



ΓΕΩΠΟΝΙΚΟ ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΑΘΗΝΩΝ
ΤΜΗΜΑ ΕΠΙΣΤΗΜΗΣ ΦΥΤΙΚΗΣ ΠΑΡΑΓΩΓΗΣ
ΕΡΓΑΣΤΗΡΙΟ ΓΕΩΡΓΙΑΣ



ΠΡΟΓΡΑΜΜΑ ΜΕΤΑΠΤΥΧΙΑΚΩΝ ΣΠΟΥΔΩΝ

“Καινοτόμες εφαρμογές στην αειφορική γεωργία, στη βελτίωση φυτών και στην αγρομετεωρολογία”

ΜΕΤΑΠΤΥΧΙΑΚΗ ΔΙΑΤΡΙΒΗ

«Επίδραση του πλαστικού κάλυψης θερμοκηπίου στην ανάπτυξη και στις αποδόσεις φυτών κάνναβης (*Cannabis Sativa*) (var USO)»

ΧΑΡΙΚΛΕΙΑ Δ. ΧΑΤΖΗΓΙΑΝΝΗ

Επιβλέπων καθηγητής: Μπιλάλης Δημήτριος

**Αθήνα
2020**

ΓΕΩΠΟΝΙΚΟ ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΑΘΗΝΩΝ

ΜΕΤΑΠΤΥΧΙΑΚΗ ΔΙΑΤΡΙΒΗ

«Επίδραση του πλαστικού κάλυψης θερμοκηπίου στην ανάπτυξη και στις αποδόσεις φυτών κάνναβης (*Cannabis Sativa*) (var USO)»

«The effect of the greenhouse plastic cover on the growth and yield of industrial cannabis (*Cannabis Sativa*) (var USO)»

ΧΑΡΙΚΛΕΙΑ Δ. ΧΑΤΖΗΓΙΑΝΝΗ

Επιβλέπων καθηγητής:

Μπιλάλης Δημήτριος, Καθηγητής Γεωπονικού Πανεπιστημίου Αθηνών

Τριμελής επιτροπή:

Μπιλάλης Δημήτριος, Καθηγητής Γεωπονικού Πανεπιστημίου Αθηνών

Παπαστυλιανού Παναγιώτα, Αναπληρώτρια Καθηγήτρια, Γεωπονικού Πανεπιστημίου Αθηνών

Τραυλός Ηλίας, Επίκουρος Καθηγητής, Γεωπονικού Πανεπιστημίου Αθηνών

«Επίδραση του πλαστικού κάλυψης θερμοκηπίου στην ανάπτυξη και στις αποδόσεις φυτών κάνναβης (Cannabis Sativa) (var USO)»

Τμήμα Επιστήμης Φυτικής Παραγωγής

Εργαστήριο Γεωργίας

ΠΕΡΙΛΗΨΗ

Το πείραμα έλαβε χώρα στον βιολογικό αγρό του Εργαστηρίου Γεωργίας του Γεωπονικού Πανεπιστημίου Αθηνών, στην περιοχή του Βοτανικού. Η σπορά πραγματοποιήθηκε στις 01/04/2020 και η συγκομιδή 25/06/2020.

Μελετήθηκε η επίδραση τριών διαφορετικών πλαστικών κάλυψης θερμοκηπίου στην ανάπτυξη και στην απόδοση της καλλιέργειας βιομηχανικής κάνναβης (Cannabis Sativa) (var.USO). Τα χαρακτηριστικά που μελετήθηκαν ήταν η φωτοσυνθετικά ενεργή ακτινοβολία, το ποσοστό φωτισμού εντός θερμοκηπίου, η περιεκτικότητα σε χλωροφύλλη των φύλλων του φυτού, η θερμοκρασία των φυλλωμάτων, το ύψος, τα πραγματικά φύλλα, η θερμοκρασία του εδάφους, το μήκος της ταξιανθίας, το βάρος της ταξιανθίας, η περιεκτικότητα σε CBD, η απόδοση σε CBD ανά φυτό και το δείκτη συμπάγιας.

Από την στατιστική ανάλυση των δεδομένων φαίνεται ότι τα διαφορετικά είδη πλαστικού κάλυψης θερμοκηπίου είχαν σημαντικά στατιστικές διαφορές στα παραπάνω χαρακτηριστικά.

Επιστημονική περιοχή: Cannabis Sativa

Λέξεις κλειδιά: βιομηχανική κάνναβη, πλαστικό κάλυψης, θερμοκήπιο, αγρονομικά χαρακτηριστικά

«The effect of the greenhouse plastic cover on the growth and yield of industrial cannabis (*Cannabis Sativa*) (var USO)»

Faculty of Crop Science

Agriculture Laboratory

ABSTRACT

The experiment took place in the biological field of the Agriculture Laboratory of the Agricultural University of Athens near the region of Votanikos. The sowing took place on 01/04/2020 and the harvest on 25/06/2020.

The effect of three different greenhouse plastic covers on the growth and yield of industrial cannabis (*Cannabis Sativa*) (var.USO) was studied. The characteristics that were studied were the photosynthetic active radiation, the percentage of lighting in the greenhouse, the chlorophyll content of the plant leaves, the temperature leaf, the height of the plants, the real leaves, the soil temperature, the length and the weight of the inflorescence, the CBD content, the CBD yield per plant and the compact index.

From the statistical analysis of the data it appears that the different types of plastic greenhouse's covers had statistically significant differences in the above characteristics.

Scientific area: Cannabis Sativa

Keywords: industrial cannabis, Cannabis Sativa, greenhouse, plastic cover, agronomic characteristics

ΕΥΧΑΡΙΣΤΙΕΣ

Η παρούσα μελέτη εκπονήθηκε την περίοδο Απριλίου-Ιουνίου 2020 στα πλαίσια του Μεταπτυχιακού Προγράμματος Σπουδών ‘‘Καινοτόμες εφαρμογές στην αειφορική γεωργία, βελτίωση φυτών και στην αγρομετεωρολογία του τμήματος Επιστήμης Φυτικής Παραγωγής του Γεωπονικού Πανεπιστημίου Αθηνών. Πριν όμως από την ανάλυση της παρούσας μελέτης, οφείλω να ευχαριστήσω όλους όσους με βοήθησαν για να την εκπληρώσω.

Θα ήθελα να ευχαριστήσω τον εισηγητή αυτής της μελέτης Καθηγητή Κον Δημήτριο Μπιλάλη, για την άριστη συνεργασία και καθοδήγησή του κατά τη διάρκεια του μεταπτυχιακού προγράμματος και του πειράματος, καθώς και για τις πολύτιμες γνώσεις που αποκόμισα μέσα από τον ίδιο.

Επίσης, θα ήθελα να ευχαριστήσω τα μέλη του εργαστηρίου Γεωργίας και υποψήφιος Διδάκτορες του Γεωπονικού Πανεπιστημίου Αθηνών Καρυδόγιαννη Στέλλα και Φωλίνα Αντιγολένα για την πολύτιμη βοήθειά τους από την αρχή έως το τέλος του πειράματος.

Τέλος, θα ήταν παράλειψή μου εάν δεν ευχαριστούσα την οικογένειά μου και τους φίλους μου για την συνεχή στήριξη τους σε όλη τη διάρκεια της ζωής μου μέχρι σήμερα.

Πίνακας Περιεχομένων

Κεφάλαιο 1: ΕΙΣΑΓΩΓΗ	1
1.1 Το φυτό της βιομηχανικής κάνναβης	1
1.2 Μορφολογικά Χαρακτηριστικά	2
1.3 Καλλιέργεια κάνναβης σε ελεγχόμενο περιβάλλον	4
1.4 Θερμοκηπιακές εγκαταστάσεις	8
1.4.1 Θερμοκηπιακές εγκαταστάσεις στην Ελλάδα	8
1.4.2 Ποιότητα κατασκευών	9
1.4.3 Υλικά κατασκευής θερμοκηπίου	11
1.4.4 Υλικά κάλυψης	13
1.4.5 Παράγοντες του θερμοκηπίου που καθορίζουν την ανάπτυξη των φυτών	19
1.5 Ακτινοβολία, κάλυψη θερμοκηπίου και θερμοκρασία	25
1.5.1 Ηλιακή ακτινοβολία	25
1.5.2 Δείκτες ανάπτυξης φυτών (LAI, PAR)	27
1.5.3 Ανάκλαση, απορρόφηση και μετάδοση της ηλιακής ακτινοβολίας	27
1.5.4 Φωτοσύνθεση σε επίπεδο θερμοκηπιακής καλλιέργειας	28
1.5.5 Επίδραση του φάσματος φωτός στα φυτά	28
1.6 Θερμοκηπιακή καλλιέργεια βιομηχανικής κάνναβης και φωτισμός	29
1.6.1 Φωτοπερίοδος βιομηχανικής κάνναβης	29
1.6.2 Φωτοσύνθεση κάνναβης	30
1.6.3 Ανακλαστικά υλικά για διασπορά φωτός	30
1.6.4 Φύλλωμα κάνναβης	30
1.6.5 Όρια φωτοσύνθεσης της κάνναβης	31
Κεφάλαιο 2: ΣΚΟΠΟΣ ΜΕΛΕΤΗΣ	32
Κεφάλαιο 3: ΥΛΙΚΑ ΚΑΙ ΜΕΘΟΔΟΙ	33
3.1 Γενικά	33
3.2 Φυτικό υλικό	34
3.3 Πειραματική διαδικασία	35
3.4 Διάταξη των πλαστικών κάλυψης στα θερμοκήπια και τεχνικές προδιαγραφές	37
3.5 Προσδιορισμοί – μετρήσεις	38
3.5.1 Μετεωρολογικά δεδομένα	39

3.5.2	Μηχανήματα μετρήσεων.....	40
Κεφάλαιο 4: Αποτελέσματα.....		42
4.1	Στατιστική επεξεργασία αποτελεσμάτων.....	42
4.2	Μέτρηση LIGHT.....	43
4.3	Μέτρηση PAR.....	49
4.4	Μέτρηση SPAD.....	54
4.5	Μέτρηση θερμοκρασίας εδάφους (Tsoil).....	57
4.6	Μέτρηση ταξιανθίας (μήκος, βάρος, δείκτη συμπάγιας, περιεκτικότητα σε CBD, απόδοση CBD ανά φυτό)	59
4.7	Μέτρηση θερμοκρασίας φυλλώματος	61
4.8	Μέτρηση ύψους φυτών κάνναβης	65
4.9	Μέτρηση πραγματικών φύλλων των φυτών κάνναβης	66
Κεφάλαιο 5: ΣΥΖΗΤΗΣΗ – ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ		68
Βιβλιογραφία		84

Πίνακας πινάκων

Πίνακας 1: Γεωγραφική κατανομή των εγκατεστημένων θερμοκηπίων στην Ελλάδα το 1992	8
Πίνακας 2: Ποσοστό διέλευσης ακτινοβολίας σε διαφορετικά υλικά κάλυψης θερμοκηπίου	15
Πίνακας 3: Στοιχεία φυτικού υλικού	34
Πίνακας 4: Διάταξη πλαστικών κάλυψης	37
Πίνακας 5: Τεχνικές προδιαγραφές πλαστικών	37
Πίνακας 6: Μετεωρολογικά δεδομένα.....	39
Πίνακας 7: Μέτρηση Light σε τρία διαφορετικά ύψη εντός θερμοκηπίου με ανεβασμένες τις κουρτίνες	43
Πίνακας 8: Μέτρηση Light στο εξωτερικό του θερμοκηπίου	45
Πίνακας 9: Μέτρηση Light στο εσωτερικό του θερμοκηπίου με κατεβασμένες τις κουρτίνες συσκότισης	46
Πίνακας 10: Μέτρηση Light στο εξωτερικό του θερμοκηπίου	48
Πίνακας 11: Μέτρηση PAR στο εσωτερικό του θερμοκηπίου με ανεβασμένες τις κουρτίνες συσκότισης	49
Πίνακας 12: Μέτρηση PAR στο εξωτερικό του θερμοκηπίου	51
Πίνακας 13: Μέτρηση PAR στο εσωτερικό του θερμοκηπίου με κατεβασμένες τις κουρτίνες συσκότισης	52
Πίνακας 14: Μέτρηση PAR στο εξωτερικό του θερμοκηπίου	53
Πίνακας 15: Μέτρηση SPAD με ανεβασμένες τις κουρτίνες	54
Πίνακας 16: Μέτρηση SPAD με κατεβασμένες τις κουρτίνες	55
Πίνακας 17: Θερμοκρασία εδάφους με ανεβασμένες τις κουρτίνες.....	57
Πίνακας 18: Θερμοκρασία εδάφους με κατεβασμένες τις κουρτίνες	58
Πίνακας 19: Επίδραση των πλαστικών των τριών θερμοκηπίων στις ταξιανθίες των φυτών κάνναβης ..	60
Πίνακας 20: Δεδομένα θερμοκηπίων για θερμοκρασία φυλλώματος (πάνω-κάτω) κάνναβης με ανεβασμένες κουρτίνες	62
Πίνακας 21: Δεδομένα θερμοκηπίων για θερμοκρασία φυλλώματος (πάνω-κάτω) κάνναβης με κατεβασμένες κουρτίνες	63
Πίνακας 22: Ύψος φυτών κάνναβης στα τρία θερμοκήπια με διαφορετικό πλαστικό κάλυψης	65
Πίνακας 23: Μετρήσεις πραγματικών φύλλων κάνναβης στα θερμοκήπια.....	66
Πίνακας 24: Αποτελέσματα συσχέτισης.....	69

Πίνακας εικόνων

Εικόνα 1: Διαχωρισμός θηλυκού και αρσενικού φυτού κάνναβης (πηγή: MSNL Blog).....	3
Εικόνα 2: Ρητίνη στα αδενικά τριχοειδή της βιομηχανικής κάνναβης (πηγή: tovonani.gr)	3
Εικόνα 3: Θάλαμοι σταθερών συνθηκών (πηγή: cannabisculture.com).....	4
Εικόνα 4: Πολλαπλασιαστικό υλικό (πηγή: zambeza seeds).....	5
Εικόνα 5: Καλλιέργεια ιστών (πηγή: Hemp Industry Daily)	5
Εικόνα 6: Βλαστικό στάδιο ανάπτυξης (πηγή: ginegar plastics).....	6
Εικόνα 7: Στάδιο ανθοφορίας (πηγή: sensi seeds)	7
Εικόνα 8: Δωμάτιο αποξήρανσης ταξιανθιών (πηγή: Cannabis Business Times).....	7
Εικόνα 9: Χάλυβας σε μορφή σωλήνα (σκελετός θερμοκηπίου) (πηγή: agrotikes eykairies)	11
Εικόνα 10: Χάλυβας σε γυάλινο θερμοκήπιο (πηγή: moa.gov.sy)	12
Εικόνα 11: Γαλβάνισμα (πηγή: galvanistirio.gr)	12
Εικόνα 12: Αλουμίνιο (σκελετός θερμοκηπίου) (πηγή: simpas.gr)	13
Εικόνα 13: Περατότητα του διαφανούς υλικού στο φως.....	14
Εικόνα 14: Αξονικά αερόθερμα (πηγή: plant protection)	20
Εικόνα 15: Λέβητας θέρμανσης νερού (πηγή: μηχαν/γεωπ-blogger).....	21
Εικόνα 16: Γεωθερμική ενέργεια (πηγή: energia.gr).....	21
Εικόνα 17: Δροσισμός θερμοκηπίου με συστήματα ανεμιστήρων εξαγωγής αέρα (πηγή: mo.gov.sy) ...	22
Εικόνα 18: Δροσισμός θερμοκηπίου με υδρονέφωση (πηγή: hortitech)	22
Εικόνα 19: Δεξαμενή για εμπλουτισμό διοξειδίου του άνθρακα στο εσωτερικό του θερμοκηπίου (πηγή: hortitech)	24
Εικόνα 20: Ανακυκλωτής αέρα (πηγή: moa.gov.sy)	25
Εικόνα 21: Ανεμιστήρας ψύξης (πηγή: moa.on.sy)	25
Εικόνα 22: Φάσμα ηλιακής ακτινοβολίας και απορρόφησης από τα συστατικά της ατμόσφαιρας.....	26
Εικόνα 23: Περιοχή εγκατάστασης καλλιέργειας θερμοκηπίων βιομηχανικής κάνναβης, αγρός εργαστηρίου Γεωργίας, Γεωπονικού Πανεπιστημίου Αθηνών (πηγή: google maps)	33
Εικόνα 24: Μέρος πειράματος (προσωπικό αρχείο).....	34
Εικόνα 25: Προετοιμασία και γέμισμα γλαστρών (προσωπικό αρχείο)	35
Εικόνα 26: Ανάδυση των φυτών (προσωπικό αρχείο)	36
Εικόνα 27: Τελικό στάδιο ανάπτυξης κάνναβης (προσωπικό αρχείο)	36
Εικόνα 28: Αρίθμηση των θερμοκηπίων (προσωπικό αρχείο).....	37
Εικόνα 29: Διάταξη των πλαστικών εντός του θερμοκηπίου (προσωπικό αρχείο)	38
Εικόνα 30: PAR-LIGHT (Sun Scan type SSI) (προσωπικό αρχείο)	40
Εικόνα 31: ΘΕΡΜΟΚΑΣΙΑ ΦΥΛΛΩΜΑΤΟΣ (προσωπικό αρχείο)	40
Εικόνα 32: SPAD READINGS (προσωπικό αρχείο).....	40
Εικόνα 33: Θερμόμετρο εδάφους (προσωπικό αρχείο).....	41
Εικόνα 34: ΠΕΡΙΕΚΤΙΚΟΤΗΤΑ CBD (προσωπικό αρχείο)	41

Πίνακας διαγραμμάτων

Διάγραμμα 1: Ποσοστιαία σχηματική παράσταση της έκτασης των θερμοκηπίων σε σχέση με τον τρόπο θέρμανσης	9
Διάγραμμα 2: Ποσοστιαία σχηματική παράσταση της έκτασης των θερμαινόμενων θερμοκηπίων σε σχέση με το καύσιμο που χρησιμοποιούν	10
Διάγραμμα 3: Ποσοστιαία σχηματική παράσταση των διαφόρων συστημάτων θέρμανσης που χρησιμοποιούνται στα θερμαινόμενα θερμοκήπια.....	10
Διάγραμμα 4: Μέτρηση Light σε τρία διαφορετικά ύψη εντός θερμοκηπίου με ανεβασμένες τις κουρτίνες	44
Διάγραμμα 5: Μέτρηση Light στο εξωτερικό του θερμοκηπίου	46
Διάγραμμα 6: Μέτρηση Light στο εσωτερικό του θερμοκηπίου με κατεβασμένες τις κουρτίνες συσκότισης.....	47
Διάγραμμα 7: Μέτρηση Light στο εξωτερικό του θερμοκηπίου	48
Διάγραμμα 8: Μέτρηση PAR στο εσωτερικό του θερμοκηπίου με ανεβασμένες τις κουρτίνες συσκότισης	50
Διάγραμμα 9: Μέτρηση PAR στο εξωτερικό του θερμοκηπίου	51
Διάγραμμα 10: Μέτρηση PAR στο εσωτερικό του θερμοκηπίου με κατεβασμένες τις κουρτίνες συσκότισης.....	52
Διάγραμμα 11: Μέτρηση PAR στο εξωτερικό του θερμοκηπίου	53
Διάγραμμα 12: Μέτρηση SPAD με ανεβασμένες τις κουρτίνες	54
Διάγραμμα 13: Μέτρηση SPAD με κατεβασμένες τις κουρτίνες	56
Διάγραμμα 14: Θερμοκρασία εδάφους με ανεβασμένες τις κουρτίνες.....	57
Διάγραμμα 15: Θερμοκρασία εδάφους με κατεβασμένες τις κουρτίνες	59
Διάγραμμα 16: Επίδραση των πλαστικών των τριών θερμοκηπίων στις ταξιανθίες των φυτών κάνναβης	60
Διάγραμμα 17: Δεδομένα θερμοκηπίων για θερμοκρασία φυλλώματος (πάνω-κάτω) κάνναβης με ανεβασμένες κουρτίνες	62
Διάγραμμα 18: Δεδομένα θερμοκηπίων για θερμοκρασία φυλλώματος (πάνω-κάτω) κάνναβης με κατεβασμένες κουρτίνες	64
Διάγραμμα 19: Ύψος φυτών κάνναβης	65
Διάγραμμα 20: Μετρήσεις πραγματικών φύλλων κάνναβης στα θερμοκήπια	67
Διάγραμμα 21: Γραμμική συσχέτιση μεταξύ PAR Low (στο χαμηλό επίπεδο εντός θερμοκηπίου) και SPAD σε καλλιέργεια κάνναβης 86 DAS	70
Διάγραμμα 22: Γραμμική συσχέτιση μεταξύ SPAD σε καλλιέργεια κάνναβης και PAR Low (στο χαμηλό επίπεδο εντός θερμοκηπίου) 86 DAS.....	70
Διάγραμμα 23: Γραμμική συσχέτιση μεταξύ του μήκους ταξιανθίας και μέσου βάρους ταξιανθίας.....	71
Διάγραμμα 24: Γραμμική συσχέτιση μεταξύ του μήκους ταξιανθίας και του δείκτη συμπαγείας (Compact Index)	72
Διάγραμμα 25: Γραμμική συσχέτιση μεταξύ του μήκους ταξιανθίας και του ποσοστού περιεκτικότητας σε CBD	72

Διάγραμμα 26: Γραμμική συσχέτιση μεταξύ του μήκους ταξιανθίας και της απόδοσης ανά φυτό σε CBD	73
Διάγραμμα 27: Γραμμική συσχέτιση μεταξύ του μέσου βάρους και του μήκους ανά ταξιανθία	73
Διάγραμμα 28: Γραμμική συσχέτιση μεταξύ του μέσου βάρους ανά ταξιανθία και του δείκτη συμπάγιας (Compact Index)	74
Διάγραμμα 29: Γραμμική συσχέτιση μεταξύ του μέσου βάρους ανά ταξιανθία και της περιεκτικότητας σε CBD	74
Διάγραμμα 30: Γραμμική συσχέτιση μεταξύ του μέσου βάρους ανά ταξιανθία και της απόδοσης σε CBD ανά φυτό	75
Διάγραμμα 31: Γραμμική συσχέτιση μεταξύ του δείκτη συμπάγιας (Compact Index) και του μήκους ταξιανθίας	76
Διάγραμμα 32: Γραμμική συσχέτιση μεταξύ του δείκτη συμπάγιας (Compact Index) και του μέσου βάρους ανά ταξιανθία	76
Διάγραμμα 33: Γραμμική συσχέτιση μεταξύ του δείκτη συμπάγιας (Compact Index) και της περιεκτικότητας σε CBD	77
Διάγραμμα 34: Γραμμική συσχέτιση μεταξύ του δείκτη συμπάγιας (Compact Index) και της απόδοσης ανά φυτό σε CBD	78
Διάγραμμα 35: Γραμμική συσχέτιση μεταξύ της περιεκτικότητας σε CBD και του μήκους ταξιανθίας....	78
Διάγραμμα 36: Γραμμική συσχέτιση μεταξύ της περιεκτικότητας σε CBD και του μέσου βάρους ταξιανθίας	79
Διάγραμμα 37: Γραμμική συσχέτιση μεταξύ της περιεκτικότητας σε CBD και του δείκτη συμπάγιας (Compact Index)	79
Διάγραμμα 38: Γραμμική συσχέτιση μεταξύ της απόδοσης σε CBD και του μήκους ταξιανθίας.....	80
Διάγραμμα 39: Γραμμική συσχέτιση μεταξύ της απόδοσης σε CBD και του μέσου βάρους ταξιανθίας..	81
Διάγραμμα 40: Γραμμική συσχέτιση μεταξύ της απόδοσης σε CBD και του δείκτη συμπάγιας (Compact Index)	81
Διάγραμμα 41: Γραμμική συσχέτιση μεταξύ της απόδοσης σε CBD και της θερμοκρασίας φυλλώματος φυτών κάνναβης	82
Διάγραμμα 42: Γραμμική συσχέτιση μεταξύ της θερμοκρασίας φυλλώματος φυτών κάνναβης και της απόδοσης σε CBD ανά φυτό	82

Κεφάλαιο 1: ΕΙΣΑΓΩΓΗ

1.1 Το φυτό της βιομηχανικής κάνναβης

Η βιομηχανική κάνναβη (*Cannabis Sativa* L.) ανήκει στα ελαιούχα - κλωστικά φυτά και χρησιμοποιείται για την παραγωγή πλήθους προϊόντων και υποπροϊόντων (Τσαλίκη, 2017). Τα φυτά κάνναβης έχουν καλλιεργηθεί στην Ευρώπη. Την Ασία, την Αφρική και την Αμερική για εκατοντάδες χρόνια ως πηγή τριών κύριων προϊόντων: ίνες κάνναβης, σπόροι κάνναβης και το έλαιο των σπόρων της για φαρμακευτικό σκοπό ή για διατροφικό (Kaiser, Cassady and Ernst, 2014). Οι ίνες κάνναβης λαμβάνονται από τα στελέχη του φυτού και έχουν χρησιμοποιηθεί κατά τη διάρκεια των χρόνων για την παραγωγή υφασμάτων, σχοινιών και λινάτσας. Είναι αρκετά ανθεκτικό υλικό και περιέχει περίπου 70% κυτταρίνη. Η ίνα έχει χρησιμοποιηθεί στο παρελθόν για την κατασκευή χαρτιού και έχει προταθεί ως εναλλακτικό προϊόν της πούλπας στη σύγχρονη παραγωγή χαρτιού. Οι σπόροι μπορούν να καταναλωθούν από τον άνθρωπο, να χρησιμοποιηθούν ως τροφή πουλιών ή να χρησιμοποιηθεί το λάδι τους σε τρόφιμα και βερνίκια (Bash, 2015) (Mariotti *et al.*, 2016).

Η περιεκτικότητα των ταξιανθιών σε κανναβινοειδή, αποτελεί έναν πολλά υποσχόμενο τομέα τελικών χρήσεων της κλωστικής κάνναβης. Έχουν αναγνωρισθεί και απομονωθεί από την κάνναβη περίπου 60 κανναβινοειδείς ενώσεις, από τις οποίες οι περισσότερες βρίσκονται σε ελάχιστη συγκέντρωση. Η τετραυδοκανναβινόλη (THC) είναι το κανναβινοειδές που εμφανίζει ψυχοτρόπες ιδιότητες και έχει μελετηθεί ευρέως. Η Ευρωπαϊκή Ένωση επιτρέπει την καλλιέργειά της για THC < 0, %. Ενώ η κανναβιδιόλη (CBD) συναντάται σε ποσοστό 0,5-2% στο πάνω από 1/3 του φυτού βιομηχανικής κάνναβης (Τσαλίκη, 2017).

Υπάρχουν αναφορές ότι στην χώρα μας άρχισε να καλλιεργείται από το 450 π.Χ. Στα μέσα του 20^{ου} αιώνα η κάνναβη αποτελούσε μία από τις κυριότερες γεωργικές καλλιέργειες και εξαγωγίμο προϊόν. Εκείνη την περίοδο στην Ελλάδα υπήρχαν αρκετά εργοστάσια (κανναβουργεία) που επεξεργάζονταν το φυτό για τη δημιουργία σκοινιών. Υπήρχαν συγκεκριμένα επτά βιομηχανίες μέχρι το 1957, τα οποία έκλεισαν εξαιτίας του νόμου απαγόρευσης καλλιέργειας κάνναβης. Σήμερα μπορεί να επισκεφθεί κανείς στην Έδεσσα, ένα μνημείο βιομηχανικής κληρονομιάς που λειτούργησε για 40 χρόνια.

Η καλλιέργεια κάνναβης άρχισε να εγκαταλείπεται διεθνώς το 1980. Πιο συγκεκριμένα, την πενταετία 1987 – 1952 υπήρχε μείωση 1,5 εκατ στρεμμάτων, από 10,9 εκατ στρέμματα (μέση ετήσια έκταση παγκοσμίως), με κυριότερες χώρες καλλιέργειας την Κίνα, Ινδία, Αυστραλία, Ρωσία, Ουγγαρία και τον Καναδά.

Στις αρχές της δεκαετίας του '90, με την προϋπόθεση ότι μπορεί να αυξηθεί η βιωσιμότητα σε οικονομικό, περιβαλλοντικό, αγρονομικό και κοινωνικό επίπεδο, η Ευρωπαϊκή Ένωση άρχισε να επιδοτεί αυτή τη νέα καλλιέργεια με αποτέλεσμα να ξεκινά η περίοδος αναβίωσης της βιομηχανικής κάνναβης ('Οδηγός καλλιέργειας κλωστικής κάνναβης στην Ελλάδα (*Cannabis Sativa* L.)', 2016). Εξαιτίας αυτής της ενέργειας, αρκετές χώρες δημιούργησαν νέες ποικιλίες, αρκετά παραγωγικές και με χαμηλή περιεκτικότητα στην ψυχοτρόπο ουσία THC (Russo *et al.*, 2003), καθώς παράλληλα αναπτύχθηκε και νέα τεχνολογία για την επεξεργασία του φυτού σε χαμηλότερο κόστος.

Το 2016 στην Ευρώπη η καλλιεργούμενη έκταση βιομηχανικής κάνναβης έφτασε τα 330.000 στρέμματα με κύρια χώρα την Γαλλία, στην οποία καλλιεργείται το 50% της προαναφερόμενης έκτασης, ενώ το 2011 τα συνολικά στρέμματα ήταν μόνο 80.000. σύμφωνα με τα στοιχεία της EIIA (European Industrial Hemp Association), την τελευταία πενταετία παρατηρήθηκε τριπλασιασμός της καλλιεργούμενης έκτασης σε όλη την Ευρώπη (Τσαλίκη, 2017).

Στην Ελλάδα, η καλλιέργεια της βιομηχανικής κάνναβης επιτρέπεται για ποικιλίες με THC < 0,2%, σύμφωνα με τον ΦΕΚ αρ. 929B/6-4-2016 (‘Οδηγός καλλιέργειας κλωστικής κάνναβης στην Ελλάδα (Cannabis Sativa L.)’, 2016).

1.2 Μορφολογικά Χαρακτηριστικά

Η κλωστική κάνναβη είναι ένα ετήσιο φυτό εαρινής σποράς, η οποία απαιτεί καλά στραγγιζόμενα εδάφη πλούσια σε θρεπτικά στοιχεία και υγρασία (‘Οδηγός καλλιέργειας κλωστικής κάνναβης στην Ελλάδα (Cannabis Sativa L.)’, 2016). Είναι ένα ποώδες φυτό που μπορεί να αναπτυχθεί από περίπου 1 έως 6 μέτρα ύψος, ανάλογα την ποικιλία, τις περιβαλλοντικές και αγρονομικές συνθήκες. Κατά τη διάρκεια της καλλιεργητικής περιόδου, το φυτό δημιουργεί άκαμπτο, ξυλώδες μίσχο διαμέτρου 2,5-5 εκ. Σημειώνεται επίσης ότι η μορφολογία του φυτού ποικίλλει ανάλογα με την πυκνότητα φύτευσης. Πιο αναλυτικά, σε πυκνή σπορά τα φυτά κάνναβης αναπτύσσουν πιο λεπτούς μίσχους με λιγότερα πλευρικά κλαδιά. Αντίθετα, σε σπορά αραιής φύτευσης, που είναι και ο συνηθισμένος τρόπος για την παραγωγή ελαίου, έχει ως αποτέλεσμα τα φυτά να έχουν εξαιρετική διακλάδωση με πολύ μεγαλύτερες διαμέτρους στα στελέχη.

