



ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΘΕΣΣΑΛΙΑΣ
ΣΧΟΛΗ ΓΕΩΠΟΝΙΚΩΝ ΕΠΙΣΤΗΜΩΝ
ΤΜΗΜΑ ΓΕΩΠΟΝΙΑΣ ΦΥΤΙΚΗΣ ΠΑΡΑΓΩΓΗΣ ΚΑΙ ΑΓΡΟΤΙΚΟΥ
ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝΤΟΣ
ΕΡΓΑΣΤΗΡΙΟ ΚΗΠΕΥΤΙΚΩΝ ΚΑΛΛΙΕΡΓΕΙΩΝ

Πτυχιακή Εργασία

**«Χρήση βιοδιεγερτών σε θερμοκηπιακή καλλιέργεια μαρουλιού υπό
συνθήκες ελλειμματικής άρδευσης»**



Συγγραφέας

Μπουρούνη Παρασκευή

Προπτυχιακή φοιτήτρια

Επιβλέπων Καθηγητής

Πετρόπουλος Σπυρίδων

Αναπληρωτής Καθηγητής Λαχανοκομίας

Βόλος, Οκτώβριος 2022

Πτυχιακή Εργασία

«Χρήση βιοδιεγερτών σε θερμοκηπιακή καλλιέργεια μαρουλιού υπό συνθήκες ελλειμματικής άρδευσης»

«The use biostimulants on greenhouse lettuce plants grown under deficit irrigation»

Συγγραφέας

Μπουρούνη Παρασκευή

Προπτυχιακή φοιτήτρια

Τριμελής Εξεταστική Επιτροπή

1. Πετρόπουλος Σπυρίδων

Αναπληρωτής Καθηγητής Λαχανοκομίας

Επιβλέπων, Μέλος Δ.Ε.Π.

2. Καρκάνης Ανέστης

Αναπληρωτής Καθηγητής Ζιζανιολογίας

Μέλος Δ.Ε.Π.

3. Γιαννούλης Κυριάκος

Επίκουρος Καθηγητής Γεωργίας

με έμφαση στην καλλιέργεια

Ενεργειακών, Αρωματικών

και Φαρμακευτικών Φυτών

Μέλος Δ.Ε.Π.

Στους γονείς μου

Μπουρούνη Παρασκευή, Οκτώβριος 2022

Βεβαιώνω ότι είμαι συγγραφέας αυτής της πτυχιακής εργασίας, η οποία εκπονήθηκε σύμφωνα με τον Κανονισμό Εκπόνησης Πτυχιακής Εργασίας του Τμήματος Γεωπονίας Φυτικής Παραγωγής και Αγροτικού Περιβάλλοντος

Ευχαριστίες

Αισθάνομαι την ανάγκη να ευχαριστήσω θερμά όλους όσους προσέφεραν τη βοήθεια και τη στήριξή τους κατά τη διάρκεια της συγγραφής της παρούσας πτυχιακής εργασίας.

Αρχικά ευχαριστώ τον επιβλέποντα καθηγητή μου, τον κ. Πετρόπουλο Σπυρίδωνα, Αναπληρωτή Καθηγητή Λαχανοκομίας και διευθυντή του Εργαστηρίου Κηπευτικών Καλλιεργειών για την ανάθεση του θέματος της πτυχιακής εργασίας, την εξαιρετική συνεργασία μας κατά τη διάρκεια συγγραφής και την ακούραστη προσφορά βοήθειας, οδηγιών και κατευθύνσεων, αλλά και για την ευκαιρία που προσέφερε στη διεύρυνση των γνώσεων μου γύρω από το συγκεκριμένο ερευνητικό αντικείμενο. Παράλληλα εκφράζω τις ευχαριστίες μου και στον κ. Καρκάνη Ανέστη, Αναπληρωτή Καθηγητή Ζιζανιολογίας και στον κ. Γιαννούλη Κυριάκο, Επίκουρο Καθηγητή Γεωργίας με έμφαση στην καλλιέργεια Ενεργειακών, Αρωματικών και Φαρμακευτικών Φυτών, που μαζί με τον κ. Πετρόπουλο Σπυρίδωνα αποτελούσαν τα μέλη της Τριμελούς Εξεταστικής Επιτροπής και μέσω των πολύτιμων συμβουλών και παρατηρήσεών τους συνέβαλαν στη μεγαλύτερη δυνατή βελτίωση της πτυχιακής εργασίας. Επιπλέον ευχαριστώ και την κ. Χασκή Χριστίνα, υποψήφια διδάκτορα, την κ. Κομποχόλη Μαρία, μεταπτυχιακή φοιτήτρια και τον κ. Ρούπα Βασίλειο, μεταπτυχιακό φοιτητή για την άριστη συνεργασία μας κατά τη διάρκεια της πειραματικής διαδικασίας, όπως και τα μέλη του Εργαστηρίου Γεωργίας και Εφαρμοσμένης Φυσιολογίας Φυτών για την παραχώρηση του ξηραντηρίου του Εργαστηρίου για τη διεκπεραίωση σταδίου του πειράματος. Ακόμη ευχαριστώ όλους τους καθηγητές μου για τις γνώσεις που μου προσέφεραν σε όλη τη διάρκεια των σπουδών μου.

Εν συνεχεία ευχαριστώ τους φίλους και τους συμφοιτητές μου για όλη την υποστήριξη τόσο κατά τη διάρκεια της συγγραφής όσο και πριν και κατά τη διάρκεια των φοιτητικών χρόνων.

Σε αυτό το σημείο φυσικά θα ήταν αδύνατο να μην ευχαριστήσω ιδιαίτερος τους γονείς μου για την πηγαία αγάπη, ψυχολογική και ηθική υποστήριξη που ανιδιοτελώς μόνο γνωρίζουν απλόχερα και παντοτινά να προσφέρουν, όπως επίσης και τους συγγενείς μου για τη διαρκή αγάπη και συμπαράστασή τους.

Μπουρούνη Παρασκευή
Βόλος, Οκτώβριος 2022

Περιεχόμενα

Κατάλογος Γραφημάτων	ix
Κατάλογος Εικόνων.....	xii
Περίληψη	xiii
Λέξεις-Κλειδιά.....	xiv
Κεφάλαιο 1 ^ο : Εισαγωγή.....	1
1.1. Καλλιέργεια μαρουλιού (<i>Lactuca sativa</i> L.).....	1
1.1.1. Διάδοση καλλιέργειας, θρεπτική και διαιτητική αξία	1
1.1.2. Βοτανικά χαρακτηριστικά	1
1.1.3. Πολλαπλασιασμός	2
1.1.4. Καλλιεργητικές τεχνικές και ανάγκες	3
1.1.5. Κυριότερες ασθένειες και εχθροί	4
1.2. Ελλειμματική άρδευση.....	4
1.2.1. Αξία διαθεσιμότητας νερού.....	4
1.2.2. Κλιματική αλλαγή και επιπτώσεις στις υδρολογικές διαδικασίες.....	5
1.2.3. Επιπτώσεις συνθηκών έλλειψης νερού στα φυτά.....	6
1.2.4. Σημασία υιοθέτησης αποτελεσματικών στρατηγικών παροχής νερού και χρήση δεικτών ποσοτικοποίησης υδατικής κατανάλωσης από καλλιέργειες	6
1.2.5. Ορισμός ελλειμματικής άρδευσης.....	8
1.2.6. Σημασία, οφέλη και προϋποθέσεις εφαρμογής ελλειμματικής άρδευσης.....	9
1.2.7. Παραδείγματα επιδράσεων εφαρμογής ελλειμματικής άρδευσης σε κηπευτικές καλλιέργειες σε ποιοτικά και ποσοτικά χαρακτηριστικά	10
1.2.8. Προϋποθέσεις εφαρμογής ελλειμματικής άρδευσης στο μαρούλι και επιπτώσεις στα ποιοτικά και ποσοτικά του χαρακτηριστικά.....	10
1.3. Βιοδιεγέρτες	12
1.3.1. Ανάγκη χρήσης βιοδιεγερτών στα πλαίσια της βιώσιμης γεωργίας.....	12
1.3.2. Ορισμός βιοδιεγερτών	13
1.3.3. Συγκριτικά πλεονεκτήματα χρήσης βιοδιεγερτών έναντι χημικών λιπασμάτων.....	14
1.3.4. Γενικά οφέλη στα φυτά και μηχανισμός δράσης βιοδιεγερτών	14
1.3.5. Είδη βιοδιεγερτών	15
1.3.6. Βιοδιεγέρτες με προέλευση από χουμικές ουσίες, μηχανισμός δράσης και οφέλη	16
1.3.7. Βιοδιεγέρτες με προέλευση από φύκη, μηχανισμός δράσης και οφέλη.....	16

1.3.8. Βιοδιεγέρτες μικροβιακής προέλευσης, μηχανισμός δράσης και οφέλη ...	17
1.3.9. Βιοδιεγέρτες με προέλευση από εκχυλίσματα φυτικών ιστών, μηχανισμός δράσης και οφέλη	18
1.3.10. Βιοδιεγέρτες με προέλευση από υδρολυμένες πρωτεΐνες, μηχανισμός δράσης και οφέλη	18
1.3.11. Βιοδιεγέρτες που περιέχουν χιτοζάνη και άλλα βιοπολυμερή, μηχανισμός δράσης και οφέλη	19
1.3.12. Βιοδιεγέρτες που περιέχουν ανόργανα στοιχεία και ενώσεις, μηχανισμός δράσης και οφέλη	20
1.4. Σκοπός Πτυχιακής Εργασίας.....	20
Κεφάλαιο 2 ^ο : Υλικά και Μέθοδοι.....	22
2.1. Υλικά, όργανα, σκεύη και σκευάσματα	22
2.1.1. Υλικά	22
2.1.2. Όργανα.....	22
2.1.3. Σκεύη	22
2.1.4. Σκευάσματα	22
2.1.5. Άλλα	22
2.2. Μεθοδολογία πειραματικής διαδικασίας	23
2.2.1. Γενικά για το πειραματικό σχέδιο	23
2.2.2. Έναρξη πειράματος, μεταφύτευση μαρουλιών και εφαρμογή βιοδιεγερτών μέσω εμβάπτισης (πρώτη εφαρμογή).....	25
2.2.3. Δεύτερη εφαρμογή βιοδιεγερτών μέσω υδρολιπάνσεων και διαφυλλικών ψεκασμών	26
2.2.4. Πρώτη μέτρηση συγκέντρωσης χλωροφύλλης και ύψους μαρουλιών.....	27
2.2.5. Τρίτη εφαρμογή βιοδιεγερτών μέσω υδρολιπάνσεων και διαφυλλικών ψεκασμών	28
2.2.6. Δεύτερη μέτρηση συγκέντρωσης χλωροφύλλης και ύψους μαρουλιών	28
2.2.7. Τέταρτη εφαρμογή βιοδιεγερτών μέσω υδρολιπάνσεων και διαφυλλικών ψεκασμών	28
2.2.8. Τρίτη μέτρηση συγκέντρωσης χλωροφύλλης και ύψους μαρουλιών.....	28
2.2.9. Συγκομιδή μαρουλιών, μετρήσεις νωπού βάρους φυτών, νωπού βάρους φύλλων, δείκτη φυλλικής επιφάνειας (LAI) και ξηρής μάζας προς υπολογισμό ξηρής ουσίας, ειδικής φυλλικής επιφάνειας (SLA) και αποτελεσματικότητας χρήσης νερού (WUE)	29
2.2.10. Υπολογισμοί ξηρής ουσίας, ειδικής φυλλικής επιφάνειας (SLA) και αποτελεσματικότητας χρήσης νερού (WUE)	33
2.2.11. Στατιστική ανάλυση	33

Κεφάλαιο 3 ^ο : Αποτελέσματα	34
3.1. Αποτελέσματα πρώτης, δεύτερης και τρίτης μέτρησης της συγκέντρωσης χλωροφύλλης (δείκτη SPAD)	34
3.2. Αποτελέσματα πρώτης, δεύτερης και τρίτης μέτρησης του ύψους φυτών	41
3.3. Αποτελέσματα μέτρησης νωπού βάρους φυτών	48
3.4. Αποτελέσματα μέτρησης νωπού βάρους φύλλων ανά φυτό	51
3.5. Αποτελέσματα μέτρησης αριθμού φύλλων ανά φυτό	53
3.6. Αποτελέσματα μέτρησης φυλλικής επιφάνειας	55
3.7. Αποτελέσματα υπολογισμού ποσοστού % ξηρής ουσίας φύλλων ανά φυτό....	58
3.8. Αποτελέσματα υπολογισμού ειδικής φυλλικής επιφάνειας (SLA).....	60
3.9. Αποτελέσματα υπολογισμού αποτελεσματικότητας χρήσης νερού (WUE).....	62
Κεφάλαιο 4 ^ο : Συζήτηση	65
4.1. Ερμηνεία και σχολιασμός αποτελεσμάτων σχετικών με τη συγκέντρωση χλωροφύλλης (δείκτη SPAD) στα μαρούλια.....	65
4.2. Ερμηνεία και σχολιασμός αποτελεσμάτων σχετικών με το ύψος των μαρουλιών	66
4.3. Ερμηνεία και σχολιασμός αποτελεσμάτων σχετικών με το νωπό βάρος των μαρουλιών	67
4.4. Ερμηνεία και σχολιασμός αποτελεσμάτων σχετικών με το νωπό βάρος του συνόλου των φύλλων κάθε μαρουλιού	68
4.5. Ερμηνεία και σχολιασμός αποτελεσμάτων σχετικών με τον αριθμό του συνόλου των φύλλων κάθε μαρουλιού	69
4.6. Ερμηνεία και σχολιασμός αποτελεσμάτων σχετικών με τη φυλλική επιφάνεια (δείκτη LAI) του συνόλου των φύλλων κάθε μαρουλιού.....	69
4.7. Ερμηνεία και σχολιασμός αποτελεσμάτων σχετικών με το % ποσοστό ξηρής ουσίας του συνόλου των φύλλων κάθε μαρουλιού	70
4.8. Ερμηνεία και σχολιασμός αποτελεσμάτων σχετικών με την ειδική φυλλική επιφάνεια (SLA) του συνόλου των φύλλων κάθε μαρουλιού.....	70
4.9. Ερμηνεία και σχολιασμός αποτελεσμάτων σχετικών με την αποτελεσματικότητα χρήσης νερού (WUE).....	71
Κεφάλαιο 5 ^ο : Συμπεράσματα.....	72
Κεφάλαιο 6 ^ο : Βιβλιογραφία.....	74
6.1. Ελληνική	74
6.2. Ξενόγλωσση	75
Κεφάλαιο 7 ^ο : Παραρτήματα	96
Παράρτημα Α	96

Παράρτημα Β	97
-------------------	----

Κατάλογος Γραφημάτων

Γράφημα 3.1: Μέσοι όροι και σημαντικότητα στατιστικών διαφορών μέσω όρων της πρώτης μέτρησης δείκτη SPAD (σε CCI) ανά επίπεδο άρδευσης και μεταχείριση βιοδιεγέρτη για τον τύπο Batavia	34
Γράφημα 3.2: Μέσοι όροι και σημαντικότητα στατιστικών διαφορών μέσω όρων ληφθέντων τιμών της πρώτης μέτρησης δείκτη SPAD (σε CCI) ανά επίπεδο άρδευσης και μεταχείριση βιοδιεγέρτη για τον τύπο Romaine	36
Γράφημα 3.3: Μέσοι όροι και σημαντικότητα στατιστικών διαφορών μέσω όρων ληφθέντων τιμών της δεύτερης μέτρησης δείκτη SPAD (σε CCI) ανά επίπεδο άρδευσης και μεταχείριση βιοδιεγέρτη για τον τύπο Batavia	37
Γράφημα 3.4: Μέσοι όροι και σημαντικότητα στατιστικών διαφορών μέσω όρων ληφθέντων τιμών της δεύτερης μέτρησης δείκτη SPAD (σε CCI) ανά επίπεδο άρδευσης και μεταχείριση βιοδιεγέρτη για τον τύπο Romaine	38
Γράφημα 3.5: Μέσοι όροι και σημαντικότητα στατιστικών διαφορών μέσω όρων ληφθέντων τιμών της τρίτης μέτρησης δείκτη SPAD (σε CCI) ανά επίπεδο άρδευσης και μεταχείριση βιοδιεγέρτη για τον τύπο Batavia	39
Γράφημα 3.6: Μέσοι όροι και σημαντικότητα στατιστικών διαφορών μέσω όρων ληφθέντων τιμών της τρίτης μέτρησης δείκτη SPAD (σε CCI) ανά επίπεδο άρδευσης και μεταχείριση βιοδιεγέρτη για τον τύπο Romaine	40
Γράφημα 3.7: Μέσοι όροι και σημαντικότητα στατιστικών διαφορών μέσω όρων ληφθέντων τιμών της πρώτης μέτρησης υψών (σε cm) ανά επίπεδο άρδευσης και μεταχείριση βιοδιεγέρτη για τον τύπο Batavia	41
Γράφημα 3.8: Μέσοι όροι και σημαντικότητα στατιστικών διαφορών μέσω όρων ληφθέντων τιμών της πρώτης μέτρησης υψών (σε cm) ανά επίπεδο άρδευσης και μεταχείριση βιοδιεγέρτη για τον τύπο Romaine	42
Γράφημα 3.9: Μέσοι όροι και σημαντικότητα στατιστικών διαφορών μέσω όρων ληφθέντων τιμών της δεύτερης μέτρησης υψών (σε cm) ανά επίπεδο άρδευσης και μεταχείριση βιοδιεγέρτη για τον τύπο Batavia	43
Γράφημα 3.10: Μέσοι όροι και σημαντικότητα στατιστικών διαφορών μέσω όρων ληφθέντων τιμών της δεύτερης μέτρησης υψών (σε cm) ανά επίπεδο άρδευσης και μεταχείριση βιοδιεγέρτη για τον τύπο Romaine	44
Γράφημα 3.11: Μέσοι όροι και σημαντικότητα στατιστικών διαφορών μέσω όρων ληφθέντων τιμών της τρίτης μέτρησης υψών (σε cm) ανά επίπεδο άρδευσης και μεταχείριση βιοδιεγέρτη για τον τύπο Batavia	46

Γράφημα 3.12: Μέσοι όροι και σημαντικότητα στατιστικών διαφορών μέσω των όρων ληφθέντων τιμών της τρίτης μέτρησης υψών (σε cm) ανά επίπεδο άρδευσης και μεταχείριση βιοδιεγέρτη για τον τύπο Romaine	47
Γράφημα 3.13: Μέσοι όροι και σημαντικότητα στατιστικών διαφορών μέσω των όρων τιμών νωπού βάρους φυτών (σε g) ανά επίπεδο άρδευσης και μεταχείριση βιοδιεγέρτη για τον τύπο Batavia	48
Γράφημα 3.14: Μέσοι όροι και σημαντικότητα στατιστικών διαφορών μέσω των όρων τιμών νωπού βάρους φυτών (σε g) ανά επίπεδο άρδευσης και μεταχείριση βιοδιεγέρτη για τον τύπο Romaine	49
Γράφημα 3.15: Μέσοι όροι και σημαντικότητα στατιστικών διαφορών μέσω των όρων τιμών νωπού βάρους φύλλων (σε g) ανά επίπεδο άρδευσης και μεταχείριση βιοδιεγέρτη για τον τύπο Batavia	51
Γράφημα 3.16: Μέσοι όροι και σημαντικότητα στατιστικών διαφορών μέσω των όρων τιμών νωπού βάρους φύλλων (σε g) ανά επίπεδο άρδευσης και μεταχείριση βιοδιεγέρτη για τον τύπο Romaine	52
Γράφημα 3.17: Μέσοι όροι και σημαντικότητα στατιστικών διαφορών μέσω των όρων αριθμού φύλλων κάθε φυτού ανά επίπεδο άρδευσης και μεταχείριση βιοδιεγέρτη για τον τύπο Batavia	53
Γράφημα 3.18: Μέσοι όροι και σημαντικότητα στατιστικών διαφορών μέσω των όρων αριθμού φύλλων κάθε φυτού ανά επίπεδο άρδευσης και μεταχείριση βιοδιεγέρτη για τον τύπο Romaine	54
Γράφημα 3.19: Μέσοι όροι και σημαντικότητα στατιστικών διαφορών μέσω των όρων τιμών φυλλικής επιφάνειας (σε cm ²) ανά επίπεδο άρδευσης και μεταχείριση βιοδιεγέρτη για τον τύπο Batavia	55
Γράφημα 3.20: Μέσοι όροι και σημαντικότητα στατιστικών διαφορών μέσω των όρων τιμών φυλλικής επιφάνειας (σε cm ²) ανά επίπεδο άρδευσης και μεταχείριση βιοδιεγέρτη για τον τύπο Romaine	56
Γράφημα 3.21: Μέσοι όροι και σημαντικότητα στατιστικών διαφορών μέσω των όρων ποσοστών % ξηρής ουσίας ανά επίπεδο άρδευσης και μεταχείριση βιοδιεγέρτη για τον τύπο Batavia	58
Γράφημα 3.22: Μέσοι όροι και σημαντικότητα στατιστικών διαφορών μέσω των όρων ποσοστών % ξηρής ουσίας ανά επίπεδο άρδευσης και μεταχείριση βιοδιεγέρτη για τον τύπο Romaine	59
Γράφημα 3.23: Μέσοι όροι και σημαντικότητα στατιστικών διαφορών μέσω των όρων τιμών ειδικής φυλλικής επιφάνειας SLA (σε m ² /kg) ανά επίπεδο άρδευσης και μεταχείριση βιοδιεγέρτη για τον τύπο Batavia	60

Γράφημα 3.24: Μέσοι όροι και σημαντικότητα στατιστικών διαφορών μέσω των τιμών ειδικής φυλλικής επιφάνειας SLA (σε m^2/kg) ανά επίπεδο άρδευσης και μεταχείριση βιοδιεγέρτη για τον τύπο Romaine61

Γράφημα 3.25: Μέσοι όροι και σημαντικότητα στατιστικών διαφορών μέσω των τιμών αποτελεσματικότητας χρήσης νερού WUE (σε kg/m^3) ανά επίπεδο άρδευσης και μεταχείριση βιοδιεγέρτη για τον τύπο Batavia62

Γράφημα 3.26: Μέσοι όροι και σημαντικότητα στατιστικών διαφορών μέσω των τιμών αποτελεσματικότητας χρήσης νερού WUE (σε kg/m^3) ανά επίπεδο άρδευσης και μεταχείριση βιοδιεγέρτη για τον τύπο Romaine 63

Κατάλογος Εικόνων

Εικόνα 2.1: Αποτύπωση πειραματικού σχεδίου για διάταξη ποικιλιών μεταφυτευμένων μαρουλιών στο θερμοκήπιο και για προβλεπόμενες εφαρμογές βιοδιεγερτών ανά plot ανά επανάληψη ανά επίπεδο άρδευσης	24
Εικόνα 2.2: Μεταφυτευμένα μαρούλια περιμετρικά του σταλάκτη	26
Εικόνα 2.3: Μεταφυτευμένα μαρούλια	26
Εικόνα 2.4: Φορητοί μετρητές χλωροφύλλης SPAD	27
Εικόνα 2.5: Ανάπτυξη μαρουλιών κατά την πρώτη μέτρηση συγκέντρωσης χλωροφύλλης και ύψους	27
Εικόνα 2.6: Ανάπτυξη μαρουλιών κατά την τέταρτη εφαρμογή βιοδιεγερτών μέσω υδρολιπάνσεων και διαφυλλικών ψεκασμών	28
Εικόνα 2.7: Ανάπτυξη μαρουλιών Romaine κατά την τρίτη μέτρηση χλωροφύλλης και ύψους	29
Εικόνα 2.8: Ανάπτυξη μαρουλιών Batavia κατά την τρίτη μέτρηση χλωροφύλλης και ύψους	29
Εικόνα 2.9: Μαρούλια Romaine την ημέρα της συγκομιδής	30
Εικόνα 2.10: Μαρούλια Batavia την ημέρα της συγκομιδής	30
Εικόνα 2.11: Ζυγός ακριβείας	30
Εικόνα 2.12: Κομμένα φύλλα μαρουλιού και σακούλα με επισήμανση ποικιλίας, εφαρμογής βιοδιεγέρτη, επιπέδου άρδευσης και αύξοντος αριθμού μαρουλιού ανά ομάδα επιπέδου άρδευσης	31
Εικόνα 2.13: Μετρητής φυλλικής επιφάνειας (LI-3100C AREA METER)	31
Εικόνα 2.14: Εισαγωγή φύλλων μαρουλιού στο μετρητή φυλλικής επιφάνειας του Εργαστηρίου Κηπευτικών Καλλιεργειών	32
Εικόνα 2.15: Εισαγωγή μαρουλιών στο ξηραντήριο του Εργαστηρίου Γεωργίας και Εφαρμοσμένης Φυσιολογίας Φυτών	32

Περίληψη

Σκοπός της παρούσας πτυχιακής εργασίας αποτελεί η διερεύνηση των επιδράσεων της εφαρμογής διαφόρων τύπων βιοδιεγερτών υπό καθεστώς ελλειμματικής άρδευσης πάνω στις παραμέτρους αύξησης, ανάπτυξης και απόδοσης θερμοκηπιακής χειμερινής καλλιέργειας μαρουλιού. Ειδικότερα για τις ανάγκες της μελέτης του θέματος πραγματοποιήθηκε πείραμα σύμφωνα με το οποίο μεταφυτεύθηκαν εντός θερμοκηπίου φυτά μαρουλιού των τύπων Batavia και Romaine στα οποία εφαρμόστηκαν έξι μεταχειρίσεις με βιοδιεγέρτες παράλληλα με την εφαρμογή τριών επιπέδων άρδευσης (100%, 66% και 46% της μέγιστης υδατοχωρητικότητας του εδάφους). Οι βιοδιεγέρτες που εφαρμόστηκαν ήταν οι AGR109 (με εκχυλίσματα φυκιών και αμινοξέων), AGR110 (με χουμικά και φουλβικά οξέα), AGR113 (με Si), AGR114 (με φυτικές πρωτεΐνες και αμινοξέα) και συνδυαστικά εφαρμόστηκαν οι AGR111+AGR112 (με Si και Ca, Zn, με μηχανισμό απορρόφησης μετακίνησης Ca αντίστοιχα), ενώ η έκτη μεταχείριση ήταν αυτή του μάρτυρα. Κάθε συνδυασμός μεταχειρίσεων επαναλήφθηκε τρεις φορές, ενώ το πείραμα ακολούθησε το σχέδιο των υποδιαιρεμένων τεμαχίων. Κατά τη διάρκεια της καλλιέργειας (προσυλλεκτικά) μετρήθηκαν ανά τακτά χρονικά διαστήματα η συγκέντρωση χλωροφύλλης (δείκτης SPAD) και το ύψος των φυτών, ενώ κατά τη συγκομιδή μετρήθηκαν τα νωπά βάρη φυτών και φύλλων, ο αριθμός φύλλων ανά φυτό, η φυλλική επιφάνεια, η ξηρή ουσία φύλλων, η ειδική φυλλική επιφάνεια και η αποτελεσματικότητα χρήσης νερού. Τα αποτελέσματα της στατιστικής ανάλυσης των ανωτέρω δεδομένων έδειξαν: α) θετικές επιδράσεις της συνδυαστικής εφαρμογής κυρίως κανονικής και ελάχιστης άρδευσης με βιοδιεγέρτες στη συγκέντρωση χλωροφύλλης και το ύψος και στις δυο ποικιλίες σε όλη την καλλιεργητική περίοδο, β) θετική επίδραση της μέσης και της κανονικής άρδευσης σε συνδυασμό με βιοδιεγέρτες με πρωτεΐνες και αμινοξέα, Si και με πρωτεΐνες και θρεπτικά στοιχεία στο νωπό βάρος φυτών και φύλλων και τον αριθμό φύλλων, ενώ γ) παρατηρήθηκε ποικίλη επίδραση της μέσης και κανονικής άρδευσης σε συνδυασμό με την εφαρμογή βιοδιεγερτών σχετικά με τη φυλλική επιφάνεια, την ξηρή ουσία, την ειδική φυλλική επιφάνεια και την αποτελεσματικότητα χρήσης νερού. Συμπερασματικά, η συνδυαστική εφαρμογή μέσης άρδευσης και βιοδιεγερτών αποτέλεσε ασπίδα προστασίας των φυτών μαρουλιού έναντι της υδατικής καταπόνησης, δίνοντας προοπτικές εφαρμογής τους σε καλλιέργειες φυλλωδών λαχανικών υπό τις συνθήκες της κλιματικής αλλαγής.

Λέξεις-Κλειδιά

Υδατική καταπόνηση, κλιματική αλλαγή, βιοδιεγερτικά σκευάσματα, συγκέντρωση χλωροφύλλης, ύψος φυτών, νωπή βιομάζα, αριθμός φύλλων, φυλλική επιφάνεια, ξηρή ουσία, ειδική φυλλική επιφάνεια, αποτελεσματικότητα χρήσης νερού, *Lactuca sativa* L.

Κεφάλαιο 1^ο: Εισαγωγή

1.1. Καλλιέργεια μαρουλιού (*Lactuca sativa* L.)

1.1.1. Διάδοση καλλιέργειας, θρεπτική και διαιτητική αξία

Το μαρούλι (*Lactuca sativa* L., Λακτούκη ή ήμερος) είναι λαχανικό με καταγωγή από την εύκρατη ζώνη που εντάσσεται στην οικογένεια των Σύνθετων (Asteraceae, πρώην Compositae) και ανήκει στο γένος *Lactuca* (Χα και Πετρόπουλος 2014). Πρόκειται για ένα οικονομικής σημασίας, αρκετά δημοφιλές λαχανικό και μεταξύ των πιο διαδεδομένων καλλιεργούμενων λαχανικών ανά τον κόσμο λόγω της ισορροπημένης του θρεπτικής και διαιτητικής αξίας (R'him et al. 2022), καθιστώντας το ως το σημαντικότερο λαχανικό για παρασκευή σαλάτας από νωπά τρυφερά φύλλα (Χα και Πετρόπουλος 2014). Βάσει στατιστικών του 2010 από το Υπουργείο Αγροτικής Ανάπτυξης και Τροφίμων βρισκόταν στην όγδοη θέση σχετικά με την έκταση καλλιέργειας στη χώρα μας (Χα και Πετρόπουλος 2014) ενώ το 2019, συμπεριλαμβανομένων της υπαίθριας και θερμοκηπιακής καλλιέργειας, η συνολική καλλιεργούμενη έκταση ήταν 31.961 στρέμματα και η αντίστοιχη παραγωγή 46.643 τόνοι (Ελληνική Στατιστική Αρχή 2019).

Το μαρούλι διαθέτει υψηλή θρεπτική και διαιτητική αξία (R'him et al. 2022) διότι περιέχονται λίγες θερμίδες, μεγάλες συγκεντρώσεις βιταμινών Α και Κ, β-καροτενίων, καλίου (Κ) (Χα και Πετρόπουλος 2014) και βιταμίνης C κυρίως όταν είναι φρέσκο (Drews 1996, Drews et al. 1997 όπως αναφέρεται στους Konstantopoulou et al. 2010), με ίσως μοναδικό μειονέκτημα τη συσσώρευση νιτρικών ιόντων στα φύλλα υπό συνθήκες υπερεπάρκειάς τους στο έδαφος, τα οποία εντός του ανθρώπινου οργανισμού μετατρέπονται σε επικίνδυνες για την υγεία καρκινογόνες ουσίες, όπως νιτρώδη, νιτροζαμίδια και νιτροζαμίνες (Χα και Πετρόπουλος 2014, Siomos et al. 2002, όπως αναφέρεται στους Konstantopoulou et al., 2010). Ωστόσο συχνά η θρεπτική του αξία υποτιμάται εξαιτίας της υψηλής (95%) περιεκτικότητας σε νερό (Kim et al. 2016 όπως αναφέρεται στους Yaseen et al. 2022).

1.1.2. Βοτανικά χαρακτηριστικά

Σχετικά με τους βοτανικούς του χαρακτήρες, είναι ετήσιο ποώδες επιπολαιόρριζο φυτό όρθιας ή πλάγιας ανάπτυξης, ανάλογα με τον τύπο και την ποικιλία όπου ανήκει (Χα και Πετρόπουλος 2014). Διαθέτει επιφανειακό κυρίως ριζικό σύστημα μήκους 15-

20 cm καθώς η σαρκώδης και πασσαλώδης κεντρική ρίζα μήκους 50-60 cm. καταστρέφεται κατά τη μεταφύτευση. Σχηματίζει μικρό με πολλά μεσογονάτια διαστήματα βλαστό (δύναται να υπερβεί το 1 m στην αναπαραγωγική φάση) από τις τομές του οποίου εκκρίνεται γαλακτώδης χυμός από τον οποίο παράγεται το latex (Χα και Πετρόπουλος 2014). Η ταξιφυλλία είναι πυκνή ροζέτα γύρω από το βλαστό που σχηματίζει κεφαλή (Χα και Πετρόπουλος 2014) με φύλλα χρώματος πράσινου, πρασινοκίτρινου ή κόκκινου βάσει της ποικιλίας (Χριστουλάκη 2010 όπως αναφέρεται στο 'Μαρούλι φυτό' 2013), ενώ το χρώμα τους αποτελεί ποιοτικό χαρακτηριστικό (Konstantopoulou et al. 2010). Τα άνθη είναι μικρά κίτρινα (Χριστουλάκη 2010 όπως αναφέρεται στο 'Μαρούλι φυτό' 2013) σε ταξιανθία κορυμβόμορφου βότρυος ή φόβης, αυτογονιμοποιούμενα (99%) και σπανίως σταυρογονιμοποιούμενα, ενώ ο καρπός είναι μονόσπερμο αχάινιο μήκους 3-4 mm με σπόρο πεπλατυσμένο λείο ραβδωτό με πάππο (Χα και Πετρόπουλος 2014). Βάσει του τύπου της κεφαλής διακρίνονται διάφοροι τύποι ποικιλιών, οι 'ρωμάνα', οι 'κεφαλωτές' και οι χωρίς κεφαλή (Χαρού 2016). Μεταξύ των κυριότερων τύπων περιλαμβάνεται και ο διαδεδομένος στη χώρα μας Cos ή Romaine με επιμήκη κεφαλή και μακριά όρθια ανάπτυξης φύλλα, ο χωρίς κεφαλή τύπος Looseleaf με χαλαρά φύλλα, ο κατσαρός κεφαλωτός Iceberg ή Crisphead με κυματοειδή φύλλα, ο ενδιάμεσος των δύο προαναφερθέντων τύπων Batavia και άλλοι τύποι που καλλιεργούνται για τους ελαιούχους σπόρους τους (Χα και Πετρόπουλος 2014).

1.1.3. Πολλαπλασιασμός

Ο πολλαπλασιασμός πραγματοποιείται εγγενώς με σπόρο ηλικίας άνω των 3 μηνών για αποφυγή του φαινομένου του ληθάργου, ενώ η σπορά γίνεται σε βάθος 6-10 mm με το χέρι ή με αυτόματες μηχανές και η μεταφύτευση γίνεται εύκολα όταν τα φυτά βρίσκονται στο στάδιο των 3-5 πραγματικών φύλλων με το χέρι ή ημιαυτόνομες μηχανές σε αποστάσεις 30-50 cm μεταξύ των γραμμών και 25-30 cm επί της γραμμής. Οι αποστάσεις αυτές μπορεί ωστόσο να είναι μικρότερες για τον τύπο Romaine (Χα και Πετρόπουλος 2014). Στη χώρα μας η απευθείας σπορά λαμβάνει χώρα κυρίως στην ύπαιθρο ενώ η μεταφύτευση σποροφύτων σε καλλιέργεια υπό κάλυψη ('Η καλλιέργεια του μαρουλιού' 2018), με συχνότερη επιλογή στα υψηλής κάλυψης θερμοκήπια έναντι αυτών χαμηλής κάλυψης (Ελληνική Στατιστική Αρχή 2008 και Υπουργείο Αγροτικής Ανάπτυξης και Τροφίμων, Διεύθυνση Δενδροκομικής, Τμήμα Κηπευτικών 2009 όπως αναφέρεται στους Χα και Πετρόπουλο 2014).

1.1.4. Καλλιεργητικές τεχνικές και ανάγκες

Το μαρούλι είναι ψυχρής εποχής λαχανικό, επομένως καλλιεργείται κυρίως το φθινόπωρο και το χειμώνα καθώς απαιτούνται χαμηλά θερμοκρασιακά επίπεδα για βλάστηση και σχηματισμό κεφαλής προς αποφυγήν χαλαρής εμφάνισης και πικρής γεύσης, με ιδανικές τις θερμοκρασίες 15-25 °C την ημέρα και 10-15 °C τη νύχτα (Χα και Πετρόπουλος 2014). Ωστόσο, αντέχουν και όταν εκτίθενται σε θερμοκρασίες έως τους -5 °C αλλά όχι όταν αυτές επικρατούν για μεγάλο χρονικό διάστημα λόγω κινδύνου τραυματισμών και ληθάργου των σπόρων (Χα και Πετρόπουλος 2014). Επιπλέον είναι ποσοτικά μεγάλης ή μικρής ημέρας φυτό (Σπανομήτσιος 1986 όπως αναφέρεται στους Χα και Πετρόπουλο 2014) με φωτοπεριοδικά ουδέτερες νεότερες ποικιλίες, απαιτεί γόνιμο έδαφος με pH 6-7, αρκετή οργανική ουσία, καλή αποστράγγιση και συγκράτηση νερού ενώ παρουσιάζει ευαισθησία στην αλατότητα (Χα και Πετρόπουλος 2014). Παράλληλα μέσω βασικής λίπανσης η καλλιέργεια τροφοδοτείται με K και P και μέσω επιφανειακής με N αλλά όχι σε υπερβολική ποσότητα λόγω της επικινδυνότητας της αυξημένης συγκέντρωσης των νιτρωδών (Χα και Πετρόπουλος 2014) που τείνουν να συσσωρεύονται περισσότερο σε ποικιλίες όπως η Cos σε σχέση με την Butterhead (Escobar-Gutierrez et al. 2002 όπως αναφέρεται στους Konstantopoulou et al. 2010). Ωστόσο, συνήθως η συγκέντρωση των συγκεκριμένων ουσιών δεν ξεπερνά τα όρια λόγω του ημίξηρου μεσογειακού κλίματος της χώρας μας (R'him et al. 2022), αλλά απαραίτητη είναι και η προσθήκη ασβεστίου (Ca) για αντιμετώπιση του περιθωριακού καψίματος των φύλλων 'tipburn' (Χα και Πετρόπουλος 2014), οπότε κρίνεται αναγκαία η εκ των προτέρων εδαφοανάλυση ('Η καλλιέργεια του μαρουλιού' 2018). Τα ζιζάνια ελέγχονται μέσω εφαρμογών προφυτρωτικών και μεταφυτρωτικών ζιζανιοκτόνων, σκαλίσματα και βοτανίσματα και η άρδευση γίνεται με καταιονισμό ή στάγδην σύστημα για κάλυψη των αναγκών του φυτού σε νερό (Χα και Πετρόπουλος 2014). Σημαντική είναι η ομοιόμορφη κατανομή του νερού στο θερμοκήπιο προ και μετά τη μεταφύτευση (Ζούμη 2009 όπως αναφέρεται στο 'Καλλιέργεια μαρουλιού' 2014). Η συγκομιδή πραγματοποιείται στους 3-5 μήνες από τη σπορά σε υπαίθρια καλλιέργεια ή και λιγότερο σε θερμοκηπιακή, όταν τα Romaine δεν έχουν ακόμη σκληρά φύλλα και τα κεφαλωτά έχουν σφιχτή κεφαλή ('Η καλλιέργεια του μαρουλιού' 2018). Τα μαρούλια κόβονται με μαχαίρι στη βάση του λαιμού, έπειτα πλένονται (Χα και Πετρόπουλος 2014), απομακρύνοντας λασπωμένα ή ασθενή φύλλα ('Καλλιέργεια Μαρουλιού. Καλλιεργητικές Τεχνικές'

2015) και αποθηκεύονται σε σκιερό μέρος σε χάρτινα ή πλαστικά κιβώτια στους 0-1 °C και 95% σχετική υγρασία για 2-3 εβδομάδες (Χα και Πετρόπουλος 2014).

