυρούς ανέμους, και τα ποικίλα επίπεδα υγρασίας όλο το χρόνο. Για τους λόγους αυτούς επισημαίνεται η καταλληλότητα της χρήσης τους από πολλούς ερευνητές (Nagase and Dunnett, 2008; Oberdorfer et al., 2007)

Είναι σε θέση εκτός των άλλων, να παρέχουν ένα οικείο ενδιαίτημα για την τοπική πανίδα και κλωρίδα της κάθε περιοχής αλλά κυρίως να προσελκύουν έντομα επικονιαστές αυξάνοντας έτσι τη βιοποικιλότητα του φυτεμένου δώματος και εμπλουτίζοντας την ήδη υπάρχουσα φύτευση με ακόμα περισσότερα αυτοφυή είδη της τοπικής κλωρίδας. Οπότε ο στόχος ενός εκτατικού φυτοδώματος να προσομοιάζει με «εικονική φύση» θα είναι πιο κοντά στην επίτευξή του.

Η εγκατάσταση με σπορά ετήσιων αυτοφυών ειδών, είναι εύκολη και φθηνή, ενώ έχει παρατηρηθεί ότι είναι ανθεκτικά στην ξηρασία και με μακρά ανθοφορία. Επιπλέον η ανθοφορία μπορεί να αρχίσει ακόμα και από τον πρώτο μήνα μετά τη σπορά (Nagase and Dunnett, 2008). Σημειώνεται δε ότι η μικρότερης πυκνότητας σπορά των ειδών, είναι προτιμότερη από την πυκνή σπορά. Με τον τρόπο αυτό μειώνεται ο ανταγωνισμός μεταξύ των ειδών και επιτυγχάνεται η καλύτερη δυνατή ανάπτυξη όλων των ειδών. Επίσης, αναφέρεται ότι η άρδευση είναι σημαντική για την σωστή εγκατάσταση, εμφάνιση και την έγκαιρη ανάπτυξή των αυτοφυών ειδών, ενώ η συμπληρωματική άρδευση επέδρασε θετικά τόσο στη βέλτιστη ανάπτυξη, όσο και στην ανθοφορία τους.

1.9 Σκοπός της εργασίας

Ο σκοπός της παρούσης εργασίας ήταν: α) να καθοριστεί η επίδραση του τύπου και του βάθους του υποστρώματος στο βαθμό εγκατάστασης του ενδημικού φυτού *D. fruticosus*, β) να αξιολογηθεί η ικανότητα του *D. fruticosus* όσον αφορά την επιτυχή επιβίωση κατά τη θερινή περίοδο, μετά την εγκατάσταση, κάτω από την επιβολή ελλιπούς ποσότητας άρδευσης και γ) να καθοριστούν τα αποτελέσματα του τύπου και του βάθους του υποστρώματος καθώς και της ποσότητας άρδευσης στην ανάπτυξη και τη φυσιολογία του *D. fruticosus* τόσο κατά τη διάρκεια του καλοκαιριού κάτω από συνθήκες υδατικής καταπόνησης όσο και στη συνέχεια.

2. Υλικά και Μέθοδοι

Η ερευνητική μελέτη διεξήχθη στον αγρό του Εργαστηρίου Ανθοκομίας και Αρχιτεκτονικής Τοπίου του Γ.Π.Α. από 30 Μαρτίου του 2010 μέχρι 22 Νοεμβρίου του 2010. Από την 30^η του μηνός Μαρτίου έως την 22^α του μηνός Νοεμβρίου διερευνήθηκε η επίδραση του είδους και του βάθους του υποστρώματος στην εγκατάσταση των φυταρίων του φυτού *Dianthus fruticosus sub. fruticosus*. Επιπλέον από την 8^η του μηνός Ιουλίου έως την 2^α του μηνός Σεπτεμβρίου διερευνήθηκε η αντοχή των φυταρίων στην καταπόνηση από έλλειψη υγρασίας. Η περίοδος της υδατικής καταπόνησης άρχισε από την 8^η Ιουλίου μέχρι την 11^η Σεπτεμβρίου του 2010.

2.1 Κατασκευή πειραματικών τεμαχίων - διαστάσεις πειραματικών

Τα πειραματικά τεμάχια κατασκευάστηκαν στον πειραματικό αγρό του Εργαστηρίου, σε ειδικά διαμορφωμένο χώρο, ο οποίος προσομοιάζε σε φυτοδώμα καθώς χρησιμοποιήθηκαν υλικά και διαστρώσεις που χρησιμοποιούνται στην κατασκευή ενός φυτεμένου δώματος.

Αρχικά ισοπεδώθηκε το έδαφος του αγρού και τοποθετήθηκε πλαστικό για την παρεμπόδιση των ζιζανίων χωρίς όμως να εμποδίζεται η ελεύθερη αποστράγγιση του επιφανειακού νερού της βροχής. Στη συνέχεια διαστρώθηκε η επιφάνεια με γαρμπίλι σε πάχος 10 cm, για τη γρήγορη αποστράγγιση του πλεονάζοντος νερού των πειραματικών τεμαχίων. Επί της επιφάνειας του γαρμπιλιού, κατασκευάστηκαν, από εμποτισμένη ξυλεία (πάχος 2cm και ύψος 20cm), τα πειραματικά τεμάχια. Κάθε πειραματικό τεμάχιο είχε εσωτερικές διαστάσεις μήκους και πλάτους 60 cm x 58 cm και συνολικού εμβαδού 0,348 m².

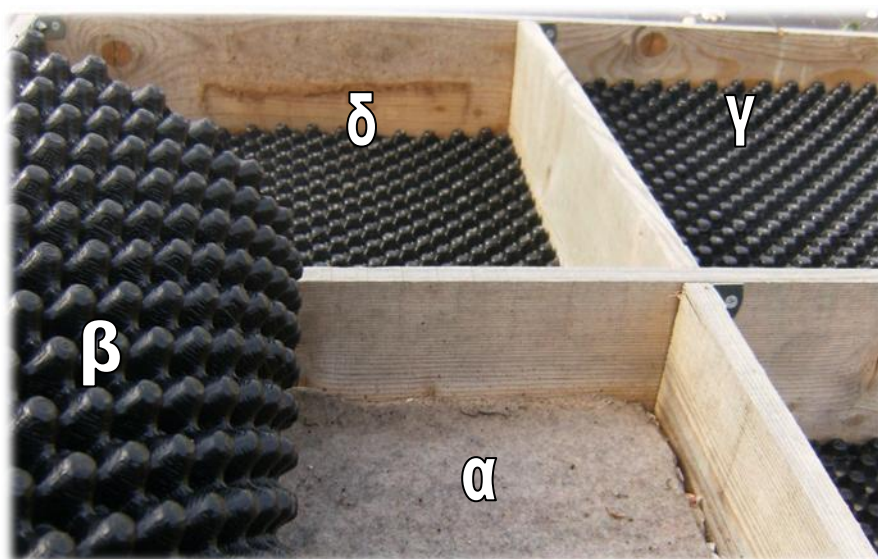
2.2 Διαστρώσεις πειραματικών τεμαχίων

Στη βάση του κάθε πειραματικού τεμαχίου τοποθετήθηκε μία στρώση από γαρμπίλι σε δύο διαφορετικά ύψη ώστε να προκύψουν τα δύο διαφορετικά βάθη των 7.5 cm και 15 cm υποστρώματος σύμφωνα με το πειραματικό σχέδιο. Στη συνέχεια τοποθετήθηκε η διάστρωση προστασίας, η οποία ήταν από συνθετικό υλικό κατασκευασμένο από ανακυκλούμενες πολυεστερικές ίνες, πάχους 3mm και

Βάρους $0,32 \text{ Kg}\cdot\text{m}^{-2}$ (TSM 32, της εταιρείας ZinCo GmbH) η οποία έχει διττή χρήση: α)προστατεύει από τυχόν μηχανικές βλάβες την υγρομόνωση του φυτεμένου δώματος και β) έχει ικανότητα συγκράτησης υγρασίας η οποία φθάνει τα 3L m^{-2} .



Εικόνα 2.1 Η διαμόρφωση του βάθους πραγματοποιήθηκε με την τοποθέτηση γαρμπιλιού.



Εικόνα 2.2 Τοποθέτηση των διαστρώσεων. Στην εικόνα διακρίνονται α) η διάστρωση προστασίας, β) η αποστραγγιστική στρώση κυψελοειδούς μορφής και τα διαφορετικά βάθη των πειραματικών τεμαχίων (γ= ρηχό, δ= βαθύ).

Επί της διάστρωσης προστασίας τοποθετήθηκε η αποστραγγιστική διάταξη η οποία διέθετε κυψελοειδή μορφή (FLORADRAIN FD 25, της εταιρείας ZinCo GmbH)

ώστε να συνδυάζει ταχύτητα απομάκρυνσης του πλεονάζοντος νερού ενώ ταυτόχρονα είχε τη δυνατότητα αποθήκευσης νερού έως 3 L m^{-2} . Η αποστραγγιστική διάταξη είχε πάχος 25 mm και βάρος $1,5 \text{ Kg}\cdot\text{m}^{-2}$ ενώ η βάση κατασκευής της ήταν το ανακυκλούμενο πολυαιθυλένιο.

Στη συνέχεια τοποθετήθηκε γεωϋφασμα κατασκευασμένο από θερμικά πλεγμένο πολυπροπυλένιο, με πάχος 600μm και με βάρος $100 \text{ g}\cdot\text{m}^{-2}$ (SF, της εταιρείας ZinCo GmbH) προκειμένου να διαχωριστούν οι δύο φάσεις του υποστρώματος δηλαδή να συγκρατηθεί η μετακίνηση των σωματιδίων του υποστρώματος προς τις κυψέλες του αποστραγγιστικού ενώ αντίθετα να διευκολυνθεί η διήθηση του πλεονάζοντος νερού από το υπόστρωμα προς το αποστραγγιστικό σύστημα.

Το μέγεθος των ανοιγμάτων του διαφράγματος ήταν μεγέθους 95μm, ενώ η υδραυλική αγωγιμότητά του ήταν $0,07 \text{ m}\cdot\text{sec}^{-1}$. Το γεωϋφασμα πακτώθηκε με συρραπτικό στα πλευρικά τοιχώματα των πειραματικών τεμαχίων σε ύψος περίπου 5-6cm.

Τέλος τοποθετήθηκαν τα υποστρώματα ανάπτυξης σύμφωνα με την παρακάτω παράγραφο.



Εικόνα 2.3 Διακρίνεται το γεωϋφασμα κατά τη στιγμή της τοποθέτησης πάνω από την αποστραγγιστική στρώση. Θα κοπεί στα 5-6 cm από την αποστραγγιστική στρώση και θα πακτωθεί περαιτέρω μέχρι εφαρμογής στα πλευρικά τοιχώματα.

2.3 Υποστρώματα ανάπτυξης

Χρησιμοποιήθηκαν δύο διαφορετικά υποστρώματα ανάπτυξης. Τα υποστρώματα ήταν επιλεγμένα σύμφωνα με τις απαιτήσεις του FLL. Οι κατευθυντήριες γραμμές του FLL όσον αφορά την παρουσία εδάφους στα υποστρώματα ανάπτυξης εκτατικών φυτοδωμάτων είναι να μην υπερβαίνει το 15% κατά βάρος η περιεκτικότητά της ιλύος σε ένα υπόστρωμα, ενώ η διάμετρος των σωματιδίων της να μην ξεπερνά τα 0,063 mm. Ωστόσο υπάρχει μια αυξανόμενη τάση στην αγορά για τα υποστρώματα των εκτατικών φυτοδωμάτων να μπορούν να μην περιέχουν καθόλου έδαφος. Από την άλλη το έδαφος μπορεί να δρα ως συνδετικός παράγοντας μεταξύ των σωματιδίων του υποστρώματος και κατά συνέπεια δύναται να αυξάνει την ικανότητα συγκράτησης υγρασίας σε χαμηλές μυζήσεις, βελτιώνοντας έτσι την ανάπτυξη των φυτών σε ημι-ξηρικές περιοχές. Έτσι η επιλογή των υποστρωμάτων περιλαμβάνει ένα υπόστρωμα χωρίς έδαφος και ένα με προσθήκη 15% αμμοπηλώδες έδαφος. Το υπόστρωμα χωρίς έδαφος (Pum₅₀:Per₂₀:C₂₀:Z₁₀) αποτελείτο από κατ' όγκο ανάμειξη των παρακάτω υλικών: ελαφρόπετρα (50%), περλίτης (20%), κομποστ (20%) και ζεόλιθο (10%), . Το δεύτερο υπόστρωμα με την προσθήκη εδάφους (S₁₅:Pum₄₀:Per₂₀:C₂₀:Z₅) αποτελείτο από αμμοπηλώδες έδαφος (15%), ελαφρόπετρα (40%), περλίτη (20%), κομπόστ (20%) και ζεόλιθο(5%) (S= αμμοπηλώδες έδαφος, Pum= ελαφρόπετρα, Per= περλίτης, C= Κομπόστ, Z=Ζεόλιθος).

Οι πρώτες ύλες του κόμποστ ήταν άχυρο, πριονίδι, κομμένο γρασίδι, αποξέσματα ξύλου, και κοπριά αγελάδων, αλόγων, και πουλερικών. Τα χημικά και θρεπτικά χαρακτηριστικά βρίσκονται στον παρακάτω πίνακα. Η προμήθεια του κόμποστ έγινε από την εταιρία Λ. Καμπάνης ΑΕ, Σπάτα, Αθήνα.

Πίνακας 2.1. Ανάλυση του κόμποστ σε ξηρά δείγματα (105 °C).

Ανάλυση	Τιμή	Μέθοδος ανάλυσης
Οργανικά υλικά (%)	38.70	A.O.A.C. 967.05/16 th edition
pH (εκχύλισμα νερού 3:50)	8.60	A.O.A.C. 973.04,1/16 th edition
EC (εκχύλισμα νερού 1:5) ($\mu\text{S}\cdot\text{cm}^{-1}$)	5,000.00	Methods of soil analysis, American Society of Agronomy, No. 9, part 2 1982
C/N	10.70	
Ολικό N (%)	2.09	A.O.A.C. 973.06/16 th edition
Ολικό P ₂ O ₅ (διαλυμένο σε ανόργανο οξύ)	1.61	EC Regulation 2003/2003/3.1.1 and AFNOR U42-246
Ολικό K ₂ O (%)	2.72	EC Regulation 2003/2003/3.1.1 and A.A.S.
Ολικό MgO (%)	1.69	EC Regulation 2003/2003/8.1 and 8.7
Ολικό Ca (%)	7.16	EC Regulation 2003/2003/8.1 and A.A.S.
Ολικό Na (%)	0.31	EC Regulation 2003/2003/8.1 and 8.10
Ολικός Fe ($\text{mg}\cdot\text{Kg}^{-1}$)	7,330.00	EC Regulation 2003/2003/9.1 and 9.8
Ολικός Zn ($\text{mg}\cdot\text{Kg}^{-1}$)	231.00	EC Regulation 2003/2003/9.1 and 9.11
Ολικό Mn ($\text{mg}\cdot\text{Kg}^{-1}$)	433.00	EC Regulation 2003/2003/9.1 and 9.9
Ολικό Cu ($\text{mg}\cdot\text{Kg}^{-1}$)	40.00	EC Regulation 2003/2003/9.1 and 9.7
Ολικό B ($\text{mg}\cdot\text{Kg}^{-1}$)	321.00	EC Regulation 2003/2003/9.1 and 9.5

C/N= άνθρακας/άζωτο, Ca= ασβέστιο, Na=νάτριο, Fe= σίδηρος, Zn=ψευδάργυρος, Mn=Μαγγάνιο, Cu=χαλκός, B= βόριο

Ο περλίτης συμπεριλήφθηκε ως συστατικό υποστρωμάτων λόγω του κατάλληλου μεγέθους των σωματιδίων του, λόγω της επαρκούς ικανότητας συγκράτησης του νερού 31%v/v σε κορεσμό και λόγω του μειωμένου βάρους του ($61\text{Kg}\cdot\text{m}^{-3}$). Ο περλίτης, Perloflor, ήταν της εταιρείας ISOCON ΑΕ και το μέγεθος των σωματιδίων του ήταν από 1 έως 5mm. Ο τύπος της ελαφρόπετρας που χρησιμοποιήθηκε ήταν Besser (0 - 8 mm) της εταιρείας ΛΑΒΑ Μεταλλευτική και Λατομική ΑΕ. Ο κλινοπτινολιτικός ζεόλιθος χρησιμοποιήθηκε για να αυξήσει την ικανότητα συγκράτησης θρεπτικών στοιχείων στο υπόστρωμα λόγω του ότι ο

συγκεκριμένος τύπος ζεόλιθου έχει την ικανότητα να απορροφά και να διατηρεί κατιόντα NH_4^+ και K^+ , στη δομή του η οποία χαρακτηρίζεται από μικροσωληνίσκους, ενώ έπειτα τα παρέχει στα φυτά με τρόπο δράσης βραδείας αποδέσμευσης. (Huang and Detronic 1994). Η κατανομή του μεγέθους των σωματιδίων του ζεόλιθου ήταν από 0,8 έως 2,5 mm και η προμήθειά του έγινε από την εταιρεία S&B Βιομηχανία Ορυκτών ΑΕ. Η σύσταση του εδάφους περιελάμβανε 77,0 % άμμου, 7,8 % ιλύς, 15,2% άργιλο και 0,703 % w/w οργανικά υλικά. Το pH του εδάφους ήταν 8,63 ενώ η ηλεκτρική αγωγιμότητα (EC) ίση με $80 \mu\text{S}\cdot\text{cm}^{-1}$.

Τα υποστρώματα κατασκευάστηκαν με την ανάμιξη των συστατικών τους σε μηχανικό αναδευτήρα οικοδομικών υλικών, για την πληρέστερη ομογενοποίησή τους. Τα υποστρώματα τοποθετήθηκαν σε κάθε πειραματικό τεμάχιο χωριστά και πιέζονταν ανά στρώσεις ώστε να πληρωθεί σωστά το πειραματικό τεμάχιο, ενώ αφέθηκαν για 2 μήνες να διευθετηθούν περαιτέρω με τη φυσική βροχόπτωση.

2.4 Φυτικό υλικό

Μετά την ολοκλήρωση της πλήρωσης των πειραματικών τεμαχίων από το κατάλληλο υπόστρωμα φυτεύτηκαν 4 φυτά ανά πειραματικό τεμάχιο σε αποστάσεις των 15 cm από τα τοιχώματα και 30cm μεταξύ των φυτών.

Για τη διεξαγωγή του πειράματος επιλέχθηκε το αυτοφυές ενδημικό είδος με κοινή ονομασία: Γαρυφαλλάκι της Σερίφου και επιστημονική: *Dianthus fruticosus* sub. *fruticosus* (οικ. *Caryophyllaceae*). Τα φυτά αποκτήθηκαν από τοπικό φυτώριο της Μήλου, (Dianthos Nurseries), και μεταφέρθηκαν στο εργαστήριο σε παλέτες. Τα φυτά πολλαπλασιάστηκαν με σπόρους, που



συλλέχθηκαν από ένα φυτό από την τοπική κλωρίδα της περιοχής του νησιού της Μήλου και τοποθετήθηκαν σε παλέτες (50 x 50 x 50 mm) με υπόστρωμα τύρφης και περλίτη σε ισόποση αναλογία (1:1). Η μεταφύτευση των φυταρίων στον πειραματικό αγρό διενεργήθηκε την 30^η Μαρτίου 2010. Την 22^η Απριλίου 2010

εφαρμόστηκε κορυφολόγημα ομοιομορφίας σε ύψος 15 cm σε όσα φυτά ξεπερνούσαν το ύψος αυτό. Την 2^α Ιουνίου 2010 έγινε αντικατάσταση 8 φυτών που απέκλιναν από την ομοιομορφία του συνόλου των φυτών. Ο συνολικός αριθμός των φυτών ήταν 160 (40 τεμάχια Χ 4 φυτά ανά τεμάχιο). Την 9^η Ιουνίου 2010 αφαιρέθηκαν τυχόν πλευρικοί βλαστοί ή διπλών φυταρίων δημιουργώντας μονοστέλεχα φυτά, και στις 22 Ιουνίου έγινε κορυφολόγημα (τσίμπημα) όσων φυτών δεν είχαν υποστεί το πρώτο κορυφολόγημα. Από την εγκατάστασή τους μέχρι την 8^η Ιουλίου 2010 η οποία και απετέλεσε την ημερομηνία έναρξης της υδατικής καταπόνησης, τα φυτά αρδεύονταν κάθε τρεις μέρες έως κορεσμού. Επιπλέον τα φυτά λιπάνθηκαν μία μόνο φορά την 19^η Μαΐου 2010 με λίπασμα βραδείας αποδέσμευσης (Floranid Permanent 16-7-15(+2Mg +9S) της εταιρίας Compro HELLAS S.A.), ενώ η δόση ήταν $6\text{g}\cdot\text{m}^{-2}$.



Εικόνα 2.4 Το φυτικό υλικό πριν τη μεταφύτευση

2.5 Πειραματικό σχέδιο και επεμβάσεις

Το πειραματικό σχέδιο ήταν πολυπαραγοντικό με τρεις, προς εξέταση, παράγοντες. Οι παράγοντες αυτοί ήταν ο τύπος του υποστρώματος, το βάθος του υποστρώματος και η παροχή ποσότητας άρδευσης εντός της περιόδου της υδατικής καταπόνησης. Πιο αναλυτικά, η μελέτη περιελάμβανε τις παρακάτω επεμβάσεις: α) δύο τύπους υποστρώματος [$\text{P}_{100}\text{M}_{50}\text{:Per}_{20}\text{:C}_{20}\text{:Z}_{10}$ και $\text{S}_{15}\text{:P}_{100}\text{M}_{40}\text{:Per}_{20}\text{:C}_{20}\text{:Z}_{5}$], β) δύο βάθη υποστρώματος [7,5 cm και 15 cm] και γ) δύο διαφορετικές ποσότητες

άρδευσης κατά την περίοδο της υδατικής καταπόνησης [15% και 30% της εξάτμισης (E_{pan})]. Συνολικά η μελέτη διέθετε 40 πειραματικά τεμάχια ($2_{\text{υποστρώματα}} \times 2_{\text{βάθη}} \times 2_{\text{αρδεύσεις}} \times 5_{\text{επαναλήψεις}} = 40$ πειραματικά τεμάχια) και 160 φυτά ($40_{\text{τεμάχια}} \times 4_{\text{φυτά/τεμάχιο}} = 160$ φυτά).

Η διάταξη των πειραματικών τεμαχίων έγινε ακολουθώντας το εντελώς τυχαίο σχέδιο και η ανάλυση της διασποράς των συλλεχθέντων στοιχείων, πραγματοποιήθηκε χρησιμοποιώντας το στατιστικό πρόγραμμα STATGRAPHICS plus, version 2.1. Λόγω του κύριου ερευνητικού ενδιαφέροντος το οποίο ήταν τα αποτελέσματα των επιδράσεων των παραπάνω επεμβάσεων πάνω στην ανάπτυξη του φυτού *Dianthus fruticosus* sub. *fruticosus*, η στατιστική ανάλυση διεξήχθη, χρησιμοποιώντας την πολυπαραγοντική ανάλυση της διακύμανσης, συγκρίνοντας τα αποτελέσματα των επεμβάσεων σε κάθε δειγματοληπτική ημερομηνία ξεχωριστά. Η σύγκριση για όλες τις στατιστικές αναλύσεις έγινε χρησιμοποιώντας τη μέθοδο της ελαχίστης σημαντικής διαφοράς (LSD), η σημαντικότητα των αποτελεσμάτων εξετάστηκε με τη γενική δοκιμασία του F για επίπεδο σημαντικότητας $P < 0,05$.

2.6 Κοκκομετρία

Η κοκκομετρία του υποστρώματος προσδιορίστηκε με τη χρήση μιας σειράς από κόσκινα ποικίλου μεγέθους, τα οποία τοποθετούνταν σε μηχανική κοσκινίστρα (Vibratory Sieve Shaker AS 200 basic, Retsch Ltd., Haan, Germany). Τα μεγέθη των οπών των κοσκίνων ήταν >10mm, 8mm, 4mm, 2mm, 1mm, 0,5mm, 0,25mm, 0.106mm, 0,053mm και <0,053mm. Στο τέλος ζυγιζόταν η ποσότητα υποστρώματος του κάθε κόσκινου και αναγόταν σε επί τοις εκατό αναλογία. Έγιναν τρεις επαναλήψεις. Η κοκκομετρία του κάθε υποστρώματος φαίνεται στον Πίνακα 2.2.