Τα φυτά κάνναβης είναι διπλοειδή και συνήθως δίοικα (που έχουν αρσενικά και θηλυκά λουλούδια σε ξεχωριστά φυτά) (Kaiser, Cassady and Ernst, 2014). Περιστασιακά συναντώνται φυτά που φέρουν και αρσενικά και θηλυκά λουλούδια στο ίδιο φυτό, αλλά αυτό μπορεί να προκύψει ως αποτέλεσμα ειδικής αναπαραγωγής (Bash, 2015). Μεταξύ των δίοικων ποικιλιών, τα αρσενικά φυτά είναι ψηλότερα με λεπτότερο στέλεχος και έχουν λίγα φύλλα γύρω από την ταξιανθία, όπως επίσης πεθαίνουν αμέσως αφού διώξουν την γύρη τους για γονιμοποίηση. Τα θηλυκά φυτά, που είναι κοντότερα από τα αρσενικά, παράγουν πολλά περισσότερα φύλλα γύρω από την ταξιανθία τους και επιβιώνουν μέσω της ωριμότητας των σπόρων. Οι διαφορές αυτές στη μορφολογία μπορεί να δημιουργήσουν δυσκολίες στη συγκομιδή (Fike, 2016).



Εικόνα 1: Διαχωρισμός θηλυκού και αρσενικού φυτού κάνναβης (πηγή: MSNL Blog)

Συχνά το φύλο του φυτού είναι καθοριστικό μόνο κατά την έναρξη της ανθοφορίας, όταν τα φύλλα του αρσενικού και θηλυκού φυτού αναδεικνύονται. Οι δύο τύποι ταξιανθίας είναι εύκολο να διακριθούν. Η αρσενική ταξιανθία από πολλά μεμονωμένα λουλούδια σε ανθισμένα κλαδιά μήκους 18 εκ και ξεχωρίζει από τα φύλλα. Τα μεμονωμένα άνθη είναι μικρά, αποτελούμενα από 5 λευκά ή πρασινωπά σέπαλα μήκους μικρότερου των 5 χλστ και 5 στήμονες. Αντίθετα, οι θηλυκές ταξιανθίες είναι συμπαγείς, κοντές και περιέχουν μόνο λίγα λουλούδια. Κάθε άνθος αποτελείται από μία ωοθήκη που περιβάλλεται από έναν πράσινο κάλυκα. Μετά τη γονιμοποίηση, αναπτύσσεται η ωοθήκη (που περιέχει μόνο ένα ωάριο) σε ένα τοίχωμα που περιβάλλει ένα σπόρο με σκληρό κέλυφος. Αυτό θεωρητικά ονομάζεται αχένιο, αλλά στην ουσία είναι ολόκληρος ο σπόρος. Το αχένιο έχει μήκος 2,5-5 χλστ και ελαφρώς μικρότερο πλάτος. Επίσης, οι ταξιανθίες του φυτού κάνναβης καλύπτονται με λεπτές τρίχες ή τριχοειδή. Πρόκειται είτε για απλές που καλύπτουν τα τριχώματα είτε για αδενικά τριχοειδή που περιέχουν την ρητίνη (Bash, 2015).



Εικόνα 2: Ρητίνη στα αδενικά τριχοειδή της βιομηχανικής κάνναβης (πηγή: tonotani.gr)

1.3 Καλλιέργεια κάνναβης σε ελεγχόμενο περιβάλλον

- i. **Διατήρηση γενετικού υλικού:** Τα μητρικά φυτά απαιτούν σταθερές περιβαλλοντικές συνθήκες για να διατηρηθούν υγιή, ώστε να παρέχονται υγιή μοσχεύματα για δημιουργία κλώνων στην πάροδο των μηνών ή και των χρόνων. Οπότε, απαραίτητη προϋπόθεση, τα ειδικά κατασκευασμένα δωμάτια, είναι να έχουν ομοιόμορφες συνθήκες κατάλληλες για τη μακροχρόνια συντήρηση των μητρικών φυτών (θάλαμοι σταθερών συνθηκών) ('Cannabis production: Precision Cotrolled Enviroments', 2017).



Εικόνα 3: Θάλαμοι σταθερών συνθηκών (πηγή: cannabisculture.com)

50 – 70 % Y

24 – 28 °C

20 – 24 ώρες
φωτισμού

- ii. **Πολλαπλασιαστικό υλικό:** Το στάδιο του φυτού, που προορίζεται για κλωνοποίηση, είναι και το πιο ευαίσθητο και σημαντικό στάδιο, διότι απαιτείται υψηλή υγρασία και σταθερές θερμοκρασίες για την αποφυγή ξήρανσης νέων ριζών κατά τη διάρκεια του πολλαπλασιασμού ('Cannabis production: Precision Cotrolled Enviroments', 2017).



Εικόνα 4: Πολλαπλασιαστικό υλικό (πηγή: zambeza seeds)

80 – 90 % Y

24 – 26 °C

18 ώρες
φωτισμού

- iii. **Καλλιέργεια ιστών:** Η καλλιέργεια ιστών δίνει τη δυνατότητα στους καλλιεργητές να ελέγχουν αυστηρά το γενετικό υλικό. Χρησιμοποιώντας αυτή την τεχνική, οι παραγωγοί μπορούν να καλλιεργήσουν μεγάλο αριθμό φυτών σε μικρούς χώρους, παρέχοντας μεγάλο αριθμό πολλαπλασιαστικού υλικού καθώς και τη διαχείριση των πολυάριθμων στελεχών ('Cannabis production: Precision Cotrolled Enviroments', 2017).



Εικόνα 5: Καλλιέργεια ιστών (πηγή: Hemp Industry Daily)

60 – 70 % Y

24 – 28 °C

10 - 12 ώρες
φωτισμού

- iv. **Βλαστικό στάδιο ανάπτυξης:** Στη ζώνη βλαστικής ανάπτυξης τα φυτά παραμένουν για 4 εβδομάδες σε σταθερές συνθήκες (σταθερή θερμοκρασία και υγρασία) και απαιτείται συχνό πότισμα για τη διατήρηση υγιούς ρίζας ('Cannabis production: Precision Cotrolled Enviroments', 2017).



Εικόνα 6: Βλαστικό στάδιο ανάπτυξης (πηγή: ginegar plastics)

50 – 70 % Y

24 – 28 °C

20 - 24 ώρες
φωτισμού

- v. **Ανθοφορία:** Κατά το τελικό στάδιο ανάπτυξής τους, τα φυτά κάνναβης απαιτούν υψηλές εντάσεις φωτός και μεγαλύτερη διάρκεια ημέρας για να προσδιοριστεί η επιθυμητή μάζα του φυτού και ρίζα πριν την άνθηση. Μόλις εμφανιστεί η ανθοφορία, μειώνοντας τη διάρκεια φωτός (με κουρτίνες συσκότισης) και τη θερμοκρασία, τα άνθη του φυτού αρχίζουν και αναπτύσσουν ρητίνες που περιέχουν THC (χαμηλής περιεκτικότητας) και CBD. Πρέπει να επισημανθεί επίσης, ότι σε αυτό το στάδιο είναι απαραίτητο η υγρασία να διατηρείται σε χαμηλά επίπεδα για να αποφευχθεί η δημιουργία μούχλας στα άνθη ('Cannabis production: Precision Cotrolled Enviroments', 2017).



Εικόνα 7: Στάδιο ανθοφορίας (πηγή: sensi seeds)

50 % Y

20 – 25 °C

12 ώρες
φωτισμού

- vi. **Αποξήρανση ταξιανθιών:** Απαιτείται υψηλός αερισμός, χαμηλή υγρασία και ελαφρώς χαμηλότερη θερμοκρασία κατά το στάδιο της ξήρανσης για να μειωθεί η περιεκτικότητα σε νερό στις ταξιανθίες κάνναβης. Παράλληλα αφαιρείται η ανεπιθύμητη χλωροφύλλη και αποτρέπει το σχηματισμό μούχλας ('Cannabis production: Precision Cotrolled Enviroments', 2017) (Mariotti *et al.*, 2016).



Εικόνα 8: Δωμάτιο αποξήρανσης ταξιανθιών (πηγή: Cannabis Business Times)

45 - 55 % Y

15 – 20 °C

Βοηθητικό φως

1.4 Θερμοκηπιακές εγκαταστάσεις

1.4.1 Θερμοκηπιακές εγκαταστάσεις στην Ελλάδα

Στην Ελλάδα, οι πρώτες συστηματικές εγκαταστάσεις έκαναν το ξεκίνημά τους το 1955 και αποτελούνταν κυρίως από υαλόφρακτα θερμοκήπια. Στη συνέχεια, άρχισε να γίνεται περισσότερο επιθυμητή η χρήση του πλαστικού φύλλου πολυαιθυλενίου ως υλικό κάλυψης θερμοκηπίων. Αυτό το υλικό έδωσε την δυνατότητα στους καλλιεργητές, ιδιαίτερα σε περιοχές με πρώιμες καλλιέργειες, να κατασκευάζουν μόνοι τους τα θερμοκήπια χωρίς πρόσθετα έξοδα, εξαιτίας της ευκολίας προσαρμογής του υλικού σε οποιονδήποτε σκελετό θερμοκηπίου. Αργότερα, αρκετοί επιχειρηματίες δημιούργησαν βιομηχανίες κατασκευής θερμοκηπίων, γεγονός που διευκόλυνε αρκετά τους παραγωγούς. Αποτέλεσμα αυτής της ενέργειας ήταν όλο και περισσότεροι καλλιεργητές να χτίζουν θερμοκήπια κι έτσι ο συνολικός αριθμός των θερμοκηπίων ανήλθε στα 44.345 στρέμματα το 1992.

Οι σημαντικότεροι παράγοντες που έπαιξαν σημαντικό ρόλο στην αύξηση των θερμοκηπιακών εκτάσεων στην Ελλάδα ήταν:

- Το ήπιο κλίμα της χώρας και οι εδαφολογικές της συνθήκες, που παρατηρείται στις περισσότερες περιοχές και δίνει το πλεονέκτημα στον παραγωγό να χτίσει θερμοκήπια σε χαμηλού κόστους, δηλαδή χωρίς ακριβό εξοπλισμό.
- Η εξασφάλιση μεγαλύτερου εισοδήματος σε παραγωγούς με μικρές γεωργικές εκτάσεις (εντατικοποίηση των καλλιεργειών).
- Η αυξημένη ζήτηση των θερμοκηπιακών προϊόντων εγχώρια.
- Η ενθάρρυνση προώθησης των προϊόντων αυτών μέσω της γεωργικής πολιτικής και τα οικονομικά κίνητρα που θέσπισαν (Μαυρογιαννόπουλος Γ, 2001).

ΠΕΡΙΟΧΕΣ	ΕΚΤΑΣΗ ΘΕΡΜΟΚΗΠΙΩΝ (ΣΤΡΕΜΜΑΤΑ)			
	Πλαστικό	Υαλόφρακτα	Σύνολο	%
Κρήτη	20111	174	20285	45.7
Πελοπόννησος	9922	390	10312	23.3
Κεντρική Μακεδονία	6358	170	6528	14.7
Λοιπές περιοχές	6148	1072	7220	16.3
Σύνολο	42535	1810	44345	100
Ποσοστό %	95.9	4.1	100	

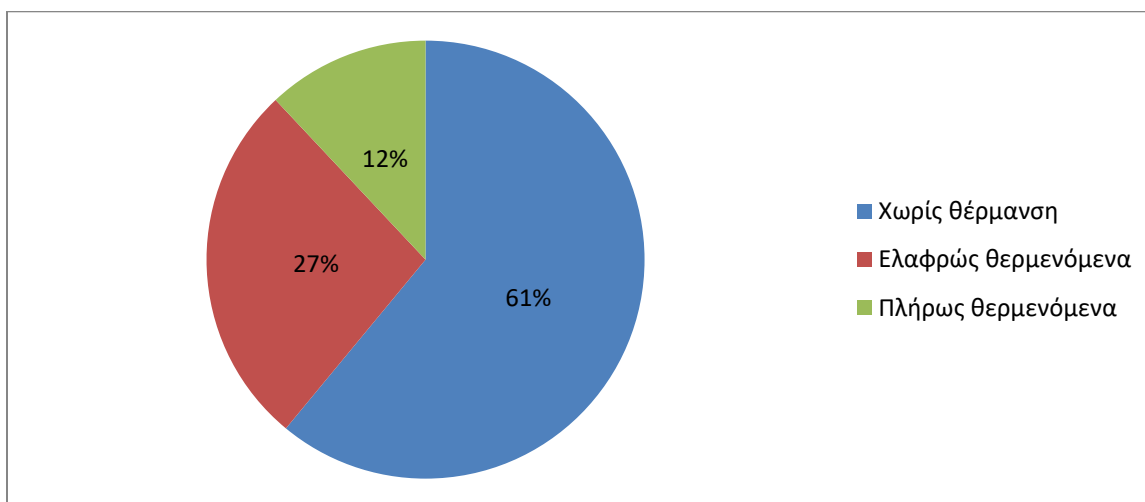
Πίνακας 1: Γεωγραφική κατανομή των εγκατεστημένων θερμοκηπίων στην Ελλάδα το 1992

1.4.2 Ποιότητα κατασκευών

Τα πρώτα θερμοκήπια που κατασκευάστηκαν στην Ελλάδα, την περίοδο 1955-1960, ήταν από μεταλλικό σκελετό και είχαν κάλυψη από γυαλί. Ωστόσο, δεν μπορούσε να παραληφθεί το γεγονός, ότι από πλευράς υλικών κατασκευής, το κόστος ήταν αρκετά υψηλό και σε συνδυασμό με την έλλειψη επαρκών γνώσεων εκ μέρους των παραγωγών για το απαιτούμενο περιβάλλον, των καλλιεργητικών τεχνικών και της έλλειψης μηχανισμών τεχνικής υποστήριξης, τα θερμοκήπια δεν είχαν πάντα θετικό οικονομικό αποτέλεσμα.

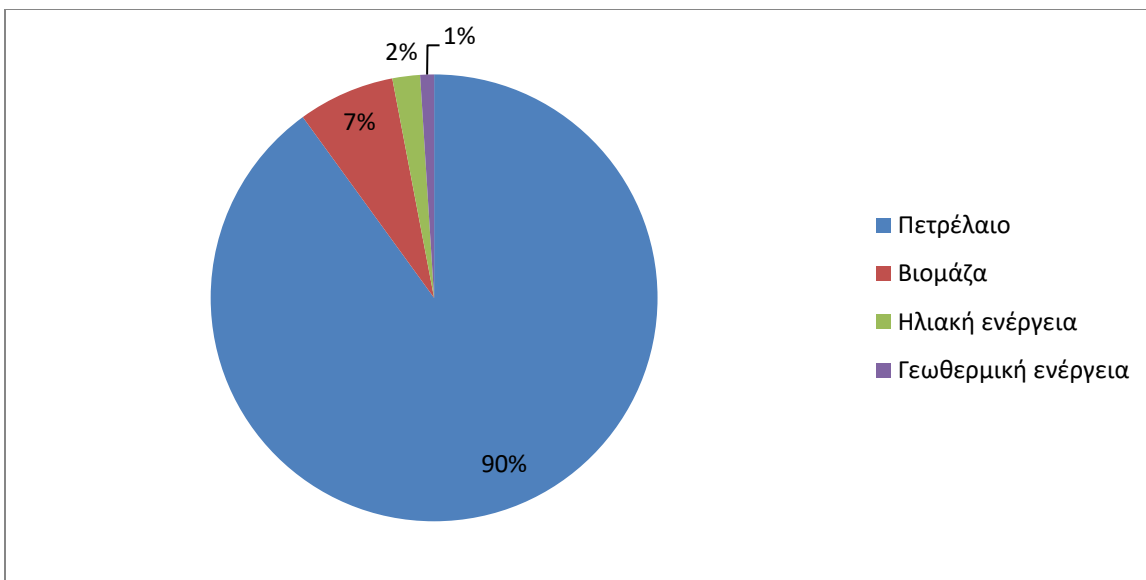
Με την εισαγωγή στην ελληνική αγορά του πλαστικού φύλλου πολυαιθυλενίου και τη μεταφορά γνώσεων από το εξωτερικό σχετικά με την κατασκευή θερμοκηπίων, οι παραγωγοί στράφηκαν προς φθηνότερες και απλούστερες κατασκευές. Σήμερα στη χώρα μας, λόγω των οικονομικών συνθηκών που επικρατούν, το χαμηλό κόστος επένδυσης υπερισχύει συχνά στην απόφαση αγοράς θερμοκηπίου των πλεονεκτημάτων που παρουσιάζουν τα εξελεγμένα θερμοκήπια.

Σχετικά με τη θέρμανση, το 1982 το 15% των θερμοκηπίων είχαν τη δυνατότητα θέρμανσης. Αργότερα το 1992, το ποσοστό ανήλθε στο 39%, με μόνο το 12% των θερμοκηπίων είχαν τη δυνατότητα ρύθμισης του περιβάλλοντος στα επιθυμητά επίπεδα (Μαυρογιαννόπουλος Γ, 2001).



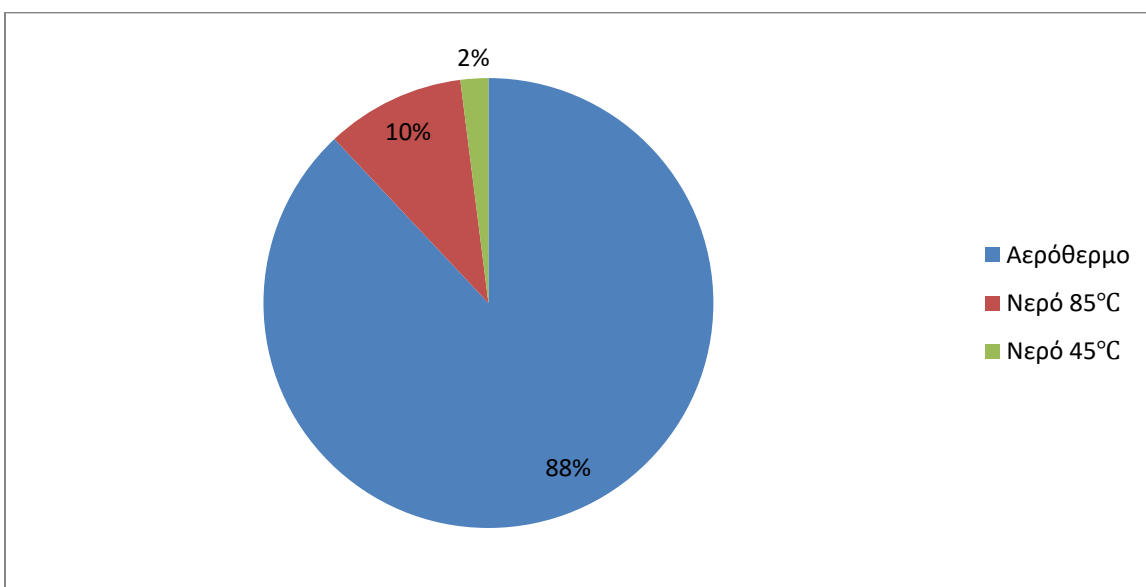
Διάγραμμα 1: Ποσοστιαία σχηματική παράσταση της έκτασης των θερμοκηπίων σε σχέση με τον τρόπο θέρμανσης

Τα υπόλοιπα χρησιμοποιούν τη θέρμανση για αντιπαγετική προστασία ή για τη μείωση της σχετικής υγρασίας. Εκτιμάται ότι το 90% του συνόλου των θερμαινόμενων θερμοκηπίων της χώρας θερμαίνονται με μαζούτ ή πετρέλαιο, το 7% με βιομάζα (κυρίως με πυρήνα ελιάς), το 2% με ηλιακή ενέργεια και το 1% με γεωθερμική ενέργεια.



Διάγραμμα 2: Ποσοστιαία ςηματική παράσταση της έκτασης των θερμαινόμενων θερμοκηπίων σε ςέση με το καύσιμο που ςρησιμοποιούν

Στο 88% των θερμοκηπίων που θερμαίνονται με πετρέλαιο ή μαζούτ, ςρησιμοποιούν αερόθερμο για την κατανομή της θερμότητας μέσα στο ςώρο, στο 10% ςρησιμοποιείται κεντρικό σύστημα θέρμανσης με νερό στους 85°C που κυκλοφορεί σε μεταλλικούς σωλήνες και στο 2% ςρησιμοποιείται κεντρικό σύστημα θέρμανσης με νερό στους 45°C που κυκλοφορεί σε πλαστικούς σωλήνες.



Διάγραμμα 3: Ποσοστιαία ςηματική παράσταση των διαφόρων συστημάτων θέρμανσης που ςρησιμοποιούνται στα θερμαινόμενα θερμοκήπια

Τα τελευταία χρόνια προτιμούνται περισσότερο τα τυποποιημένα μεταλλικά θερμοκήπια, διότι είναι μακροβιότερα και παρέχουν καλύτερες δυνατότητες σωστού εξαερισμού, ο οποίος μπορεί να λειτουργεί αυτόματα.

1.4.3 Υλικά κατασκευής θερμοκηπίου

Χάλυβας: Ο χάλυβας (σε μορφή σωλήνα ή σε διατομές διαφόρων σχημάτων) είναι το πιο σύνηθες υλικό που χρησιμοποιείται ευρέως για την κατασκευή θερμοκηπίων. Υπάρχουν θερμοκήπια που είναι εξ ολοκλήρου κατασκευασμένα από χάλυβα και θερμοκήπια που μόνο κάποια μέρη του σκελετού είναι από χάλυβα, ενώ τα υπόλοιπα προέρχονται από συνδυασμό αλουμινίου ή ξύλου.

Ο χάλυβας απαιτεί σχετικά μικρές διατομές για δεδομένο φορτίο, λόγω της υψηλής αντοχής του. Η τιμή της τάσης παραμόρφωσης του χάλυβα είναι 200 N/mm.

Στα υαλόφρακτα θερμοκήπια οι διαμορφωμένες με κάμψη - ανοιχτές διατομές που χρησιμοποιούνται για την κατασκευή του σκελετού, πρέπει να έχουν πάχος τουλάχιστον 2 mm, ώστε να παρέχεται η επιθυμητή ακαμψία.

Το βασικότερο πρόβλημα με τον χάλυβα είναι η προστασία από την οξείδωσή του, όπου οι συνθήκες του θερμοκηπίου ευνοούν ιδιαίτερα. Ο συνηθέστερος τρόπος προστασίας του χάλυβα είναι το γαλβάνισμα.



Εικόνα 9: Χάλυβας σε μορφή σωλήνα (σκελετός θερμοκηπίου) (πηγή: agrotikes eykairies)



Εικόνα 10: Χάλυβας σε γυάλινο θερμοκήπιο (πηγή: moa.gov.sy)

Γαλβάνισμα: Είναι η επιψευδαργύρωση χαλύβδινων ή χυτοσιδηρών επιφανειών, με σκοπό κυρίως την προστασία τους από την οξείδωση. Ο ρυθμός οξείδωσης του ψευδαργύρου είναι το 1/10 έως το 1/15 του ρυθμού οξείδωσης του χάλυβα. Τρόποι γαλβανίσματος που υπάρχουν:

1. Το θερμό γαλβάνισμα
2. Το Sherardizing (θέρμανση των αντικειμένων και ανακάτεμα με σκόνη ψευδαργύρου και οξειδίου του ψευδαργύρου)
3. Το ηλεκτρολυτικό γαλβάνισμα (ανοδίωση, όπου άνοδος είναι ο ψευδάργυρος)
4. Το ψυχρό γαλβάνισμα (με κατάλληλο πιστόλι που εκτοξεύει σκόνη ψευδαργύρου)

Ο καλύτερος τρόπος γαλβανίσματος είναι το θερμό γαλβάνισμα, διότι παρέχει τα περισσότερα πλεονεκτήματα σε σχέση με τις άλλες μεθόδους για τους εξής λόγους:

- Μεγάλο χρόνο ζωής
- Συγκριτικά χαμηλό κόστος σε σχέση με το χρόνο ζωή του
- Υψηλή αξιοπιστία προστασίας
- Δεν απαιτείται συχνή συντήρηση



Εικόνα 11: Γαλβάνισμα (πηγή: galvanistirio.gr)

Αλουμίνιο: Η χρήση του αλουμινίου παρατηρείται επίσης ότι είναι ιδιαίτερα συχνή και πιο συγκεκριμένα χρησιμοποιείται στην κατασκευή των λεπτών σκελετικών στοιχείων των θερμοκηπίων. Το υλικό αυτό παρουσιάζει ορισμένα πλεονεκτήματα σε σχέση με τα άλλα μέταλλα για τους παρακάτω λόγους:

- Έχει μεγάλη ανθεκτικότητα στην επιφανειακή διάβρωση και δεν έχει ανάγκη συντήρησης.
- Οι διατομές των διαφόρων στοιχείων είναι μικρότερες, γεγονός που αν συνδυασθεί με το μικρό ειδικό βάρος, δίνει πολύ μικρού βάρους κατασκευής. Άρα, η κατασκευή αυτή παρέχει τη δυνατότητα χρησιμοποίησης λιγότερων τέτοιων στοιχείων. Το γεγονός αυτό έχει σαν αποτέλεσμα τη μειωμένη σκίαση του θερμοκηπίου και την επίτευξη μεγαλύτερων ανοιγμάτων από ξύλο σε ξύλο.
- Τα διάφορα στοιχεία, επειδή διαμορφώνονται με εξώθηση, μπορούν να κατασκευασθούν σε πολύπλοκες διατομές, ικανές να δώσουν καλή στεγνότητα και αποκομιδή του νερού της συμπύκνωσης.
- Χρησιμοποιείται αρκετά για την κατασκευή των ανοιγμάτων εξαερισμού, γιατί δίνει ελαφρότερα πλαίσια που δεν δημιουργούν προβλήματα λειτουργίας (Μαυρογιαννόπουλος Γ, 2001).



Εικόνα 12: Αλουμίνιο (σκελετός θερμοκηπίου) (πηγή: simpas.gr)

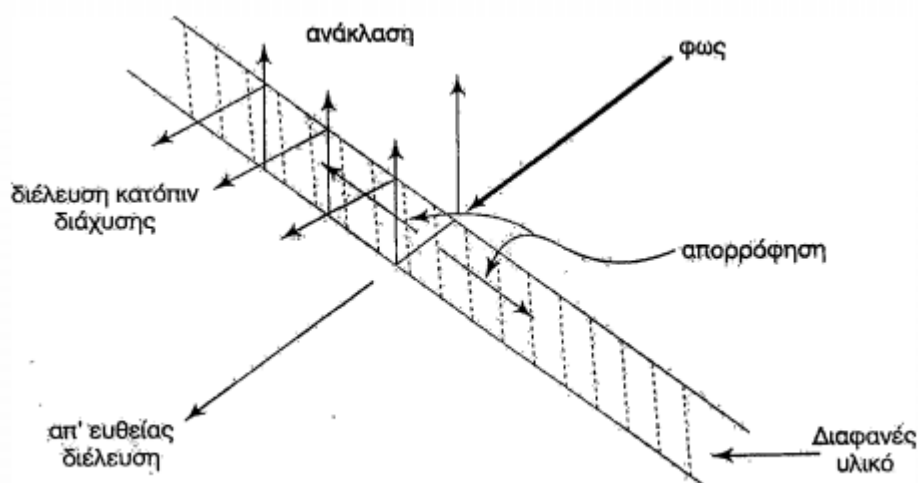
1.4.4 Υλικά κάλυψης

1.4.4.1 Εισαγωγή

Οι ιδιότητες του διαφανούς υλικού κάλυψης θερμοκηπίου επηρεάζει αρκετά την ποσότητα και ποιότητα του φωτός που περνάει στο χώρο των φυτών. Απαραίτητη προϋπόθεση για ένα καλής ποιότητας υλικό κάλυψης είναι να επιτρέπει τη διείσδυση όσο το δυνατόν μεγαλύτερης ποσότητας από τον προσπίπτοντα σε αυτό φωτισμό και να ευνοεί τη διάχυσή του στο εσωτερικό του θερμοκηπίου, ώστε να υπάρχει

ομοιογένεια φωτισμού σε όλο τον χώρο. Ακόμη, να επιτρέπει από το φυσικό φως να διέρχονται όλα τα μήκη κύματος, τα οποία είναι απαραίτητα για την ανάπτυξη των φυτών. Το φως αφού πέσει πάνω στο διαφανές υλικό κάλυψης είναι δυνατό να:

- Ανακλασθεί πάνω στο υλικό
- Απορροφηθεί από το υλικό
- Διέλθει μέσα από το υλικό



Εικόνα 13: Περαιτότητα του διαφανούς υλικού στο φως

Όλα τα μήκη κύματος του φωτός δεν ανακλώνται, αλλά απορροφώνται ή διέρχονται μέσω των διάφορων κατά τον ίδιο τρόπο. Αυτό έχει ως αποτέλεσμα να επηρεάζεται η ποιότητα του φωτισμού που εισέρχεται στο θερμοκήπιο. Είναι αρκετά σημαντικό και απαραίτητο τα μήκη κύματος, που είναι απαραίτητα για την ανάπτυξη του φυτού, να μην απορροφώνται ή να ανακλώνται, αλλά να διέρχονται μέσω του καλύμματος στο εσωτερικό του θερμοκηπίου στο μέγιστο βαθμό.

Η διέλευση της ακτινοβολίας ορίζεται ο λόγος της διερχόμενης ακτινοβολίας προς την προσβάλλουσα επιφάνεια ακτινοβολίας.

$$\text{ποσοστό διέλευσης \%} = \frac{\text{διερχόμενος φωτισμός}}{\text{προσβάλλων φωτισμός}} * 100$$

Η διέλευση του φωτός μέσω ενός υλικού μπορεί να γίνει απ' ευθείας ή με διάχυση. Όταν το φως διέρχεται απ' ευθείας, έχει σχεδόν την ίδια κατεύθυνση με εκείνη του προσβάλλοντος φωτισμού. Αυτό θα δημιουργήσει πρόβλημα στον ομοιόμορφο φωτισμό του θερμοκηπίου, διότι θα υπάρχει έντονη σκίαση από τα αντικείμενα που εμποδίζουν την πορεία του, δηλαδή από τον σκελετό του θερμοκηπίου. Αντίθετα, όταν παράλληλα με τη διέλευση του φωτός στο εσωτερικό του θερμοκηπίου γίνεται και διάχυσή του, τότε μειώνεται το πρόβλημα της έντονης σκίασης. Ο υαλοπίνακας με κυματοειδή ή φολιδωτή την

εσωτερική του επιφάνεια ή οι ενισχυμένες με ίνες υάλου πολυεστερικές επιφάνειες, μειώνουν το απευθείας διερχόμενο φως μετατρέποντάς το σε διάχυτο (Μαυρογιαννόπουλος Γ, 2001).