1.1.5. Κυριότερες ασθένειες και εχθροί

Εν τέλει, μεταξύ των κυριότερων ασθενειών του μαρουλιού βρίσκεται ο περονόσπορος (*Bremia lactucae*), το ωίδιο (*Erysiphe cichoracearum*), ο βοτρυτής (*Botrytis cinerea*) και η σκληρωτινίαση (*Sclerotinia sclerotiorum* και *S. minor*) (Καραστέργιος και Κατερίνης 2014), ενώ τους κυριότερους εχθρούς αποτελούν ο αλευρώδης του θερμοκηπίου (*Trialeurodes vaporariorum*), οι φυλλόβιες αφίδες των λαχανικών (*Nasanovia* sp., *Uroleucon* sp.) ('Η καλλιέργεια του μαρουλιού' 2018), τα σαλιγκάρια και οι γυμνοσάλιαγκες (*Helix aspersa*, *Agriolimax reticulatus*) και οι νηματώδεις (*Meloidogyne* spp., *Heterodera* sp.) (Χα και Πετρόπουλος 2014).

1.2. Ελλειμματική άρδευση

1.2.1. Αξία διαθεσιμότητας νερού

Όπως προαναφέρθηκε παραπάνω, το μαρούλι, όπως και όλα τα φυλλώδη λαχανικά, έχει μεγάλες ανάγκες σε νερό. Τα φυτά είναι άμεσα εξαρτώμενα περισσότερο από τη διαθεσιμότητα νερού (Kramer and Boyer 1995 όπως αναφέρεται στους Luna et al. 2013), η φυσιολογική σημασία του οποίου διαφαίνεται από το γεγονός ότι αποτελεί γενικό διαλύτη ουσιών, συμμετέχει σε υδρολυτικές αντιδράσεις και στη φωτοσύνθεση, ενώ συντηρεί το κυτταρικό σχήμα (Ben-Yehoshua and Rodon 2003 όπως αναφέρεται στους Luna et al. 2013). Το μέγεθος της σημασίας του νερού για τον πρωτογενή τομέα γενικότερα έγκειται στο γεγονός ότι στις αρδευόμενες γεωργικές εκτάσεις παγκοσμίως χρησιμοποιείται νερό σε ποσοστά άνω της τάξης του 85% (van Schilfhaarde 1994 όπως αναφέρεται στους Zegbe-Domínguez et al. 2003), ενώ μόλις το 17% των καλλιεργούμενων εκτάσεων οδηγεί στην παραγωγή του 40% των αγροτικών προϊόντων και τροφίμων με φυσικό επακόλουθο τη συνεισφορά της αρδευόμενης γεωργίας σε μεγάλο βαθμό στην επισιτιστική ασφάλεια (United Nations 2015, Chen et al. 2017, Food and Agriculture Organization 2017 όπως αναφέρεται στους Tijjani et al. 2022). Ο αγροδιατροφικός τομέας τα τελευταία χρόνια έρχεται αντιμέτωπος με προκλήσεις προερχόμενες από την υψηλή ζήτηση τροφίμων λόγω της πληθυσμιακής αύξησης, από νομοθετικές ανάγκες αλλά και από την πίεση που δέχεται η γεωργία από την επερχόμενη κλιματική αλλαγή (Luque et al. 2017 όπως αναφέρεται στους Bianco et al. 2022, Roupheal et al. 2018). Επομένως τόσο η παγκόσμια

αρδευόμενη γεωργία, όσο και η επισιτιστική ασφάλεια πλέον απειλούνται από την κλιματική αλλαγή (Tijjani et al. 2022) από την οποία επηρεάζεται μεταξύ άλλων ιδιαίτερα και η περιοχή της Μεσογείου (El Jaouhari et al. 2018).

1.2.2. Κλιματική αλλαγή και επιπτώσεις στις υδρολογικές διαδικασίες

Στις επιπτώσεις της κλιματικής αλλαγής περιλαμβάνονται οι μεταβολές στα μέσα θερμοκρασιακά επίπεδα και στα ποσοστά διοξειδίου του άνθρακα και πιο συγκεκριμένα η άνοδός τους (Tijjani et al. 2022) που θα έχει σημαντικές επιπτώσεις στη γεωργική παραγωγή και στις αρδευτικές ανάγκες (Zhao et al. 2017, Liu et al. 2019, Li et al. 2020, Yang et al. 2020 όπως αναφέρεται στους Tijjani et al. 2022). Παράλληλα στα επόμενα χρόνια αναμένεται μικρότερη συχνότητα των βροχοπτώσεων σε σχέση με το μέσο όρο με αποτέλεσμα τη μείωση της διαθέσιμης ποσότητας αρδευτικού νερού, επομένως και της αποδοτικότητας των καλλιεργειών, των οποίων οι ανάγκες σε νερό όπως είναι φυσικό θα αυξηθούν (Mushtaq and Moghaddasi 2011). Επιπλέον η μεταβατική φάση στην οποία βρίσκεται το κλίμα σε συνδυασμό με τη μη βιώσιμη αξιοποίηση του νερού έχει οδηγήσει στη μεταβολή της κατανομής του γλυκού νερού (Rodell et al. 2018 όπως αναφέρεται στους Tijjani et al. 2022). Ειδικότερα, λόγω της μεταβολής των υδρολογικών διαδικασιών προβλέπεται μείωση κατά 20% της διαθεσιμότητας του νερού (Abouabdillah et al. 2010, Senatore et al. 2010, Amengual et al. 2012, Brouzyine et al. 2018 όπως αναφέρεται στους El Jaouhari et al. 2018). Αυτή τη μείωση της υδατικής διαθεσιμότητας ακολουθούν κρίσιμα φαινόμενα λειψυδρίας τα οποία δημιουργούν το υπόβαθρο για ακραία θερμοκρασιακά επίπεδα, υποβάθμιση του εδάφους, ερημοποίηση (Attia et al. 2021), μεταβολή της συχνότητας εμφάνισης και κατανομής των βροχοπτώσεων, των απαιτήσεων σε εξάτμιση και της ικανότητας αποθήκευσης της εδαφικής υγρασίας κυρίως σε ημίξηρα κλίματα (Porporato et al. 2001, Schwarz et al. 2010, Chakraborty and Pradhan 2012 όπως αναφέρεται στους Waśkiewicz et al. 2016), αλλά και για αύξηση των επιπέδων αλατότητας των υδάτων, όπως ήδη παρατηρείται στην περιοχή της Μεσογείου (Moncada et al. 2020, Waśkiewicz et al. 2016). Όλα αυτά τα φαινόμενα της κλιματικής αλλαγής επακολούθως συνεπάγονται την απώλεια παραγωγής και τη μεταβολή του καλλιεργητικού ημερολογίου (Savo et al. 2016 όπως αναφέρεται στους Grusson et al. 2021).

1.2.3. Επιπτώσεις συνθηκών έλλειψης νερού στα φυτά

Οι παρατηρούμενες συνθήκες έλλειψης νερού αποδίδονται σε υδατική καταπόνηση και ειδικότερα στην ξηρασία που προκαλεί αφυδάτωση ή και σε συνθήκες αλατότητας που οδηγούν σε οσμωτική καταπόνηση (Καραμπουρνιώτης κ.ά. 2012). Στην πρώτη περίπτωση λόγω της ξηρασίας διαταράσσεται το περιβάλλον του εδάφους και της ριζόσφαιρας, η πρόσφυση των ριζών στα εδαφικά σωματίδια, οι κυτταρικές διαιρέσεις και διατάσεις, η δομή και η λειτουργία μεμβρανών και ενζύμων και η φωτοσυνθετική λειτουργία, ενώ αυξάνονται και οι αντιστάσεις στη ροή του νερού μέσα στα αγγεία του ξύλου (Καραμπουρνιώτης κ.ά. 2012) και η ευαισθησία στη θερμική καταπόνηση (Attia et al. 2021). Επίσης εξαιτίας της πτώσης του υδατικού κυτταρικού δυναμικού προκαλείται κλείσιμο των στομάτων άρα και μείωση της διαπνοής προς αποφυγή επιπλέον απωλειών νερού αλλά και αποτροπή της εισόδου διοξειδίου του άνθρακα (CO₂) και της διαταραχής της φωτοσυνθετικής διαδικασίας (Taiz and Zeiger 2017 όπως αναφέρεται στους Paim et al. 2020) λόγω της πιθανότητας μείωσης της στοματικής αγωγιμότητας των φύλλων άρα και της διαπνοής με γενικότερες μεταβολές στην εξατμισοδιαπνοή στις σημερινές παρατηρούμενες συνθήκες αυξημένου CO₂ (Tijjani et al. 2022). Στη δεύτερη περίπτωση, υπό την επήρεια του στρες αλατότητας και της επακόλουθης οσμωτικής καταπόνησης πραγματοποιείται τοξική συσσώρευση αλάτων στους βλαστούς ή και διαταραχές στην πρόσληψη θρεπτικών στοιχείων (Munns and Tester 2008, Läuchli and Grattan 2011 όπως αναφέρεται στους Moncada et al. 2020), αυξάνεται η παραγωγή ελεύθερων ριζών οξυγόνου (ROS), με αποτέλεσμα τα φυτά να υπόκεινται σε οξειδωτικό στρες (Lucini et al. 2015) και επιπλέον παρατηρείται υποβάθμιση του εδάφους (Καραμπουρνιώτης κ.ά. 2012). Τα συμπτώματα αυτά της επακόλουθης αλατότητας λόγω υδατικού στρες επηρεάζουν αρκετά τα λαχανικά λόγω του ότι τα περισσότερα από αυτά είναι γλυκόφυτα άρα και ευαίσθητα στην αλατότητα (Shannon and Grieve 1999 όπως αναφέρεται στους Lucini et al. 2015), με ιδιαίτερη σοβαρότητα των συμπτωμάτων στην περιοχή της Μεσογείου (Colla et al. 2010 όπως αναφέρεται στους Lucini et al. 2015).

1.2.4. Σημασία υιοθέτησης αποτελεσματικών στρατηγικών παροχής νερού και χρήση δεικτών ποσοτικοποίησης υδατικής κατανάλωσης από καλλιέργειες

Υπό τις συνθήκες των προαναφερόμενων αβιοτικών καταπονήσεων, η αειφόρος γεωργία αποτελεί σήμερα μια αρκετά μεγάλη πρόκληση (Saleth 2013 όπως αναφέρεται

στους Waśkiewicz et al. 2016) διότι η κλιματική αλλαγή και η λειψυδρία θα επηρεάσουν σε τεράστιο βαθμό τον αγροτικό τομέα στο μέλλον (Waśkiewicz et al. 2016). Η παροχή νερού ήδη είναι περιορισμένη σε παγκόσμιο επίπεδο (Postel 1998 όπως αναφέρεται στους Zegbe-Domínguez et al. 2003), ενώ το διαθέσιμο νερό για τη γεωργία είναι περίπου 72% (Cai and Rosegrant 2003 όπως αναφέρεται στους Geerts and Raes 2009). Όλες αυτές οι αλλαγές έχουν περιορίσει τη συνολική αγροτική παραγωγή, ωστόσο σε ανόμοιο βαθμό μεταξύ διαφορετικών περιοχών (Ortiz-Bobea et al. 2021 όπως αναφέρεται στους Tijjani et al. 2022). Επομένως για όλους αυτούς τους λόγους οι αρδευτικές εργασίες των παραγωγών μπορούν να δώσουν την απάντηση προς το πρόβλημα μεταβολής του ισοζυγίου νερού λόγω της λειψυδρίας και του επαγόμενου περιορισμού των καλλιεργητικών αποδόσεων, μέσω βελτιωμένων στρατηγικών διαχείρισης πόρων (Tijjani et al. 2022). Πιο συγκεκριμένα για να καταστεί βιώσιμη η διαχείριση αυτή απαιτείται η κατανόηση των τρόπων που επηρεάζονται από την κλιματική αλλαγή οι ανάγκες των καλλιεργειών σε νερό και οι αποδόσεις, ώστε εν συνεχεία να επιτευχθεί η προσαρμογή της παραγωγής ανάλογα με τη διαθεσιμότητα του νερού (Tijjani et al. 2022) αλλά και να αυξηθεί η αποδοτικότητα της χρήσης του, ειδικά σε ημίξηρες περιοχές όπου απαντάται μικρή διαθεσιμότητα νερού, αλατότητα και υψηλή εξατμισοδιαπνοή (Lo Bianco et al. 2012 όπως αναφέρεται στους El Jaouhari et al. 2018). Για αυτούς τους λόγους απαραίτητη κρίνεται η υιοθέτηση αποτελεσματικών στρατηγικών παροχής νερού σε κατάλληλα καλλιεργητικά στάδια βάσει αγρονομικών και φυσιολογικών δεδομένων (Ullah et al. 2019 όπως αναφέρεται στους Attia et al. 2021) όπως ο εδαφικός τύπος (αμμώδης, αργιλώδης), το ύψος βροχοπτώσεων, η εποχή και η διάρκεια καλλιέργειας, το φυτικό είδος και το αναπτυξιακό στάδιο (Χα και Πετρόπουλος 2014), αλλά και βάσει περιβαλλοντικών εισροών (Attia et al. 2021). Ακόμη για την ακριβέστερη εκτίμηση της κατανάλωσης νερού σε μια καλλιέργεια προς επιλογή της καταλληλότερης μεθόδου, ανάλογα με το βαθμό έλλειψής του και την αποδοτικότητα χρήσης του, έχει σημαντικό ρόλο η ποσοτικοποίηση της κατανάλωσής του βάσει του αποτυπώματος νερού (Gao et al. 2021), δηλαδή του ‘πράσινου νερού’ που αναφέρεται στο βρόχινο νερό, του ‘μπλε νερού’ που αναφέρεται στο αρδευτικό νερό και του ‘γκρι νερού’, δηλαδή του γλυκού νερού (Hoekstra et al. 2011 όπως αναφέρεται στους Gao et al. 2021) και βάσει άλλων δεικτών, όπως το Εργαλείο Αξιολόγησης Εδάφους και Νερού (SWAT) που χρησιμοποιείται για την εκτίμηση αλλαγών στην ανάγκη άρδευσης, την

επιφανειακή απορροή και την εξατμισοδιαπνοή, αλλά και ο δείκτης λειψυδρίας ‘πράσινων’ υδάτων λόγω επιδράσεων της κλιματικής αλλαγής (Tijjani et al. 2022).

1.2.5. Ορισμός ελλειμματικής άρδευσης

Μια πρακτική ευρέως χρησιμοποιούμενη παγκοσμίως από τους καλλιεργητές είναι η ελλειμματική άρδευση (Cheng et al. 2021), δηλαδή μια στρατηγική βελτιστοποίησης της αποδοτικότητας νερού κατά την οποία τα φυτά αρδεύονται μόνο σε ευαίσθητα στην ξηρασία στάδια (όπως τα βλαστικά στάδια και η όψιμη περίοδος ωρίμανσης), ενώ η ποσότητα του αρδευτικού νερού μειώνεται στα ανθεκτικά στην ξηρασία στάδια ή και απουσιάζει εάν σε υπαίθριες καλλιέργειες παρατηρούνται βροχοπτώσεις με ελάχιστη παροχή νερού (Geerts and Raes 2009). Το παρεχόμενο αρδευτικό νερό στα ευαίσθητα στάδια είναι σε κάποιο βαθμό περιορισμένο ώστε υπό καθορισμένες περιβαλλοντικές συνθήκες κυρίως να σταθεροποιούνται σε πρώτη φάση και όχι να μεγιστοποιούνται οι αποδόσεις (Geerts and Raes 2009). Γενικά ελλειμματικό θεωρείται κάθε επίπεδο άρδευσης όπου η εξατμισοδιαπνοή δεν είναι ισόρροπη (Capra et al. 2008). Επομένως η εφαρμογή άρδευσης δεν συμπίπτει με τις υδατικές ανάγκες καθ’ όλη τη διάρκεια ζωής των καλλιεργειών και ως εκ τούτου το νερό είναι ο περιοριστικός παράγοντας που οδηγεί τα φυτά σε αναπόφευκτη υδατική καταπόνηση (Geerts and Raes 2009). Υπάρχουν γενικά δύο συστήματα ελλειμματικής άρδευσης, ειδικότερα κατά το πρώτο η παροχή νερού είναι μειούμενη από στάδιο σε στάδιο (‘συμβατική ελλειμματική άρδευση’, SDI), ενώ κατά το δεύτερο εφαρμόζεται στοχευμένα μειούμενη άρδευση σε καθορισμένα καλλιεργητικά στάδια (‘ρυθμιζόμενη ελλειμματική άρδευση’, RDI) (El Jaouhari et al. 2018) με στόχο τον έλεγχο της βλαστικής και αναπαραγωγικής ανάπτυξης για καλύτερη απόδοση (Chalmers 1981, Li et al. 1989, Girona et al. 1993, Girona et al. 2003 όπως αναφέρεται στους Capra et al. 2008). Ωστόσο σημαντικό είναι να αναφερθεί ότι ενώ η ελλειμματική άρδευση αναφέρεται στη συγκράτηση νερού σε στάδια ανεκτικά στη έλλειψή του σε πλήρως αρδευόμενες καλλιέργειες, συχνά συγχέεται με τον όρο της ‘συμπληρωματικής άρδευσης’, κατά την οποία παρέχεται επιπλέον νερό σε όλα τα στάδια ανάπτυξης συμπεριλαμβανομένων και των ευαίσθητων, σε καλλιέργειες όπου πληθαίνουν οι βροχοπτώσεις (Geerts and Raes 2009).

1.2.6. Σημασία, οφέλη και προϋποθέσεις εφαρμογής ελλειμματικής άρδευσης

Ειδικότερα η συγκεκριμένη μέθοδος αποτελεί μια καλή λύση για τη διαχείριση της κλιματικής αλλαγής (Mushtaq and Moghaddasi 2011), καθώς συμβάλλει στην εξοικονόμηση νερού (Capra et al. 2008) στοχεύοντας και επιτυγχάνοντας τη βελτιστοποίηση της αναλογίας ποσότητας άρδευσης και απαιτούμενου νερού για την εξασφάλιση καλύτερων αποδόσεων στις καλλιέργειες (El Jaouhari et al. 2018), μιας αποτελεσματικότερης ανταπόκρισης των φυτών σε μελλοντικό στρες μέσω επαγόμενης μεταβολικής μνήμης (Paim et al. 2020) και ως εκ τούτου την ανάπτυξη σε δυναμική και υδατική ισορροπία (Stephenson 1990 όπως αναφέρεται στους Waszkiewicz et al. 2016) και την προστασία έναντι οξειδωτικού στρες (Gill and Tuteja 2010 όπως αναφέρεται στους Bekhradi et al. 2015). Μεταξύ άλλων, στα οφέλη της μεθόδου περιλαμβάνονται η βελτίωση στην ποιότητα του τελικού προϊόντος (Petropoulos and Chaski 2021), οι περιορισμένες εκπλύσεις θρεπτικών στοιχείων από τη ρίζα (Ünlü et al. 2006 όπως αναφέρεται στους Geerts and Raes 2009) άρα όπως είναι φυσικό και ο περιορισμός στις απαιτήσεις σε λίπανση η οποία όποτε συνδυάζεται με την ελλειμματική άρδευση οδηγεί και σε περαιτέρω αύξηση της απόδοσης (Geerts and Raes 2009). Τέλος, επιτυγχάνεται η άμβλυνση της πιθανότητας εμφάνισης ενδεχόμενων μυκητολογικών προσβολών (Cicogna et al. 2005 όπως αναφέρεται στους Geerts and Raes 2009). Πέραν των ανωτέρω, η ελλειμματική άρδευση επιτυγχάνει εκτός από βιολογικούς και οικονομικούς στόχους (Robinson 2004 όπως αναφέρεται στους Mushtaq and Moghaddasi 2011), διότι δύναται να επιφέρει μεγάλη αποτελεσματικότητα άρδευσης με μικρό αρδευτικό κόστος (English et al. 1990 όπως αναφέρεται στους English and Raja 1996), αυξάνοντας άρα το κέρδος των παραγωγών (English and Raja 1996). Ωστόσο σε αυτή την περίπτωση χρήσιμη κρίνεται η εκτίμηση του καλλιεργητικού κόστους μέσω υδρολογίας, οικονομικών, μηχανικής και οικοφυσιολογίας (Capra et al. 2008). Επιπρόσθετα για την εξασφάλιση αειφόρου προγραμματισμού άρδευσης απαραίτητες είναι οι λήψεις ακριβών μετρήσεων των συντελεστών καλλιεργειών (Kc) (El Jaouhari et al. 2018) για έναν προσεκτικό σχεδιασμό άρδευσης για τον αποκλεισμό του ενδεχομένου αλάτωσης, δεδομένης της ελάχιστης έκπλυσης αλάτων από τη ρίζα με την εφαρμογή της συγκεκριμένης μεθόδου (Geerts and Raes 2009), όπως και η προτίμηση πραγματοποίησης των αρδεύσεων αυτών με συστήματα υπό πίεση προς αντιστάθμιση της μικρής ποσότητας νερού (Mushtaq and Moghaddasi 2011), όπως ο καταιονισμός (τεχνητή βροχή) που

εξασφαλίζει καλές αποδόσεις και αποδοτική αξιοποίηση των μικρών ποσοτήτων εφαρμοζόμενου νερού, αλλά και η στάγδην άρδευση που αυξάνει την αποδοτικότητα χρήσης νερού σε ποσοστά 80-95% (Χα και Πετρόπουλος 2014). Ωστόσο υπάρχει πιθανότητα μη αποδοτικότητας της μεθόδου σε τροπικές ημίξηρες περιοχές με πολύ έντονη διακύμανση των καιρικών συνθηκών (Capra et al. 2008).

1.2.7. Παραδείγματα επιδράσεων εφαρμογής ελλειμματικής άρδευσης σε κηπευτικές καλλιέργειες σε ποιοτικά και ποσοτικά χαρακτηριστικά

Παρά τη γενική κατανόηση της σημασίας της ελλειμματικής άρδευσης, λίγα δεδομένα μόνο είναι γνωστά για την επίδραση των διαφορετικών δόσεων άρδευσης σε ποιοτικά χαρακτηριστικά (Luna et al. 2012), γεγονός που καθιστά απαραίτητη τη πραγματοποίηση μελλοντικών ερευνών για τα επίπεδα των αποδόσεων ανά είδος φυτού, την ποσότητα εφαρμοζόμενου αρδευτικού νερού και την ένταση της εφαρμοζόμενης καταπόνησης (Maseko et al. 2019). Γενικότερα ευνοείται η ξηρά ουσία και η ποιότητα, ειδικά στην περίπτωση εφαρμογής σε έδαφος με υψηλή υγρασία η οποία μειώνει το μέγεθος και το χρώμα των καρπών (τομάτα, αμπέλι), ενώ περιορίζεται η νωπή μάζα και η συνολική παραγωγή (Capra et al. 2008). Ενδεικτικά με τον περιορισμό της άρδευσης σε θερμοκηπιακές τομάτες έχει διαπιστωθεί ότι περιορίζεται ελάχιστα το ξηρό βάρος των καρπών, όταν η παροχή είναι μέτρια (Zegbe-Domínguez et al. 2003), ενώ στις πατάτες μπορεί να μεταβληθούν τα ποιοτικά τους χαρακτηριστικά και το σχήμα των κονδύλων (English and Raja 1996). Ακόμη στο βασιλικό οι δείκτες της βλαστικής ανάπτυξης, δηλαδή οι αποδόσεις και το ύψος, μειώνονται αρκετά (Ekren et al. 2012 όπως αναφέρεται στους Bekhradi et al. 2015) και σε μεγαλύτερες ελλείψεις νερού παρατηρείται απώλεια χλωροφύλλης και οι φυτικοί ιστοί φθείρονται γρήγορα λόγω της ταχύτερης γήρανσης που οφείλεται στην αύξηση του ρυθμού αναπνοής και του μεταβολισμού (Bekhradi et al. 2015). Αντίστοιχα, στο μάραθο η ξηρή μάζα ρίζας, η αναλογία ρίζας και βλαστών, η φυλλική επιφάνεια, ο φωτοσυνθετικός ρυθμός και η στοματική αγωγιμότητα μειώνονται (Omami and Hammes 2016 όπως αναφέρεται στους Waśkiewicz et al. 2016).

1.2.8. Προϋποθέσεις εφαρμογής ελλειμματικής άρδευσης στο μαρούλι και επιδράσεις στα ποιοτικά και ποσοτικά του χαρακτηριστικά

Σχετικά με την εφαρμογή της ελλειμματικής άρδευσης στο μαρούλι, είναι αναγκαίο να αναφερθεί ότι θα πρέπει να μελετηθεί περαιτέρω ο τρόπος σωστής

διαχείρισης των υδάτων για παραγωγή μαρουλιών σε περιοχές με ξηρό κλίμα λόγω περιορισμένης διαθεσιμότητας νερού (όπως στις δυτικές ΗΠΑ και στην Ισπανία) (Luna et al. 2012). Επιπλέον, για καλύτερα αποτελέσματα της μεθόδου, απαραίτητη είναι η αξιολόγηση της επίδρασης των εποχιακών αλλαγών στην ανάπτυξη, στις υδατικές ανάγκες, στα ποιοτικά χαρακτηριστικά και στην απόδοση των μαρουλιών (Luna et al. 2012). Σχετικά με τα γενικά αποτελέσματα εφαρμογής διαφόρων επιπέδων ελλειμματικής άρδευσης, στην περίπτωση των φυλλωδών λαχανικών, όπου ανήκει το μαρούλι, ο αριθμός των φύλλων, το ύψος των φυτών και οι αποδόσεις είναι γενικά περιορισμένα σε επίπεδο άρδευσης 30% και αυξημένα εξίσου σε επίπεδα άρδευσης 60% και 100% (κανονική άρδευση). Ωστόσο, σε ορισμένα άλλα φυλλώδη λαχανικά το υδατικό στρες είναι δυνατό να οδηγήσει γενικά σε μειωμένες αποδόσεις (Maseko et al. 2019) αλλά υψηλή αποτελεσματικότητα χρήσης του αρδευτικού νερού (Cantore et al. 2016, Giuliani et al. 2016 όπως αναφέρεται στους Cheng et al. 2021). Στα μαρούλια οι συνέπειες του υδατικού στρες είναι εξαρτώμενες από το εκάστοτε στάδιο ανάπτυξης του φυτού και τη βαθμό καταπόνησης λόγω έλλειψης νερού, ενώ η υδατική καταπόνηση λόγω μέτριας ξηρασίας δρα ως αβιοτικός διεγέρτης προσδίδοντας στα φυτά μεγάλη ανοχή σε μελλοντικές καταπονήσεις (όπως είναι η συντήρησή τους μετά τη συγκομιδή) η οποία είναι εξαρτώμενη από την ποικιλία (Paim et al. 2020). Ωστόσο, μέχρι τώρα έχουν πραγματοποιηθεί ελάχιστες έρευνες όπου μελετώνται οι συνέπειες της ξηρασίας σε καλλιέργειες μαρουλιού (Paim et al. 2020).

Αρχικά έχει βρεθεί ότι χαμηλός βαθμός υδατικής καταπόνησης δεν επηρεάζει τη σταθερότητα των φύλλων διότι αποτρέπονται οι επιπλέον υδατικές απώλειες (Paim et al. 2020). Επίσης, επίπεδο άρδευσης 90% έχει θετικό αντίκτυπο στη βιομάζα ενώ αυτό του 80% που αντιστοιχεί σε μέτρια ξηρασία, ειδικά στη σγουρή ποικιλία Veneranda, δύναται να βελτιώσει την ποιότητα κατά τη συγκομιδή και αποθήκευση, ενώ επίσης παράγονται υψηλές ποσότητες καροτενίων, χλωροφύλλης και φλαβονοειδών, αντιοξειδωτικής δράσης (Paim et al. 2020) ενώσεων για διασφάλιση της υγείας, δίχως κάποια αρνητική συνέπεια στην παραγωγή (Borowski et al. 2014 όπως αναφέρεται στους Paim et al. 2020). Ακόμη έχει βρεθεί ότι σε φρεσκοκομμένα μαρούλια ποικιλίας Iceberg η μειωμένη άρδευση οδήγησε σε καλή διατήρηση της ποιότητας και αύξηση της διάρκειας μετασυλλεκτικής ζωής, ειδικά σε ποσοστό άρδευσης 75%. Επομένως, διαφαίνεται η σημασία της συγκεκριμένης καλλιεργητικής πρακτικής για την εξασφάλιση βελτιωμένων επιπέδων βιωσιμότητας σε καλλιέργεια μαρουλιού που πραγματοποιείται σε περιοχές που είναι σε μεγάλο βαθμό εξαρτώμενες από το νερό

(Luna et al. 2012). Παράλληλα, μαρούλια ποικιλίας Romaine σε επίπεδα άρδευσης κατώτερα του 65% παρουσίασαν υψηλό ρυθμό αναπνοής και χαμηλό νωπό βάρος, γεγονός που οφείλεται στην μεγάλη ένταση της υδατικής καταπόνησης η οποία επηρεάζει τη μετασυλλεκτική ποιότητα (Luna et al. 2013). Ωστόσο, όταν εφαρμόζεται σε μη ακραία επίπεδα συμβάλλει στην καλύτερη διατήρηση των μαρουλιών περιορίζοντας το μετασυλλεκτικό καφέτιασμα (browning) (Luna et al. 2012 όπως αναφέρεται στους Bekhradī et al. 2015). Επιπρόσθετα, σε έντονο υδατικό στρες μειώνεται αρκετά η παραγόμενη βιομάζα και εμφανίζεται και στρες αλατότητας, περιορίζοντας την ανάπτυξη των φυτών (Moncada et al. 2020). Ταυτόχρονα, μέσω έρευνας σε καλλιέργεια μαρουλιών σε μη θερμαινόμενο θερμοκήπιο για τη μελέτη της επίδρασης της έλλειψης νερού στις ποιοτικές παραμέτρους και στην απόδοση, βρέθηκε καλύτερη απόδοση σε ποσοστό άρδευσης 100% και έπειτα σε ποσοστό 75%, καθιστώντας έτσι την κανονική άρδευση ως καταλληλότερο επίπεδο παροχής νερού για υψηλότερη αποτελεσματικότητα χρήσης νερού (WUE) και ποιότητας προϊόντος εντός θερμοκηπιακών συνθηκών προσδίδοντας έτσι τις καλύτερες τιμές σε ποσοτικές παραμέτρους με σημασία για την ποιότητα όπως νωπό βάρος, ύψος, διάμετρος και αριθμός φύλλων φυτού (239,11 g, 26,30 cm, 44,82 cm, 49 αντίστοιχα) (Senyigit and Karlan 2013). Ωστόσο, παρά τις επιμέρους διαφορές, δεν έχουν παρατηρηθεί σημαντικές επιδράσεις στα χαρακτηριστικά αυτά μεταξύ των επιπέδων άρδευσης 100%, 80% και 60% (Acar et al. 2008). Τέλος, έχει παρατηρηθεί μείωση των αποδόσεων στις ποικιλίες μαρουλιού Aquino και Barlach λόγω της ελλειμματικής άρδευσης (Sorrentino et al. 2020 όπως αναφέρεται στους Paim et al. 2020).

1.3. Βιοδιεγέρτες

1.3.1. Ανάγκη χρήσης βιοδιεγερτών στα πλαίσια της βιώσιμης γεωργίας

Σχετικά με τις εισροές που αφορούν στη θρέψη των φυτών, τα προηγούμενα έτη οι παραγωγοί στρέφονταν στην εφαρμογή συνθετικών λιπασμάτων τα οποία παράγονταν από μη ανανεώσιμες πηγές ενέργειας με επακόλουθο τη διατάραξη της οικολογικής ισορροπίας και της βιοποικιλότητας αλλά και τη βιομηχανική ρύπανση και διάβρωση των εδαφών (Canellas et al. 2015). Αυτές οι αρνητικές συνέπειες σε συνδυασμό με την κλιματική αλλαγή και τους κινδύνους που επιφυλάσσονται για την αγροτική παραγωγή λόγω της υδατικής υποβάθμισης και της ανάγκης για βιώσιμη διαχείρισή της, οδηγούν στην προτίμηση μιας ακόμη εναλλακτικής μεθόδου ως

απάντηση από τους παραγωγούς προς την περιβαλλοντική κρίση, ειδικότερα αυτή της εφαρμογής φυσικών φυτικών βιοδιεγερτών, ώστε να εξασφαλίζονται βελτιωμένες αποδόσεις και ανθεκτικότητα των καλλιεργειών έναντι των αβιοτικών καταπονήσεων αλλά και αυξημένη ποιότητα του τελικού προϊόντος (Del Buono 2021). Στην Ευρωπαϊκή Ένωση η στρατηγική αυτή σημειώνει επιτυχία στο πλαίσιο της βιώσιμης γεωργίας για τη διατήρηση των φυσικών πόρων και τη χρήση περιβαλλοντικά φιλικών εισροών (European Union 2014 όπως αναφέρεται στον Del Buono 2021), καθώς η παραγωγή των βιοδιεγερτών περιορίζει σε μεγάλο βαθμό τις εκπομπές CO₂ και αερίων του θερμοκηπίου και η εφαρμογή τους ευνοεί τη φωτοσυνθετική λειτουργία των καλλιεργειών σε σχέση με τα χημικά λιπάσματα (Del Buono 2021).

1.3.2. Ορισμός βιοδιεγερτών

Βάσει του Ευρωπαϊκού Συμβουλίου Βιομηχανίας Βιοδιεγερτών (The European Biostimulants Industry Council: EBIC) ‘οι φυτικοί βιοδιεγέρτες περιέχουν ουσίες ή/και μικροοργανισμούς των οποίων η λειτουργία, όταν εφαρμοστούν σε φυτά ή στη ριζόσφαιρα, είναι η διέγερση φυσικών διεργασιών για ενίσχυση/ωφέλεια της πρόσληψης θρεπτικών συστατικών, της ανοχής σε αβιοτικές καταπονήσεις και ποιότητα καλλιεργειών’ (Calvo et al. 2014 όπως αναφέρεται στον Del Buono 2021). Στη συνέχεια, σύμφωνα με το νέο κανονισμό της Ευρωπαϊκής Ένωσης 2019/1009 (Rouphael and Colla 2020 όπως αναφέρεται στον Del Buono 2021), ‘ένας φυτικός βιοδιεγέρτης είναι ένα προϊόν λίπανσης της Ευρωπαϊκής Ένωσης του οποίου η λειτουργία είναι να τονώνει τις διεργασίες θρέψης των φυτών ανεξάρτητα από την περιεκτικότητα του προϊόντος σε θρεπτικά συστατικά, με αποκλειστικό στόχο τη βελτίωση ενός ή περισσότερων από τα ακόλουθα χαρακτηριστικά του φυτού ή της ριζόσφαιρας του φυτού, όπως η αποδοτικότητα χρήσης θρεπτικών ουσιών, η ανοχή στο αβιοτικό στρες, τα ποιοτικά χαρακτηριστικά και η διαθεσιμότητα περιορισμένων θρεπτικών ουσιών στο έδαφος ή τη ριζόσφαιρα’ (European Union 2019 όπως αναφέρεται στον Del Buono 2021). Μέσω του συγκεκριμένου ορισμού δίνεται έμφαση στο γεγονός ότι οι βιοδιεγέρτες μπορούν να προκύψουν από διαφορετικές βιοδραστικές ουσίες και άρα να διακρίνονται βάσει της ακόλουθης εξειδίκευσης (Rouphael and Colla 2020 όπως αναφέρεται στον Del Buono 2021). Επίσης δε θεωρούνται φυτοφάρμακα καθώς δεν δρουν έναντι παρασίτων (Van Oosten et al. 2017 όπως αναφέρεται στον Del Buono 2021), ωστόσο τα βιοπαρασιτοκτόνα ή βιολιπάσματα ενίοτε συμπεριλαμβάνονται στην κατηγορία των βιοδιεγερτών, όχι όμως και στα προϊόντα

θρέψης (Halpern et al. 2015). Σε αυτό το σημείο επομένως γίνεται αντιληπτή η αιτία ύπαρξης αρκετών διαφορών μεταξύ των κρατικών νομοθεσιών σχετικά με τη χρήση των βιοδιεγερτών, λόγω της πληθώρας των ορισμών και των κατηγοριοποιήσεών τους (Del Buono 2021).

1.3.3. Συγκριτικά πλεονεκτήματα χρήσης βιοδιεγερτών έναντι χημικών λιπασμάτων

Σε πρώτη φάση η μέθοδος αυτή χρησιμοποιήθηκε στα πλαίσια της βιολογικής γεωργίας σε κηπευτικές καλλιέργειες μεγάλης αξίας και σε δεύτερη φάση σε συμβατικές καλλιέργειες λόγω της οικονομικότητας και της βιωσιμότητάς της (Calvo et al. 2014 όπως αναφέρεται στον Del Buono 2021), αλλά και λόγω της ανάγκης για αειφορική εντατικοποίηση της πρωτογενούς παραγωγής (Tilman et al. 2011 όπως αναφέρεται στους Canellas et al. 2015, Halpern et al. 2015). Η κύρια διαφορά των βιοδιεγερτικών σκευασμάτων με τα λιπάσματα διαφαίνεται, σύμφωνα με το Πολυτεχνικό Ινστιτούτο της Βιρτζίνια των Η.Π.Α., στο γεγονός ότι οι βιοδιεγέρτες δύνανται σε ελάχιστη ποσότητα ώστε να ωθήσουν τη φυτική ανάπτυξη σε αντίθεση με τα λιπάσματα, από τα οποία απαιτούνται μεγαλύτερες ποσότητες για αποτελεσματική επίδραση στην ανάπτυξη (du Jardin 2015). Ταυτόχρονα η στρατηγική της εφαρμογής των βιοδιεγερτών διαθέτει αρκετά άλλα συγκριτικά πλεονεκτήματα έναντι των χημικών λιπασμάτων, διότι τα τελευταία αν και αποτελεσματικά και οικονομικά, συχνά εκπλένονται (Moe et al. 1967, Daverede et al. 2004 όπως αναφέρεται στους Halpern et al. 2015) και καθιστώνται μη άμεσα διαθέσιμα στα φυτά (Schachtman 1998, Sanchez et al. 2001 όπως αναφέρεται στους Halpern et al. 2015).

1.3.4. Γενικά οφέλη στα φυτά και μηχανισμός δράσης βιοδιεγερτών

Τα θετικά αποτελέσματα από τη χρήση των βιοδιεγερτών εξαρτώνται από τα φυτικό είδος ή/και την ποικιλία, το είδος βιοδιεγέρτη, την ποσότητα και το χρόνο εφαρμογής (Lisiecka et al. 2011 όπως αναφέρεται στους Lucini et al. 2015). Ειδικότερα μέσω ερευνών έχει βρεθεί ότι οι βιοδιεγερτικές ουσίες βελτιώνουν την ανθοφορία, την ανάπτυξη των φυτών και των καρπών, την απόδοση των καλλιεργειών, την αξιοποίηση των θρεπτικών στοιχείων και ακόμη ότι προσδίδουν αντοχή κάτω από πολυάριθμες συνθήκες αβιοτικών καταπονήσεων (Rouphael and Colla, 2020, Desoky et al., 2021 όπως αναφέρεται στους Yaseen and Takacs-Hajos 2022) με την ίδια αποτελεσματικότητα καθ' όλη τη διάρκεια του έτους (Yaseen and Takacs-Hajos 2022).

Επιπλέον ενισχύουν την παραγωγικότητα, τη φωτοσύνθεση, την ανάπτυξη μέσω της αύξησης αποδοτικότητας χρήσης του αρδευτικού νερού και της βελτίωσης της διαθεσιμότητας θρεπτικών συστατικών από το έδαφος (Shekhar et al. 2012, Yakhin et al. 2017 όπως αναφέρεται στον Del Buono 2021), ενώ συμβάλλουν στην αποσύνθεση και χουμοποίηση της εδαφικής οργανικής ουσίας (Paradikonici et al. 2011, Caradonia et al. 2019 όπως αναφέρεται στον Del Buono 2021). Μάλιστα σε συνθήκες υψηλού κορεσμού του αέρα σε υγρασία, καλύτερη απορρόφηση θρεπτικών από τα φυτά εξασφαλίζεται μέσω διαφυλλικών ψεκασμών με βιοδιεγέρτες (Pecha et al. 2012 όπως αναφέρεται στους Yaseen and Takacs-Hajos 2022). Ωστόσο σε γενικές γραμμές οι μηχανισμοί δράσης των βιοδιεγερτών παραμένουν ακόμη άγνωστοι (du Jardin 2015, Koleška et al. 2017 όπως αναφέρεται στον Del Buono 2021) και θα πρέπει να διαλευκανθούν στο μέλλον με τη βοήθεια της μοριακής τεχνολογίας (Del Buono 2021).