2.7 Χαρακτηριστικές καμπύλες υγρασίας, p_h , EC υποστρωμάτων

Προκειμένου να χαρακτηριστούν οι φυσικές ιδιότητες των υποστρωμάτων, προσδιορίστηκε η χαρακτηριστική καμπύλη υγρασίας. Για το σκοπό αυτό χρησιμοποιήθηκε μια στήλη με υπόστρωμα των 85 cm, η οποία αποτελούνταν από 17 δακτυλίους των 5 cm ύψους ο κάθε ένας. Η στήλη με το υπόστρωμα τοποθετήθηκε σε στεγανό δοχείο σε θερμοκρασία 20° C και ο υδροφόρος ορίζοντας

αυξανόταν με εξαιρετικά αργό ρυθμό χρησιμοποιώντας μια περισταλτική αντλία. Μετά από 24 ώρες το δοχείο με τη στήλη καλύφθηκε στην κορυφή με μία πλαστική μεμβράνη για την αποφυγή απωλειών εξάτμισης και ταυτόχρονα ο υδροφόρος ορίζοντας άρχισε να μειώνεται αργά χρησιμοποιώντας πάλι την περισταλτική αντλία, μέχρις ότου έφθασε στο κάτω όριο του πρώτου δακτυλίου. Η στήλη με το υπόστρωμα αφέθηκε να στραγγίσει για 24 ώρες, έπειτα διαχωρίστηκε ανά 5 cm (όπου και ήταν και το ύψος του κάθε δακτυλίου). Στη συνέχεια ο κάθε διαχωριζόμενος δακτύλιος που περιελάμβανε το νωπό υπόστρωμα τοποθετήθηκε σε προζυγισμένο δίσκο και έπειτα στο ξηραντήριο για 48 ώρες, στους 105°C. Έπειτα οι δίσκοι που περιείχαν τους δακτυλίους και το υπόστρωμα αμέσως μετά το ξηραντήριο ξαναζυγίστηκαν.

Έτσι η περιεκτικότητα σε υγρασία, η ολική πυκνότητα, το άμεσα διαθέσιμο νερό και το πορώδες του εδάφους στα 40 cm καθορίζονταν από την χαρακτηριστική καμπύλη του υποστρώματος.

Το pH υπολογίστηκε με τη δημιουργία ενός διαλύματος χώματος και απιονισμένου νερού σε αναλογία 1:1 γινόταν πολύ καλή ομογενοποίηση αφήνοντας τα δείγματα σε ηλεκτρικό αναδευτήρα για μία ώρα. Έπειτα λαμβάνονταν η μέτρηση με ηλεκτρονικό pH-μετρο. Στη συνέχεια γινόταν και η μέτρηση EC με EC-meter.

Πίνακας 2.2. Κοκκομετρία των υποστρωμάτων Α: P_{um50}:P_{er20}:C₂₀:Z₁₀ και Β: S₁₅:P_{um40}:P_{er20}:C₂₀:Z₅

Μέγεθος σωματιδίων (mm)	8 – 10	4 – 8	2 – 4	1 – 2	0,5 – 1	0,25 – 0,5	0,106 – 0,25	0,053 – 0,106	<0,053
	%								
(P _{um50} :P _{er20} :C ₂₀ :Z ₁₀)	0,2 (±0,04)	12,4 (±0,06)	25,9 (±0,78)	23,5 (±0,66)	10,9 (±0,09)	7,1 (±0,16)	7,4 (±0,27)	5,6 (±0,01)	7,0 (±0,82)
(S ₁₅ :P _{um40} :P _{er20} :C ₂₀ :Z ₅)	0,2 (±0,02)	12,4 (±0,56)	21,9 (±0,48)	17,1 (±0,48)	14,1 (±0,41)	13,6 (±0,33)	13,4 (±0,11)	4,8 (±0,05)	2,5 (±0,25)
Σημαντικότητα	NS	NS	*	**	**	***	***	**	**

NS: Μη σημαντικό

*, Σημαντικό σε P<0.05 (5%)

**, Σημαντικό σε P<0.005 (5‰)

***, Σημαντικό σε P<0,0005 (5‰‰)

2.8 Βιομετρικές μετρήσεις (δείκτης ανάπτυξης φυτών, ύψος φυτών, διάμετρο βλαστού, αριθμός πλαγίων βλαστών, μήκος πλαγίων βλαστών, φωτογραφίες)

Κατά τη διάρκεια της καταπόνησης λαμβάνονταν εβδομαδιαίως φωτογραφίες από την ίδια απόσταση ύψους από τα πειραματικά τεμάχια, ενώ μηνιαίως καταγραφόταν η ανάπτυξη των φυτών παίρνοντας βιομετρικές μετρήσεις όπως ύψος φυτών, με τη βοήθεια υποδεκάμετρου, διάμετρος κόμης των φυτών, διάμετρος κεντρικού βλαστού, με τη βοήθεια παχύμετρου, ο αριθμός πλαγίων βλαστών και μήκος αυτών με τη βοήθεια διαβήτη και υποδεκάμετρου. Η ανάπτυξη των φυτών (Growth index) τόσο κατά την περίοδο της υδατικής καταπόνησης όσο και κατά την μετά περίοδο, προσδιορίστηκε με τη μέτρηση της μεγαλύτερης σε μήκος διάμετρο της κόμης των φυτών, τη διάσταση της κεντρικής καθέτου της (δηλαδή σε σταυρό) και το ύψος του φυτού, ενώ έπειτα καθορίστηκε ο δείκτης ανάπτυξης ως το άθροισμα του μήκους της μεγαλύτερης διαμέτρου του κάθε φυτού, του πλάτους, (κάθετα και στο κέντρο του άξονα του μήκους) και του ύψους του φυτού δια τρία (Monterusso et al., 2005, Ruter, 1996). Σύμφωνα με τον τύπο:

$$G.I.=(L+W+H)/3$$

Όπου L: το μεγαλύτερο μήκος της διαμέτρου του φυλλώματος (cm)

W: το μήκος του φυλλώματος στην κάθετη διάσταση του L (cm) και

H: το ύψος του φυτού (cm).

Όσον αφορά την ανθοφορία ήταν εξαιρετικά περιορισμένη (μόλις τέσσερα φυτά άνθησαν κατά τα μέσα Ιουλίου) και συνεπώς η μέτρηση της ανθοφορίας δεν συμπεριλαμβάνεται στα αποτελέσματα.

2.9 Νωπά και Ξηρά Βάρη

Στο τέλος της περιόδου της υδατικής καταπόνησης (8 Σεπτεμβρίου 2010), καταγράφηκε το νωπό και ξηρό βάρος των φυτών, τόσο του υπέργειου τμήματος όσο και του ριζικού. Η μέτρηση αυτή προσδιορίστηκε διαμέσου της καταστροφικής δειγματοληψίας φυτών, κατά την οποία ελήφθησαν τρία φυτά ανά επέμβαση. Τα φυτά απομακρύνθηκαν από τα πειραματικά τεμάχια και διαχωρίστηκε το υπέργειο τμήμα τους από το ριζικό σύστημα. Επιπλέον το υπόστρωμα απομακρύνθηκε με τη χρήση ηλεκτρικό αναρροφητήρα ενώ στη συνέχεια το υπόστρωμα που απορροφήθηκε από τον αναρροφητήρα, περάστηκε από δύο διαδοχικά κόσκινα για

παραλαβή του ριζικού μέρους. Πριν την μέτρηση του ξηρού βάρους των ριζών έγινε προσεκτικός καθαρισμός τους για την απομάκρυνση υπολειμμάτων υποστρώματος.



Εικόνα 2.5 Διαδικασία καταστροφικής δειγματοληψίας

Ο καθαρισμός των ριζών πραγματοποιήθηκε με την τοποθέτησή τους σε λεκάνες με νερό. Το νωπό βάρος του υπέργειου προσδιορίστηκε με ζύγιση, ενώ έπειτα τοποθετήθηκαν σε ξηραντήρα στους 70° C για 4 ημέρες, για να υπολογιστούν στη συνέχεια τα ξηρά βάρη των φύλλων και των βλαστών.

Η καταστροφική δειγματοληψία έγινε από 24 πειραματικά τεμάχια, τρεις επαναλήψεις στην κάθε επέμβαση. Επιλέχθηκε ένα φυτό από κάθε πειραματικό τεμάχιο δηλαδή 24 φυτά. Το φυτό που λαμβανόταν αντιπροσώπευε το μέσο όρο των τεσσάρων που υπήρχαν σε κάθε πειραματικό τεμάχιο.

Η παραλαβή γινόταν με νοητό διαχωρισμό των πειραματικών τεμαχίων σε τέσσερα ίσα μέρη και λαμβάνονταν ολόκληρο το ένα τέταρτο που αντιστοιχούσε στο επιλεγόμενο φυτό. Το υπόστρωμα γύρω από το φυτό αφαιρούνταν και συλλέγονταν με τη βοήθεια ηλεκτρικής σκούπας. Έτσι τα φυτά έμεναν γυμνόριζα και στη συνέχεια γινόταν ο διαχωρισμός του υπέργειου μέρους από το ριζικό σύστημα.

Έπειτα το υπόστρωμα αυτό περνούσε από δύο κόσκινα με σκοπό την παραλαβή των ριζικών τριχιδίων.

2.10 Μέτρηση φυλλικής επιφάνειας

Η μέτρηση της φυλλικής επιφάνειας, της περιμέτρου των φύλλων και του μέσου μήκους και πλάτους τους, έγινε με τη βοήθεια του προγράμματος WIN DIAS (WIN DIAS 3 Image Analysis System, Delta-T Devices, Cambridge, England, UK) μετά από σκανάρισμα των φύλλων.

2.11 Προγραμματισμός της Άρδευσης

Για την ποσότητα της άρδευσης υπολογιζόταν η ημερήσια εξάτμιση (ο μέσος όρος της εξάτμισης τριών διαφορετικών λυσίμετρων που βρίσκονταν σε τρία διαφορετικά σημεία διασκορπισμένα εντός του πειραματικού αγρού) και υπολογιζόταν η συνολική εξάτμιση των δέκα ημερών. Η εφαρμογή των αρδεύσεων καθορίστηκε να γίνεται ανά χρονικά διαστήματα των δέκα ημερών. Ο καθορισμός του συγκεκριμένου διαστήματος έγινε με βάση προκαταρκτικών δοκιμών, κατά τις οποίες διαπιστώθηκε ότι τα φυτά καθίστανται χλωρωτικά μέσα σε διάστημα δέκα έως δεκαπέντε ημερών ξηρασίας και από εκείνο το σημείο και έπειτα ήταν δύσκολο να ανακάμψουν.

Εφαρμόστηκαν δύο διαφορετικές ποσότητες άρδευσης χαμηλή και υψηλή άρδευση, οι οποίες είχαν καθοριστεί να είναι ως χαμηλή το 15% της εξάτμισης ($15\%E_{pan}$) και ως υψηλή το 30% της εξάτμισης ($30\%E_{pan}$). Η E_{pan} έχει χρησιμοποιηθεί κατά περιόδους σε διάφορες ερευνητικές εργασίες, ως τυπικό πρότυπο άρδευσης για τον καθορισμό των απαιτήσεων της καλλιέργειας (Bastug et al., 2006, Correia and Martins-Loução, 1995, Qian and Engelke, 1999). Λόγω του ότι δεν έχει καθοριστεί συντελεστής καλλιέργειας για το συγκεκριμένο είδος φυτού, η επιλογή των επεμβάσεων άρδευσης, αποφασίστηκε με βάση τις γνώσεις πάνω στην ανεκτικότητα στην ξηρασία της θερμής περιόδου, των γρασιδιών, τα οποία έχουν ένα μέσο όρο σε υδατικές απαιτήσεις περίπου 60% της E_{pan} (Carrow, 1995, Meyer and Gibeault, 1986). Με γνώμονα τις προκαταρκτικές έρευνες για το φυτό *D. fruticosus*, που υποδεικνύουν ότι το φυτό εκτίθεται σε αυξημένη ξηρασία, αποφασίστηκε ότι η μισή ποσότητα των υδατικών απαιτήσεων των γρασιδιών,

δηλαδή το 30% E_{pan} , θα μπορούσε να εφαρμοστεί ως η υψηλότερη ποσότητα άρδευσης κατά την περίοδο της υδατικής καταπόνησης, ενώ η μισή ποσότητα αυτής να είναι η επέμβαση με τη χαμηλή ποσότητα άρδευσης (15% E_{pan}).

Κατά την περίοδο αυτή η άρδευση διενεργούνταν με το χέρι σε ολόκληρη την πειραματική έκταση, με τη βοήθεια ενός μετρητή ροής που είχε ακρίβεια 0,1 L (Wohnungswasserzähler Typ ETR, Rosswainer Armaturen & Messgeräte GmbH & Co. oHG, Rosswien, Germany). Όλα τα τεμάχια δέχθηκαν το ίδιο ποσό άρδευσης, σύμφωνα με τις επεμβάσεις τους (χαμηλή ή υψηλή άρδευση).

2.12 Υγρασία-θερμοκρασία-EC Υποστρωμάτων

Κατά την περίοδο της υδατικής καταπόνησης καταγραφόταν η υγρασία (% v/v), η θερμοκρασία ($^{\circ}\text{C}$), η ηλεκτρική αγωγιμότητα (EC_p και EC_b) του υποστρώματος (ms m^{-1}), ανά διήμερο περίπου. Για τη μέτρηση χρησιμοποιήθηκε υγρασιόμετρο χειρός TDR (HH2, Delta-T Devise, Cambridge, U.K), το οποίο χρησιμοποιήθηκε σε συνδυασμό με έναν αισθητήρα, ο



ο οποίος εισάγεται στην επιφάνεια του υποστρώματος και καταγράφει την υγρασία σε 65mm βάθος και σε 45mm πλάτος (WET sensor, Delta-T Devise). Ελήφθησαν τρεις τουλάχιστον μετρήσεις από το κάθε πειραματικό τεμάχιο και υπολογίστηκε ο μέσος όρος ως η περιεκτικότητά του σε υγρασία. Ομοίως καταγράφηκαν και η θερμοκρασία και η ηλεκτρική αγωγιμότητα (EC).

2.13 SPAD, Χλωροφύλλες και καρτενοειδή

Η περιεκτικότητα των ιστών των φύλλων σε χλωροφύλλες α και β, σε ολική χλωροφύλλη ($\text{Chla}+\text{b}$) και σε καρτενοειδή, προσδιοριζόταν εβδομαδιαίως κατά τη διάρκεια της περιόδου της υδατικής καταπόνησης ενώ κατά την μετέπειτα περίοδο η μέτρηση διενεργούνταν μηνιαίως. Συγχρόνως ανά τρεις ημέρες γινόταν μέτρηση με το χλωροφυλλόμετρο χειρός (SPAD-502 Chlorophyll meter) της εταιρείας Konica

Minolta με χώρα κατασκευής την Ιαπωνία. Η επιλογή των φύλλων για τη μέτρηση τόσο του SPAD, όσο και των χλωροφυλλών με την εργαστηριακή μέθοδο, γινόταν με το κριτήριο να είναι τα νεότερα σε ηλικία πλήρως ανεπτυγμένα φύλλα.

Για την εργαστηριακή μέθοδο μέτρησης των χλωροφυλλών, συλλέχθηκαν φύλλα, δειγματοληπτικά, από όλα τα φυτά του κάθε πειραματικού τεμαχίου με τυχαίο τρόπο μάζας 0,5 g. Έπειτα γινόταν λειοτρίβηση αυτών με μικρή ποσότητα ακετόνης 80 % και χρήση αποστειρωμένης άμμου και μεταφέρονταν σε ογκομετρικές φιάλες των 50 ml, μετά από διήθηση ηθμού με ακετόνη και με τη βοήθεια διηθητικού φύλλου χαρτιού (1001 Whatman). Η όλη διαδικασία της εκκύλισης λάμβανε χώρα σε σκοτεινό μέρος για την αποφυγή μεταβολών της συγκέντρωσης της χλωροφύλλης των δειγμάτων. Έπειτα γινόταν μέτρηση του εκκυλίσματος σε φασματοφωτόμετρο (Ultraviolet-Visible Helios Gamma & Delta, Spectronic Unicam, Mercers Row, Cambridge, U.K.). Η απορρόφηση των δειγμάτων καταγραφόταν σε τρία διαφορετικά μήκη κύματος: 663nm, 645nm (για τον υπολογισμό των χλωροφύλλων α και β) και 470nm (για τον υπολογισμό των καροτενοειδών). Οι τύποι που χρησιμοποιήθηκαν για τον υπολογισμό των χλωροφυλλών σύμφωνα με τον Arnon (1949) είναι:

$$Chla = (12,7 \times A663 - 2,69 \times B645) \times \frac{V}{1000} \times n$$

$$Chlb = (22,9 \times B645 - 4,68 \times A663) \times \frac{V}{1000} \times n$$

$$Chla + b = Chla + Chlb$$

$$Carotenoid = \frac{(1000 \times C470 - 1,82 \times A663 - 85,02 \times B645)}{198 \times A663}$$

Όπου: A_{663} η τιμή του φασματοφωτόμετρου στα 663nm, B_{645} η τιμή στα 645nm, C_{470} η τιμή του οργάνου στα 470 nm, V ο τελικός όγκος του διηθήματος και n το νωπό βάρος των φύλλων.

2.14 Υδατικό δυναμικό

Υπολογίστηκε ακόμα το σχετικό υδατικό δυναμικό (ΣΥΔ) των φύλλων των φυτών, των διαφόρων επεμβάσεων. Η μέτρηση του σχετικού υδατικού δυναμικού πραγματοποιήθηκε με ζύγιση 1g φυλλικής επιφάνειας κάθε επέμβασης. Το 1g φύλλων, εν συνεχεία τοποθετήθηκε σε πλαστικά falcons πληρωμένα με νερό. Έπειτα από διάστημα 24 ωρών εξήχθησαν από τα falcons και πραγματοποιήθηκε η

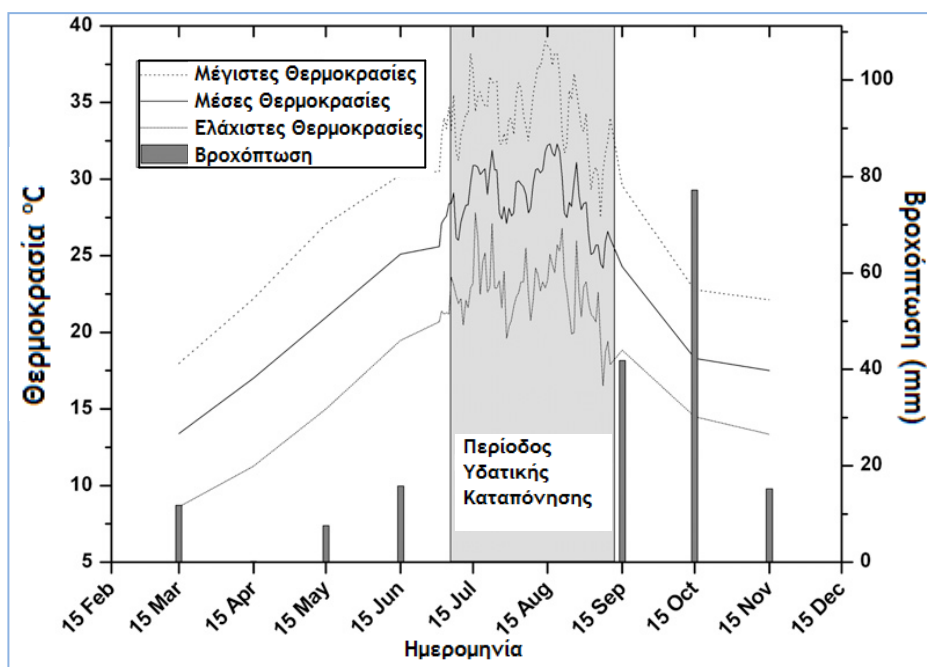
καταγραφή του βάρους τους. Στη συνέχεια τοποθετήθηκαν στο ξηραντήριο σε χάρτινα σακουλάκια για 24 ώρες, στους 70° C και καταγράφηκε και πάλι το βάρος τους. Ο τύπος που χρησιμοποιήθηκε για το υπολογισμό του σχετικού υδατικού δυναμικού ήταν:

$$\Sigma\Upsilon\Delta = \frac{NB - \Xi B}{BK - \Xi B} \times 100$$

όπου NB το νωπό βάρος δηλαδή 1g, ΞB το ξηρό βάρος των φύλλων, BK το βάρος κορεσμού δηλαδή το βάρος που είχε μετά τις 24 ώρες στο νερό.

2.15 Μέτρηση υγρασίας θερμοκρασίας και υδατικών κατακρημνίσεων του περιβάλλοντος.

Οι μέγιστες και οι ελάχιστες θερμοκρασίες του περιβάλλοντος καθώς επίσης και οι μέσες ημερήσιες θερμοκρασίες καθώς και οι βροχοπτώσεις καταγράφηκαν από το εργαστήριο Γενικής και Γεωργικής Μετεωρολογίας του Γεωπονικού Πανεπιστημίου Αθηνών. Αξίζει να σημειωθεί ότι το χρονικό διάστημα της επιβολής της περιόδου της υδατικής καταπόνησης δεν σημειώθηκαν βροχοπτώσεις. Τα μετεωρολογικά δεδομένα φαίνονται στο γράφημα (2.1)

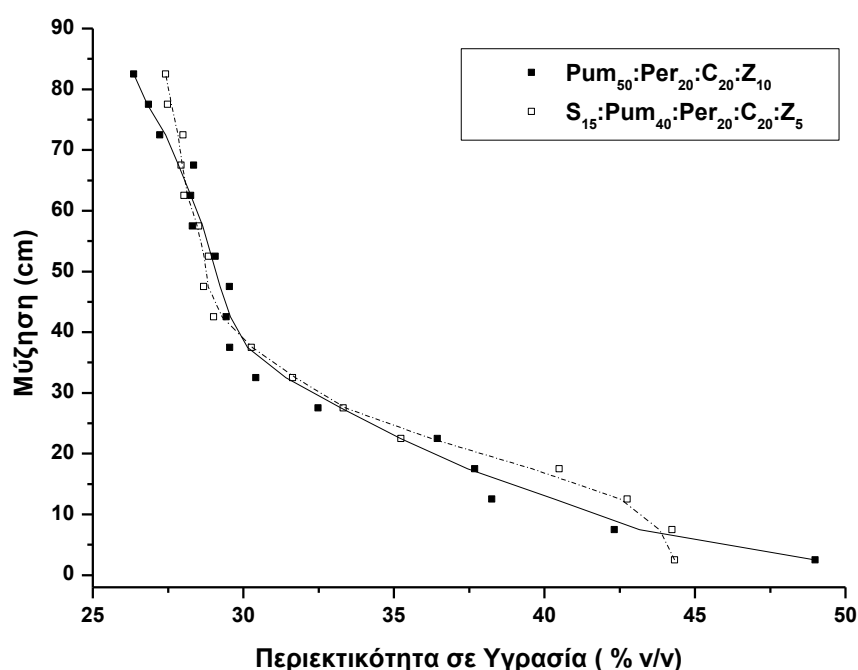


Γράφημα 2.1. Μηνιαία βροχόπτωση, διακύμανση μέγιστων και ελάχιστων καθώς και μέσου όρου θερμοκρασιών περιβάλλοντος κατά την περίοδο της εγκατάστασης. Ημερήσια διακύμανση μέγιστων και ελάχιστων θερμοκρασιών κατά τη διάρκεια του κύκλου της υδατικής καταπόνησης (γκρι περιοχή)

3. Αποτελέσματα

3.1 Καμπύλη υγρασίας των υποστρωμάτων

Βρέθηκε ότι το υπόστρωμα $P_{um50}:P_{er20}:C_{20}:Z_{10}$ συγκρατούσε περισσότερη υγρασία σε σύγκριση με το υπόστρωμα $S_{15}:P_{um40}:P_{er20}:C_{20}:Z_4$ στον κορεσμό και στα πρώτα 7 cm μύζησης (Σχ. 3.1). Σε μυζήσεις από 7-25 cm το φαινόμενο αντιστρέφεται ενώ από τα 25-67 cm η συγκράτηση της υγρασίας είναι ταυτόσημη μεταξύ των δύο υποστρωμάτων. Περαιτέρω αύξηση της μύζησης και έως τα 82,5 cm η υγρασία του υποστρώματος $S_{15}:P_{um40}:P_{er20}:C_{20}:Z_4$ ήταν αυξημένη σε σύγκριση με αυτή του υποστρώματος $P_{um50}:P_{er20}:C_{20}:Z_{10}$.