Μια άλλη ιδιότητα των υλικών κάλυψης των θερμοκηπίων είναι η περατότητα ή μη της θερμικής ακτινοβολίας (μεγάλου μήκους κύματος). Η θερμική ακτινοβολία εκπέμπεται από όλα τα σώματα που έχουν συνήθεις θερμοκρασίες. Ορισμένα υλικά κάλυψης επιτρέπουν τη διέλευση θερμικής ακτινοβολίας, ενώ κάποια άλλα επιτρέπουν μερική ή μηδενική διέλευση. Τα υλικά κάλυψης που δεν είναι περατά στη θερμική ακτινοβολία εκδηλώνουν την καλούμενη «ιδιότητα θερμοκηπίου». Δηλαδή, ενώ επιτρέπουν την είσοδο της μικρού μήκους κύματος ηλιακής ακτινοβολίας κατά τη διάρκεια της ημέρας μέσα στο θερμοκήπιο, δεν επιτρέπουν την έξοδο της μεγάλου μήκους κύματος ακτινοβολίας που εκπέμπουν τα φυτά και το έδαφος κι έτσι δημιουργείται μια παγίδα θερμότητας, στην οποία οφείλεται κατά 30% περίπου η αύξηση της θερμοκρασίας του θερμοκηπίου. Στον παρακάτω πίνακα αναγράφεται το ποσοστό διέλευσης της θερμικής ακτινοβολίας για κάθε υλικό (Μαυρογιαννόπουλος Γ, 2001).

Υλικά κάλυψης (πριν την χρήση τους)	Ποσοστό διέλευσης ακτινοβολίας %				
	Φωτεινής				Θερμικής απλής κάλυψης
	Απλή κάλυψη		Διπλή κάλυψη		
	Απ' ευθείας φως	Ολικό φως	Απ' ευθείας φως	Ολικό φως	
Πολυαιθυλένιο (διαφανές καθαρό χωρίς προσμίξεις)	93	93	88		88
Πολυαιθυλένιο διαφανές κοινό εμπορίου	76	89		80	71
Πολυαιθυλένιο U. V.	74	88			64
Γυαλί	86	90	75		1
P.V.C. Διαφανές	86	91		84	12
P.V.C. «Haze»		89		82	12
Mylar (πολυεστέρας φύλλου)	86	90	80		16
Πολυεστέρας ενισχυμένος με ίνες γυαλιού	68	78		64	1
Ακρλικού διπλού επιπέδου		63-83			
Polycarbonate διπλού επιπέδου		73-77			

Πίνακας 2: Ποσοστό διέλευσης ακτινοβολίας σε διαφορετικά υλικά κάλυψης θερμοκηπίου

1.4.4.2 Υαλοπίνακες

Το πλεονέκτημα αυτού του υλικού είναι ότι δεν φθείρεται κατά το πέρασμα των χρόνων και διατηρεί τις ιδιότητές του. Έτσι, ένας υαλοπίνακας θερμοκηπίου έχει πρακτικά την ίδια περατότητα στο φως μετά από 50 χρόνια με έναν καινούργιο, γεγονός που δεν συμβαίνει με κανένα άλλο υλικό κάλυψης. Επίσης, το γυαλί είναι αδιαπέραστο στα αέρια και στους υδρατμούς. Τα προβλήματα στεγανότητας που μπορεί να εμφανισθούν στα υαλόφρακτα θερμοκήπια, προέρχονται από την κακή επαφή που παρουσιάζεται σταδιακά στα σημεία στήριξης του υαλοπίνακα με το σκελετό και από το σπάσιμο των υαλοπινάκων, που προέρχεται από χαλάζι ή από απροσεξία για το λόγο ότι το γυαλί είναι εύθραυστο.

Ο υαλοπίνακας μπορεί να είναι διαφανής, με τις δύο επιφάνειες επίπεδες και λείες, ή διαφώτιστος, με τη μία επιφάνεια κυματοειδή ή φολιδωτή, ώστε να διευκολύνει τη διάχυση του φωτός. Συνήθως στην κορυφή του θερμοκηπίου τοποθετούνται υαλοπίνακες με κυματοειδή ή φολιδωτή τη μία πλευρά για καλύτερη διάχυση του φωτός, ενώ στις πλευρές τοποθετούνται υαλοπίνακες με τις δυο τους επιφάνειες επίπεδες, διότι το φως που εισέρχεται από τα πλάγια είναι κατά το μεγαλύτερο μέρος διάχυτο. Η μη επίπεδη πλευρά του υαλοπίνακα τοποθετείται προς το εσωτερικό του θερμοκηπίου για να συγκρατείται η σκόνη (Μαυρογιαννόπουλος Γ, 2001).

1.4.4.3 Εύκαμπτα φύλλα πλαστικού

1 Πολυαιθυλένιο (PE)

Στο πολυαιθυλένιο που προορίζεται για κάλυψη θερμοκηπίων προστίθεται 0,18% αντιξειδωτικό και 2-3% άνθρακα για την απορρόφηση των υπεριωδών ακτινών και μέχρι 10% ελαστικό βουτύλιο, για να είναι το πλαστικό εύκαμπτο.

Το υλικό αυτό σε σταθερές και συνήθεις θερμοκρασίας της ατμόσφαιρας διατηρεί τις φυσικές του ιδιότητες. Σε ακραίες όμως θερμοκρασίες (π.χ. -40°C ή $+65^{\circ}\text{C}$) έχει απώλεια ελαστικότητας ή ρευστοποιείται αντίστοιχα. Επίσης, σε έντονη ακτινοβολία χάνει πολλές από τις ιδιότητές του και καταστρέφεται. Στις μέρες μας είναι απαραίτητο να χρησιμοποιείται στο φύλλο πολυαιθυλενίου υλικό που το καθιστά ανθεκτικό στην ηλιακή υπεριώδη ακτινοβολία. Η υπεριώδης ακτινοβολία καταστρέφει σε πολύ μεγάλο βαθμό το πλαστικό, το καθιστά δηλαδή σκουρότερο και εύθραστο μέχρι που καταστρέφεται εντελώς (Μαυρογιαννόπουλος Γ, 2001).

Το φύλλο πολυαιθυλενίου παρουσιάζει τις παρακάτω ιδιότητες:

- Είναι αδιαπέραστο στο νερό και τους υδρατμούς
- Είναι σχετικά περατό στα αέρια, ιδιαίτερα στο CO_2 και στο O_2
- Έχει καλή μηχανική αντοχή
- Έχει καλή περατότητα στο φως (φύλλο πάχους 0,15 mm αφήνει να διέλθει το 87% του ορατού φωτισμού)

- Διατίθεται στο εμπόριο σε φύλλα μεγάλου πάχους, με αποτέλεσμα την δυνατότητα κατασκευής στεγανών θερμοκηπίων, χωρίς μεγάλες διαρροές αέρα
- Έχει υδρόφοβη επιφάνεια, με αποτέλεσμα η συμπύκνωση των υδρατμών πάνω σε αυτό να είναι υπό την μορφή σταγόνων, οι οποίες με την παραμικρή δόνηση πέφτουν πάνω στα φυτά
- Είναι περατό σχεδόν σε όλα τα μήκη της μεγάλου μήκους κύματος θερμικής ακτινοβολίας

Εξαιτίας της χαμηλής τιμής του και της ευκολίας της προσαρμογής του σε φθηνές κατασκευές, επιτρέπει τη δημιουργία θερμοκηπίων μικρού κόστους και εποχιακής χρησιμοποίησης (Μαυρογιαννόπουλος Γ, 2001).

2 Πολυβινυλοχλωρίδιο (PVC)

Το υλικό αυτό είναι γνωστότερο με τα αρχικά PVC. Είναι εύθραυστο σε χαμηλές θερμοκρασίες (-10°C περίπου) και αλλοιώνεται σε θερμοκρασίες άνω των +50°C. Στο προοριζόμενο για γεωργικούς σκοπούς PVC προστίθενται ουσίες, οποίες διευρύνουν τη ζωτικότητα του από θερμοκρασίες +60°C έως -20°C που χρησιμοποιείται για την κάλυψη θερμοκηπίων, όπως επίσης μπαίνουν και πρόσθετα υλικά που το καθιστούν ανθεκτικό στις υπεριώδεις ακτινοβολίες (Μαυρογιαννόπουλος Γ, 2001).

Το φύλλο PVC έχει τις ακόλουθες ιδιότητες:

- Είναι αδιαπέρατο στο νερό και περισσότερο περατό στους υδρατμούς από το πολυαιθυλένιο
- Η θερμοαγωγιμότητά του είναι μικρότερη του πολυαιθυλενίου, με αποτέλεσμα να υπάρχει καλύτερη θερμομόνωση μέσα στο θερμοκήπιο
- Είναι λιγότερο περατό στη μεγάλη μήκους κύματος ακτινοβολία από το πολυαιθυλένιο (η περατότητα είναι περίπου 12%)
- Διαρκεί περισσότερο από το πολυαιθυλένιο
- Το κόστος του είναι 3-4 φορές μεγαλύτερο από το πολυαιθυλένιο
- Όταν είναι καινούργιο έχει πολύ καλή περατότητα στο φως, περίπου 90%

3 Πολυεστερικά φύλλα

Τα πολυεστερικά φύλλα (συνήθως με εμπορικό όνομα Mylar) έχουν το πλεονέκτημα της μεγάλης διάρκειας ζωής (4-7 χρόνια). Ένα ακόμη πλεονέκτημα είναι η περατότητά του στο φως, που πλησιάζει εκείνη του γυαλιού.

Ιδιότητες των πολυεστερικών φύλλων είναι:

- Διατηρεί τη μηχανική αντοχή του με την πάροδο των χρόνων και τις θερμικές ιδιότητές του, χωρίς να επηρεάζονται από τις ακραίες θερμοκρασίες είτε υψηλές είτε χαμηλές.
- Έχει σχετικά χαμηλό συντελεστή συστολής-διαστολής.
- Έχει περατότητα στη μεγάλη μήκους κύματος ακτινοβολία 19%.

Από την άλλη πλευρά, υπάρχουν και ορισμένα μειονεκτήματα, όπως το υψηλό κόστος του. Στα προηγούμενα χρόνια, το υψηλό κόστος των πολυεστερικών φύλλων αντισταθμιζόταν από τη μεγάλη διάρκεια ζωής τους, όμως σήμερα η πολύ υψηλή τιμή τους καθιστά σχεδόν ασύμφορη τη χρησιμοποίησή του στο θερμοκήπιο (Μαυρογιαννόπουλος Γ, 2001).

1.4.4.4 Επιφάνειες σκληρού πλαστικού

1 Ενισχυμένος πολυεστέρας

Οι επιφάνειες αυτές έχουν αυξημένη μηχανική αντοχή και καλύτερη διάχυση φωτός στο θερμοκήπιο, γιατί προέρχονται από πολυεστέρα στον οποίο έχουν προστεθεί 20-34% ίνες γυαλιού. Η προσθήκη 15% ακρυλικού στον πολυεστέρα δίνει επιφάνειες μεγαλύτερης αντοχής. Ο ενισχυμένος πολυεστέρας είναι ανθεκτικός στις χαλαζοπτώσεις και στις περιπτώσεις βανδαλισμών. Όσον αφορά τη διάρκεια ζωής του, στην περίπτωση που περιέχει προστατευτικό, μπορεί να διαρκέσει μέχρι και 10 χρόνια με μικρή μείωση της περατότητάς του σε φως και μέχρι 25 χρόνια σε μηχανική αντοχή.

Ένα σημαντικό μειονέκτημα αυτού του υλικού είναι η διάβρωση που παθαίνει με το χρόνο στην εξωτερική επιφάνεια από σωματίδιο άμμου που πέφτουν πάνω του και η χημική μόλυνση. Αποτέλεσμα της διάβρωσης είναι η καταστροφή της λείας εξωτερικής του επιφάνειας, που έχει ως συνέπεια να μαζεύει σκόνη και κατ' επέκταση να μειώνεται η περατότητα στο φως. Για να αποφευχθεί το πρόβλημα αυτό γίνεται συντήρηση με ακρυλική βαφή κάθε δεύτερο χρόνο (Μαυρογιαννόπουλος Γ, 2001).

2 Πολυκαρβονικές επιφάνειες (PC)

Οι πολυκαρβονικές επιφάνειες κυκλοφορούν στο εμπόριο υπό την μορφή απλών αυλακωτών επιφανειών και υπό μορφή διπλών τοιχωμάτων. Ο ρόλος των διπλών τοιχωμάτων, που χρησιμοποιείται για την κάλυψη των θερμοκηπίων, είναι να μειώνει τις απώλειες θερμότητας. Το κόστος ανά μονάδα επιφάνειας είναι αρκετά υψηλό, αλλά προσφέρει εξοικονόμηση ενέργειας στο θερμοκήπιο. Σημειώνεται επίσης, ότι όταν αυτό το υλικό είναι καινούργιο, έχει περατότητα 73-77% φως.

Σημαντικό τους μειονέκτημα είναι ότι η περατότητα αυτή μειώνεται με τα χρόνια. Σύμφωνα με έρευνες, μετά τα 15 χρόνια χρήσης των πολυκαρβονικών επιφανειών και έκθεσης στην υπεριώδη ακτινοβολία, υπήρχε μείωση του φωτός πάνω από 10%. Παρατηρήθηκε ότι παρουσιάζεται από τα πρώτα κιόλας χρόνια ένα κιτρίνισμα στο πλαστικό. Για την αντιμετώπιση αυτού του προβλήματος, μία λύση είναι η βαφή των επιφανειών με ακρυλικό διαφανές υλικό (Μαυρογιαννόπουλος Γ, 2001).

3 Ακρυλικές επιφάνειες

Είναι ένα υλικό διαφανές, άχρωμο ή με ποικίλους χρωματισμούς και διατίθεται στο εμπόριο σε σκληρές επίπεδες ή κυματοειδείς επιφάνειες ή σε επιφάνειες διπλών τοιχωμάτων. Οι ακρυλικές επιφάνειες έχουν πάρα πολύ καλή περατότητα στο φως και διαρκεί αρκετά. Σύμφωνα με πειράματα που είχαν διεξαχθεί, παρατηρήθηκε ότι μετά από 15 χρόνια χρήσης, υπήρχε μία μείωση της περατότητας σε φως μόνο 2%.

Ορισμένες ιδιότητες των ακρυλικών φύλλων:

- Παρουσιάζει υψηλή μηχανική αντοχή, πολύ μεγαλύτερη του γυαλιού.
- Δεν μεταβάλλει τα χαρακτηριστικά σε ακραίες θερμοκρασίες (-70°C έως +80°C)
- Έχει μικρό συντελεστή θερμοαγωγιμότητας ($\lambda=0,2 \text{ W/m}^2 \text{ }^\circ\text{C}$)
- Δεν προσβάλλεται από τα διαλύματα οξέων και αρκετά συμπυκνωμένων βάσεων καθώς και από τα φυτικά ορυκτά λάδια.
- Μεγάλη διάρκεια αντοχής στο χρόνο (συγκρίσιμη με του υαλοπίνακα).

- **Μειονέκτημα:** Αρκετά υψηλό κόστος

4 Σκληρό Πολυβινυλοχλωρίδιο (PVC)

Χρησιμοποιήθηκαν αρχικά οι επιφάνειες από σκληρό διαφανές PVC σαν φθινό υλικό για την κάλυψη θερμοκηπίων, επειδή είχε χαμηλό κόστος. Αργότερα υπήρχε ελάχιστη προτίμηση χρήσης του, γιατί φάνηκε ότι ήταν πολύ μικρός ο χρόνος που διατηρούσε τις ιδιότητές του και κάποιες φορές έως και 2 χρόνια.

Το υλικό αυτό αποδομείται πολύ εύκολα και πολύ γρήγορα από την υπεριώδη ακτινοβολία, με αποτέλεσμα να γίνεται πιο σκούρο και μειώνεται η περατότητα σε φως και κατ' επέκταση πιο εύθραυστο.

Έρευνες έχουν δείξει ότι η περατότητα του PVC στο φως εξαρτάται πολύ από τη μέθοδο που χρησιμοποιείται για τη σύνθεσή του και από τα πρόσθετα υλικά που χρησιμοποιούνται για την κατασκευή του. Για το λόγο αυτό η ποιότητα ποικίλει μεταξύ των διαφόρων προϊόντων που υπάρχει στο εμπόριο (Μαυρογιαννόπουλος Γ, 2001).

1.4.5 Παράγοντες του θερμοκηπίου που καθορίζουν την ανάπτυξη των φυτών

Ηλιακή ακτινοβολία

Η ηλιακή ακτινοβολία αποτελεί το κυριότερο μέσο για τη φωτοσύνθεση των φυτών και τις υπόλοιπες φυσιολογικές λειτουργίες του, όπως επίσης εξασφαλίζει τη θέρμανση του θερμοκηπίου κατά τη διάρκεια της ημέρας ('Ρύθμιση συνθηκών περιβάλλοντος θερμοκηπίου', 2016).

Ένα σημαντικό ποσοστό ηλιακής ακτινοβολίας περιορίζεται στην εξωτερική επιφάνεια του θερμοκηπίου και αδυνατεί να εισέλθει σε αυτό, διότι αντανακλάται ή απορροφάται από το υλικό κάλυψης ή «πέφτει» στον σκελετό του θερμοκηπίου με αποτέλεσμα να δημιουργούνται σκιές στο εσωτερικό του θερμοκηπίου. Είναι γνωστό ότι κατά τη διάρκεια του χειμώνα, η είσοδος της ηλιακής ακτινοβολίας στο θερμοκήπιο είναι ιδιαίτερα απαραίτητη, όπως είναι και κρίσιμος παράγοντας που καθορίζει την ανάπτυξη και παραγωγικότητα των φυτών ('Ρύθμιση συνθηκών περιβάλλοντος θερμοκηπίου', 2016).

Σε περιόδους υψηλής έντασης της ακτινοβολίας, που έχει ως συνέπεια την υψηλή άνοδο της θερμοκρασίας στο εσωτερικό του θερμοκηπίου και κατ' επέκταση την καταστροφή των φυτών, εφαρμόζεται σκίαση με διάφορους τρόπους για να μειωθεί η περατότητα του υλικού κάλυψης (π.χ. με εφαρμογή μπογιάς λευκού χρώματος ή με κουρτίνες σκίασης εσωτερικά του θερμοκηπίου. Τα σύγχρονα θερμοκήπια έχουν κουρτίνες σκίασης οι οποίες ανοίγουν και κλείνουν με εντολές από φωτοκύτταρα ή και με πρόγραμμα ηλεκτρονικού υπολογιστή ('Ρύθμιση συνθηκών περιβάλλοντος θερμοκηπίου', 2016).

Θερμοκρασία

Η θερμοκρασία παίζει πολύ σημαντικό ρόλο στην ανάπτυξη των φυτών, αφού κάποιες από τις βασικές φυσιολογικές λειτουργίες του φυτού (φωτοσύνθεση, αναπνοή, διαπνοή και γενικά ο μεταβολισμός)

επηρεάζονται από αυτή την παράμετρο. Ωστόσο, η θέρμανση αποτελεί τον πιο σημαντικό καταναλωτή ενέργειας του θερμοκηπίου κατά τη διάρκεια του χειμώνα και αντιπροσωπεύει ένα σημαντικό μέρος του συνολικού κόστους λειτουργίας του.

Η οικονομικά άριστη θερμοκρασία, ημέρας και νύκτας, που πρέπει να διατηρείται στο θερμοκήπιο καθορίζεται από τους εξής παράγοντες:

- A. Το είδος του φυτού. Τα περισσότερα φυτά που καλλιεργούνται στο θερμοκήπιο είναι ευπαθή στο ψύχος (0 έως 12°C). Σε θερμοκρασίες χαμηλότερες των 13°C τα φυτά δεν παράγουν ικανοποιητικά τόσο σε ποσότητα όσο και σε ποιότητα.
- B. Το στάδιο ανάπτυξης του φυτού. Γενικά η απαιτούμενη άριστη θερμοκρασία μειώνεται όσο αυξάνεται η ηλικία του φυτού.
- Γ. Τον προγραμματισμό του χρόνου συγκομιδής. Για πρόωμη συγκομιδής η θερμοκρασία διατηρείται σε υψηλά επίπεδα (‘Ρύθμιση συνθηκών περιβάλλοντος θερμοκηπίου’, 2016).

Η τεχνητή θέρμανση στο θερμοκήπιο μπορεί να επιτευχθεί με τους εξής τρόπους:

- 1. Χρήση αερόθερμου
- 2. Χρήση λέβητα ζεστού νερού (‘Συστήματα θέρμανσης’, 2015)



Εικόνα 14: Αξονικά αερόθερμα (πηγή: plant protection)



Εικόνα 15: Λέβητας θέρμανσης νερού (πηγή: μηχαν/γεωπ-blogger)

Επιπλέον, σε διάφορες άλλες χώρες για τη θέρμανση των θερμοκηπίων αξιοποιείται η ηλιακή ενέργεια ως βοηθητικό μέτρο και όχι ως κύριο, λόγω του υψηλού κόστους των ηλιακών συλλεκτών. Αντίθετα, χρησιμοποιούνε ως κύριο μέσο τη γεωθερμική ενέργεια, όταν υπάρχουν διαθέσιμα θερμά γεωργικά πεδία στην περιοχή.



Εικόνα 16: Γεωθερμική ενέργεια (πηγή: energia.gr)

Δροσισμός του θερμοκηπίου

Απαραίτητη είναι η εφαρμογή κλιματιστικών, ανεμιστήρων ή άλλων μεθόδων κατά τους καλοκαιρινούς μήνες, διότι δεν ο επαρκής εξαερισμός για τη μείωση της θερμοκρασίας στα επιθυμητά επίπεδα. Γι' αυτό απαιτείται η εφαρμογή τους για την σωστή ανάπτυξη των φυτών. Οι συνηθέστεροι τρόποι είναι οι εξής:

- A. Βάψιμο του υλικού κάλυψης ή εγκατάστασης κουρτίνας εσωτερικά ή εξωτερικά του θερμοκηπίου.
- B. Σύστημα δροσισμού με εξάτμιση νερού
 - Σύστημα ανεμιστήρων εξαγωγής αέρα



Εικόνα 17: Δροσισμός θερμοκηπίου με συστήματα ανεμιστήρων εξαγωγής αέρα (πηγή: mo.gov.sy)

- Σύστημα υδρονέφωσης υψηλής πίεσης (fog system) (‘Συστήματα θέρμανσης’, 2015)



Εικόνα 18: Δροσισμός θερμοκηπίου με υδρονέφωση (πηγή: hortitech)

Υγρασία

Η υγρασία ελέγχεται στα θερμοκήπια για διάφορους λόγους. Οι δύο κύριοι λόγοι α) είναι η αποφυγή της μυκητισιακής προσβολής στα φυτά και β) η ρύθμιση της διαπνοής τους. Ως ιδανική υγρασία συνιστάται να κυμαίνεται στο 60% με 80% για υγιή ανάπτυξη των φυτών. Σε αυτά τα επίπεδα μειώνεται η ανάγκη των φυτών για νερό, ελέγχεται ο ρυθμός φωτοσύνθεσής τους και μειώνονται οι προσβολές των φυτών από ασθένειες ('Sustainable Greenhouse Systems. in "Sustainable Agriculture: Technology, Planning and Management", 2010).

Μείωση της σχετικής υγρασίας του αέρα του θερμοκηπίου: Κατά τις ψυχρές περιόδους του έτους, ιδιαίτερα τη νύχτα, πρέπει να μειώνεται η σχετική υγρασία εντός του θερμοκηπίου για να αποφευχθεί ο κίνδυνος προσβολής των φυτών από ασθένειες. Αυτό μπορούμε να το πετύχουμε είτε με θέρμανση είτε με εξαερισμό (για εισαγωγή αέρα με χαμηλότερη περιεκτικότητα σε υδρατμούς) ή καλύτερα με τον συνδυασμό και των δύο. Αντίθετα, σε θερμές περιόδους, όπου η θερμοκρασία στα θερμοκήπια διατηρείται αναγκαστικά σε υψηλά επίπεδα, η μόνη λύση για μείωση της σχετικής υγρασίας είναι ο εξαερισμός ('Συστήματα θέρμανσης', 2015).

Αύξηση της σχετικής υγρασίας του αέρα του θερμοκηπίου: Κατά τις περιόδους με μεγάλη ηλιοφάνεια η σχετική υγρασία του αέρα μπορεί να μειωθεί σε επικίνδυνα επίπεδα για τα φυτά λόγω υψηλής θερμοκρασίας. Επίσης, το χειμώνα όταν το θερμοκήπιο θερμαίνεται τεχνητά, είναι δυνατό να μειωθεί η σχετική υγρασία.

- Σύστημα υδρονέφωσης υψηλής πίεσης.
- Χρήση συστήματος δροσίσιμου που ψύχει τον αέρα με εξάτμιση νερού ('Συστήματα θέρμανσης', 2015) ('Sustainable Greenhouse Systems. in "Sustainable Agriculture: Technology, Planning and Management", 2010).

Διοξείδιο του άνθρακα (CO₂)

Για θερμοκηπιακές καλλιέργειες υψηλής απόδοσης και ποιότητας μπορεί να χρειαστεί η πρόσληψη διοξειδίου του άνθρακα (CO₂) σε υψηλότερα ποσοστά από αυτή που επιτρέπονται από την τυπική ατμοσφαιρική συγκέντρωση (350-370 ppm). Ο εμπλουτισμός της ατμόσφαιρας του θερμοκηπίου με συγκεντρώσεις CO₂ άνω των 1000 ppm, έχει αποδειχθεί ότι είναι ευεργετική, με αυξήσεις στους ρυθμούς ανάπτυξης των φυτών και σε ορισμένες περιπτώσεις αυξήσεις στην ποιότητα των προϊόντων.

Από την άλλη πλευρά, σε καλά σφραγισμένα θερμοκήπια και ιδίως σε αυτά που έχουν πλαστικό γι αυλικό κάλυψη, εξαιτίας της φωτοσύνθεσης των φυτών και της πρόσληψης διοξειδίου του άνθρακα από αυτά, η συγκέντρωση CO₂ εντός του θερμοκηπίου μπορεί να είναι σε πολύ χαμηλότερα επίπεδα από εκείνα που βρίσκονται εκτός του θερμοκηπίου. Αυτό θα έχει ως αποτέλεσμα τη δραματική μείωση της ανάπτυξης των φυτών και της απόδοσής τους ('Sustainable Greenhouse Systems. in "Sustainable Agriculture: Technology, Planning and Management", 2010).



Εικόνα 19: Δεξαμενή για εμπλουτισμό διοξειδίου του άνθρακα στο εσωτερικό του θερμοκηπίου (πηγή: hortitech)

Εξαερισμός

Ο πρωταρχικός σκοπός του αερισμού είναι να αποτρέψει την υπερβολική αύξηση της θερμοκρασίας και υγρασίας. Αυτό επιτυγχάνεται αντικαθιστώντας τον ζεστό και υγρό αέρα του θερμοκηπίου με τον περιβαλλοντικά ψυχρότερο και ξηρότερο αέρα. Σε ορισμένες περιπτώσεις, εφαρμόζεται για να αποτρέψει την αύξηση του διοξειδίου του άνθρακα που προκαλείται από τη φωτοσύνθεση των φυτών. Ταυτόχρονα, ο εξαερισμός μπορεί να μειώσει τη συγκέντρωση αερίων κατά τη διάρκεια του χειμώνα που προκαλείται από τις μονάδες πετρελαίου θέρμανσης ('Sustainable Greenhouse Systems. in "Sustainable Agriculture: Technology, Planning and Management", 2010).

Μέθοδοι εξαερισμού του θερμοκηπίου:

- Με τη χρήση παραθύρων οροφής και πλευρικών.
- Με τη χρήση ανεμιστήρων «εξαγωγής» αέρα (εξαεριστών) σε συνδυασμό συνήθως με σύστημα δροσισμού ('Συστήματα θέρμανσης', 2015).



Εικόνα 20: Ανακυκλωτής αέρα (πηγή: moa.gov.sy)



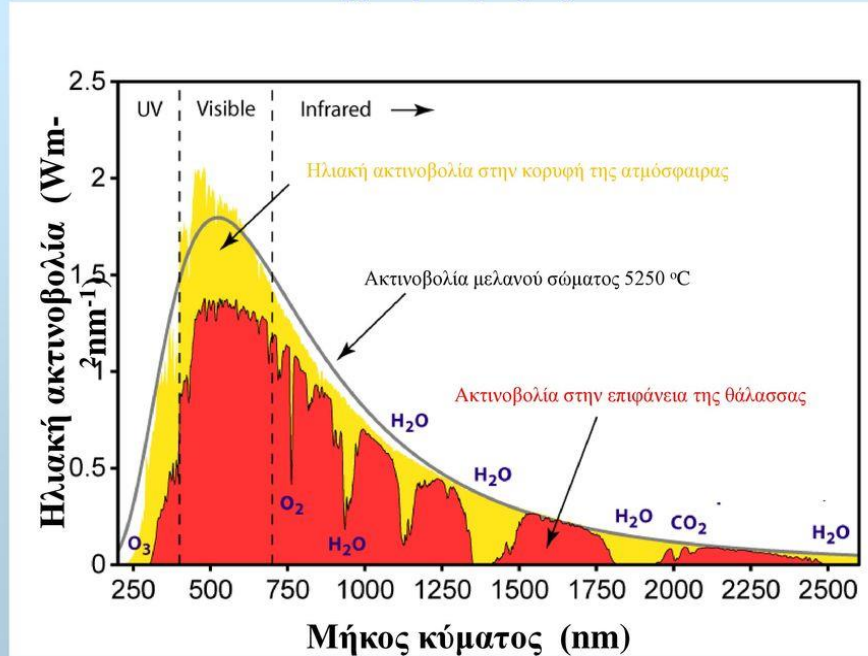
Εικόνα 21: Ανεμιστήρας ψύξης (πηγή: moa.ov.sy)

1.5 Ακτινοβολία, κάλυψη θερμοκηπίου και θερμοκρασία

1.5.1 Ηλιακή ακτινοβολία

Η ηλιακή ακτινοβολία είναι το σύνολο της ηλεκτρομαγνητικής ακτινοβολίας που εκπέμπεται από τον ήλιο και φτάνει στην επιφάνεια της γης με μήκη κύματος που κυμαίνονται από 300 έως 2500 nm.

Φάσμα ηλιακής ακτινοβολίας και απορρόφηση από τα συστατικά της ατμόσφαιρας



Εικόνα 22: Φάσμα ηλιακής ακτινοβολίας και απορρόφησης από τα συστατικά της ατμόσφαιρας

Για τη γεωργική παραγωγή είναι απαραίτητη να χωριστεί το ηλιακό φάσμα σε τρεις περιοχές μήκους κύματος: την υπεριώδη (UV, με εύρος μεταξύ 300 και 400 nm), τη φωτοσυνθετικά ενεργό ακτινοβολία (PAR, από 400 έως 700 nm) και την κοντινή υπέρυθρη (NIR, από 700 έως 2500 nm). Η PAR είναι το μέρος του φάσματος της ακτινοβολίας που χρησιμοποιούν τα φυτά για τη φωτοσύνθεση και είναι επίσης μέσα στο εύρος του φάσματος που μπορούμε να δούμε). Η UV και η NIR δεν συμβάλλουν στη φωτοσύνθεση, αλλά ορισμένες διαδικασίες ανάπτυξης των καλλιεργειών μπορεί να εξαρτώνται από αυτές (Cecilia Stanghellini, Bert van't Ooster, 2019).