1.3.5. Είδη βιοδιεγερτών

Αναφορικά με τα είδη των βιοδιεγερτικών ουσιών, υπάρχει ένα τεράστιο πλήθος ουσιών οι οποίες δρουν αποτελεσματικά τόσο μεμονωμένα, όσο και συνεργιστικά (Yakhin et al. 2017 όπως αναφέρεται στον Del Buono 2021), ενώ λόγω του υψηλού τους ενδιαφέροντος επιλέγονται ολοένα και περισσότερες νέες βιοδραστικές ουσίες κάθε έτος (Xu and Geelen 2018 όπως αναφέρεται στον Del Buono 2021). Απαντάται πληθώρα ουσιών διαφορετικής προέλευσης, όπως χουμικές και φουλβικές ουσίες, εκχυλίσματα από φύκη, εκχυλίσματα ζωικών και φυτικών πρωτεϊνών, ωφέλιμους μικροοργανισμούς, μυκόρριζες και αζωτοδεσμευτικά βακτήρια των γενών *Rhizobium*, *Azotobacter* και *Azospirillum* (Calvo et al. 2014, Roupheal and Colla 2020 όπως αναφέρεται στον Del Buono 2021), φυτικά εκχυλίσματα (Del Buono 2021), υδρολυμένες πρωτεΐνες και αζωτούχες ενώσεις, χιτοζάνη και άλλα βιοπολυμερή και ανόργανες ενώσεις και στοιχεία (du Jardin 2015). Αξίζει να σημειωθεί επίσης ότι εν μέσω των έντονων συνθηκών έλλειψης νερού καθίσταται τεράστια η ανάγκη δημιουργίας σκευασμάτων βιοδιεγερτικών ουσιών που εντείνουν τη ριζική ανάπτυξη έναντι της βλαστικής, συνθέτουν συμβατές διαλυτές ουσίες προς εξισορρόπηση του υδατικού δυναμικού και δεσμεύουν ποσότητες νερού μέσω μικροβιακής δραστηριότητας (Van Oosten et al. 2017).

1.3.6. Βιοδιεγέρτες με προέλευση από χουμικές ουσίες, μηχανισμός δράσης και οφέλη

Αρχικά, ευρέως διαδεδομένα είναι τα σκευάσματα βιοδιεγερτών που προέρχονται από χουμικές ουσίες, δηλαδή φυσικά εδαφικά οργανικά συστατικά προερχόμενα από αποσύνθεση φυτικών, ζωικών και μικροβιακών υπολειμμάτων και από μικροβιακές μεταβολικές διεργασίες και τα οποία περιλαμβάνουν τις χουμίνες, τα χουμικά και τα φουλβικά οξέα, μορφές με διαφορετικά μοριακά βάρη (du Jardin 2015), ενώ αποτελούν την ευρύτερη πηγή οργανικού άνθρακα στη γη (Canellas et al. 2015). Στο μαρούλι έχει βρεθεί ότι οι χουμικές ουσίες προάγουν την ανάπτυξη και την απόδοση (Russo and Berlyn 1992, Lucini et al. 2015, Yakhin et al. 2017, Smoleń et al. 2019 όπως αναφέρεται στους Yaseen and Takacs-Hajos 2022), καθώς και την ανοχή στο άμεσα συνδεδεμένο με την υδατική καταπόνηση στρες αλατότητας που προκύπτει από χρήση αρδευτικού νερού με αυξημένη περιεκτικότητα σε NaCl (Yaseen and Takacs-Hajos 2022). Παράλληλα μειώνουν τη διάρκεια του κύκλου ζωής των φυτών (Hernandez et al. 2015 όπως αναφέρεται στους Canellas et al. 2015), εντείνουν την απόδοση και την πρόσληψη πρωτεϊνών και νιτρικών, περιορίζουν τα επίπεδα υδατανθράκων και φαινυλαλανίνης στα φύλλα (Hernandez et al. 2015 όπως αναφέρεται στους Huang et al. 2021), μειώνουν τη συσσώρευση των νιτρωδών και αυξάνουν τις συγκεντρώσεις των στοιχείων P, Zn και Mg (Fouad Fawzy 2010 όπως αναφέρεται στους Cristofano et al. 2021b). Στην τομάτα διευρύνουν τη φυλλική επιφάνεια και τη ξηρή μάζα μέσω της αύξησης των επιπέδων αυξίνης και κυτοκίνινης (Zhang et al. 2003 όπως αναφέρεται στους Rady and Rehman 2016). Επιπλέον στα φυτά σόγιας εντείνουν τη λειτουργία της φωτοσύνθεσης, μειώνοντας έτσι τις τιμές της ειδικής φυλλικής επιφάνειας (Dai et al. 2015 όπως αναφέρεται στους do Rosário Rosa et al. 2021). Ακόμη τα χουμικά οξέα διευκολύνουν την απορρόφηση μετάλλων και θρεπτικών και εμφανίζουν μια τάση αύξησης της απορρόφησης νατρίου (Na) και μείωσης καλίου (K) (Yaseen and Takacs-Hajos 2022).

1.3.7. Βιοδιεγέρτες με προέλευση από φύκη, μηχανισμός δράσης και οφέλη

Η επιλογή φυκιών για τη σύνθεση βιοδιεγερτικών σκευασμάτων είναι αρκετά διαδεδομένη καθότι τα φύκια είναι βιοδιασπώμενα και μη τοξικά για τους ανθρώπους, τα ζώα και το περιβάλλον (Craigie et al. 2011 όπως αναφέρεται στους Chrysargyris et al. 2018). Τα φύκη περιέχουν μεταξύ άλλων βιοενεργά συστατικά όπως μικρο- και

μακροθρεπτικά, βιταμίνες, αμινοξέα, μαννιτόλη και αντιοξειδωτικές ουσίες που διεγείρουν τους φυτικούς μηχανισμούς ανάπτυξης (Castillejo et al. 2018 όπως αναφέρεται στους Chrysargyris et al. 2018). Η χρήση ως βιοδιεγερτικών κυρίως καφέ φυκιών του είδους *Ascophyllum nodosum* (Sharma et al. 2014 όπως αναφέρεται στους Van Oosten et al. 2017) αλλά και κόκκινων και πράσινων μακροφυκών (Battacharyya et al. 2015 όπως αναφέρεται στους Van Oosten et al. 2017) αποτελούσε και αποτελεί μια συνήθη καλλιεργητική πρακτική (Craigie 2011 όπως αναφέρεται στους Van Oosten et al. 2017). Μέσω ερευνών διαπιστώθηκε ότι υπό συνθήκες ξηρασίας ενεργοποιούν την ανοχή σε αυτή στα είδη *Spiraea nipponica* και *Pittosporum eugenioides* (Elansary et al. 2016 όπως αναφέρεται στους Van Oosten et al. 2017) και ενισχύουν τις κοτυληδόνες σε σπόρους μαρουλιού (Möller and Smith 1998 όπως αναφέρεται στους Van Oosten et al. 2017). Η εφαρμογή με φύκη του είδους *Ecklonia maxima* στο μαρούλι επηρεάζει επίσης θετικά τη θρέψη με Ca, K και Mg (Crouch et al. 1990 όπως αναφέρεται στους Halpern et al. 2015), ενώ αυξάνεται η απόδοσή του (Mógor et al. 2018 όπως αναφέρεται στους Karoore et al. 2021). Ταυτόχρονα αυξάνεται η επιφάνεια, το νωπό και το ξηρό βάρος των φύλλων (Xu and Leskovar 2015).

1.3.8. Βιοδιεγέρτες μικροβιακής προέλευσης, μηχανισμός δράσης και οφέλη

Στην κατηγορία των βιοδιεγερτών μικροβιακής προέλευσης ανήκουν βιοδιεγερτικές ουσίες προερχόμενες από βακτήρια, μύκητες και μυκορριζικούς μύκητες (Fiorentino et al. 2018 όπως αναφέρεται στον Del Buono 2021) που συλλέγονται από το έδαφος, τα φυτά, κομποστοποιημένες κοπριές και λοιπές οργανικές ύλες (Bulgari et al. 2019 όπως αναφέρεται στον Del Buono 2021). Έχει διαπιστωθεί αρχικά ότι μύκητες των γενών *Trichoderma* και *Glomus* αυξάνουν την ξηρή μάζα του μαρουλιού (Colla et al. 2015), οι μυκόρριζες το καθιστούν ανεκτικό στην ξηρασία (Rouphael et al. 2015) και επιπλέον ότι και το γένος *Trichoderma* και οι μυκόρριζες ωθούν την αφομοίωση μικρο- και μακροθρεπτικών, τη φωτοσυνθετική δραστηριότητα και την εξισορρόπηση του μικροβιακού πληθυσμού της ριζόσφαιρας μέσω απέκκρισης οργανικών ενώσεων ποικίλλου μοριακού βάρους και ενζυμικής παραγωγής (López-Bucio et al. 2015, Rouphael et al. 2015 όπως αναφέρεται στους Saia et al. 2019). Ακόμη και άλλα μικροβιακά εκχυλίσματα βελτιώνουν τα ποιοτικά χαρακτηριστικά του μαρουλιού (Cocetta et al. 2021) ειδικά υπό υδατική έλλειψη (Saia et al. 2019) και σκευάσματα με βακτήρια όπως τα *Pseudomonas syringae* και *Bacillus* sp. περιορίζουν την ένταση της συμπτωματολογίας από προσβολές των μυκήτων *Rhizoctonia solani*

και *Pythium* sp. στο μαρούλι (Passera et al. 2020 όπως αναφέρεται στους Cocetta et al. 2021). Ακόμη η συνδυαστική εφαρμογή με βιοδιεγερτικά σκευάσματα από φύκη προσδίδει νωπά βάρη σε φυτά των τύπων Romaine και Santoro μεγαλύτερα από εκείνα των φυτών χωρίς εφαρμογή, όπως επίσης αυξάνει τα επίπεδα καροτενοειδών και φαινολικών (Korpta et al. 2018) μέσω της σηματοδότησης έναρξης των διαδικασιών βιοσύνθεσης και συσσώρευσης των ουσιών αυτών από τα μικρόβια (Cocetta and Ferrante, 2020 όπως αναφέρεται στους Cocetta et al. 2021).

1.3.9. Βιοδιεγέρτες με προέλευση από εκχυλίσματα φυτικών ιστών, μηχανισμός δράσης και οφέλη

Τα βιοδιεγερτικά σκευάσματα από εκχυλίσματα φυτικών ιστών ενεργοποιούν το μεταβολισμό, τον κυτταρικό πολλαπλασιασμό μέσω φυτοορμονών και αμινοξέων, αντιμετωπίζουν τα φαινόμενα οξειδωσης μέσω αντιοξειδωτικών, όπως οι βιταμίνες (Colla et al. 2017a όπως αναφέρεται στους Luziatelli et al. 2019). Έχει αποδειχθεί ότι το εκχύλισμα φλοιού ιτιάς περιέχει το ρυθμιστή ανάπτυξης ινδολο-3-βουτυρικό οξύ (Deniau et al. 2019, Mutlu-Durak and Kutman 2021 όπως αναφέρεται στους Yaseen and Takacs-Hajos 2022), το οποίο ωθεί στα μαρούλια την απορρόφηση θρεπτικών στοιχείων από τη ρίζα (De Pascale et al. 2017 όπως αναφέρεται στους Yaseen and Takacs-Hajos 2022) και ειδικά του Na και για αυτόν το λόγο έχει βρεθεί ότι συμβάλλει στην αύξηση της περιεκτικότητας των θερμοκηπιακών μαρουλιών σε μακροθρεπτικά συστατικά (Yaseen and Takacs-Hajos 2022). Παράλληλα η χρήση εκχυλίσματος τροπικών φυτών είχε ως αποτέλεσμα την αύξηση των τιμών του δείκτη SPAD, του νωπού βάρους και της φυλλικής βιομάζας στο μαρούλι (Luziatelli et al. 2019) αλλά και της μετασυλλεκτικής του ποιότητας (Bulgari et al. 2017 όπως αναφέρεται στους Zulfiqar et al. 2020), όπως παρατηρήθηκε από τη χρήση εκχυλίσματος μπουράντζας (Bulgari et al. 2017).

1.3.10. Βιοδιεγέρτες με προέλευση από υδρολυμένες πρωτεΐνες, μηχανισμός δράσης και οφέλη

Ιδιαίτερη σημασία ως βιοδιεγερτικές ουσίες κατέχουν επίσης και οι χημικώς και ενζυματικώς υδρολυμένες πρωτεΐνες προερχόμενες από αγροβιομηχανικά προϊόντα και φυτικά ή ζωικά υπολείμματα (du Jardin 2012, Calvo et al. 2014, Halpern et al. 2015 όπως αναφέρεται στον du Jardin 2015) οι οποίες περιλαμβάνουν αμινοξέα, πεπτίδια, βεταΐνες, πολυαμίνες και μη πρωτεϊνικά αμινοξέα με άγνωστο ρόλο (Vranova et al.

2011 όπως αναφέρεται στον du Jardin 2015). Ο μηχανισμός δράσης βασίζεται στη ρύθμιση υπεύθυνων ενζύμων και γονιδίων για την αφομοίωση του N και C και στην αντιοξειδωτική δράση μέσω του περιορισμού των ελεύθερων ριζών από αζωτούχες ενώσεις που παρέχουν προστασία έναντι των στρες, όπως η βεταΐνη, η γλυκίνη και η προλίνη (du Jardin 2015). Έχει βρεθεί επίσης ότι προάγουν τη βλαστική και ριζική ανάπτυξη, την απορρόφηση ενώσεων αζώτου (N) και σιδήρου (Fe) (Cerdán et al. 2009, Colla et al. 2014 όπως αναφέρεται στους Lucini et al. 2015) και την αύξηση της απόδοσης σε βιομάζα στο μαρούλι (Cristofano et al. 2021a όπως αναφέρεται στους Cristofano et al. 2021b). Επιπλέον στο μαρούλι εντείνεται η έκφραση της συνθετάσης του γλουταμινικού οξέος και της συνθετάσης των γλουταμινικών ενζύμων (Colla et al. 2017b όπως αναφέρεται στους Giordano et al. 2020) αλλά και η αύξηση των τιμών του δείκτη SPAD, του νωπού βάρους, της φυλλικής βιομάζας (Luziatelli et al. 2019), του βλαστού και της ρίζας (Malécange et al. 2022), ενώ βιοδιεγέρτες από σπόρους οσπρίων προάγουν την απόδοση υπό στρες αλατότητας και ενισχύουν το μεταβολισμό του N και τη φωτοσυνθετική ικανότητα (Lucini et al. 2015 όπως αναφέρεται στους Zulficar et al. 2020). Επίσης συνδυαστική εφαρμογή βιοδιεγερτών από εκχυλίσματα τροπικών φυτών και υδρολυμένων πρωτεϊνών έχει βρεθεί ότι συμβάλλει στην αύξηση του δείκτη SPAD στο είδος *Diplotaxis tenuifolia* L. (Caruso et al. 2019, Di Mola et al. 2019 όπως αναφέρεται στους Giordano et al. 2020). Ωστόσο αποτελεσματική είναι και η χρήση σκευασμάτων με παράγωγα μη πρωτεϊνικών αμινοξέων, όπως του πυρογλουταμινικού οξέος το οποίο συντελεί στη μείωση της έντασης του οξειδωτικού στρες και στην αύξηση του βάρους και της παραγωγής κατά 37% και 31% αντίστοιχα στο μαρούλι που καλλιεργήθηκε υπό υδατικό έλλειμμα (Jiménez-Arias et al. 2019).

1.3.11. Βιοδιεγέρτες που περιέχουν χιτοζάνη και άλλα βιοπολυμερή, μηχανισμός δράσης και οφέλη

Σε μια ακόμη κατηγορία βιοδιεγερτών ανήκουν εκείνοι που περιέχουν χιτοζάνη και άλλα βιοπολυμερή. Το βιοπολυμερές χιτοζάνη είναι αποακετυλιωμένη μορφή του βιοπολυμερούς χιτίνη, πολκατιονική ένωση που προστατεύει το DNA, λοιπά κυτταρικά συστατικά και υποδοχείς γονιδίων προς ενεργοποίηση της φυτικής άμυνας (El Hadrami et al. 2010, Yin et al. 2010, Hadwiger 2013, Katiyar et al. 2015 όπως αναφέρεται στον du Jardin 2015). Η χιτίνη περιλαμβάνει β (1,4)- συνδεδεμένες μονάδες N- ακετυλο- d γλυκοζαμίνης και η βεταΐνη είναι ένα πλήρως N- μεθυλο- υποκατεστημένο παράγωγο της γλυκίνης, ευρέως διαδεδομένο σε φυτά, ζώα και

μικρόβια (Ahmad et al. 2013 όπως αναφέρεται στους Lin et al. 2020). Έχει αποδειχθεί ότι η χιτοζάνη δημιουργεί ανοχή σε έλλειμα νερού, αλατότητα και ψύχος και ενισχύει τα ποιοτικά χαρακτηριστικά των φυτών (du Jardin 2015), ενώ υποστηρίζει αποτελεσματικά και την ανάπτυξη των κηπευτικών καλλιεργειών αυξάνοντας το ύψος, τον αριθμό φύλλων, το νωπό και το ξηρό βάρος και παρέχοντας προστασία έναντι φυτοπαθογόνων, όπως οι μύκητες *Sclerotinia sclerotiorum* και *Votrytis cinerea* (Pichyangkura and Chadchawan 2015). Σχετικά με τη δράση της βεταΐνης και της χιτίνης έχει βρεθεί ότι στο μαρούλι υπό συνθήκες υδατικής έλλειψης η βεταΐνη ευνοεί κυρίως το νωπό και ξηρό βάρος του βλαστού σε σχέση με τα αντίστοιχα βάρη και το μήκος της ρίζας και προάγει την ανάπτυξη και την απόδοση σε βιομάζα, ενώ η χιτίνη αυξάνει γενικά όλα τα μετρούμενα χαρακτηριστικά και περιορίζει την ένταση της γήρανσης και της επιναστίας (Lin et al. 2020).

1.3.12. Βιοδιεγέρτες που περιέχουν ανόργανα στοιχεία και ενώσεις, μηχανισμός δράσης και οφέλη

Εν τέλει πολλά ανόργανα στοιχεία και ενώσεις συμμετέχουν σε φυσιολογικές διεργασίες άλλων ειδών βιοδιεγερτικών ουσιών στα οποία περιέχονται, όπως φύκη και φυτικά υπολείμματα (du Jardin 2015), αλλά μπορούν να δράσουν και αυτόνομα ως βιοδιεγερτικές ενώσεις. Για την ακρίβεια, διάφορα ανόργανα στοιχεία συμβάλλουν στην ωσμωρύθμιση, στη μείωση της διαπνοής, στη θερμορύθμιση, στην εξασφάλιση αντιοξειδωτικών ιδιοτήτων, στην απόκριση σε παθογόνα και σε τοξικά περιβάλλοντα (du Jardin 2015). Στο μαρούλι το πυρίτιο (Si) ενισχύει τα κυτταρικά τοιχώματα (du Jardin 2015), διευκολύνει τη βλάστηση των σπόρων (de Souza Lemos Neto et al. 2018 όπως αναφέρεται στους Cristofano et al. 2021b) και προκαλεί αύξηση του νωπού (Milne et al. 2012 όπως αναφέρεται στους Cristofano et al. 2021b) και ξηρού βάρους βλαστών και ριζών (Greger et al. 2015 όπως αναφέρεται στους Cristofano et al. 2021b). Ο ψευδάργυρος (Zn) παρομοίως δύναται να βελτιώσει τα χαρακτηριστικά του μαρουλιού, ωστόσο σε υπερβολικές δόσεις οδηγεί σε υπεροξείδωση των λιπιδίων (de Moraes et al. 2022). Τέλος το ασβέστιο (Ca) ωθεί την αύξηση του ύψους, της νωπής βιομάζας και του αριθμού των φύλλων στα φυτά μαρουλιού (Dudaš et al. 2016).

1.4. Σκοπός Πτυχιακής Εργασίας

Σε αυτό το σημείο γίνεται αντιληπτή η ανάγκη περαιτέρω έρευνας γύρω από τη συμβολή της εφαρμογής εναλλακτικών στρατηγικών στον πρωτογενή τομέα ως

απάντηση στην κλιματική αλλαγή και στην επισιτιστική κρίση. Η ανάγκη αυτή καθίσταται επιτακτική κυρίως σε δημοφιλείς, τεράστιας οικονομικής αλλά και διαθρεπτικής αξίας καλλιέργειες, όπως αυτή του μαρουλιού. Στην παρούσα πτυχιακή εργασία επομένως θα μελετηθούν συγκεκριμένα οι επιδράσεις της εφαρμογής διαφόρων τύπων βιοδιεγερτών υπό συνθήκες υδατικής καταπόνησης λόγω έλλειψης αρδευτικού νερού σε μετρούμενα, σχετιζόμενα με τη φυτική αύξηση και ανάπτυξη, χαρακτηριστικά αλλά και στην αποτελεσματικότητα χρήσης νερού σε χειμερινή θερμοκηπιακή καλλιέργεια φυτών μαρουλιού (*Lactuca sativa* L.) που ανήκαν στους τύπους Batavia και Romaine και ειδικότερα στις ποικιλίες Manchester και Green Towers, αντίστοιχα.

Κεφάλαιο 2^ο: Υλικά και Μέθοδοι

2.1. Υλικά, όργανα, σκεύη και σκευάσματα

2.1.1. Υλικά

Πλαστικά μπουκάλια

Πλαστικό ποτήρι

Σύριγγα

Πλαστική επιφάνεια τετράγωνου σχήματος πλευράς 25 cm

Φυτευτήρι

Μαρκαδόρος

Κανόνες (χάρακες)

Μαχαίρι

Χάρτινες σακούλες

Πλαστικές σακούλες

2.1.2. Όργανα

Φορητοί μετρητές χλωροφύλλης SPAD

Μετρητής φυλλικής επιφάνειας LI-3100C AREA METER

Ζυγός ακριβείας

2.1.3. Σκεύη

Πλαστικά δοχεία

Πλαστικές λεκάνες

2.1.4. Σκευάσματα

Σκεύασμα βιοδιεγέρτη AGR109 (100 cc / 100 L)

Σκεύασμα βιοδιεγέρτη AGR110 (2 mL / στρέμμα)

Σκεύασμα βιοδιεγέρτη AGR111 (1,5 L / στρέμμα)

Σκεύασμα βιοδιεγέρτη AGR112 (100 cc / 100 L)

Σκεύασμα βιοδιεγέρτη AGR113 (100 cc / 100 L)

Σκεύασμα βιοδιεγέρτη AGR114 (300 cc / 100 L)

2.1.5. Άλλα

Αισθητήρες Delta-T PR2/4 (Delta-T Devices Ltd., Burwell, UK)

Ψεκαστήρας πλάτης

2.2. Μεθοδολογία πειραματικής διαδικασίας

2.2.1. Γενικά για το πειραματικό σχέδιο

Η πειραματική διαδικασία πραγματοποιήθηκε στο θερμοκήπιο του Εργαστηρίου Κηπευτικών Καλλιεργειών στο Αγρόκτημα της Σχολής Γεωπονικών Επιστημών στο Βελεστίνο Μαγνησίας, στο χώρο του Εργαστηρίου Κηπευτικών Καλλιεργειών εντός του κτιρίου της Σχολής Γεωπονικών Επιστημών και στο ξηραντήριο του Εργαστηρίου Γεωργίας και Εφαρμοσμένης Φυσιολογίας Φυτών στον εξωτερικό χώρο όπισθεν του κτιρίου της Σχολής Γεωπονικών Επιστημών στο Βόλο.

Για τη μελέτη της επίδρασης των βιοδιεγερτών και των επιπέδων άρδευσης σε χαρακτηριστικά που σχετίζονται με την αύξηση, απόδοση και ανάπτυξη καθορισμένων ποικιλιών φυτών μαρουλιού, όπως τη συγκέντρωση χλωροφύλλης (δείκτης SPAD), το ύψος των φυτών, τον αριθμό, το νωπό βάρος των φυτών, το νωπό βάρος των φύλλων και το ποσοστό % ξηρής ουσίας των φύλλων, το δείκτη φυλλικής επιφάνειας (LAI) και την ειδική φυλλική επιφάνεια (SLA), όπως επίσης και στην αποτελεσματικότητα χρήσης νερού (WUE) ακολουθήθηκαν συγκεκριμένες μεθοδολογίες στα πλαίσια των οποίων μετρήθηκαν τα παραπάνω μορφολογικά χαρακτηριστικά. Ο προσδιορισμός των χαρακτηριστικών αυτών πραγματοποιήθηκε σε τακτά χρονικά διαστήματα και κατά τη συγκομιδή των φυτών.

Για τη μελέτη της επίδρασης των βιοδιεγερτών και των επιπέδων άρδευσης σε καθορισμένα φυτικά γνωρίσματα σε δυο ποικιλίες μαρουλιών σχεδιάστηκε ένα πολυπαραγοντικό πείραμα με πρώτο παράγοντα το επίπεδο άρδευσης, δεύτερο παράγοντα το είδος βιοδιεγέρτη και τρίτο παράγοντα τον τύπο ποικιλίας. Έτσι επιλέχθηκαν και εφαρμόστηκαν τρία επίπεδα άρδευσης με βάση την υδατοχωρητικότητα του εδάφους, συγκεκριμένα η κανονική-πλήρης (100% υδατοχωρητικότητας εδάφους), η μέση (66% υδατοχωρητικότητας εδάφους) και η ελάχιστη (46% υδατοχωρητικότητας εδάφους), τα οποία ελέγχονταν από αισθητήρες Delta-T PR2/4 (Delta-T Devices Ltd., Burwell, UK). Ειδικότερα μέχρι το στάδιο των 5-6 φύλλων εφαρμόστηκε ενιαία στάγδην άρδευση 3,3 mm σε όλα τα μαρούλια, ακολούθως εφαρμόστηκε σε όλα τα μαρούλια άρδευση 30 mm με καταιονισμό, ενώ στη συνέχεια ξεκίνησε η εφαρμογή της ελλειμματικής άρδευσης μέχρι και τη συγκομιδή. Η συνολική κατανάλωση νερού ήταν 194 m³/στρέμμα, 140 m³/στρέμμα και

107 m³/στρέμμα για τις μεταχειρίσεις 100%, 66% και 46% της υδατοχωρητικότητας του εδάφους, αντίστοιχα. Επιπλέον εφαρμόστηκαν 6 μεταχειρίσεις βιοδιεγερτών (εφαρμογές τεσσάρων διαφορετικών σκευασμάτων βιοδιεγερτών, εφαρμογή ενός μίγματος επιλεγμένων σκευασμάτων και η μεταχείριση του μάρτυρα όπου δεν πραγματοποιήθηκε καμία εφαρμογή βιοδιεγερτών). Τα 4 σκευάσματα βιοδιεγερτών που εφαρμόστηκαν ξεχωριστά και οι δόσεις εφαρμογής τους ήταν το AGR109 (100 cc/100 L) που περιείχε εκχυλίσματα φυκιών και αμινοξέων, το AGR110 (2 L/στρέμμα) που περιλάμβανε χουμικά και φουλβικά οξέα, το AGR113 (100 cc/100 L) που περιείχε Si και το AGR114 (300 cc/100 L) που περιλάμβανε φυτικές πρωτεΐνες και μίγμα 20 L-αμινοξέων. Η συνδυαστική εφαρμογή βιοδιεγερτών αφορούσε το σκεύασμα AGR111 (1,5 L/στρέμμα) που περιείχε Si και το AGR112 (100 cc/100 L) που περιείχε Ca, Zn, με μηχανισμό απορρόφησης μετακίνησης Ca. Για κάθε μεταχείριση εφαρμόστηκαν τρεις επαναλήψεις (n=3) με 12 φυτά ανά επανάληψη και μεταχείριση. Το πειραματικό σχέδιο ήταν αυτό των υποδιαιρεμένων τεμαχίων (split-plot) με κύριο παράγοντα την άρδευση και υποπαράγοντες τους βιοδιεγέρτες και τους τύπους ποικιλιών. Η φύτευση έγινε σε ζεύγη γραμμών σε αποστάσεις 25 cm επί της γραμμής και 25 cm μεταξύ των γραμμών, ενώ υπήρχε και ένας διάδρομος 50 cm μεταξύ των ζευγών. Μεταξύ του κάθε ζεύγους γραμμών υπήρχε σταλακτηφόρος σωλήνας άρδευσης με απόσταση 50 cm μεταξύ των σταλακτών. Τα φυτά τοποθετήθηκαν περιμετρικά του κάθε σταλάκτη (4 φυτά ανά σταλάκτη). Επιπλέον, υπήρχε ένας μεγαλύτερος διάδρομος πλάτους 1 m μεταξύ των επιπέδων άρδευσης.

Το πειραματικό σχέδιο ήταν ίδιο στις μεταφυτεύσεις και των 2 ποικιλιών μαρουλιών που επιλέχθηκαν και φαίνεται στην Εικόνα 2.1.

Σγουρά μαρούλια ποικιλίας Manchester (Batavia), πλήθος: 648								
Επίπεδο άρδευσης 100%			Επίπεδο άρδευσης 66%			Επίπεδο άρδευσης 46%		
6 plots/επανάληψη (12 φυτά/plot)			6 plots/επανάληψη (12 φυτά/plot)			6 plots/επανάληψη (12 φυτά/plot)		
Επανάληψη 1	Επανάληψη 2	Επανάληψη 3	Επανάληψη 1	Επανάληψη 2	Επανάληψη 3	Επανάληψη 1	Επανάληψη 2	Επανάληψη 3
AGR113	AGR109	CONTROL	AGR113	AGR109	CONTROL	AGR113	AGR109	CONTROL
AGR114	AGR111+AGR112	AGR110	AGR114	AGR111+AGR112	AGR110	AGR114	AGR111+AGR112	AGR110
AGR109	CONTROL	AGR113	AGR109	CONTROL	AGR113	AGR109	CONTROL	AGR113
AGR110	AGR114	AGR109	AGR110	AGR114	AGR109	AGR110	AGR114	AGR109
CONTROL	AGR113	AGR111+AGR112	CONTROL	AGR113	AGR111+AGR112	CONTROL	AGR113	AGR111+AGR112
AGR111+AGR112	AGR110	AGR114	AGR111+AGR112	AGR110	AGR114	AGR111+AGR112	AGR110	AGR114
Ίσια μαρούλια ποικιλίας Green Towers (Romaine), πλήθος: 648								
Επίπεδο άρδευσης 100%			Επίπεδο άρδευσης 66%			Επίπεδο άρδευσης 46%		
6 plots/επανάληψη (12 φυτά/plot)			6 plots/επανάληψη (12 φυτά/plot)			6 plots/επανάληψη (12 φυτά/plot)		
Επανάληψη 1	Επανάληψη 2	Επανάληψη 3	Επανάληψη 1	Επανάληψη 2	Επανάληψη 3	Επανάληψη 1	Επανάληψη 2	Επανάληψη 3
AGR113	AGR109	CONTROL	AGR113	AGR109	CONTROL	AGR113	AGR109	CONTROL
AGR114	AGR111+AGR112	AGR110	AGR114	AGR111+AGR112	AGR110	AGR114	AGR111+AGR112	AGR110
AGR109	CONTROL	AGR113	AGR109	CONTROL	AGR113	AGR109	CONTROL	AGR113
AGR110	AGR114	AGR109	AGR110	AGR114	AGR109	AGR110	AGR114	AGR109
CONTROL	AGR113	AGR111+AGR112	CONTROL	AGR113	AGR111+AGR112	CONTROL	AGR113	AGR111+AGR112
AGR111+AGR112	AGR110	AGR114	AGR111+AGR112	AGR110	AGR114	AGR111+AGR112	AGR110	AGR114

Εικόνα 2.1: Αποτύπωση πειραματικού σχεδίου για διάταξη ποικιλιών μεταφυτευμένων μαρουλιών στο θερμοκήπιο και για προβλεπόμενες εφαρμογές βιοδιεγερτών ανά plot ανά επανάληψη ανά επίπεδο άρδευσης.

2.2.2. Έναρξη πειράματος, μεταφύτευση μαρουλιών και εφαρμογή βιοδιεγερτών μέσω εμφάνισης (πρώτη εφαρμογή)

Την Πέμπτη 11 Νοεμβρίου 2021 πραγματοποιήθηκε η μεταφύτευση των νεαρών φυτών μαρουλιών στο θερμοκήπιο του Εργαστηρίου Κηπευτικών Καλλιεργειών στο Αγρόκτημα της Σχολής Γεωπονικών Επιστημών στο Βελεστίνο σύμφωνα με το πειραματικό σχέδιο καθώς και η πρώτη εφαρμογή βιοδιεγερτών μέσω εμφάνισης των ριζών των φυτών πριν τη μεταφύτευσή τους στο αντίστοιχο διάλυμα. Ειδικότερα μεταφυτεύτηκαν 648 σγουρά μαρούλια που ανήκαν στην ποικιλία τύπου Batavia (Manchester) και 648 ίσια μαρούλια που ανήκαν στην ποικιλία τύπου Romaine (Green Towers), ενώ στο έδαφος του θερμοκηπίου δεν είχε προηγηθεί καμία επέμβαση ή μεταχείριση. Η μεθοδολογία εφαρμογής βιοδιεγερτών που ακολουθήθηκε και θα περιγραφεί παρακάτω βασίζεται στις οδηγίες της εταιρείας ανάπτυξης, τυποποίησης και διάθεσης Φυτοπροστατευτικών Προϊόντων και Εξειδικευμένων Προϊόντων Θρέψης Agrolgy.

Αρχικά βάσει του προαναφερθέντος πειραματικού σχεδίου, της προβλεπόμενης πυκνότητας φύτευσης (16000 φυτά/στρέμμα) και των συγκεντρώσεων των βιοδιεγερτών υπολογίστηκαν οι ποσότητες κάθε βιοδιεγέρτη. Έπειτα λήφθηκε με σύριγγα η ποσότητα κάθε βιοδιεγέρτη και έπειτα έγινε έγχυση σε πλαστικό μπουκάλι και αραίωση με ελάχιστο νερό ώστε να διαλυθεί καλά ολόκληρη η ποσότητα και τέλος ξανά αραίωση της ποσότητας σε 5 L νερού μέσα σε πλαστικό δοχείο. Η διαδικασία της πρώτης εφαρμογής βιοδιεγερτών επαναλήφθηκε για όλους τους βιοδιεγέρτες, ενώ έπειτα τα δοχεία μεταφέρθηκαν στο θερμοκήπιο. Στη συνέχεια βάσει των προβλεπόμενων κατάλληλων αποστάσεων φύτευσης (25 cm επί της γραμμής και 25 cm μεταξύ των γραμμών) με τη βοήθεια ενός πλαστικού τετραγώνου πλευράς 25 cm και ενός φυτευτηριού έγινε διάνοιξη τρυπών στο έδαφος όπου θα μεταφυτευόταν τα μαρούλια. Το κέντρο του τετραγώνου δηλαδή το σημείο τομής των διαγωνίων του επισημάνθηκε με μαρκαδόρο και το τετράγωνο τοποθετούνταν στο έδαφος ώστε το κέντρο του να συμπίπτει με το μέσον της απόστασης του ζεύγους τρυπών κάθε σταλάκτη. Τελικά, επειδή σε κάθε plot ανήκαν 12 φυτά, πραγματοποιήθηκε εμφάνιση κάθε δωδεκάδας φυτών για χρονικό διάστημα 5 δευτερολέπτων στον επιλεγμένο για το κάθε plot τύπο βιοδιεγέρτη. Τα εμφάνισμένα φυτά τοποθετούνταν σε μια λεκάνη από όπου στη συνέχεια λαμβάνονταν και φυτεύονταν στο ανάλογο plot.



Εικόνα 2.2: Μεταφτευμένα μαρούλια περιμετρικά του σταλάκτη.



Εικόνα 2.3: Μεταφτευμένα μαρούλια.

2.2.3. Δεύτερη εφαρμογή βιοδιεγερτών μέσω υδρολίπανσεων και διαφυλλικών ψεκασμών

Την Πέμπτη 18 Νοεμβρίου 2021 πραγματοποιήθηκε η δεύτερη εφαρμογή βιοδιεγερτών στο θερμοκήπιο με υδρολίπανσεις και διαφυλλικούς ψεκασμούς, ανάλογα με το σκεύασμα του βιοδιεγέρτη. Πρώτα έγιναν οι υδρολίπανσεις και στη συνέχεια ακολούθησαν οι διαφυλλικοί ψεκασμοί. Μέσω υδρολίπανσης εφαρμόστηκαν οι βιοδιεγέρτες AGR110 και AGR114, εκτός από το AGR109 διότι δεν έπρεπε να εφαρμοστεί ακόμη λόγω του μικρού χρονικού διαστήματος (7 ημέρες) που είχε παρέλθει από τη μεταφύτευση των μαρουλιών σύμφωνα με το πρωτόκολλο της εταιρείας Agrolgy. Η παρασκευή όλων των διαλυμάτων βιοδιεγερτών έγινε με την

ίδια διαδικασία που εφαρμόστηκε κατά τη μεταφύτευση των φυτών. Το υδατικό διάλυμα του κάθε βιοδιεγέρτη εφαρμόστηκε με πλαστικό ποτήρι με το χέρι, ατομικά σε κάθε φυτό. Τέλος στους διαφυλλικούς ψεκασμούς χρησιμοποιήθηκε ψεκαστήρας πλάτης ο οποίος τροφοδοτούνταν με ποσότητα διαλύματος βιοδιεγέρτη τέτοια ώστε να ψεκαστεί 1 plot μαρουλιών με πλήρη κάλυψη των φυτών μέχρι απορροής.

2.2.4. Πρώτη μέτρηση συγκέντρωσης χλωροφύλλης και ύψους μαρουλιών

Τη Δευτέρα 29 Νοεμβρίου 2021 πραγματοποιήθηκε η πρώτη μέτρηση συγκέντρωσης χλωροφύλλης και ύψους μαρουλιών. Πιο συγκεκριμένα σε κάθε plot επιλέγονταν τυχαία 5 μαρούλια όπου στο καθένα γίνονταν πρώτα η μέτρηση της χλωροφύλλης (SPAD) και έπειτα η μέτρηση του ύψους τους. Η συγκέντρωση χλωροφύλλης μετρήθηκε με δύο φορητούς μετρητές χλωροφύλλης SPAD και το ύψος με χάρακες.



Εικόνα 2.4: Φορητοί μετρητές χλωροφύλλης SPAD.



Εικόνα 2.5: Ανάπτυξη μαρουλιών κατά την πρώτη μέτρηση συγκέντρωσης χλωροφύλλης και ύψους.

2.2.5. Τρίτη εφαρμογή βιοδιεγερτών μέσω υδρολιπάνσεων και διαφυλλικών ψεκασμών

Την Τετάρτη 1 Δεκεμβρίου 2021 πραγματοποιήθηκε η τρίτη εφαρμογή βιοδιεγερτών με υδρολιπάνσεις και διαφυλλικούς ψεκασμούς με τη διαδικασία που προαναφέρθηκε στο υποκεφάλαιο 2.2.3. Σημειώνεται ότι στην παρούσα περίπτωση έγινε επιπλέον και εφαρμογή του βιοδιεγέρτη AGR109.

2.2.6. Δεύτερη μέτρηση συγκέντρωσης χλωροφύλλης και ύψους μαρουλιών

Την Τετάρτη 8 Δεκεμβρίου 2021 έγινε η δεύτερη μέτρηση συγκέντρωσης χλωροφύλλης και ύψους μαρουλιών.