Σχήμα 3.1. Χαρακτηριστικές καμπύλες υγρασίας των υποστρωμάτων $P_{um50}:P_{er20}:C_{20}:Z_{10}$ και $S_{15}:P_{um40}:P_{er20}:C_{20}:Z_5$. (όπου S=αμμοπηλώδες έδαφος, P_{um} =ελαφρόπετρα, C=κόμποστ, Z=ζεόλιθος σε κατ' όγκο αναλογίες ανάμιξης)

3.2. Διακύμανση υγρασίας υποστρώματος κατά την περίοδο καταπόνησης

3.2.1 Επίδραση του είδους του υποστρώματος

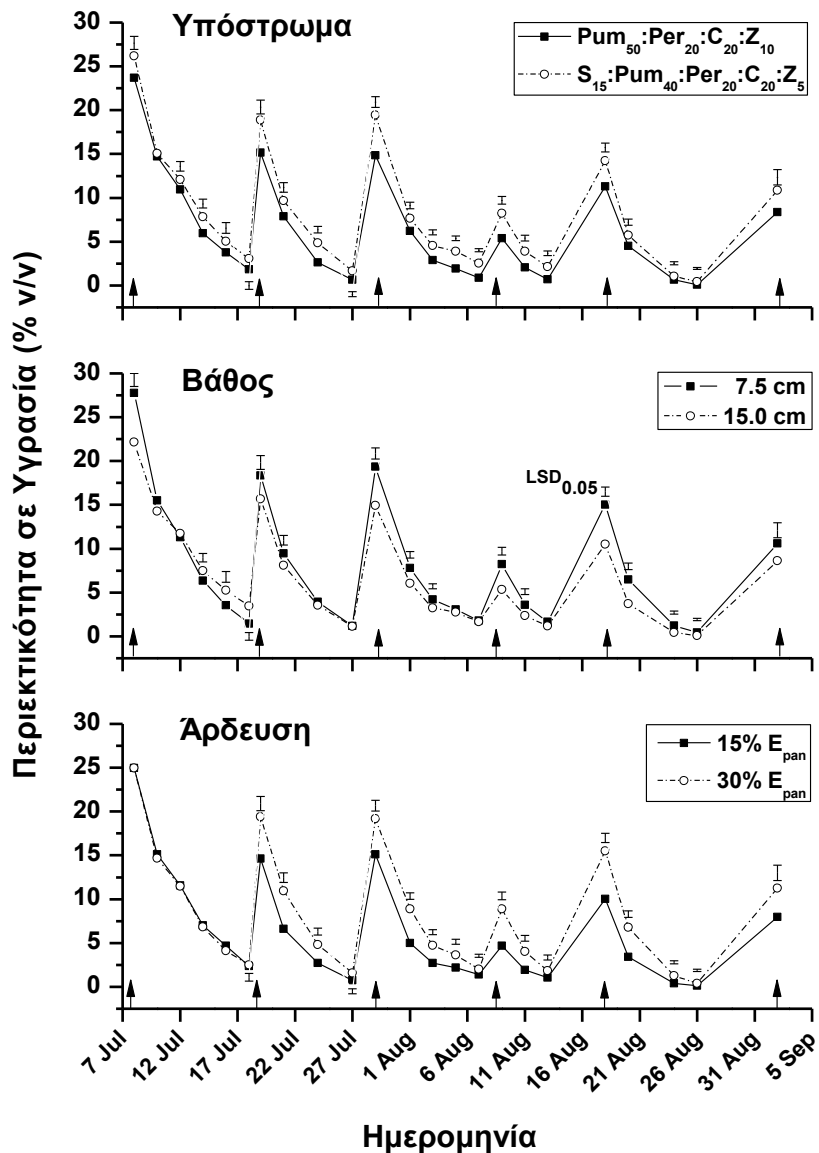
Το υπόστρωμα $S_{15}:P_{um40}:P_{er20}:C_{20}:Z_5$, είχε καθ' όλη την περίοδο της υδατικής καταπόνησης μεγαλύτερη υγρασία σε σύγκριση με το υπόστρωμα $P_{um50}:P_{er20}:C_{20}:Z_{10}$, παρόλο που η διακύμανση της υγρασίας μεταξύ των αρδεύσεων και των περιόδων υδατικής καταπόνησης ήταν παρόμοια και στα δύο υποστρώματα. Κατά την έναρξη της καταπόνησης η υγρασία των υποστρωμάτων έλαβε την υψηλότερη τιμή ενώ στη συνέχεια οι μέγιστες τιμές μετά την εφαρμογή των αρδεύσεων έβαιναν μειούμενες (Σχ. 3.2.).

3.2.2 Επίδραση του βάθους του υποστρώματος

Στο μικρότερο βάθος των 7,5 cm η υγρασία του υποστρώματος ήταν περισσότερη (%v/v) σε σύγκριση με το βάθος των 15 cm. Παρατηρήθηκε ότι το βάθος των 7,5 cm είχε ταχύτερη μείωση της υγρασίας του βάθους υποστρώματος 15 cm αυτό το οποίο διαπιστώνεται από την κλίση των καμπυλών υγρασίας του υποστρώματος η οποία είναι μεγαλύτερη για το βάθος των 7,5 cm (Σχ. 3.2.). Η μέγιστη διαφορά μεταξύ των δύο βαθών εμφανίζεται κατά την εφαρμογή των αρδεύσεων, ενώ στη συνέχεια η διαφορά μεταξύ των υποστρωμάτων είναι μικρότερη ή εκμηδενίζεται εντός 5 ημερών. Η ταχύτερη απώλεια της υγρασίας του υποστρώματος από το βάθος των 7.5 cm παρατηρείται κυρίως κατά την θερμότερη περίοδο της καταπόνησης (17 Ιουλίου μέχρι 17 Αυγούστου 2010).

3.2.3 Επίδραση της ποσότητας άρδευσης

Η αύξηση της ποσότητας άρδευσης από 15% σε 30% της E_{pan} αύξησε το ποσοστό υγρασίας στα υποστρώματα. Καθ' όλη την περίοδο των μετρήσεων πλην της αρχικής, από την 8^η έως τη 17^η Ιουλίου, παρατηρήθηκαν διαφορές μεταξύ των δύο ποσοτήτων άρδευσης. Η μέγιστη διαφορά εμφανιζόταν κατά τις ημέρες των αρδεύσεων, ενώ έβαινε μειούμενη σημειώνοντας τη μικρότερη τιμή την ημέρα πριν από κάθε άρδευση (Σχ. 3.2.).



Σχήμα. 3.2. Επίδραση του τύπου του υποστρώματος ($P_{um_{50}}:Per_{20}:C_{20}:Z_{10}$ και $S_{15}:P_{um_{40}}:Per_{20}:C_{20}:Z_5$), του βάθους υποστρώματος (7.5 και 15 cm) και της ποσότητας άρδευσης (15% και 30% E_{pan}) στη διακύμανση της υγρασίας του υποστρώματος κατά τη διάρκεια της περιόδου καταπόνησης. Οι τιμές είναι οι μέσοι όροι των πέντε επαναλήψεων. Οι γραμμές αντιπροσωπεύουν την ελάχιστη σημαντική διαφορά (LSD) σε ημερομηνίες, για επίπεδο σημαντικότητας $P < 0.05$. Τα βέλη υποδεικνύουν τις ημερομηνίες εφαρμογής των αρδεύσεων κατά την περίοδο της υδατικής καταπόνησης. (S=αμμοπηλώδες έδαφος, Pum=ελαφρόπετρα, Per=Περλίτης, C=κόμποστ, Z=ζεόλιθος)

3.3 Διακύμανση της θερμοκρασίας του υποστρώματος των μέσων ανάπτυξης

Μετά από σύγκριση των γραφικών παραστάσεων, της θερμοκρασίας και της υγρασίας, διαπιστώθηκε ότι η θερμοκρασία ακολουθεί αντίστροφη διακύμανση σε σχέση με αυτή της υγρασίας. Φαίνεται ότι όταν η υγρασία αυξάνει στο υπόστρωμα, μετά από κάθε άρδευση, η θερμοκρασία μειώνεται. Αντίστροφα όταν η υγρασία του υποστρώματος πέφτει σε χαμηλά επίπεδα η θερμοκρασία αυξάνεται. Κατά τις μετρήσεις που ελήφθησαν την πρώτη εβδομάδα της καταπόνησης οι τιμές ήταν αυξημένες (Σχ. 3.3).

3.3.1 Επίδραση του είδους του υποστρώματος

Σύμφωνα με τα αποτελέσματα των μετρήσεων, οι θερμοκρασίες των δύο υποστρωμάτων δεν διέφεραν. Η μεταβολή όμως των θερμοκρασιών των δύο υποστρωμάτων κατά την διάρκεια της καταπόνησης ήταν πανομοιότυπη (Σχ. 3.3). Σημαντική διαφορά παρατηρήθηκε στις 12 Ιουλίου, κατά την οποία το υπόστρωμα με το έδαφος (S15) είχε μεγαλύτερη θερμοκρασία από το υπόστρωμα χωρίς το έδαφος (Pum50). Οι αρχικές μετρήσεις (μέχρι την 17^η Ιουλίου) που ελήφθησαν κατά τις μεσημβρινές ώρες έδειξαν αυξημένη θερμοκρασία.

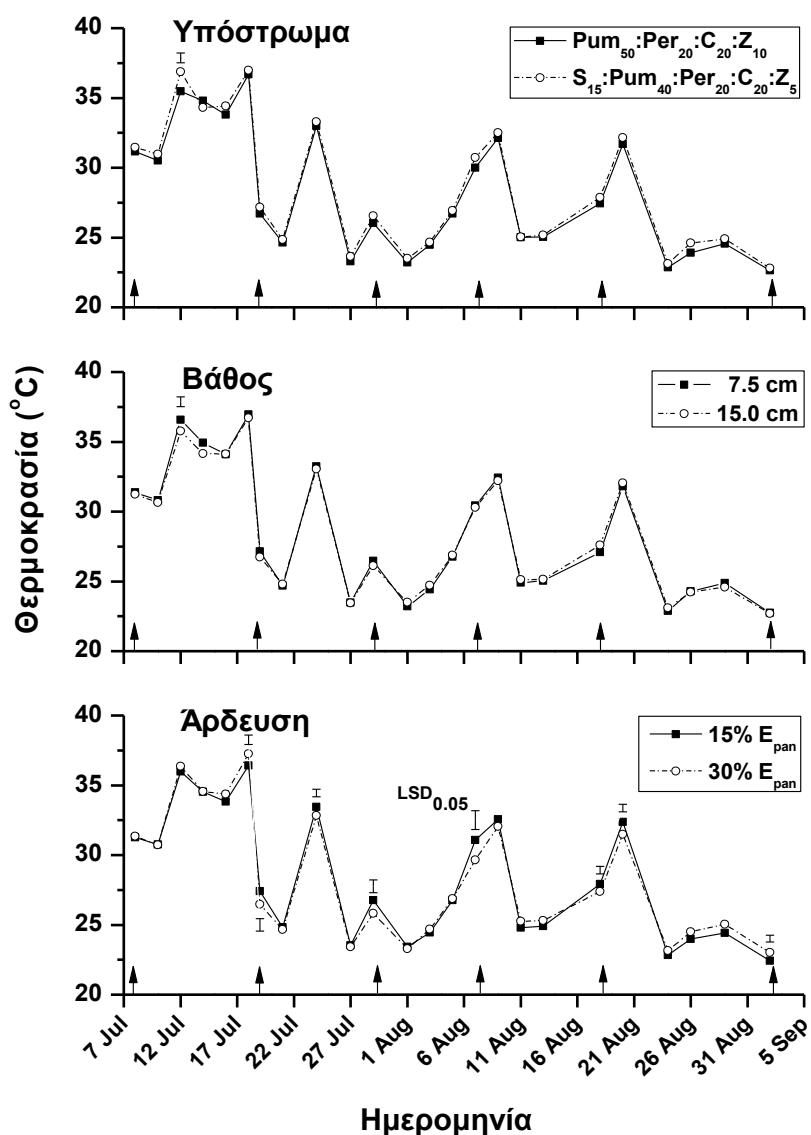
3.3.2 Σύγκριση της θερμοκρασίας σε σχέση με το βάθος του υποστρώματος

Η διαφορά θερμοκρασίας μεταξύ των δύο βαθών του υποστρώματος ήταν μηδαμινή καθ' όλη την περίοδο της καταπόνησης, με εξαίρεση μόνο τη 12^η Ιουλίου 2010. Στη συγκεκριμένη ημερομηνία παρατηρήθηκε διαφορά υπέρ του υποστρώματος των 7,5cm (Σχ. 3.3).

3.3.3 Επίδραση της ποσότητας άρδευσης

Κατά την περίοδο των μετρήσεων η θερμοκρασία των υποστρωμάτων των αρδευομένων πειραματικών τεμαχίων με το 30% E_{pan} ήταν παρόμοια με αυτή των αντίστοιχων του 15% E_{pan} . Σημαντικές όμως διαφορές τις τάξεως των 0,71°C παρατηρήθηκαν κατά τις ημερομηνίες εφαρμογής της άρδευσης ανάμεσα στα υποστρώματα που δέχθηκαν το 30% E_{pan} και στα αντίστοιχα που δέχθηκαν το 15% E_{pan} (Σχ 3.3). Εξαίρεση αποτέλεσε η 18^η Ιουλίου 2010 κατά την οποία τα υποστρώματα της άρδευσης με το 30% E_{pan} παρουσίασαν μεγαλύτερη θερμοκρασία

σε σύγκριση με εκείνα που αρδεύτηκαν με το 15% E_{pan} . Η διαφορά κυμάνθηκε στους 0,84°C.



Σχήμα. 3.3. Επίδραση του τύπου του υποστρώματος ($P_{um_{50}}:Per_{20}:C_{20}:Z_{10}$ και $S_{15}:P_{um_{40}}:Per_{20}:C_{20}:Z_5$), του βάθους υποστρώματος (7.5 και 15 cm) και της ποσότητας άρδευσης (15% και 30% E_{pan}) στη διακύμανση της θερμοκρασίας του υποστρώματος κατά τη διάρκεια της περιόδου καταπόνησης. Οι τιμές είναι οι μέσοι όροι των πέντε επαναλήψεων. Οι γραμμές αντιπροσωπεύουν την ελάχιστη σημαντική διαφορά (LSD) σε ημερομηνίες, για επίπεδο σημαντικότητας $P < 0.05$. Τα βέλη υποδεικνύουν τις ημερομηνίες εφαρμογής των αρδεύσεων κατά την περίοδο

της υδατικής καταπόνησης. (S=αμμοπηλώδες έδαφος, Ρum=ελαφρόπετρα, Ρer=Περλίτης, C=κόμποστ, Ζ=ζεόλιθος)

3.4 Ηλεκτρική αγωγιμότητα υποστρώματος (ECb)

Μετά από σύγκριση των γραφικών παραστάσεων της ηλεκτρικής αγωγιμότητας και της υγρασίας εξήχθη η γενική παρατήρηση, ότι η ηλεκτρική αγωγιμότητα ακολουθεί την ίδια διακύμανση με αυτή της υγρασίας (Σχ. 3.4).

3.4.1 Επίδραση του είδους του υποστρώματος

Καθ' όλη τη διάρκεια των μετρήσεων, η ηλεκτρική αγωγιμότητα του υποστρώματος με το έδαφος (S15) ήταν μεγαλύτερη από αυτή του υποστρώματος χωρίς έδαφος Ρum50. Κατά τις ημέρες εφαρμογής των αρδεύσεων σημειώνονταν η μεγαλύτερη διαφορά του ECb, των δύο υποστρωμάτων. Εν συνεχεία η διαφορά έβαινε μειούμενη μέχρι μηδενισμού της, κατά τις ημέρες προ των αρδεύσεων (Σχ. 3.4). Κατά την εξέλιξη της περιόδου καταπόνησης η διαφορά έκλεινε πάντα προς το υπόστρωμα S15.

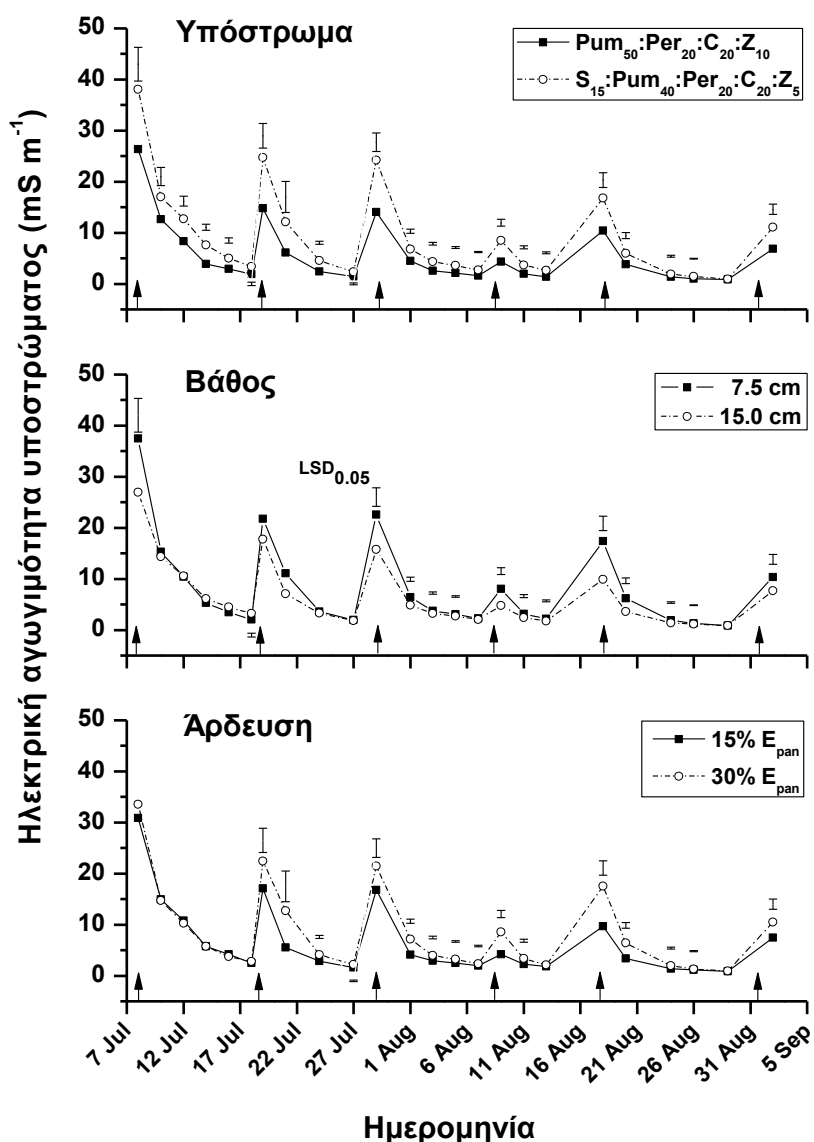
3.4.2 Σύγκριση των τιμών ECb των δύο βαθών

Τα υποστρώματα με το μικρότερο βάθος, των 7,5 cm, σημείωσαν μεγαλύτερη ηλεκτρική αγωγιμότητα συγκριτικά με εκείνα που είχαν βάθος 15 cm. Οι διαφορές του ECb όσον αφορά τα δύο βάθη, σημειώθηκαν κυρίως από την άρδευση της 29^{ης} Ιουλίου μέχρι το πέρας της περιόδου καταπόνησης. Η μεγιστοποίηση της διαφοράς γινόταν τις ημέρες των αρδεύσεων, ενώ η ελαχιστοποίηση της, παρατηρούνταν τις ενδιάμεσες ημέρες με τον τελικό εκμηδενισμό να σημειώνεται τις ημέρες πριν την άρδευση (Σχ. 3.4)

3.4.3 Επίδραση της ποσότητας άρδευσης

Κατά την πορεία των παρατηρήσεων αποδείχθηκε ότι τα υποστρώματα που δέχθηκαν άρδευση 30% E_{pan} είχαν μεγαλύτερη ηλεκτρική αγωγιμότητα σε σχέση με εκείνα που δέχθηκαν άρδευση 15% E_{pan} . Σημαντικές διαφορές παρατηρήθηκαν σε όλη σχεδόν την περίοδο της καταπόνησης εκτός του πρώτου δεκαήμερου κατά τη διάρκεια του οποίου η άρδευση ήταν ίσης ποσότητας. Συγκεκριμένα στο πρώτο δεκαήμερο η ECb ήταν περίπου ίδια μεταξύ των δύο επεμβάσεων και μειώνονταν με

τον ίδιο ρυθμό μέχρι την δεύτερη άρδευση (19 Ιουλίου) απ' όπου και άρχισε η διαφοροποίηση των τιμών. Η διαφορά του ECb μεταξύ των δύο αρδεύσεων σημείωνε τη μεγαλύτερη τιμή τις ημέρες της άρδευσης και τη μικρότερη τις ημέρες πριν την άρδευση. Την 18^η Ιουλίου και την 29^η Αυγούστου όμως οι τιμές ήταν πλέον πολύ χαμηλές και δεν παρουσιάστηκαν διαφορές (Σχ. 3.4).



Σχήμα. 3.4. Επίδραση του τύπου του υποστρώματος ($P_{um_{50}}:P_{er_{20}}:C_{20}:Z_{10}$ και $S_{15}:P_{um_{40}}:P_{er_{20}}:C_{20}:Z_5$), του βάθους υποστρώματος (7.5 και 15 cm) και της ποσότητας άρδευσης (15% και 30% E_{pan}) στη διακύμανση της ηλεκτρικής αγωγιμότητας του υποστρώματος κατά τη διάρκεια της περιόδου καταπόνησης. Οι

τιμές είναι οι μέσοι όροι των πέντε επαναλήψεων. Οι γραμμές αντιπροσωπεύουν την ελάχιστη σημαντική διαφορά (LSD) σε ημερομηνίες, για επίπεδο σημαντικότητας $P < 0.05$. Τα βέλη υποδεικνύουν τις ημερομηνίες εφαρμογής των αρδεύσεων κατά την περίοδο της υδατικής καταπόνησης. (S=αμμοπηλώδες έδαφος, Ρum=ελαφρόπετρα, Ρer= Περλίτης, C=κόμποστ, Ζ=ζεόλιθος)

3.5 Δείκτης ανάπτυξης των φυτών

Η ανάπτυξη των φυτών μετρήθηκε τόσο κατά την περίοδο της καταπόνησης όσο και κατά την μετέπειτα περίοδο. Τα αποτελέσματα της μέτρησης έδειξαν ότι δεν υπήρχε ανάπτυξη κατά το διάστημα της υδατικής καταπόνησης. Τα φυτά απλά προσπαθούσαν να επιβιώσουν κάτω από τις αντίξοες περιβαλλοντικές συνθήκες με συνέπεια την αναστολή της ανάπτυξης. Στη συγκεκριμένη περίοδο δεν παρατηρήθηκε μεταβολή ανάπτυξης σε καμία από τις επεμβάσεις υποστρώματος, βάθους, και ποσότητας άρδευσης. Την υπόλοιπη περίοδο σημειώθηκε μια αυξητική τάση. Πριν την περίοδο καταπόνησης επισημαίνεται μια πιο ήπια ανάπτυξη απ' ότι παρουσιάστηκε στο τέλος της περιόδου αυτής. Η γενική παρατήρηση που απορρέει από τη συνολική γραφική παράσταση του δείκτη ανάπτυξης των φυτών, είναι ότι τα φυτά ενώ αναπτύσσονται κανονικά η ανάπτυξή τους σταματά απότομα την περίοδο της καταπόνησης και συνεχίζεται μετά με ταχύτερο ρυθμό.

3.5.1 Επίδραση του υποστρώματος στην ανάπτυξη των φυτών.