Ένα από τους πιο σημαντικούς παράγοντες που επηρεάζουν την ανάπτυξη των φυτών είναι η ηλιακή ακτινοβολία που παρεμποδίζεται από την καλλιέργεια. Η ηλιακή ακτινοβολία μεταφέρει ενέργεια στη μεταβολική διαδικασία των φυτών. Η κύρια διαδικασία είναι η φωτοσυνθετική αφομοίωση, οι οποία συνθέτει τα φυτικά συστατικά από το νερό, το CO₂ και την ενέργεια του φωτός (Μπιλάλης, Δημήτριος, Παπαστυλιανού, Παναγιώτα-Θηρεσία, Τραυλός, 2019).

1.5.2 Δείκτες ανάπτυξης φυτών (LAI, PAR)

Δείκτης φυλλικής επιφάνειας (LAI)

Η φυλλική επιφάνεια είναι η φωτοσυνθετική επιφάνεια που παράγεται από το μεμονωμένο φυτό σε μια χρονική περίοδο και εκφράζεται σε cm^2 ανά φυτό. Η σημασία της επιφάνειας των φύλλων σχετίζεται με τις βασικές μεταβολικές διεργασίες των φυτών, όπως η φωτοσύνθεση και η αναπνοή (Μπιλάλης, Δημήτριος, Παπαστυλιανού, Παναγιώτα-Θηρεσία, Τραυλός, 2019). Ο δείκτης φυλλικής επιφάνειας (Light Area Index) υπολογίζεται ως τα τετραγωνικά μέτρα της πράσινης επιφάνειας των φύλλων ανά τετραγωνικό μέτρο (m^2m^{-2}). Όταν ο LAI είναι χαμηλός, τότε μέρος του ηλιακού φωτός δεν προσπίπτει στην καλλιέργεια και συνεπώς δεν χρησιμοποιείται για φωτοσύνθεση. Η εξίσωση που δίνει τον δείκτη φυλλικής επιφάνειας είναι η παρακάτω (Cecilia Stanghellini, Bert van't Ooster, 2019):

$$LAI = \frac{\text{επιφάνεια φυλλώματος φυτού}}{\text{επιφάνεια εδάφους}}$$

PAR

Το PAR είναι η φωτοσυνθετικά ενεργή ακτινοβολία (Photosynthetic Active Radiation) και είναι ένας όρος που αναφέρεται στην ποσότητα φωτός εντός του εύρους μήκους κύματος 400 έως 700 nm. Αυτό είναι το εύρος φωτός που εντάσσεται εντός του ορατού εύρους φωτός που χρησιμοποιείται από τα φυτά για φωτοσύνθεση. Εκφράζει τον ποσοτικό προσδιορισμό έντασης του φωτός. Μονάδα μέτρησης: ($\mu \times \text{mol} \times \text{m}^{-2} \times \text{S}^{-1}$) (Jim Brown, 2006) (*About PAR, PPF, And PPFD - Fluence By OSRAM*, 2016).

1.5.3 Ανάκλαση, απορρόφηση και μετάδοση της ηλιακής ακτινοβολίας

Όποιο και αν είναι το υλικό κάλυψης του θερμοκηπίου (είτε πλαστικό είτε γυαλί) κάνει πάντα τρεις ενέργειες: αντανακλά, απορροφά και μεταδίδει ηλιακή ακτινοβολία. Θεωρητικά το άθροισμά αυτών των τριών ενεργειών πρέπει να ισούται με τη μονάδα. Η μετάδοση-διαπερατότητα πρέπει να είναι όσο το δυνατόν μεγαλύτερη, οπότε η ανάκλαση και η απορρόφηση πρέπει να είναι μικρότερες.

Η ανάκλαση μπορεί να τροποποιηθεί με επιχρίσματα λη δομές στην επιφάνεια των σκληρών υλικών. Η απορρόφηση εξαρτάται από τη «θολερότητα» του υλικού και το πάχους του. Έτσι, η καταλληλότητα ενός υλικού θερμοκηπίου εξαρτάται από το συνδυασμένο αποτέλεσμα της αντοχής του (πάχος) και της διαφάνειάς του.

Η ακτινοβολία μόλις εισέλθει στο θερμοκήπιο έχει δύο αποτελέσματα: χρησιμοποιείται στη φωτοσύνθεση (η συνιστώσα της PAR) και η ενέργεια που μεταφέρει θερμαίνει τα πάντα, την καλλιέργεια, όλα τα μέρη του θερμοκηπίου και τον εξοπλισμό που περιλαμβάνει. Πρέπει να σημειωθεί ότι παίζει πολύ σημαντικό ρόλο σε ποια περιοχή στον κόσμο βρίσκεται το θερμοκήπιο, διότι αλλάζει η κλίση της ακτινοβολίας που προσπίπτει στο θερμοκήπιο, καθώς και την εποχή.

Όσον αφορά τα φωτόφιλα φυτά, δεν υπάρχει ποτέ αρκετή PAR. Ένα απλό φύλλο μπορεί να φθάσει στο όριο της φωτοσυνθετικής του ικανότητας, αλλά ολόκληρο το φύλλωμα σπάνια είναι κορεσμένο σε φως. Ωστόσο, στις περισσότερες κλιματικές ζώνες υπάρχει μία σχετικά σκοτεινή εποχή που το φως γίνεται ο περιοριστικός παράγοντας για την αύξηση των καλλιεργειών. Αυτός είναι ο λόγος που οι καλλιεργητές ενδιαφέρονται ιδιαίτερα για τη διαπερατότητα του καλύμματος όταν επενδύουν σε ένα θερμοκήπιο.

Σήμερα, υπάρχουν σύγχρονες τεχνικές (καλύμματα θερμοκηπίου με υψηλό συντελεστή διάχυσης) που αυξάνουν τη σκέδαση (διασκορπισμός των φωτεινών ακτινών) χωρίς να μειώνεται η διαπερατότητα. Αυτές οι σύγχρονες τεχνικές έχουν αποδείξει ότι αυξάνουν την παραγωγικότητα των θερμοκηπιακών καλλιεργειών (Cecilia Stanghellini, Bert van't Ooster, 2019).

1.5.4 Φωτοσύνθεση σε επίπεδο θερμοκηπιακής καλλιέργειας

Η φωτοσύνθεση είναι η βασική διαδικασία για την αύξηση των φυτών. Το φυτό παράγει σάκχαρο από διοξείδιο του άνθρακα και νερό και το φως παρέχει την ενέργεια για αυτή τη διαδικασία (Jim Brown, 2006). Η φωτοσύνθεση στο επίπεδο της καλλιέργειας μπορεί να υπολογιστεί ως συνάρτηση της προσπίπτουσας ακτινοβολίας.

Η φωτοσύνθεση της καλλιέργειας δείχνει μία στενή σχέση με την ποσότητα του προσπίπτοντος φωτός. Ως εκ τούτου, ο LAI είναι πολύ σημαντικός. Σε μια τιμή LAI ίση με ένα, μόνο το μισό από το φως δεσμεύεται, επομένως σε κάθε επίπεδο η φωτοσύνθεση είναι μάλλον χαμηλή. Μία τιμή LAI ίση με δύο έχει ως αποτέλεσμα περίπου 80% πρόσληψη. Σε υψηλές εντάσεις φωτός, η φωτοσύνθεση στο επίπεδο καλλιέργειας θα εξισορροπηθεί, επειδή τα φύλλα στην κορυφή της καλλιέργειας έχουν φθάσει στον κορεσμό του φωτός. Ωστόσο, η φωτοσύνθεση στο επίπεδο καλλιέργειας φθάνει σε κορεσμό σε αρκετά μεγαλύτερα επίπεδα απ' ό,τι στη φωτοσύνθεση φύλλων, καθώς τα χαμηλότερα φύλλα των φυτών της καλλιέργειας σκιάζονται και τα επίπεδα της ακτινοβολίας που λαμβάνουν είναι πολύ χαμηλότερα από τα επίπεδα κορεσμού. Αυτό σημαίνει, ότι για αυτά τα φύλλα, περισσότερο φως θα βελτιώσει ακόμη περισσότερο τη φωτοσύνθεση (Cecilia Stanghellini, Bert van't Ooster, 2019).

1.5.5 Επίδραση του φάσματος φωτός στα φυτά

Έχουν διεξαχθεί πολλές μελέτες σχετικά με τον τρόπο με τον οποίο τα διαφορετικά χρώματα των φώτων μπορούν να έχουν ποικίλες επιπτώσεις στην ανάπτυξη ενός φυτού. Χάρη στα σύγχρονα τεχνολογικά συστήματα, μπορούν να απομονωθούν ειδικά μήκη κύματος φωτός για τον έλεγχο των διαφορετικών φυσικών ιδιοτήτων που εμφανίζει ένα φυτό καθώς αναπτύσσονται καθ' όλη τη διάρκεια του κύκλου ζωής τους. Αυτές οι ιδιότητες περιλαμβάνουν το ύψος, το χρώμα, το βάρος και την υφή, καθώς και τη χημική ισορροπία του ίδιου του φυτού. Καθώς αναπτύσσεται ένα φυτό μπορούν να χρησιμοποιηθούν τα φώτα LED για τη ρύθμιση των φυτικών χαρακτηριστικών. Οι επιδράσεις του κάθε χρώματος του φωτός επί της ανάπτυξης:

- **Υπεριώδεις ακτινοβολία (200 έως 380 nm):** Η έκθεση για μεγάλο χρονικό διάστημα σε αυτόν τον τύπο φωτός βλάπτει τα φυτά. Σύμφωνα με έρευνες, τα φυτά που δεν εκτίθενται στο υπεριώδες φως, έδειξαν αυξημένη ανάπτυξη.

- **Ιώδες (380 έως 455 nm):** Όταν φυτά λαμβάνουν ορατό ιώδες φως, βελτιώνονται το χρώμα, η γεύση και το άρωμά τους, καθώς επίσης τα αντιοξειδωτικά τους είναι σε θέση να εκτελούν καλύτερα τις λειτουργίες τους με αποτέλεσμα να εμποδίζεται η φθορά των κυττάρων.
- **Μπλε (450 έως 495 nm):** Το μπλε έχει τα καλύτερα αποτελέσματα στην ανάπτυξη του φυτού. Μελέτες έχουν δείξει ότι η έκθεση του φυτού σε αυτόν τον τύπο φωτός επηρεάζει τον σχηματισμό χλωροφύλλης, που επιτρέπει το φυτό να καταναλώσει περισσότερη ενέργεια από τον ήλιο. Ακόμη, η κυτταρική αναπνοή του φυτού ελέγχεται πιο αποτελεσματικά και μειώνεται η απώλεια νερού μέσω της εξάτμισης κατά τη διάρκεια θερμών και ξηρών συνθηκών.
- **Πράσινο (495 έως 570 nm):** Το πράσινο χρώμα που έχουν τα φυτά οφείλεται στο γεγονός οφείλεται στο γεγονός ότι απορροφούν όλα τα χρώματα στο φάσμα του φωτός (μπλε, κόκκινο, μοβ κλπ), αλλά αντικατοπτρίζουν το πράσινο χρώμα. Ακόμη και αν αυτό το χρώμα έχει σχετικά χαμηλή απορροφούμενη ποσότητα σε σχέση με τα υπόλοιπα, το πράσινο φως ενισχύει την παραγωγή χλωροφύλλης, η οποία βοηθά στη φωτοσύνθεση.
- **Κίτρινο (570 έως 590 nm):** Το κίτρινο έχει παρόμοιο μήκος κύματος με το πράσινο χρώμα και παρουσιάζουν και τα δύο παρόμοιες ιδιότητες στα φυτά. Το κίτρινο δεν συμβάλλει στη φωτοσύνθεση, διότι το μήκος κύματος του φωτός αντανάκλαται και δεν απορροφάται. Επιπλέον, όταν ένα φυτό εκτίθεται σε κίτρινο φως, μειώνεται η ανάπτυξή του σε σύγκριση με το μπλε και το κόκκινο.
- **Κόκκινο (620 έως 720 nm):** Το κόκκινο φως είναι και αυτός ένα πολύ βασικός παράγοντας για την βέλτιστη ανάπτυξη των φυτών. Μεμονωμένα σαν φως δεν έχει κάποιο σοβαρό αντίκτυπο, αλλά σε συνδυασμό με το μπλε φως, συμβάλλει θετικά στην ανθοφορία.
- **Υπέρυθρο (720 έως 1000 nm):** Παρ' όλο που παρατηρείται μικρή απορρόφηση με αυτόν τον τύπο φωτός, παίζει σημαντικό ρόλο στη βλάστηση και στην ανθοφορία των φυτών (Μπιλάλης, Δημήτριος, Παπαστυλιανού, Παναγιώτα-Θηρεσία, Τραυλός, 2019).

1.6 Θερμοκηπιακή καλλιέργεια βιομηχανικής κάνναβης και φωτισμός

1.6.1 Φωτοπερίοδος βιομηχανικής κάνναβης

Η κάνναβη είναι ένα φυτό μικρής ημέρας και τα φυτά αυτά αλλάζουν από το στάδιο της βλαστικής ανάπτυξης στο στάδιο της ανάπτυξης των ανθέων όταν εκτίθενται σε περιόδους με μικρή διάρκεια ημέρας. Για την κάνναβη αυτό σημαίνει 12 ώρες φωτισμό για να προκαλέσει την άνθιση. Οι περισσότεροι παραγωγοί ωστόσο, προτιμούν στο βλαστικό στάδιο να κρατήσουν την κάνναβη εκτεθειμένη στο φως από 16 μέχρι 18 ώρες.

Η κάνναβη που καλλιεργείται υπαίθρια αλλάζει τα στάδια ανάπτυξης καθώς αλλάζουν και οι περιβαλλοντικές της συνθήκες με φυσικό τρόπο. Όταν καλλιεργείται σε θερμοκήπιο, οι παραγωγοί μπορούν να επωφεληθούν από το πλεονέκτημα που λέγεται φωτοπερίοδος. Διότι με αυτόν τον τρόπο μπορούν να μειώσουν ή να παρατείνουν τον χρόνο καλλιέργειας.

1.6.2 Φωτοσύνθεση κάνναβης

Η φωτοσύνθεση είναι μία σημαντική μεταβολική διαδικασία στην ανάπτυξη των φυτών. Περισσότερο από το 90% της ξηράς ύλης του φυτού δημιουργείται λόγω της φωτοσύνθεσης και της διαδικασίας μετατροπής του διοξειδίου του άνθρακα. Οι αυξήσεις των συγκεντρώσεων του διοξειδίου του άνθρακα μπορούν να επιταχύνουν την ανάπτυξη των φυτών και να βελτιώσουν τη φωτοσυνθετική παραγωγικότητα. Έρευνες έχουν αποδείξει ότι ο διπλασιασμός των συγκεντρώσεων διοξειδίου του άνθρακα αυξάνει τη συνολική απόδοση καλλιέργειας έως και 30%.

Για να καταφέρουν τα φυτά να επεξεργαστούν όσο το δυνατόν μεγαλύτερη ποσότητα διοξειδίου του άνθρακα μπορούν, πρέπει να έχουν καλό φωτισμό και κατάλληλη θερμοκρασία για να τροφοδοτήσουν αυτή την διαδικασία. Η φωτοσυνθετική πρόσληψη διοξειδίου του άνθρακα και η παραγωγή φυτικού υλικού σε καλλιέργεια κάνναβης βελτιστοποιούνται όταν διατηρούνται σε θερμοκρασία 25°C περίπου.

1.6.3 Ανακλαστικά υλικά για διασπορά φωτός

Η ανακλαστικότητα ενός υλικού είναι η ικανότητά του να αντανακλά το φως χωρίς να το απορροφά ή να το διαχέει ή να αλλάζει την ποιότητα και την ένταση ή το φάσμα. Οι ανακλαστήρες μέσα στους λαμπτήρες μεγιστοποιούν την απόδοση, αλλά για να βελτιώσουν πραγματικά τον φωτισμό, οι παραγωγοί χρησιμοποιούν υλικά μέσα στο θερμοκήπιο, που είναι και έχουν και αυτά ανακλαστική ιδιότητα, όπως είναι το mylar, visqueen, astrofil και foylon. Επίσης όπως προαναφέρθηκε, αρκετοί παραγωγοί βάφουν με λευκό χρώμα την εξωτερική επιφάνεια του υλικού κάλυψης για να γίνει η διασπορά του φωτός σε όλο το εσωτερικό του θερμοκηπίου.

Όταν το φως αντανακλάται από όλες τις γωνίες του θερμοκηπίου, τότε μέχρι και τα χαμηλότερα τμήματα του φυτού της κάνναβης μπορούν να λάβουν περισσότερο φως. Εάν τα χαμηλότερα τμήματα της κάνναβης δεν λάβουν τόσο φως όσο το πάνω μέρος του φυτού, η ανάπτυξή τους θα μειωθεί και οι οφθαλμοί τους θα χρειαστούν περισσότερο χρόνο για να ωριμάσουν.

1.6.4 Φύλλωμα κάνναβης

Όσον αφορά το φύλλωμα της κάνναβης, έρευνες έδειξαν ότι δεν έχει καμία επίδραση στη μάζα του φυλλώματος. Αντιθέτως, σχετικά με την ταξιανθία της, η μάζα των ανθέων της αυξήθηκε επειδή ανταποκρίθηκε στο αυξημένο σε ένταση φως. Η αύξηση της έντασης του φωτός αύξησε επίσης την αναλογία των ανθέων ανά φυτό κάνναβης.

1.6.5 Όρια φωτοσύνθεσης της κάνναβης

Δεν αποδείχθηκε κανένα όφελος για το βάρος των φυτών με επίπεδα ακτινοβολίας άνω των 300 W/m² PAR, που αυτό θα μπορούσε να είναι το σημείο κορεσμού για την κάνναβη. Τα γραμμάρια ταξιανθίας ανά Watt αυξήθηκαν στα 1,2 g/W όταν η ακτινοβολία στα 400 W/m² από τα 600 W/m² και στα 1.6 g/W με 270 W/m² (Chandra *et al.*, 2008) (Downer, 2018).

Κεφάλαιο 2: ΣΚΟΠΟΣ ΜΕΛΕΤΗΣ

Η μελέτη αυτή πραγματοποιήθηκε με σκοπό την εξαγωγή συμπερασμάτων και αποτελεσμάτων όσον αφορά την θερμοκηπιακή καλλιέργεια βιομηχανικής κάνναβης και την επίδραση τριών πλαστικών κάλυψης θερμοκηπίου στην ανάπτυξη και στις αποδόσεις των φυτών κάνναβης. Μπορεί να λειτουργήσει επίσης και ως ένας χρήσιμος οδηγός αυτής της καινοτόμας θερμοκηπιακής καλλιέργειας, καθώς και σύμβουλος για την καταλληλότερη επιλογή υλικών κάλυψης και κατασκευής θερμοκηπίου.

Κεφάλαιο 3: ΥΛΙΚΑ ΚΑΙ ΜΕΘΟΔΟΙ

3.1 Γενικά

Στην παρούσα μελέτη καλλιεργήθηκε βιομηχανική κάνναβη (*Cannabis Sativa L.*) και συγκεκριμένα ποικιλίας USO. Χρησιμοποιήθηκαν τρία θερμοκήπια με διαφορετικά υλικά κάλυψης (όπου το ένα από τα τρία είναι ο μάρτυρας) και οι σπορά των φυτών έγινε σε γλάστρες.

Η καλλιέργεια έλαβε χώρα στον βιολογικό αγρό του Εργαστηρίου Γεωργίας του Γεωπονικού Πανεπιστημίου Αθηνών (37°59'03.8"N 23°42'07.8"E). Ο αγρός του εργαστηρίου Γεωργίας υφίσταται βιολογική διαχείριση από το 1995. Η καλλιέργεια βιομηχανικής κάνναβης πραγματοποιήθηκε από 1 Απριλίου μέχρι 25 Ιουνίου 2020 (86 DAS). (*DAS* → *Days After Sowing*)



Εικόνα 23: Περιοχή εγκατάστασης καλλιέργειας θερμοκηπίων βιομηχανικής κάνναβης, αγρός εργαστηρίου Γεωργίας, Γεωπονικού Πανεπιστημίου Αθηνών (πηγή: google maps)

Επειδή τα θερμοκήπια χτίστηκαν το 2020, δεν φαίνονται στον χάρτη. Παρακάτω είναι η εικόνα των θερμοκηπίων.



Εικόνα 24: Μέρος πειράματος (προσωπικό αρχείο)

3.2 Φυτικό υλικό

Το φυτικό υλικό που χρησιμοποιήθηκε για την καλλιέργεια κάνναβης είναι της ποικιλίας USO και τα χαρακτηριστικά του αναγράφονται στον παρακάτω πίνακα:

ΣΤΟΙΧΕΙΑ ΦΥΤΙΚΟΥ ΥΛΙΚΟΥ	
Είδος	Cannabis Sativa L.
Ποικιλία	USO
Γονοτυπική έκφραση	Μόνοικη
Ύψος φυτού στην ωριμότητα	200 - 250 cm
Περιεκτικότητα σε THC	<0.06%
Περιεκτικότητα σε CBD	0.5 - 1%
Περιεκτικότητα σπόρου σε λάδι	28 - 30%
Χώρα προέλευσης	Ουκρανία
Απόδοση σε σπόρο	0.8 - 1 t/ha
Απόδοση σε ίνα/στέλεγχος	30 - 35%
Απόδοση σε βιομάζα	6 - 8 t/ha
Βιολογικός κύκλος	<125 ημέρες

Πίνακας 3: Στοιχεία φυτικού υλικού

3.3 Πειραματική διαδικασία

Σε πείραμα τριών θερμοκηπίων με διαφορετικά υλικά κάλυψης της εταιρείας “Πλαστικά Κρήτης”, χρησιμοποιήθηκαν 600 γλάστρες με υπόστρωμα χώμα και κομπόστ αναλογίας (1:1). Η προετοιμασία των γλαστρών ξεκίνησε 20 Μαΐου 2020 και όταν τελειοποιήθηκαν έγινε η σπορά 1^η Απριλίου 2020 με εφαρμογή βιολογικού παράγοντα *Trichoderma harzianum* (ενισχυτικό ρίζας) δοσολογίας 50 γραμμαρίων στα 4 λίτρα. Μέσα στο θερμοκήπιο έγινε η διάταξη των γλαστρών σε 4 ομάδες με απόσταση 2 μέτρου η κάθε ομάδα και περίπου 50 εκατοστά μεταξύ των γλαστρών. Επίσης, η συχνότητα των ποτισμάτων ήταν κάθε δύο μέρες.



Εικόνα 25: Προετοιμασία και γέμισμα γλαστρών (προσωπικό αρχείο)

Η ανάδυση των φυτών ξεκίνησε περίπου μετά από 10 μέρες που έγινε η σπορά.



Εικόνα 26: Ανάδυση των φυτών (προσωπικό αρχείο)

Και τέλη Ιουνίου έφτασε στο τελικό (για το πείραμα) στάδιό της.



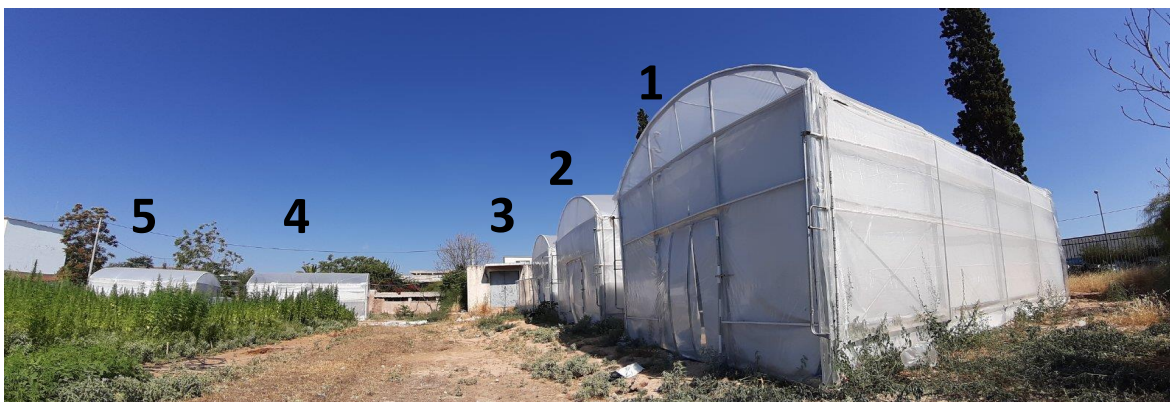
Εικόνα 27: Τελικό στάδιο ανάπτυξης κάνναβης (προσωπικό αρχείο)

3.4 Διάταξη των πλαστικών κάλυψης στα θερμοκήπια και τεχνικές προδιαγραφές

Παρακάτω αναγράφεται η διάταξη των πλαστικών των θερμοκηπίων και τι συνδυασμοί έχουν γίνει. Να σημειωθεί ότι αργότερα τοποθετήθηκαν και κουρτίνες συσκότισης περίπου αρχές Ιουνίου.

ΔΙΑΤΑΞΗ ΤΩΝ ΠΛΑΣΤΙΚΩΝ ΚΑΛΥΨΗΣ		
Θερμοκήπια	Μέσα	Έξω
1	EVO 7551 AC	EVO 7526 AC
2	EVO 7507 AC	EVO 7526 AC
4 (Μάρτυρας)	EVO 7551 AC	-

Πίνακας 4: Διάταξη πλαστικών κάλυψης



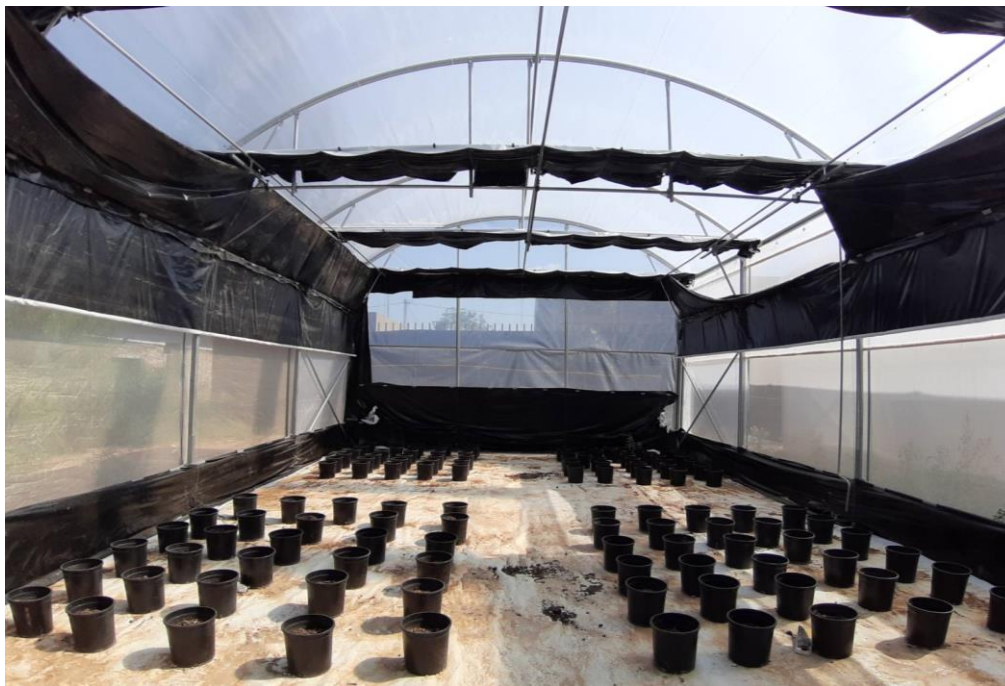
Εικόνα 28: Αρίθμηση των θερμοκηπίων (προσωπικό αρχείο)

Τεχνικές προδιαγραφές πλαστικών:

ΠΛΑΣΤΙΚΑ	TYPICAL VALUES		
	Total Light Transmission (400-700 nm) (%)	Diffusion (400-700 nm) (%)	UV Transmission (300-390 nm) (%)
EVO 7507 AC	> 89	55	>60
EVO 7526 AC	>91	18	>60
EVO 7551 AC	>91	18	>70

Πίνακας 5: Τεχνικές προδιαγραφές πλαστικών

Στην παρακάτω εικόνα απεικονίζεται η διάταξη των πλαστικών εντός θερμοκηπίου μαζί με τις κουρτίνες συσκότισης, όπως επίσης φαίνεται και η διάταξη των γλαστρών.



Εικόνα 29: Διάταξη των πλαστικών εντός του θερμοκηπίου (προσωπικό αρχείο)

3.5 Προσδιορισμοί – μετρήσεις

Μετρήσεις αγρονομικών χαρακτηριστικών του είδους *Cannabis Sativa* L.

Πραγματοποιήθηκαν μετρήσεις όσον αφορά την ανάπτυξη του υπέργειου μέρους του φυτού για την μελέτη των αγρονομικών χαρακτηριστικών του. Αναλυτικά οι ημερομηνίες που έγιναν οι λήψεις των μετρήσεων:

11/05/2020 → DAS 41
18/05/2020 → DAS 48
04/06/2020 → DAS 65
11/06/2020 → DAS 72
18/06/2020 → DAS 79
25/06/2020 → DAS 86

Η πρώτη μέτρηση έγινε 41 ημέρες από την ημέρα σποράς και η τελευταία 86 ημέρες από την ημέρα σποράς. Σημειώνεται επίσης, ότι η πρώτη μέτρηση μετά την τοποθέτηση κουρτινών συσκότισης έγινε 65 ημέρες μετά την ημέρα σποράς (04/06/2020).

Στα χαρακτηριστικά στα οποία ελήφθησαν παρατηρήσεις ήταν τα εξής:

1. **Ποσοστό φωτισμού (Light)** σε τρία ύψη μέσα στο θερμοκήπιο σε σχέση με το εξωτερικό φως. (η μέτρηση γινόταν περί τη 12^η μεσημβρινή).