2.2.7. Τέταρτη εφαρμογή βιοδιεγερτών μέσω υδρολιπάνσεων και διαφυλλικών ψεκασμών

Την Παρασκευή 10 Δεκεμβρίου 2021 έγινε η τέταρτη εφαρμογή βιοδιεγερτών με υδρολιπάνσεις και διαφυλλικούς ψεκασμούς με παρόμοιο τρόπο όπως προαναφέρθηκε στα υποκεφάλαια 2.2.3 και 2.2.5.



Εικόνα 2.6: Ανάπτυξη μαρουλιών κατά την τέταρτη εφαρμογή βιοδιεγερτών μέσω υδρολιπάνσεων και διαφυλλικών ψεκασμών.

2.2.8. Τρίτη μέτρηση συγκέντρωσης χλωροφύλλης και ύψους μαρουλιών

Την Παρασκευή 17 Δεκεμβρίου 2021 έγινε η τρίτη μέτρηση συγκέντρωσης χλωροφύλλης και ύψους μαρουλιών.



Εικόνα 2.7: Ανάπτυξη μαρουλιών Romaine κατά την τρίτη μέτρηση χλωροφύλλης και ύψους.



Εικόνα 2.8: Ανάπτυξη μαρουλιών Batavia κατά την τρίτη μέτρηση χλωροφύλλης και ύψους.

2.2.9. Συγκομιδή μαρουλιών, μετρήσεις νωπού βάρους φυτών, νωπού βάρους φύλλων, δείκτη φυλλικής επιφάνειας (LAI) και ξηρής μάζας προς υπολογισμό ξηρής ουσίας, ειδικής φυλλικής επιφάνειας (SLA) και αποτελεσματικότητας χρήσης νερού (WUE)

Την Παρασκευή 4 Φεβρουαρίου 2022 πραγματοποιήθηκε η συγκομιδή των μαρουλιών και επιπλέον μετρήθηκε το νωπό βάρος και ο δείκτης φυλλικής επιφάνειας LAI. Η συγκομιδή έγινε με το χέρι με τη χρήση μαχαιριού, κόβοντας κάθε φυτό στη βάση του, ακολούθησε η μέτρηση του νωπού βάρους του, ενώ στη συνέχεια έγινε κοπή των φύλλων του τα οποία επίσης ζυγίστηκαν όλα μαζί προς καταγραφή του νωπού βάρους τους (αφαιρέθηκε ο βλαστός) και του αριθμού τους. Η διαδικασία επαναλήφθηκε για όλα τα μαρούλια.



Εικόνα 2.9: Μαρούλια Romaine την ημέρα της συγκομιδής.



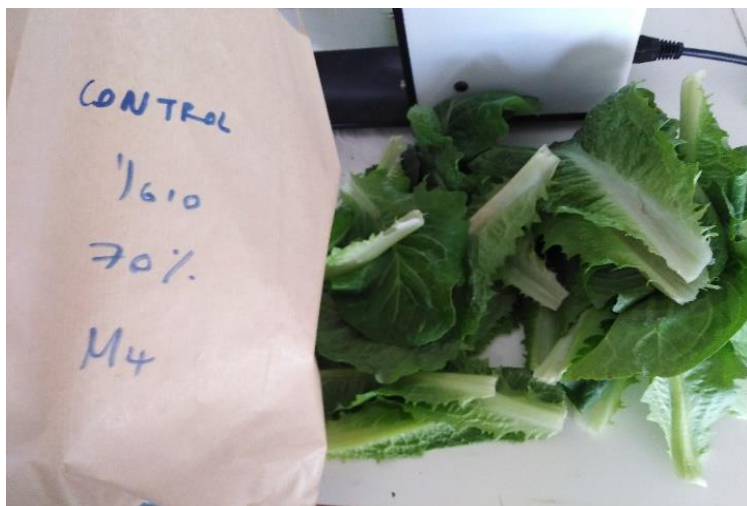
Εικόνα 2.10: Μαρούλια Batavia την ημέρα της συγκομιδής.



Εικόνα 2.11: Ζυγός ακριβείας.

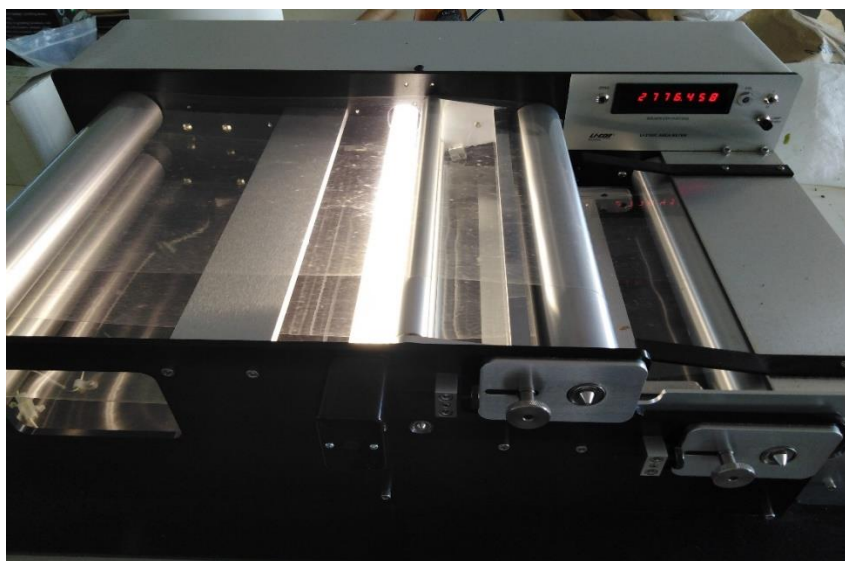
Εν συνεχεία τα φύλλα από 5 επιλεγμένα φυτά μαρουλιού τοποθετήθηκαν σε χάρτινες σακούλες (φύλλα ενός μαρουλιού ανά σακούλα) προκειμένου να γίνει η

μέτρηση της φυλλικής επιφάνειας και η μέτρηση της ξηρής ουσίας των φύλλων. Ακολούθως κάθε πεντάδα μαρουλιών, περιεχομένων ατομικά σε χάρτινες σακούλες, εισήχθη σε μια πλαστική σακούλα, ώστε να μεταφερθεί στο χώρο του Εργαστηρίου Κηπευτικών Καλλιεργειών.

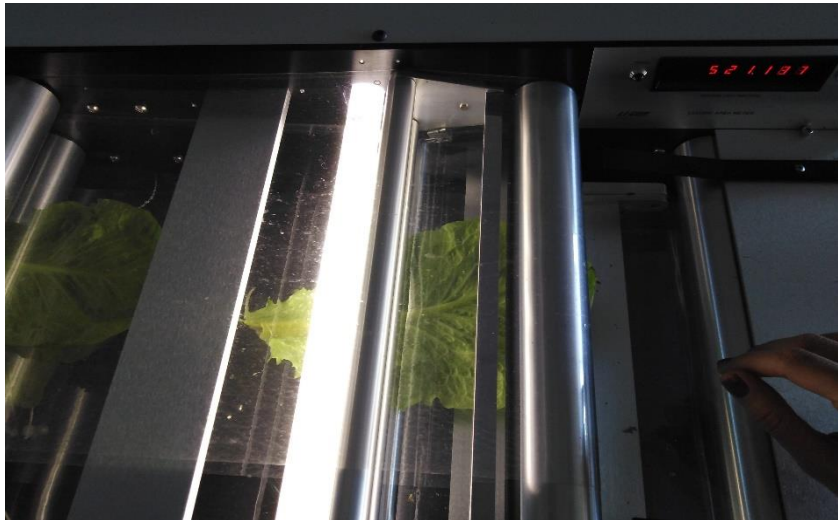


Εικόνα 2.12: Κομμένα φύλλα μαρουλιού και σακούλα με επισήμανση ποικιλίας, εφαρμογής βιοδιεγέρτη, επιπέδου άρδευσης και αύξοντος αριθμού μαρουλιού ανά ομάδα επιπέδου άρδευσης.

Ο δείκτης φυλλικής επιφάνειας (LAI) μετρήθηκε την Παρασκευή 4 Φεβρουαρίου 2022 με χρήση μετρητή φυλλικής επιφάνειας (LI-3100C AREA METER) στο χώρο του Εργαστηρίου Κηπευτικών Καλλιεργειών. Κάθε μέτρηση αφορούσε όλα τα φύλλα ενός μαρουλιού, τα οποία εισάγονταν ένα-ένα στον μετρητή, ενώ πριν από κάθε νέα μέτρηση μηδενίζονταν ο μετρητής για λόγους ακρίβειας των αριθμητικών τιμών.



Εικόνα 2.13: Μετρητής φυλλικής επιφάνειας (LI-3100C AREA METER).



Εικόνα 2.14: Εισαγωγή φύλλων μαρουλιού στο μετρητή φυλλικής επιφάνειας του Εργαστηρίου Κηπευτικών Καλλιεργειών.

Μετά από την μέτρηση LAI των φύλλων κάθε μαρουλιού, αυτά επανεισάγονταν στη σακούλα που τα περιείχε και τοποθετήθηκαν στο ξηραντήριο του Εργαστηρίου Γεωργίας και Εφαρμοσμένης Φυσιολογίας Φυτών με σκοπό την αποξήρανσή τους στους 68 °C για 72 ώρες για τη μέτρηση της ξηρής μάζας με σκοπό τη χρησιμοποίηση των τιμών της για τον υπολογισμό του ποσοστού % ξηρής ουσίας.



Εικόνα 2.15: Εισαγωγή μαρουλιών στο ξηραντήριο του Εργαστηρίου Γεωργίας και Εφαρμοσμένης Φυσιολογίας Φυτών.

2.2.10. Υπολογισμοί ξηρής ουσίας, ειδικής φυλλικής επιφάνειας (SLA) και αποτελεσματικότητας χρήσης νερού (WUE)

Έπειτα της μέτρησης της ξηρής μάζας των φύλλων κάθε μαρουλιού ακολούθησε ο υπολογισμός του % ποσοστού ξηρής ουσίας για κάθε μαρούλι με την χρήση του τύπου ξηρή ουσία % = $\frac{\text{ξηρό βάρος φύλλων (g)}}{\text{νωπό βάρος φύλλων (g)}} * 100$. Στη συνέχεια υπολογίστηκε η ειδική φυλλική επιφάνεια (SLA) για κάθε μαρούλι μέσω του τύπου $SLA = \frac{\text{δείκτης φυλλικής επιφάνειας LAI (cm}^2\text{)}}{\frac{\% \text{ ποσοστό ξηρής ουσίας}}{1000}}$. Τελικά βάσει της κατανάλωσης αρδευτικού νερού ανά στρέμμα και των υπολογισμένων αποδόσεων σε νωπό βάρος φυτών ανά στρέμμα μέσω του τύπου απόδοση = νωπό βάρος φυτών σε kg * $\frac{\text{πυκνότητα φύτευσης}}{\text{στρέμμα}}$, πραγματοποιήθηκε ο υπολογισμός της αποτελεσματικότητας χρήσης νερού (WUE) για κάθε μαρούλι με τη χρήση του τύπου $WUE = \frac{\text{απόδοση σε νωπό βάρος φυτών (kg/στρέμμα)}}{\text{κατανάλωση αρδευτικού νερού (m}^3\text{/στρέμμα)}}$
 $= \frac{\text{απόδοση σε νωπό βάρος φυτών (kg)}}{\text{κατανάλωση αρδευτικού νερού (m}^3\text{)}}$.

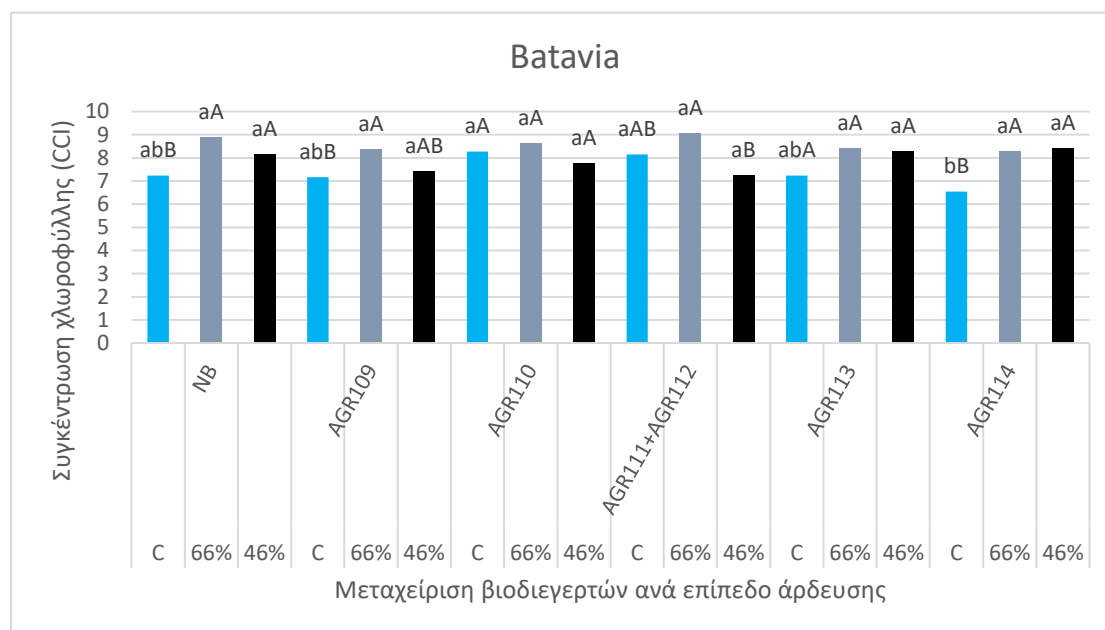
2.2.11. Στατιστική ανάλυση

Την ολοκλήρωση της διαδικασίας λήψης μετρήσεων και υπολογισμών ακολούθησε ο υπολογισμός των μέσων όρων όλων των αριθμητικών δεδομένων κάθε παραμέτρου για κάθε συνδυαστική εφαρμογή επιπέδων άρδευσης και βιοδιεγερτών μέσω του προγράμματος λογιστικών φύλλων Microsoft Excel 2013 και η εισαγωγή τους στο στατιστικό λογισμικό SPSS με σκοπό τη στατιστική τους ανάλυση για την εξαγωγή των αποτελεσμάτων.

Κεφάλαιο 3^ο: Αποτελέσματα

Στα επόμενα υποκεφάλαια παρουσιάζονται οι μέσοι όροι και τα αποτελέσματα της στατιστικής ανάλυσης τιμών σχετικών με τις τρεις μετρήσεις του δείκτη SPAD, του ύψους, του νωπού βάρους φυτών, του νωπού βάρους φύλλων, του αριθμού φύλλων, του δείκτη LAI, του ποσοστού % ξηρής ουσίας, του SLA και της αποτελεσματικότητας χρήσης νερού WUE για τις δυο ποικιλίες τύπων Batavia και Romaine αντίστοιχα. Οι μέσοι όροι αυτοί για κάθε επίπεδο άρδευσης, μεταχείριση βιοδιεγερτών και ποικιλία μαρουλιών, όπως και τα αποτελέσματα της στατιστικής ανάλυσής τους παρουσιάζονται μέσω γραφημάτων, ξεχωριστών για κάθε ποικιλία, που καταρτίστηκαν μέσω του Microsoft Excel 2013 αλλά και μέσω πινάκων οι οποίοι βρίσκονται στα Παραρτήματα στο Κεφάλαιο 7^ο. Στη στατιστική ανάλυση μέσω του SPSS ορίστηκε επίπεδο σημαντικότητας $p=0,05$ ενώ οι διαφορετικοί λατινικοί χαρακτήρες υποδηλώνουν ότι οι μέσοι όροι διαφέρουν στατιστικά σημαντικά μεταξύ τους και ίδιοι λατινικοί χαρακτήρες υποδηλώνουν ότι οι μέσοι όροι δε διαφέρουν στατιστικά σημαντικά μεταξύ τους.

3.1. Αποτελέσματα πρώτης, δεύτερης και τρίτης μέτρησης της συγκέντρωσης χλωροφύλλης (δείκτη SPAD)

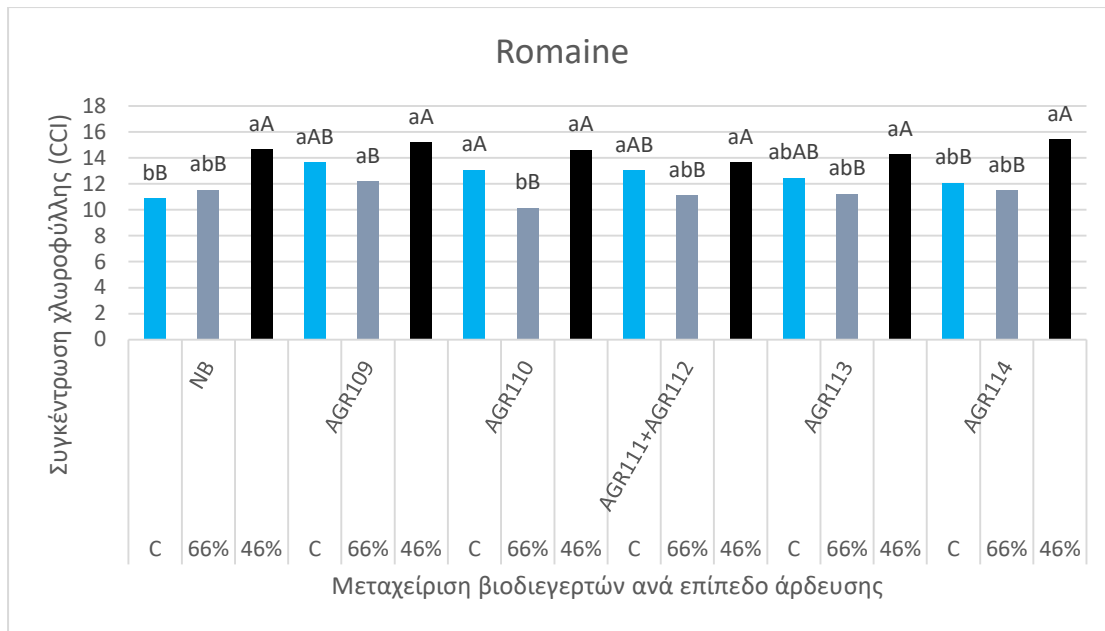


Γράφημα 3.1: Μέσοι όροι και σημαντικότητα στατιστικών διαφορών μέσω όρων της πρώτης μέτρησης δείκτη SPAD (σε CCI) ανά επίπεδο άρδευσης και μεταχείριση βιοδιεγέρτη για τον τύπο Batavia. Τα κεφαλαία γράμματα αφορούν στη σύγκριση των μέσων των διαφορετικών επιπέδων άρδευσης για κάθε βιοδιεγέρτη, ενώ τα μικρά γράμματα αφορούν στη σύγκριση των μέσων των διαφορετικών βιοδιεγερτών

για κάθε επίπεδο άρδευσης. Και στις δυο περιπτώσεις η σύγκριση των μέσων έγινε με βάση το κριτήριο Tukey HSD test ($p=0.05$).

Σύμφωνα με το Γράφημα 3.1, σχετικά με τη σύγκριση των μεταχειρίσεων με βιοδιεγέρτες για κάθε επίπεδο άρδευσης, αναφορικά με το επίπεδο άρδευσης 100% (πλήρης ή κανονική, C) οι μέσοι όροι τιμών των μεταχειρίσεων με AGR110 και με AGR111+AGR112 ήταν οι υψηλότεροι, δε διέφεραν στατιστικά σημαντικά μεταξύ τους αλλά διέφεραν στατιστικά σημαντικά από το μέσο όρο τιμών της μεταχείρισης με AGR114. Οι μέσοι όροι των υπόλοιπων μεταχειρίσεων δε διέφεραν στατιστικά σημαντικά μεταξύ τους αλλά και ούτε με τους παραπάνω τρεις. Στο επίπεδο μέσης άρδευσης (66%), όλοι οι μέσοι όροι από όλες τις μεταχειρίσεις δε διέφεραν στατιστικά σημαντικά μεταξύ τους όπως παρομοίως συνέβη και στο επίπεδο ελάχιστης άρδευσης (46%). Ωστόσο, οι υψηλότερες τιμές παρατηρήθηκαν για τις μεταχειρίσεις AGR111+112 και AGR114, για τα επίπεδα άρδευσης 66% και 46% αντίστοιχα, ενώ οι χαμηλότερες τιμές για τις μεταχειρίσεις AGR109, AGR114 (επίπεδο άρδευσης 66%) και AGR111+AGR112 (επίπεδο άρδευσης 46%).

Για τη σύγκριση των επιπέδων άρδευσης για κάθε βιοδιεγέρτη, στις περισσότερες περιπτώσεις τα επίπεδα 66% και 46% δε διέφεραν σημαντικά μεταξύ τους, με εξαίρεση τις μεταχειρίσεις AGR110 και AGR113 όπου δεν παρατηρήθηκαν διαφορές μεταξύ των επιπέδων άρδευσης. Επίσης οι χαμηλότερες τιμές παρατηρήθηκαν στην άρδευση 100% για τις μεταχειρίσεις NB και AGR114, ενώ δεν παρατηρήθηκαν σημαντικές διαφορές μεταξύ του επιπέδου 100% και του επιπέδου 46% για τις μεταχειρίσεις AGR109 και AGR111+AGR112.

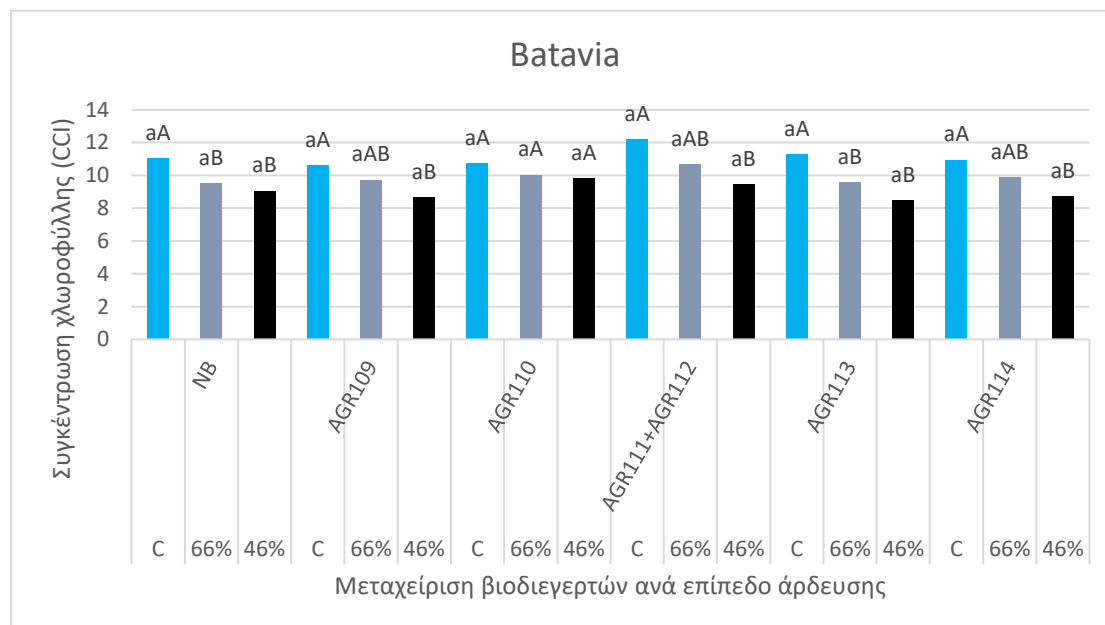


Γράφημα 3.2: Μέσοι όροι και σημαντικότητα στατιστικών διαφορών μέσω των όρων ληφθέντων τιμών της πρώτης μέτρησης δείκτη SPAD (σε CCI) ανά επίπεδο άρδευσης και μεταχείριση βιοδιεγέρτη για τον τύπο Romaine. Τα κεφαλαία γράμματα αφορούν στη σύγκριση των μέσων των διαφορετικών επιπέδων άρδευσης για κάθε βιοδιεγέρτη, ενώ τα μικρά γράμματα αφορούν στη σύγκριση των μέσων των διαφορετικών βιοδιεγερτών για κάθε επίπεδο άρδευσης. Και στις δυο περιπτώσεις η σύγκριση των μέσων έγινε με βάση το κριτήριο Tukey HSD test ($p=0.05$).

Σύμφωνα με το Γράφημα 3.2, σχετικά με τη σύγκριση των μεταχειρίσεων με βιοδιεγέρτες για κάθε επίπεδο άρδευσης, στο επίπεδο άρδευσης 100% οι μέσοι όροι των μεταχειρίσεων με AGR109, AGR110 και AGR111+AGR112 ήταν οι υψηλότεροι, δε διέφεραν μεταξύ τους στατιστικά σημαντικά αλλά διέφεραν από το μέσο όρο της μεταχείρισης NB, ενώ οι μέσοι όροι των υπόλοιπων μεταχειρίσεων δε διέφεραν στατιστικά σημαντικά μεταξύ τους αλλά και ούτε με τους υπολοίπους μέσους όρους. Αναφορικά με το επίπεδο άρδευσης 66%, ο μέσος όρος της μεταχείρισης με AGR109 ήταν ο υψηλότερος και διέφερε στατιστικά σημαντικά με το μέσο όρο της μεταχείρισης με AGR110, ενώ οι υπόλοιποι μέσοι όροι δε διέφεραν στατιστικά σημαντικά μεταξύ τους αλλά ούτε και με τους δυο παραπάνω μέσους όρους. Ακόμη αναφορικά με το επίπεδο άρδευσης 46% οι μέσοι όροι όλων των μεταχειρίσεων δε διέφεραν στατιστικά σημαντικά μεταξύ τους, με υψηλότερο και χαμηλότερο ωστόσο για τις μεταχειρίσεις AGR114 και AGR111+AGR112 αντίστοιχα.

Για τη σύγκριση των επιπέδων άρδευσης για κάθε βιοδιεγέρτη, στις περισσότερες περιπτώσεις τα επίπεδα 100% και 66% δε διέφεραν σημαντικά μεταξύ τους. Οι υψηλότερες τιμές παρατηρήθηκαν στην άρδευση 46% στις μεταχειρίσεις NB, AGR114 και στην AGR110 (στην οποία αμέσως υψηλότερη τιμή ήταν και αυτή της άρδευσης

με 100% από την οποία δε διέφερε σημαντικά), ενώ δεν παρατηρήθηκαν σημαντικές διαφορές μεταξύ των επιπέδων άρδευσης 100% και 46% για τις υπόλοιπες μεταχειρίσεις.

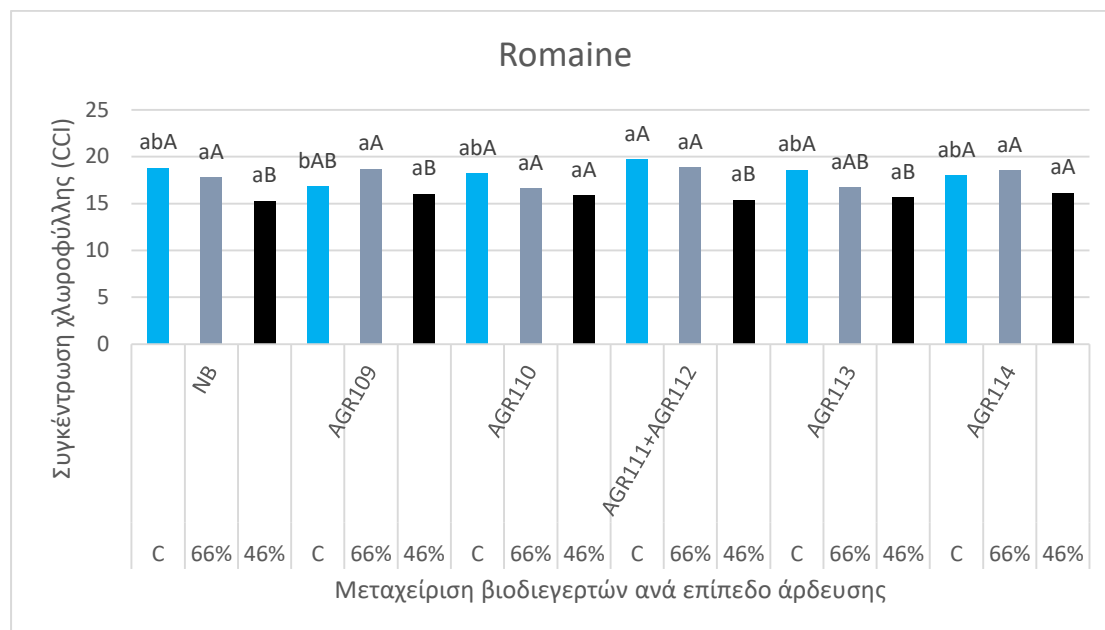


Γράφημα 3.3: Μέσοι όροι και σημαντικότητα στατιστικών διαφορών μέσω όρων ληφθέντων τιμών της δεύτερης μέτρησης δείκτη SPAD (σε CCI) ανά επίπεδο άρδευσης και μεταχείριση βιοδιεγέρτη για τον τύπο Batavia. Τα κεφαλαία γράμματα αφορούν στη σύγκριση των μέσων των διαφορετικών επιπέδων άρδευσης για κάθε βιοδιεγέρτη, ενώ τα μικρά γράμματα αφορούν στη σύγκριση των μέσων των διαφορετικών βιοδιεγερτών για κάθε επίπεδο άρδευσης. Και στις δυο περιπτώσεις η σύγκριση των μέσων έγινε με βάση το κριτήριο Tukey HSD test ($p=0.05$).

Σύμφωνα με το Γράφημα 3.3, σχετικά με τη σύγκριση των μεταχειρίσεων με βιοδιεγέρτες για κάθε επίπεδο άρδευσης, αναφορικά με τα επίπεδα άρδευσης 100%, 66% και 46% οι μέσοι όροι τιμών όλων των μεταχειρίσεων δε διέφεραν στατιστικά σημαντικά μεταξύ τους, με υψηλότερους ωστόσο μέσους όρους για τις μεταχειρίσεις AGR111+AGR112, AGR111+AGR112 και AGR110 αντίστοιχα και με χαμηλότερους μέσους όρους για τις μεταχειρίσεις AGR109 για το 100%, NB και AGR113 για το 66% και AGR113 για το 46%.

Εν συνεχεία και αναφορικά με τη σύγκριση των επιπέδων άρδευσης για κάθε βιοδιεγέρτη, σε όλες τις περιπτώσεις τα επίπεδα 66% και 46% δε διέφεραν στατιστικά σημαντικά μεταξύ τους εκτός από τη μεταχείριση AGR110 όπου δεν παρατηρήθηκαν διαφορές μεταξύ των επιπέδων άρδευσης. Επιπλέον υψηλότερες τιμές παρατηρήθηκαν στην άρδευση 100% για τις μεταχειρίσεις NB και AGR113, ενώ δεν παρατηρήθηκαν

στατιστικά σημαντικές διαφορές μεταξύ των επιπέδων άρδευσης 100% και 66% για τις μεταχειρίσεις AGR109, AGR111+AGR112 και AGR114.

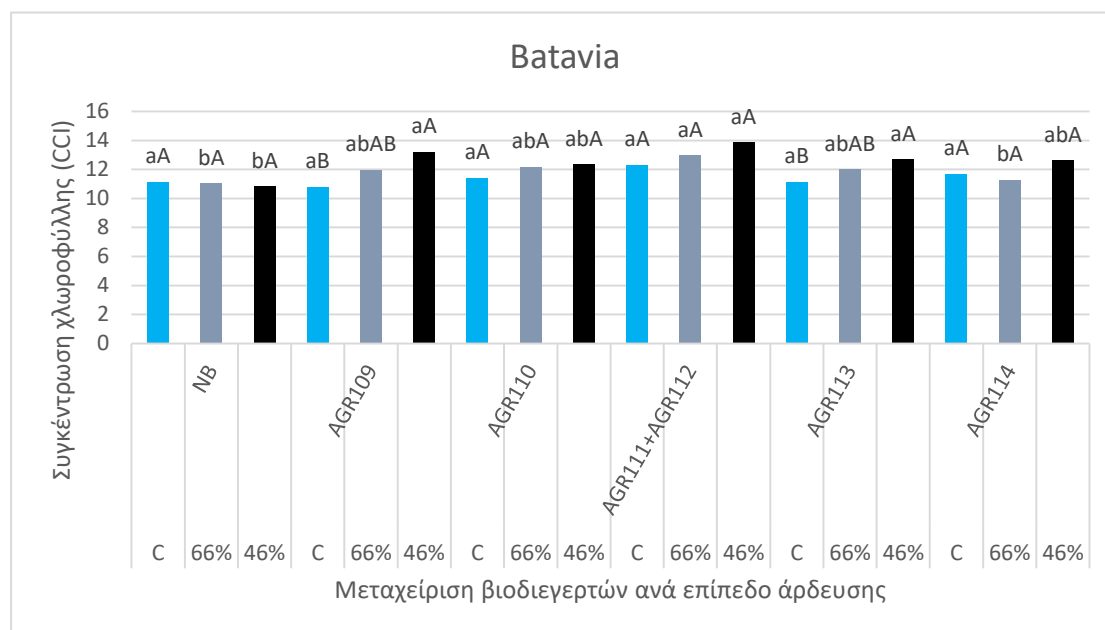


Γράφημα 3.4: Μέσοι όροι και σημαντικότητα στατιστικών διαφορών μέσω των όρων ληφθέντων τιμών της δεύτερης μέτρησης δείκτη SPAD (σε CCI) ανά επίπεδο άρδευσης και μεταχείριση βιοδιεγέρτη για τον τύπο Romaine. Τα κεφαλαία γράμματα αφορούν στη σύγκριση των μέσων των διαφορετικών επιπέδων άρδευσης για κάθε βιοδιεγέρτη, ενώ τα μικρά γράμματα αφορούν στη σύγκριση των μέσων των διαφορετικών βιοδιεγερτών για κάθε επίπεδο άρδευσης. Και στις δυο περιπτώσεις η σύγκριση των μέσων έγινε με βάση το κριτήριο Tukey HSD test ($p=0.05$).

Σύμφωνα με το Γράφημα 3.4, σχετικά με τη σύγκριση των μεταχειρίσεων με βιοδιεγέρτες για κάθε επίπεδο άρδευσης, αναφορικά με το επίπεδο άρδευσης 100% ο μέσος όρος της μεταχείρισης με AGR111+AGR112 ήταν ο υψηλότερος και διέφερε στατιστικά σημαντικά με το μέσο όρο της μεταχείρισης με AGR109 ενώ οι μέσοι όροι των υπόλοιπων μεταχειρίσεων δε διέφεραν στατιστικά σημαντικά μεταξύ τους αλλά ούτε και με τους δυο παραπάνω μέσους όρους. Επίσης αναφορικά με τα επίπεδα άρδευσης 66% και 46% οι μέσοι όροι όλων των μεταχειρίσεων δε διέφεραν στατιστικά σημαντικά μεταξύ τους, με υψηλότερες ωστόσο μέσες τιμές για τις μεταχειρίσεις AGR111+AGR112 για το 66% και AGR109 και AGR114 για το 46%.

Εν συνεχεία και σχετικά με τη σύγκριση των επιπέδων άρδευσης για κάθε βιοδιεγέρτη σε όλες τις περιπτώσεις δε διέφεραν στατιστικά σημαντικά τα επίπεδα άρδευσης 100% και 66%, εκτός από τις μεταχειρίσεις AGR110 και AGR114 όπου δεν παρατηρήθηκαν διαφορές μεταξύ των επιπέδων. Παράλληλα, χαμηλότερες τιμές παρατηρήθηκαν στην άρδευση 46% για τις μεταχειρίσεις NB και AGR111+AGR112, ενώ δεν παρατηρήθηκαν στατιστικά σημαντικές διαφορές μεταξύ των επιπέδων 100%

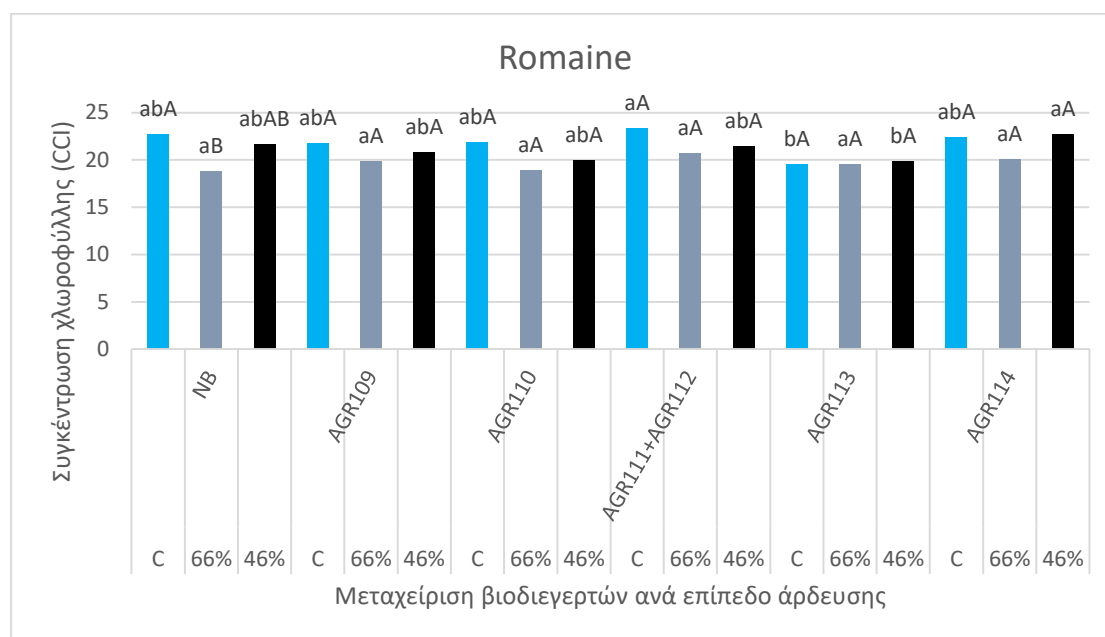
και 46% για τη μεταχείριση AGR109 και μεταξύ των επιπέδων 66% και 46% για τη μεταχείριση AGR113.



Γράφημα 3.5: Μέσοι όροι και σημαντικότητα στατιστικών διαφορών μέσω των όρων ληφθέντων τιμών της τρίτης μέτρησης δείκτη SPAD (σε CCI) ανά επίπεδο άρδευσης και μεταχείριση βιοδιεγέρτη για τον τύπο Batavia. Τα κεφαλαία γράμματα αφορούν στη σύγκριση των μέσων των διαφορετικών επιπέδων άρδευσης για κάθε βιοδιεγέρτη, ενώ τα μικρά γράμματα αφορούν στη σύγκριση των μέσων των διαφορετικών βιοδιεγέρτων για κάθε επίπεδο άρδευσης. Και στις δυο περιπτώσεις η σύγκριση των μέσων έγινε με βάση το κριτήριο Tukey HSD test ($p=0.05$).

Σύμφωνα με το Γράφημα 3.5, σχετικά με τη σύγκριση των μεταχειρίσεων με βιοδιεγέρτες για κάθε επίπεδο άρδευσης, αναφορικά με το επίπεδο άρδευσης 100% οι μέσοι όροι όλων των μεταχειρίσεων δε διέφεραν στατιστικά σημαντικά μεταξύ τους, με υψηλότερη όμως τη μέση τιμή για τη μεταχείριση AGR111+AGR112 και χαμηλότερη για τη AGR109. Έπειτα, αναφορικά με το επίπεδο άρδευσης 66% ο μέσος όρος της μεταχείρισης με AGR111+AGR112 ήταν ο υψηλότερος και διέφερε στατιστικά σημαντικά από τους μέσους όρους των μεταχειρίσεων με AGR114 και NB οι οποίοι δε διέφεραν στατιστικά σημαντικά μεταξύ τους, ενώ οι μέσοι όροι των υπόλοιπων μεταχειρίσεων δε διέφεραν στατιστικά σημαντικά μεταξύ τους αλλά και ούτε με τους τρεις παραπάνω. Ακόμη αναφορικά με το επίπεδο άρδευσης 46% οι μέσοι όροι των μεταχειρίσεων με AGR109, AGR111+AGR112 και AGR113 ήταν οι υψηλότεροι, δε διέφεραν στατιστικά σημαντικά μεταξύ τους και διέφεραν στατιστικά σημαντικά με το μέσο όρο της μεταχείρισης NB, ενώ οι μέσοι όροι των υπόλοιπων μεταχειρίσεων δε διέφεραν στατιστικά σημαντικά μεταξύ τους αλλά και ούτε με τους τέσσερις παραπάνω.