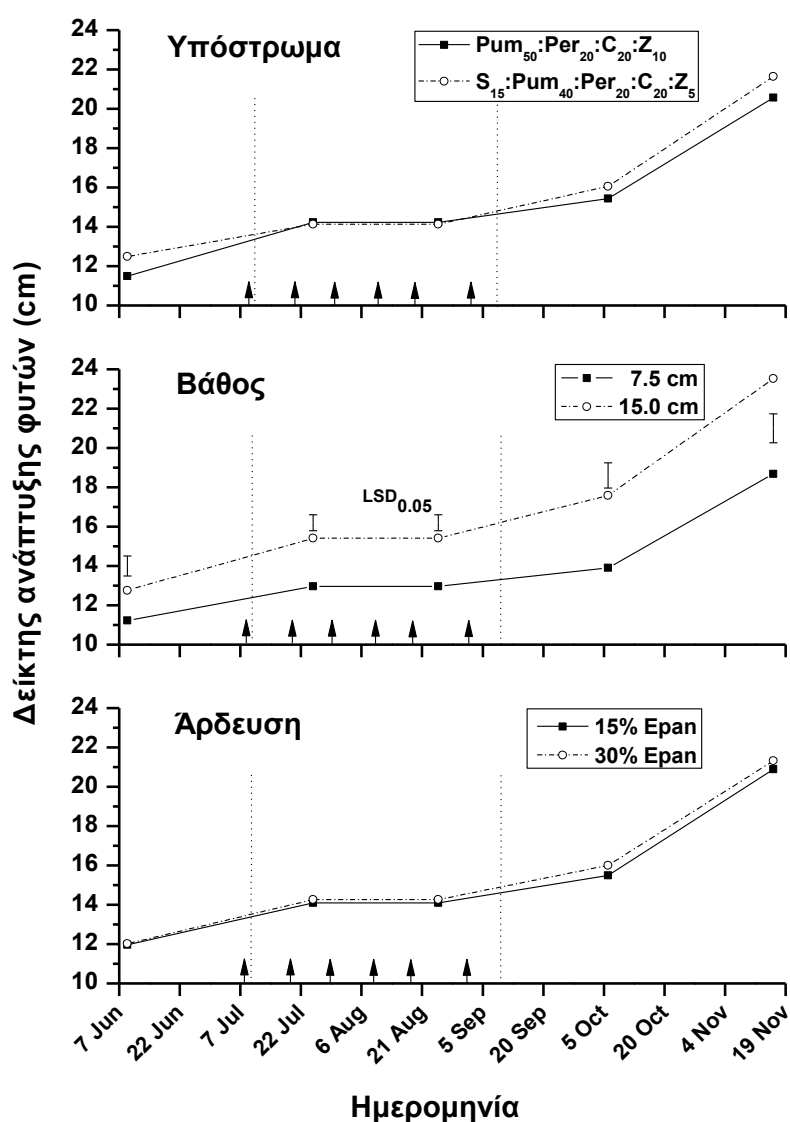
Κατά τη διάρκεια του πειράματος η συμπεριφορά των φυτών του *D. fruticosus* ήταν ουδέτερη και στους δύο τύπους υποστρώματος, χωρίς να διαφαίνεται ιδιαίτερη προτίμηση σε κάποιον από τους δύο. Τόσο πριν την καταπόνηση όσο και μετά, τα φυτά των δύο υποστρωμάτων δεν παρουσίασαν μεταξύ τους διαφορές (Σχ. 3.5).

3.5.2 Σύγκριση της ανάπτυξης των φυτών στα δύο βάθη

Τα φυτά στο βαθύτερο υπόστρωμα των 15cm διατήρησαν εξ' αρχής μία εμφανή διαφορά στην ανάπτυξη σε σχέση με αυτά του ρηχού υποστρώματος των 7,5cm. Εντός της περιόδου καταπόνησης διατηρήθηκε η διαφορά των φυτών των δύο βαθών στάσιμη, ενώ σημειώνεται ότι η διαφορά αυτή αυξήθηκε με το πέρασ της περιόδου (Σχ. 3.5).

3.5.3 Επίδραση της ποσότητας άρδευσης στην ανάπτυξη των φυτών

Σύμφωνα με τα αποτελέσματα των μετρήσεων η ποσότητα άρδευσης δεν επηρέασε την ανάπτυξη των φυτών, τόσο πριν, κατά τη διάρκεια, όσο και μετά την περίοδο της καταπόνησης. Δεν υπήρξαν καθόλου διαφορές ανάμεσα στα φυτά των δύο αρδεύσεων (Σχ. 3.5).



Σχήμα. 3.5. Επίδραση του τύπου του υποστρώματος ($P_{um_{50}}:Per_{20}:C_{20}:Z_{10}$ και $S_{15}:P_{um_{40}}:Per_{20}:C_{20}:Z_5$), του βάθους υποστρώματος (7.5 και 15 cm) και της ποσότητας άρδευσης (15% και 30% E_{pan}) στην ανάπτυξη του *D. fruticosus*. Οι τιμές είναι οι μέσοι όροι των πέντε επαναλήψεων. Οι γραμμές αντιπροσωπεύουν την

ελάχιστη σημαντική διαφορά (LSD) σε ημερομηνίες, για επίπεδο σημαντικότητας $P < 0.05$. Τα βέλη υποδεικνύουν τις ημερομηνίες εφαρμογής των αρδεύσεων κατά την περίοδο της υδατικής καταπόνησης. (S=αμμοπηλώδες έδαφος, P_{um}=ελαφρόπετρα, P_{er}= Περλίτης, C=κόμποστ, Z=ζεόλιθος)

3.6 Ύψος φυτών

Μετά από σύγκριση των γραφικών παραστάσεων του ύψους των φυτών παρατηρήθηκε ότι οι καμπύλες ακολουθούν τη διακύμανση των τιμών του δείκτη ανάπτυξης. Το ύψος κατά την περίοδο της καταπόνησης δεν παρουσίαζε αύξηση, ενώ αντίθετα πριν και μετά την περίοδο αυξήθηκε κανονικά. Η αύξηση όμως που σημειώθηκε πριν την καταπόνηση παρουσιάζεται μειωμένη σε σχέση με την αύξηση που παρατηρήθηκε την περίοδο μετά την καταπόνηση.

3.6.1 Επίδραση του είδους του υποστρώματος στο ύψος των φυτών

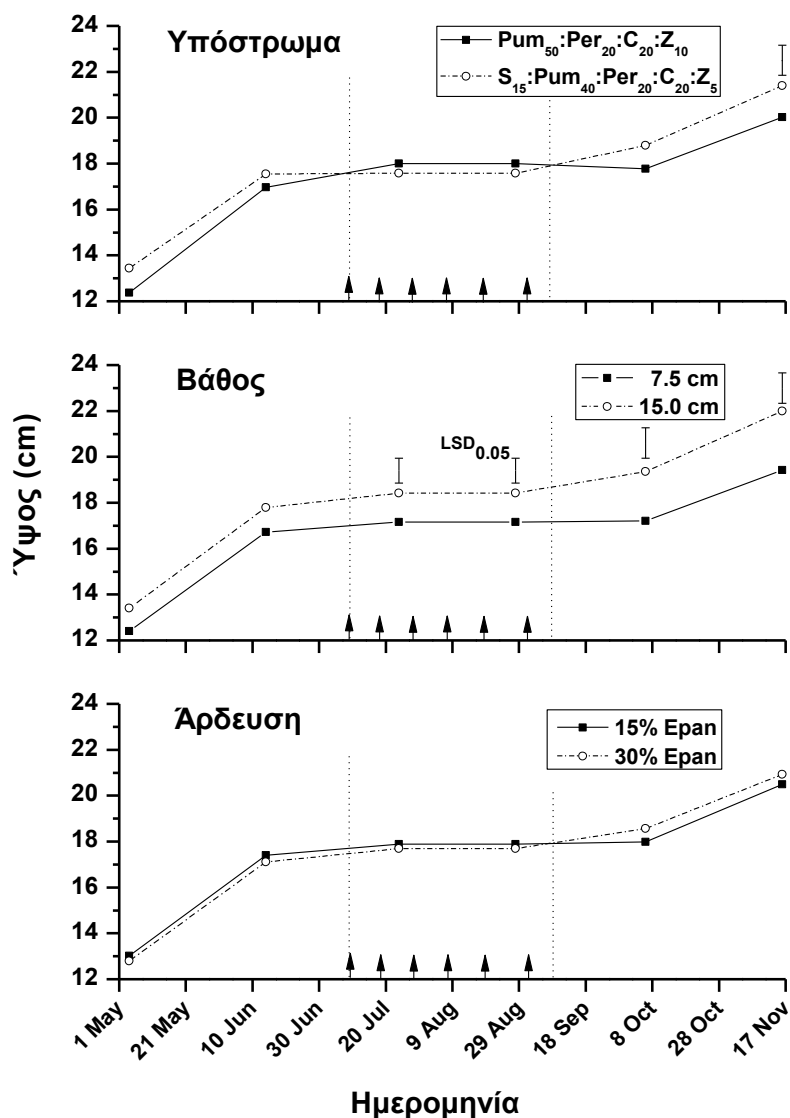
Ο τύπος υποστρώματος δεν επέδρασε στο ύψος των φυτών. Πιο συγκεκριμένα τόσο πριν, όσο κατά τη διάρκεια και μετά την καταπόνηση, δεν διαφοροποιήθηκε το ύψος των φυτών συγκριτικά με το είδος του υποστρώματος (Σχ. 3.6). Η μοναδική διαφορά που σημειώνεται είναι μετά το πέρας της περιόδου καταπόνησης κατά την τελευταία μέτρηση (16 Νοεμβρίου 2010) για το υπόστρωμα με το έδαφος S15.

3.6.2 Επίδραση του βάθους του υποστρώματος στο ύψος των φυτών.

Το βάθος του υποστρώματος έδειξε να επηρεάζεται εξ' αρχής το ύψος των φυτών. Οι διαφορές όμως άρχισαν να διαφαίνονται κατά την περίοδο της καταπόνησης. Βέβαια εντός της περιόδου αυτής δεν σημειώθηκε καμία μεταβολή του ύψους των φυτών τόσο για το βαθύ υπόστρωμα (15cm) όσο και για το χαμηλό (7,5cm), (Σχ. 3.6). Με το πέρας της καταπόνησης η διαφορά αυξήθηκε υπέρ του υποστρώματος των 15cm ενώ σύμφωνα με τις κλίσεις των καμπυλών επισημαίνεται ότι τα φυτά του ρηχού υποστρώματος δεν αυξάνονται με το ρυθμό των φυτών του βαθέως υποστρώματος.

3.6.3 Επίδραση της άρδευσης στο ύψος των φυτών

Από την ανάλυση των αποτελεσμάτων διαφαίνεται ότι η διαφορετική ποσότητα άρδευσης δεν επιδρά στο ύψος των φυτών. Αξίζει να σημειωθεί ότι οι διακυμάνσεις των τιμών του ύψους των φυτών στις δύο αρδεύσεις ήταν πανομοιότυπες (Σχ.3.6).



Σχήμα. 3.6. Επίδραση του τύπου του υποστρώματος ($P_{um_{50}}:P_{er_{20}}:C_{20}:Z_{10}$ και $S_{15}:P_{um_{40}}:P_{er_{20}}:C_{20}:Z_5$), του βάθους υποστρώματος (7.5 και 15 cm) και της ποσότητας άρδευσης (15% και 30% E_{pan}) στο ύψος (cm) των φυτών του *D. fruticosus*. Οι τιμές είναι οι μέσοι όροι των πέντε επαναλήψεων. Οι γραμμές αντιπροσωπεύουν την ελάχιστη σημαντική διαφορά (LSD) σε ημερομηνίες, για

επίπεδο σημαντικότητας $P < 0.05$. Τα βέλη υποδεικνύουν τις ημερομηνίες εφαρμογής των αρδεύσεων κατά την περίοδο της υδατικής καταπόνησης. (S=αμμοπηλώδες έδαφος, Pum=ελαφρόπετρα, Per= Περλίτης, C=κόμποστ, Z=ζεόλιθος)

3.7 Διάμετρος Βλαστού

Όπως στις μετρήσεις του δείκτη ανάπτυξης και του ύψους των φυτών, έτσι και στις μετρήσεις της διαμέτρου του βλαστού, κατά την περίοδο της καταπόνησης, δεν παρουσιάστηκαν αυξομειώσεις. Κατά την προαναφερθείσα περίοδο η διάμετρος του βλαστού των φυτών παρέμεινε σταθερή ενώ αυξήθηκε τη μετέπειτα περίοδο.

3.7.1 Επίδραση των υποστρωμάτων στη διάμετρο των βλαστών

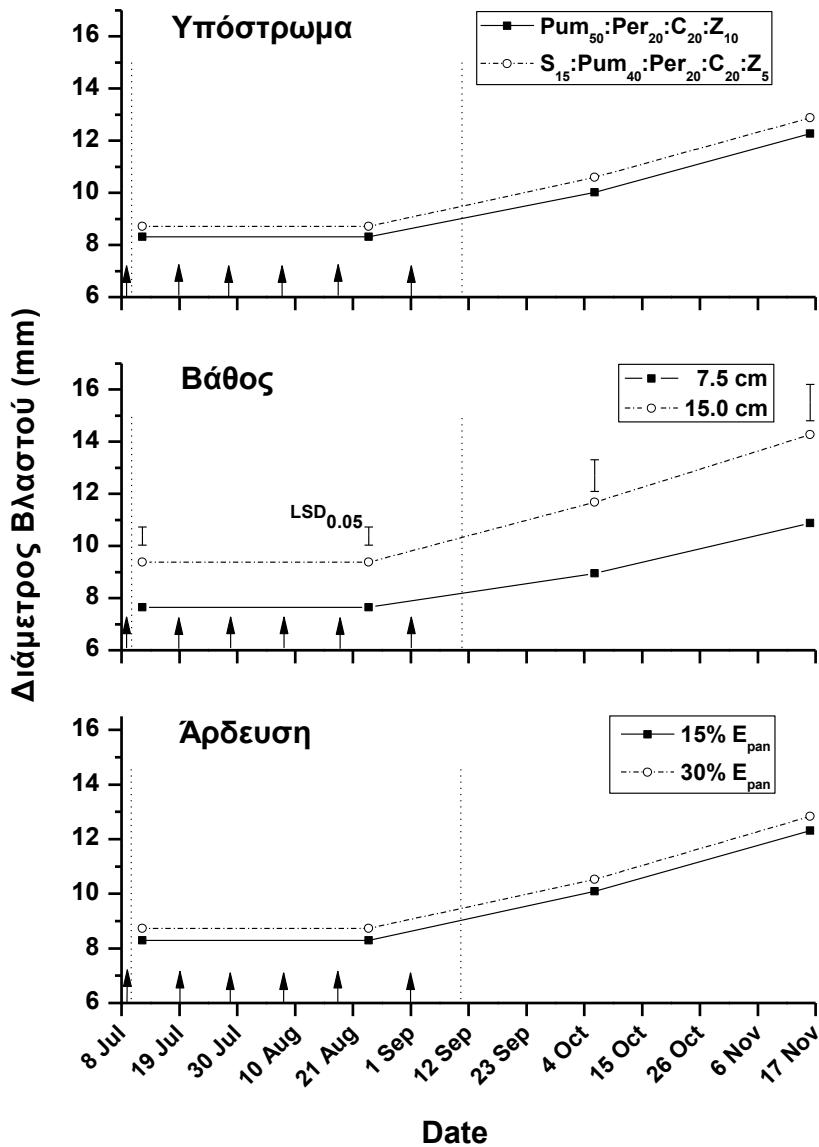
Δεν παρατηρήθηκαν αλλαγές στη διάμετρο των βλαστών των φυτών εντός της καταπόνησης. Ούτε όμως και διαφορές στις τιμές της διαμέτρου μεταξύ των φυτών των δύο υποστρωμάτων. Με το πέρας της περιόδου παρατηρείται σχετική αύξηση χωρίς να παρουσιάζονται όμως διαφορές ανάμεσα στους δύο τύπους υποστρωμάτων (Σχ. 3.7).

3.7.2 Επίδραση του βάθους του υποστρώματος στη διάμετρο βλαστού

Αποδείχθηκε από τις μετρήσεις ότι το βάθος επέδρασε θετικά στην αύξηση της διαμέτρου των φυτών. Πιο συγκεκριμένα τα υποστρώματα με βάθος 15cm έδωσαν φυτά με μεγαλύτερη διάμετρο βλαστού από αυτά που αναπτύχθηκαν σε βάθος υποστρώματος 7,5cm. Βέβαια δεν παρατηρήθηκε καμία μεταβολή της διαμέτρου εντός της περιόδου καταπόνησης. Σημειώνεται επίσης ότι μετά την καταπόνηση τα φυτά στο βαθύ υπόστρωμα αύξησαν πιο γρήγορα και με μεγαλύτερη τιμή τη διάμετρό τους σε σχέση με τα φυτά των ρηχών υποστρωμάτων κάτι που το αποδεικνύει και κλίση της καμπύλης που αντιστοιχεί στο βαθύ υπόστρωμα (Σχ. 3.7)

3.7.3 Επίδραση των ποσοτήτων άρδευσης στη διάμετρο του βλαστού

Τόσο κατά την εφαρμογή της χαμηλής ποσότητας άρδευσης των $15\%E_{pan}$ όσο και κατά την υψηλή των $30\%E_{pan}$ δεν παρατηρήθηκε καμία μεταβολή στη διάμετρο των φυτών μέσα στην περίοδο της καταπόνησης. Επιπλέον τα φυτά των δύο επεμβάσεων άρδευσης δεν διέφεραν σημαντικά όσον αφορά τη διάμετρο των βλαστών. Ωστόσο μετά την καταπόνηση υπάρχει αύξηση της διαμέτρου των βλαστών των φυτών και στις δύο επεμβάσεις (Σχ. 3.7).



Σχήμα. 3.7. Επίδραση του τύπου του υποστρώματος ($P_{um_{50}}:P_{er_{20}}:C_{20}:Z_{10}$ και $S_{15}:P_{um_{40}}:P_{er_{20}}:C_{20}:Z_{5}$), του βάθους υποστρώματος (7.5 και 15 cm) και της ποσότητας άρδευσης (15% και 30% E_{pan}) στη διάμετρο του κεντρικού βλαστού (cm) των φυτών του *D. fruticosus*. Οι τιμές είναι οι μέσοι όροι των πέντε επαναλήψεων. Οι γραμμές αντιπροσωπεύουν την ελάχιστη σημαντική διαφορά (LSD) σε ημερομηνίες, για επίπεδο σημαντικότητας $P < 0.05$. Τα βέλη υποδεικνύουν τις ημερομηνίες εφαρμογής των αρδεύσεων κατά την περίοδο της υδατικής καταπόνησης. (S=αμμοπηλώδες έδαφος, P_{um} =ελαφρόπετρα, P_{er} = Περλίτης, C=κόμποστ, Z=ζεόλιθος)

3.8 Συνολικό μήκος πλαγίων βλαστών

Σύμφωνα με τις γραφικές παραστάσεις το ολικό μήκος των πλαγίων βλαστών των φυτών έβαινε αυξανόμενο έως την περίοδο της καταπόνησης. Εντός της συγκεκριμένης όμως περιόδου η αύξηση αυτή μειώθηκε αισθητά φθάνοντας στο μηδενισμό.

3.8.1 Επίδραση των υποστρωμάτων στο συνολικό μήκος βλαστών

Από τη στατιστική ανάλυση δεν προκύπτουν διαφορές ανάμεσα στα φυτά των δύο υποστρωμάτων όσον αφορά το ολικό μήκος των πλαγίων βλαστών. Σημειώνεται μόνο ότι ο ρυθμός αύξησης των πλαγίων βλαστών των φυτών του υποστρώματος Ρum50 ήταν μεγαλύτερος σε σύγκριση με το S15 το οποίο συμπεραίνεται από την κλίση της καμπύλης του υποστρώματος Ρum50 (Σχ. 3.8).

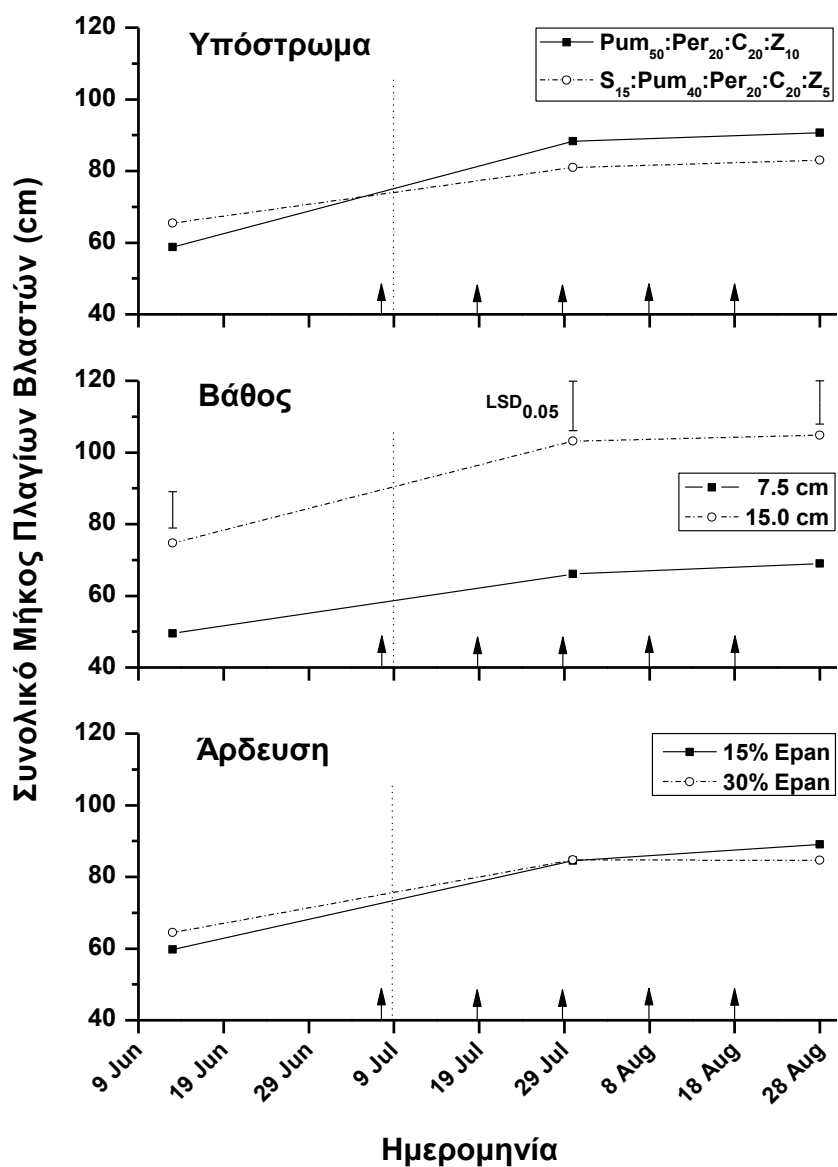
3.8.2 Επίδραση του βάθους στο συνολικό μήκος βλαστών

Συμπερασματικά επιβεβαιώθηκε ότι το βάθος επέδρασε θετικά στο μήκος των πλαγίων βλαστών. Τα φυτά που αναπτύχθηκαν στο βαθύ υπόστρωμα (15cm) παρουσίασαν μεγαλύτερο μήκος πλαγίων βλαστών αλλά και ταχύτερη ανάπτυξη πριν την έναρξη της καταπόνησης. Εντός του χρονικού διαστήματος της καταπόνησης υπάρχει στασιμότητα της ανάπτυξης του μήκους. Στο προαναφερθέν διάστημα εντοπίζεται μόνο μια ανεπαίσθητη αύξηση του μήκους των βλαστών του ρηχού υποστρώματος (7,5cm) μειώνοντας κατά ελάχιστα τη διαφορά των φυτών των δύο βαθών. Αντίθετα τα φυτά του βαθέως υποστρώματος διέκοψαν την ανάπτυξή τους εντός της περιόδου (Σχ. 3.8).

3.8.3 Επίδραση της ποσότητας άρδευσης στο ολικό μήκος πλαγίων βλαστών

Δεν υπήρξε καμία επίδραση πάνω στο ολικό μήκος των πλαγίων βλαστών από τις δύο ποσότητες άρδευσης. Αυτό διαφαίνεται και από την γραφική παράσταση της άρδευσης σε σχέση με το μήκος των βλαστών. Σημειώνεται μόνο ότι ο ρυθμός

ανάπτυξης που υπήρξε πριν την καταπόνηση δεν διατηρήθηκε και κατά τη διάρκεια της καταπόνησης (Σχ. 3.8).



Σχήμα. 3.8. Επίδραση του τύπου του υποστρώματος ($P_{um_{50}}:P_{er_{20}}:C_{20}:Z_{10}$ και $S_{15}:P_{um_{40}}:P_{er_{20}}:C_{20}:Z_5$), του βάθους υποστρώματος (7.5 και 15 cm) και της ποσότητας άρδευσης (15% και 30% E_{pan}) στο μήκος των πλαγίων βλαστών (cm) των φυτών του *D. fruticosus*. Οι τιμές είναι οι μέσοι όροι των πέντε επαναλήψεων. Οι γραμμές αντιπροσωπεύουν την ελάχιστη σημαντική διαφορά (LSD) σε ημερομηνίες, για επίπεδο σημαντικότητας $P < 0.05$. Τα βέλη υποδεικνύουν τις ημερομηνίες εφαρμογής των αρδεύσεων κατά την περίοδο της υδατικής καταπόνησης.