2. Ταυτόχρονα μαζί με το φως, μετρούνταν και το **PAR** (Photosynthetic Active Radiation), δηλαδή το φάσμα φωτός υπεύθυνο για τη φωτοσύνθεση.
3. **Θερμοκρασία φυλλώματος** προκειμένου να αξιολογηθεί ο κυριότερος παράγοντας επίδρασης των θερμοκηπίων στα φυτά που προκαλεί θερμική καταπόνηση και επηρεάζει την ανάπτυξή τους.
4. **SPAD Readings:** Η μέτρηση χρώματος του φυλλώματος που σχετίζεται με τη περιεκτικότητα σε χλωροφύλλη (την ουσία συλλέκτη του PAR).
5. **Θερμοκρασία εδάφους:** Μία φορά την εβδομάδα γινόταν μέτρηση με ειδικό θερμόμετρο από τις γλάστρες του κάθε θερμοκηπίου για την λήψη της θερμοκρασίας εδάφους έως 10 εκατ.
6. **Πραγματικά φύλλα:** Παράλληλα γινόταν και μέτρηση πραγματικών φύλλων σε 5 φυτά σε κάθε θερμοκήπιο.
7. **Ύψος φυτών:** Όπως επίσης και το ύψος των φυτών σε αυτά τα 5 φυτά σε εκατ.
8. **Μήκος ταξιανθίας (cm)** από τη βάση της ταξιανθίας έως το επάκριο σημείο της.
9. **Μέσο βάρος ταξιανθίας (gr)** με περιεκτικότητα σε υγρασία 15% MC (Moisture Capacity).
σημείωση: 15% MC είναι η εμπορική υγρασία των ταξιανθιών κάνναβης
10. **Δείκτης συμπάγιας κάνναβης (Compact Index)** είναι ο λόγος (βάρος ταξιανθίας/μήκος ταξιανθίας).
σημείωση: Ο δείκτης συμπάγιας αποτελεί χαρακτηριστικό ποιότητας της φαρμακευτικής κάνναβης
11. **Περιεκτικότητα ταξιανθιών σε CBD:** Υπολογίστηκε η περιεκτικότητα σε CBD και στη συνέχεια εκτιμήθηκε η απόδοση ανά φυτό πολλαπλασιάζοντας το βάρος επί την περιεκτικότητα.

3.5.1 Μετεωρολογικά δεδομένα

Στον παρακάτω πίνακα παρουσιάζονται οι μέγιστες, ελάχιστες και μέσες μηνιαίες θερμοκρασίες που παρατηρήθηκαν κατά τους μήνες της καλλιέργειας, δηλαδή από 1^η Απριλίου μέχρι 25 Ιουνίου, όπου έγινε και η τελευταία μέτρηση. Τα δεδομένα προέρχονται από το μετεωρολογικό σταθμό του Εθνικού Αστεροσκοπείου Αθηνών στην περιοχή Γκάζι Αθηνών (γεωγραφικό πλάτος 37° 58' 42" Β, γεωγραφικό μήκος 23° 42' 56" Α). (πηγή: meteo.gr)

Μήνες	Μέγιστη Θερμοκρασία	Ελάχιστη Θερμοκρασία	Μέση Μηνιαία Θερμοκρασία
Απρίλιος	25.7	8.5	15.3
Μάιος	35.8	12.4	21.2
Ιούνιος	35.1	14.3	24.2

Πίνακας 6: Μετεωρολογικά δεδομένα

3.5.2 Μηχάνημα μετρήσεων



Εικόνα 30: PAR-LIGHT (Sun Scan type SSI) (προσωπικό αρχείο)



Εικόνα 31: ΘΕΡΜΟΚΑΣΙΑ ΦΥΛΛΩΜΑΤΟΣ (προσωπικό αρχείο)



Εικόνα 32: SPAD READINGS (προσωπικό αρχείο)



Εικόνα 34: ΠΕΡΙΕΚΤΙΚΟΤΗΤΑ CBD (προσωπικό αρχείο)



Εικόνα 33: Θερμόμετρο εδάφους (προσωπικό αρχείο)

Κεφάλαιο 4: Αποτελέσματα

4.1 Στατιστική επεξεργασία αποτελεσμάτων

Η στατιστική επεξεργασία των δεδομένων έγινε με την βοήθεια του προγράμματος STATISTICA (Stat Soft, 2011). Οι συγκρίσεις των μέσων πραγματοποιήθηκαν με την δοκιμασία της ελάχιστης σημαντικής διαφοράς για επίπεδο σημαντικότητας 5%, τόσο για τις συγκρίσεις όσο και για την ανάλυση της παραλλακτικότητας.

4.2 Μέτρηση LIGHT

Επίδραση των πλαστικών των τριών θερμοκηπίων στην ακτινοβολία (Light) στο εσωτερικό του θερμοκηπίου με ανεβασμένες τις κουρτίνες συσκότισης. Η μέτρηση έγινε σε τρία επίπεδα εντός του θερμοκηπίου. (LH→Light High, LM→Light Medium, LL→Light Low)

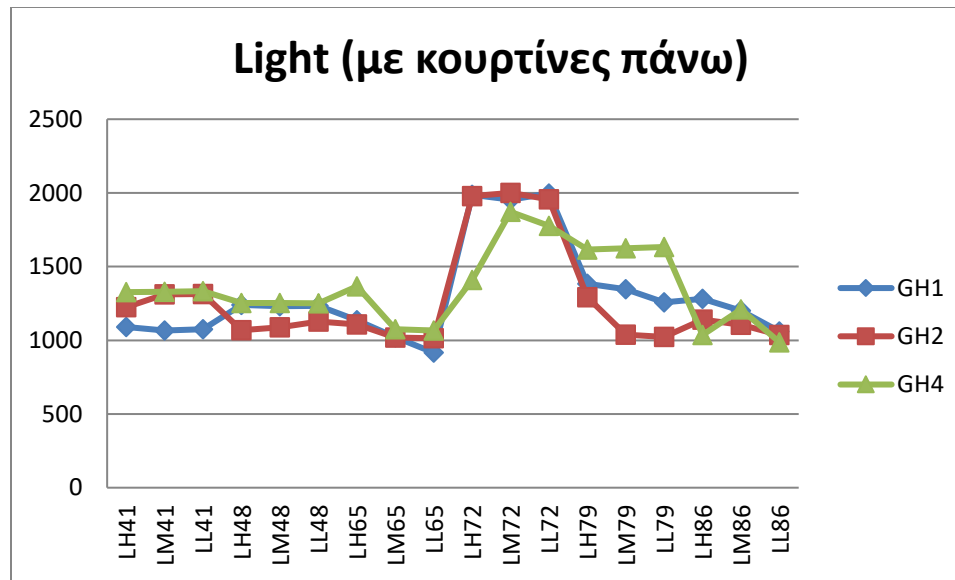
Πίνακας (1Α)

GREENHOUSE	LH41	LM41	LL41	LH48	LM48	LL48	LH65	LM65	LL65
GH1	1091.1 ^a	1065.9 ^a	1074.1 ^a	1239.11 ^a	1231.4 ^a	1232.5 ^a	1135.4 ^a	1021.7 ^a	916.03 ^a
GH2	1225.2 ^b	1311.1 ^b	1313.2 ^b	1068.4 ^b	1087 ^b	1128 ^b	1106.7 ^b	1019 ^{ab}	1014.1 ^b
GH4	1326.8 ^c	1329.8 ^c	1333 ^c	1253.4 ^{ac}	1252.8 ^c	1251.1 ^c	1365.4 ^c	1074.8 ^c	1066.1 ^c

Πίνακας (1Β)

GREENHOUSE	LH72	LM72	LL72	LH79	LM79	LL79	LH86	LM86	LL86
GH1	1986 ^a	1955 ^a	1996 ^a	1383.1 ^a	1345.6 ^a	1257 ^a	1282.2 ^a	1200.5 ^a	1060.4 ^a
GH2	1979.1 ^b	2000 ^b	1957 ^b	1293 ^b	1037.2 ^b	1022.6 ^b	1141 ^b	1105.3 ^b	1036.5 ^b
GH4	1408.6 ^c	1871 ^c	1777 ^c	1615.2 ^c	1625.3 ^c	1632.7 ^c	1035 ^c	1210.2 ^{ac}	987 ^c

Πίνακας 7: Μέτρηση Light σε τρία διαφορετικά ύψη εντός θερμοκηπίου με ανεβασμένες τις κουρτίνες



Διάγραμμα 4: Μέτρηση Light σε τρία διαφορετικά ύψη εντός θερμοκηπίου με ανεβασμένες τις κουρτίνες

- Για τις μετρήσεις LH41, LM41, LL41, LM48, LL48, LH65, LL65, LH72, LM72, LL72, LH79, LM79, LL79, LH86, LL86 υπάρχει και στα τρία θερμοκήπια (GH1, GH2, GH4 → μάρτυρας) στατιστικά σημαντική διαφορά, δηλαδή το υλικό του πλαστικού κάλυψης του θερμοκηπίου επηρεάζει την ακτινοβολία που διέρχεται στο θερμοκήπιο.
- Για τις μετρήσεις LH48, LM86, παρατηρήθηκε στατιστικά σημαντική διαφορά μεταξύ των θερμοκηπίων GH2 - GH4 και GH1 – GH2, δηλαδή το υλικό του πλαστικού επηρεάζει την ακτινοβολία που διέρχεται στο θερμοκήπιο, αλλά μεταξύ των θερμοκηπίων GH1 - GH4 δεν παρατηρήθηκε στατιστικά σημαντική διαφορά.
- Για τη μέτρηση LM65, παρατηρήθηκε στατιστικά σημαντική διαφορά μεταξύ των θερμοκηπίων GH1 – GH4 με τον μάρτυρα, και δεν παρατηρήθηκε μεταξύ των θερμοκηπίων GH1 – GH2.

Μέτρηση Light στο εξωτερικό του θερμοκηπίου σε σύγκριση με την ακτινοβολία εντός θερμοκηπίου με ανεβασμένες τις κουρτίνες συσκότισης.

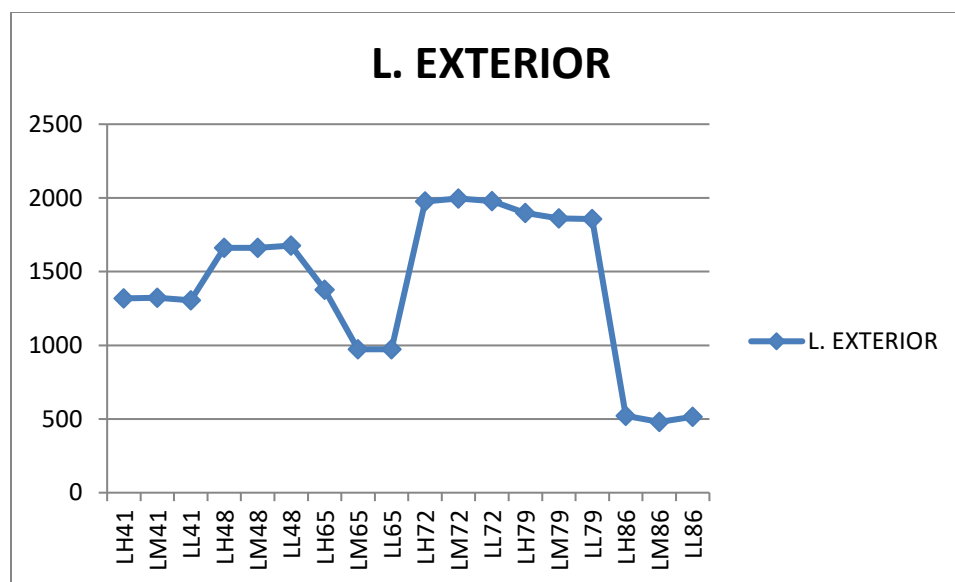
Πίνακας 1(A):

LIGHT EXTERIOR	LH41	LM41	LL41	LH48	LM48	LL48	LH65	LM65	LL65
L. EXTERIOR	1318.4	1323.2	1306.2	1660.2	1660.2	1676	1377.1	972.7	973

Πίνακας 1(B):

LIGHT EXTERIOR	LH72	LM72	LL72	LH79	LM79	LL79	LH86	LM86	LL86
L. EXTERIOR	1976	1996	1979	1898.8	1860.2	1856	521.9	479.9	515.9

Πίνακας 8: Μέτρηση Light στο εξωτερικό του θερμοκηπίου

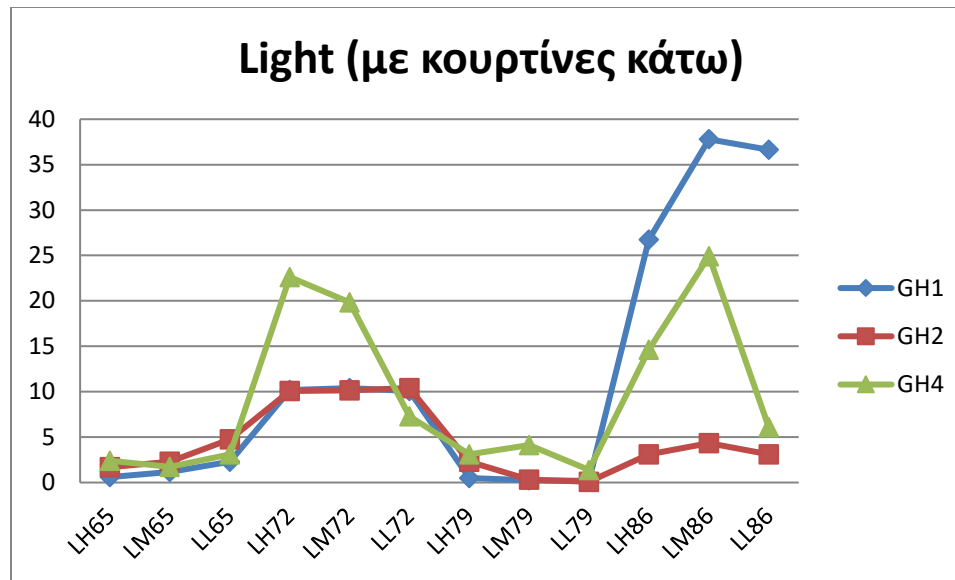


Διάγραμμα 5: Μέτρηση Light στο εξωτερικό του θερμοκηπίου

Μέτρηση Light στο εσωτερικό του θερμοκηπίου με κατεβασμένες τις κουρτίνες συσκότισης.

GREEN HOUSE	LH65	LM65	LL65	LH72	LM72	LL72	LH79	LM79	LL79	LH86	LM86	LL86
GH1	0.59333 ^a	1.17 ^a	2.2867 ^a	10.19 ^a	10.413 ^a	10.09 ^a	0.50667 ^a	0.24 ^a	0.18667 ^a	26.74 ^a	37.787 ^a	36.633 ^a
GH2	1.6867 ^b	2.2767 ^b	4.7633 ^b	10.067 ^{ab}	10.16 ^{ab}	10.4 ^{ab}	2.2767 ^b	0.31 ^{ab}	0.09 ^{ab}	3.0967 ^b	4.3233 ^b	3.1167 ^b
GH4	2.3933 ^c	1.7267 ^c	3.0933 ^c	22.617 ^c	19.827 ^c	7.31 ^c	3.1067 ^c	4.1167 ^c	1.3933 ^c	14.627 ^c	24.927 ^c	6.11 ^c

Πίνακας 9: Μέτρηση Light στο εσωτερικό του θερμοκηπίου με κατεβασμένες τις κουρτίνες συσκότισης



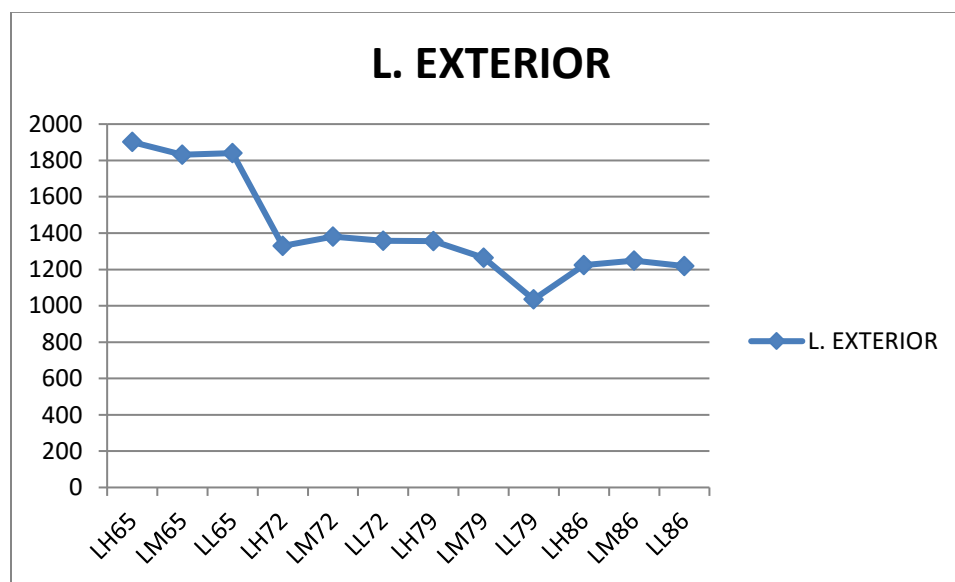
Διάγραμμα 6: Μέτρηση Light στο εσωτερικό του θερμοκηπίου με κατεβασμένες τις κουρτίνες συσκότισης.

- Για τις μετρήσεις LH65, LM65, LL65, LH79, LH86, LM86, LL86, υπάρχει και στα τρία θερμοκήπια (GH1, GH2, GH4 → μάρτυρας) στατιστικά σημαντική διαφορά, δηλαδή το υλικό του πλαστικού, καθώς και οι κουρτίνες συσκότισης επηρεάζουν την ακτινοβολία που διέρχεται στο θερμοκήπιο.
- Για τις μετρήσεις LH72, LM79, LL72, LM79, LL79, παρατηρήθηκε στατιστικά σημαντική διαφορά μεταξύ των θερμοκηπίων GH1 – GH4 με τον μάρτυρα, και δεν παρατηρήθηκε μεταξύ των θερμοκηπίων GH1 – GH2.

Μέτρηση Light στο εξωτερικό του θερμοκηπίου σε σύγκριση με την ακτινοβολία εντός θερμοκηπίου με κατεβασμένες τις κουρτίνες συσκότισης.

LIGHT EXTERIOR	LH65	LM65	LL65	LH72	LM72	LL72	LH79	LM79	LL79	LH86	LM86	LL86
L. EXTERIOR	1901.2	1831	1839.9	1329.5	1379.9	1357.3	1356	1264	1035	1224.1	1249.2	1218.4

Πίνακας 10: Μέτρηση Light στο εξωτερικό του θερμοκηπίου



Διάγραμμα 7: Μέτρηση Light στο εξωτερικό του θερμοκηπίου

4.3 Μέτρηση PAR

Επίδραση των πλαστικών των τριών θερμοκηπίων στη φωτοσυνθετικά ενεργή ακτινοβολία (PAR) στο εσωτερικό του θερμοκηπίου με ανεβασμένες τις κουρτίνες συσκότισης. Η μέτρηση έγινε σε τρία επίπεδα εντός του θερμοκηπίου. (**PH**→**PAR High**, **PM**→**PAR Medium**, **PL**→**PAR Low**)

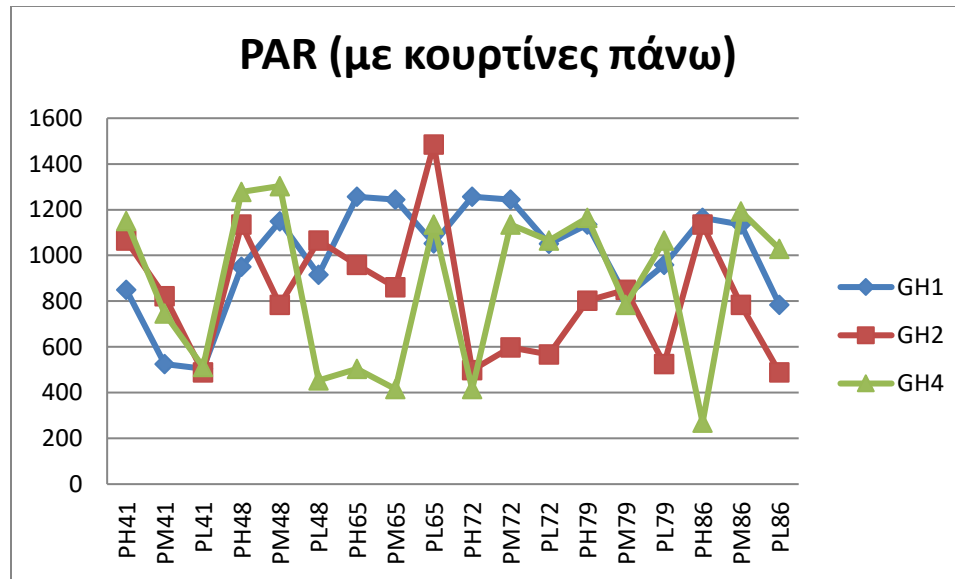
Πίνακας 1(A):

GREENHOUSE	PH41	PM41	PL41	PH48	PM48	PL48	PH65	PM65	PL65
GH1	849.2 ^a	524.57 ^a	504.6 ^a	950.67 ^a	1148.7 ^a	915.67 ^a	1256.4 ^a	1244.4 ^a	1052.8 ^a
GH2	1065.7 ^b	821.2 ^b	488.1 ^b	1135.2 ^b	783.3 ^b	1065.7 ^b	958.3 ^b	861.1 ^b	1485.3 ^b
GH4	1150.2 ^c	746 ^c	512.1 ^{ac}	1277.2 ^c	1303.5 ^c	454 ^c	504.3 ^c	415.5 ^c	1135.2 ^c

Πίνακας 1(B)

GREENHOUSE	PH72	PM72	PL72	PH79	PM79	PL79	PH86	PM86	PL86
GH1	1256.1 ^a	1244 ^a	1050.4 ^a	1135.5 ^a	821.13 ^a	958.23 ^a	1164.7 ^a	1135.2 ^a	783.3 ^a
GH2	497.9 ^b	597.1 ^b	566.3 ^b	802.1 ^b	849.3 ^b	524.3 ^b	1135.2 ^b	783.3 ^b	488 ^b
GH4	415.5 ^c	1135.2 ^c	1065.7 ^c	1164.6 ^c	783.3 ^c	1065.7 ^c	269 ^c	1192.9 ^c	1029.3 ^c

Πίνακας 11: Μέτρηση PAR στο εσωτερικό του θερμοκηπίου με ανεβασμένες τις κουρτίνες συσκότισης



Διάγραμμα 8: Μέτρηση PAR στο εσωτερικό του θερμοκηπίου με ανεβασμένες τις κουρτίνες συσκότισης

- Για τις μετρήσεις PH41, PM41, PH48, PM48, PL48, PH65, PM65, PL65, PH72, PM72, PL72, PH79, PM79, PL79, PH86, PM86, PL86, υπάρχει και στα τρία θερμοκήπια (GH1, GH2, GH4 → μάρτυρας) στατιστικά σημαντική διαφορά, δηλαδή το υλικό του πλαστικού επηρεάζει τη φωτοσυνθετικά ενεργή ακτινοβολία (PAR) που διέρχεται στο θερμοκήπιο.
- Για τη μέτρηση PL41, παρατηρήθηκε στατιστικά σημαντική διαφορά μεταξύ των θερμοκηπίων GH2 - GH4 και GH1 – GH2, δηλαδή το υλικό του πλαστικού επηρεάζει τη φωτοσυνθετικά ενεργή ακτινοβολία (PAR) που διέρχεται στο θερμοκήπιο, αλλά μεταξύ των θερμοκηπίων GH1 - GH4 δεν παρατηρήθηκε στατιστικά σημαντική διαφορά.

Μέτρηση PAR στο εξωτερικό του θερμοκηπίου σε σύγκριση με τη φωτοσυνθετικά ενεργή ακτινοβολία εντός θερμοκηπίου με ανεβασμένες τις κουρτίνες συσκότισης.

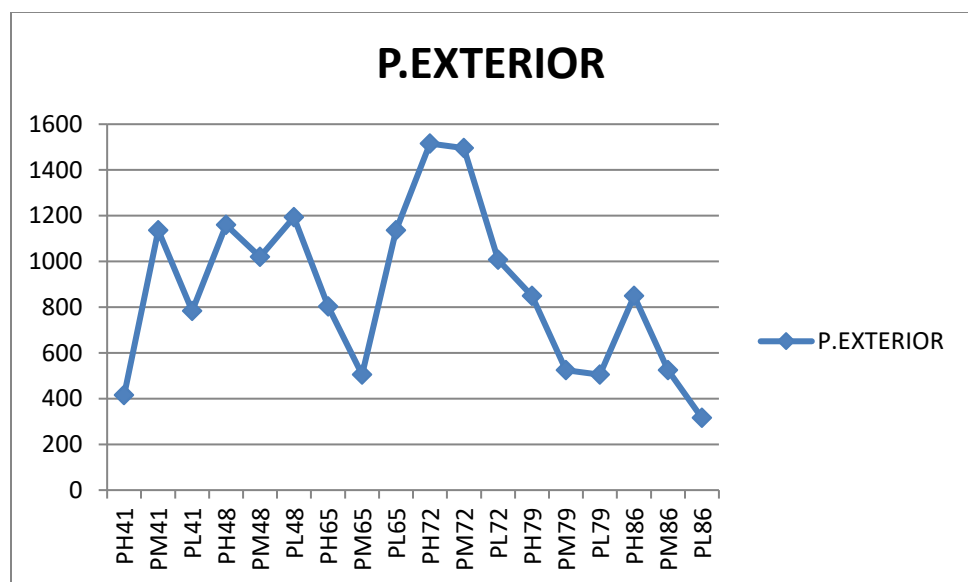
Πίνακας 1(A):

PAR EXTERIOR	PH41	PM41	PL41	PH48	PM48	PL48	PH65	PM65	PL65
P.EXTERIOR	415.5	1135.2	783.3	1159.6	1020.3	1192.9	802.1	504.3	1135.2

Πίνακας (1B):

PAR EXTERIOR	PH72	PM72	PL72	PH79	PM79	PL79	PH86	PM86	PL86
P.EXTERIOR	1515.3	1495	1007	849.3	524.3	504.3	849.3	524.3	315.5

Πίνακας 12: Μέτρηση PAR στο εξωτερικό του θερμοκηπίου

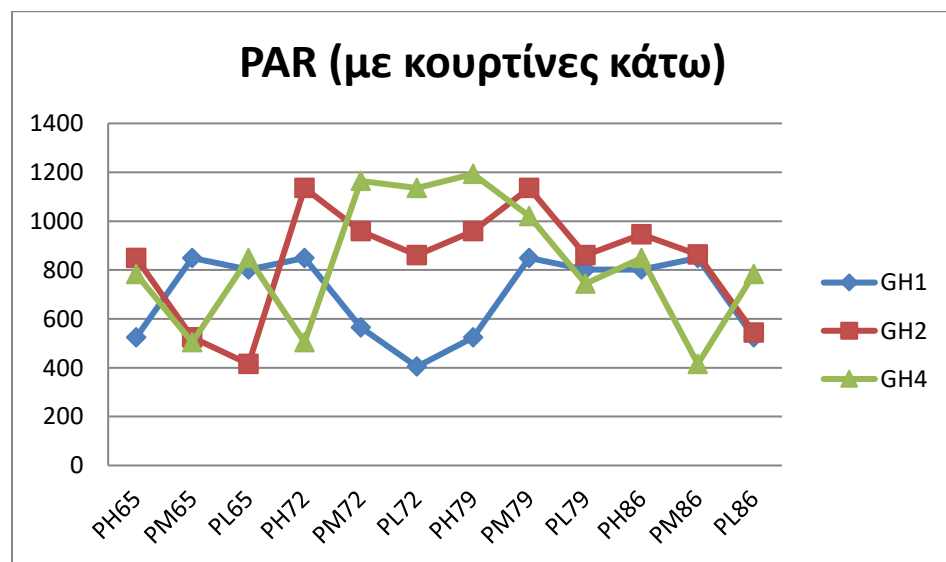


Διάγραμμα 9: Μέτρηση PAR στο εξωτερικό του θερμοκηπίου

Μέτρηση PAR στο εσωτερικό του θερμοκηπίου με κατεβασμένες τις κουρτίνες συσκότισης.

GREEN HOUSE	PH65	PM65	PL65	PH72	PM72	PL72	PH79	PM79	PL79	PH86	PM86	PL86
GH1	524.3 ^a	849.3 ^a	802.1 ^a	849.3 ^a	565.3 ^a	404.3 ^a	524.3 ^a	849.3 ^a	802.1 ^a	802.1 ^a	849.3 ^a	524.3 ^a
GH2	849.3 ^b	524.3 ^b	415.5 ^b	1135.2 ^b	958.3 ^b	861.1 ^b	958.3 ^b	1135.2 ^b	861.1 ^b	945.2 ^b	863.1 ^b	544.2 ^b
GH4	783.3 ^c	504.3 ^c	849.3 ^c	504.3 ^c	1164.6 ^c	1135.2 ^c	1192.9 ^c	1020.3 ^c	744.7 ^c	849.3 ^c	415.5 ^c	783.3 ^c

Πίνακας 13: Μέτρηση PAR στο εσωτερικό του θερμοκηπίου με κατεβασμένες τις κουρτίνες συσκότισης



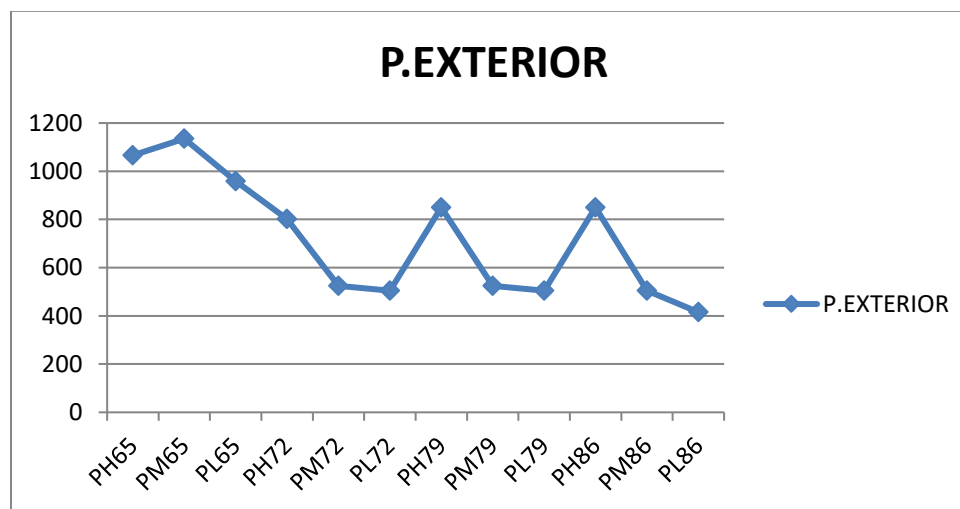
Διάγραμμα 10: Μέτρηση PAR στο εσωτερικό του θερμοκηπίου με κατεβασμένες τις κουρτίνες συσκότισης

- Για τις μετρήσεις PH65, PM65, PL65, PH72, PM72, PL72, PH79, PM79, PL79, PH86, PM86, PL86, υπάρχει και στα τρία θερμοκήπια (GH1, GH2, GH4 → μάρτυρας) στατιστικά σημαντική διαφορά, δηλαδή το υλικό του πλαστικού, καθώς και οι κουρτίνες συσκότισης, επηρεάζουν τη φωτοσυνθετικά ενεργή ακτινοβολία (PAR) που διέρχεται στο θερμοκήπιο.

Μέτρηση PAR στο εξωτερικό του θερμοκηπίου σε σύγκριση με τη φωτοσυνθετικά ενεργή ακτινοβολία εντός θερμοκηπίου με κατεβασμένες τις κουρτίνες συσκότισης.