Στη συνέχεια αναφορικά με τη σύγκριση των επιπέδων άρδευσης για κάθε βιοδιεγέρτη, στις περιπτώσεις των μεταχειρίσεων με AGR109 και AGR113 δεν υπήρχαν σημαντικές διαφορές μεταξύ των επιπέδων άρδευσης 66% και 46%, ενώ στις υπόλοιπες μεταχειρίσεις δεν υπήρχαν διαφορές μεταξύ των επιπέδων. Επίσης δεν παρατηρήθηκαν στατιστικά σημαντικές διαφορές μεταξύ των επιπέδων 100% και 66% για τις μεταχειρίσεις AGR109 και AGR113.



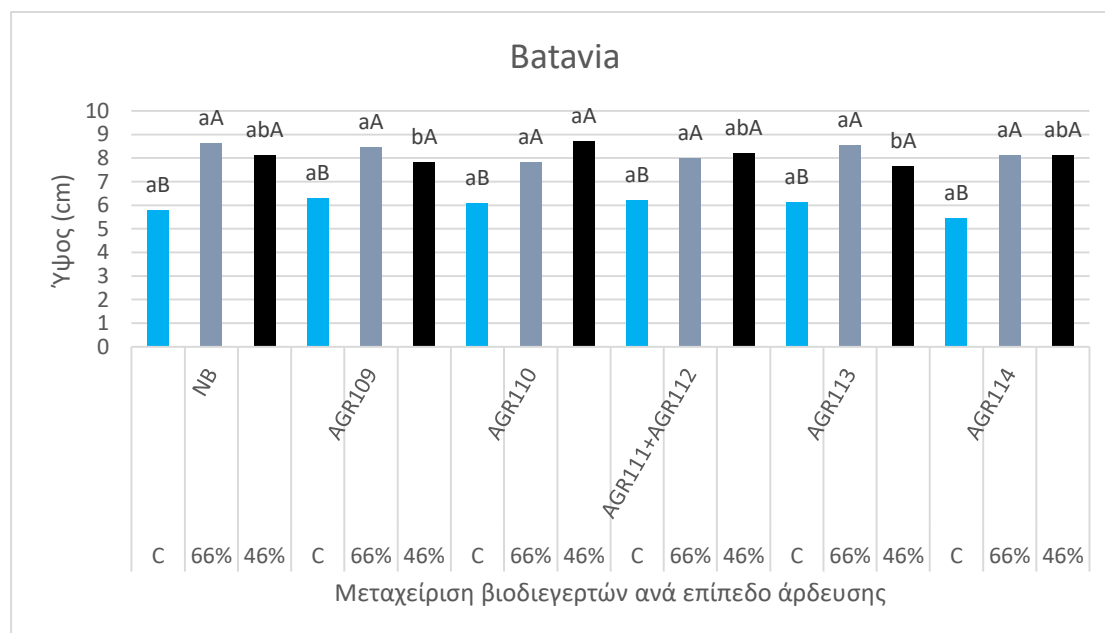
Γράφημα 3.6: Μέσοι όροι και σημαντικότητα στατιστικών διαφορών μέσω των όρων ληφθέντων τιμών της τρίτης μέτρησης δείκτη SPAD (σε CCI) ανά επίπεδο άρδευσης και μεταχείριση βιοδιεγέρτη για τον τύπο Romaine. Τα κεφαλαία γράμματα αφορούν στη σύγκριση των μέσων των διαφορετικών επιπέδων άρδευσης για κάθε βιοδιεγέρτη, ενώ τα μικρά γράμματα αφορούν στη σύγκριση των μέσων των διαφορετικών βιοδιεγερτών για κάθε επίπεδο άρδευσης. Και στις δυο περιπτώσεις η σύγκριση των μέσων έγινε με βάση το κριτήριο Tukey HSD test ($p=0.05$).

Σύμφωνα με το Γράφημα 3.6, σχετικά με τη σύγκριση των μεταχειρίσεων με βιοδιεγέρτες για κάθε επίπεδο άρδευσης, αναφορικά με το επίπεδο άρδευσης 100% ο μέσος όρος της μεταχείρισης με AGR111+AGR112 ήταν ο υψηλότερος και διέφερε στατιστικά σημαντικά από το μέσο όρο της μεταχείρισης με AGR113 ενώ οι μέσοι όροι των υπόλοιπων μεταχειρίσεων δε διέφεραν στατιστικά σημαντικά μεταξύ τους αλλά και ούτε με τους δυο παραπάνω. Αναφορικά με το επίπεδο άρδευσης 66% όλοι οι μέσοι όροι δε διέφεραν στατιστικά σημαντικά μεταξύ τους, με υψηλότερο μέσο όρο ωστόσο για τη μεταχείριση AGR111+AGR112 και χαμηλότερο για τις NB και AGR110. Επίσης αναφορικά με το επίπεδο άρδευσης 46% ο μέσος όρος της μεταχείρισης με AGR114 ήταν ο υψηλότερος και διέφερε στατιστικά σημαντικά από το μέσο όρο της

μεταχείρισης με AGR113 ενώ οι υπόλοιποι μέσοι όροι δε διέφεραν στατιστικά σημαντικά μεταξύ τους αλλά και ούτε με τους δυο παραπάνω.

Ακολούθως, σχετικά με τη σύγκριση των επιπέδων άρδευσης για κάθε βιοδιεγέρτη, στη μεταχείριση NB τα επίπεδα άρδευσης 100% και 46% δεν υπήρχαν σημαντικές διαφορές ενώ στις υπόλοιπες μεταχειρίσεις δεν υπήρχαν διαφορές μεταξύ των επιπέδων άρδευσης. Επίσης στην ίδια μεταχείριση η χαμηλότερη τιμή παρατηρήθηκε στην άρδευση 66% και τα επίπεδα άρδευσης 66% και 46% δε διέφεραν στατιστικά σημαντικά μεταξύ τους.

3.2. Αποτελέσματα πρώτης, δεύτερης και τρίτης μέτρησης του ύψους φυτών

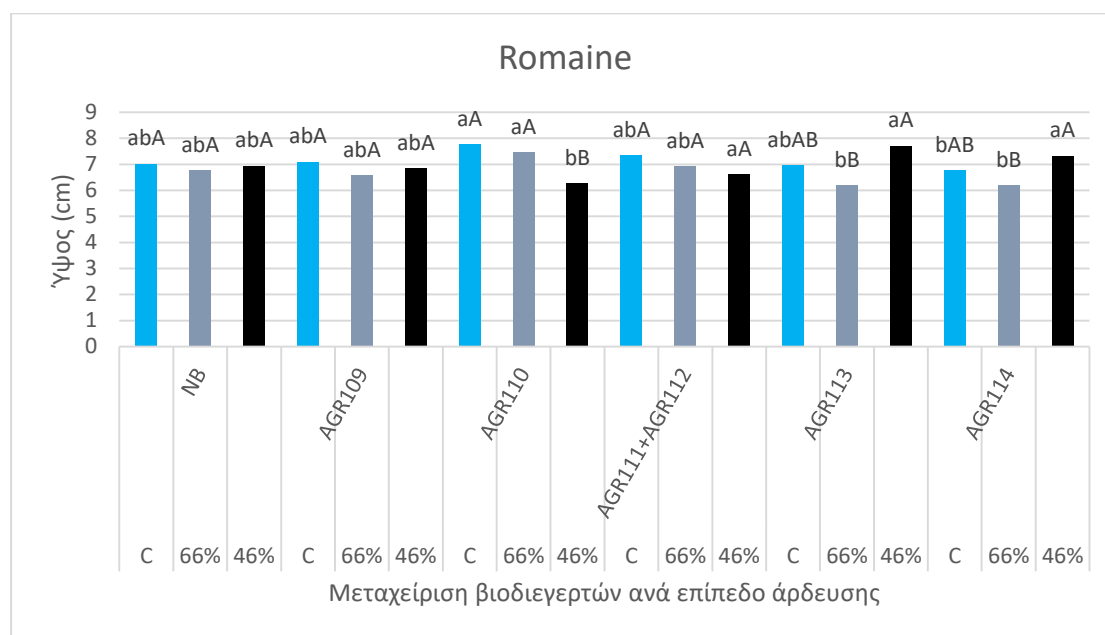


Γράφημα 3.7: Μέσοι όροι και σημαντικότητα στατιστικών διαφορών μέσω όρων ληφθέντων τιμών της πρώτης μέτρησης υψών (σε cm) ανά επίπεδο άρδευσης και μεταχείριση βιοδιεγέρτη για τον τύπο Batavia. Τα κεφαλαία γράμματα αφορούν στη σύγκριση των μέσων των διαφορετικών επιπέδων άρδευσης για κάθε βιοδιεγέρτη, ενώ τα μικρά γράμματα αφορούν στη σύγκριση των μέσων των διαφορετικών βιοδιεγερτών για κάθε επίπεδο άρδευσης. Και στις δυο περιπτώσεις η σύγκριση των μέσων έγινε με βάση το κριτήριο Tukey HSD test ($p=0.05$).

Σύμφωνα με το Γράφημα 3.7, σχετικά με τη σύγκριση των μεταχειρίσεων με βιοδιεγέρτες για κάθε επίπεδο άρδευσης, αναφορικά με τα επίπεδα άρδευσης 100% και 66% οι μέσοι όροι όλων των μεταχειρίσεων δε διέφεραν στατιστικά σημαντικά μεταξύ τους, με υψηλότερους ωστόσο μέσους όρους για τις μεταχειρίσεις AGR109 (100%) και NB και AGR113 (66%) και χαμηλότερους για τις μεταχειρίσεις AGR114 (100%) και AGR110 και AGR111+AGR112 (66%). Αναφορικά με το επίπεδο άρδευσης 46% ο

μέσος όρος της μεταχείρισης με AGR110 ήταν ο υψηλότερος και διέφερε στατιστικά σημαντικά από τους μέσους όρους των μεταχειρίσεων με AGR109 και AGR113 οι οποίοι δε διέφεραν στατιστικά σημαντικά μεταξύ τους. Οι μέσοι όροι των υπόλοιπων μεταχειρίσεων δε διέφεραν στατιστικά σημαντικά μεταξύ τους αλλά και ούτε με τους τρεις παραπάνω.

Αναφορικά με τη σύγκριση των επιπέδων άρδευσης για κάθε βιοδιεγέρτη τα επίπεδα 66% και 46% σε όλες τις περιπτώσεις δε διέφεραν στατιστικά σημαντικά μεταξύ τους, όπως επίσης και σε όλες τις περιπτώσεις χαμηλότερες τιμές παρατηρήθηκαν στην άρδευση 100%.

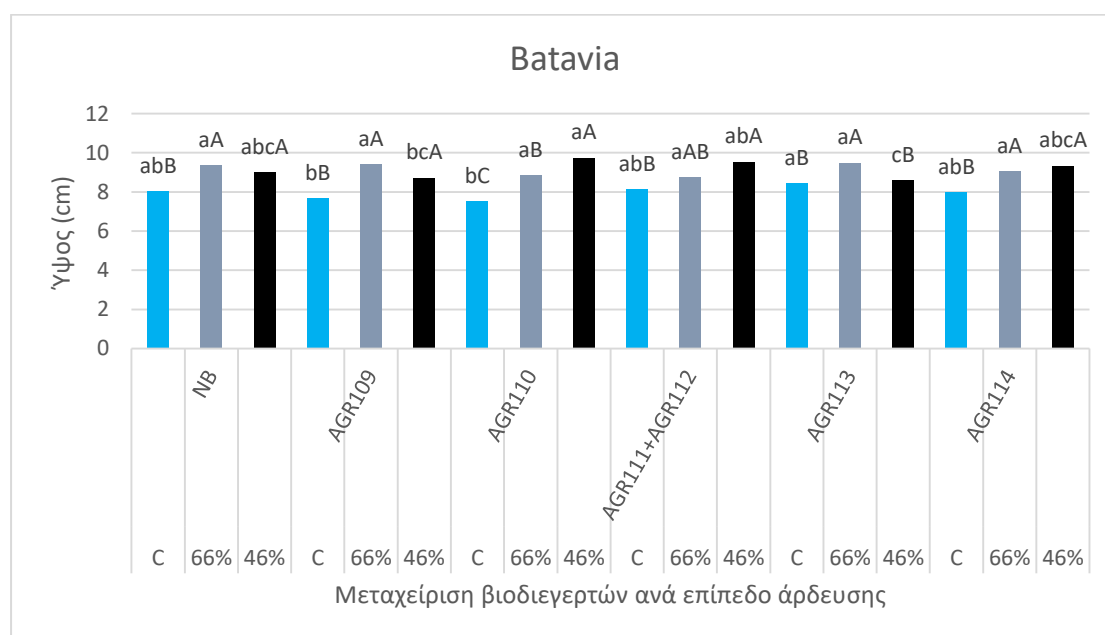


Γράφημα 3.8: Μέσοι όροι και σημαντικότητα στατιστικών διαφορών μέσων όρων ληφθέντων τιμών της πρώτης μέτρησης υψών (σε cm) ανά επίπεδο άρδευσης και μεταχείριση βιοδιεγέρτη για τον τύπο Romaine. Τα κεφαλαία γράμματα αφορούν στη σύγκριση των μέσων των διαφορετικών επιπέδων άρδευσης για κάθε βιοδιεγέρτη, ενώ τα μικρά γράμματα αφορούν στη σύγκριση των μέσων των διαφορετικών βιοδιεγερτών για κάθε επίπεδο άρδευσης. Και στις δυο περιπτώσεις η σύγκριση των μέσων έγινε με βάση το κριτήριο Tukey HSD test ($p=0.05$).

Σύμφωνα με το Γράφημα 3.8, σχετικά με τη σύγκριση των μεταχειρίσεων με βιοδιεγέρτες για κάθε επίπεδο άρδευσης, αναφορικά με το επίπεδο άρδευσης 100% ο μέσος όρος της μεταχείρισης με AGR110 ήταν ο υψηλότερος και διέφερε στατιστικά σημαντικά από το μέσο όρο της μεταχείρισης με AGR114, ενώ οι υπόλοιποι μέσοι όροι δε διέφεραν στατιστικά σημαντικά μεταξύ τους αλλά και με τους δυο προαναφερθέντες μέσους όρους. Έπειτα αναφορικά με το επίπεδο άρδευσης 66% ο μέσος όρος της μεταχείρισης με AGR110 ήταν ο υψηλότερος και διέφερε στατιστικά σημαντικά από τους μέσους όρους των μεταχειρίσεων με AGR113 και AGR114 οι οποίοι δε διέφεραν

στατιστικά σημαντικά μεταξύ τους, ενώ οι υπόλοιποι μέσοι όροι δε διέφεραν στατιστικά σημαντικά μεταξύ τους αλλά και ούτε με τους τρεις προαναφερθέντες μέσους όρους. Ακόμη αναφορικά με το επίπεδο άρδευσης 46% οι μέσοι όροι των μεταχειρίσεων με AGR111+AGR112, AGR113 και AGR114 ήταν οι υψηλότεροι, δε διέφεραν στατιστικά σημαντικά μεταξύ τους αλλά διέφεραν από το μέσο όρο της μεταχείρισης με AGR110, ενώ οι υπόλοιποι μέσοι όροι δε διέφεραν στατιστικά σημαντικά μεταξύ τους αλλά και ούτε με τους τέσσερις προαναφερθέντες μέσους όρους.

Στη συνέχεια αναφορικά με τη σύγκριση των επιπέδων άρδευσης για κάθε βιοδιεγέρτη σε όλες τις περιπτώσεις τα επίπεδα άρδευσης 100% και 66% δε διέφεραν σημαντικά με εξαίρεση τις μεταχειρίσεις NB, AGR109 και AGR111+AGR112 όπου δεν παρατηρήθηκαν διαφορές μεταξύ των επιπέδων άρδευσης. Επιπλέον χαμηλότερες τιμές παρατηρήθηκαν στην άρδευση 46% για τη μεταχείριση AGR110 και δεν παρατηρήθηκαν σημαντικές διαφορές μεταξύ των επιπέδων άρδευσης 66% και 46% για τις μεταχειρίσεις AGR113 και AGR114.

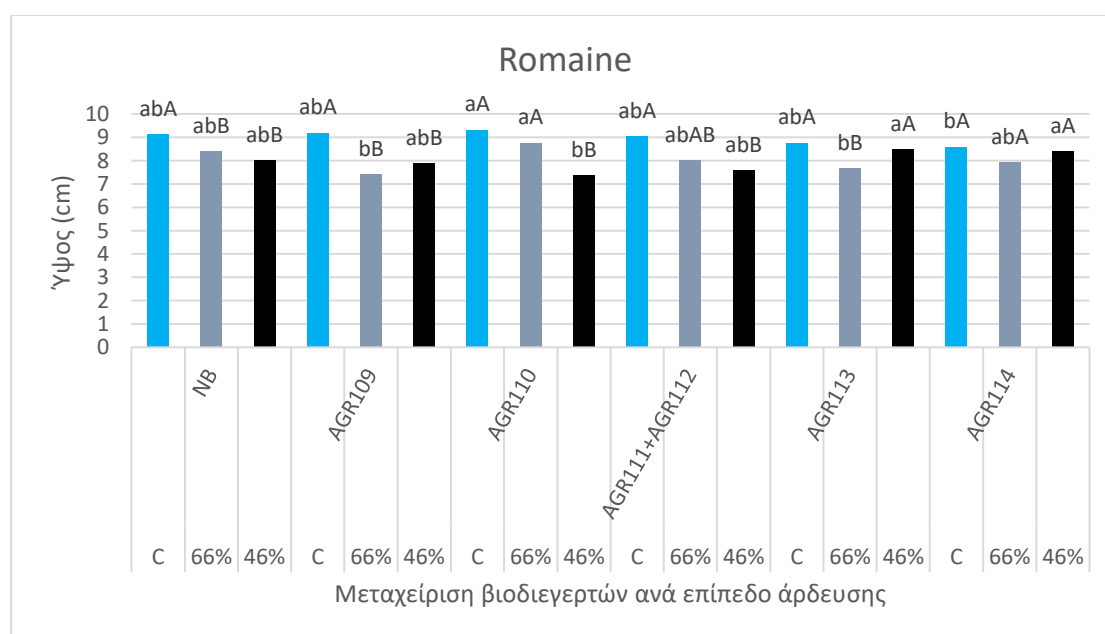


Γράφημα 3.9: Μέσοι όροι και σημαντικότητα στατιστικών διαφορών μέσων όρων ληφθέντων τιμών της δεύτερης μέτρησης υψών (σε cm) ανά επίπεδο άρδευσης και μεταχείριση βιοδιεγέρτη για τον τύπο Batavia. Τα κεφαλαία γράμματα αφορούν στη σύγκριση των μέσων των διαφορετικών επιπέδων άρδευσης για κάθε βιοδιεγέρτη, ενώ τα μικρά γράμματα αφορούν στη σύγκριση των μέσων των διαφορετικών βιοδιεγερτών για κάθε επίπεδο άρδευσης. Και στις δυο περιπτώσεις η σύγκριση των μέσων έγινε με βάση το κριτήριο Tukey HSD test ($p=0.05$).

Σύμφωνα με το Γράφημα 3.9, σχετικά με τη σύγκριση των μεταχειρίσεων με βιοδιεγέρτες για κάθε επίπεδο άρδευσης, αναφορικά με το επίπεδο άρδευσης 100% ο

μέσος όρος της μεταχείρισης με AGR113 ήταν ο υψηλότερος και διέφερε στατιστικά σημαντικά με τους μέσους όρους των μεταχειρίσεων με AGR109 και AGR110 οι οποίοι δε διέφεραν στατιστικά σημαντικά μεταξύ τους, ενώ οι μέσοι όροι των υπόλοιπων μεταχειρίσεων δε διέφεραν στατιστικά σημαντικά μεταξύ τους αλλά και ούτε με τους άλλους τρεις. Ακόμη αναφορικά με το επίπεδο άρδευσης 66% οι μέσοι όροι όλων των μεταχειρίσεων δε διέφεραν στατιστικά σημαντικά μεταξύ τους, με υψηλότερες ωστόσο μέσες τιμές για τις μεταχειρίσεις NB, AGR109 και AGR113 και χαμηλότερες για τις μεταχειρίσεις AGR110 και AGR111+AGR112. Αναφορικά με το επίπεδο άρδευσης 46% οι μέσοι όροι των μεταχειρίσεων με AGR110 και με AGR111+AGR112 ήταν οι υψηλότεροι, δε διέφεραν στατιστικά σημαντικά μεταξύ τους ενώ διέφεραν στατιστικά σημαντικά με τους μέσους όρους των μεταχειρίσεων με AGR109 και AGR113. Οι μέσες τιμές των μεταχειρίσεων NB και με AGR114 δε διέφεραν στατιστικά σημαντικά μεταξύ τους ούτε και με τους μέσους όρους των μεταχειρίσεων με AGR111+AGR112, με AGR109 και με AGR113.

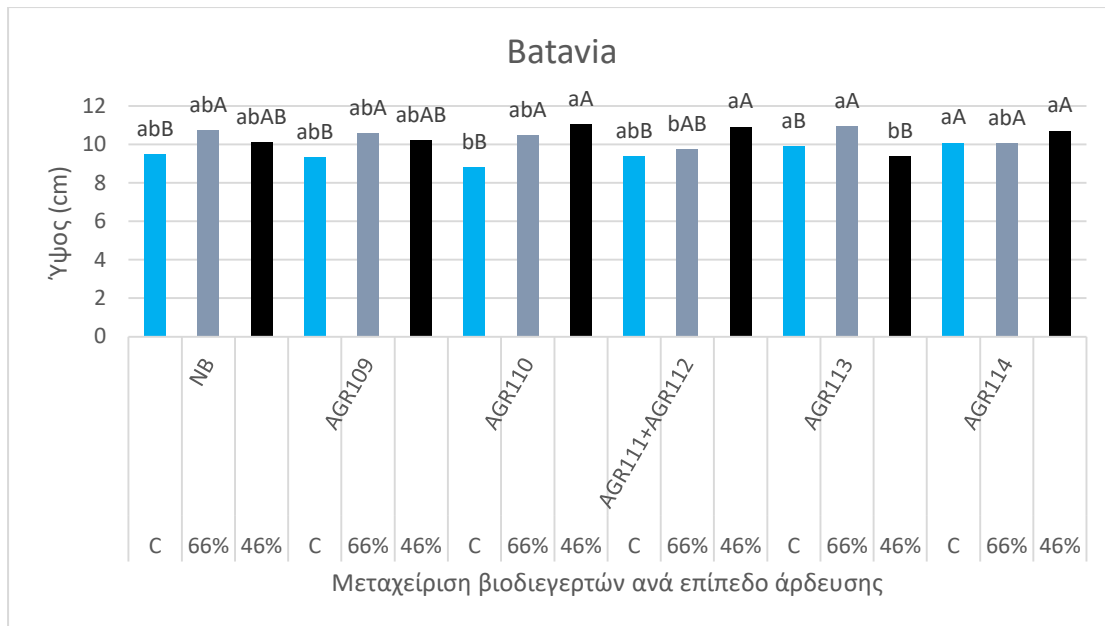
Αναφορικά με τη σύγκριση των επιπέδων άρδευσης για κάθε βιοδιεγέρτη στις περισσότερες περιπτώσεις διέφεραν στατιστικά σημαντικά τα επίπεδα άρδευσης 66% και 46%. Χαμηλότερες τιμές παρουσιάστηκαν στο επίπεδο άρδευσης 100% για τις μεταχειρίσεις NB, AGR109, AGR110, AGR114 και AGR113 (στην οποία παρουσιάστηκαν εξίσου και στο επίπεδο 46% με τις οποίες δε διέφεραν), ενώ στα επίπεδα άρδευσης 100% και 66% δεν παρατηρήθηκαν σημαντικές διαφορές για τη μεταχείριση AGR111+AGR112.



Γράφημα 3.10: Μέσοι όροι και σημαντικότητα στατιστικών διαφορών μέσω όρων ληφθέντων τιμών της δεύτερης μέτρησης υψών (σε cm) ανά επίπεδο άρδευσης και μεταχείριση βιοδιεγέρτη για τον τύπο Romaine. Τα κεφαλαία γράμματα αφορούν στη σύγκριση των μέσων των διαφορετικών επιπέδων άρδευσης για κάθε βιοδιεγέρτη, ενώ τα μικρά γράμματα αφορούν στη σύγκριση των μέσων των διαφορετικών βιοδιεγερτών για κάθε επίπεδο άρδευσης. Και στις δυο περιπτώσεις η σύγκριση των μέσων έγινε με βάση το κριτήριο Tukey HSD test ($p=0.05$).

Σύμφωνα με το Γράφημα 3.10, σχετικά με τη σύγκριση των μεταχειρίσεων με βιοδιεγέρτες για κάθε επίπεδο άρδευσης, αναφορικά με το επίπεδο άρδευσης 100% ο μέσος όρος της μεταχείρισης με AGR110 ήταν ο υψηλότερος και διέφερε στατιστικά σημαντικά από το μέσο όρο της μεταχείρισης με AGR114 οι οποίοι δε διέφεραν στατιστικά σημαντικά μεταξύ τους, ενώ οι υπόλοιποι μέσοι όροι δε διέφεραν στατιστικά σημαντικά μεταξύ τους αλλά και ούτε με τους τρεις προαναφερθέντες μέσους όρους. Αναφορικά με το επίπεδο άρδευσης 66% ο μέσος όρος της μεταχείρισης με AGR110 ήταν ο υψηλότερος και διέφερε στατιστικά σημαντικά από τους μέσους όρους των μεταχειρίσεων με AGR109 και AGR113 οι οποίοι δε διέφεραν στατιστικά σημαντικά μεταξύ τους, ενώ οι υπόλοιποι μέσοι όροι δε διέφεραν στατιστικά σημαντικά μεταξύ τους αλλά και ούτε με τους τρεις προαναφερθέντες μέσους όρους. Ακόμη αναφορικά με το επίπεδο άρδευσης 46% οι μέσοι όροι των μεταχειρίσεων με AGR113 και AGR114 ήταν οι υψηλότεροι, δε διέφεραν στατιστικά σημαντικά μεταξύ τους αλλά διέφεραν από το μέσο όρο της μεταχείρισης με AGR110, ενώ οι υπόλοιποι μέσοι όροι δε διέφεραν στατιστικά σημαντικά μεταξύ τους αλλά και ούτε με τους τρεις προαναφερθέντες μέσους όρους.

Αναφορικά με τη σύγκριση των επιπέδων άρδευσης για κάθε βιοδιεγέρτη, στις περισσότερες περιπτώσεις δε διέφεραν στατιστικά σημαντικά μεταξύ τους τα επίπεδα άρδευσης 66% και 46%, εκτός από τη μεταχείριση AGR114 όπου δεν υπήρχαν διαφορές μεταξύ των επιπέδων άρδευσης. Υψηλότερες τιμές παρατηρήθηκαν στο επίπεδο άρδευσης 100% για τις μεταχειρίσεις NB, AGR109, AGR110 (όπως και στο επίπεδο 66% με το οποίο δε διέφεραν στατιστικά σημαντικά) και AGR113 (όπως και στο επίπεδο 46% με το οποίο δε διέφεραν σημαντικά), ενώ τα επίπεδα 100% και 66% δε διέφεραν σημαντικά για τη μεταχείριση AGR111+AGR112.

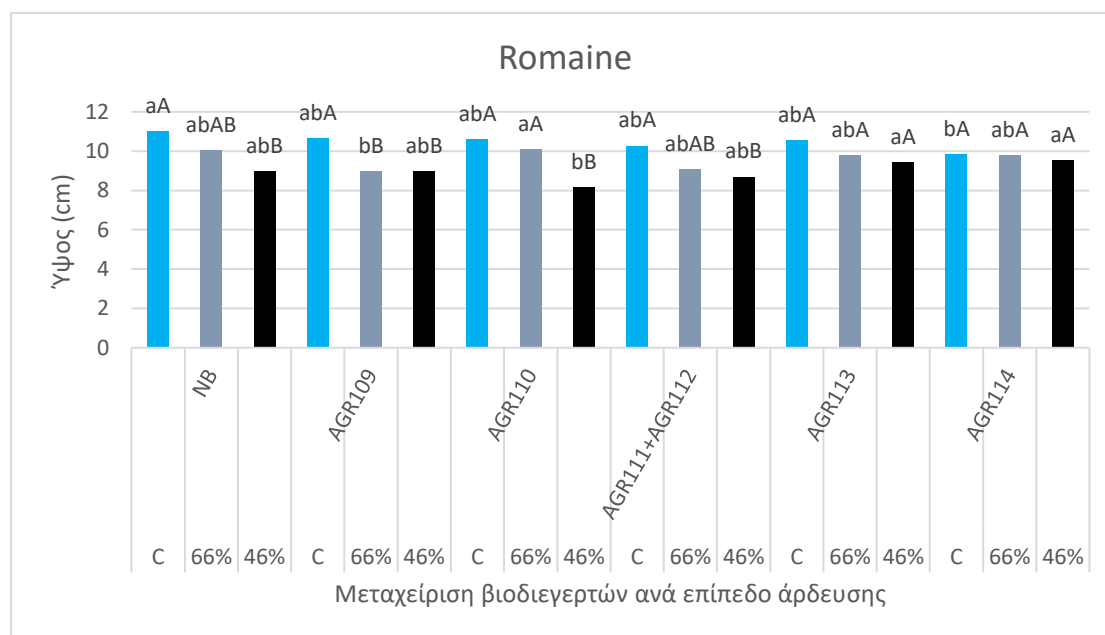


Γράφημα 3.11: Μέσοι όροι και σημαντικότητα στατιστικών διαφορών μέσω όρων ληφθέντων τιμών της τρίτης μέτρησης υψών (σε cm) ανά επίπεδο άρδευσης και μεταχείριση βιοδιεγέρτη για τον τύπο Batavia. Τα κεφαλαία γράμματα αφορούν στη σύγκριση των μέσων των διαφορετικών επιπέδων άρδευσης για κάθε βιοδιεγέρτη, ενώ τα μικρά γράμματα αφορούν στη σύγκριση των μέσων των διαφορετικών βιοδιεγερτών για κάθε επίπεδο άρδευσης. Και στις δυο περιπτώσεις η σύγκριση των μέσων έγινε με βάση το κριτήριο Tukey HSD test ($p=0.05$).

Σύμφωνα με το Γράφημα 3.11, σχετικά με τη σύγκριση των μεταχειρίσεων με βιοδιεγέρτες για κάθε επίπεδο άρδευσης, αναφορικά με το επίπεδο άρδευσης 100% οι μέσοι όροι των μεταχειρίσεων με AGR113 και AGR114 ήταν οι υψηλότεροι, δε διέφεραν στατιστικά σημαντικά μεταξύ τους αλλά διέφεραν με το μέσο όρο της μεταχείρισης με AGR110, ενώ οι υπόλοιποι μέσοι όροι δε διέφεραν στατιστικά σημαντικά μεταξύ τους αλλά και ούτε με τους τρεις παραπάνω. Έπειτα αναφορικά με το επίπεδο άρδευσης 66% ο μέσος όρος της μεταχείρισης με AGR113 ήταν ο υψηλότερος και διέφερε στατιστικά σημαντικά από το μέσο όρο της μεταχείρισης με AGR111+AGR112, ενώ οι υπόλοιποι μέσοι όροι δε διέφεραν στατιστικά σημαντικά μεταξύ τους αλλά και ούτε με τους δυο παραπάνω. Επίσης αναφορικά με το επίπεδο άρδευσης 46% οι μέσοι όροι των μεταχειρίσεων με AGR110, AGR111+AGR112 και AGR114 ήταν οι υψηλότεροι, δε διέφεραν στατιστικά σημαντικά μεταξύ τους αλλά διέφεραν στατιστικά σημαντικά με το μέσο όρο της μεταχείρισης με AGR113, ενώ οι υπόλοιποι μέσοι όροι δε διέφεραν στατιστικά σημαντικά μεταξύ τους αλλά ούτε και με τους τέσσερις προηγούμενους.

Αναφορικά με τη σύγκριση των επιπέδων άρδευσης για κάθε βιοδιεγέρτη, στις περισσότερες περιπτώσεις τα επίπεδα άρδευσης 66% και 46% δε διέφεραν στατιστικά

σημαντικά μεταξύ τους εκτός της μεταχείρισης AGR114 όπου δεν παρατηρήθηκαν διαφορές μεταξύ των επιπέδων άρδευσης. Παράλληλα χαμηλότερες τιμές παρατηρήθηκαν στο επίπεδο άρδευσης 100% για τις μεταχειρίσεις AGR110 και AGR113 (όπως και στο επίπεδο 46% με το οποίο δε διέφεραν σημαντικά), ενώ δεν παρατηρήθηκαν σημαντικές διαφορές μεταξύ των επιπέδων 100% και 46% για τις μεταχειρίσεις NB και AGR109 και μεταξύ των επιπέδων 100% και 66% για τη μεταχείριση AGR111+AGR112.



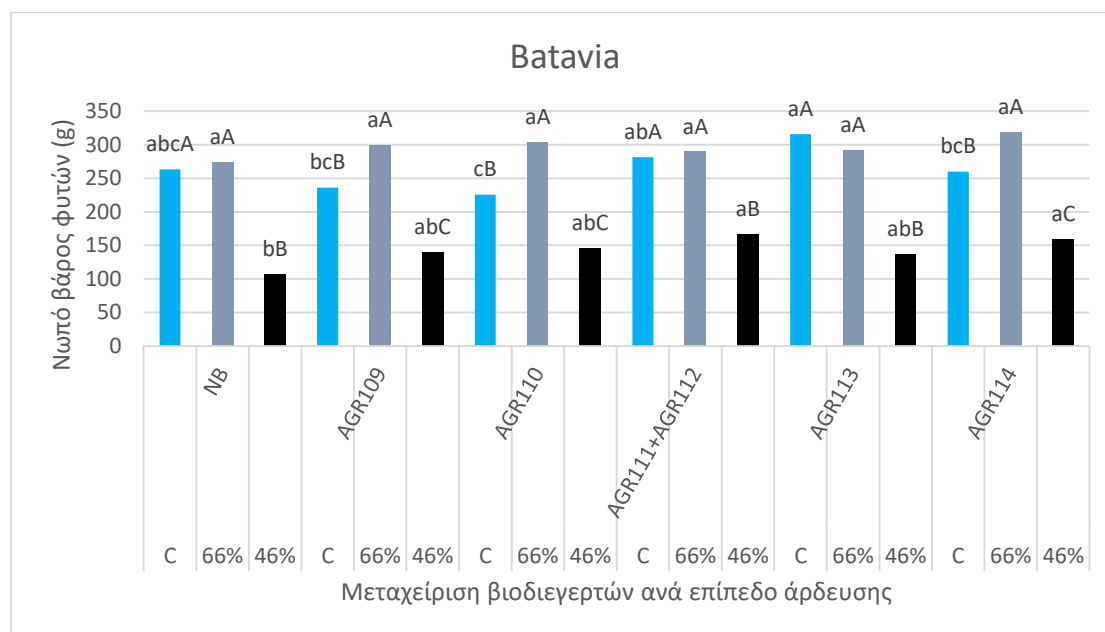
Γράφημα 3.12: Μέσοι όροι και σημαντικότητα στατιστικών διαφορών μέσω όρων ληφθέντων τιμών της τρίτης μέτρησης υψών (σε cm) ανά επίπεδο άρδευσης και μεταχείριση βιοδιεγέρτη για τον τύπο Romaine. Τα κεφαλαία γράμματα αφορούν στη σύγκριση των μέσων των διαφορετικών επιπέδων άρδευσης για κάθε βιοδιεγέρτη, ενώ τα μικρά γράμματα αφορούν στη σύγκριση των μέσων των διαφορετικών βιοδιεγερτών για κάθε επίπεδο άρδευσης. Και στις δυο περιπτώσεις η σύγκριση των μέσων έγινε με βάση το κριτήριο Tukey HSD test ($p=0.05$).

Σύμφωνα με το Γράφημα 3.12, σχετικά με τη σύγκριση των μεταχειρίσεων με βιοδιεγέρτες για κάθε επίπεδο άρδευσης, αναφορικά με το επίπεδο άρδευσης 100% ο μέσος όρος της μεταχείρισης NB ήταν ο υψηλότερος και διέφερε στατιστικά σημαντικά από το μέσο όρο της μεταχείρισης με AGR114, ενώ οι υπόλοιποι μέσοι όροι δε διέφεραν στατιστικά σημαντικά μεταξύ τους αλλά και ούτε με τους δυο παραπάνω. Αναφορικά με το επίπεδο άρδευσης 66% ο μέσος όρος της μεταχείρισης με AGR110 ήταν ο υψηλότερος και διέφερε στατιστικά σημαντικά από το μέσο όρο της μεταχείρισης με AGR109, ενώ οι υπόλοιποι μέσοι όροι δε διέφεραν στατιστικά σημαντικά μεταξύ τους αλλά και ούτε με τους δυο παραπάνω. Ακόμη αναφορικά με το επίπεδο άρδευσης 46% οι μέσοι όροι των μεταχειρίσεων με AGR113 και AGR114 ήταν

οι υψηλότεροι, δε διέφεραν στατιστικά σημαντικά μεταξύ τους αλλά διέφεραν με το μέσο όρο της μεταχείρισης με AGR110, ενώ οι υπόλοιποι μέσοι όροι δε διέφεραν στατιστικά σημαντικά μεταξύ τους αλλά και ούτε με τους τρεις παραπάνω.

Στη συνέχεια αναφορικά με τη σύγκριση των επιπέδων άρδευσης για κάθε βιοδιεγέρτη, στις περισσότερες περιπτώσεις τα επίπεδα 66% και 46% δε διέφεραν στατιστικά σημαντικά μεταξύ τους εκτός από τις μεταχειρίσεις AGR113 και AGR114 όπου δε διέφεραν μεταξύ τους όλα τα επίπεδα άρδευσης. Επίσης υψηλότερες τιμές παρατηρήθηκαν στο επίπεδο άρδευσης 100% στις μεταχειρίσεις AGR109 και AGR110 (στην οποία ήταν υψηλότερες μαζί με αυτές του επιπέδου 66% με τις οποίες δε διέφεραν σημαντικά), ενώ τα επίπεδα 100% και 66% δε διέφεραν σημαντικά για τις μεταχειρίσεις NB και AGR111+AGR112.

3.3. Αποτελέσματα μέτρησης νωπού βάρους φυτών

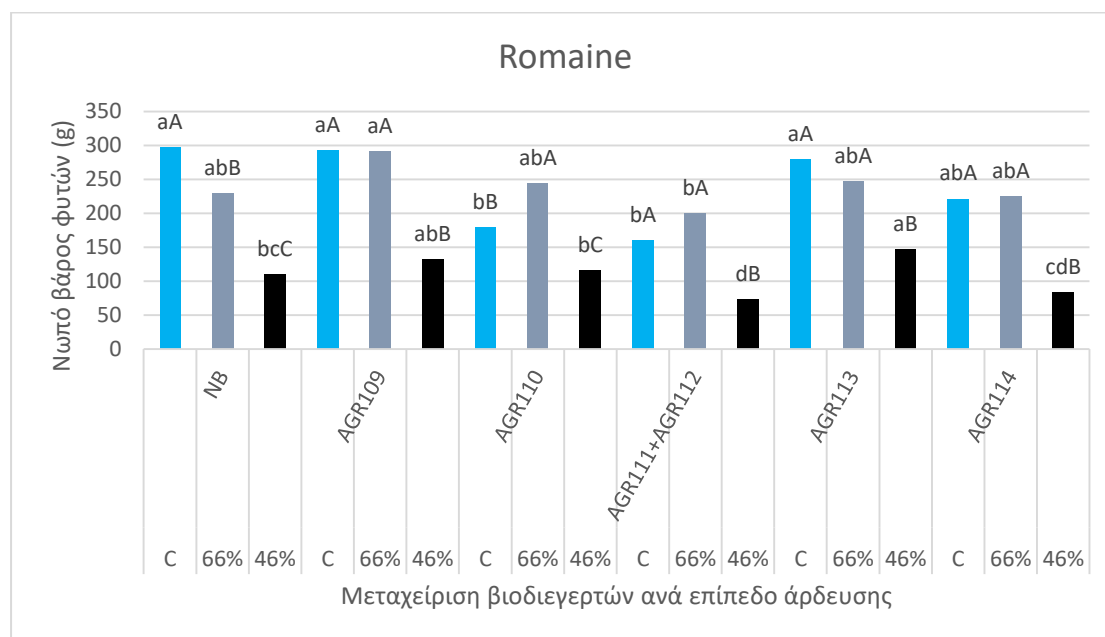


Γράφημα 3.13: Μέσοι όροι και σημαντικότητα στατιστικών διαφορών μέσω των όρων τιμών νωπού βάρους φυτών (σε g) ανά επίπεδο άρδευσης και μεταχείριση βιοδιεγέρτη για τον τύπο Batavia. Τα κεφαλαία γράμματα αφορούν στη σύγκριση των μέσων των διαφορετικών επιπέδων άρδευσης για κάθε βιοδιεγέρτη, ενώ τα μικρά γράμματα αφορούν στη σύγκριση των μέσων των διαφορετικών βιοδιεγερτών για κάθε επίπεδο άρδευσης. Και στις δυο περιπτώσεις η σύγκριση των μέσων έγινε με βάση το κριτήριο Tukey HSD test ($p=0.05$).