(S=αμμοπηλώδες έδαφος, Ρum=ελαφρόπετρα, Ρer= Περλίτης, C=κόμποστ, Ζ=ζεόλιθος)

3.9 Αριθμός πλαγίων βλαστών

Σημειώνεται ότι η διακύμανση των καμπυλών του αριθμού των πλαγίων βλαστών είναι πανομοιότυπη με αυτή του μήκους των βλαστών. Αυτό εξάγεται από τα τρία διαγράμματα, υποστρώματος, βάθους και άρδευσης.

3.9.1 Επίδραση του τύπου του υποστρώματος στον αριθμό των πλαγίων βλαστών

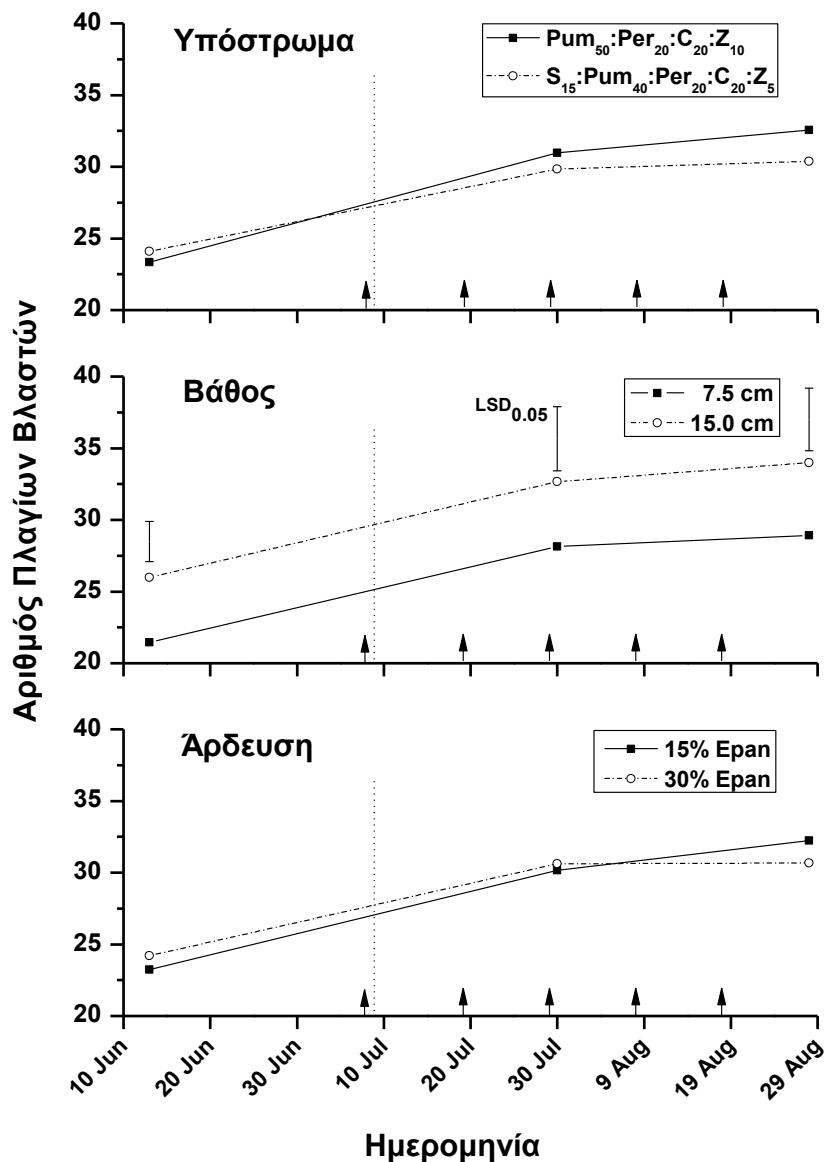
Δεν υπήρξαν διαφορές ανάμεσα στα φυτά των δύο υποστρωμάτων, όσον αφορά τον αριθμό των πλαγίων βλαστών, τόσο πριν την καταπόνηση όσο και κατά τη διάρκεια αυτής. Παρατηρείται όμως ότι τόσο πριν όσο και κατά την περίοδο της υδατικής καταπόνησης, τα φυτά του υποστρώματος Ρum50 παρουσίασαν μια σχετικά ταχύτερη αύξηση του αριθμού των πλαγίων βλαστών σε σχέση με αυτά του υποστρώματος S15 χωρίς και πάλι να εμφανίζουν διαφορές (Σχ. 3.9).

3.9.2 Σύγκριση του βάθους του υποστρώματος για τον αριθμό πλαγίων βλαστών

Το βάθος του υποστρώματος φαίνεται να επηρεάζει θετικά και τον αριθμό των πλαγίων βλαστών. Αυτό διαφαίνεται από τη διαφορά που παρουσίασαν και διατήρησαν τα φυτά του υποστρώματος των 15cm, έναντι αυτών του ρηχότερου υποστρώματος των 7,5cm όσον αφορά τον αριθμό πλαγίων, πριν και κατά τη διάρκεια της καταπόνησης (Σχ. 3.9).

3.9.3 Επίδραση της ποσότητας άρδευσης στον αριθμό των πλαγίων βλαστών

Από τη σύγκριση του αριθμού των πλαγίων βλαστών των φυτών κατά τις δύο ποσότητες άρδευσης δεν παρουσιάστηκε καμία διαφορά (Σχ. 3.9).



Σχήμα. 3.9. Επίδραση του τύπου του υποστρώματος (Pum₅₀:Per₂₀:C₂₀:Z₁₀ και S₁₅:Pum₄₀:Per₂₀:C₂₀:Z₅), του βάθους υποστρώματος (7.5 και 15 cm) και της ποσότητας άρδευσης (15% και 30% E_{pan}) στον αριθμό των πλαγίων βλαστών των φυτών του *D. fruticosus*. Οι τιμές είναι οι μέσοι όροι των πέντε επαναλήψεων. Οι γραμμές αντιπροσωπεύουν την ελάχιστη σημαντική διαφορά (LSD) σε ημερομηνίες, για επίπεδο σημαντικότητας P<0.05. Τα βέλη υποδεικνύουν τις ημερομηνίες εφαρμογής των αρδεύσεων κατά την περίοδο της υδατικής καταπόνησης. (S=αμμοπηλώδες έδαφος, Pum=ελαφρόπετρα, Per= Περλίτης, C=κόμποστ, Z=ζεόλιθος)

3.10 Μέτρηση SPAD

Όσον αφορά τις τιμές SPAD παρατηρείται ότι κατά τη διάρκεια της καταπόνησης υπάρχει μείωση των επιπέδων τους στα φυτά, ανεξαρτήτως επέμβασης.

3.10.1 Σύγκριση υποστρωμάτων για τις τιμές του SPAD

Αρχικά σημειώνεται ότι το υπόστρωμα με το έδαφος έδωσε καλύτερα αποτελέσματα πάνω στις μετρήσεις SPAD. Πιο αναλυτικά, ενώ στην πρώτη μέτρηση, πριν την καταπόνηση, δεν υπήρξε διαφορά στις τιμές SPAD των φυτών των δύο υποστρωμάτων, αντίθετα στη συνέχεια διαφοροποιήθηκαν, με το υπόστρωμα S15 να ξεχωρίζει (Σχ. 3.10). Κατά την έναρξη της υδατικής καταπόνησης παρατηρήθηκε μία κατακόρυφη πτώση στις τιμές SPAD των φυτών και των δύο υποστρωμάτων φτάνοντας σε τόσο χαμηλά επίπεδα ώστε να εξαλείφεται η διαφορά που είχε δημιουργήσει το υπόστρωμα με το έδαφος με το υπόστρωμα χωρίς έδαφος. Στη συνέχεια από τις 19 Ιουλίου και μέχρι το πέρας της καταπόνησης υπήρξαν κάποιες αυξομειώσεις των τιμών SPAD στα χαμηλά επίπεδα όχι όμως και ουσιαστικές διαφορές μεταξύ τους (Σχ. 3.10). Στο τέλος της καταπόνησης οι τιμές εμφάνισαν μια ραγδαία αύξηση ξεπερνώντας τα αρχικά επίπεδα και εμφανίζοντας και πάλι τη διαφορά στις τιμές SPAD.

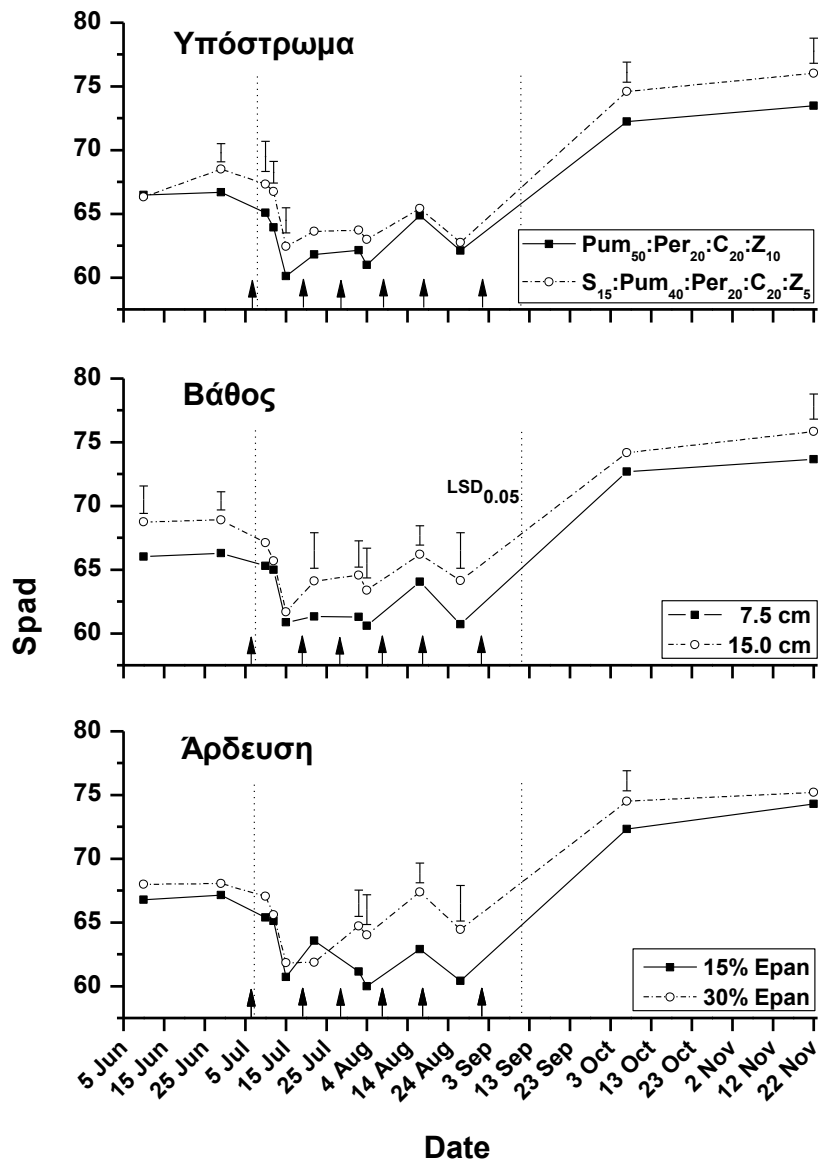
3.10.2 Σύγκριση του διαφορετικού βάθους των υποστρωμάτων όσον αφορά τις μετρήσεις SPAD

Το βάθος επέδρασε ξανά θετικά και όσον αφορά τις τιμές του SPAD. Παρατηρήθηκε από την αρχή ότι τα φυτά στο βαθύ υπόστρωμα των 15cm, εμφάνισαν μία διαφορά σε σχέση με αυτά του ρηχού υποστρώματος των 7,5cm. Αξιοσημείωτο για το βάθος είναι ότι ενώ υπήρχαν αρχικά διαφορές, κατά την έναρξη της περιόδου καταπόνησης, από την 8^η Ιουλίου μέχρι και την 15^η Ιουλίου, οι τιμές SPAD των φυτών και των δύο επεμβάσεων έπεσαν κατακόρυφα και χωρίς στατιστικώς σημαντικές διαφορές μεταξύ τους. Επανεμφανίστηκαν οι διαφορές κατά τη διάρκεια της καταπόνησης δηλαδή από τις 19 Ιουλίου και μέχρι το τέλος της περιόδου. Με τη λήξη της περιόδου οι τιμές του SPAD αυξήθηκαν και πάλι και μάλιστα πάνω από τις

αρχικές τιμές του πειράματος χωρίς να παρουσιάζονται διαφορές. Στις 22 όμως Νοεμβρίου η διαφορά του βαθέως υποστρώματος εμφανίστηκε ξανά (Σχ. 3.10).

3.10.3 Επίδραση της ποσότητας άρδευσης και τιμές του SPAD

Αξιοσημείωτο είναι ότι στις τιμές του SPAD η ποσότητα άρδευσης επέδρασε θετικά εντός της περιόδου της καταπόνησης. Με την έναρξη της παραπάνω περιόδου παρατηρείται μια κατακόρυφη πτώση των τιμών SPAD στα φυτά και των δύο διαφορετικών επεμβάσεων άρδευσης χωρίς να εμφανίζονται διαφορές. Στη συνέχεια η στατιστική ανάλυση έδειξε ότι οι διαφορές σημειώθηκαν, από τις 2 Αυγούστου μέχρι και μετά το τέλος της περιόδου ανάμεσα στα φυτά των δύο ποσοτήτων (Σχ. 3.10). Μετά την περίοδο όμως η διαφορά των φυτών των δύο αρδεύσεων ενώ μειώνεται, συνεχίζει παρόλα αυτά να διατηρείται έως την μέτρηση στις 22 Νοεμβρίου όπου και σταματά να υφίσταται.



Σχήμα. 3.10. Επίδραση του τύπου του υποστρώματος (Pum₅₀:Per₂₀:C₂₀:Z₁₀ και S₁₅:Pum₄₀:Per₂₀:C₂₀:Z₅), του βάθους υποστρώματος (7.5 και 15 cm) και της ποσότητας άρδευσης (15% και 30% E_{pan}) στις τιμές SPAD των φυτών του *D. fruticosus*. Οι τιμές είναι οι μέσοι όροι των πέντε επαναλήψεων. Οι γραμμές αντιπροσωπεύουν την ελάχιστη σημαντική διαφορά (LSD) σε ημερομηνίες, για επίπεδο σημαντικότητας P<0.05. Τα βέλη υποδεικνύουν τις ημερομηνίες εφαρμογής των αρδεύσεων κατά την περίοδο της υδατικής καταπόνησης. (S=αμμοπηλώδες έδαφος, Pum=ελαφρόπετρα, Per= Περλίτης, C=κόμποστ, Z=ζεόλιθος)

3.11 Μέτρηση ολικής χλωροφύλλης

Η γενική παρατήρηση που προκύπτει από τη μέτρηση της χλωροφύλλης με την εργαστηριακή μέθοδο είναι ότι τα επίπεδά της στα φυτά, μειώνονται σημαντικά εντός του διαστήματος της της καταπόνησης, ανεξαρτήτως επέμβασης, φθάνοντας στα χαμηλότερα δυνατά.

3.11.1 Επίδραση του υποστρώματος στην ολική χλωροφύλλη

Τα επίπεδα της χλωροφύλλης στα φυτά που βρίσκονται στο υπόστρωμα με το έδαφος έχουν μια ομαλότερη αλλά γρηγορότερη πτώση, από την έναρξη της καταπόνησης μέχρι και την τελευταία μέτρηση εντός της περιόδου, στις 20 δηλαδή Αυγούστου (Σχ. 3.11). Την προαναφερθείσα περίοδο παρουσιάζονται τα χαμηλότερα επίπεδα χλωροφύλλης. Αντίθετα τα επίπεδά της στα φυτά του υποστρώματος χωρίς το έδαφος, μειώνεται με βραδύτερο ρυθμό ενώ στις 22 Ιουλίου εμφανίζεται και η μοναδική διαφορά για το υπόστρωμα χωρίς το έδαφος. Στη συνέχεια εξακολουθεί η μείωση των επιπέδων των τιμών, έως ότου αρχίσει η επάνοδος τους μετά την περίοδο της καταπόνησης οπότε και φθάνουν στα αρχικά και πλέον επίπεδα (Σχ. 3.11).

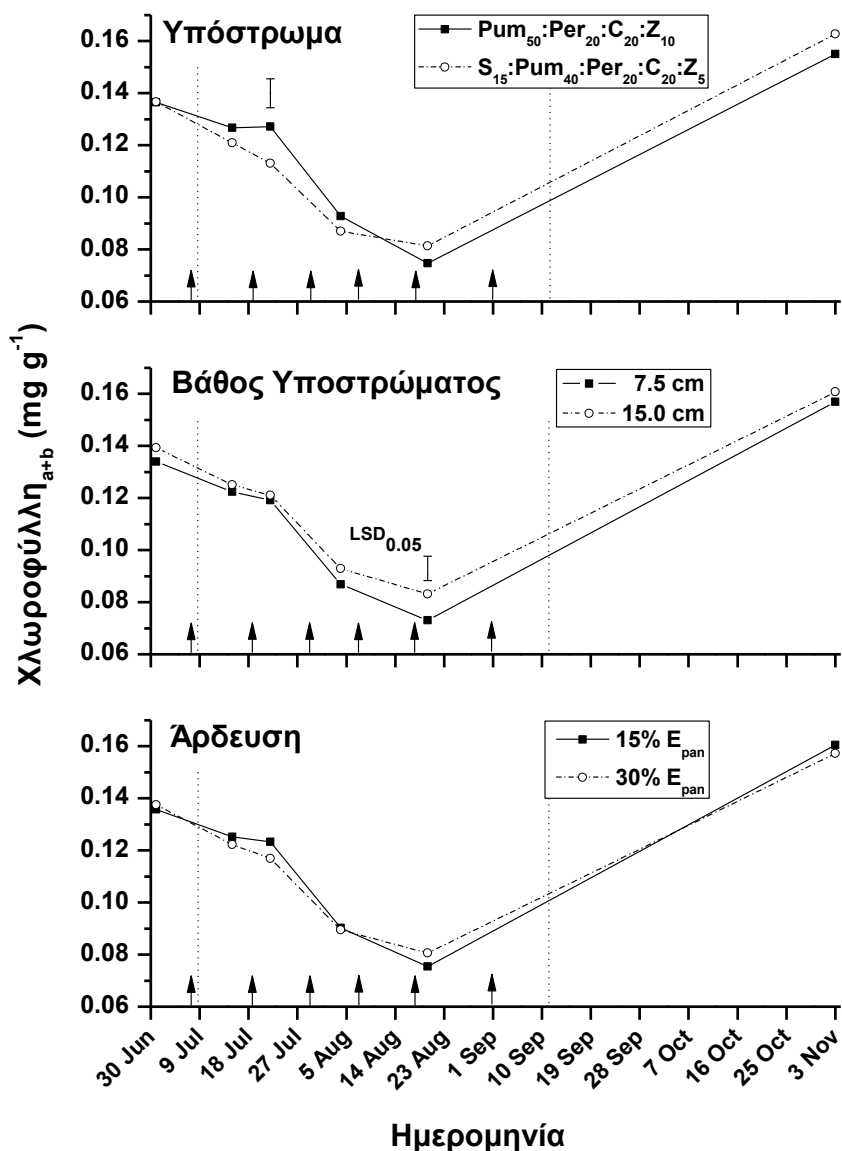
3.11.2 Επίδραση του βάθους του υποστρώματος στην ολική χλωροφύλλη

Παρατηρείται ότι η πτώση των επιπέδων χλωροφύλλης είναι πανομοιότυπη και στα δύο βάθη. Όμως η μοναδική διαφορά που σημειώνεται είναι στην μέτρηση της 20^{ης} Αυγούστου, όπου τα φυτά του υποστρώματος των 15cm παρουσίασαν μεγαλύτερη συγκέντρωση από αυτά του υποστρώματος των 7,5cm (Σχ. 3.11). Επισημαίνεται ότι στην συγκεκριμένη μέτρηση σημειώθηκαν τα χαμηλότερα επίπεδα χλωροφύλλης όλης της περιόδου λήψης των μετρήσεων. Με το πέρας της καταπόνησης τα επίπεδα χλωροφύλλης όλων των φυτών επανήλθαν στα αρχικά και πλέον επίπεδα (Σχ. 3.11).

3.11.3 Επίδραση της ποσότητας άρδευσης στην ολική χλωροφύλλη.

Όσον αφορά την ποσότητα άρδευσης, από τις αναλύσεις, που έγιναν δεν παρατηρήθηκαν στατιστικώς σημαντικές διαφορές ανάμεσα στα φυτά των δύο

ποσοτήτων. Σημειώνεται ότι η πτώση των επιπέδων ήταν παρόμοια και στις δύο αρδεύσεις (Σχ. 3.11). Μετά την καταπόνηση η ολική χλωροφύλλη των φυτών και των δύο επεμβάσεων φτάνουν ξανά στα αρχικά τους επίπεδα.



Σχήμα. 3.11. Επίδραση του τύπου του υποστρώματος (Pum₅₀:Per₂₀:C₂₀:Z₁₀ και S₁₅:Pum₄₀:Per₂₀:C₂₀:Z₅), του βάθους υποστρώματος (7.5 και 15 cm) και της ποσότητας άρδευσης (15% και 30% E_{pan}) στην ολική χλωροφύλλη (mg·g⁻¹) των φυτών του *D. fruticosus*. Οι τιμές είναι οι μέσοι όροι των πέντε επαναλήψεων. Οι γραμμές αντιπροσωπεύουν την ελάχιστη σημαντική διαφορά (LSD) σε ημερομηνίες, για επίπεδο σημαντικότητας P<0.05. Τα βέλη υποδεικνύουν τις ημερομηνίες

εφαρμογής των αρδεύσεων κατά την περίοδο της υδατικής καταπόνησης.
(S=αμμοπηλώδες έδαφος, Ρum=ελαφρόπετρα, Ρer= Περλίτης, C=κόμποστ,
Z=ζεόλιθος)

3.12 Μέτρηση χλωροφύλλης a

3.12.1 Επίδραση του υποστρώματος στα επίπεδα της χλωροφύλλης a

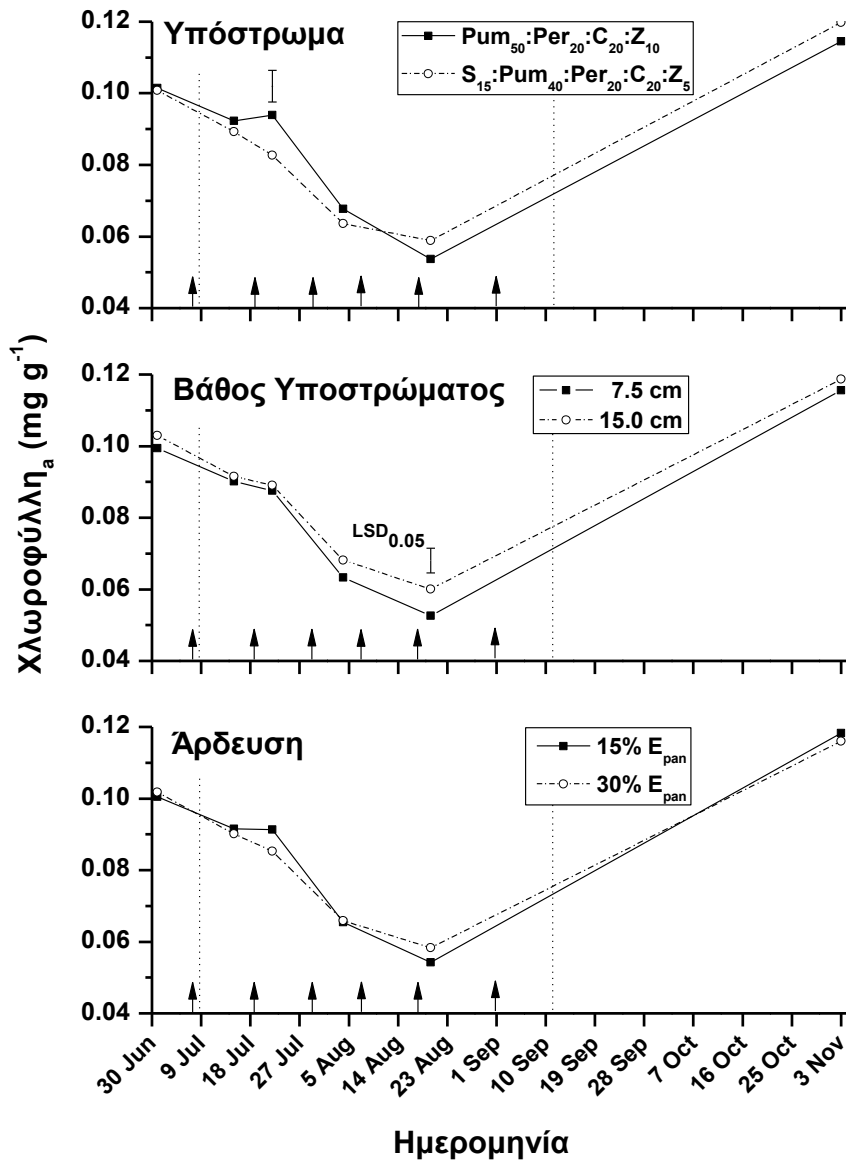
Τα φυτά του υποστρώματος Ρum50 δεν επηρεάστηκαν αμέσως από τη περίοδο της καταπόνησης δείχνοντας ότι η χλωροφύλλη a ήταν σε σταθερά επίπεδα, και μάλιστα μετά τη δεύτερη άρδευση παρουσιάστηκε και η μοναδική διαφορά ανάμεσα στα φυτά των δύο υποστρωμάτων (Σχ. 3.12). Από την επόμενη όμως μέτρηση δηλαδή στις 4 Αυγούστου, βλέπουμε μια ραγδαία πτώση των επιπέδων της χλωροφύλλης a των φυτών και των δύο υποστρωμάτων, εξαλείφοντας τη διαφορά που εμφανίστηκε στην προηγούμενη μέτρηση. Από την 4^η Αυγούστου μέχρι και την 20^η Αυγούστου 2010 οι συγκεντρώσεις ήταν οι μικρότερες και για τα δύο υποστρώματα (Σχ. 3.12). Εν συνεχεία μετά την περίοδο επανήλθαν στα αρχικά επίπεδα.