PAR EXTERIOR	PH65	PM65	PL65	PH72	PM72	PL72	PH79	PM79	PL79	PH86	PM86	PL86
P.EXTERIOR	1065.7	1135.2	958.3	802.1	524.3	504.3	849.3	524.3	504.3	849.3	504.3	415.5

Πίνακας 14: Μέτρηση PAR στο εξωτερικό του θερμοκηπίου



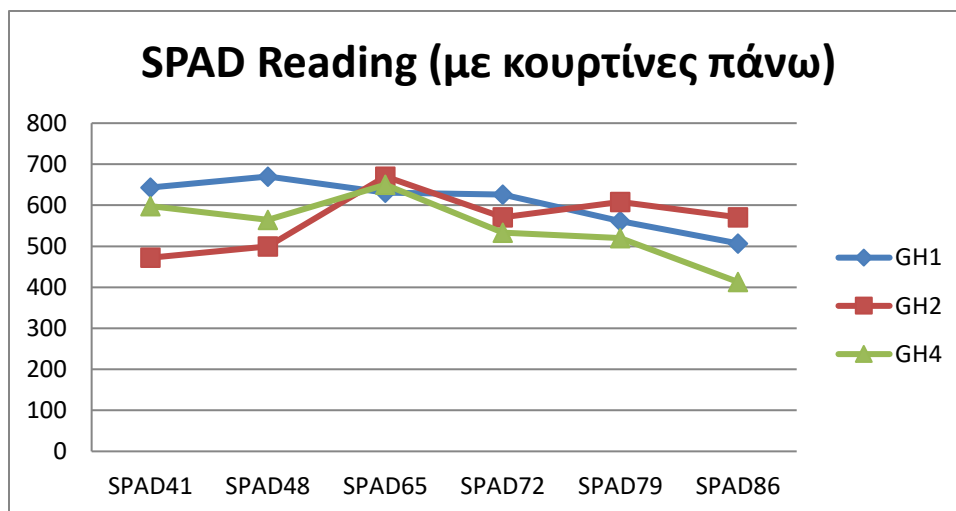
Διάγραμμα 11: Μέτρηση PAR στο εξωτερικό του θερμοκηπίου

4.4 Μέτρηση SPAD

Επίδραση των πλαστικών των τριών θερμοκηπίων στην περιεκτικότητα σε χλωροφύλλη των φυτών κάνναβης με ανεβασμένες τις κουρτίνες συσκότισης.

GREENHOUSE	SPAD41	SPAD48	SPAD65	SPAD72	SPAD79	SPAD86
GH1	643 ^a	670 ^a	631 ^a	626 ^a	561 ^a	507 ^a
GH2	472 ^b	500 ^b	670 ^b	571 ^b	608 ^b	571 ^b
GH4	598 ^c	564 ^c	650 ^c	533 ^c	520 ^c	413 ^c

Πίνακας 15: Μέτρηση SPAD με ανεβασμένες τις κουρτίνες



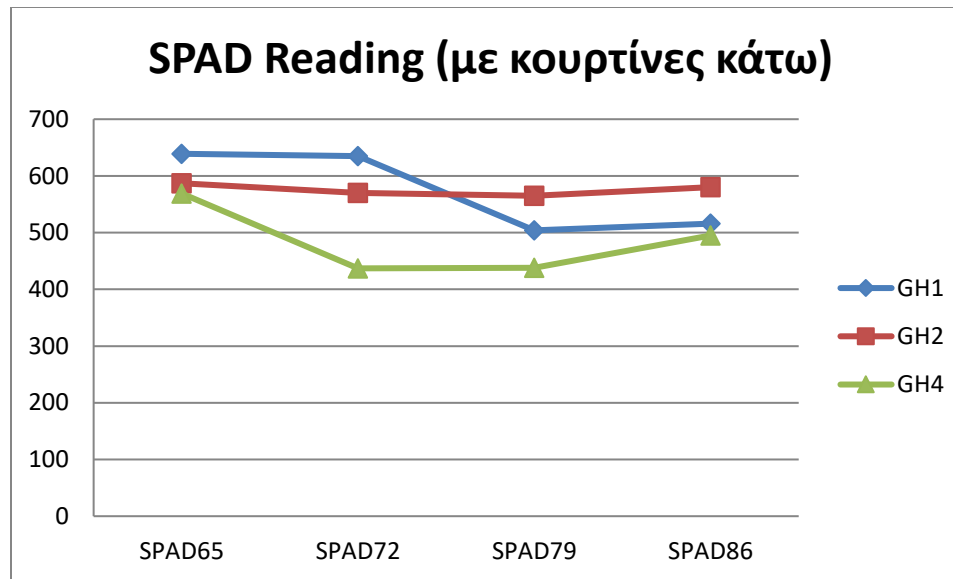
Διάγραμμα 12: Μέτρηση SPAD με ανεβασμένες τις κουρτίνες

- Για τις μετρήσεις SPAD41, SPAD48, SPAD65, SPAD72, SPAD79, SPAD86, υπάρχει και στα τρία θερμοκήπια (GH1, GH2, GH4 → μάρτυρας) στατιστικά σημαντική διαφορά, δηλαδή το υλικό του πλαστικού επηρεάζει την περιεκτικότητα σε χλωροφύλλη των φυτών κάναβης.

Μέτρηση SPAD με κατεβασμένες τις κουρτίνες συσκότισης.

GREENHOUSE	SPAD65	SPAD72	SPAD79	SPAD86
GH1	639 ^a	635 ^a	504 ^a	516 ^{ns}
GH2	587 ^b	570 ^b	565 ^b	580 ^{ns}
GH4	569 ^c	437 ^c	438 ^c	495 ^{ns}

Πίνακας 16: Μέτρηση SPAD με κατεβασμένες τις κουρτίνες



Διάγραμμα 13: Μέτρηση SPAD με κατεβασμένες τις κουρτίνες

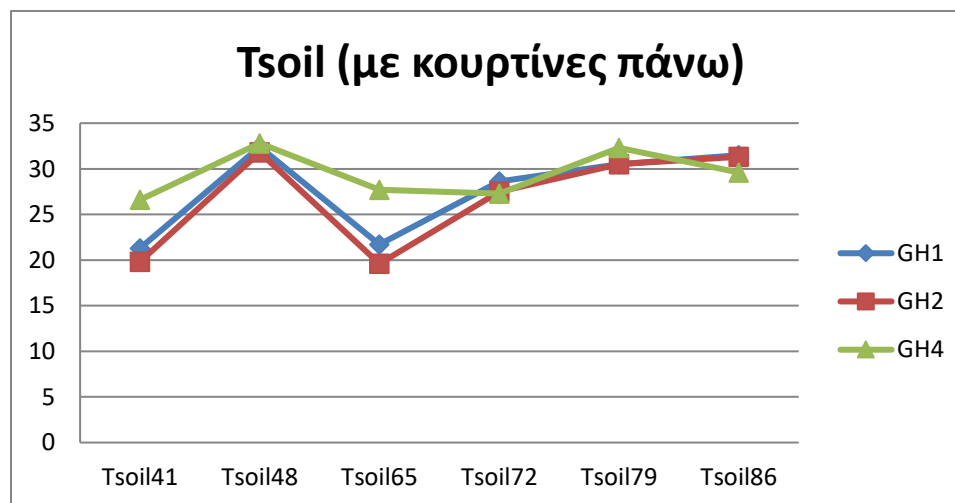
- Για τις μετρήσεις SPAD65, SPAD72, SPAD79, υπάρχει και στα τρία θερμοκήπια (GH1, GH2, GH4 → μάρτυρας) στατιστικά σημαντική διαφορά, δηλαδή το υλικό του πλαστικού, καθώς και οι κουρτίνες συσκότισης, επηρεάζουν την περιεκτικότητα σε χλωροφύλλη των φυτών κάνναβης.
- Για τη μέτρηση SPAD86, δεν υπάρχει στατιστικά σημαντική διαφορά (*ns* → *not significant*) μεταξύ των θερμοκηπίων, δηλαδή το υλικό του πλαστικού κάλυψης των θερμοκηπίων, καθώς και οι κουρτίνες συσκότισης, δεν επηρεάζουν την περιεκτικότητα σε χλωροφύλλη των φυτών κάνναβης.

4.5 Μέτρηση θερμοκρασίας εδάφους (Tsoil)

Επίδραση των πλαστικών των τριών θερμοκηπίων στη θερμοκρασία εδάφους με ανεβασμένες τις κουρτίνες συσκότισης. (Tsoil → Temperature soil)

GREENHOUSE	Tsoil41	Tsoil48	Tsoil65	Tsoil72	Tsoil79	Tsoil86
GH1	21.3 ^a	32.4 ^{ns}	21.7 ^a	28.6 ^{ns}	30.3 ^a	31.5 ^a
GH2	19.8 ^b	31.8 ^{ns}	19.6 ^b	27.5 ^{ns}	30.5 ^{ab}	31.3 ^{ab}
GH4	26.6 ^c	32.8 ^{ns}	27.7 ^c	27.3 ^{ns}	32.3 ^c	29.6 ^c

Πίνακας 17: Θερμοκρασία εδάφους με ανεβασμένες τις κουρτίνες



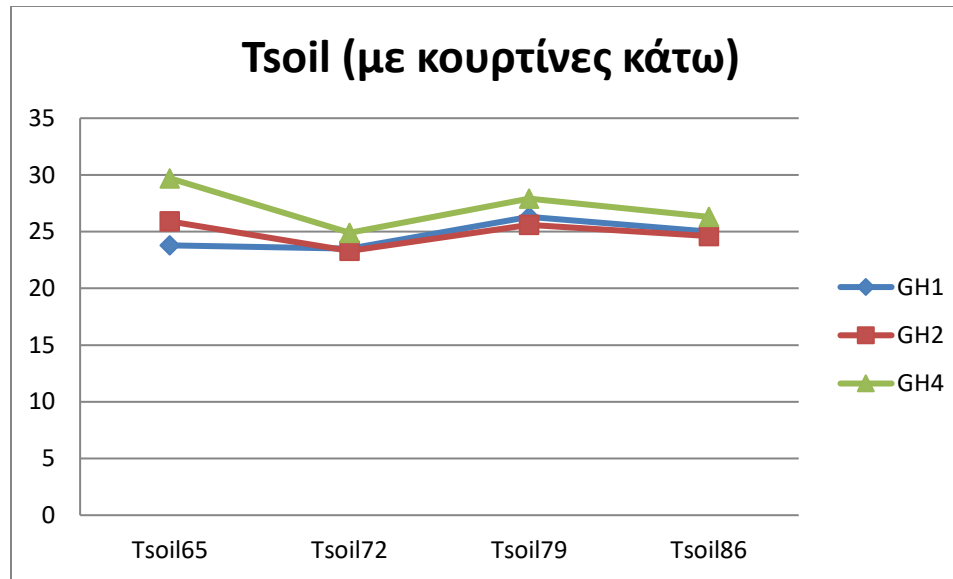
Διάγραμμα 14: Θερμοκρασία εδάφους με ανεβασμένες τις κουρτίνες

- Για τις μετρήσεις Tsoil41, Tsoil65, υπάρχει και στα τρία θερμοκήπια (GH1, GH2, GH4 → μάρτυρας) στατιστικά σημαντική διαφορά, δηλαδή το υλικό του πλαστικού επηρεάζει τη θερμοκρασία του εδάφους.
- Για τις μετρήσεις Tsoil48, Tsoil72, , δεν υπάρχει στατιστικά σημαντική διαφορά (*ns* → *not significant*) μεταξύ των θερμοκηπίων, δηλαδή το υλικό του πλαστικού κάλυψης των θερμοκηπίων επηρεάζει τη θερμοκρασία του εδάφους.
- Για τις μετρήσεις Tsoil79, Tsoil86, παρατηρήθηκε στατιστικά σημαντική διαφορά μεταξύ των θερμοκηπίων GH1 – GH4 με τον μάρτυρα, και δεν παρατηρήθηκε μεταξύ των θερμοκηπίων GH1 – GH2.

Μέτρηση θερμοκρασίας εδάφους με κατεβασμένες τις κουρτίνες συσκότισης.

GREENHOUSE	Tsoil65	Tsoil72	Tsoil79	Tsoil86
GH1	23.8 ^a	23.5 ^a	26.3 ^a	25 ^a
GH2	25.9 ^b	23.3 ^{ab}	25.6 ^{ab}	24.6 ^{ab}
GH4	29.7 ^c	24.9 ^c	27.9 ^c	26.3 ^c

Πίνακας 18: Θερμοκρασία εδάφους με κατεβασμένες τις κουρτίνες



Διάγραμμα 15: Θερμοκρασία εδάφους με κατεβασμένες τις κουρτίνες

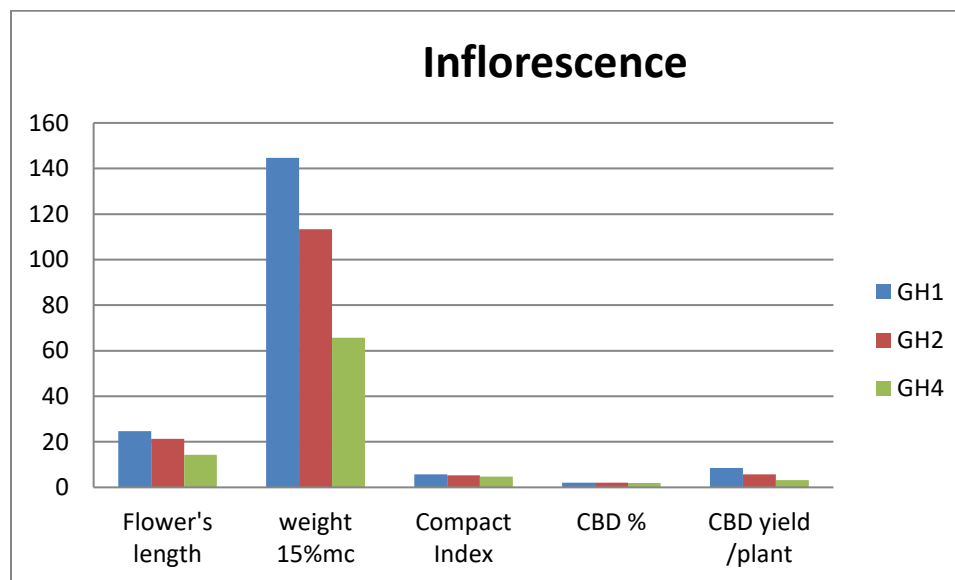
- Για τις μετρήσεις Tsoil65, υπάρχει και στα τρία θερμοκήπια (GH1, GH2, GH4 → μάρτυρας) στατιστικά σημαντική διαφορά, δηλαδή το υλικό του πλαστικού, καθώς και οι κουρτίνες συσκότισης, επηρεάζουν τη θερμοκρασία του εδάφους.
- Για τις μετρήσεις Tsoil72, Tsoil79, Tsoil86, παρατηρήθηκε στατιστικά σημαντική διαφορά μεταξύ των θερμοκηπίων GH1 – GH4 με τον μάρτυρα, και δεν παρατηρήθηκε μεταξύ των θερμοκηπίων GH1 – GH2.

4.6 Μέτρηση ταξιανθίας (μήκος, βάρος, δείκτη συμπάγιας, περιεκτικότητα σε CBD, απόδοση CBD ανά φυτό)

Επίδραση των πλαστικών των τριών θερμοκηπίων στις ταξιανθίες των φυτών κάνναβης.

GREENHOUSE	inflorescence's length	weight 15%mc	Compact Index	CBD %	CBD yield /plant
GH1	24.667 ^a	144.67 ^a	5.7667 ^a	2.0977 ^{ns}	8.54 ^a
GH2	21.333 ^{ab}	113.35 ^{ab}	5.2619 ^{ab}	2.0187 ^{ns}	5.6741 ^b
GH4	14.333 ^b	65.75 ^b	4.7048 ^b	1.9497 ^{ns}	3.1511 ^c

Πίνακας 19: Επίδραση των πλαστικών των τριών θερμοκηπίων στις ταξιανθίες των φυτών κάνναβης



Διάγραμμα 16: Επίδραση των πλαστικών των τριών θερμοκηπίων στις ταξιανθίες των φυτών κάνναβης

- Για τη μέτρηση του μήκους της ταξιανθίας (inflorescence's length), παρατηρήθηκε στατιστικά σημαντική διαφορά μεταξύ των θερμοκηπίων GH1 – GH4, αλλά δεν παρατηρήθηκε μεταξύ των θερμοκηπίων GH1 – GH2 και GH2 – GH4.
- Για τη μέτρηση του μέσου βάρους της ταξιανθίας (weight 15% mc), παρατηρήθηκε στατιστικά σημαντική διαφορά μεταξύ των θερμοκηπίων GH1 – GH4, αλλά δεν παρατηρήθηκε μεταξύ των θερμοκηπίων GH1 – GH2 και GH2 – GH4.
- Για τη μέτρηση του δείκτη συμπάγειας (Compact Index), παρατηρήθηκε στατιστικά σημαντική διαφορά μεταξύ των θερμοκηπίων GH1 – GH4, αλλά δεν παρατηρήθηκε μεταξύ των θερμοκηπίων GH1 – GH2 και GH2 – GH4.
- Για τη μέτρηση της περιεκτικότητας της ταξιανθίας κάνναβης σε CBD (CBD %), δεν υπάρχει στατιστικά σημαντική διαφορά (*ns* → *not significant*) μεταξύ των θερμοκηπίων, δηλαδή το υλικό πλαστικού κάλυψης δεν επηρεάζει την περιεκτικότητα σε CBD.
- Για την απόδοση CBD ανά φυτό, υπάρχει και στα τρία θερμοκήπια (GH1, GH2, GH4 → μάρτυρας) στατιστικά σημαντική διαφορά, δηλαδή το υλικό του πλαστικού επηρεάζει την απόδοση CBD ανά φυτό κάνναβης.

4.7 Μέτρηση θερμοκρασίας φυλλώματος

Επίδραση των πλαστικών των τριών θερμοκηπίων στη θερμοκρασία φυλλώματος των φυτών κάνναβης με ανεβασμένες τις κουρτίνες συσκότισης. Η μέτρηση πάρθηκε από το πάνω και το κάτω μέρος του φύλλου κάνναβης. (TAL → Temperature Above Leaf, TBL → Temperature Below Leaf)

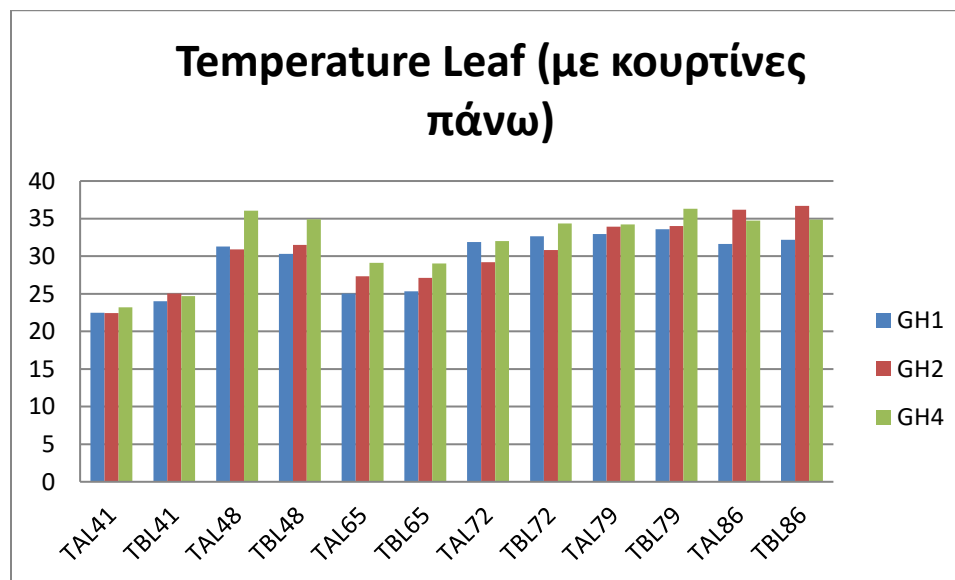
Πίνακας 1(A):

GREENHOUSE	TAL41	TBL41	TAL48	TBL48	TAL65	TBL65
GH1	22.467 <i>ns</i>	24.033 <i>ns</i>	31.3 <i>a</i>	30.3 <i>a</i>	25.033 <i>a</i>	25.333 <i>a</i>
GH2	22.433 <i>ns</i>	25.033 <i>ns</i>	30.9 <i>ab</i>	31.5 <i>ab</i>	27.333 <i>ab</i>	27.1 <i>ab</i>
GH4	23.2 <i>ns</i>	24.7 <i>ns</i>	36.067 <i>c</i>	34.9 <i>c</i>	29.133 <i>b</i>	29.033 <i>b</i>

Πίνακας 1(B):

GREENHOUSE	TAL72	TBL72	TAL79	TBL79	TAL86	TBL86
GH1	31.867 ^a	32.667 ^a	32.933 ^{ns}	33.567 ^a	31.633 ^a	32.167 ^a
GH2	29.2 ^b	30.833 ^{ab}	33.933 ^{ns}	34.033 ^{ab}	36.167 ^b	36.7 ^b
GH4	32 ^{ac}	34.367 ^b	34.233 ^{ns}	36.3 ^c	34.733 ^c	34.867 ^c

Πίνακας 20: Δεδομένα θερμοκηπίων για θερμοκρασία φυλλώματος (πάνω-κάτω) κάνναβης με ανεβασμένες κουρτίνες



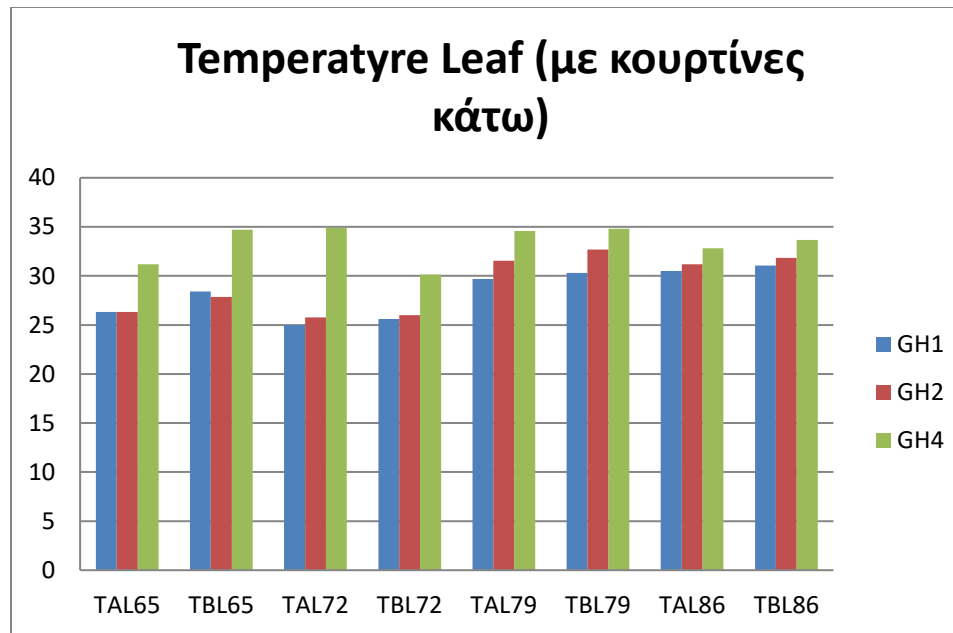
Διάγραμμα 17: Δεδομένα θερμοκηπίων για θερμοκρασία φυλλώματος (πάνω-κάτω) κάνναβης με ανεβασμένες κουρτίνες

- Για τις μετρήσεις TAL41, TBL41, TAL79, δεν υπάρχει στατιστικά σημαντική διαφορά (*ns* → *not significant*) μεταξύ των θερμοκηπίων, δηλαδή το υλικό πλαστικού κάλυψης δεν επηρεάζει τη θερμοκρασία του φυλλώματος.
- Για τις μετρήσεις TAL86, TBL86, υπάρχει και στα τρία θερμοκήπια (GH1, GH2, GH4 → μάρτυρας) στατιστικά σημαντική διαφορά, δηλαδή το υλικό του πλαστικού επηρεάζει τη θερμοκρασία φυλλώματος.
- Για τις μετρήσεις TAL48, TBL48, TBL79, παρατηρήθηκε στατιστικά σημαντική διαφορά μεταξύ των θερμοκηπίων GH1 – GH4 με τον μάρτυρα, και δεν παρατηρήθηκε μεταξύ των θερμοκηπίων GH1 – GH2.
- Για τις μετρήσεις TAL65, TBL65, TBL72, παρατηρήθηκε στατιστικά σημαντική διαφορά μεταξύ των θερμοκηπίων GH1 – GH4, αλλά δεν παρατηρήθηκε μεταξύ των θερμοκηπίων GH1 – GH2 και GH2 – GH4.
- Για τη μέτρηση TAL72, παρατηρήθηκε στατιστικά σημαντική διαφορά μεταξύ των θερμοκηπίων GH2 – GH4 και GH1 – GH2, αλλά δεν παρατηρήθηκε μεταξύ των θερμοκηπίων GH1 – GH4.

Μέτρηση θερμοκρασίας φυλλώματος φυτών κάνναβης με κατεβασμένες κουρτίνες.

GREENHOUSE	TAL65	TBL65	TAL72	TBL72	TAL79	TBL79	TAL86	TBL86
GH1	26.333 ^a	28.4 ^a	25 ^a	25.6 ^a	29.7 ^a	30.3 ^a	30.5 ^a	31.067 ^a
GH2	26.321 ^{ab}	27.844 ^{ab}	25.774 ^{ab}	26 ^{ab}	31.533 ^b	32.7 ^b	31.2 ^{ab}	31.84 ^{ab}
GH4	31.2 ^c	34.7 ^c	34.9 ^c	30.133 ^c	34.573 ^c	34.8 ^c	32.8 ^c	33.68 ^c

Πίνακας 21: Δεδομένα θερμοκηπίων για θερμοκρασία φυλλώματος (πάνω-κάτω) κάνναβης με κατεβασμένες κουρτίνες



Διάγραμμα 18: Δεδομένα θερμοκηπίων για θερμοκρασία φυλλώματος (πάνω-κάτω) κάνναβης με κατεβασμένες κουρτίνες

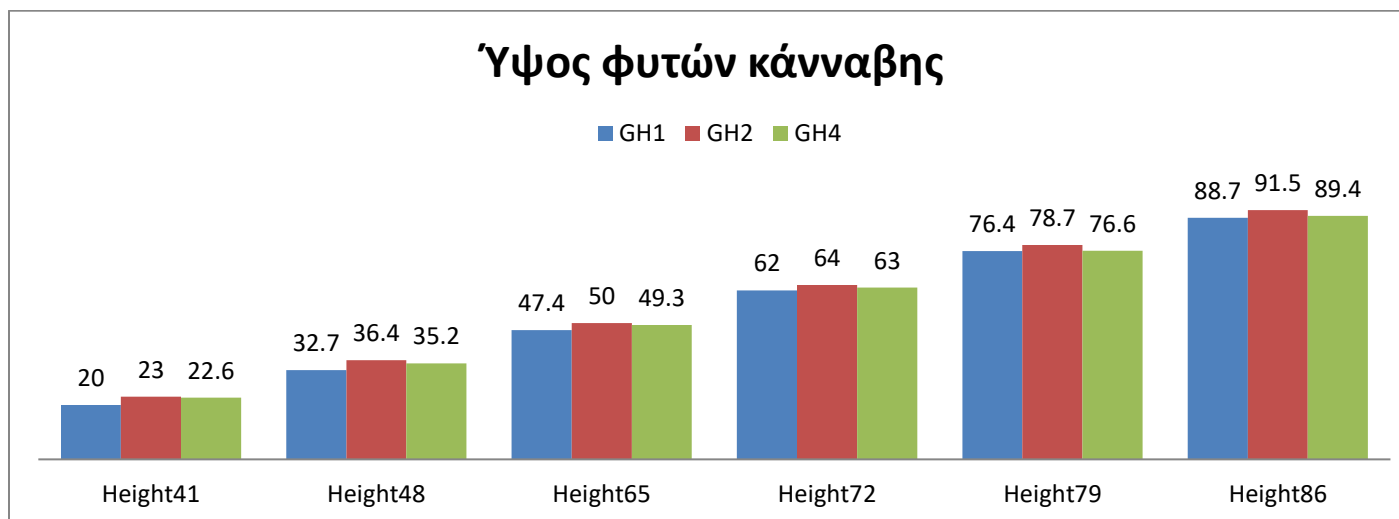
- Για τις μετρήσεις TAL79, TBL79, υπάρχει και στα τρία θερμοκήπια (GH1, GH2, GH4 → μάρτυρας) στατιστικά σημαντική διαφορά, δηλαδή το υλικό του πλαστικού, καθώς και οι κουρτίνες συσκότισης, επηρεάζουν τη θερμοκρασία φυλλώματος.
- Για τις μετρήσεις TAL65, TBL65, TAL72, TBL72, TAL86, TBL86, παρατηρήθηκε στατιστικά σημαντική διαφορά μεταξύ των θερμοκηπίων GH1 – GH4 με τον μάρτυρα, και δεν παρατηρήθηκε μεταξύ των θερμοκηπίων GH1 – GH2.

4.8 Μέτρηση ύψους φυτών κάνναβης

Επίδραση των πλαστικών των τριών θερμοκηπίων στο ύψος των φυτών κάνναβης.

GREENHOUSE	Height41	Height48	Height65	Height72	Height79	Height86
GH1	20 ^{ns}	32.7 ^{ns}	47.4 ^{ns}	62 ^{ns}	76.4 ^{ns}	88.7 ^{ns}
GH2	23 ^{ns}	36.4 ^{ns}	50 ^{ns}	64 ^{ns}	78.7 ^{ns}	91.5 ^{ns}
GH4	22.6 ^{ns}	35.2 ^{ns}	49.3 ^{ns}	63 ^{ns}	76.6 ^{ns}	89.4 ^{ns}

Πίνακας 22: Ύψος φυτών κάνναβης στα τρία θερμοκήπια με διαφορετικό πλαστικό κάλυψης



Διάγραμμα 19: Ύψος φυτών κάνναβης

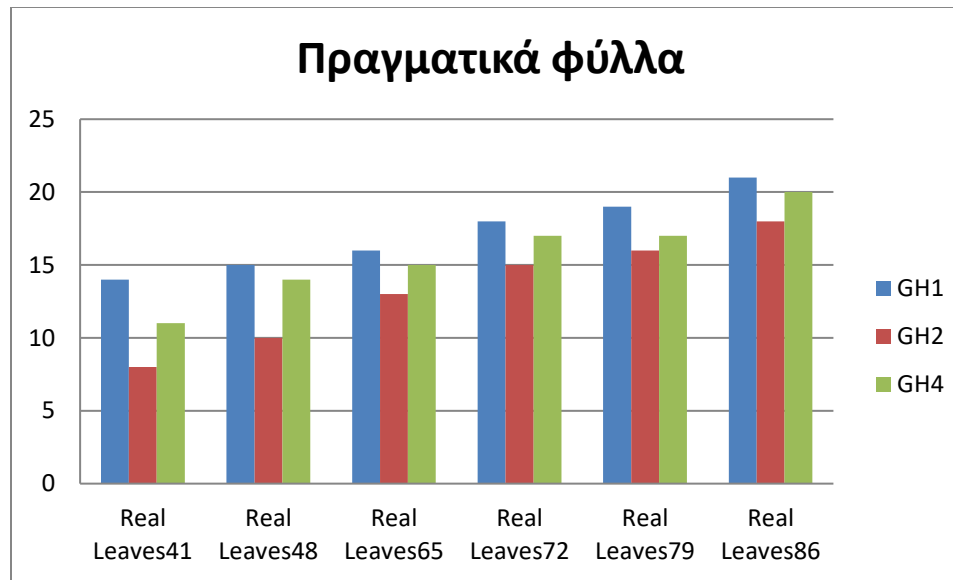
- Για τις μετρήσεις Height41, Height48, Height65, Height72, Height79, Height86, δεν υπάρχει στατιστικά σημαντική διαφορά (*ns* → *not significant*) μεταξύ των θερμοκηπίων, δηλαδή το υλικό πλαστικού κάλυψης δεν επηρεάζει το ύψος των φυτών κάνναβης.