Σύμφωνα με το Γράφημα 3.13, σχετικά με τη σύγκριση των μεταχειρίσεων με βιοδιεγέρτες για κάθε επίπεδο άρδευσης, αναφορικά με το επίπεδο άρδευσης 100% ο μέσος όρος της μεταχείρισης με AGR113 ήταν ο υψηλότερος και διέφερε στατιστικά σημαντικά από τους μέσους όρους των μεταχειρίσεων με AGR110, AGR109 και AGR114, ενώ ο μέσος όρος της μεταχείρισης NB δε διέφερε στατιστικά σημαντικά

από όλους τους μέσους όρους και ο μέσος όρος της μεταχείρισης με AGR111+AGR112 διέφερε στατιστικά σημαντικά από το μέσο όρο της μεταχείρισης με AGR110 και από τους υπόλοιπους δε διέφερε στατιστικά σημαντικά. Έπειτα αναφορικά με το επίπεδο άρδευσης 66% οι μέσοι όροι όλων των μεταχειρίσεων δε διέφεραν στατιστικά σημαντικά μεταξύ τους, με υψηλότερο ωστόσο της μεταχείρισης AGR114 και χαμηλότερο της μεταχείρισης NB. Αναφορικά με το επίπεδο άρδευσης 46% οι μέσοι όροι των μεταχειρίσεων με AGR111+AGR112 και με AGR114 ήταν οι υψηλότεροι, δε διέφεραν στατιστικά σημαντικά μεταξύ τους και διέφεραν στατιστικά σημαντικά με το μέσο όρο της μεταχείρισης NB, ενώ οι υπόλοιποι μέσοι όροι δε διέφεραν στατιστικά σημαντικά μεταξύ τους αλλά και ούτε με τους τρεις παραπάνω.

Αναφορικά με τη σύγκριση των επιπέδων άρδευσης για κάθε βιοδιεγέρτη, στις μισές περιπτώσεις τα επίπεδα άρδευσης 100% και 66% δε διέφεραν σημαντικά μεταξύ τους, ενώ χαμηλότερες τιμές παρατηρήθηκαν στο επίπεδο άρδευσης 46% σε όλες τις μεταχειρίσεις με βιοδιεγέρτες.



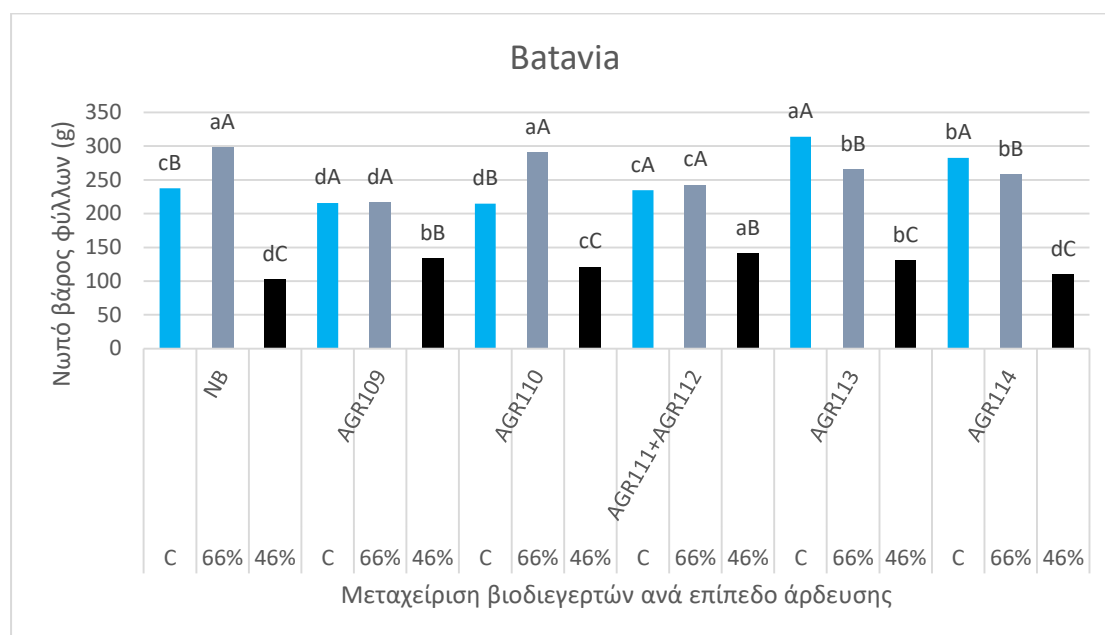
Γράφημα 3.14: Μέσοι όροι και σημαντικότητα στατιστικών διαφορών μέσω όρων τιμών νωπού βάρους φυτών (σε g) ανά επίπεδο άρδευσης και μεταχείριση βιοδιεγέρτη για τον τύπο Romaine. Τα κεφαλαία γράμματα αφορούν στη σύγκριση των μέσων των διαφορετικών επιπέδων άρδευσης για κάθε βιοδιεγέρτη, ενώ τα μικρά γράμματα αφορούν στη σύγκριση των μέσων των διαφορετικών βιοδιεγερτών για κάθε επίπεδο άρδευσης. Και στις δυο περιπτώσεις η σύγκριση των μέσων έγινε με βάση το κριτήριο Tukey HSD test (p=0.05).

Σύμφωνα με το Γράφημα 3.14, σχετικά με τη σύγκριση των μεταχειρίσεων με βιοδιεγέρτες για κάθε επίπεδο άρδευσης, αναφορικά με το επίπεδο άρδευσης 100% οι μέσοι όροι των μεταχειρίσεων με AGR109, AGR113 και NB ήταν υψηλότεροι, δε

διέφεραν στατιστικά σημαντικά μεταξύ τους αλλά διέφεραν από τους μέσους όρους των μεταχειρίσεων με AGR110 και AGR111+AGR112 οι οποίοι δε διέφεραν μεταξύ τους, ενώ ο μέσος όρος της μεταχείρισης με AGR114 δε διέφερε στατιστικά σημαντικά από τους προηγούμενους. Αναφορικά με το επίπεδο άρδευσης 66% ο μέσος όρος της μεταχείρισης με AGR109 ήταν υψηλότερος και διέφερε στατιστικά σημαντικά από το μέσο όρο της μεταχείρισης με AGR111+AGR112, ενώ οι υπόλοιποι μέσοι όροι δε διέφεραν στατιστικά σημαντικά μεταξύ τους αλλά και ούτε με τους δυο παραπάνω. Επιπλέον αναφορικά με το επίπεδο άρδευσης 46% ο μέσος όρος της μεταχείρισης με AGR113 ήταν υψηλότερος και διέφερε στατιστικά σημαντικά με τους υπολοίπους μέσους όρους πλην αυτού της μεταχείρισης με AGR109 ο οποίος επίσης δε διέφερε στατιστικά σημαντικά από τους μέσους όρους των μεταχειρίσεων με AGR110 και NB που δε διέφεραν μεταξύ τους. Ο τελευταίος δε διέφερε στατιστικά σημαντικά από το μέσο όρο της μεταχείρισης με AGR114 ο οποίος διέφερε στατιστικά σημαντικά από τους μέσους όρους των μεταχειρίσεων με AGR109, AGR110 και AGR113 και δε διέφερε από το μέσο όρο της μεταχείρισης με AGR111+AGR112 ο οποίος διέφερε στατιστικά σημαντικά από όλους τους μέσους όρους πλην αυτού της μεταχείρισης με AGR114, όπως αναφέρθηκε.

Έπειτα αναφορικά με τη σύγκριση των επιπέδων άρδευσης για κάθε βιοδιεγέρτη, στις περισσότερες περιπτώσεις τα επίπεδα 100% και 66% δε διέφεραν σημαντικά μεταξύ τους. Επιπλέον χαμηλότερες τιμές παρατηρήθηκαν στο επίπεδο άρδευσης 46% σε όλες τις μεταχειρίσεις με βιοδιεγέρτες.

3.4. Αποτελέσματα μέτρησης νωπού βάρους φύλλων ανά φυτό

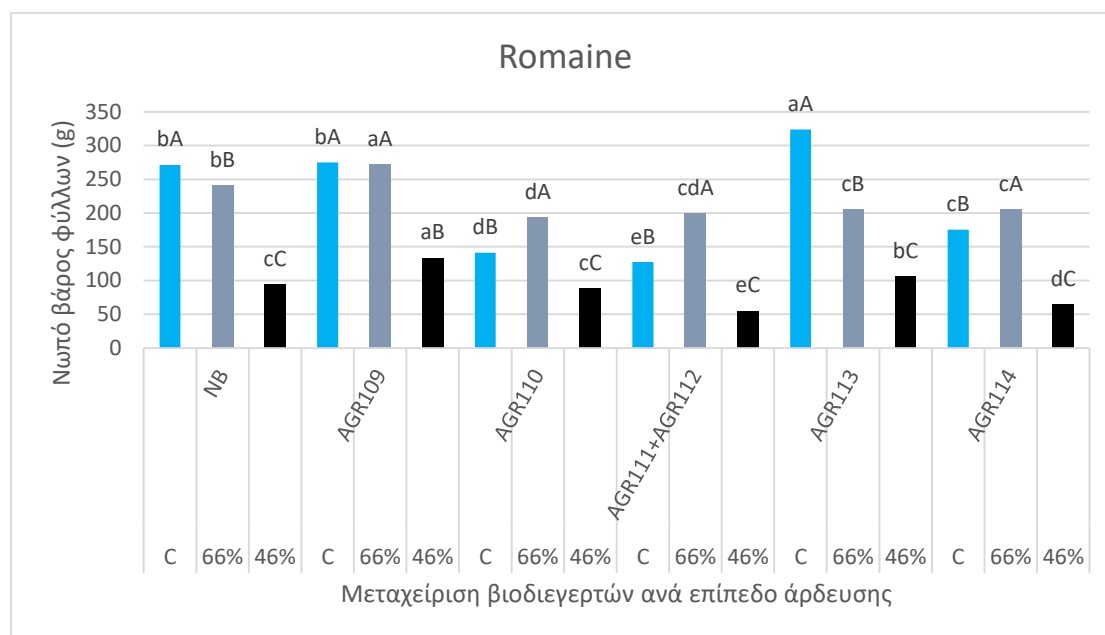


Γράφημα 3.15: Μέσοι όροι και σημαντικότητα στατιστικών διαφορών μέσω των όρων τιμών νωπού βάρους φύλλων (σε g) ανά επίπεδο άρδευσης και μεταχείριση βιοδιεγέρτη για τον τύπο Batavia. Τα κεφαλαία γράμματα αφορούν στη σύγκριση των μέσων των διαφορετικών επιπέδων άρδευσης για κάθε βιοδιεγέρτη, ενώ τα μικρά γράμματα αφορούν στη σύγκριση των μέσων των διαφορετικών βιοδιεγερτών για κάθε επίπεδο άρδευσης. Και στις δυο περιπτώσεις η σύγκριση των μέσων έγινε με βάση το κριτήριο Tukey HSD test ($p=0.05$).

Σύμφωνα με το Γράφημα 3.15, σχετικά με τη σύγκριση των μεταχειρίσεων με βιοδιεγέρτες για κάθε επίπεδο άρδευσης, αναφορικά με το επίπεδο άρδευσης 100% οι μέσοι όροι των μεταχειρίσεων διέφεραν στατιστικά σημαντικά μεταξύ τους με υψηλότερο αυτό της μεταχείρισης με AGR113, ενώ στατιστικά σημαντικά δε διέφεραν μεταξύ τους οι μέσοι όροι των μεταχειρίσεων NB και AGR111+AGR112 και οι μέσοι όροι των μεταχειρίσεων με AGR109 και AGR110. Αναφορικά με το επίπεδο άρδευσης 66% οι μέσοι όροι των μεταχειρίσεων διέφεραν στατιστικά σημαντικά εκτός από αυτούς των μεταχειρίσεων NB και AGR110 που ήταν και οι υψηλότεροι και των μεταχειρίσεων με AGR113 και με AGR114. Επίσης αναφορικά με το επίπεδο άρδευσης 46% ο υψηλότερος μέσος όρος ήταν αυτός της μεταχείρισης με AGR111+AGR112 ενώ όλοι οι μέσοι όροι διέφεραν στατιστικά σημαντικά εκτός από τους μέσους όρους των μεταχειρίσεων με AGR109 και AGR113 και από τους μέσους όρους των μεταχειρίσεων NB και AGR114.

Αναφορικά με τη σύγκριση των επιπέδων άρδευσης για κάθε βιοδιεγέρτη, τα επίπεδα άρδευσης 100% και 66% δε διέφεραν σημαντικά μεταξύ τους για τη μεταχείριση AGR109, ενώ υψηλότερες τιμές στις περισσότερες περιπτώσεις

παρατηρήθηκαν στο επίπεδο 66% και χαμηλότερες παρατηρήθηκαν στο επίπεδο 46% σε όλες τις περιπτώσεις.



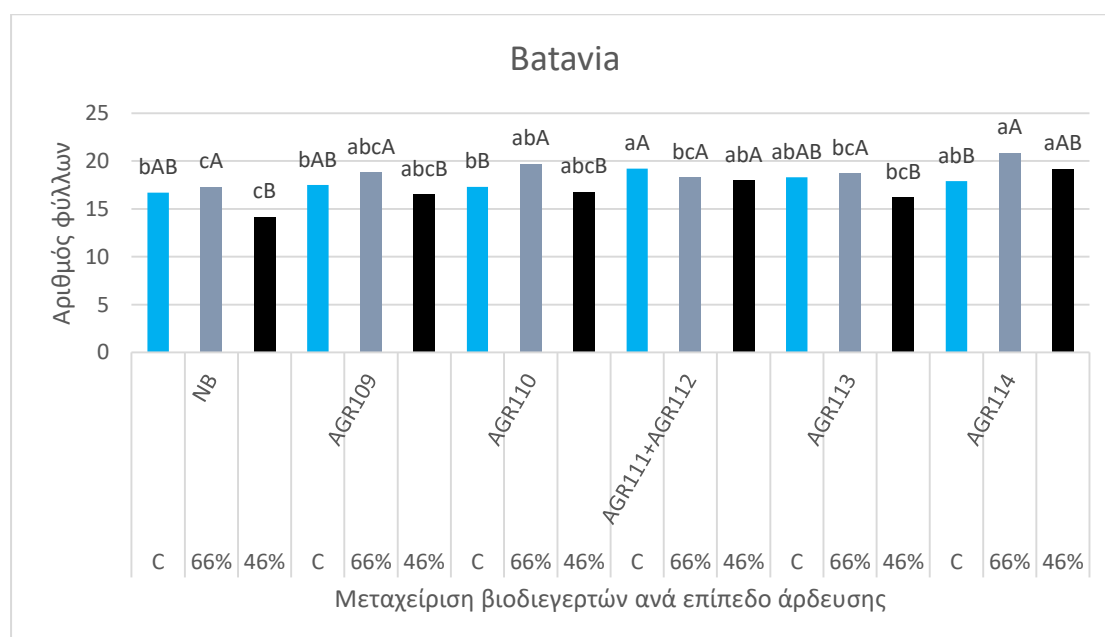
Γράφημα 3.16: Μέσοι όροι και σημαντικότητα στατιστικών διαφορών μέσω των όρων τιμών νωπού βάρους φύλλων (σε g) ανά επίπεδο άρδευσης και μεταχείριση βιοδιεγέρτη για τον τύπο Romaine. Τα κεφαλαία γράμματα αφορούν στη σύγκριση των μέσων των διαφορετικών επιπέδων άρδευσης για κάθε βιοδιεγέρτη, ενώ τα μικρά γράμματα αφορούν στη σύγκριση των μέσων των διαφορετικών βιοδιεγέρτων για κάθε επίπεδο άρδευσης. Και στις δυο περιπτώσεις η σύγκριση των μέσων έγινε με βάση το κριτήριο Tukey HSD test ($p=0.05$).

Σύμφωνα με το Γράφημα 3.16, σχετικά με τη σύγκριση των μεταχειρίσεων με βιοδιεγέρτες για κάθε επίπεδο άρδευσης, στο επίπεδο άρδευσης 100% ο μέσος όρος της μεταχείρισης με AGR113 ήταν ο υψηλότερος και διέφερε στατιστικά σημαντικά με όλους τους υπόλοιπους μέσους όρους, ενώ όλοι οι υπόλοιποι μέσοι όροι διέφεραν στατιστικά σημαντικά και μεταξύ τους, πλην αυτών των μεταχειρίσεων με AGR109 και NB που δε διέφεραν μεταξύ τους. Επίσης αναφορικά με το επίπεδο άρδευσης 66% ο μέσος όρος της μεταχείρισης με AGR109 ήταν ο υψηλότερος και διέφερε στατιστικά σημαντικά με όλους τους υπόλοιπους μέσους όρους, ενώ όλοι οι υπόλοιποι μέσοι όροι διέφεραν στατιστικά σημαντικά και μεταξύ τους, πλην εκείνου της μεταχείρισης με AGR111+AGR112 που δε διέφερε στατιστικά σημαντικά με τους μέσους όρους των μεταχειρίσεων με AGR110 και με AGR113 και AGR114 οι οποίοι δε διέφεραν και μεταξύ τους. Επιπλέον αναφορικά με το επίπεδο άρδευσης 46% ο μέσος όρος της μεταχείρισης με AGR109 ήταν ο υψηλότερος και διέφερε στατιστικά σημαντικά με όλους τους υπόλοιπους μέσους όρους, ενώ όλοι οι υπόλοιποι μέσοι όροι διέφεραν

στατιστικά σημαντικά και μεταξύ τους, πλην αυτών των μεταχειρίσεων με AGR110 και NB που δε διέφεραν μεταξύ τους.

Παράλληλα αναφορικά με τη σύγκριση των επιπέδων άρδευσης για κάθε βιοδιεγέρτη, τα επίπεδα άρδευσης 100% και 66% δε διέφεραν στατιστικά σημαντικά μεταξύ τους για τη μεταχείριση AGR109, ενώ στις μισές περιπτώσεις υψηλότερες τιμές παρατηρήθηκαν στο επίπεδο άρδευσης 100% και χαμηλότερες τιμές παρατηρήθηκαν στο επίπεδο 46% σε όλες τις περιπτώσεις.

3.5. Αποτελέσματα μέτρησης αριθμού φύλλων ανά φυτό

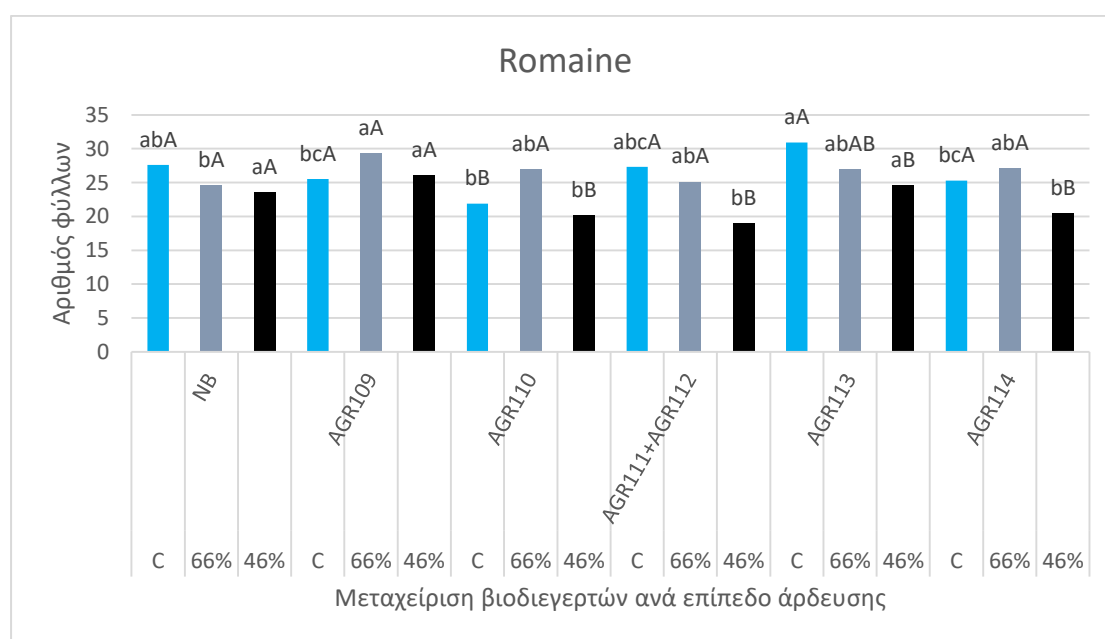


Γράφημα 3.17: Μέσοι όροι και σημαντικότητα στατιστικών διαφορών μέσω όρων αριθμού φύλλων κάθε φυτού ανά επίπεδο άρδευσης και μεταχείριση βιοδιεγέρτη για τον τύπο Batavia. Τα κεφαλαία γράμματα αφορούν στη σύγκριση των μέσων των διαφορετικών επιπέδων άρδευσης για κάθε βιοδιεγέρτη, ενώ τα μικρά γράμματα αφορούν στη σύγκριση των μέσων των διαφορετικών βιοδιεγερτών για κάθε επίπεδο άρδευσης. Και στις δυο περιπτώσεις η σύγκριση των μέσων έγινε με βάση το κριτήριο Tukey HSD test (p=0.05).

Σύμφωνα με το Γράφημα 3.17, σχετικά με τη σύγκριση των μεταχειρίσεων με βιοδιεγέρτες για κάθε επίπεδο άρδευσης, αναφορικά με το επίπεδο άρδευσης 100% ο μέσος όρος τη μεταχείρισης με AGR111+AGR112 ήταν ο υψηλότερος και διέφερε στατιστικά σημαντικά από τους μέσους όρους των μεταχειρίσεων με AGR110, AGR109 και NB οι οποίοι ωστόσο στατιστικά σημαντικά δε διέφεραν όπως δε διέφεραν και οι μέσοι όροι των μεταχειρίσεων με AGR113 και AGR114 οι οποίοι δε διέφεραν στατιστικά σημαντικά με τους υπολοίπους. Επιπλέον αναφορικά με το επίπεδο άρδευσης 66% ο μέσος όρος της μεταχείρισης με AGR114 ήταν ο υψηλότερος και διέφερε στατιστικά σημαντικά με τους μέσους όρους της μεταχείρισης NB και των

μεταχειρίσεων με AGR111+AGR112 και AGR113 οι οποίοι δε διέφεραν στατιστικά σημαντικά μεταξύ τους αλλά και ούτε με το μέσο όρο της μεταχείρισης με AGR109, ενώ ο μέσος όρος της μεταχείρισης με AGR110 διέφερε στατιστικά σημαντικά μόνο από το μέσο όρο της μεταχείρισης NB. Ακόμη αναφορικά με το επίπεδο άρδευσης 46% ο μέσος όρος της μεταχείρισης με AGR114 ήταν ο υψηλότερος και διέφερε στατιστικά σημαντικά με τους μέσους όρους της μεταχείρισης NB και της μεταχείρισης με AGR113 οι οποίοι δε διέφεραν στατιστικά σημαντικά μεταξύ τους αλλά και ούτε με τους μέσους όρους των μεταχειρίσεων με AGR109 και AGR110, ενώ ο μέσος όρος της μεταχείρισης με AGR111+AGR112 διέφερε στατιστικά σημαντικά μόνο από το μέσο όρο της μεταχείρισης NB.

Έπειτα αναφορικά με τη σύγκριση των επιπέδων άρδευσης για κάθε βιοδιεγέρτη, στις περισσότερες περιπτώσεις τα επίπεδα 100% και 66% δε διέφεραν σημαντικά μεταξύ τους, με εξαίρεση τη μεταχείριση AGR111+AGR112 όπου δεν υπήρχαν διαφορές μεταξύ των επιπέδων άρδευσης. Επίσης σε όλες τις περιπτώσεις τα επίπεδα 100% και 46% δε διέφεραν σημαντικά μεταξύ τους, ενώ το επίπεδο 46% έδωσε γενικά τις χαμηλότερες τιμές.

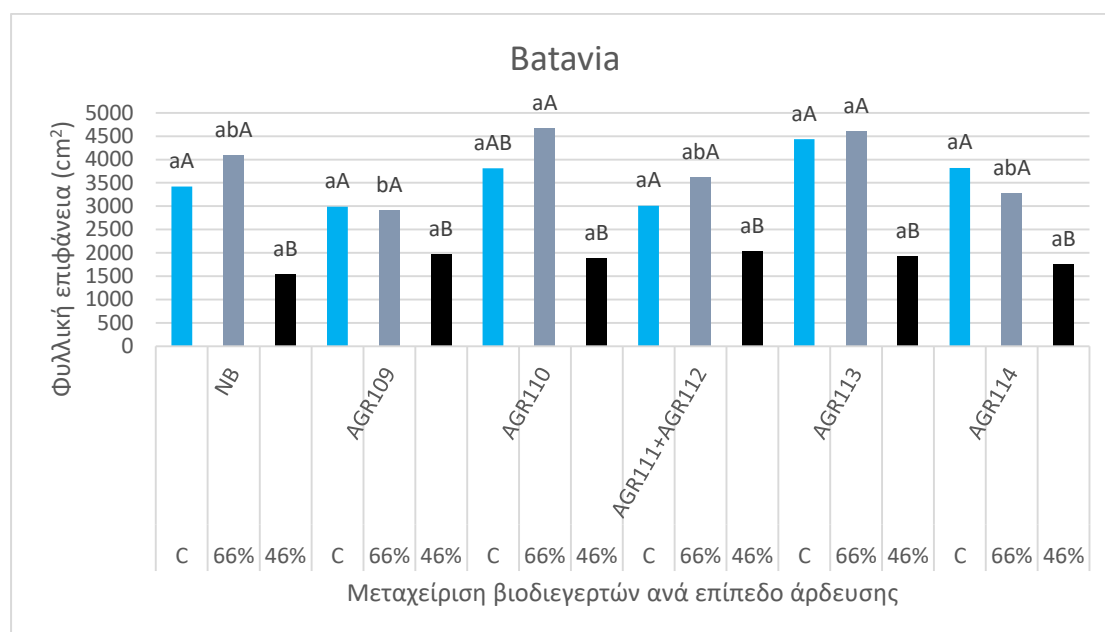


Γράφημα 3.18: Μέσοι όροι και σημαντικότητα στατιστικών διαφορών μέσω όρων αριθμού φύλλων κάθε φυτού ανά επίπεδο άρδευσης και μεταχείριση βιοδιεγέρτη για τον τύπο Romaine. Τα κεφαλαία γράμματα αφορούν στη σύγκριση των μέσων των διαφορετικών επιπέδων άρδευσης για κάθε βιοδιεγέρτη, ενώ τα μικρά γράμματα αφορούν στη σύγκριση των μέσων των διαφορετικών βιοδιεγερτών για κάθε επίπεδο άρδευσης. Και στις δυο περιπτώσεις η σύγκριση των μέσων έγινε με βάση το κριτήριο Tukey HSD test ($p=0.05$).

Σύμφωνα με το Γράφημα 3.18, σχετικά με τη σύγκριση των μεταχειρίσεων με βιοδιεγέρτες για κάθε επίπεδο άρδευσης, αναφορικά με το επίπεδο άρδευσης 100% ο μέσος όρος της μεταχείρισης με AGR113 ήταν υψηλότερος και διέφερε στατιστικά σημαντικά με τους μέσους όρους των μεταχειρίσεων με AGR110 και με AGR109 και AGR114 που δε διέφεραν μεταξύ τους. Οι δυο τελευταίοι διέφεραν στατιστικά σημαντικά με το μέσο όρο της μεταχείρισης με AGR113. Αναφορικά με το επίπεδο άρδευσης 66% υψηλότερος ήταν ο μέσος όρος της μεταχείρισης με AGR109 ο οποίος διέφερε στατιστικά σημαντικά από εκείνον της μεταχείρισης NB, ενώ οι υπόλοιποι μέσοι όροι δε διέφεραν στατιστικά σημαντικά μεταξύ τους αλλά και ούτε με τους δυο παραπάνω. Έπειτα αναφορικά με το επίπεδο άρδευσης 46% υψηλότεροι ήταν οι μέσοι όροι των μεταχειρίσεων με AGR109, AGR113 και NB οι οποίοι δε διέφεραν μεταξύ τους αλλά διέφεραν με τους υπολοίπους οι οποίοι επίσης δε διέφεραν μεταξύ τους.

Παράλληλα αναφορικά με τη σύγκριση των επιπέδων άρδευσης για κάθε βιοδιεγέρτη, τα επίπεδα 100% και 66% στις περισσότερες περιπτώσεις δε διέφεραν σημαντικά μεταξύ τους, εκτός από τις μεταχειρίσεις NB και AGR109 όπου δεν παρατηρήθηκαν διαφορές μεταξύ των επιπέδων άρδευσης. Επιπλέον χαμηλότερες τιμές παρατηρήθηκαν στις περισσότερες περιπτώσεις στο επίπεδο άρδευσης 46%, ενώ τα επίπεδα άρδευσης 100% και 46% στη μεταχείριση AGR110 και τα επίπεδα άρδευσης 66% και 46% στη μεταχείριση AGR113 δε διέφεραν σημαντικά μεταξύ τους.

3.6. Αποτελέσματα μέτρησης φυλλικής επιφάνειας

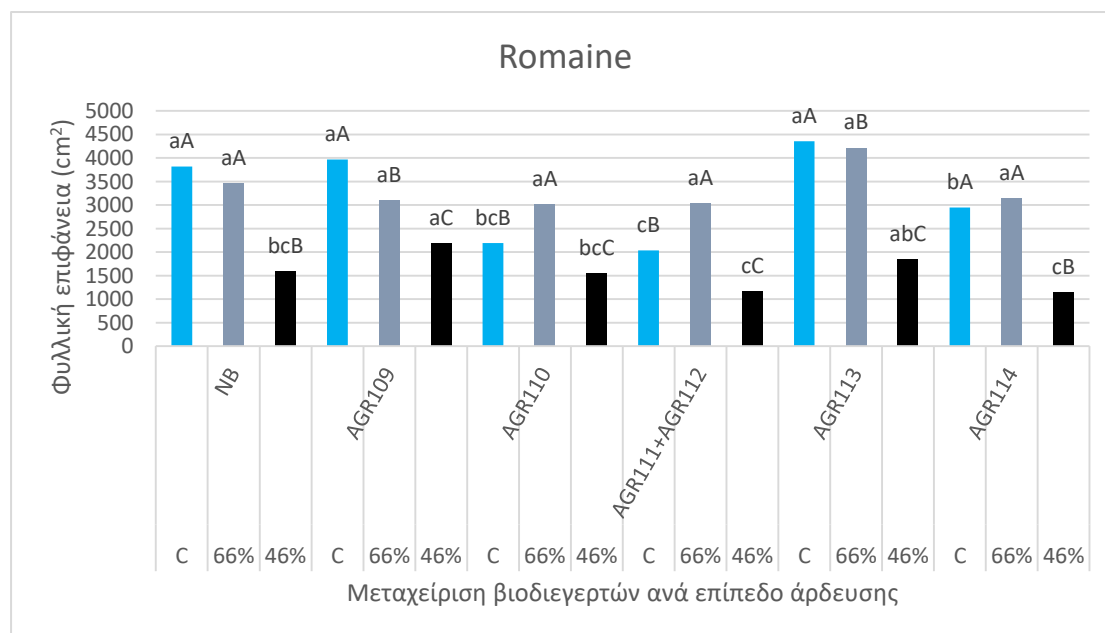


Γράφημα 3.19: Μέσοι όροι και σημαντικότητα στατιστικών διαφορών μέσων όρων τιμών φυλλικής επιφάνειας (σε cm²) ανά επίπεδο άρδευσης και μεταχείριση βιοδιεγέρτη για τον τύπο Batavia. Τα

κεφαλαία γράμματα αφορούν στη σύγκριση των μέσων των διαφορετικών επιπέδων άρδευσης για κάθε βιοδιεγέρτη, ενώ τα μικρά γράμματα αφορούν στη σύγκριση των μέσων των διαφορετικών βιοδιεγερτών για κάθε επίπεδο άρδευσης. Και στις δυο περιπτώσεις η σύγκριση των μέσων έγινε με βάση το κριτήριο Tukey HSD test (p=0.05).

Σύμφωνα με το Γράφημα 3.19, σχετικά με τη σύγκριση των μεταχειρίσεων με βιοδιεγέρτες για κάθε επίπεδο άρδευσης, αναφορικά με τα επίπεδα άρδευσης 100% και 46% όλοι οι μέσοι όροι των μεταχειρίσεων δε διέφεραν στατιστικά σημαντικά μεταξύ τους, με υψηλότερους ωστόσο μέσους όρους για τις μεταχειρίσεις AGR113 και AGR111+AGR112 αντίστοιχα και χαμηλότερους για τις AGR109 και NB αντίστοιχα. Αναφορικά με το επίπεδο άρδευσης 66% οι μέσοι όροι των μεταχειρίσεων με AGR110 και AGR113 ήταν οι υψηλότεροι, δε διέφεραν στατιστικά σημαντικά μεταξύ τους και διέφεραν στατιστικά σημαντικά με το μέσο όρο της μεταχείρισης με AGR109, ενώ οι υπόλοιποι μέσοι όροι δε διέφεραν στατιστικά σημαντικά μεταξύ τους αλλά ούτε και με τους τρεις παραπάνω.

Παράλληλα αναφορικά με τη σύγκριση των επιπέδων άρδευσης για κάθε βιοδιεγέρτη σε όλες τις περιπτώσεις δε διέφεραν στατιστικά σημαντικά μεταξύ τους τα επίπεδα 100% και 66%. Επιπλέον σε όλες τις περιπτώσεις χαμηλότερες τιμές παρατηρήθηκαν στο επίπεδο άρδευσης 46%, ενώ τα επίπεδα 100% και 46% δε διέφεραν σημαντικά μεταξύ τους στη μεταχείριση AGR110.



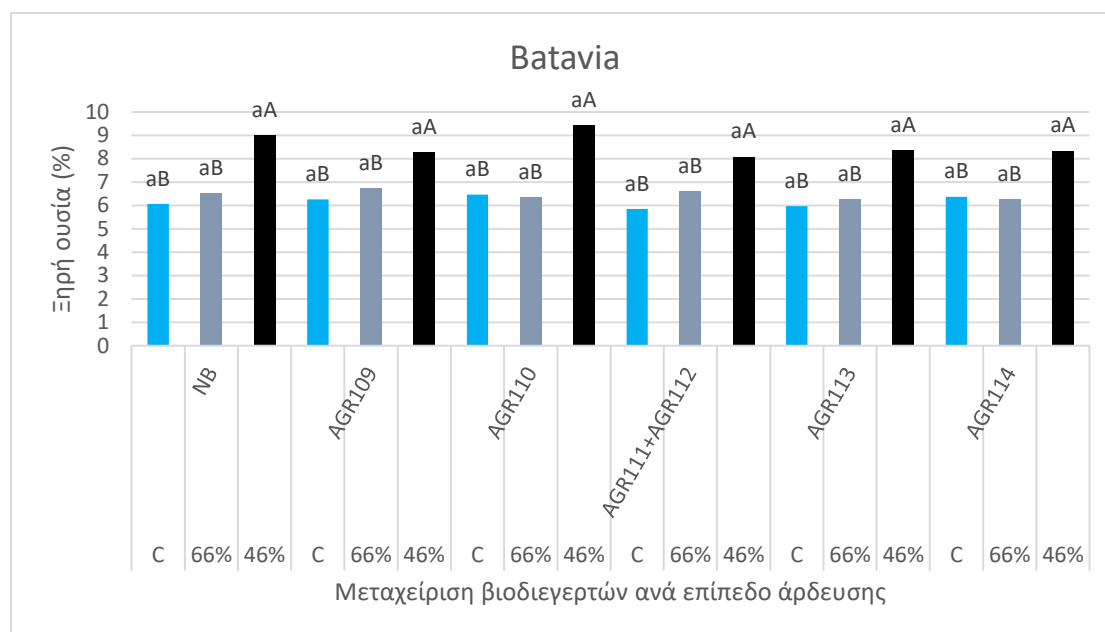
Γράφημα 3.20: Μέσοι όροι και σημαντικότητα στατιστικών διαφορών μέσων όρων τιμών φυλλικής επιφάνειας (σε cm²) ανά επίπεδο άρδευσης και μεταχείριση βιοδιεγέρτη για τον τύπο Romaine. Τα κεφαλαία γράμματα αφορούν στη σύγκριση των μέσων των διαφορετικών επιπέδων άρδευσης για κάθε βιοδιεγέρτη, ενώ τα μικρά γράμματα αφορούν στη σύγκριση των μέσων των διαφορετικών βιοδιεγερτών

για κάθε επίπεδο άρδευσης. Και στις δυο περιπτώσεις η σύγκριση των μέσων έγινε με βάση το κριτήριο Tukey HSD test ($p=0.05$).

Σύμφωνα με το Γράφημα 3.20, σχετικά με τη σύγκριση των μεταχειρίσεων με βιοδιεγέρτες για κάθε επίπεδο άρδευσης, αναφορικά με το επίπεδο άρδευσης 100% υψηλότεροι ήταν οι μέσοι όροι των μεταχειρίσεων με AGR109, AGR113 και NB οι οποίοι δε διέφεραν στατιστικά σημαντικά μεταξύ τους αλλά διέφεραν με τους υπολοίπους μέσους όρους. Ο μέσος όρος της μεταχείρισης με AGR111+AGR112 διέφερε στατιστικά σημαντικά εκτός από τους υψηλότερους μέσους όρους και με το μέσο όρο της μεταχείρισης με AGR114 ο οποίος επίσης διέφερε από τους τρεις υψηλότερους μέσους όρους. Αναφορικά με το επίπεδο άρδευσης 66% όλοι οι μέσοι όροι δε διέφεραν στατιστικά σημαντικά μεταξύ τους, με υψηλότερο και χαμηλότερο ωστόσο μέσο όρο για τις μεταχειρίσεις AGR113 και AGR110 αντίστοιχα. Ακόμη αναφορικά με το επίπεδο άρδευσης 46% υψηλότερος ήταν ο μέσος όρος της μεταχείρισης με AGR109 ο οποίος διέφερε στατιστικά σημαντικά με τους υπολοίπους μέσους όρους πλην αυτού της μεταχείρισης με AGR113 ο οποίος διέφερε στατιστικά σημαντικά με τους μέσους όρους των μεταχειρίσεων με AGR111+AGR112 και AGR114 οι οποίοι δε διέφεραν στατιστικά σημαντικά μεταξύ τους.

Επίσης αναφορικά με τη σύγκριση των επιπέδων άρδευσης για κάθε βιοδιεγέρτη, τα επίπεδα άρδευσης 100% και 66% δε διέφεραν σημαντικά για τις μεταχειρίσεις NB και AGR113 και επίσης χαμηλότερες τιμές παρατηρήθηκαν σε όλες τις περιπτώσεις στο επίπεδο άρδευσης 46%.