3.12.2 Επίδραση του βάθους του υποστρώματος στη χλωροφύλλη a

Το βάθος του υποστρώματος επηρεάζει τα επίπεδα της χλωροφύλλης a στα φυτά μετά από ισχυρή καταπόνηση. Αυτό αποδεικνύεται από τη μοναδική διαφορά που προέκυψε την 20^η Αυγούστου κατά την οποία παρατηρήθηκαν οι χαμηλότερες δυνατές τιμές χλωροφύλλης a (Σχ. 3.12). Κατά τη συγκεκριμένη ημερομηνία τα φυτά του υποστρώματος με βάθος 15cm υπερέιχαν σε τιμές χλωροφύλλης a από εκείνα του υποστρώματος των 7,5cm. Από τα αποτελέσματα των μετρήσεων γενικά παρατηρείται μια ομαλή πτώση των επιπέδων χλωροφύλλης a στα φυτά και των δύο επεμβάσεων κατά την περίοδο της υδατικής καταπόνησης (Σχ. 3.12). Στη συνέχεια οι τιμές των φυτών σε χλωροφύλλη a επανήλθαν με το πέρας της δύσκολης περιόδου.

3.12.3 Επίδραση της ποσότητας άρδευσης στη χλωροφύλλη α

Δεν παρατηρήθηκαν στατιστικώς σημαντικές διαφορές ανάμεσα στα επίπεδα χλωροφύλλης α των φυτών των δύο επεμβάσεων άρδευσης. Τα χαμηλότερα επίπεδα και σε αυτή την μέτρηση σημειώθηκαν την 20^η Αυγούστου (Σχ. 3.12).



Σχήμα. 3.12. Επίδραση του τύπου του υποστρώματος (Pum₅₀:Per₂₀:C₂₀:Z₁₀ και S₁₅:Pum₄₀:Per₂₀:C₂₀:Z₅), του βάθους υποστρώματος (7.5 και 15 cm) και της ποσότητας άρδευσης (15% και 30% E_{pan}) στη χλωροφύλλη α (mg·g⁻¹) των φυτών του *D. fruticosus*. Οι τιμές είναι οι μέσοι όροι των πέντε επαναλήψεων. Οι γραμμές

αντιπροσωπεύουν την ελάχιστη σημαντική διαφορά (LSD) σε ημερομηνίες, για επίπεδο σημαντικότητας $P < 0.05$. Τα βέλη υποδεικνύουν τις ημερομηνίες εφαρμογής των αρδεύσεων κατά την περίοδο της υδατικής καταπόνησης. (S=αμμοπηλώδες έδαφος, Ρ_{υμ}=ελαφρόπετρα, Ρ_{εγ}= Περλίτης, C=κόμποστ, Z=ζεόλιθος)

3.13 Μετρήσεις χλωροφύλλης Β

3.13.1 Επίδραση του υποστρώματος στα επίπεδα της χλωροφύλλης Β

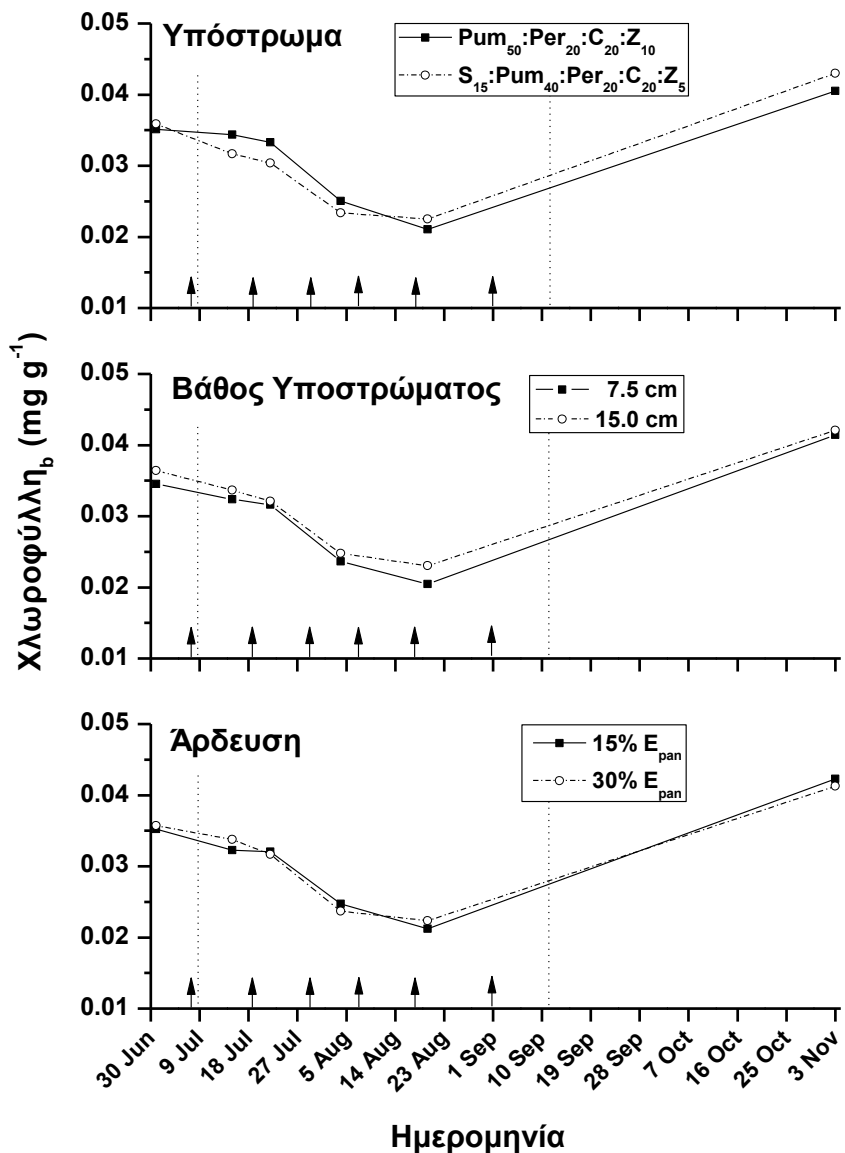
Όπως έδειξαν τα αποτελέσματα δεν υπάρχει διαφορά μεταξύ των φυτών των δύο υποστρωμάτων στα επίπεδα χλωροφύλλης Β. Γενική παρατήρηση είναι ότι η χλωροφύλλη Β μειώθηκε στα φυτά και στα δύο υποστρώματα εξ ίσου κατά την διάρκεια της καταπόνησης και επανήλθε μετά την περίοδο αυτή (Σχ. 3.13).

3.13.2 Επίδραση του βάθους στη χλωροφύλλη Β

Τα αποτελέσματα της στατιστικής ανάλυσης επίσης έδειξαν ότι δεν υπήρξαν διαφορές ανάμεσα στα φυτά των δύο βαθών όσον αφορά τα επίπεδα της χλωροφύλλης Β. Η πτώση ήταν παρόμοια και στα δύο υποστρώματα εντός της καταπόνησης ενώ οι χαμηλότερες τιμές σημειώθηκαν την 20^η Αυγούστου που ήταν και η τελευταία μέτρηση εντός της περιόδου (Σχ. 3.13).

3.13.3 Επίδραση της ποσότητας άρδευσης στη χλωροφύλλη Β

Η επίδραση της άρδευσης πάνω στις τιμές της χλωροφύλλης Β δεν ήταν αξιόλογη. Δεν παρατηρήθηκε καμία διαφορά μεταξύ των φυτών των δύο ποσοτήτων. Γενικά η πτώση της χλωροφύλλης Β στα φυτά της άρδευσης με 30%E_{pan} είχε μια πιο ομαλή καθοδική πορεία εντός της περιόδου, σε σχέση με αυτή των φυτών που αρδεύονταν με το 15%E_{pan} (Σχ. 3.13).



Σχήμα. 3.13. Επίδραση του τύπου του υποστρώματος ($P_{um_{50}}:P_{er_{20}}:C_{20}:Z_{10}$ και $S_{15}:P_{um_{40}}:P_{er_{20}}:C_{20}:Z_5$), του βάθους υποστρώματος (7.5 και 15 cm) και της ποσότητας άρδευσης (15% και 30% E_{pan}) στη χλωροφύλλη b ($mg \cdot g^{-1}$) των φυτών του *D. fruticosus*. Οι τιμές είναι οι μέσοι όροι των πέντε επαναλήψεων. Οι γραμμές αντιπροσωπεύουν την ελάχιστη σημαντική διαφορά (LSD) σε ημερομηνίες, για επίπεδο σημαντικότητας $P < 0.05$. Τα βέλη υποδεικνύουν τις ημερομηνίες εφαρμογής των αρδεύσεων κατά την περίοδο της υδατικής καταπόνησης. (S=αμμοπηλώδες έδαφος, Pum=ελαφρόπετρα, Per= Περλίτης, C=κόμποστ, Z=ζεόλιθος)

3.14 Μέτρηση καρτενοειδών

3.14.1 Επίδραση των υποστρωμάτων στα καρτενοειδή των φυτών

Πριν την καταπόνηση τα καρτενοειδή των φυτών των δύο υποστρωμάτων βρίσκονταν στα ίδια επίπεδα. Με την έναρξη της περιόδου τα επίπεδα των καρτενοειδών των φυτών και των δύο υποστρωμάτων μειώθηκαν σε χαμηλότερα επίπεδα (Σχ. 3.14), ενώ με την εφαρμογή της πρώτης άρδευσης εντός της περιόδου δηλαδή στις 19 Ιουλίου, παρατηρείται μία ανάκαμψη των επιπέδων με σαφή υπεροχή στις τιμές των καρτενοειδών που έχουν τα φυτά του υποστρώματος S15. Σε αυτό το σημείο υπάρχει και η μοναδική στατιστικώς σημαντική διαφορά μεταξύ των δύο υποστρωμάτων. Έπειτα τα επίπεδα πέφτουν γρήγορα φτάνοντας στα χαμηλότερα δυνατά κατά την μέτρηση της 20^{ης} Αυγούστου (Σχ. 3.14). Με το πέρασ επανέρχονται πάλι στα πριν την καταπόνηση όρια.

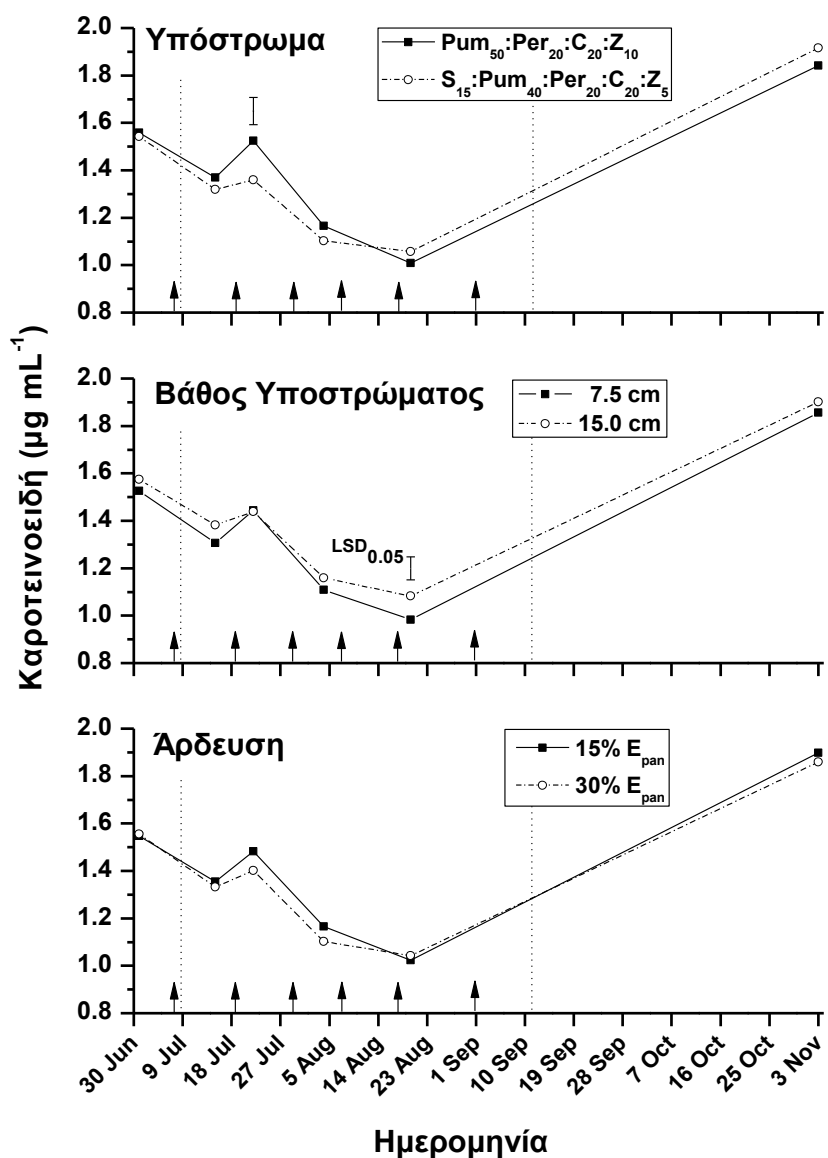
3.14.2 Επίδραση του βάθους στα επίπεδα των καρτενοειδών.

Η ανάλυση των μετρήσεων έδειξε ότι πριν την έναρξη της υδατικής καταπόνησης οι τιμές των καρτενοειδών και των δύο επεμβάσεων βρίσκονταν σε υψηλά επίπεδα. Με την έναρξη της περιόδου αυτής στις 8 Ιουλίου, τα επίπεδα των καρτενοειδών μειώθηκαν. Η μέτρηση της 22^{ας} Ιουλίου, (δηλαδή τρεις ημέρες μετά την πρώτη εντός της περιόδου άρδευσης) έδειξε ότι τα επίπεδα των καρτενοειδών αυξήθηκαν σε σχέση με αυτά της μέτρησης της 15^{ης} Ιουλίου, δηλαδή πριν την άρδευση (Σχ. 3.14). Η επόμενη όμως μέτρηση δείχνει ότι τα φυτά έχουν κατακόρυφη πτώση των επιπέδων των καρτενοειδών τους. Στις 20 Αυγούστου, πλέον τα επίπεδα ήταν πολύ χαμηλά, δημιουργώντας και τη μοναδική διαφορά μεταξύ των δύο επεμβάσεων, υπέρ των φυτών του βάθους των 15cm. Η επόμενη της καταπόνησης μέτρηση βρίσκει τα φυτά να μην διαφέρουν μεταξύ τους και να έχουν υψηλά επίπεδα καρτενοειδών όπως και πριν την καταπόνηση.

3.14.3 Επίδραση της ποσότητας άρδευσης στα επίπεδα των καρτενοειδών των φυτών.

Η διαφορετική ποσότητα άρδευσης, όπως παρατηρείται, δεν επέφερε καμία μεταβολή στα επίπεδα καρτενοειδών των φυτών. Αυτό είχε σαν αποτέλεσμα να μην επιφάνεται καμία ποσοτική διαφοροποίηση στα καρτενοειδή των φυτών της άρδευσης με 15% E_{pan} σε σχέση με εκείνα της άρδευσης με 30% E_{pan} (Σχ. 3.14). Εντός

της καταπόνησης υπήρξε μείωση των επιπέδων στα φυτά και των δύο ποσοτήτων άρδευσης. Ενώ μετά την προαναφερθήσα περίοδο επανήλθαν οι τιμές (Σχ. 3.14).



Σχήμα. 3.14. Επίδραση του τύπου του υποστρώματος (Pum₅₀:Per₂₀:C₂₀:Z₁₀ και S₁₅:Pum₄₀:Per₂₀:C₂₀:Z₅), του βάθους υποστρώματος (7.5 και 15 cm) και της ποσότητας άρδευσης (15% και 30% E_{pan}) στα καροτενοειδή (µg·mL⁻¹) των φυτών του *D. fruticosus*. Οι τιμές είναι οι μέσοι όροι των πέντε επαναλήψεων. Οι γραμμές αντιπροσωπεύουν την ελάχιστη σημαντική διαφορά (LSD) σε ημερομηνίες, για επίπεδο σημαντικότητας P<0.05. Τα βέλη υποδεικνύουν τις ημερομηνίες εφαρμογής των αρδεύσεων κατά την περίοδο της υδατικής καταπόνησης. (S=αμμοπηλώδες έδαφος, Pum=ελαφρόπετρα, Per= Περλίτης, C=κόμποστ, Z=ζεόλιθος)

3.15 Συνολική επιφάνεια φύλλων

Από τη στατιστική ανάλυση που έγινε δεν προέκυψαν διαφορές όσον αφορά τη συνολική επιφάνεια των φύλλων για όλες τις επεμβάσεις.

Οι δύο τύποι υποστρωμάτων δεν δημιούργησαν διαφορές στα φυτά για την επιφάνεια των φύλλων τους.

Από τη σύγκριση των φυτών και των δύο βαθών επίσης δεν προέκυψε διαφορά.

Οι δύο ποσότητες άρδευσης επιπλέον, δεν έδωσαν διαφορές όσον αφορά τη συνολική επιφάνεια των φύλλων των φυτών.

3.16 Περίμετρος φύλλων

Τόσο ο τύπος του υποστρώματος όσο και το βάθος αλλά και οι διαφορετικές ποσότητες άρδευσης δεν επέφεραν καμία επίδραση πάνω στην περίμετρο των φύλλων των φυτών. Αυτό αποδεικνύεται από τη στατιστική ανάλυση των αποτελεσμάτων ενώ διαφαίνεται αναλυτικά από το παρακάτω πίνακα τιμών (Πίνακας 3.1).

3.17 Μέσο μήκος φύλλων

Δεν παρουσιάστηκε ιδιαίτερη διαφορά στο μήκος των φύλλων των φυτών στις επεμβάσεις, είδους υποστρώματος, βάθους υποστρώματος καθώς και των ποσοτήτων άρδευσης (Πίνακας 3.1).

3.18 Μέσο πλάτος φύλλων

Τα πλάτος των φύλλων των φυτών δεν έδειξε να επηρεάζεται από καμία από τις επεμβάσεις. Ούτε από το είδος του υποστρώματος, ούτε από το βάθος αλλά ούτε και από την ποσότητα άρδευσης (Πίνακας 3.1).

3.19 Σχετικό υδατικό δυναμικό

Όσον αφορά το σχετικό υδατικό δυναμικό των φύλλων, έγινε στατιστική ανάλυση για σύγκριση των φυτών των δύο υποστρωμάτων, των δύο βαθών και για των δύο ποσοτήτων άρδευσης. Σε όλες τις συγκρίσεις και τις στατιστικές αναλύσεις δεν παρατηρήθηκαν διαφορές (Πίνακας 3.1).

Πίνακας 3.1.: Επίδραση του τύπου υποστρώματος (Pum₅₀:Per₂₀:C₂₀:Z₁₀ και S₁₅:Pum₄₀:Per₂₀:C₂₀:Z₅), του βάθους υποστρώματος (7.5 και 15 cm) και της ποσότητας άρδευσης (15% και 30% E_{pan}) στις μετρήσεις φυλλικής επιφάνειας, περιμέτρου φύλλων, μήκους φύλλων, πλάτους φύλλων και σχετικού υδατικού δυναμικού των φύλλων (ΣΥΔ) στα φυτά του *D. fruticosus*. Οι τιμές είναι οι μέσοι όροι τριών επαναλήψεων. Η στατιστική ανάλυση έχει γίνει σε επίπεδο σημαντικότητας P<0.05. (S=αμμοπηλώδες έδαφος, Pum=ελαφρόπετρα, Per=Περλίτης, C=κόμποστ, Z=ζεόλιθος)

	Επιφάνεια φύλλων	Περίμετρος φύλλων	Μήκος φύλλων	Πλάτος φύλλων	ΣΥΔ
	cm ²	cm	cm		
(Pum₅₀:Per₂₀:C₂₀:Z₁₀)	803,359	4,862	1,939	0,676	58,215
(S₁₅:Pum₄₀:Per₂₀:C₂₀:Z₅)	520,086	4,603	1,832	0,67	57,679
Significance	NS	NS	NS	NS	NS
7.5 cm	484,977	4,545	1,812	0,657	56,349
15 cm	838,468	4,92	1,959	0,689	59,545
Significance	NS	NS	NS	NS	NS
15% E_{pan}	496,133	4,654	1,853	0,638	57,197
30% E_{pan}	827,313	4,811	1,919	0,708	58,698
Significance	NS	NS	NS	NS	NS

NS: Μη σημαντικό

*, Σημαντικό σε P<0.05 (5%)

**, Σημαντικό σε P<0.005 (5‰)

***, Σημαντικό σε P<0,0005 (5‰)

3.20 Νωπό Βάρος φυτών

Τα διαφορετικά υποστρώματα δεν έδωσαν διαφορές ανάμεσα στα νωπά βάρη των φυτών (Πίνακας 3.2).

Από την ανάλυση αντίθετα των μετρήσεων που πραγματοποιήθηκε για τα δύο βάθη, διαπιστώθηκε διαφορά στο νωπό βάρος των φυτών. Τα φυτά του μεγαλύτερου βάθους υποστρώματος των 15cm παρουσίασαν μεγαλύτερο νωπό βάρος από τα φυτά του ρηχού υποστρώματος των 7,5cm (Πίνακας 3.2).

Δεν φαίνεται να συμβαίνει το ίδιο με τις ποσότητες άρδευσης. Δεν παρατηρείται καμία διαφορά στο νωπό βάρος των φυτών (Πίνακας 3.2).

3.21 Ξηρό Βάρος φυτών

Στο ξηρό βάρος των φυτών, οι δύο τύποι υποστρωμάτων δεν διαφοροποιούν τα αποτελέσματα (Πίνακας 3.2).

Το βάθος όμως επηρέασε θετικά το ξηρό βάρος των φυτών σημειώνοντας διαφορά υπέρ του βαθέως υποστρώματος των 15cm, έναντι του ρηχού των 7,5cm.

Η ποσότητα άρδευσης από την άλλη δεν επηρέασε το ξηρό βάρος των φυτών, σύμφωνα με την ανάλυση των μετρήσεων (Πίνακας 3.2).

3.22 Ξηρό Βάρος βλαστών

Οι επεμβάσεις τόσο του τύπου υποστρώματος, και του βάθους υποστρώματος όσο και της ποσότητας άρδευσης δεν φαίνεται να επιδρούν πάνω στο ξηρό βάρος των βλαστών των φυτών (Πίνακας 3.2).

3.21 Ξηρό Βάρος ριζών

Επίσης και το ξηρό βάρος των ριζών δεν έδειξε να επηρεάζεται από καμία επέμβαση. Ούτε από το είδος του υποστρώματος, ούτε από το βάθος του υποστρώματος, αλλά ούτε και από την ποσότητα άρδευσης (Πίνακας 3.2).