4.9 Μέτρηση πραγματικών φύλλων των φυτών κάνναβης

Επίδραση των πλαστικών των τριών θερμοκηπίων στον αριθμό των πραγματικών φύλλων των φυτών κάνναβης.

GREENHOUSE	Real Leaves41	Real Leaves48	Real Leaves65	Real Leaves72	Real Leaves79	Real Leaves86
GH1	14 ^a	15 ^a	16 ^{ns}	18 ^{ns}	19 ^{ns}	21 ^{ns}
GH2	8 ^b	10 ^b	13 ^{ns}	15 ^{ns}	16 ^{ns}	18 ^{ns}
GH4	11 ^{ab}	14 ^{ab}	15 ^{ns}	17 ^{ns}	17 ^{ns}	20 ^{ns}

Πίνακας 23: Μετρήσεις πραγματικών φύλλων κάνναβης στα θερμοκήπια



Διάγραμμα 20: Μετρήσεις πραγματικών φύλλων κάνναβης στα θερμοκήπια

- Για τις μετρήσεις Real Leaves41, Real Leaves48, παρατηρήθηκε στατιστικά σημαντική διαφορά μεταξύ των θερμοκηπίων GH1 – GH2, αλλά δεν παρατηρήθηκε μεταξύ των θερμοκηπίων GH1 – GH4 και GH2 – GH4.
- Για τις μετρήσεις Real Leaves65, Real Leaves72, Real Leaves79, Real Leaves86, δεν υπάρχει στατιστικά σημαντική διαφορά (*ns* → *not significant*) μεταξύ των θερμοκηπίων, δηλαδή το υλικό πλαστικού κάλυψης δεν επηρεάζει τον αριθμό των πραγματικών φύλλων των φυτών κάνναβης.

Κεφάλαιο 5: ΣΥΖΗΤΗΣΗ – ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ

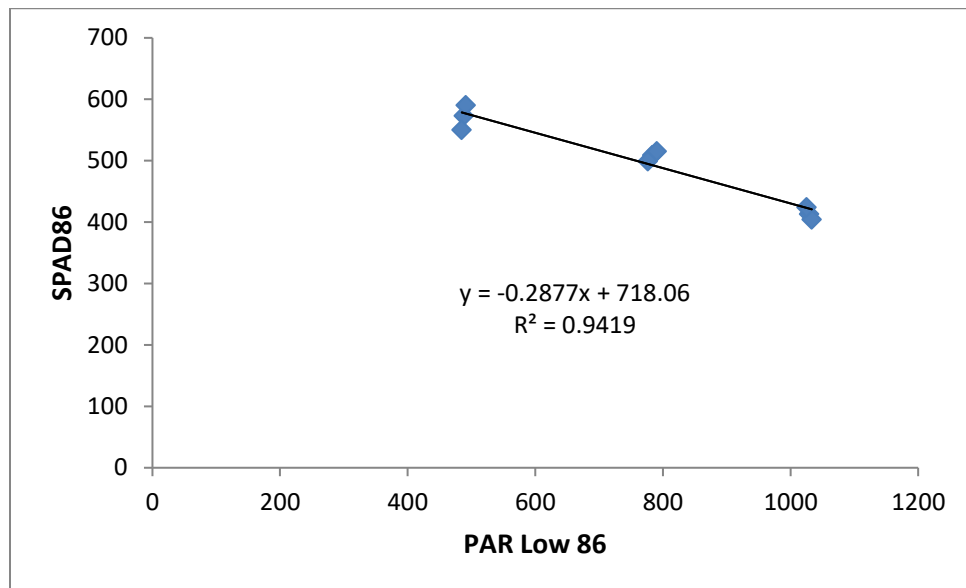
Το παρόν κεφάλαιο αναγράφει τα σχόλια και διάφορα συμπεράσματα ανά κατηγορία μετρήσεων.

Η παρούσα μελέτη δίνει σημαντικές πληροφορίες για την καλλιέργεια βιομηχανικής κάνναβης σε θερμοκήπιο στη χώρα μας, καθώς και ποιά υλικά κάλυψης θερμοκηπίου είναι κατάλληλα για την καλλιέργεια αυτή. Η επίδραση των υλικών κάλυψης στην καλλιέργεια κάνναβης παρουσιάζεται στον παρακάτω πίνακα και συγκεκριμένα σύμφωνα με τα δεδομένα της τελευταίας ημέρας μέτρησης (86 DAS), όπου $p < 0,05$ στατιστικά σημαντικό. Η συσχέτιση έγινε μέσω του προγράμματος STATISTICA (Stat Soft, 2011).

	PAR Low 86	SPAD86	inflorescence's length	weight 15%mc	Compact Index	CBD %	CBD yield /plant	Temperature Above Leaf 86	Height86	Real Leaves86
PAR Low 86	1.0000	-.9705	-.4771	-.4658	-.3774	-.2013	-.4088	-.3525	-.1338	.3609
	p= ---	p=.000	p=.194	p=.206	p=.317	p=.604	p=.275	p=.352	p=.731	p=.340
SPAD86	-.9705	1.0000	.6175	.6166	.5588	.3520	.5695	.1819	.1539	-.1978
	p=.000	p= ---	p=.076	p=.077	p=.118	p=.353	p=.109	p=.639	p=.693	p=.610
Flower's length	-.4771	.6175	1.0000	.9698	.9621	.9030	.8522	-.3772	-.1446	.1584
	p=.194	p=.076	p= ---	p=.000	p=.000	p=.001	p=.004	p=.317	p=.711	p=.684
weight 15%mc	-.4658	.6166	.9698	1.0000	.9815	.8429	.9166	-.4927	.0344	.2193
	p=.206	p=.077	p=.000	p= ---	p=.000	p=.004	p=.001	p=.178	p=.930	p=.571
Compact Index	-.3774	.5588	.9621	.9815	1.0000	.8700	.9060	-.5372	.0228	.3041
	p=.317	p=.118	p=.000	p=.000	p= ---	p=.002	p=.001	p=.136	p=.953	p=.426
CBD %	-.2013	.3520	.9030	.8429	.8700	1.0000	.6513	-.3581	-.1511	.3760
	p=.604	p=.353	p=.001	p=.004	p=.002	p= ---	p=.057	p=.344	p=.698	p=.319
CBD yield /plant	-.4088	.5695	.8522	.9166	.9060	.6513	1.0000	-.6799	-.0132	.2803
	p=.275	p=.109	p=.004	p=.001	p=.001	p=.057	p= ---	p=.044	p=.973	p=.465
Temperature Above Leaf 86	-.3525	.1819	-.3772	-.4927	-.5372	-.3581	-.6799	1.0000	-.0188	-.5397
	p=.352	p=.639	p=.317	p=.178	p=.136	p=.344	p=.044	p= ---	p=.962	p=.134
Height86	-.1338	.1539	-.1446	.0344	.0228	-.1511	-.0132	-.0188	1.0000	.0722
	p=.731	p=.693	p=.711	p=.930	p=.953	p=.698	p=.973	p=.962	p= ---	p=.854
Real Leaves86	.3609	-.1978	.1584	.2193	.3041	.3760	.2803	-.5397	.0722	1.0000
	p=.340	p=.610	p=.684	p=.571	p=.426	p=.319	p=.465	p=.134	p=.854	p= ---

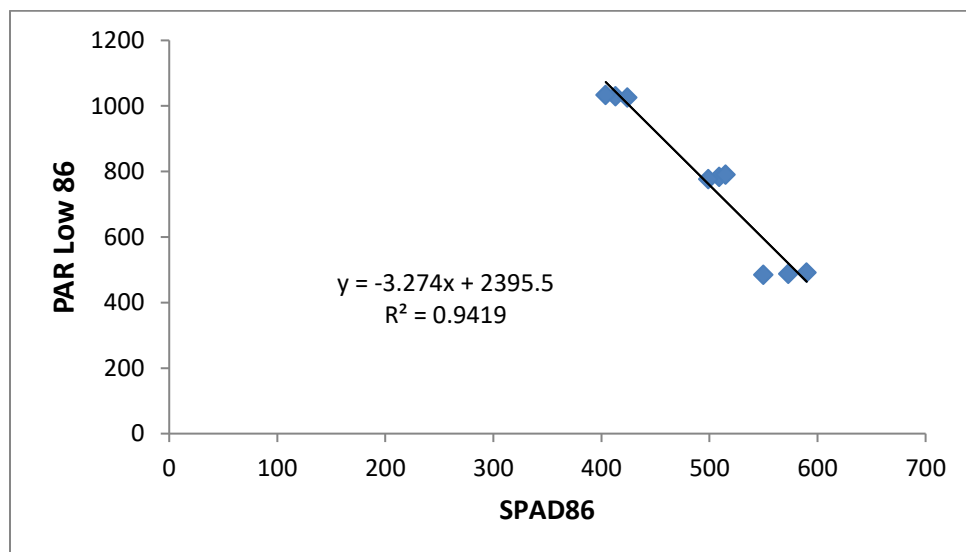
Πίνακας 24: Αποτελέσματα συσχέτισης

Η ενεργά φωτοσυνθετική ακτινοβολία στο χαμηλότερο επίπεδο εντός θερμοκηπίου (PAR Low) σχετίζεται θετικά με την περιεκτικότητα σε χλωροφύλλη (SPAD) των φυτών κάνναβης. (Διάγραμμα 21)



Διάγραμμα 21: Γραμμική συσχέτιση μεταξύ PAR Low (στο χαμηλό επίπεδο εντός θερμοκηπίου) και SPAD σε καλλιέργεια κάνναβης 86 DAS

Η περιεκτικότητα σε χλωροφύλλη (SPAD) των φυτών κάνναβης σχετίζεται θετικά με την ενεργά φωτοσυνθετική ακτινοβολία στο χαμηλότερο επίπεδο εντός θερμοκηπίου (PAR Low) . (Διάγραμμα 22)

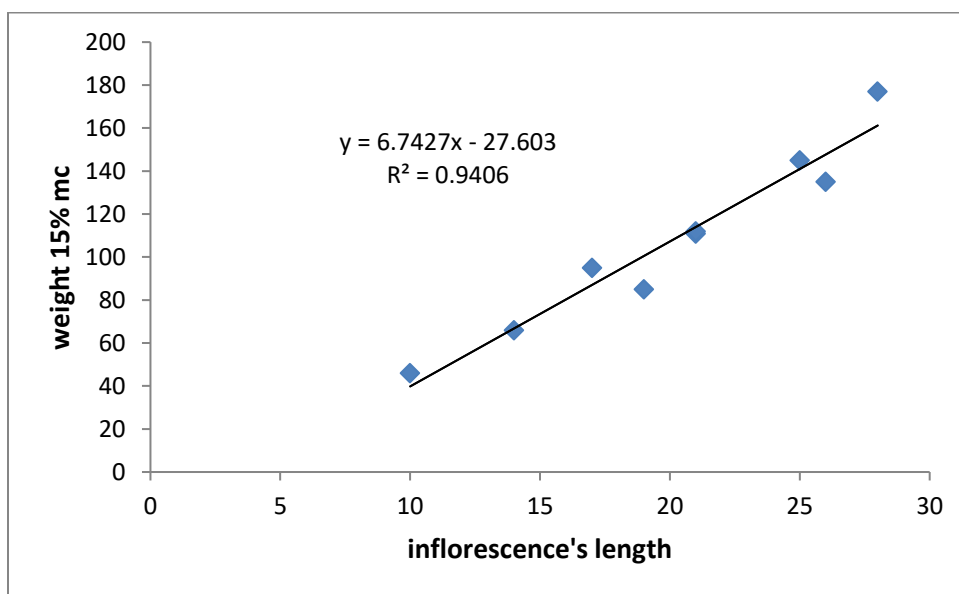


Διάγραμμα 22: Γραμμική συσχέτιση μεταξύ SPAD σε καλλιέργεια κάνναβης και PAR Low (στο χαμηλό επίπεδο εντός θερμοκηπίου) 86 DAS

Οι φυσικές συνθήκες φωτός μέσα σ' ένα θερμοκήπιο ποικίλουν αναλόγως με την εποχή του χρόνου και το υψόμετρο, καθώς και με τις μη προβλεπόμενες καιρικές συνθήκες. Για μεγαλύτερα υψόμετρα ο συμπληρωματικός φωτισμός είναι απαραίτητος για μία αποδοτική παραγωγή και ιδιαίτερα την περίοδο του χειμώνα στα θερμοκήπια. Η μέγιστη φωτοσυνθετικά ενεργή ακτινοβολία (PAR) κατά τη διάρκεια του Ιουνίου είναι $65 \cdot \text{mol} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{day}^{-1}$. Ωστόσο, μέσα στο θερμοκήπιο με 60% ηλιακή διαπερατότητα, το PAR θα είναι τότε $39 \cdot \text{mol} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{day}^{-1}$ (Mortensen, 2014).

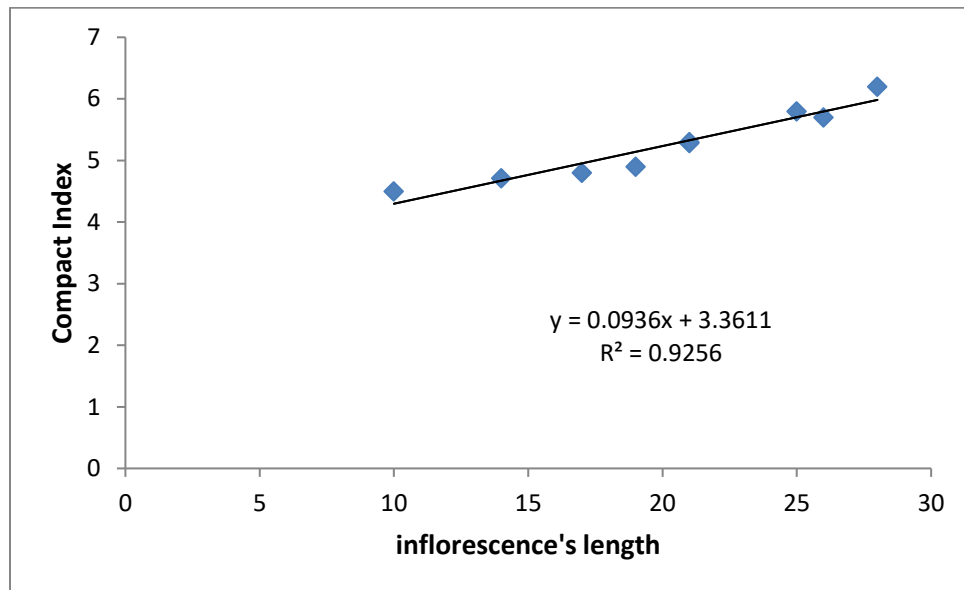
Τα θετικά αποτελέσματα στη φωτοσυνθετικά ενεργή ακτινοβολία εκτιμήθηκαν επίσης μέσω φυσιολογικών μετρήσεων. Πράγματι, η παρατηρούμενη συμπεριφορά όσον αφορά την ανάπτυξη της καλλιέργειας κάνναβης, συσχετίστηκε σημαντικά με την περιεκτικότητά της σε χλωροφύλλη (SPAD). Η εκτίμηση σε περιεκτικότητα χλωροφύλλης σε φυτά κάνναβης ήταν 502 μέτρα σε θερμοκήπια στο Τόκιο της Ιαπωνίας (Giancarlo Pagnania, Marika Pellegrinia, Angelica Galienia, Sara D'Egidioa, Federica Matteuccic, Antonella Riccia, Fabio Stagnaria, Manuel Sergia, Claudio Lo Sterzoa, Michele Pisantea, 2018).

Το μήκος ταξιανθίας σχετίζεται θετικά με το μέσο βάρος ανά ταξιανθία. (Διάγραμμα 23)



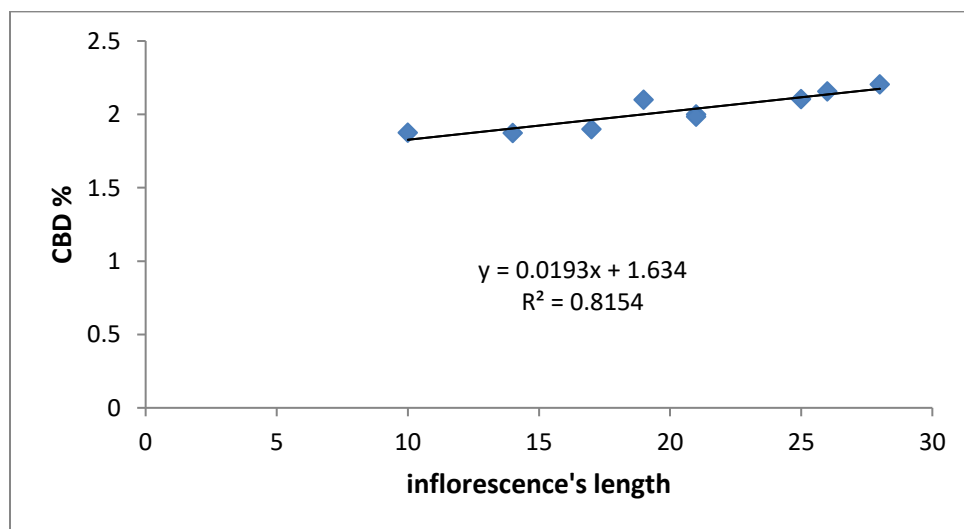
Διάγραμμα 23: Γραμμική συσχέτιση μεταξύ του μήκους ταξιανθίας και μέσου βάρους ταξιανθίας

Το μήκος ταξιανθίας δείχνει να σχετίζεται θετικά με το δείκτη συμπαγείας (Compact Index). (Διάγραμμα 24)



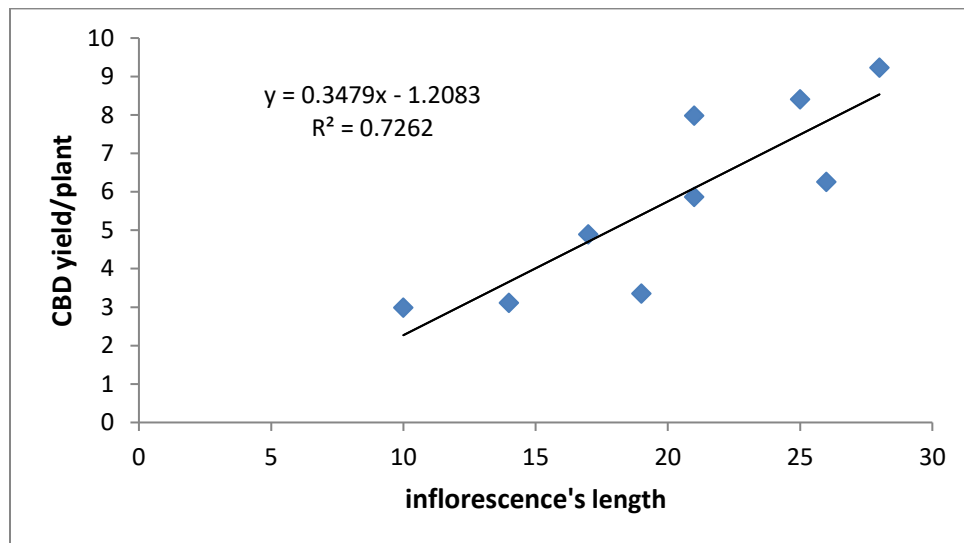
Διάγραμμα 24: Γραμμική συσχέτιση μεταξύ του μήκους ταξιανθίας και του δείκτη συμπαγείας (Compact Index)

Το μήκος ταξιανθίας σχετίζεται θετικά με το ποσοστό περιεκτικότητας CBD. (Διάγραμμα 25)



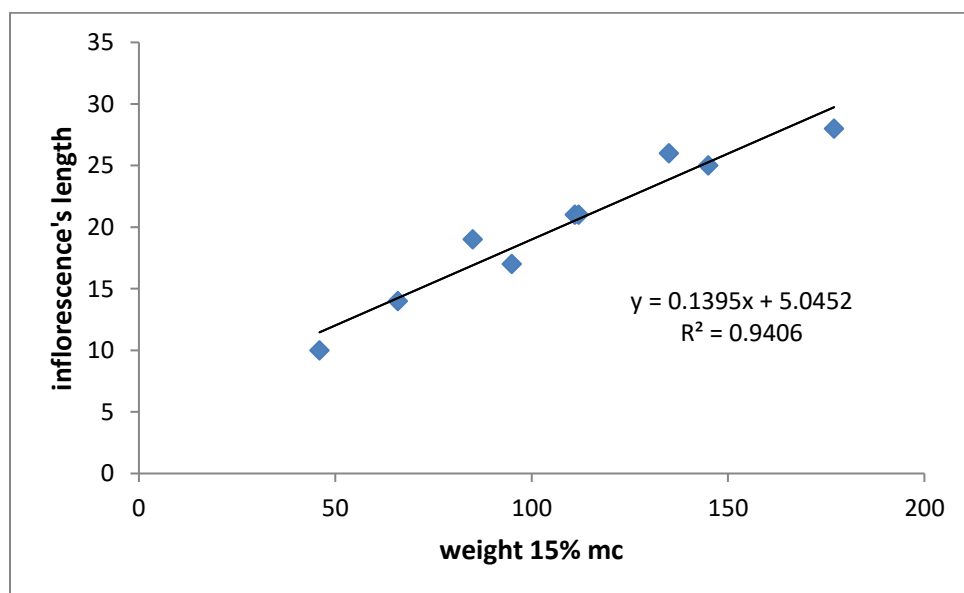
Διάγραμμα 25: Γραμμική συσχέτιση μεταξύ του μήκους ταξιανθίας και του ποσοστού περιεκτικότητας σε CBD

Το μήκος ταξιανθίας σχετίζεται θετικά με την απόδοση ανά φυτό σε CBD. (Διάγραμμα 26)

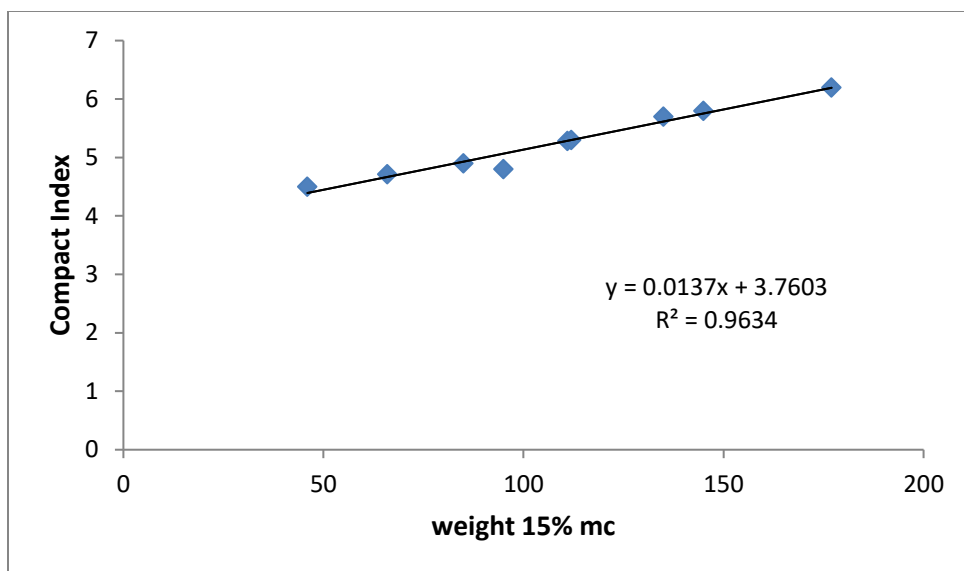


Διάγραμμα 26: Γραμμική συσχέτιση μεταξύ του μήκους ταξιανθίας και της απόδοσης ανά φυτό σε CBD

Θετική συσχέτιση παρατηρήθηκε ακόμη μεταξύ του μέσου βάρους ανά ταξιανθία και του μήκους ταξιανθίας (Διάγραμμα 27), όπως επίσης και μεταξύ του μέσου βάρους με το δείκτη συμπαγείας (Compact Index). (Διάγραμμα 28)

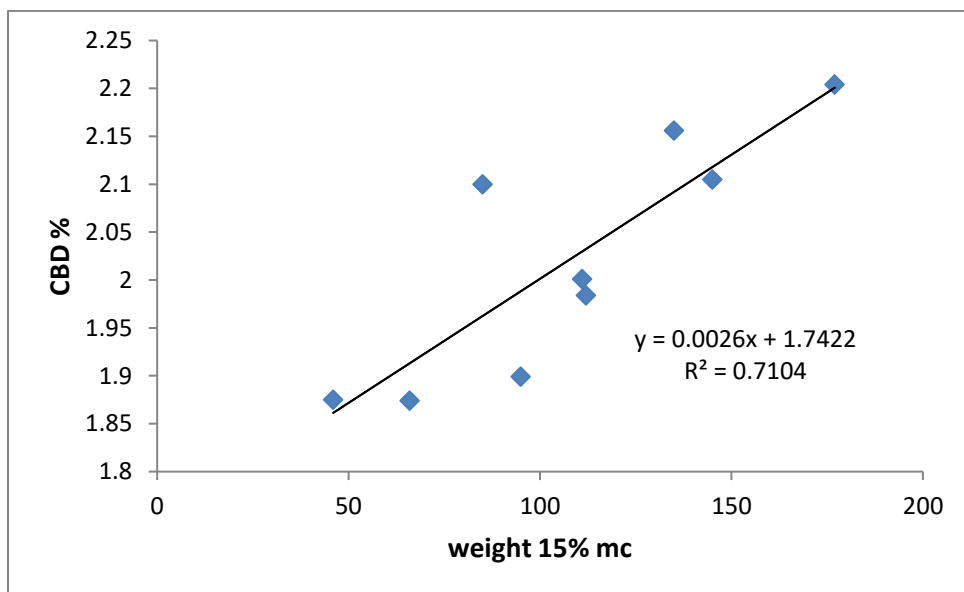


Διάγραμμα 27: Γραμμική συσχέτιση μεταξύ του μέσου βάρους και του μήκους ανά ταξιανθία



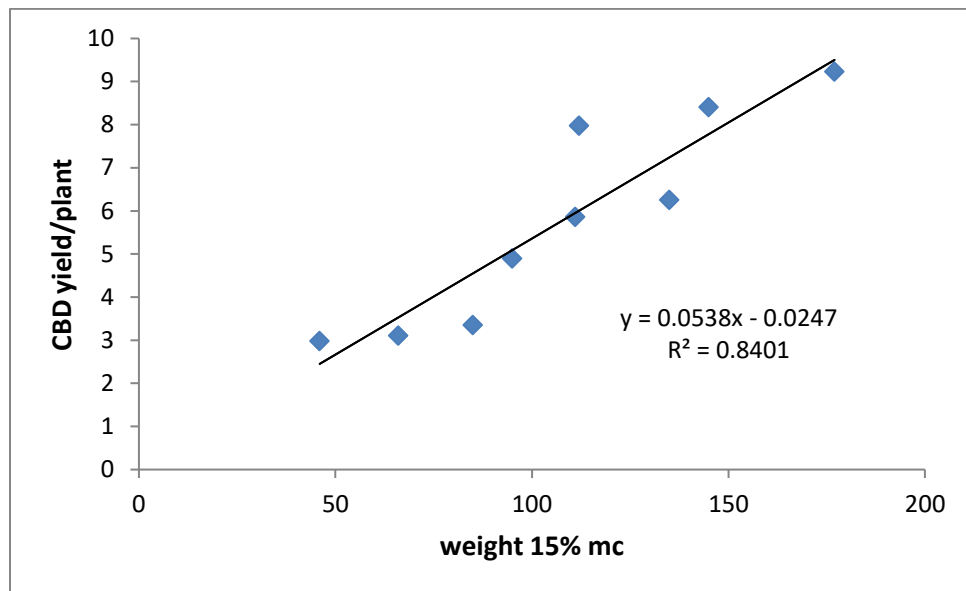
Διάγραμμα 28: Γραμμική συσχέτιση μεταξύ του μέσου βάρους ανά ταξιανθία και του δείκτη συμπαγείας (Compact Index)

Στη συνέχεια παρατηρήθηκε επίσης θετικός συσχετισμός μεταξύ του μέσου βάρους ανά ταξιανθία και στην περιεκτικότητα σε CBD (Διάγραμμα 29), όπως και με την απόδοση σε CBD ανά φυτό. (Διάγραμμα 30)



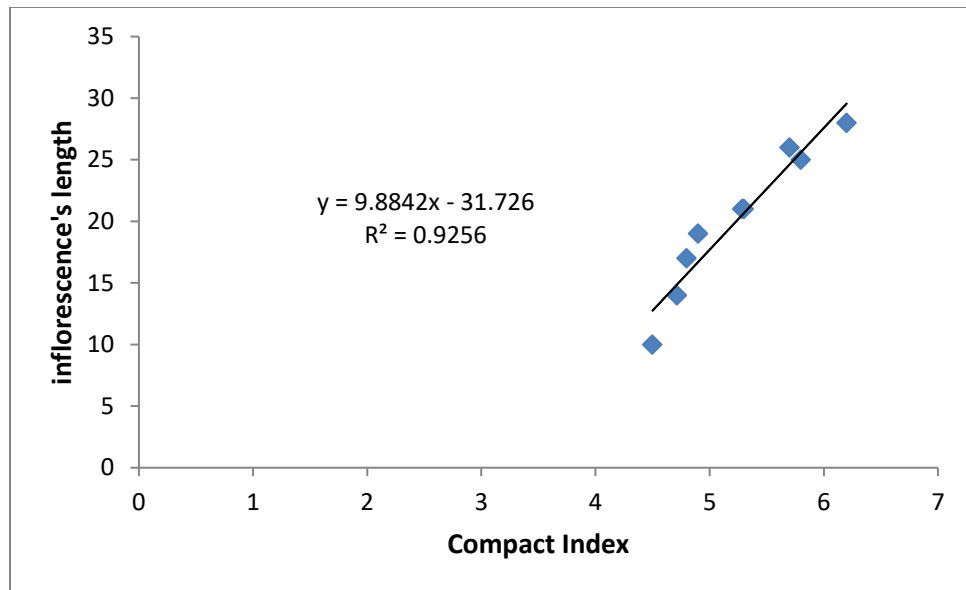
Διάγραμμα 29: Γραμμική συσχέτιση μεταξύ του μέσου βάρους ανά ταξιανθία και της περιεκτικότητας σε CBD

Ένας καλύτερος έλεγχος του φωτός μέσα στο θερμοκήπιο μπορεί να ελέγξει και να αυξήσει το βάρος της ταξιανθίας του φυτού και κατ' επέκταση την περιεκτικότητα σε CBD. Να σημειωθεί επίσης ότι έρευνες έδειξαν πώς ο έλεγχος της ακτινοβολίας στο θερμοκήπιο, δεν επηρέασε το φυτό δημιουργώντας νέες ταξιανθίες και άρα υψηλότερη παραγωγή, αλλά παρατηρήθηκε επιμήκυνση των στελεχών και των φύλλων (Wellhoffer, 2020). Γι' αυτό το λόγο το μέσο βάρος ανά ταξιανθία παρουσιάζει θετική συσχέτιση.