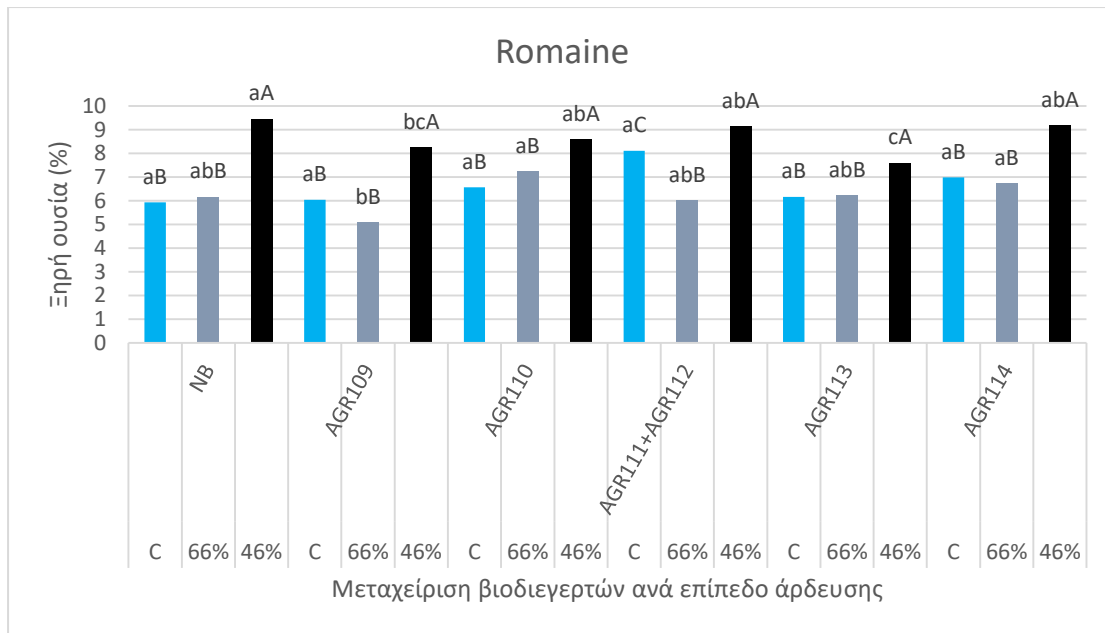
3.7. Αποτελέσματα υπολογισμού ποσοστού % ξηρής ουσίας φύλλων ανά φυτό



Γράφημα 3.21: Μέσοι όροι και σημαντικότητα στατιστικών διαφορών μέσω των όρων ποσοστών % ξηρής ουσίας ανά επίπεδο άρδευσης και μεταχείριση βιοδιεγέρτη για τον τύπο Batavia. Τα κεφαλαία γράμματα αφορούν στη σύγκριση των μέσων των διαφορετικών επιπέδων άρδευσης για κάθε βιοδιεγέρτη, ενώ τα μικρά γράμματα αφορούν στη σύγκριση των μέσων των διαφορετικών βιοδιεγερτών για κάθε επίπεδο άρδευσης. Και στις δυο περιπτώσεις η σύγκριση των μέσων έγινε με βάση το κριτήριο Tukey HSD test ($p=0.05$).

Σύμφωνα με το Γράφημα 3.21, σχετικά με τη σύγκριση των μεταχειρίσεων με βιοδιεγέρτες για κάθε επίπεδο άρδευσης, αναφορικά με το επίπεδο άρδευσης 100% όλοι οι μέσοι όροι των μεταχειρίσεων δε διέφεραν στατιστικά σημαντικά μεταξύ τους, όπως παρομοίως συνέβη και στην εφαρμογή άρδευσης 66% και 46%. Ωστόσο υψηλότεροι μέσοι όροι παρατηρήθηκαν για τις μεταχειρίσεις AGR110, AGR109 και AGR110 αντίστοιχα, ενώ χαμηλότεροι για τις AGR111+AGR112 (άρδευση 100%), AGR113 και AGR114 (άρδευση 66%) και AGR111+AGR112 (άρδευση 46%).

Επιπλέον αναφορικά με τη σύγκριση των επιπέδων άρδευσης για κάθε βιοδιεγέρτη, τα επίπεδα άρδευσης 100% και 66% δε διέφεραν σημαντικά μεταξύ τους, ενώ σε όλες τις περιπτώσεις υψηλότερες μέσες τιμές παρατηρήθηκαν στο επίπεδο άρδευσης 46%.



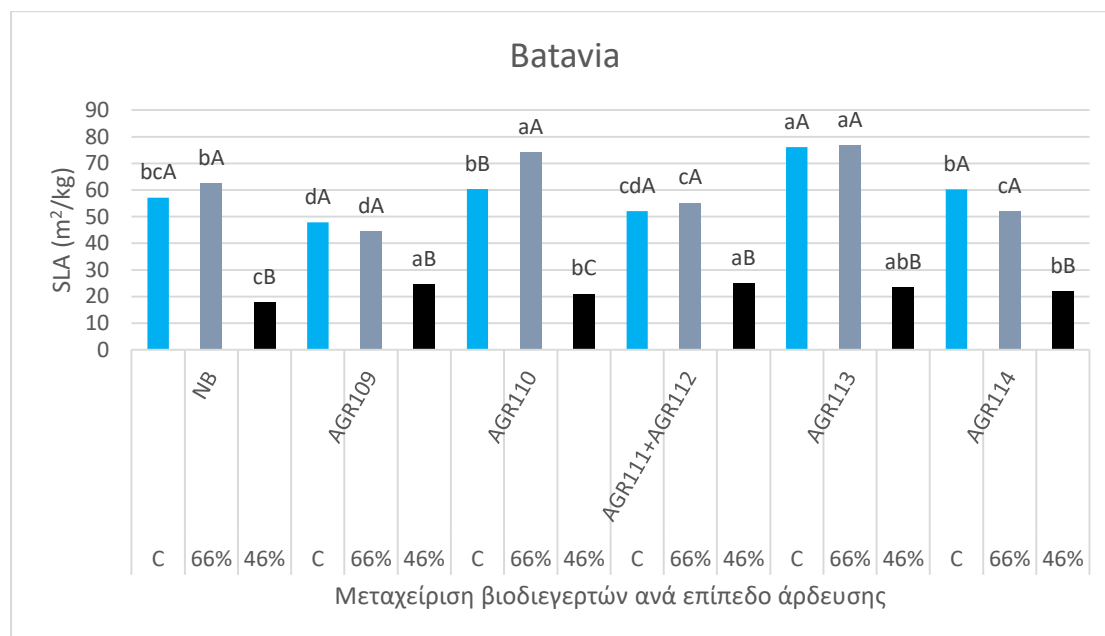
Γράφημα 3.22: Μέσοι όροι και σημαντικότητα στατιστικών διαφορών μέσω των όρων ποσοστών % ξηρής ουσίας ανά επίπεδο άρδευσης και μεταχείριση βιοδιεγέρτη για τον τύπο Romaine. Τα κεφαλαία γράμματα αφορούν στη σύγκριση των μέσων των διαφορετικών επιπέδων άρδευσης για κάθε βιοδιεγέρτη, ενώ τα μικρά γράμματα αφορούν στη σύγκριση των μέσων των διαφορετικών βιοδιεγερτών για κάθε επίπεδο άρδευσης. Και στις δυο περιπτώσεις η σύγκριση των μέσων έγινε με βάση το κριτήριο Tukey HSD test ($p=0.05$).

Σύμφωνα με το Γράφημα 3.22, σχετικά με τη σύγκριση των μεταχειρίσεων με βιοδιεγέρτες για κάθε επίπεδο άρδευσης, αναφορικά με το επίπεδο άρδευσης 100% οι μέσοι όροι όλων των μεταχειρίσεων δε διέφεραν στατιστικά σημαντικά μεταξύ τους, με υψηλότερο και χαμηλότερο ωστόσο μέσο όρο για τις μεταχειρίσεις AGR111+AGR112 και NB αντίστοιχα. Αναφορικά με το επίπεδο άρδευσης 66% ο μέσος όρος της μεταχείρισης με AGR110 ήταν ο υψηλότερος και διέφερε στατιστικά σημαντικά με το μέσο όρο της μεταχείρισης με AGR109 ενώ οι υπόλοιποι μέσοι όροι δε διέφεραν στατιστικά σημαντικά μεταξύ τους αλλά και ούτε με τους δυο παραπάνω. Επίσης αναφορικά με το επίπεδο άρδευσης 46% ο μέσος όρος της μεταχείρισης NB ήταν ο υψηλότερος και διέφερε στατιστικά σημαντικά με τους μέσους όρους των μεταχειρίσεων με AGR109 και AGR113 οι οποίοι δε διέφεραν στατιστικά σημαντικά μεταξύ τους. Ο τελευταίος διέφερε στατιστικά σημαντικά με τους μέσους όρους των μεταχειρίσεων με AGR110, AGR111+AGR112 και AGR114 οι οποίοι δε διέφεραν στατιστικά σημαντικά μεταξύ τους.

Επιπλέον αναφορικά με τη σύγκριση των επιπέδων άρδευσης για κάθε βιοδιεγέρτη, τα επίπεδα άρδευσης 100% και 66% στις περισσότερες περιπτώσεις δε

διέφεραν σημαντικά μεταξύ τους, ενώ σε όλες τις περιπτώσεις οι υψηλότερες τιμές παρατηρήθηκαν στο επίπεδο άρδευσης 46%.

3.8. Αποτελέσματα υπολογισμού ειδικής φυλλικής επιφάνειας (SLA)

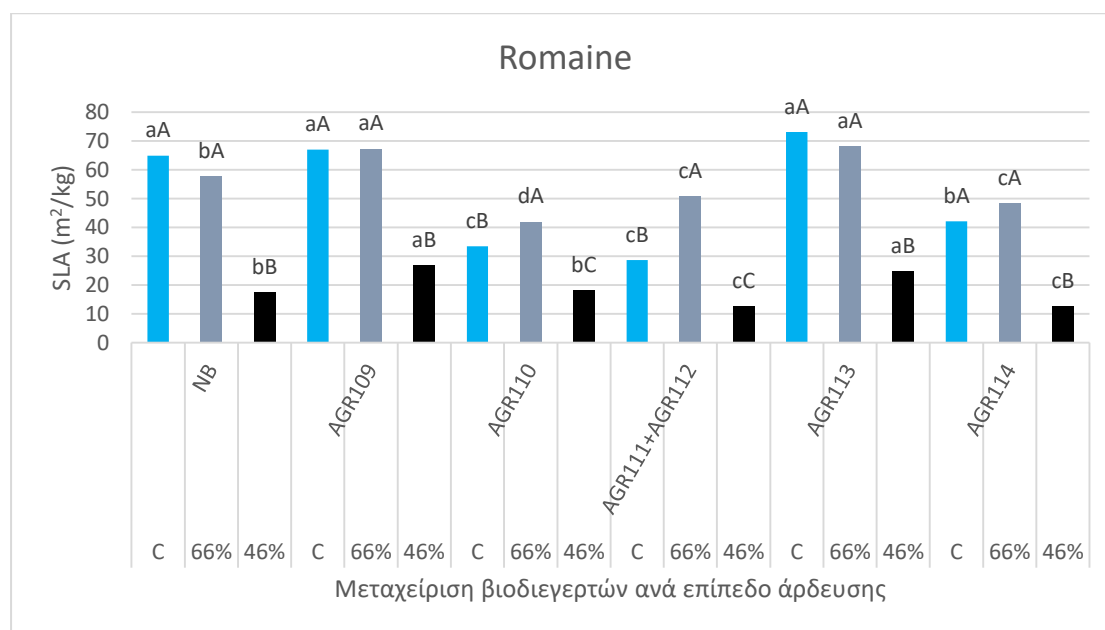


Γράφημα 3.23: Μέσοι όροι και σημαντικότητα στατιστικών διαφορών μέσω όρων τιμών ειδικής φυλλικής επιφάνειας SLA (σε m²/kg) ανά επίπεδο άρδευσης και μεταχείριση βιοδιεγέρτη για τον τύπο Βατανία. Τα κεφαλαία γράμματα αφορούν στη σύγκριση των μέσων των διαφορετικών επιπέδων άρδευσης για κάθε βιοδιεγέρτη, ενώ τα μικρά γράμματα αφορούν στη σύγκριση των μέσων των διαφορετικών βιοδιεγερτών για κάθε επίπεδο άρδευσης. Και στις δυο περιπτώσεις η σύγκριση των μέσων έγινε με βάση το κριτήριο Tukey HSD test (p=0.05).

Σύμφωνα με το Γράφημα 3.23, σχετικά με τη σύγκριση των μεταχειρίσεων με βιοδιεγέρτες για κάθε επίπεδο άρδευσης, αναφορικά με το επίπεδο άρδευσης 100% ο μέσος όρος της μεταχείρισης με AGR113 ήταν ο υψηλότερος και διέφερε στατιστικά σημαντικά με τους μέσους όρους όλων των υπολοίπων μεταχειρίσεων. Στη συνέχεια οι μέσοι όροι των μεταχειρίσεων με AGR110 και AGR114 δε διέφεραν στατιστικά σημαντικά μεταξύ τους αλλά και ούτε και με το μέσο όρο της μεταχείρισης NB. Ο μέσος όρος της μεταχείρισης με AGR111+AGR112 διέφερε στατιστικά σημαντικά από τους μέσους όρους των μεταχειρίσεων με AGR110, AGR113 και AGR114 και ο μέσος όρος της μεταχείρισης με AGR109 διέφερε στατιστικά σημαντικά από όλους τους μέσους όρους πλην αυτού της μεταχείρισης AGR111+AGR112. Ακολούθως αναφορικά με το επίπεδο άρδευσης 66% οι μέσοι όροι των μεταχειρίσεων με άρδευση AGR110 και AGR113 ήταν οι υψηλότεροι, δε διέφεραν στατιστικά σημαντικά μεταξύ τους ενώ διέφεραν σημαντικά με όλους τους υπολοίπους μέσους όρους, οι οποίοι διέφεραν και αυτοί στατιστικά σημαντικά μεταξύ τους εκτός αυτών των μεταχειρίσεων

AGR111+AGR112 και AGR114 που δε διέφεραν στατιστικά σημαντικά μεταξύ τους. Ακόμη αναφορικά με το επίπεδο άρδευσης 46% οι μέσο όροι των μεταχειρίσεων με AGR109 και AGR111+AGR112 ήταν οι υψηλότεροι, δε διέφεραν στατιστικά σημαντικά μεταξύ τους και με το μέσο όρο της μεταχείρισης με AGR113 ενώ διέφεραν σημαντικά από τους υπόλοιπους μέσους όρους. Οι μέσοι όροι των μεταχειρίσεων με AGR110 και AGR114 δε διέφεραν στατιστικά σημαντικά μεταξύ τους αλλά διέφεραν με τους δυο υψηλότερους μέσους όρους που προαναφέρθηκαν αλλά και με το μέσο όρο της μεταχείρισης NB ο οποίος διέφερε σημαντικά με όλους τους υπόλοιπους μέσους όρους.

Παράλληλα σχετικά με τη σύγκριση των επιπέδων άρδευσης για κάθε βιοδιεγέρτη, τα επίπεδα άρδευσης 100% και 66% στις περισσότερες περιπτώσεις δε διέφεραν σημαντικά μεταξύ τους, ενώ σε όλες τις περιπτώσεις χαμηλότερες τιμές παρατηρήθηκαν στο επίπεδο άρδευσης 46%.



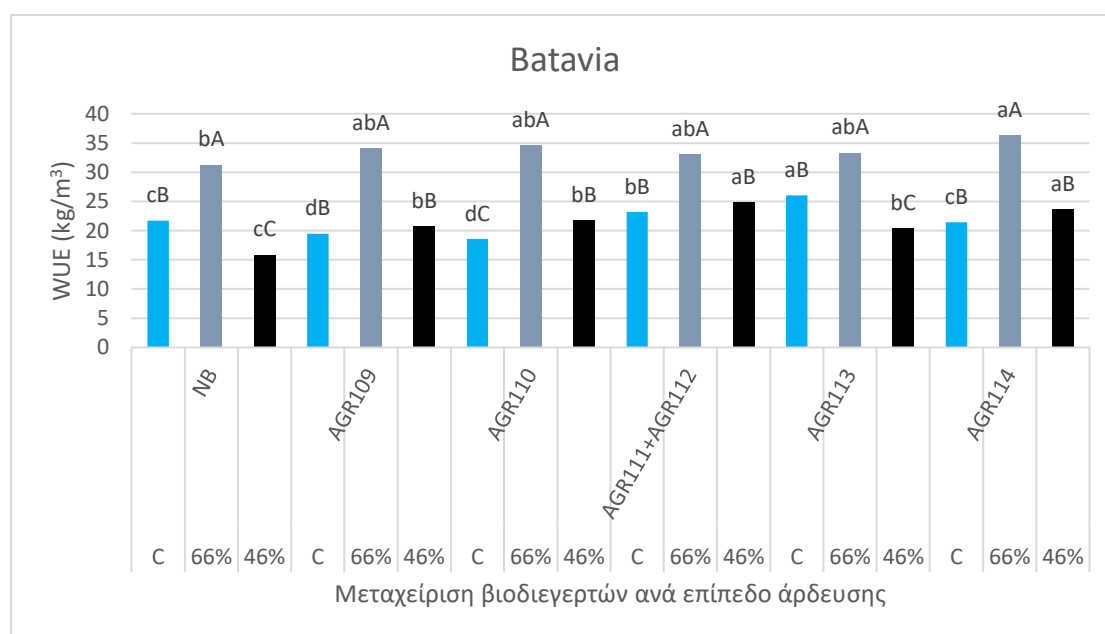
Γράφημα 3.24: Μέσοι όροι και σημαντικότητα στατιστικών διαφορών μέσων όρων τιμών ειδικής φυλλικής επιφάνειας SLA (σε m²/kg) ανά επίπεδο άρδευσης και μεταχείριση βιοδιεγέρτη για τον τύπο Romaine. Τα κεφαλαία γράμματα αφορούν στη σύγκριση των μέσων των διαφορετικών επιπέδων άρδευσης για κάθε βιοδιεγέρτη, ενώ τα μικρά γράμματα αφορούν στη σύγκριση των μέσων των διαφορετικών βιοδιεγερτών για κάθε επίπεδο άρδευσης. Και στις δυο περιπτώσεις η σύγκριση των μέσων έγινε με βάση το κριτήριο Tukey HSD test (p=0.05).

Σύμφωνα με το Γράφημα 3.24, σχετικά με τη σύγκριση των μεταχειρίσεων με βιοδιεγέρτες για κάθε επίπεδο άρδευσης, αναφορικά με το επίπεδο άρδευσης 100% υψηλότεροι ήταν οι μέσοι όροι των μεταχειρίσεων με AGR109, AGR113 και NB οι οποίοι δε διέφεραν σημαντικά μεταξύ τους αλλά διέφεραν από τους υπόλοιπους μέσους όρους. Οι μέσοι όροι των μεταχειρίσεων με AGR110 και AGR111+AGR112 δε

διέφεραν σημαντικά μεταξύ τους αλλά διέφεραν με τους υπόλοιπους μέσους όρους. Αναφορικά με το επίπεδο άρδευσης 66% υψηλότεροι ήταν οι μέσοι όροι των μεταχειρίσεων με AGR109 και AGR113 οι οποίοι δε διέφεραν στατιστικά σημαντικά μεταξύ τους αλλά διέφεραν από τους υπόλοιπους μέσους όρους. Οι μέσοι όροι των μεταχειρίσεων με AGR114 και AGR111+AGR112 δε διέφεραν στατιστικά σημαντικά μεταξύ τους αλλά διέφεραν με τους υπόλοιπους μέσους όρους. Επιπλέον αναφορικά με το επίπεδο άρδευσης 46% υψηλότεροι ήταν οι μέσοι όροι των μεταχειρίσεων με AGR109 και AGR113 οι οποίοι δε διέφεραν στατιστικά σημαντικά μεταξύ τους αλλά διέφεραν από τους υπόλοιπους μέσους όρους. Οι μέσοι όροι των μεταχειρίσεων με AGR110 και NB δε διέφεραν στατιστικά σημαντικά μεταξύ τους αλλά διέφεραν με τους υπόλοιπους μέσους όρους. Οι μέσοι όροι επίσης των μεταχειρίσεων με AGR114 και AGR111+AGR112 δε διέφεραν στατιστικά σημαντικά μεταξύ τους αλλά διέφεραν με τους υπόλοιπους μέσους όρους.

Επιπλέον σχετικά με τη σύγκριση των επιπέδων άρδευσης για κάθε βιοδιεγέρτη, τα επίπεδα άρδευσης 100% και 66% στις περισσότερες περιπτώσεις δε διέφεραν σημαντικά μεταξύ τους, ενώ σε όλες τις περιπτώσεις χαμηλότερες τιμές παρατηρήθηκαν στο επίπεδο άρδευσης 46%.

3.9. Αποτελέσματα υπολογισμού αποτελεσματικότητας χρήσης νερού (WUE)

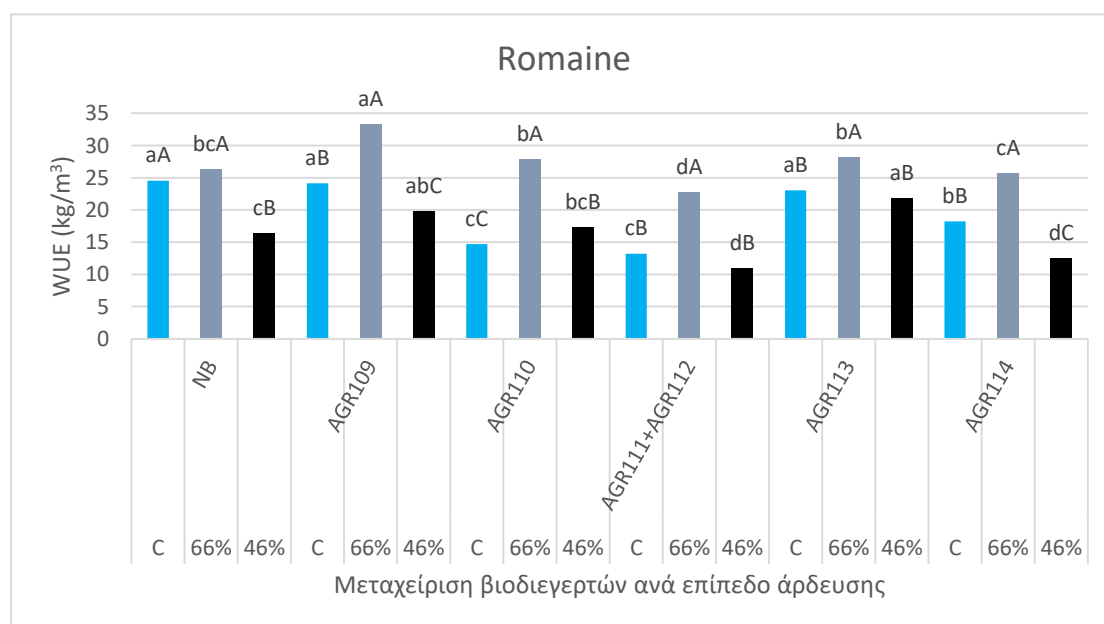


Γράφημα 3.25: Μέσοι όροι και σημαντικότητα στατιστικών διαφορών μέσω των τιμών αποτελεσματικότητας χρήσης νερού WUE (σε kg/m³) ανά επίπεδο άρδευσης και μεταχείριση βιοδιεγέρτη για τον τύπο Batavia. Τα κεφαλαία γράμματα αφορούν στη σύγκριση των μέσων των

διαφορετικών επιπέδων άρδευσης για κάθε βιοδιεγέρτη, ενώ τα μικρά γράμματα αφορούν στη σύγκριση των μέσων των διαφορετικών βιοδιεγερτών για κάθε επίπεδο άρδευσης. Και στις δυο περιπτώσεις η σύγκριση των μέσων έγινε με βάση το κριτήριο Tukey HSD test ($p=0.05$).

Σύμφωνα με το Γράφημα 3.25, σχετικά με τη σύγκριση των μεταχειρίσεων με βιοδιεγέρτες για κάθε επίπεδο άρδευσης, αναφορικά με το επίπεδο άρδευσης 100% υψηλότερος ήταν ο μέσος όρος της μεταχείρισης με AGR113 ο οποίος διέφερε στατιστικά σημαντικά από όλους τους υπόλοιπους μέσους όρους οι οποίοι επίσης διέφεραν σημαντικά μεταξύ τους εκτός αυτών των μεταχειρίσεων με NB και με AGR114 και επιπλέον αυτών των μεταχειρίσεων με AGR109 και με AGR110 οι οποίοι δε διέφεραν σημαντικά μεταξύ τους. Έπειτα αναφορικά με το επίπεδο άρδευσης 66% ο μέσος όρος της μεταχείρισης με AGR114 ήταν ο υψηλότερος ο οποίος διέφερε στατιστικά σημαντικά με εκείνον της μεταχείρισης με NB, ενώ οι υπόλοιποι μέσοι όροι δε διέφεραν σημαντικά μεταξύ τους αλλά ούτε και με τους παραπάνω δύο. Ακόμη αναφορικά με το επίπεδο άρδευσης 46% υψηλότεροι είναι οι μέσοι όροι των μεταχειρίσεων με AGR111+AGR112 και AGR114 οι οποίοι δε διέφεραν μεταξύ τους ενώ διέφεραν σημαντικά με τους υπόλοιπους οι οποίοι επίσης διέφεραν σημαντικά μεταξύ τους πλην αυτών των μεταχειρίσεων με AGR109, AGR110 και AGR113 οι οποίοι δε διέφεραν σημαντικά μεταξύ τους.

Στη συνέχεια αναφορικά με τη σύγκριση των επιπέδων άρδευσης για κάθε βιοδιεγέρτη στις μισές περιπτώσεις τα επίπεδα άρδευσης 100% και 46% δε διέφεραν σημαντικά μεταξύ τους. Επιπλέον σε όλες τις περιπτώσεις υψηλότεροι μέσοι όροι παρατηρήθηκαν στο επίπεδο άρδευσης 66%.



Γράφημα 3.26: Μέσοι όροι και σημαντικότητα στατιστικών διαφορών μέσω των όρων τιμών αποτελεσματικότητας χρήσης νερού WUE (σε kg/m³) ανά επίπεδο άρδευσης και μεταχείριση βιοδιεγέρτη για τον τύπο Romaine. Τα κεφαλαία γράμματα αφορούν στη σύγκριση των μέσων των διαφορετικών επιπέδων άρδευσης για κάθε βιοδιεγέρτη, ενώ τα μικρά γράμματα αφορούν στη σύγκριση των μέσων των διαφορετικών βιοδιεγερτών για κάθε επίπεδο άρδευσης. Και στις δυο περιπτώσεις η σύγκριση των μέσων έγινε με βάση το κριτήριο Tukey HSD test (p=0.05).

Σύμφωνα με το Γράφημα 3.26, σχετικά με τη σύγκριση των μεταχειρίσεων με βιοδιεγέρτες για κάθε επίπεδο άρδευσης, αναφορικά με το επίπεδο άρδευσης 100% υψηλότεροι ήταν οι μέσοι όροι των μεταχειρίσεων με NB, AGR109 και AGR113 που δε διέφεραν σημαντικά μεταξύ τους ενώ διέφεραν από τις υπόλοιπες μέσες τιμές οι οποίες διέφεραν σημαντικά μεταξύ τους πλην αυτών των μεταχειρίσεων με AGR110 και AGR111+AGR112 που δε διέφεραν σημαντικά μεταξύ τους. Αναφορικά με το επίπεδο άρδευσης 66% υψηλότερος ήταν ο μέσος όρος της μεταχείρισης με AGR109 ο οποίος διέφερε στατιστικά σημαντικά με τους υπόλοιπους οι οποίοι διέφεραν σημαντικά μεταξύ τους πλην αυτών των μεταχειρίσεων με NB, AGR110 και AGR113 όπως και αυτών των μεταχειρίσεων με NB και AGR114 που δε διέφεραν σημαντικά μεταξύ τους. Επίσης αναφορικά με το επίπεδο άρδευσης 46% υψηλότερος ήταν ο μέσος όρος της μεταχείρισης με AGR113 ο οποίος διέφερε στατιστικά σημαντικά με τους υπόλοιπους εκτός εκείνου της μεταχείρισης με AGR109 με τον οποίο δε διέφερε σημαντικά. Οι μέσοι όροι πλην του υψηλότερου διέφεραν και αυτοί σημαντικά μεταξύ τους, εκτός αυτών των μεταχειρίσεων με NB και AGR110 και αυτών των μεταχειρίσεων με AGR109 και AGR110 οι οποίοι δε διέφεραν σημαντικά μεταξύ τους.

Ακολούθως αναφορικά με τη σύγκριση των επιπέδων άρδευσης για κάθε βιοδιεγέρτη τα επίπεδα 100% και 66% δε διέφεραν σημαντικά μεταξύ τους για τη μεταχείριση NB ενώ τα επίπεδα 100% και 46% για τις μεταχειρίσεις AGR111+AGR112 και AGR113 δε διέφεραν σημαντικά μεταξύ τους. Παράλληλα σε όλες τις περιπτώσεις υψηλότερες μέσες τιμές παρατηρήθηκαν στο επίπεδο άρδευσης 66%.

Κεφάλαιο 4^ο: Συζήτηση

Σε αυτό το Κεφάλαιο παρουσιάζεται η ερμηνεία και ο σχολιασμός των αποτελεσμάτων της συνδυαστικής εφαρμογής επιπέδων άρδευσης και βιοδιεγερτών στα μορφολογικά χαρακτηριστικά και τις αποδόσεις των φυτών μαρουλιού.

4.1. Ερμηνεία και σχολιασμός αποτελεσμάτων σχετικών με τη συγκέντρωση χλωροφύλλης (δείκτης SPAD) στα μαρούλια

Βάσει των αποτελεσμάτων που παρουσιάστηκαν στο υποκεφάλαιο 3.1 και στις δυο ποικιλίες, σε όλη την καλλιεργητική περίοδο τα καλύτερα αποτελέσματα προήλθαν από συνδυαστική εφαρμογή κανονικής (100%) και έπειτα ελάχιστης (46%) άρδευσης, με το βιοδιεγερτικό σκεύασμα AGR111+AGR112, ενώ γενικότερα υπήρχε πληθώρα επιδράσεων όλων των ειδών συνδυαστικών μεταχειρίσεων άρδευσης και βιοδιεγερτών.

Βάσει της υπάρχουσας βιβλιογραφίας η περιεκτικότητα των μαρουλιών σε χλωροφύλλη αποτελεί έναν από τους δείκτες της ποιότητας των εμπορεύσιμων προϊόντων διότι προσδίδει το έντονο πράσινο χρώμα (Konstantopoulou et al. 2010). Επίσης, η βελτίωση του χρώματος μπορεί να επιτευχθεί μέσω άρδευσης με επίπεδα 100% και 75% της μέγιστης υδατοχωρητικότητας όταν αυτά εφαρμόζονται σε καλλιέργεια μαρουλιών εντός μη θερμαινόμενου θερμοκηπίου (Senyigit and Kaplan 2013). Το εύρημα αυτό συμφωνεί με την παρούσα μελέτη καθώς μέσω των αποτελεσμάτων βρέθηκε η θετική επίδραση για την άρδευση 100%. Ακόμη έχει βρεθεί ότι σε όλα τα μαρούλια οι αριθμητικές τιμές δε διέφεραν αρκετά μεταξύ των επιπέδων άρδευσης 100% και τουλάχιστον 60% (Acar et al. 2008) γεγονός το οποίο επαληθεύτηκε στα αποτελέσματα της παρούσας εργασίας, καθώς η μεγάλη διαφορά που παρατηρήθηκε στις τιμές στην τρίτη μέτρηση μεταξύ Batavia άρδευσης 46% και Romaine 66% (13,88 CCI και 23,35 CCI αντίστοιχα) αποδίδεται στο γεγονός ότι η άρδευση 46% ήταν αρκετά περιορισμένη έναντι της 66%, υποβαθμίζοντας το συγκεκριμένο ποιοτικό χαρακτηριστικό.

Από την άλλη, σχετικά με τα βιοδιεγερτικά σκευάσματα που περιέχουν Si, Ca και Zn έχει βρεθεί ότι βελτιώνουν γενικότερα κάποια χαρακτηριστικά των μαρουλιών (de Moraes et al. 2022, de Souza Lemos Neto et al. 2018 όπως αναφέρεται στους Cristofano et al. 2021b, Dudaš et al. 2016, Greger et al. 2015 όπως αναφέρεται στους Cristofano et al. 2021b, Milne et al. 2012 όπως αναφέρεται στους Cristofano et al. 2021b), ενώ στην παρούσα εργασία η βελτίωση (αυξημένες τιμές SPAD)

παρατηρήθηκε στη συγκέντρωση χλωροφύλλης και στις δυο ποικιλίες μέσω της εφαρμογής του σκευάσματος AGR111+AGR112 που περιείχε τα συγκεκριμένα στοιχεία.

4.2. Ερμηνεία και σχολιασμός αποτελεσμάτων σχετικών με το ύψος των μαρουλιών

Βάσει των αποτελεσμάτων που παρουσιάστηκαν στο υποκεφάλαιο 3.2, ανεξαρτήτως ποικιλίας τόσο υψηλές όσο και χαμηλές τιμές ύψους έδωσε το βιοδιεγερτικό σκεύασμα AGR110, ενώ τα επίπεδα άρδευσης 100% και 46% παρουσίασαν ποικίλες επιδράσεις στο ύψος των μαρουλιών (θετικές στα Romaine και στα Batavia, αντίστοιχα και αρνητικές στα Batavia και στα Romaine, αντίστοιχα).

Συγκεκριμένα παρατηρήθηκε ότι σε κάθε μέτρηση το επίπεδο άρδευσης που ευνοούσε την αύξηση του ύψους στη μια ποικιλία δεν την ευνοούσε στην άλλη και το αντίστροφο, γεγονός που αποδεικνύει ότι η συμπεριφορά των επιπέδων άρδευσης εξαρτάται από το γενετικό υλικό, όπως είχε αναφερθεί και σε μελέτες κατά τις οποίες το επίπεδο ανοχής σε επιπτώσεις καταπονήσεων (όπως το μειωμένο ύψος λόγω μειωμένης ανάπτυξης) λόγω υδατικής καταπόνησης εξαρτάται από τη ποικιλία (Paim et al. 2020). Ωστόσο, έχει βρεθεί επίσης ότι στα φυλλώδη λαχανικά το ύψος του φυτού είναι περιορισμένο σε επίπεδα άρδευσης πλησίον του 30% και αυξημένα σε επίπεδα 100% (Maseko et al. 2019) όπως και σε μαρούλια μη θερμαινόμενου θερμοκηπίου (Senyigit and Kaplan 2013), γεγονός με το οποίο συνάδουν τα αποτελέσματα της παρούσας μελέτης μόνο για τα μαρούλια Romaine. Επομένως, και σε αυτή την περίπτωση μπορεί να γίνει λόγος για εξάρτηση της συμπεριφοράς σε αβιοτικές καταπονήσεις από το είδος και την ποικιλία των φυλλωδών λαχανικών. Ακόμη στην ίδια περίπτωση έχει βρεθεί ότι η άρδευση 100% έδωσε ύψη κατά μέσο όρο κοντά στην τιμή των 26,30 cm (Senyigit and Kaplan 2013), πολύ μεγαλύτερα από τις τιμές υψών που λήφθηκαν κατά τις μετρήσεις, γεγονός που ίσως οφείλεται στην ποικιλία και τις καλλιεργητικές συνθήκες.

Παράλληλα ο ίδιος βιοδιεγέρτης (AGR110), ανεξαρτήτως ποικιλίας έδινε ποικίλα αποτελέσματα, γεγονός που ίσως μπορεί να αποδοθεί στην πιθανή εξάρτηση της επίδρασής του από το επίπεδο άρδευσης το οποίο δέχονταν τα φυτά. Επίσης, το συγκεκριμένο σκεύασμα περιείχε χουμικές και φουλβικές ουσίες οι οποίες σύμφωνα με τη βιβλιογραφία προάγουν την ανάπτυξη (Russo and Berlyn 1992, Lucini et al. 2015,

Yakhin et al. 2017, Smoleń et al. 2019 όπως αναφέρεται στους Yaseen and Takacs-Hajos 2022), όπως συνέβη και στην περίπτωση των αυξημένων τιμών του ύψους των φυτών μαρουλιού ανεξαρτήτως ποικιλίας.

4.3. Ερμηνεία και σχολιασμός αποτελεσμάτων σχετικών με το νωπό βάρος των μαρουλιών

Βάσει των αποτελεσμάτων που παρουσιάστηκαν στο υποκεφάλαιο 3.3 παρατηρήθηκε θετική επίδραση των επιπέδων άρδευσης 100% και 66% (μέσης) και του βιοδιεγερτικού σκευάσματος AGR114 στην αύξηση της νωπής μάζας των μαρουλιών και αρνητική επίδραση της άρδευσης 46% στο νωπό βάρος ανεξαρτήτως βιοδιεγέρτη και ποικιλίας.

Τα σχετικά αποτελέσματα με την επίδραση των επιπέδων άρδευσης συνάδουν σε μεγάλο βαθμό με αποτελέσματα ερευνών κατά τα οποία στα φυλλώδη λαχανικά οι αποδόσεις σε νωπή βιομάζα είναι αυξημένες σε επίπεδα άρδευσης 100% και 60% και μειωμένες σε επίπεδα άρδευσης πλησίον του 30% (το 46% στην παρούσα μελέτη) (Maseko et al. 2019), ενώ η συμπεριφορά των φυτών στην υδατική καταπόνηση εξαρτάται από την ποικιλία (Paim et al. 2020), όπως επαληθεύτηκε και στο πείραμα μας (66% στα Batavia και 100% στα Romaine). Επιπλέον έχει βρεθεί ότι άρδευση κοντά στο 90% της εδαφικής υδατοχωρητικότητας έχει θετικό αντίκτυπο στη βιομάζα φυτών μαρουλιού (Paim et al. 2020), ενώ συγκεκριμένα στα μαρούλια τύπου Romaine άρδευση επιπέδου μικρότερου του 65% (το 46% στην παρούσα μελέτη) περιορίζει την αύξηση του νωπού βάρους λόγω της υψηλής έντασης του υδατικού στρες (Luna et al. 2013). Τα στοιχεία αυτά συμφωνούν επίσης τα αποτελέσματα του παρόντος πειράματος. Ακόμη βάσει της βιβλιογραφίας, άρδευση στο 100% σε μαρούλια μη θερμαινόμενου θερμοκηπίου δίνει μεγάλες τιμές νωπού βάρους, κατά μέσο όρο 239,11 g (Senyigit and Kaplan 2013), όπως συνέβη και στο πείραμα στην περίπτωση των μαρουλιών τύπου Romaine όπου λήφθηκαν τιμές κατά μέσο όρο στα 297,50 g. Οι μεγαλύτερες τιμές που παρατηρήθηκαν στο πείραμά μας μπορεί να οφείλονται στη συνδυαστική μεταχείριση της άρδευσης και του βιοδιεγέρτη, των συνθηκών εντός του θερμοκηπίου αλλά και της ποικιλίας και των εμπορικών κριτηρίων για τη συγκομιδή του τελικού προϊόντος.

Παράλληλα βάσει βιβλιογραφίας τα βιοδιεγερτικά σκευάσματα με φυτικές πρωτεΐνες και αμινοξέα αυξάνουν αρκετά την απόδοση του μαρουλιού σε νωπή

βιομάζα (Cristofano et al. 2021a όπως αναφέρεται στους Cristofano et al. 2021b), ενώ μάλιστα όταν εφαρμόζονται μαζί με επίπεδα ελλειμματικής άρδευσης δύνανται να αυξήσουν υπερβολικά το νωπό βάρος (κατά 37%) (Jiménez-Arias et al. 2019). Τα στοιχεία μπορούν να δώσουν εξήγηση στη συμβολή του σκευάσματος AGR114 σε συνδυασμό με άρδευση 66% στη μεγάλη τιμή του νωπού βάρους (317,90 g) που παρατηρήθηκε στο πείραμα μας. Αντιθέτως, αν και είναι γνωστό ότι τα βιοδιεγερτικά σκευάσματα με Si, Ca και Zn βελτιώνουν τις τιμές νωπού βάρους (de Moraes et al. 2022, Dudaš et al. 2016, Milne et al. 2012 όπως αναφέρεται στους Cristofano et al. 2021b), στο πείραμά μας το AGR111+AGR112 δεν τις ευνόησε, ίσως λόγω του συνδυασμού του επιπέδου άρδευσης και της ποικιλίας.