Πίνακας 3.2.: Επίδραση του τύπου υποστρώματος (Pum₅₀:Per₂₀:C₂₀:Z₁₀ και S₁₅:Pum₄₀:Per₂₀:C₂₀:Z₅), του βάθους υποστρώματος (7.5 και 15 cm) και της ποσότητας άρδευσης (15% και 30% E_{pan}) στις μετρήσεις νωπού και ξηρού βάρους υπέργειου τμήματος των φυτών, ξηρού βάρους βλαστών και ξηρού βάρους ριζών των φυτών του *D. fruticosus*. Οι τιμές είναι οι μέσοι όροι τριών επαναλήψεων. Η στατιστική ανάλυση έχει γίνει σε επίπεδο σημαντικότητας P<0.05. (S=αμμοπηλώδες έδαφος, Pum=ελαφρόπετρα, Per= Περλίτης C=κόμποστ, Z=ζεόλιθος)

	Νωπό βάρος υπέργειου	Ξηρό βάρος υπέργειου	Ξηρό βάρος βλαστών	Ξηρό βάρος ριζών
	g			
(Pum₅₀:Per₂₀:C₂₀:Z₁₀)	55,768	20,947	6,509	10,638
(S₁₅:Pum₄₀:Per₂₀:C₂₀:Z₅)	59,219	20,619	5,908	7,94
Significance	NS	NS	NS	NS
7.5 cm	47,359 b	18,071 b	5,553	8,067
15 cm	67,628 a	23,495 a	6,864	10,511
Significance	*	*	NS	NS
15% E_{pan}	52,791	19,848	6,136	9,75
30% E_{pan}	62,196	21,724	6,281	8,828
Significance	NS	NS	NS	NS

NS: Μη σημαντικό

*, Σημαντικό σε P<0.05 (5%)

**, Σημαντικό σε P<0.005 (5‰)

***, Σημαντικό σε P<0,0005 (5‰‰)

4. Συμπεράσματα - Συζήτηση

4.1 Ιδιότητες των Υποστρωμάτων και χαρακτηριστικές καμπύλες υγρασίας.

Όσον αφορά την κοκκομετρική σύσταση των δύο υποστρωμάτων, το υπόστρωμα που περιείχε έδαφος ήταν πιο χοντρόκοκκο στα 2,0 mm με 0,5 mm, αλλά λεπτότερο στα κλάσματα από 0,105 mm έως 0,06 mm, συγκρινόμενο με το υπόστρωμα χωρίς έδαφος (Πίνακας 2.2).

Η ομοιότητα της κατανομής των δύο μεγεθών των σωματιδίων μεταξύ των δύο υποστρωμάτων αποδεικνύεται με την χαρακτηριστική καμπύλη υγρασίας στην οποία διαφαίνεται η ομοιότητα για τα 30,0 cm με 65,0 cm μύζησης. Ωστόσο το υπόστρωμα χωρίς έδαφος διατηρούσε περισσότερο νερό στις χαμηλές μυζήσεις (0,0 έως 20,0 cm) ενώ αντίθετα το υπόστρωμα με το έδαφος διατηρούσε περισσότερο νερό στις αυξημένες μυζήσεις (από 65,0 cm και άνω) (Σχ. 3.1). Αίτιο του φαινομένου αυτού ήταν η παρουσία εδάφους στο μίγμα, πράγμα το οποίο δηλώνει την διαφορά μεγέθους του πορώδους, έτσι ώστε να καθίσταται δυνατή η διατήρηση της υγρασίας τις υψηλές μυζήσεις (Aggelides and Londra, 2000). Η υγρασία και η ηλεκτρική αγωγιμότητα ελαχιστοποιήθηκαν αμφότερα και στα δύο υποστρώματα, όμως το υπόστρωμα με το έδαφος είχε τη δυνατότητα να αυξάνει εύκολα τη διαθεσιμότητά του σε νερό σε σύγκριση με το υπόστρωμα χωρίς έδαφος (14,7 % και 11,0 % αντίστοιχα).

4.2 Διακύμανση υγρασίας των υποστρωμάτων

Η περιεκτικότητα της υγρασίας των δύο υποστρωμάτων, κατά τη διάρκεια της επιβολής της υδατικής καταπόνησης, κυμαίνονταν ανάμεσα στα χρονικά διαστήματα των επεμβάσεων άρδευσης. Παρατηρήθηκε ότι το υπόστρωμα με έδαφος διατηρούσε περισσότερη υγρασία από το υπόστρωμα χωρίς έδαφος καθ' όλες τις ημερομηνίες δειγματοληψίας (Σχ.3.2), κάτι το οποίο αναμενόταν από τα αποτελέσματα των χαρακτηριστικών καμπυλών υγρασίας, ειδικότερα στις αυξημένες μυζήσεις. Η υγρασία στην εδαφική κατανομή, ήταν μεγαλύτερη στα ρηχά υποστρώματα, ενώ ο ρυθμός απώλειάς της, ήταν γρηγορότερος στα ρηχά

υποστρώματα, σύμφωνα με τα αποτελέσματα της καμπύλης διακύμανσης της υγρασίας. Η ταχύτερη απώλεια υγρασίας των ρηχών υποστρωμάτων απορρέει από το γεγονός ότι τα υποστρώματα με τα δύο διαφορετικά βάθη, είχαν παρόμοια περιεκτικότητα σε υγρασία πριν την εφαρμογή της επόμενης άρδευσης. Οι μετρήσεις της υγρασίας που πραγματοποιήθηκαν απεικονίζουν την περιεκτικότητα σε υγρασία των 6,5 επιφανειακών εκατοστών και όχι της συνολικής εδαφικής κατανομής. Ως εκ τούτου αναμένεται η υγρασία των βαθών υποστρωμάτων να είναι υψηλότερη από αυτή των ρηχών. Στην περίπτωση των ρηχών υποστρωμάτων, η εγγύτητα του νερού στην επιφάνεια των υποστρωμάτων είχε ως αποτέλεσμα τη γρηγορότερη εξάτμισή του, πράγμα το οποίο απεικονίζεται ως ταχύτερη απώλεια υγρασίας των ρηχών υποστρωμάτων. Παρόμοια αποτελέσματα βρήκαν και άλλοι ερευνητές όπως οι Durhman et al. (2007) που κατέγραψαν ότι τα βαθύτερα υποστρώματα, προωθούσαν τη διατήρηση της υγρασίας. Επίσης η υγρασία αυξανόταν με την εφαρμογή της υψηλότερης ποσότητας άρδευσης (30 % E_{pan}) σε σύγκριση με την εφαρμογή της χαμηλότερης ποσότητας άρδευσης (15 % E_{pan}), όπως ήταν αναμενόμενο, ως αποτέλεσμα της αύξησης των υδατικών αποθεμάτων.

4.3 Διακύμανση θερμοκρασίας υποστρώματος

Η μεγαλύτερη θερμοχωρητικότητα του νερού από τα υποστρώματα, επομένως και το ότι ο ρυθμός θέρμανσης και ψύξης του νερού που είναι βραδύτερος από αυτόν των στερεών υλικών, εξηγεί τη διαπίστωση ότι, η θερμοκρασία ακολουθεί αντίστροφη διακύμανση σε σχέση με την υγρασία, η οποία προκύπτει μετά από σύγκριση των δύο γραφικών παραστάσεων της υγρασίας και της θερμοκρασίας (Σχ. 3.3).

Όσον αφορά τη θερμοκρασία των δύο υποστρωμάτων δεν υπήρξαν διαφορές πλην της 12^{ης} Ιουλίου όπου και παρατηρήθηκε ότι το υπόστρωμα S15 είχε μεγαλύτερη θερμοκρασία. Οι πρώτες μετρήσεις από τις 8 Ιουλίου έως και τις 17 Ιουλίου λαμβάνονταν κατά τις μεσημεριανές ώρες εξ' ου και οι υψηλότερες θερμοκρασίες που παρατηρούνται στην αρχή της καταπόνησης (Σχ. 3.3). Το ότι υπήρξε διαφορά υπέρ του υποστρώματος S15 στις 12 Ιουλίου αφενός προδίδει τις υψηλές ωριαίες θερμοκρασίες, αφετέρου την παρουσία λεπτόκοκκων υλικών στο συγκεκριμένο υπόστρωμα (S15). Λόγω της αυξημένης περιεκτικότητας σε λεπτόκοκκα υλικά το συγκεκριμένο υπόστρωμα έχει μεγαλύτερη φαινόμενη

πυκνότητα και επομένως ζεσταίνεται γρηγορότερα, εξαιτίας του ότι υπάρχει μετάδοση της θερμότητας μέσω των υλικών ενώ ο αέρας που υπάρχει στο πορώδες δρα σαν μονωτικό. Έτσι κατά τη συγκεκριμένη μέτρηση διαφοροποιήθηκαν οι θερμοκρασίες των υποστρωμάτων, από τις θερμοκρασίες των πρωινών ωρών, όπως και διαπιστώνεται και στις επόμενες μετρήσεις όπου δεν υπάρχουν διαφορές, εξαιτίας της πρωινής καταγραφής της θερμοκρασίας.

Επίσης και τα δύο βάθη, δεν διαφοροποιούνται όσον αφορά τη θερμοκρασία υποστρώματος. Η μόνη διαφορά σημειώνεται επίσης την 12^η Ιουλίου, όπου το ρηχό υπόστρωμα των 7,5cm εμφανίζει μεγαλύτερη θερμοκρασία, εξαιτίας του ότι το ρηχό υπόστρωμα θερμαίνεται γρηγορότερα από το βαθύ, και έτσι τις ώρες που καταγράφηκε η θερμοκρασία είχε προλάβει να διαφοροποιήσει τις τιμές του από το βαθύ των 15cm (Σχ. 3.3). Η θερμοκρασία στα επιφανειακά στρώματα των υποστρωμάτων, αυξάνει ταχύτερα απ' ότι στα χαμηλότερα στρώματα. Έτσι το νερό που υπάρχει στους υδροφόρους ορίζοντες και των δύο βαθών θερμαίνεται γρηγορότερα στο ρηχό απ' ότι στο βαθύ.

Η θερμοκρασία με άρδευση 30% E_{pan} ήταν παρόμοια με αυτή του 15% εκτός από τις ημερομηνίες εφαρμογής της άρδευσης όπου τα υποστρώματα με 30% E_{pan} είχαν μικρότερη θερμοκρασία κατά 0,71°C σε σύγκριση με την 15% E_{pan} (Σχ. 3.3). Λόγω του ότι ο ρυθμός αύξησης θερμοκρασίας στο νερό είναι αργός, οπότε η μεγαλύτερη ποσότητα να χρειάζεται και περισσότερο χρόνο να θερμανθεί. Εξαιρεση αποτελεί η θερμοκρασία στην αρχή της καταπόνησης (18 Ιουλίου 2010 μια μέρα πριν την δεύτερη άρδευση) όπου η άρδευση 30% E_{pan} είχε μεγαλύτερη θερμοκρασία κατά 0,84°C σε σύγκριση με την 15% E_{pan} . Επειδή δεν είχαν ακόμα εφαρμοστεί οι διαφορετικές αρδεύσεις.

4.4 Ηλεκτρική αγωγιμότητα υποστρώματος (ECb)

Η γενική παρατήρηση, ότι η ηλεκτρική αγωγιμότητα ακολουθεί τη διακύμανση της υγρασίας, (Σχ. 3.4), οφείλεται στο ότι η ηλεκτρική αγωγιμότητα εξαρτάται από την υγρασία του υποστρώματος και από την περιεκτικότητα αυτού σε άλατα. Η ηλεκτρική αγωγιμότητα είναι η ικανότητα των διαλυμάτων των ηλεκτρολυτών να επιτρέπουν στο ηλεκτρικό ρεύμα να περνά μέσα απ' αυτά. Εξαρτάται δε από τη συγκέντρωση ιόντων, από το ηλεκτρικό τους φορτίο και από τη θερμοκρασία. Τα άλατα δε στο έδαφος, συμπεριφέρονται σαν καλοί αγωγοί του

ηλεκτρισμού. Οπότε εφόσον το νερό περιέχει άλατα η ηλεκτρική αγωγιμότητα θα κυμαίνεται αναλόγως με την υγρασία.

Η ηλεκτρική αγωγιμότητα του υποστρώματος S15, ήταν μεγαλύτερη από αυτή του υποστρώματος Rum50. Αυτό ενισχύεται και από τη μέτρηση του EC των διαλυμάτων των υποστρωμάτων που πραγματοποιήθηκαν εργαστηριακά. Πιθανόν να ισχύει λόγω της ικανότητας μεγαλύτερης συγκράτησης υγρασίας του υποστρώματος S15. Έτσι μπορεί και να εξηγηθεί το ότι το υπόστρωμα S15 παρουσίασε μεγαλύτερη αύξηση της τιμής του ECb κατά την εφαρμογή των αρδεύσεων οι οποίες μειώνονταν με την πάροδο του χρόνου μέχρι την επόμενη άρδευση, παίρνοντας την μικρότερη τιμή την προηγούμενη ημέρα.

Το μικρότερο βάθος των 7,5 cm είχε μεγαλύτερη ηλεκτρική αγωγιμότητα συγκριτικά με το μεγαλύτερο των 15 cm, (Σχ. 3.4), λόγω της ταχύτερης απώλειας υγρασίας και κατά συνέπεια της μεγαλύτερης συσσώρευσης αλάτων στο συγκεκριμένο υπόστρωμα, εξαιτίας της εξατμισοδιαπνοής. Με την ίδια εξήγηση αιτιολογείται και η αυξημένη ηλεκτρική αγωγιμότητα που παρατηρήθηκε στα υποστρώματα με την άρδευση των 30% σε σχέση με αυτή των 15% E_{pan} .

4.5 Βιομετρικές μετρήσεις και μετρήσεις ξηρού βάρους

Σύμφωνα με τις τιμές του δείκτη ανάπτυξης (GI) αποδεικνύεται ότι τα βαθύτερα υποστρώματα προωθούν την ανάπτυξη του φυτού *D. fruticosus sub. fruticosus*. Από τα πρώτα κιόλας στάδια της εγκατάστασης μέχρι το πέρας της μελέτης, φάνηκε τα φυτά που ήταν εγκατεστημένα στο βαθύ υπόστρωμα των 15cm είχαν υψηλότερο δείκτη ανάπτυξης (GI) από τα φυτά που ήταν εγκατεστημένα στο ρηχό υπόστρωμα των 7,5 cm (Σχ. 3.5). Οι διαφορές παρέμειναν αναλλοίωτες καθ' όλη τη διάρκεια της περιόδου της υδατικής καταπόνησης. Αντίθετα, ούτε ο τύπος του υποστρώματος ούτε η ποσότητα της άρδευσης δεν εμφάνισαν διαφορές στο δείκτη ανάπτυξης των φυτών (Σχ. 3.5). Η επιρροή του βάθους του υποστρώματος έχει καθιερωθεί και από άλλους ερευνητές όπως οι Durhman et al. (2007) όπου βρήκαν αυξημένα ποσοστά επιβίωσης των φυτών στα βάθη 5,0cm και 7,5cm σε σχέση με αυτά που ήταν εγκατεστημένα σε υπόστρωμα βάθους 2,5cm. Οι Getter and Rowe (2008) διερεύνησαν τα αποτελέσματα του βάθους των υποστρωμάτων στην εγκατάσταση φυτών του γένους *Sedum*, σε φυτεμένα δώματα και αξιολόγησαν την απόλυτη φυτοκάλυψη, καταλήγοντας στο συμπέρασμα ότι αν το βάθος του

υποστρώματος αυξάνεται από τα 4,0 cm στα 7,0 cm και τέλος στα 10,0 cm, η απόλυτη κάλυψη αυξάνεται αναλόγως για τα περισσότερα είδη. Οι ίδιοι το 2009 βρήκαν ότι πολλά είδη *Sedum* αναπτύχθηκαν εξίσου καλά στα 7,0 cm και 10,0 cm βάθους υποστρώματος ενώ η αύξηση του βάθους από τα 4,0 cm στα 7,0 cm ήταν ευεργετική για την απόλυτη κάλυψη. Οι Van Woert et al. (2005), συμπέραναν ότι το βάθος υποστρώματος των 6,0 cm παρέχει καλύτερη ανάπτυξη από αυτή του υποστρώματος των 2,0 cm, σαν αποτέλεσμα της καλύτερης διατήρησης της υγρασίας κατά τη διάρκεια της υδατικής καταπόνησης. Παρομοίως οι Thuring et al. (2010), ανακάλυψαν ότι η αύξηση του βάθους από τα 2,5 cm στα 6,0 cm και έπειτα στα 12 cm, ήταν ο πλέον ευεργετικός παράγοντας για τα φυτεμένα δώματα, μεταξύ του τύπου υποστρώματος, του βάθους και της προγραμματισμένης άρδευσης, για την εγκατάσταση των φυτών και την ανοχή τους στην ξηρασία, ενώ και οι Dunnett and Nolan (2004) διαπιστώνουν ότι υπάρχει θετική συσχέτιση του βάθους υποστρώματος και της ανάπτυξης των φυτών.

Στην παρούσα μελέτη οι διαφορές στο δείκτη ανάπτυξης (GI) που προκύπτουν από το βάθος του υποστρώματος, ανιχνεύθηκαν από τα πρώτα στάδια εγκατάστασης από τότε αυξάνονταν ενώ δεν βρίσκονταν υπό συνθήκες καταπόνησης (Σχ. 3.5). Οπότε οι παρατηρούμενες διαφορές πιθανώς να οφείλονται είτε εξαιτίας της υψηλότερης περιεκτικότητας σε υγρασία των βαθών υποστρωμάτων είτε από τη βελτίωση των ακραίων θερμοκρασιών (Boivin et al., 2001) γιατί η θρεπτική κατάσταση ήταν η ίδια όσον αφορά το άζωτο, το φώσφορο και το κάλιο και στα δύο υποστρώματα.

Σχετικά με τα νωπά και ξηρά βάρη, αυτά προσδιορίστηκαν στο τέλος της περιόδου της υδατικής καταπόνησης. Στη μέτρηση αυτή αποκαλύφθηκε ότι τα ξηρά βάρη τόσο των βλαστών όσο και των ριζών ήταν όμοια για όλες τις επεμβάσεις, αλλά τα νωπά και ξηρά βάρη των φύλλων των φυτών των βαθών υποστρωμάτων των 15cm, ήταν υψηλότερα σε σύγκριση με αυτά των φυτών των ρηκών υποστρωμάτων, των 7,5cm (Πίνακας 3.2). Τα συγκεκριμένα αποτελέσματα αποδίδονται ξανά στην αυξημένη υγρασία των βαθών υποστρωμάτων. Αντίθετα με τα αποτελέσματα της παρούσης μελέτης οι Van Woert et al. (2005) βρήκαν αυξημένο ξηρό βάρος ριζών των φυτών *Sedum* καθώς το βάθος αυξάνονταν από τα 2cm στα 6cm.

Το ότι το βάθος των υποστρωμάτων ήταν εκείνο που δημιουργούσε διαφορές μεταξύ των επεμβάσεων διαπιστώνεται και στις υπόλοιπες βιομετρικές μετρήσεις. Έτσι το ύψος των φυτών (Σχ. 3.6), η διάμετρος του κεντρικού βλαστού (Σχ. 3.7), το συνολικό μήκος των πλαγίων βλαστών (Σχ. 3.8) και ο αριθμός των

πλαγίων βλαστών (Σχ. 3.9), φάνηκε να επηρεάζονται θετικά από το βάθος των υποστρωμάτων. Μετά την καταπόνηση τα φυτά αυξήθηκαν, ενώ οι όποιες διαφορές υπήρχαν μεγάλωσαν, λόγω του ότι τα φυτά εφόσον επιβίωσαν από την καταπόνηση ευρισκόμενα σε ιδανικές περιβαλλοντικές συνθήκες προωθήθηκε περισσότερο η ανάπτυξή τους. Η έρευνα των Nagase and Dunnett (2008), ενισχύει την διαπίστωση αυτή γιατί σε πείραμα που διενέργησαν με ετήσια αυτοφυή φυτά διαπίστωσαν ότι σε περιπτώσεις ξηρασίας, μπορούν και παραμένουν σαν σπόροι ή σαν μικρά φυτά χωρίς να αναπτύσσονται έως ότου βρεθούν σε κατάλληλες συνθήκες υγρασίας, οπότε και αρχίζουν την ταχεία ανάπτυξή τους.

4.6 Μέτρησεις SPAD και χλωροφυλλών

Με τη μέτρηση SPAD και με τη μέτρηση της περιεκτικότητας των φύλλων των φυτών σε χλωροφύλλη, αξιολογήθηκε η μεταβολή της φυσιολογίας τους, ως αντίδραση στις επεμβάσεις. Οι μετρήσεις του SPAD φάνηκε να είχαν μεγαλύτερη ευαισθησία από τις μετρήσεις της ολικής χλωροφύλλης δείχνοντας σημαντικές διαφορές σε όλες τις επεμβάσεις.

Κατά τη διάρκεια των δειγματοληψιών το υπόστρωμα με το έδαφος αύξησε τις τιμές του SPAD, αμέσως πριν την έναρξη καθώς και στα πρώτα στάδια της περιόδου της υδατικής καταπόνησης και εν συνεχεία αυξημένες τιμές παρατηρήθηκαν μετά το πέρας της περιόδου, κατά την ανάκαμψη των φυτών κατά τους μήνες Οκτώβριο και Νοέμβριο (Σχ. 3.10). Ωστόσο εντός της περιόδου της υδατικής καταπόνησης οι τιμές του SPAD ήταν ίδιες και για τους δύο τύπους υποστρώματος. Τα αποτελέσματα αυτά υποδηλώνουν, ότι οι διαφορές που εντοπίστηκαν, όσον αφορά τη διατήρηση της υγρασίας, ανάμεσα στους δύο τύπους υποστρωμάτων, (Σχ. 3.2), δεν επηρέασαν σε καμία περίπτωση ούτε τη φυσιολογική κατάσταση των φυτών ούτε και την πρασινότητά τους. Σε αντίθεση τα βαθιά υποστρώματα, συνεχώς παρείχαν καλύτερες τιμές SPAD από αυτές των ρηχών (Σχ. 3.10). Οι διαφορές στις τιμές SPAD ανάμεσα στα δύο βάθη, διαπιστώθηκαν τόσο πριν την περίοδο της υδατικής καταπόνησης όσο και κατά τη διάρκεια, αλλά και μετά το πέρας αυτής.

Τα συγκεκριμένα αποτελέσματα υποστηρίζουν τη διαπίστωση, σχετικά με τη βελτιωμένη ανάπτυξη των φυτών στο βαθύ υπόστρωμα των 15cm, ενώ είναι μια επιπλέον τεκμηρίωση του συμπεράσματος που απορρέει από την εκπόνηση της

μελέτης, ότι το βάθος των υποστρωμάτων φαίνεται να είναι ο πλέον σημαντικός παράγοντας που πιθανόν λόγω της καλύτερης διατήρησης της υγρασίας, συμμετέχει στην διατήρηση της καλής φυσιολογικής κατάστασης του φυτού *D. fruticosus* sub. *fruticosus*, όταν αναπτύσσεται σε συνθήκες φυτεμένου δώματος.

Η αυξημένη ποσότητα άρδευσης ($30\%E_{pan}$), οδήγησε σε καλύτερες τιμές SPAD, σε σύγκριση με τη μειωμένη άρδευση των $15\%E_{pan}$ μετά το πέρας του πρώτου μήνα της υδατικής καταπόνησης, όμως οι επιπτώσεις της ήταν ακόμα ανιχνεύσιμες, και ένα μήνα μετά τη λήξη της (από 2 Αυγούστου μέχρι 7 Οκτωβρίου 2010) (Σχ. 3.10). Κατά τη διάρκεια της συγκεκριμένης περιόδου, οι διαπιστωμένες διαφορές ανάμεσα στις επεμβάσεις άρδευσης ήταν μεγαλύτερες από αυτές που παρατηρήθηκαν μεταξύ των άλλων παραγόντων (τύπος υποστρώματος και βάθος).

Οι διαφορές που εντοπίστηκαν μεταξύ των τριών παραγόντων (τύπος, βάθος υποστρώματος και ποσότητα άρδευσης), ποίκιλαν ανάλογα με τη σφοδρότητα της ξηρασίας. Πιο συγκεκριμένα στην αρχή της περιόδου καταπόνησης (29 Ιουνίου μέχρι 15 Ιουλίου του 2010), ο τύπος του υποστρώματος και το βάθος ήταν οι πιο σημαντικοί παράγοντες όσον αφορά την ανάπτυξη των φυτών, ενώ η άρδευση δεν επηρέασε επειδή τα φυτά προέρχονταν από μια περίοδο επάρκειας υγρασίας. Καθώς η περίοδος της υδατικής καταπόνησης προχωρούσε η επιρροή του τύπου υποστρώματος καθίσταται αμελητέα ενώ το βάθος άρχιζε να είναι ο πιο σημαντικός παράγοντας που είχε θετικό αντίκτυπο στη φυσιολογική κατάσταση των φυτών (22 Ιουλίου έως 27 Αυγούστου 2010). Τελικά από τα μέσα και μέχρι το τέλος της περιόδου υδατικής καταπόνησης, (2 Αυγούστου μέχρι 8 Σεπτεμβρίου 2010), η ποσότητα άρδευσης και σε ένα μικρότερο βαθμό το βάθος του υποστρώματος με την αυξημένη υγρασία που είχε, ήταν οι παράγοντες που έδειχναν να επιδρούν θετικά στη φυσιολογία των φυτών, ενώ ο τύπος του υποστρώματος δεν είχε επίδραση (Σχ. 3.10).