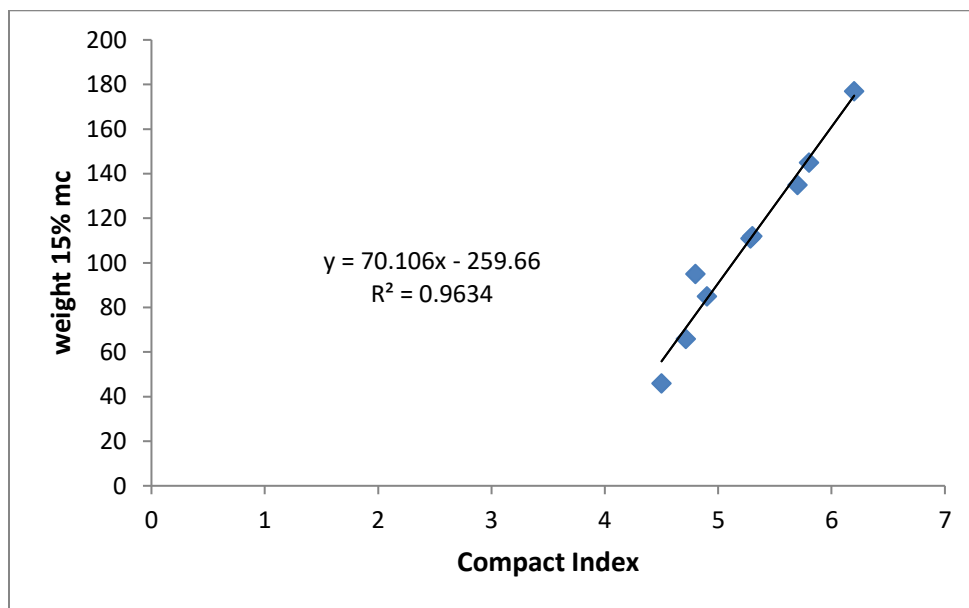


Διάγραμμα 30: Γραμμική συσχέτιση μεταξύ του μέσου βάρους ανά ταξιανθία και της απόδοσης σε CBD ανά φυτό

Όσον αφορά το δείκτη συμπάγιας (Compact Index), παρουσίασε θετική συσχέτιση με το μήκος ταξιανθίας (Διάγραμμα 31), όπως και με το μέσο βάρος ανά ταξιανθία. (Διάγραμμα 32)

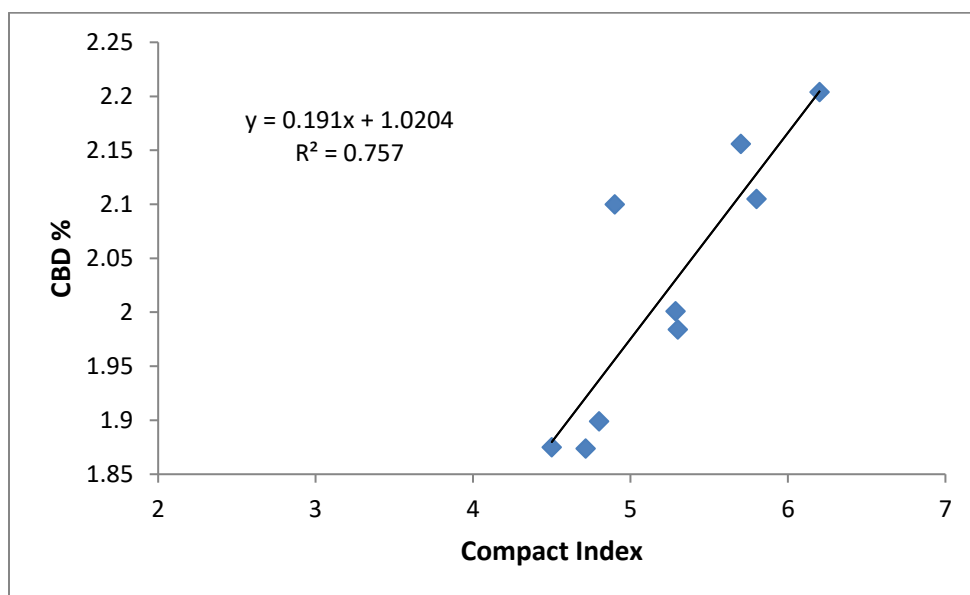


Διάγραμμα 31: Γραμμική συσχέτιση μεταξύ του δείκτη συμπάγιας (Compact Index) και του μήκους ταξιανθίας

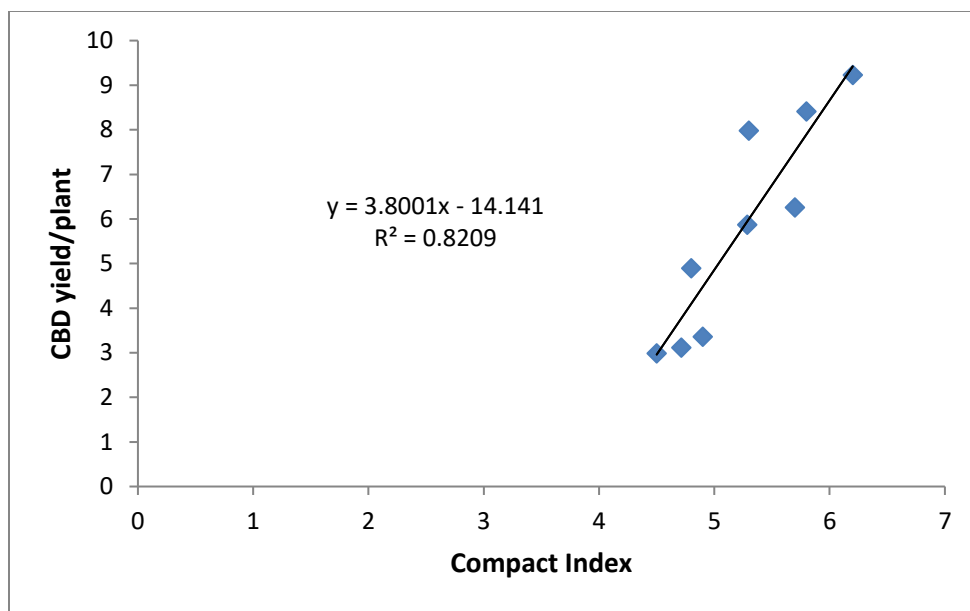


Διάγραμμα 32: Γραμμική συσχέτιση μεταξύ του δείκτη συμπάγιας (Compact Index) και του μέσου βάρους ανά ταξιανθία

Η θετική επίδραση του δείκτη συμπάγιας (Compact Index) συνεχίστηκε και στη περιεκτικότητα σε CBD και στην απόδοση ανά φυτό σε CBD. (Διάγραμμα 33 και Διάγραμμα 34)

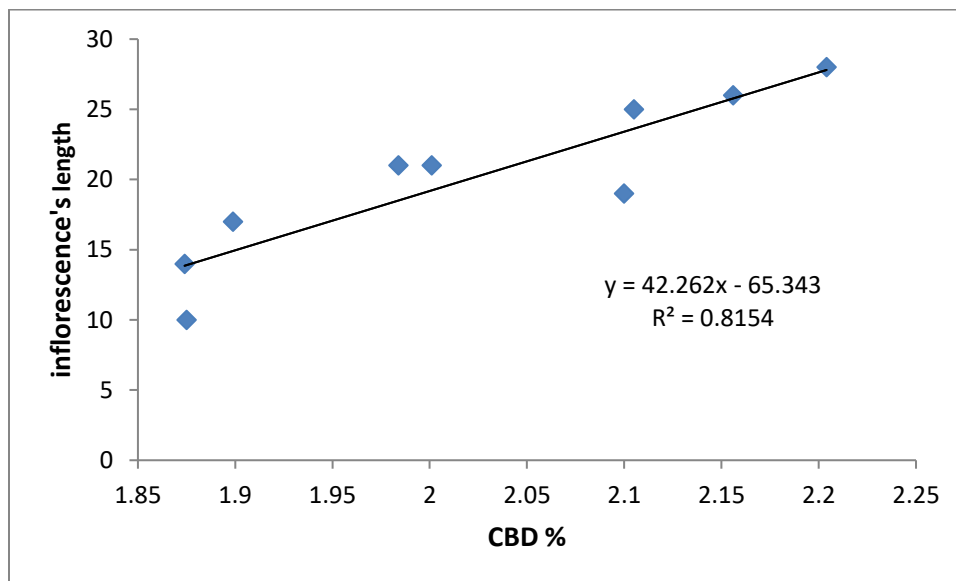


Διάγραμμα 33: Γραμμική συσχέτιση μεταξύ του δείκτη συμπάγιας (Compact Index) και της περιεκτικότητας σε CBD

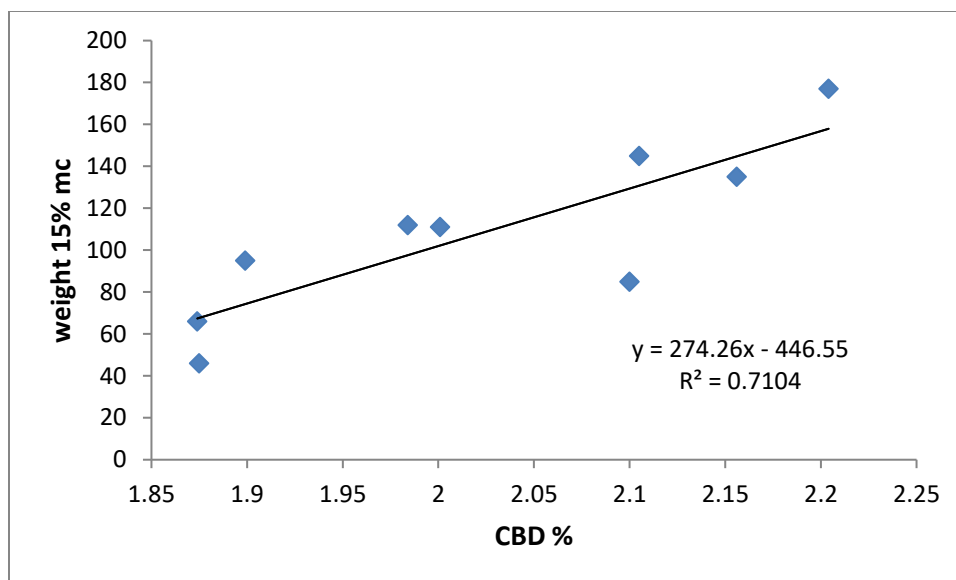


Διάγραμμα 34: Γραμμική συσχέτιση μεταξύ του δείκτη συμπαγείας (Compact Index) και της απόδοσης ανά φυτό σε CBD

Η περιεκτικότητα σε CBD σχετίζεται θετικά με το μήκος ταξιανθίας, όπως και με το μέσο βάρος ανά ταξιανθία. (Διάγραμμα 35 και Διάγραμμα 36)

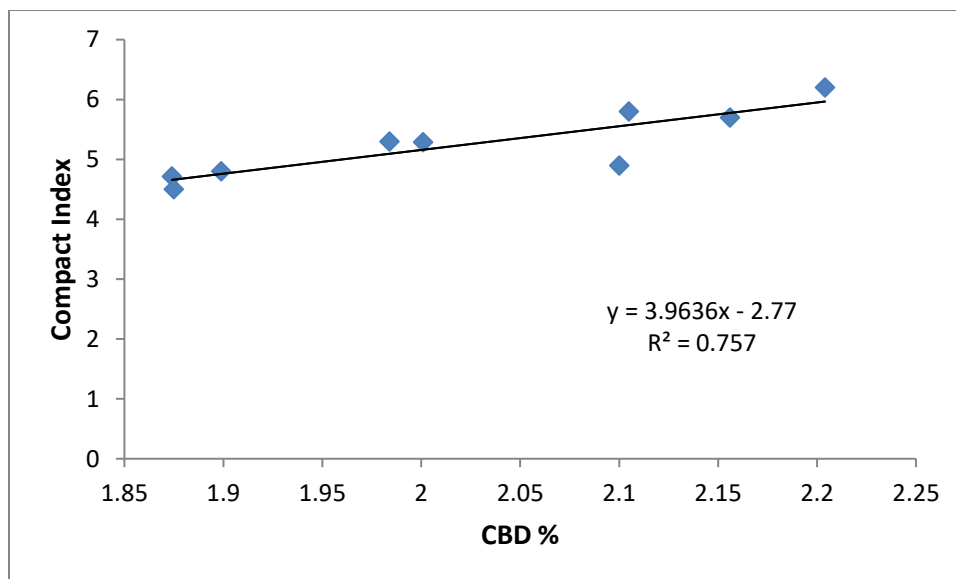


Διάγραμμα 35: Γραμμική συσχέτιση μεταξύ της περιεκτικότητας σε CBD και του μήκους ταξιανθίας



Διάγραμμα 36: Γραμμική συσχέτιση μεταξύ της περιεκτικότητας σε CBD και του μέσου βάρους ταξιανθίας

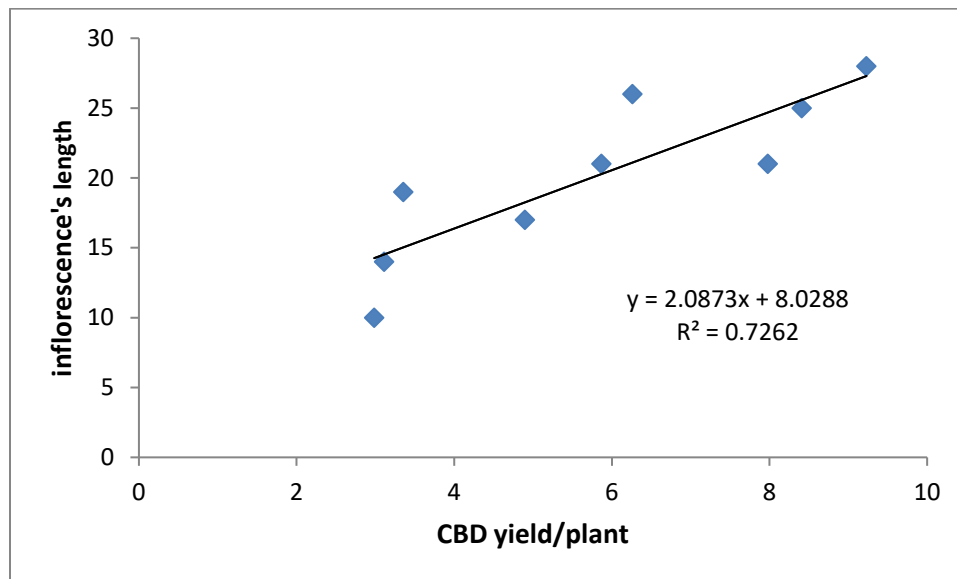
Ακόμη, η περιεκτικότητα σε CBD σχετίζεται θετικά με το δείκτη συμπάγιας (Compact Index). (Διάγραμμα 37)



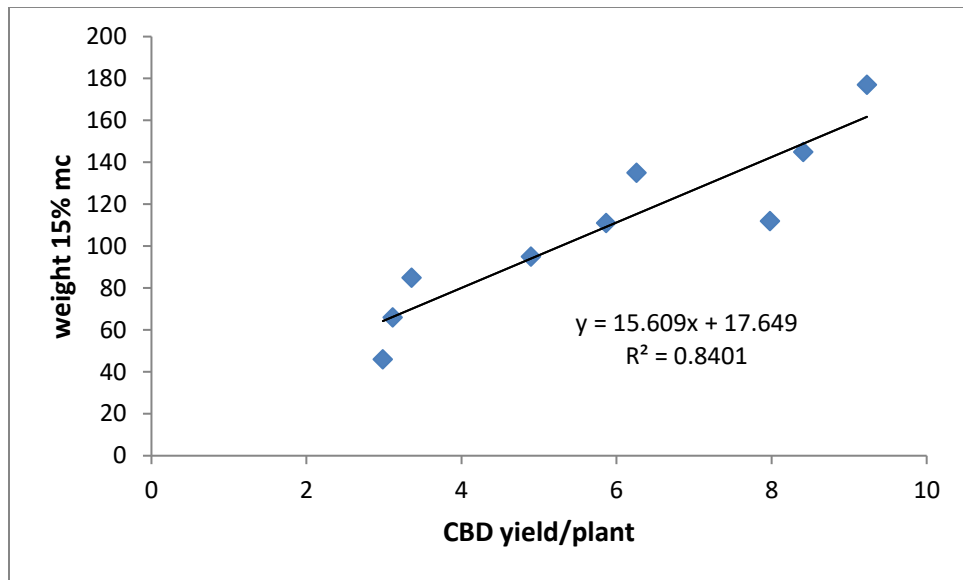
Διάγραμμα 37: Γραμμική συσχέτιση μεταξύ της περιεκτικότητας σε CBD και του δείκτη συμπάγιας (Compact Index)

Σε σύγκριση με μία μελέτη που διεξήγαγε πείραμα κάνναβης σε ελεγχόμενο περιβάλλον με παρόμοιες περιβαλλοντικές συνθήκες, έδειξε ότι η περιεκτικότητα σε CBD κυμαινόταν 0,2-0,4% (Wouter Vanhovea, Patrick Van Dammea, 2011), ενώ στο παρόν πείραμα από 1-2%. Αυτό ίσως να οφείλεται στο γεγονός ότι χρησιμοποιήθηκαν λάμπες για παροχή ακτινοβολίας και όχι φυσική ακτινοβολία.

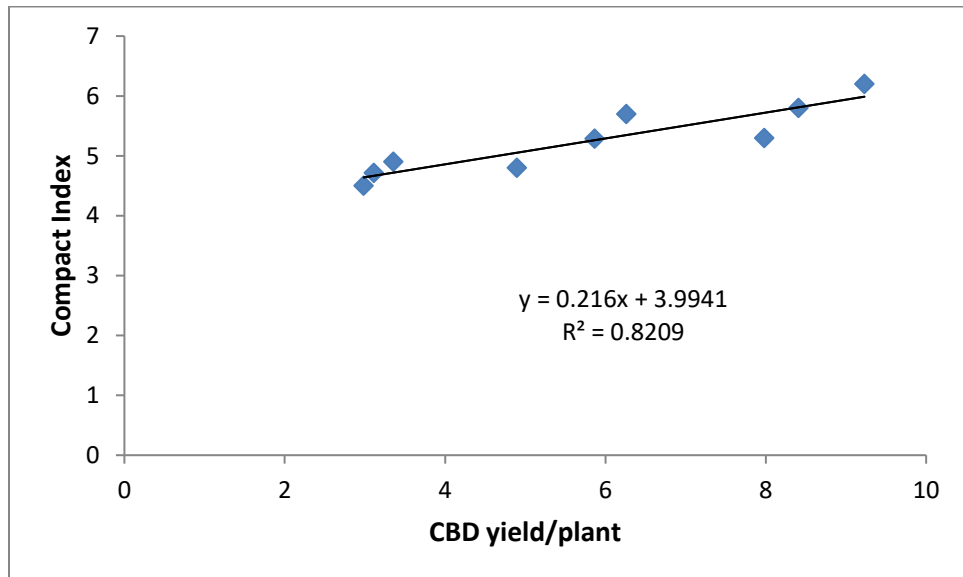
Στη συνέχεια η απόδοση σε CBD ανά φυτό που μετρήθηκε, βρέθηκε ότι παρουσίασε θετική συσχέτιση με το μήκος ταξιανθίας (Διάγραμμα 38), με το μέσο βάρος ταξιανθίας (Διάγραμμα 39), με το δείκτη συμπαγείας (Compact Index) (Διάγραμμα 40) και με τη θερμοκρασία φυλλώματος φυτών κάνναβης (Διάγραμμα 41).



Διάγραμμα 38: Γραμμική συσχέτιση μεταξύ της απόδοσης σε CBD και του μήκους ταξιανθίας

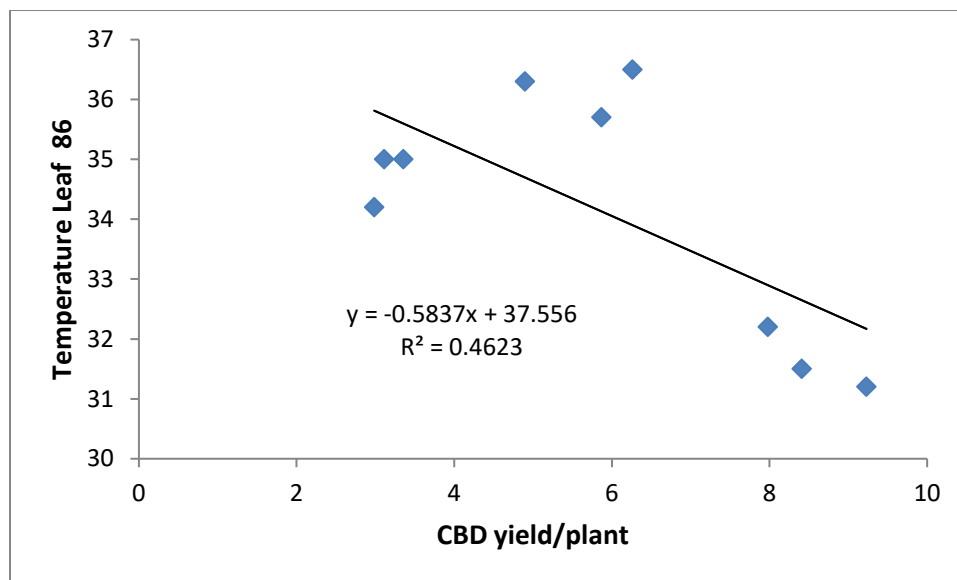


Διάγραμμα 39: Γραμμική συσχέτιση μεταξύ της απόδοσης σε CBD και του μέσου βάρους ταξιανθίας



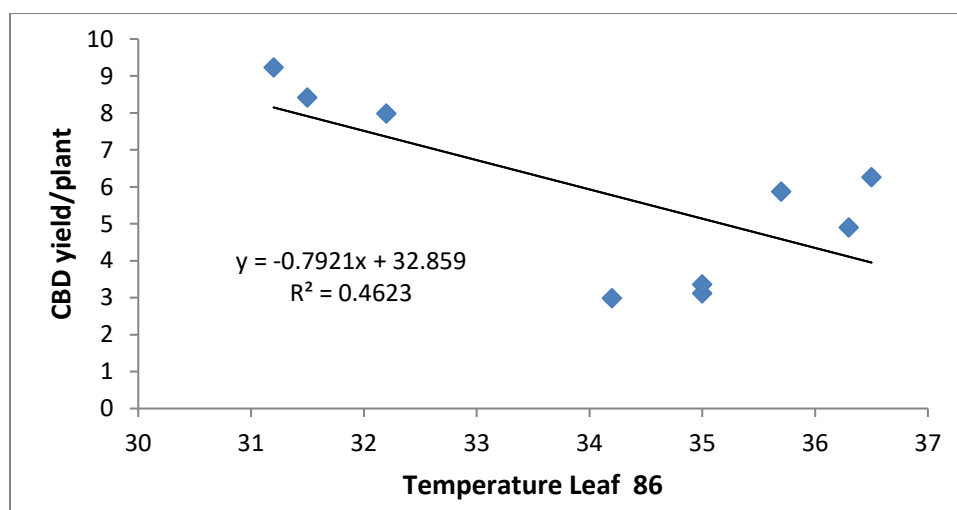
Διάγραμμα 40: Γραμμική συσχέτιση μεταξύ της απόδοσης σε CBD και του δείκτη συμπάγιας (Compact Index)

Στη συνέχεια η απόδοση ανά φυτό σε CBD επηρεάζεται από την ακτινοβολία, διότι σύμφωνα με έρευνα αποδεικνύεται ότι όσο αυξάνεται η ακτινοβολία, αυξάνεται και η απόδοση ανά φυτό και το αντίστροφο (Wouter Vanhovea, Patrick Van Dammea, 2011).



Διάγραμμα 41: Γραμμική συσχέτιση μεταξύ της απόδοσης σε CBD και της θερμοκρασίας φυλλώματος φυτών κάνναβης

Τέλος, θετική συσχέτιση παρουσιάζει η θερμοκρασία φυλλώματος φυτών κάνναβης με τη απόδοση σε CBD ανά φυτό. (Διάγραμμα 42)



Διάγραμμα 42: Γραμμική συσχέτιση μεταξύ της θερμοκρασίας φυλλώματος φυτών κάνναβης και της απόδοσης σε CBD ανά φυτό

Συμπερασματικά, θα μπορούσαμε να πούμε ότι το υλικό κάλυψης θερμοκηπίου που θα χρησιμοποιηθεί παίζει καθοριστικό ρόλο για την ανάπτυξη του φυτού. Συγκεκριμένα, η ενεργά φωτοσυνθετική ακτινοβολία (PAR) έδωσε σημαντική συσχέτιση ως προς την περιεκτικότητα σε χλωροφύλλη, που είναι και μια πολύ σημαντική παράμετρος για την ανάπτυξη της καλλιέργειας. Στη συνέχεια, καταλήγουμε επίσης ότι το μήκος της ταξιανθίας επηρέασε θετικά μετρήσεις όπως το βάρος της ταξιανθίας, το δείκτη συμπάγιας, την περιεκτικότητα σε CBD, καθώς και την απόδοση σε CBD. Το βάρος ανά ταξιανθία επηρέασε τις ίδιες μετρήσεις όπως προαναφέρθηκαν, μαζί και με το μήκος της ταξιανθίας. Ο δείκτης συμπάγιας επηρεάζει θετικά το μήκος και το βάρος ανά ταξιανθίας, όπως ακόμη επέδρασε θετικά στην απόδοση και περιεκτικότητα σε CBD. Η περιεκτικότητα και απόδοση σε CBD επηρέασαν θετικά το μήκος και το βάρος της ταξιανθίας και το δείκτη συμπάγιας. Τέλος, η θερμοκρασία φυλλώματος επηρεάζεται θετικά μόνο από την απόδοση σε CBD και το αντίστροφο.

Βιβλιογραφία

Ξένη βιβλιογραφία

About PAR, PPF, And PPFD - Fluence By OSRAM (2016). Available at: https://fluence.science/science-articles/horticulture-lighting-metrics/?fbclid=IwAR23W-maSg41IsjILhpgbgYX2lYt4v9-Ok1ln4k3li_7GDhnYw7HJT3hdo (Accessed: 17 August 2020).

Bash, E. (2015) *Cannabi: The Genus Cannabis, PhD Proposal*. doi: 10.1017/CBO9781107415324.004.

‘Cannabis production: Precision Cotrolled Enviroments’ (2017).

Cecilia Stanghellini, Bert van’t Ooster, E. H. (2019) *Θερμοκήπια Τεχνολογίες για βέλτιστη παραγωγή*. Αθήνα: Πεδίο.

Chandra, S. *et al.* (2008) ‘Photosynthetic response of Cannabis sativa L. to variations in photosynthetic photon flux densities, temperature and CO₂ conditions’, *Physiology and Molecular Biology of Plants*, pp. 299–306. doi: 10.1007/s12298-008-0027-x.

Downer, S. (2018) ‘The Ultimate Lighting Guide for Cannabis Cultivation’, *Medium*. Available at: <https://medium.com/@sabinedowner/the-ultimate-lighting-guide-for-cannabis-cultivation-cc60b22df835>.

Fike, J. (2016) ‘Industrial Hemp: Renewed Opportunities for an Ancient Crop’, *Critical Reviews in Plant Sciences*, pp. 406–424. doi: 10.1080/07352689.2016.1257842.

Giancarlo Pagnania, Marika Pellegrinia, Angelica Galienia, Sara D’Egidioa, Federica Matteuccic, Antonella Riccia, Fabio Stagnaria, Manuel Sergia, Claudio Lo Sterzoa, Michele Pisantea, M. D. G. (2018) ‘Plant growth-promoting rhizobacteria (PGPR) in Cannabis sativa “Finola” cultivation: An alternative fertilization strategy to improve plant growth and quality characteristics’, *ScienceDirect*, 123(Industrial Crops and Produucts), pp. 75–83.

Giuliano Vox, M. Teitel, Alberto Pardossi, Andrea Minuto, Federico Tinivella, E. S. (2010) ‘Sustainable Greenhouse Systems. in “Sustainable Agriculture: Technology, Planning and Management”’. NY USA: Nova Science Publishers, Inc.

Jim Brown (2006) ‘Light in the Greenhouse: How much is Enough?’, *Cropking Incorporated*.

Kaiser, C., Cassady, C. and Ernst, M. (2014) ‘Industrial Hemp Production’, *CCD Crop Profiles*, p. <http://www.uky.edu/Ag/CCD/introsheets/hempproducti>. doi: 10.1016/S0921-8009(97)00040-2.

Mariotti, K. de C. *et al.* (2016) ‘Seized cannabis seeds cultivated in greenhouse: A chemical study by gas chromatography-mass spectrometry and chemometric analysis’, *Science and*

Justice. The Chartered Society of Forensic Sciences, 56(1), pp. 35–41. doi: 10.1016/j.scijus.2015.09.002.

Mortensen, L. M. (2014) ‘The Effect of Photosynthetic Active Radiation and Temperature on Growth and Flowering of Ten Flowering Pot Plant Species’. Norway.

Russo, E. B. *et al.* (2003) ‘Cannabis is more than simply δ^9 -tetrahydrocannabinol [2] (multiple letters)’, *Psychopharmacology*, 165(4), pp. 431–434. doi: 10.1007/s00213-002-1348-z.

Wellhoffer, J. (2020) ‘The Effects of Light Spectra on the Growth and Development of Greenhouse CBD Hemp’.

Wouter Vanhovea, Patrick Van Dammea, N. M. (2011) ‘Factors determining yield and quality of illicit indoor cannabis (*Cannabis* spp.) production’, *ScienceDirect*, 212(Forensic Science International), pp. 158–163.

Ελληνική βιβλιογραφία

Μπιλάλης, Δημήτριος, Παπαστυλιανού, Παναγιώτα-Θηρεσία, Τραυλός, Η. Σ. (2019) *Γεωργία Φυτά μεγάλης καλλιέργειας*. Αθήνα: Πεδίο.

‘Οδηγός καλλιέργειας κλωστικής κάνναβης στην Ελλάδα (*Cannabis Sativa* L.)’ (2016).

‘Ρύθμιση συνθηκών περιβάλλοντος θερμοκηπίου’ (2016).

‘Συστήματα θέρμανσης’ (2015).

Τσαλίκη, Ε. (2017) ‘Βιομηχανική κάνναβη – μια νέα καλλιέργεια στην Ελλάδα’, pp. 6–7.

Μαυρογιαννόπουλος Γ. :“ Θερμοκήπια ”, Έκδοση Γ', Αθήνα 2001