Η ανάλυση της χλωροφύλλης έδειξε μόνο μικρές διαφορές ανάμεσα στις επεμβάσεις, υποδεικνύοντας τελικώς ότι προτιμότερη σαν μέτρηση είναι το SPAD, εκεί όμως που το επιτρέπει και η μορφολογία των φύλλων του φυτού.

Η μέτρηση των χλωροφυλλών ήταν σε θέση να ανιχνεύσει τη γενική υποβάθμιση της φυσιολογικής κατάστασης των φυτών, εξαιτίας της περιόδου ξηρασίας, καθώς και την ανάπτυξη τους, μετά την περίοδο, αλλά αδυνατούσε να ανιχνεύσει τις διαφορές μεταξύ των επεμβάσεων (Σχ. 3.11).

Η μέτρηση της χλωροφύλλης ήταν σε θέση να ανιχνεύσει μόνο δύο διαφορές σε αντίθεση με τη μέτρηση του SPAD, με την οποία ανιχνεύθηκαν δεκαεννέα διαφορές ανάμεσα στις επεμβάσεις. Από τις δύο που εντοπίστηκαν με τη μέτρηση

της χλωροφύλλης, η πρώτη αφορούσε τον τύπο του υποστρώματος (22 Ιουλίου) και η δεύτερη έδειξε ότι τα φυτά στα βαθιά υποστρώματα είχαν περισσότερη ολική χλωροφύλλη (Chl_{a+b}) και διατήρησαν καλύτερα τη φυσιολογική τους κατάσταση σε σύγκριση με τα φυτά των ρηχών υποστρωμάτων, κατά το τέλος της περιόδου της υδατικής καταπόνησης (20 Αυγούστου 2010) (Σχ. 3.11).

Η ταχεία πτώση των επιπέδων χλωροφύλλης, σαν αποτέλεσμα της ξηρασίας είχε επίσης τεκμηριωθεί από τους Durhman et al. (2006) χρησιμοποιώντας τη μέθοδο του φθορισμού σε φυτεμένα δώματα σε φυτά του γένους *Sedum* και σε δύο non-CAM είδη. Βρήκαν ότι η χλωροφύλλη των non-CAM φυτών μειώθηκε στο μισό μέσα σε τέσσερις ημέρες από την επιβολή της υδατικής καταπόνησης.

Όσον αφορά τα αποτελέσματα που προέρχονται από τη μέτρηση των καροτενοειδών, (Σχ. 3.14), είναι παρόμοια με αυτά της μέτρησης της χλωροφύλλης. Πιο συγκεκριμένα τα επίπεδα των καροτενοειδών μειώθηκαν αμέσως μετά την έναρξη της περιόδου της υδατικής καταπόνησης και αυξήθηκαν μόνο μετά την πρώτη εφαρμογή της άρδευσης εντός της περιόδου, υποδεικνύοντας έτσι ότι τα φυτά προσπάθησαν να ανακάμψουν μετά την πρώτη άρδευση κατά την περίοδο της ξηρασίας (22 Ιουλίου 2010). Από εκεί και έπειτα οι συγκεντρώσεις των καροτενοειδών έβαιναν μειούμενες συνεχώς μέχρι το τέλος της δυσμενούς αυτής περιόδου. Η ανίχνευση των διαφορών είχαν ακριβώς το ίδιο πρότυπο με αυτό των χλωροφυλλών.

Τα καροτενοειδή είναι γνωστοί δείκτες, εξαιτίας των μειώσεων που υφίστανται οι συγκεντρώσεις τους αμέσως μόλις τα φυτά εισέλθουν σε περίοδο υδατικής καταπόνησης (Deo and Biswalb, 2001). Οι πτώσεις των συγκεντρώσεων τόσο των χλωροφυλλών όσο και των καροτενοειδών, συμβαίνει αμέσως μετά την έναρξη της περιόδου ξηρασίας. Κατά την εφαρμογή της πρώτης άρδευσης εντός της περιόδου καταπόνησης, τα φυτά διατήρησαν το επίπεδο των συγκεντρώσεων των χλωροφυλλών ενώ η συγκέντρωση των καροτενοειδών σημείωσε αύξηση. Από το σημείο αυτό και έπειτα οι συγκεντρώσεις και των δύο μειώθηκαν μέχρι το πέρας της περιόδου της υδατικής καταπόνησης.

Εν κατακλείδι, σύμφωνα με την παρούσα έρευνα το φυτό *D. fruticosus* sub. *fruticosus*, είναι ένα πολλά υποσχόμενο ενδημικό είδος με πολλή καλή δυνατότητα για εγκατάσταση σε ημιάγονα, φυτεμένα δώματα της περιοχής της μεσογείου.

Το βάθος του υποστρώματος βρέθηκε να είναι ο πλέον κρίσιμος παράγοντας για τη βελτίωση της εγκατάστασης, της ανάπτυξης και της ανοχής στην ξηρασία. Ωστόσο τα φυτά είναι σε θέση να αναπτυχθούν επιτυχώς σε ρηχό υπόστρωμα (7,5cm) ακόμα και με μειωμένη άρδευση (15% E_{pan}).

Με βάση τα αποτελέσματα των μετρήσεων του SPAD, η ενσωμάτωση του εδάφους στο υπόστρωμα ανάπτυξης, παρέχει καλύτερη φυσιολογική κατάσταση πριν την περίοδο της ξηρασίας αλλά δεν επηρεάζει την ανάπτυξη των φυτών, κατά το πρώτο έτος ανάπτυξης.

Βιβλιογραφία

- Aggelides, S.M. and P.A. Londra. 2000. Effects of compost produced from town wastes and sewage sludge on the physical properties of a loamy and a clay soil. *Bioresour. Technol.* 71:253-259.
- Alexandri, E. and Jones, P. 2008. Temperature decreases in an urban canyon due to green walls and green roofs in diverse climates. *Building and Environment*, 43,480-493.
- ASTM E 2400. 2006. Standard guide for selection, installation and maintenance of plants for green roof systems. ASTM International, West Conshohoken, Pa.
- Bartfelder, F., and Köhler, M., 1986. Stadt-klima tische und lufthygienische Entlastungseffekte durch Kletterpflanzen in hochbelasteten Innenstadtbezirken. *Verth. d. Gasselschaft f. Ökologie, Gießen, Band XVI*
- Bastug, R., O. Karaguzel, K. Aydinsakir, and D. Buyuktas. 2006. The effects of drip irrigation on flowering and flower quality of glasshouse gladiolus plant. *Agr. Water Mgt.* 81:132-144.
- Beattie, D.J. and R.D. Berghage. 2004. Green roof media characteristics: The basic, p. 411-416. In: *Proc. of 2nd North American Green Roof Conference: Greening Rooftops for Sustainable Communities Conference*, Portland, OR, 2-4 June 2004. The Cardinal Group, Toronto, Canada.
- Berghage, R.D., Beattie D., Jarrett A.R., Thuring C., Razaei F. and O' Connor T., 2009. *Green Roofs for Stormwater Runoff Control*. EPA/600/R-09/026. February 2009
- Blackhurst M. , Hendrickson C. and Matthews H.S. 2010. Cost-effectiveness of green roofs. *Journal of Architectural Engineering* 16(4):136-143.
- Boivin, M., Lamy M., Gosselin A., and Dansereau, B. 2001. Effect of artificial substrate depth on freezing injury of six herbaceous perennials grown in a green roof system. *HortTechnology* 11:409-412.
- Bousselot, J.M., Klett, J.E., and R.D. Koski. 2011. Moisture content of extensive green roof substrate and growth response of 15 temperate plant species during dry down. *HortScience* 46:518-522.
- Brenneisen, S., 2006. Space for urban wildlife: designing green roofs as habitats in Switzerland. *Urban Habitats* 4, 27-36.
- Carrow, R.N. 1995. Drought resistance aspects of turfgrasses in the southeast: ET and crop coefficients. *Crop Sci.* 35:1685-1690.

- Coffman, R. and G. Davis 2005. Insect and Avian Fauna Presence on the Ford River Rouge Green Roof. In the conference proceedings of Greening Rooftops for Sustainable Communities, Washington DC, Greenroofs for Healthy Cities.
- Colla, S.R., E. Willis, and L. Packer. 2009. Can Green Roofs Provide Habitat for Urban Bees (Hymenoptera:Apidae). *Cities and the Environment*. 2(1):article 4, 12 pp.
- Compton J.S. and Whitlow T.H. 2006. A zero discharge green roof system and species selection to optimize evapotranspiration and water retention, *In Proc. of 4th North American Green Roof Conference: Greening Rooftops for Sustainable Communities*, The Cardinal Group, 241 Toronto, Boston, MA. 10-12 May, 2006
- Connelly M. and Hodgson M. 2008. Sound transmission loss of green roofs. Sixth Annual Greening Rooftops for Sustainable Communities Conference, Awards and Trade Show.
- Correia, P.J. and M.A. Martins-Loução. 1995. Seasonal variations of leaf water potential and growth in fertigated carob-trees (*Ceratonia siliqua* L.). *Plant Soil* 172:199-206.
- Currie, B. A. and Bass B. 2008. Estimates of air pollution mitigation with green plants and green roofs using the UFORE model. *Urban Ecosyst*. 11:409-422
- DeNardo, J.C., A.R. Jarrett, H.B. Manbeck, D.J. Beattie, and R.D. Berghage. 2005. Stormwater mitigation and surface temperature reduction by green roofs. *Trans. ASAE* 48:1491-1496.
- Deo, P.M. and B. Biswalb. 2001. Response of senescing cotyledons of clusterbean to water stress in moderate and low light: Possible photoprotective role of b-carotene. *Physiol. Plant*. 112:47-54.
- Dimoudi A. and Nikolopoulou M., 2003. Vegetation in the urban environment: microclimatic analysis and benefits. *Energy and Buildings* 35: 69-76pp.
- Dunnett N. and Kingsbury N. 2004. Planting options for extensive and semi-extensive green roofs, *In Proc. of 2nd North American Green Roof Conference: Greening Rooftops for Sustainable Communities*, The Cardinal Group, Toronto., Portland,OR. 2-4 June 2004. pp. 221-236.
- Dunnett, N. and Kingsbury N. 2010. *Planting green roofs and living walls*. 2nd Ed. Timber Press, Cambridge, UK.
- Dunnett N. and Nagase A., 2007. The dynamics and visual impact of planted and colonizing species on a green roof over 6 growing seasons 2001 - 2006: Influence of substrate depth. *Fifth Annual Greening Rooftops for Sustainable*

- Communities Conference, Awards and Trade Show Minneapolis, April 29 - May 1.
- Dunnett NP. and Nolan A. (2004) The effect of substrate depth and supplementary watering on the growth of nine herbaceous perennials in a semi-extensive green roof. Proceedings of the International Conference on Urban Horticulture, *Acta Horticulturae* 643:305-310
- Durhman, A.K., D.B. Rowe, and C.L. Rugh. 2006. Effect of water regimen on chlorophyll fluorescence and growth of selected green roof plant taxa. *HortScience* 41:1623-1628.
- Durhman, A.K., Rowe, D.B., and C.L. Rugh. 2007. Effect of Substrate Depth on Initial Growth, Coverage, and Survival of 25 Succulent Green Roof Plant Taxa. *HortScience* 42,(3),588-595.
- Eumorfopoulou, A. and Aravantinos, D. 1998. The contribution of a planted roof to the thermal protection of buildings in Greece. *Energy and Buildings*, 27, 29-36.
- Feng C., Meng Q. and Zhang Y., 2010. Theoretical and experimental analysis of the energy balance of extensive green roofs. *Energy and Buildings* 42 (2010) 959-965.
- FLL. 2002. Guideline for the planning, execution and upkeep of green-roof sites (English ed.). Forschungsgesellschaft Landschaftsentwicklung Landschaftsbau.
- Getter, K.L. and D.B. Rowe. 2006. The role of extensive green roofs in sustainable development. *HortScience* 41:1276-1285.
- Getter, K.L. and D.B. Rowe. 2008. Media depth influences *Sedum* green roof establishment. *Urban Ecosyst.* 11:361-372.
- Getter, K.L. and D.B. Rowe. 2009. Substrate depth influences *Sedum* plant community on a green roof. *HortScience* 44:401-407.
- Getter, K.L. and Rowe, D.B., 2007. Effect of substrate depth and planting season on *Sedum* plug survival on green roofs. *Journal of Environmental Horticulture* 25, 95-99.
- Getter, K.L., Rowe, D.B. and Andresen, J.A., 2007. Quantifying the effect of slope on extensive green roof stormwater retention. *Ecological Engineering* 31, 225-231.
- Getter, K.L., Rowe, D.B., Robertson, G.P., Cregg, B.M. and Andresen, J.A., 2009. Carbon sequestration potential of extensive green roofs. *Environmental Science and Technology* 43, 7564-7570.

- Handreck, K. and Black, N., 2002. *Growing Media for Ornamental Plants and Turf*, 3rd edition. University of New South Wales Press, Sydney.
- Hoffman, L. (2006) *The Earth Pledge green roof storm water modelling system, Greening Rooftops for Sustainable Communities*, Proceeding of Fourth North American Green Roofs Conference, Boston, May 2006. Toronto: The Cardinal Group.
- Huang, Z.T. and A.M. Petrovic. 1994. Clinoptilolite zeolite influence on nitrate leaching and nitrogen use efficiency in simulated sand based golf greens. *J. Environ. Qual.* 23:1190-1194.
- Johnston, J. and Newton, J. 1996. *Building Green, A Guide for Using Plants on Roofs, Walls and Pavements*. The London Ecology Unit, London.
- Köhler, M. 2004. *Energic effects of green roofs on the urban climate near to the ground and to the building surfaces*. Proceeding of International Green Roof Congress, Nürtingen, September 2004.
- Köhler, M. , M. Schmidt, and M. Laar. 2003. *Green roofs as a contribution to reduce the urban heat islands*. *In: Rio3.com: Proc. Krauter (ed.): World Climate & Energy Event*. 1. 5. Dez. 2003 in Rio de Janeiro: 493-498.
- Köhler, M. 2006: *Long time Research on Green roofs infrastructures*. Urban habitat, Brooklyn Bot. Garden; USA; http://www.urbanhabitats.org/v04n01/berlin_full.html
- Kumar, R. and S.C. Kaushik. 2005. *Performance evaluation of green roof and shading for thermal protection of buildings*. *Building and Environment*. 40(11):1505-1511.
- Latocha, P. and A. Batorska. 2007. *The influence of irrigation system on growth rate and frost resistance of chosen ground cover plants on extensive green roofs*. *Ann. Warsaw Univ. of Life Sc.-SGGW. Horticult. And Landsc. Architect.* 28:131-137.
- Li, J.F., Wai, O,W,H., Li, Y.S., Zhan, J.M., Ho, Y.A., Li, J., Lam, E. 2010. *Effect of green roof on ambient CO₂ concentration*. *Building and Environment* Vol. 45, Issue 12, pp. 2644-2651.
- Liu, K. 2004. *Engineering performance on rooftop gardens through field evaluation*. *Journal of Roof Consultants Institute*. 22(2):4-12.
- Liu, K. and B. Baskaran. 2003. *Thermal performance of green roofs through field evaluation*, p. 273-282. In conference proceedings of *Greening Rooftops for Sustainable Communities* Chicago. 29-30 May. The Cardinal Group, Toronto

- Liu, K. and Minor, J. 2005. Performance evaluation of an extensive green roof
Greening Rooftops for Sustainable Communities pp. 1-11.
- Lundholm, J.T., MacIvor, S.J. and Ranalli, M.A., 2009. Benefits of green roofs on
Canada's East Coast. In: Paper presented at the Seventh Annual Greening
Rooftops for Sustainable Communities Conference, Awards and Trade Show.
- Mentens, J., Raes, D., and Hermy, M., 2006. Green roofs as a tool for solving the
rainwater runoff problem in the urbanized 21st century. *Landscape Urban
Plan.* 77, 217-226.
- Meyer, J.L. and V.A. Gibeault. 1986. Turfgrass performance under reduced
irrigation. *Calif. Agr.* 40:19-20.
- Minke G. 2009. Φύτευση στεγών απλά και αποτελεσματικά (Σχεδιασμός, οδηγίες
εφαρμογής πρακτικές επισημάνσεις). Παρατηρητής της Θράκης ΑΕ.
Θεσσαλονίκη- Ξάνθη 2009.
- Monterusso, M.A., D.B. Rowe, and C.L. Rugh. 2005. Establishment and persistence
of *Sedum* spp. and native taxa for green roof applications. *HortScience*
40:391-396.
- Moran, A., B. Hunt, and J. Smith. 2005. Hydrologic and water quality performance
from green roofs in Goldsboro and Raleigh, North Carolina, p. 512-525. In
*Proc. of 3rd North American Green Roof Conference: Greening rooftops for
sustainable communities*, Washington, DC. 4-6 May 2005. The Cardinal
Group, Toronto.
- Nagase, A. and N. Dunnett. 2010. Drought tolerance in different vegetation types
for extensive green roofs: Effects of watering and diversity. *Landsc. Urban
Plan.* 97 (4):318-327.
- Nagase, A. and N. Dunnett. 2008. Experiments in plant selection for extensive
green roofs performance of annual plant species and the amount of water
runoff from different vegetation types. In conference proceedings of
Greening Rooftops for Sustainable Communities. Baltimore April 30 to May 2,
2008.
- Nektarios, P.A., P. Tsiotsiopolou, and I. Chronopoulos. 2003. Soil amendments
reduce roof garden weight and influence the growth rate of *Lantana*.
HortScience 38:618-622.
- Nektarios, P.A., S. Kastritsis, N. Ntoulas, and P. Tsiotsiopolou. 2011. Substrate
amendment effects on potted plant production and dry weight partition of
Lantana camara. *Hort- Science* 46:864-869.

- Oberndorfer E., Lundholm J., Bass B., Coffman R.R., Doshi H., Dunnett N., Gaffin S., Köhler, M., Liu K.K.Y., Rowe B. 2007. Green roofs as urban ecosystems: ecological structures, functions, and services, *BioScience*, American Institute of Biological Sciences, Washington; USA. pp. 823-833.
- Oke T.R. 1973. City size and the urban heat island. *Atmospheric Environment* Volume 7, Issue 8, August 1973, Pages 769-779
- Oke TR, Johnson GT, Steyn DG. and Watson ID. 1991. Simulation of surface urban heat islands under ‘ideal’ conditions at night—part 2: diagnosis and causation. *Boundary-Layer Meteorology* 1991; 56:339-358.
- Oke TR. 1987. *Boundary Layer Climates*. 2nd ed. New York: Methuen. OR. 2-4 June 2004. pp. 221-236.
- Osmundson, T. (1999). *Roof gardens : history, design, and construction*. New York, W.W. Norton.
- Peck, S. and M. Kuhn. 2001. *Design Guidelines for Green Roofs*. Canada Mortgage and Housing Corporation, Ottawa, Ontario. 16 Nov. 2005 Retrieved 9-24-02, 2002, from <http://peck.ca/grhcc/>.
- Peck, S., C. Callaghan, B. Bass and M. Kuhn (1999). *Greenbacks from Green Roofs: Forging a New Industry in Canada*. Ottawa, Canada Mortgage and Housing Corporation: 54.
- Qian, Y.L. and M.C. Engelke. 1999. Performance of five turfgrasses under linear gradient irrigation. *HortScience* 35:893-896.
- Robinette, G.O. 1972. *Plants, People and Environmental Quality*. US Department of Interior. Washington.
- Rowe, D.B., C.L. Rugh, N. VanWoert, M.A. Monterusso, and D.K. Russell. 2003. Green roof slope, substrate depth, and vegetation influence runoff. p. 354-362. *In Proc. of 1st North American Green Roof Conference: Greening Rooftops for Sustainable Communities*, Chicago. 29-30 May 2003. The Cardinal Group, Toronto.
- Rowe, D.B., M.A. Monterusso, and C.L. Rugh. 2006. Assessment of heat-expanded slate and fertility requirements in green roof substrates. *HortTechnology* 16:471-477.
- Ruter, J.M. 1996. Paclobutrazol application method influences growth and flowering of ‘new gold’ lantana. *HortTechnology* 6:19-20.
- Sailor, D.J., 2008. A green roof model for building energy simulation programs. *Energy and Buildings* 40, 1466-1478.

- Santamouris, M., Pavlou, C., Doukas, P., Mihalakakou, G., Synnefa, A., Hatzibiros and A., Patargias, P., 2007. Investigating and analysing the energy and environmental performance of an experimental green roof system installed in a nursery school building in Athens, Greece. *Energy* 32, 1781-1788.
- Scrivens, S. 1990. Urban landscape and roof gardens, p. 131-151. In: Clouston, B. (ed.). *Landscape design with plants*. 2nd Ed. Butterworth-Heinemann Ltd., Oxford, U.K.
- Sfakianaki A., Pagalou E., Pavlou K., Santamouris M. and Assimakopoulos M.N., 2009. Theoretical and experimental analysis of the thermal behavior of a green roof system installed in two residential buildings in Athens, Greece. *Int. J. Energy Res.* 2009; 33:1059-1069.
- Simmons, M.T., Gardiner, B., Windhager, S. and Tinsley, J., 2008. Green roofs are not created equal: the hydrologic and thermal performance of six different extensive green roofs and reflective and non-reflective roofs in a subtropical climate. *Urban Ecosystems*, (2008) 11:339-348.
- Snodgrass E.C. and Snodgrass L.L. 2006. *Green roof plants: a resource and planting guide*. Timber, Press, Portland, Oregon.
- Snodgrass, E. 2005. 100 Extensive green roofs: Lessons learned, p. 209-214. In: *Proc. of 3rd North American Green Roof Conference: Greening rooftops for sustainable communities* Washington, DC, 4-6 May 2005. The Cardinal Group, Toronto, Canada.
- Spronken-Smith, R.A. and Oke, T.R. 1998. The thermal regime of urban parks in two cities with different summer climates. *Intl. J. Remote Sens.* 19:2085-2104.
- Takakura, T., S. Kitade, and E. Goto. 2000. Cooling effect of greenery cover over a building. *Energy and Buildings* 31:1-6.
- Τσίρος Ι. 2010. Πρόχειρες Σημειώσεις στο μεταπτυχιακό μάθημα «Βιοκλιματικό περιβάλλον και Πολεοδομικός Σχεδιασμός»
- Thuring, C.E., Berghage, R.D., and Bettie, D.J. 2010. Green roof plant responses to different substrate types and depths under various drought conditions. *HortTechnology* 20:395-401.
- Van Renterghem, T. and Botteldooren, D. 2011. In-situ measurements of sound propagation over extensive green roofs. *Building and Environment* 46,(3),729-738.

- VanWoert, N.D., D.B. Rowe, J.A. Andresen, C.L. Rugh, and L. Xiao. 2005. Watering regime and green roof substrate design affect Sedum plant growth. *HortScience* 40:659-664.
- Wark C.G. and Wark W.W., 2003. Green Roof Specification and Standards, Establishing an Emerging Technology. *The Construction Specifier*, August, Vol. 56, No 8.
- Williams, N.S.G., J.P. Rayner, and K.J. Raynor. 2010. Green roofs for a wide brown land: Opportunities and barriers for rooftop greening in Australia. *Urban For. Urban Green.* 9:245-251.
- Wolf, D. and J.T. Lundholm. 2008. Water uptake in green roof microcosms: Effects of plant species and water availability. *Ecol. Eng.* 3:179-186.
- Worden, E., Guidry, D., Alonso Ng, A., Schore, A., 2004. Green Roofs in Urban landscapes. ENH 984, one of a series of the Environmental Horticulture Department, Florida Cooperative Extension Service, Institute of Food and Agricultural Sciences, University of Florida. Web Site at <http://edis.ifas.ufl.edu>.
- Yajun Zhang, Ping Xu, Wang Huizhen, Feng Cuimin and Yang Haiyan, 2010. Application of Green Roof Techniques in Beijing, China. Technical Standards of Integrated Urban water-conservation system (2006BAB17B01-3) and Research and Demonstration of Pivotal Technology for Water-Conservation and Minimum Discharge (2009ZX07317-005)