4.4. Ερμηνεία και σχολιασμός αποτελεσμάτων σχετικών με το νωπό βάρος του συνόλου των φύλλων κάθε μαρουλιού

Από τα αποτελέσματα που παρουσιάστηκαν στο υποκεφάλαιο 3.4 διαφαίνεται η μεγάλη αποτελεσματικότητα της συνδυαστικής εφαρμογής άρδευσης 100% και του βιοδιεγερτικού σκευάσματος AGR113 ανεξαρτήτως ποικιλίας. Ακόμη χαμηλή ήταν η αποτελεσματικότητα της άρδευσης 46% ανεξαρτήτως ποικιλίας και εφαρμογής βιοδιεγέρτη, όπως και η χρήση του βιοδιεγερτικού σκευάσματος AGR111+AGR112.

Η μεγάλη και μικρή αποτελεσματικότητα της άρδευσης 100% και 46% αντίστοιχα όπως προαναφέρθηκε στο υποκεφάλαιο 4.3 αποδεικνύεται και από μελέτες κατά τις οποίες στα φυλλώδη λαχανικά επίπεδα άρδευσης κοντά στα 100% και 30% αυξάνουν ή και περιορίζουν την απόδοση αντίστοιχα σε νωπή βιομάζα. Επιπλέον, σε μη θερμαινόμενη θερμοκηπιακή καλλιέργεια μαρουλιού η άρδευση 100% ευνοεί την απόδοση σε αντίθεση με το έντονο υδατικό στρες κατά το οποίο ελαχιστοποιείται η παραγωγή βιομάζας.

Επιπρόσθετα από τη βιβλιογραφία είναι γνωστή η συμβολή των βιοδιεγερτικών σκευασμάτων με Si, Ca και Zn στην αύξηση γενικά του νωπού βάρους (de Moraes et al. 2022, Dudaš et al. 2016, Milne et al. 2012 όπως αναφέρεται στους Cristofano et al. 2021b), ωστόσο θετική επίδραση είχε το AGR113 που περιείχε μόνο Si, ενώ αρνητική επίδραση είχαν τα AGR111+AGR112 που περιείχαν και τα τρία στοιχεία, γεγονός που ίσως αποδίδεται στο επίπεδο άρδευσης που εφαρμόστηκε.

4.5. Ερμηνεία και σχολιασμός αποτελεσμάτων σχετικών με τον αριθμό του συνόλου των φύλλων κάθε μαρουλιού

Βάσει των αποτελεσμάτων που παρουσιάστηκαν στο υποκεφάλαιο 3.5, η άρδευση 100% και 66% ευνόησε την αύξηση του αριθμού φύλλων των μαρουλιών, ενώ η άρδευση 46% περιόρισε το συγκεκριμένο χαρακτηριστικό ανεξαρτήτως ποικιλίας. Τέλος, το βιοδιεγερτικό σκεύασμα AGR114 ευνοεί την ανάπτυξη όπως και το AGR113.

Η καλύτερη επίδραση των επιπέδων άρδευσης 100% και 66% σε σχέση με το επίπεδο άρδευσης 46%, ανεξαρτήτως της μεταχείρισης με βιοδιεγέρτη, στην αύξηση του αριθμού φύλλων των μαρουλιών φαίνεται ότι ισχύει από τα αποτελέσματα που παρουσιάστηκαν στο υποκεφάλαιο 4.3. Ωστόσο, μέσω ερευνών έχει βρεθεί ότι άρδευση 100% σε καλλιέργεια μαρουλιών σε μη θερμαινόμενο θερμοκήπιο είχε ως επακόλουθο τη μέτρηση υψηλού αριθμού φύλλων και ειδικότερα 49 φύλλων κατά μέσο όρο (Senyigit and Kaplan 2013), αριθμό αρκετά μεγαλύτερο του αντίστοιχου μέσου αριθμού φύλλων (περίπου 31) που μετρήθηκε στα μαρούλια τύπου Romaine για το επίπεδο άρδευσης 100% στην παρούσα μελέτη. Το γεγονός αυτό μπορεί να αποδοθεί σε πιθανή εξάρτηση από την ποικιλία, την εφαρμοζόμενη μεταχείριση με βιοδιεγέρτη και τις επικρατούσες συνθήκες εντός του θερμοκηπίου.

Επιπλέον, σχετικά με τις μεταχειρίσεις με βιοδιεγέρτες αφενός το σκεύασμα βιοδιεγέρτη AGR114 με φυτικές πρωτεΐνες έδωσε καλά αποτελέσματα και αφετέρου τα σκευάσματα AGR113 και AGR111+AGR112 με Si, Ca και Zn έδωσαν αποτελέσματα που εξαρτώνται από το εφαρμοζόμενο επίπεδο άρδευσης. Τα ευρήματα αυτά επαληθεύονται από στοιχεία βιβλιογραφικών πηγών που μεταξύ άλλων ισχύουν και για τον αριθμό φύλλων που αναφέρθηκαν στα υποκεφάλαια 4.3 και 4.4 αντίστοιχα.

4.6. Ερμηνεία και σχολιασμός αποτελεσμάτων σχετικών με τη φυλλική επιφάνεια (δείκτης LAI) του συνόλου των φύλλων κάθε μαρουλιού

Από τα αποτελέσματα που παρουσιάστηκαν στο υποκεφάλαιο 3.6 γίνεται αντιληπτή η θετική επίδραση των επιπέδων άρδευσης 100% και 66% και η αρνητική επίδραση του επιπέδου άρδευσης 46% υπό εφαρμογές διαφορετικών βιοδιεγερτών στην αύξηση της φυλλικής επιφάνειας, όπως και ποικίλη ανταπόκριση των φυτών σε διαφορετικά είδη βιοδιεγερτικών σκευασμάτων.

Τα παραπάνω αποδεικνύουν τη μεγάλη αποτελεσματικότητα των επιπέδων άρδευσης 100% και 66% και τη μικρή αποτελεσματικότητα του επιπέδου άρδευσης 46% γενικά για τα φυτικά χαρακτηριστικά, όπως αναλύθηκε στο υποκεφάλαιο 4.3.

Ωστόσο για το μαρούλι έχει βρεθεί ότι προάγεται η ανάπτυξη του με χρήση βιοδιεγερτών χουμικής και φουλβικής προέλευσης (Russo and Berlyn 1992, Lucini et al. 2015, Yakhin et al. 2017, Smoleń et al. 2019 όπως αναφέρεται στους Yaseen and Takacs-Hajos 2022), άρα βάσει αυτού θα μπορούσε να αιτιολογηθεί η αύξηση της φυλλικής επιφάνειας του μαρουλιού που παρατηρήθηκε στο πείραμά μας στην περίπτωση των μαρουλιών τύπου Batavia στα οποία εφαρμόστηκε το σκεύασμα AGR110, όπου λήφθηκαν κατά μέσο όρο οι υψηλότερες τιμές φυλλικής επιφάνειας.

4.7. Ερμηνεία και σχολιασμός αποτελεσμάτων σχετικών με το % ποσοστό ξηρής ουσίας του συνόλου των φύλλων κάθε μαρουλιού

Σε γενικές γραμμές βάσει των αποτελεσμάτων που παρουσιάστηκαν στο υποκεφάλαιο 3.7 δεν υπήρξαν μεγάλες αριθμητικές διαφορές μεταξύ των υψηλότερων και των χαμηλότερων ποσοστών (%) ξηρής ουσίας, ενώ παρατηρήθηκαν ποικίλες αποκρίσεις των μαρουλιών στους διάφορους συνδυασμούς μεταχείρισης βιοδιεγερτών και άρδευσης, ενώ η άρδευση 46% φαίνεται πως ευνοεί την αυξημένη αναλογία ξηρού προς νεπού βάρους, άρα και του ποσοστού (%) της ξηρής ουσίας.

4.8. Ερμηνεία και σχολιασμός αποτελεσμάτων σχετικών με την ειδική φυλλική επιφάνεια (SLA) του συνόλου των φύλλων κάθε μαρουλιού

Από τα αποτελέσματα που παρουσιάστηκαν στο υποκεφάλαιο 3.8 διαφαίνεται η θετική επίδραση της άρδευσης 100% και 66% και η αρνητική επίδραση της άρδευσης 46% στην αύξηση των τιμών της ειδικής φυλλικής επιφάνειας (SLA), γεγονός που θα μπορούσε να αιτιολογηθεί από την επίδραση των επιπέδων αυτών γενικά στα φυτικά χαρακτηριστικά και την ανάπτυξη των φυτών, όπως και αναλύθηκε στο υποκεφάλαιο 4.3. Επιπλέον υπήρξαν ποικίλες αποκρίσεις των φυτών στην επίδραση των βιοδιεγερτών, ωστόσο κυρίως το βιοδιεγερτικό σκεύασμα AGR113 με Si έδωσε καλά αποτελέσματα ανεξαρτήτως επιπέδου άρδευσης και ποικιλίας.

4.9. Ερμηνεία και σχολιασμός αποτελεσμάτων σχετικών με την αποτελεσματικότητα χρήσης νερού (WUE)

Βάσει των αποτελεσμάτων που παρουσιάστηκαν στο υποκεφάλαιο 3.9, την αποτελεσματικότητα χρήσης νερού (WUE) ευνόησε το επίπεδο άρδευσης 66% και περιόρισε το επίπεδο άρδευσης 46% ανεξαρτήτως ποικιλίας, ενώ υπήρχε ποικίλη απόκριση στην εφαρμογή βιοδιεγερτών. Ωστόσο, γενικά η απόκριση ήταν καλύτερη στις περιπτώσεις εφαρμογής των βιοδιεγερτικών σκευασμάτων AGR109 και AGR114 τα οποία περιείχαν αμινοξέα.

Παρά το γεγονός ότι έχει διαπιστωθεί ότι σε μαρούλια μη θερμαινόμενου θερμοκηπίου το επίπεδο της κανονικής άρδευσης επιφέρει την υψηλότερη αποτελεσματικότητα χρήσης του αρδευτικού νερού (Senyigit and Kaplan 2013), σχετικά με τα φυλλώδη λαχανικά έχει βρεθεί ότι το υδατικό στρες γενικά δύναται να έχει ως επακόλουθο εξίσου υψηλή αποτελεσματικότητα χρήσης του αρδευτικού νερού (Cantore et al. 2016, Giuliani et al. 2016 όπως αναφέρεται στους Cheng et al. 2021), γεγονός που επαληθεύεται συγκεκριμένα στις περιπτώσεις των υψηλότερων τιμών WUE που παρατηρήθηκαν στο παρόν πείραμα για τις μεταχειρίσεις ελλειμματικής άρδευσης.

Παράλληλα τα βιοδιεγερτικά σκευάσματα που ευνόησαν γενικά περισσότερο την αποτελεσματικότητα χρήσης νερού ανεξαρτήτως ποικιλίας περιείχαν ως κοινό συστατικό τα αμινοξέα, γεγονός που πιθανόν μπορεί να τα καταστήσει ως αποτελεσματικότερα σε συνδυαστική εφαρμογή με μέτρια επίπεδα ελλειμματικής άρδευσης.

Κεφάλαιο 5^ο: Συμπεράσματα

Βάσει των προαναφερόμενων αποτελεσμάτων, της ερμηνείας και του σχολιασμού τους εξήχθησαν τα παρακάτω συμπεράσματα:

- ❖ Η συνδυαστική εφαρμογή κανονικής (100%) και ελάχιστης άρδευσης (46%) με βιοδιεγερτικό σκεύασμα που περιείχε Si, Ca και Zn (AGR111+AGR112), είχε ως αποτέλεσμα την υψηλότερη συγκέντρωση χλωροφύλλης (δείκτης SPAD) σε όλη τη διάρκεια της καλλιεργητικής περιόδου, ενώ γενικότερα παρατηρήθηκε ποικίλη αντίδραση των συνδυαστικών εφαρμογών διαφορετικών επιπέδων άρδευσης και βιοδιεγερτών και στις δυο ποικιλίες μαρουλιών (τύπων Batavia και Romaine).
- ❖ Το βιοδιεγερτικό σκεύασμα χουμικής και φουλβικής προέλευσης (AGR110) έδωσε τόσο υψηλές όσο και χαμηλές τιμές ύψους και στις δυο ποικιλίες σε όλη τη διάρκεια της καλλιεργητικής περιόδου, με πιθανή εξάρτηση από το επίπεδο άρδευσης, ενώ τα επίπεδα κανονικής και ελάχιστης άρδευσης παρουσίασαν επιδράσεις στο ύψος των φυτών που εξαρτώνται από την ποικιλία.
- ❖ Τα επίπεδα κανονικής και μέσης (66%) άρδευσης σε συνδυαστική εφαρμογή με το βιοδιεγερτικό σκεύασμα με φυτικές πρωτεΐνες και μίγμα αμινοξέων (AGR114) συντέλεσαν στην αύξηση του νοπού βάρους των μαρουλιών, ενώ παρατηρήθηκε αρνητική επίδραση της ελάχιστης άρδευσης (46%) στη νοπή βιομάζα ανεξαρτήτως βιοδιεγέρτη και ποικιλίας.
- ❖ Μεγάλη αποτελεσματικότητα είχε η συνδυαστική εφαρμογή κανονικής άρδευσης και βιοδιεγερτικού σκευάσματος με Si (AGR113), χαμηλή αποτελεσματικότητα η ελάχιστη άρδευση ανεξαρτήτως ποικιλίας και εφαρμογής βιοδιεγέρτη, ενώ παρατηρήθηκε πιθανή εξάρτηση της επίδρασης των βιοδιεγερτικών σκευασμάτων που περιέχουν θρεπτικά στοιχεία στο νοπό βάρος των φύλλων των μαρουλιών ανάλογα με το είδος του εφαρμοζόμενου επιπέδου άρδευσης.
- ❖ Αυξημένος αριθμός φύλλων των μαρουλιών καταγράφηκε στις περιπτώσεις κανονικής και μέσης άρδευσης και περιορισμένος στην περίπτωση της ελάχιστης άρδευσης ανεξαρτήτως ποικιλίας, ενώ τα βιοδιεγερτικά σκευάσματα με φυτικές πρωτεΐνες και μίγμα αμινοξέων (AGR114) όπως και εκείνα με θρεπτικά στοιχεία (AGR113 και AGR111+AGR112) συνέβαλαν στην αύξηση

του αριθμού των φύλλων, ωστόσο τα αποτελέσματα αυτά διαφοροποιούνται ανάλογα με το εφαρμοζόμενο επίπεδο άρδευσης.

- ❖ Η κανονική και η μέση άρδευση είχαν θετική επίδραση, ενώ η ελάχιστη άρδευση είχε αρνητική επίδραση στη φυλλική επιφάνεια των φυτών υπό την εφαρμογή διαφορετικών βιοδιεγερτικών σκευασμάτων.
- ❖ Παρατηρήθηκε ποικίλη απόκριση των φυτών στα διάφορα επίπεδα άρδευσης και βιοδιεγερτικά σκευάσματα σχετικά με το ποσοστό (%) ξηρής ουσίας των φύλλων κάθε φυτού, ενώ η ελάχιστη άρδευση αύξησε το ποσοστό (%) της ξηρής ουσίας.
- ❖ Υπήρξε θετική επίδραση της κανονικής και της μέσης άρδευσης και αρνητική επίδραση της ελάχιστης άρδευσης στις τιμές της ειδικής φυλλικής επιφάνειας (SLA), ενώ ποικίλη απόκριση στην επίδραση των βιοδιεγερτών με το βιοδιεγερτικό σκεύασμα που περιείχε Si (AGR113) να δίνει καλά αποτελέσματα ανεξαρτήτως επιπέδου άρδευσης και ποικιλίας.
- ❖ Παρατηρήθηκε θετική και αρνητική απόκριση των μαρουλιών ανεξαρτήτως ποικιλίας σχετικά με την αποτελεσματικότητα χρήσης νερού (WUE) στη μέση και στην ελάχιστη άρδευση αντίστοιχα, ενώ θετική επίδραση σημειώθηκε κατά τη συνδυαστική εφαρμογή τους με βιοδιεγερτικά σκευάσματα που περιείχαν αμινοξέα (AGR109 και AGR114).
- ❖ Οι συνδυαστικές εφαρμογές επιπέδων μέσης ελλειμματικής άρδευσης και βιοδιεγερτών βελτίωσαν τα φυτικά χαρακτηριστικά που σχετίζονται με την ανάπτυξη και απόδοση των φυτών και περιόρισαν τις αρνητικές επιπτώσεις της υδατικής καταπόνησης σε θερμοκηπιακή χειμερινή καλλιέργεια μαρουλιού (*Lactuca sativa* L.) αποτελώντας σημαντική λύση για τους παραγωγούς απέναντι στην κλιματική και περιβαλλοντική κρίση.

Κεφάλαιο 6^ο: Βιβλιογραφία

6.1. Ελληνική

Agrology SA, <https://agrology.eu/>

Ελληνική Στατιστική Αρχή, 2008. <https://www.statistics.gr/el/home>

Ελληνική Στατιστική Αρχή, 2019. <https://www.statistics.gr/el/statistics/-/publication/SPG06/> (Πρόσβαση στις 9 Ιουλίου 2022).

Ζούμη Μ., 2009. Βιολογική καλλιέργεια μαρουλιού στην Κρήτη. Πτυχιακή διατριβή. Τεχνολογικό Εκπαιδευτικό Ίδρυμα Κρήτης, Ηράκλειο.

Η καλλιέργεια του μαρουλιού. FarmaBlog, 25 Ιουλίου 2018. <https://blog.farmacon.gr/katigories/texniki-arthrografia/kalliergitikes-praktikes/item/2122-i-kalliergeia-tou-marouliou> (Πρόσβαση στις 9 Ιουλίου 2022).

Καλλιέργεια μαρουλιού. GaiaΕπιχειρείν, 16 Ιουνίου 2014. <http://www.gaiapedia.gr/gaiapedia/index.php/%CE%9A%CE%B1%CE%BB%CE%B%CE%B9%CE%AD%CF%81%CE%B3%CE%B5%CE%B9%CE%B1%CE%BC%CE%B1%CF%81%CE%BF%CF%85%CE%BB%CE%B9%CE%BF%CF%8D> (Πρόσβαση στις 3 Ιουλίου 2022).

Καλλιέργεια Μαρουλιού. Καλλιεργητικές Τεχνικές. Αγροσύμβουλος, 21 Σεπτεμβρίου 2015. <https://agrosimvoulos.gr/kalliergeia-marouliou/> (Πρόσβαση στις 10 Ιουλίου 2022).

Καραμπουρνιώτης Γ.Α., Λιακόπουλος Γ. και Νικολόπουλος Δ., 2012. Φυσιολογία Καταπονήσεων των Φυτών. Εκδόσεις Έμβρυο, Αθήνα.

Καραστέργιος Ι. και Κατερίνης Σ., 2014. Μαρούλι: Συμπτώματα και αντιμετώπιση των κύριων ασθενειών. FarmaBlog, 9 Οκτωβρίου 2014. <https://blog.farmacon.gr/katigories/texniki-arthrografia/fytoprostatia/item/144->

[maroyli-symptomata-kai-antimetopisi-ton-kyrion-astheneion](#) (Πρόσβαση στις 11 Ιουλίου 2022).

Μαρούλι φυτό. GaiaΕπιχειρείν, 12 Αυγούστου 2013. http://www.gaiapedia.gr/gaiapedia/index.php/%CE%9C%CE%B1%CF%81%CE%B%CF%8D%CE%BB%CE%B9_%CF%86%CF%85%CF%84%CF%8C (Πρόσβαση στις 3 Ιουλίου 2022).

Σπανομήτσιος Γ., 1986. Η Ηλιακή Ακτινοβολία ως Συντελεστής Ανάπτυξης των Φυτών. Θέματα Αγροτικά, Εκδόσεις Υπουργείου Γεωργίας, Αθήνα, Τεύχος 6.

Υπουργείο Αγροτικής Ανάπτυξης και Τροφίμων, 2010. <http://www.minagric.gr/index.php/el/>

Υπουργείο Αγροτικής Ανάπτυξης και Τροφίμων, Διεύθυνση Δενδροκομικής, Τμήμα Κηπευτικών, 2009. <http://www.minagric.gr/index.php/el/>

Χα Ι.Α., Πετρόπουλος Σ., 2014. Γενική Λαχανοκομία και Υπαίθρια Καλλιέργεια Λαχανικών. Πανεπιστημιακές Εκδόσεις Θεσσαλίας, Βόλος.

Χαρού Α., 2016. Μαρούλι: Εγκατάσταση και καλλιεργητικές πρακτικές. FarmaBlog, 29 Σεπτεμβρίου 2016. <https://blog.farmacon.gr/katigories/texniki-arthrografia/kalliergitikes-praktikes/item/1210-maroyli-egkatastasi-kai-kalliergitikes-praktikes> (Πρόσβαση στις 10 Ιουλίου 2022).

Χριστουλάκη Μ.Ε., 2010. Αξιολόγηση υποστρωμάτων με μίγματα ανόργανων υλικών και πριονίδι σε υδροπονική καλλιέργεια μαρουλιού. Πτυχιακή διατριβή. Ελληνικό Μεσογειακό Πανεπιστήμιο, Ηράκλειο.

6.2. Ξενόγλωσση

Acar B., Paksoy M., Türkmen Ö. and Seymen M., 2008. Irrigation and nitrogen level affect lettuce yield in greenhouse condition. African Journal of Biotechnology, 24.

Abouabdillah A., Oueslati O., De Girolamo A.M. and Lo Porto A., 2010. Modeling the impact of climate change in a Mediterranean catchment (Merguellil-Tunisia). *Fresenius Environmental Bulletin*, 19:2334-2347.

Ahmad R., Lim C.J. and Kwon S., 2013. Glycine betaine: A versatile compound with great potential for gene pyramiding to improve crop plant performance against environmental stresses. *Plant Biotechnology Reports*, 7:49–57.

Amengual A., Homar V., Romero R., Alonso S. and Ramis C., 2012. A statistical adjustment of regional climate model outputs to local scales: application to Platja de Palma, Spain. *Journal of Climate*, 25:939–957.

Attia A., El-Hendawy S., Al-Suhaibani N., Alotaibi M., Tahir M.U. and Kamal K.Y., 2021. Evaluating deficit irrigation scheduling strategies to improve yield and water productivity of maize in arid environment using simulation. *Agricultural Water Management*, 249:1-12.

Battacharyya D., Babgohari M.Z., Rathor P. and Prithiviraj B, 2015. Seaweed extracts as biostimulants in horticulture. *Scientia Horticulturae*, 30(196):39–48.

Bekhradi F., Luna M.C., Delshad M., Jordan M.J., Sotomayor J.A., Martínez-Conesa C. and Gil M.I., 2015. Effect of deficit irrigation on the postharvest quality of different genotypes of basil including purple and green Iranian cultivars and a Genovese variety. *Postharvest Biology and Technology*, 100:127-135.

Ben-Yehoshua S. and Rodov V., 2003. Transpiration and water stress. In: Bartz, J.A., Brecht, J.K., *Postharvest Physiology and Pathology of Vegetables*. Marcel Dekker, Inc., New York, p.p. 111–159.

Bianco N., Mauro A.W., Mauro G.M., Pantaleo A.M. and Viscito L., 2022. A semi-empirical model for de-watering and cooling of leafy vegetables. *Applied Thermal Engineering*, 208:1-14.

Borowski J.M, Galli V., da Silva Messias R., Perin E.C., Buss J.H., dos Anjos e Silva S.D. and Rombaldi C.V., 2014. Selection of candidate reference genes for real-time PCR studies in lettuce under abiotic stresses. *Planta*, 239:1187-1200.

Brouzyine Y., Abouabdillah A., Hirich A., Bouabid R., Zaaboulc R. and Benabdicate L., 2018. Modeling sustainable adaptation strategies toward a climate-smart agriculture in a Mediterranean watershed under projected climate change scenarios. *Agricultural Systems*, 162:154–163.

Bulgari R., Franzoni G. and Ferrante A., 2019. Biostimulants application in horticultural crops under abiotic stress conditions. *Agronomy*, 9:306.

Bulgari R., Morgutti S., Cocetta G., Negrini N., Farris S., Calcante A., Spinardi A., Ferrari E., Mignani I., Oberti R., and Ferrante A., 2017. Evaluation of Borage Extracts As Potential Biostimulant Using a Phenomic, Agronomic, Physiological, and Biochemical Approach. *Frontiers in Plant Science*, 8, 935:1-16.

Cai X. and Rosegrant M.W., 2003. World water productivity: current situation and future options. In: Kijne, J.W., Barker, R., Molden, D. (Eds.), *Water Productivity in Agriculture: Limits and Opportunities for Improvement*. International Water Management Institute (IWMI), Colombo, Sri Lanka, p.p. 163–178.

Calvo P., Nelson L. and Kloepper J.W., 2014. Agricultural uses of plant biostimulants. *Plant Soil* 383:3–41.

Canellas L.P., Olivares F.L., Aguiar N.O., Jones D.L., Nebbioso A., Mazzei P. and Piccolo A., 2015. Humic and fulvic acids as biostimulants in horticulture. *Scientia Horticulturae*, 196:15-27.

Cantore V., Lechkar O., Karabulut E., Sellami M.H., Albrizio R., Boari F., Stellacci A. M. and Todorovic M., 2016. Combined effect of deficit irrigation and strobilurin application on yield, fruit quality and water use efficiency of “cherry” tomato (*Solanum lycopersicum* L.). *Agriculture Water Management*, 167:53–61.

Capra A., Consoli S. and Scicolone B., 2008. Deficit Irrigation: Theory and Practice. In: Alonso D. and Iglesias H.J. (eds.), Agricultural Irrigation Research Progress, Nova Science Publishers, New York, p.p. 53-82.

Caradonia F., Battaglia V., Righi L., Pascali G. and La Torre A., 2019. Plant biostimulant regulatory framework: prospects in Europe and current situation at international level. *Journal of Plant Growth Regulation*, 38:438–448.

Caruso G., De Pascale S., Cozzolino E., Giordano M., El-Nakhel C., Cuciniello A., Cenvinzo V., Colla G. and Roupheal Y., 2019. Protein hydrolysate or plant extract-based biostimulants enhanced yield and quality performances of greenhouse perennial wall rocket grown in different seasons. *Plants*, 8, 208.

Castillejo N., Martínez-Hernández G.B., Goffi V., Gómez P.A., Aguayo E., Artés F. and Artés- Hernández F., 2018. Natural vitamin B12 and fucose supplementation of green smoothies with edible algae and related quality changes during their shelf life. *Journal of the Science of Food and Agriculture*, 98:2411–2421.

Cerdán M., Sánchez-Sánchez A., Oliver M., Juárez M. and Sánchez-Andreu J.J., 2009. Effect of foliar and root applications of amino acids on iron uptake by tomato plants. *Acta Horticulturae*, 830:481–488.

Chakraborty U. and Pradhan B., 2012. Oxidative stress in five wheat varieties (*Triticum aestivum* L.) exposed to water stress and study of their antioxidant enzyme defense system, water stress responsive metabolites and H₂O₂ accumulation. *Brazilian Journal of Plant Physiology*, 24(2):117–130.

Chalmers D.J., Mitchell P.D. and van Heek L., 1981. Control of peach tree growth and productivity by regulated water supply, tree density, and summer pruning. *Journal of American Society for Horticultural Science*, 106:307-312.

Chen Y., Marek G.W., Marek T.H., Brauer D.K. and Srinivasan R., 2017. Assessing the efficacy of the SWAT auto-irrigation function to simulate irrigation,

evapotranspiration, and crop response to management strategies of the Texas High Plains. 2017 Water, 9:509.

Cheng M., Wang H., Fan J., Zhang S., Wang Y., Li Y., Sun X., Yang L. and Zhang F., 2021. Water productivity and seed cotton yield in response to deficit irrigation: A global meta-analysis. Agricultural Water Management, 255:1-12.

Chrysargyris A., Xylia P., Anastasiou M., Pantelides I. and Tzortzakis N., 2018. Effects of *Ascophyllum nodosum* seaweed extracts on lettuce growth, physiology and fresh-cut salad storage under potassium deficiency. Journal of the Science of Food and Agriculture, p.p. 1-12.

Cicogna A., Dietrich S., Gani M., Giovanardi R. and Sandra M., 2005. Use of meteorological radar to estimate leaf wetness as data input for application of territorial epidemiological model (downy mildew – *Plasmopara viticola*). Agrometeorology 2003, Physics and Chemistry of the Earth, Parts A/B/C, 30:201–207.

Cocetta G. and Ferrante A., 2020. Nutritional and Nutraceutical Value of Vegetable Crops as Affected by Biostimulants Application, 3.

Cocetta G., Passera A., Vacchini V., Shahzad G.R., Cortellino G., Picchi V., Ferrante A., Casati P. and Piazza L., 2021. Use of microbial inoculants during cultivation maintain the physiological, nutritional and technological quality of fresh-cut romaine lettuce. Postharvest Biology and Technology, 175:1-9.

Colla G., Cardarelli M., Bonini P. and Rouphael Y., 2017a. Foliar applications of protein hydrolysate, plant and seaweed extracts increase yield but differentially modulate fruit quality of greenhouse tomato. Hortscience, 52:1214–1220.

Colla G., Hoagland L., Ruzzi M., Cardarelli M., Bonini P., Canaguier R. and Rouphael Y., 2017b. Biostimulant action of protein hydrolysates: Unraveling their effects on plant physiology and microbiome. Frontiers in Plant Science, 8, 2202.

Colla G., Rouphael Y., Canaguier R., Svecova E. and Cardarelli M., 2014. Biostimulant action of a plant-derived protein hydrolysate produced through enzymatic hydrolysis. *Frontiers in Plant Science*, 5(448):1–6.

Colla G., Rouphael Y., Di Mattia E., El-Nakhel C. and Cardarelli M., 2015. Co-inoculation of *Glomus intraradices* and *Trichoderma atroviride* acts as a biostimulant to promote growth, yield and nutrient uptake of vegetable crops. *Journal of the Science of Food and Agriculture*, 95:1706-1715.

Colla G., Rouphael Y., Leonardi C. and Bie Z., 2010. Role of grafting in vegetable crops grown under saline conditions. *Scientia Horticulturae*, 127:147–155.

Craigie J.S., 2011. Seaweed extract stimuli in plant science and agriculture. *Journal of Applied Phycology*, 23:371–93.

Cristofano F., El-Nakhel C., Pannico A., Giordano M., Colla G. and Rouphael, Y., 2021a. Foliar and root applications of vegetal-derived protein hydrolysates differentially enhance the yield and qualitative attributes of two lettuce cultivars grown in floating system. *Agronomy*, 11, 1194.

Cristofano F., El-Nakhel C. and Rouphael Y., 2021b. Biostimulant Substances for Sustainable Agriculture: Origin, Operating Mechanisms and Effects on Cucurbits, Leafy Greens, and Nightshade Vegetables Species. *Biomolecules*, 11:1-36.

Crouch I.J., Beckett R.P. and van Staden J., 1990. Effect of seaweed concentrate on the growth and mineral nutrition of nutrient-stressed lettuce. *Journal of Applied Phycology*, 2:269–272.

Dai J., Li W., Tang W., Zhang D., Li Z., Lu H., Eneji A.E. and Dong H., 2015. Manipulation of dry matter accumulation and partitioning with plant density in relation to yield stability of cotton under intensive management. *Field Crops Research*, 180:207–215.

Daverede I.C., Kravchenko A.N., Hoefst R.G., Nafziger E.D., Bullock D.G. Warren, J.J. and Gonzini L.C., 2004. Phosphorus runoff from incorporated and surface-applied liquid swine manure and phosphorus fertilizer. *Journal of Environmental Quality*, 33:1535–1544.

de Moraes C.C, Silveira N.M., Mattar G.S., Sala F.C., Vicari Mellis E. and Villani Purquerio L.F., 2022. Agronomic biofortification of lettuce with zinc under tropical conditions: Zinc content, biomass production and oxidative stress. *Scientia Horticulturae*, 303:1-8.

De Pascale S., Rouphael Y. and Colla G., 2017. Plant biostimulants: innovative tool for enhancing plant nutrition in organic farming. *European Journal of Horticultural Science*, 82:277–285.

de Souza Lemos Neto H.S.L., de Guimarães M.A., Sampaio I.M.G., de Hedges A.R.A.A., de Oliveira A.B. and Filho S.M., 2018. Silicon (Si) reduces the effects of salt stress on germination and initial growth of lettuce (*Lactuca sativa* L.). *Australian Journal of Crop Science*, 12:1410–1418.

Del Buono D., 2021. Can biostimulants be used to mitigate the effect of anthropogenic climate change on agriculture? It is time to respond. *Science of the Total Environment*, 751:1-12.

Deniau M.G., Bonafos R., Chovelon M., Parvaud C.E., Furet A., Bertrand C. and Marchand P.A., 2019. Willow extract (*Salix cortex*), a basic substance of agronomical interests. *International Journal of Bio-resource and Stress Management*, 10:408–418.

Desoky E.S.M., Elrys A.S., Mansour E., Eid R.S.M., Selem E., Rady M.M., Ali E.F., Mersal G.A.M. and Semida, W.M., 2021. Application of biostimulants promotes growth and productivity by fortifying the antioxidant machinery and suppressing oxidative stress in faba bean under various abiotic stresses. *Scientia Horticulturae*, 288, 110340.

Di Mola I., Ottaiano L., Cozzolino E., Senatore M., Giordano M., El-Nakhel C., Sacco A., Roupheal Y., Colla G. and Mori M., 2019. Plant-based biostimulants influence the agronomical, physiological, and qualitative responses of baby rocket leaves under diverse nitrogen conditions. *Plants*, 8, 522.

do Rosário Rosa V., Farias dos Santos A.L., da Silva A.A., Sab M.P.V., Germino G.H., Cardoso F.B. and de Almeida Silva M., 2021. Increased soybean tolerance to water deficiency through biostimulant based on fulvic acids and *Ascophyllum nodosum* (L.) seaweed extract. *Plant Physiology and Biochemistry* 158:228-243.

Drews M., 1996. Nitrate, vitamin C, and sugar content of *Lactuca sativa* depending on cultivar and head development. *Gartenbauwissenschaft*, 61(3):122-129.

Drews M., Schonhof I. and Krumbein A., 1997. Content of minerals, vitamins, and sugars in iceberg lettuce (*Lactuca sativa* var. *capitata* L.) grown in the greenhouse dependent on cultivar and development stage. *Gartenbauwissenschaft*, 62(2):65-72.

du Jardin P., 2015. Plant biostimulants: definition, concept, main categories and regulation. *Scientia Horticulturae*, 196:3-14.

du Jardin P., 2012. The Science of Plant Biostimulants—A bibliographic analysis. Ad hoc Study Report to the European Commission DG ENTR. http://ec.europa.eu/enterprise/sectors/chemicals/files/fertilizers/final_report_bio_2012_en.pdf.

Dudaš S., Šola I., Sladonja B., Erhatic R., Ban D. and Poljuha D., 2016. The effect of biostimulant and fertilizer on 'low input' lettuce production. *Acta Botanica Croatica* 75(2):253-259.

EBIC, 2013. Overview of the European biostimulants market. <http://www.biostimulants.eu>.

Ekren S., Sönmez C., Özçakal E., Kurttaş Y.S.K., Bayram E. and Gürgülü H., 2012. The effect of different irrigation water levels on yield and quality characteristics of purple basil (*Ocimum basilicum* L.). *Agriculture Water Management*, 109:155–161.

Elansary H.O., Skalicka-Woźniak K. and King I.W., 2016. Enhancing stress growth traits as well as phytochemical and antioxidant contents of *Spiraea* and *Pittosporum* under seaweed extract treatments. *Plant Physiology and Biochemistry*, 105:10–20.

El Hadrami A., Adam L.R., El Hadrami I. and Daayf F., 2010. Chitosan in plant protection. *Marine Drugs*, 8:968–987.

El Jaouhari N., Abouabdillah A., Bouabid R., Bouriou M., Aleya L. and Chaoui M., 2018. Assessment of sustainable deficit irrigation in a Moroccan apple orchard as a climate change adaptation strategy. *Science of the Total Environment* 642:574-581.

English M.J., Musich J.T. and Murty V.V.N., 1990. Deficit irrigation. In: G.J. Hoffman, T.A. Howell and K.H. Soloman. *Management of Farm Irrigation Systems*, ASAE, St. Joseph, MI.

English M. and Raja S.N., 1996. Perspectives on deficit irrigation. *Agricultural Water Management*, 32(1996):1-14.

Escobar-Gutierrez A.J., Burns I.G., Lee A. and Edmondson R.N., 2002. Screening lettuce cultivars for low nitrate content during summer and winter production. *The Journal of Horticultural Science and Biotechnology*, 77(2):232-237.

European Union, 2014. A legal framework for plant biostimulants and agronomic fertiliser additives in the EU: final report. <http://op.europa.eu>.

European Union, 2019. Regulation of the european parliament and of the council laying down rules on the making available on the market of EU fertilising products and amending regulations (EC) no 1069/2009 and (EC) no 1107/2009 and repealing regulation (EC) no 2003/ 2003. <https://eur-lex.europa.eu/legalcontent/EN/TXT/?uri=OJ:L:2019:170:TOC>.

Fiorentino N., Ventrino V., Woo S.L., Pepe O., De Rosa A., Gioia L., Romano I., Lombardi N., Napolitano M., Colla G. and Roupheal Y., 2018. Trichoderma-based

biostimulants modulate rhizosphere microbial populations and improve N uptake efficiency, yield, and nutritional quality of leafy vegetables. *Frontiers in Plant Science*, 9:743.

Food and Agriculture Organization, 2017. *The Future of Food and Agriculture Trends and Challenges*. <https://www.fao.org/3/i6583e/i6583e.pdf>

Fouad Fawzy Z., 2010. Increasing Productivity of Head Lettuce by Foliar Apraying of some Bio and Organic compounds. *Mesopotamia Journal of Agriculture*, 38:20–28.

Gao J., Xie P., Zhuo L., Shang K., Ji X. and Wu P., 2021. Water footprints of irrigated crop production and meteorological driving factors at multiple temporal scales. *Agricultural Water Management*, 255(221):1-12.

Geerts S. and Raes D., 2009. Deficit irrigation as an on-farm strategy to maximize crop water productivity in dry areas. *Agricultural Water Management* 96:1275-1284.

Gill, S.S. and Tuteja, N., 2010. Reactive oxygen species and antioxidant machinery in abiotic stress tolerance in crop plants. *Plant Physiology and Biochemistry*, 48:909–930.

Giordano M., El-Nakhel C., Caruso G., Cozzolino E., De Pascale S., Kyriacou M.C., Colla G. and Rouphael Y., 2020. Stand-Alone and Combinatorial Effects of Plant-based Biostimulants on the Production and Leaf Quality of Perennial Wall Rocket. *Plants*, (9):1-15.

Girona J., Mata M., Arbonés A., Alegre S., Rufat J. and Marsal J., 2003. Peach tree response to single and combined regulated deficit irrigation regimes under shallow soils. *Journal of American Society for Horticultural Science*, 128:432-440.

Girona J., Mata M., Goldhammer D.A., Jhonson R.S. and DeJong T.M., 1993. Patterns of soil and tree water status in leaf functioning during regulated deficit irrigation in peach. *Journal of American Society for Horticultural Science*, 118:580-586.

Giuliani M.M., Gatta G., Nardella E. and Tarantino E., 2016. Water saving strategies assessment on processing tomato cultivated in Mediterranean region. *Italian Journal of Agronomy*, 11:738.

Greger M., Bergqvist C., Sandhi A. and Landberg T.H., 2015. Influence of silicon on arsenic uptake and toxicity in lettuce. *Journal of Applied Botany and Food Quality*, 88, 234240.

Grusson Y., Wesström I. and Joel A., 2021. Impact of climate change on Swedish agriculture: Growing season rain deficit and irrigation need. *Agricultural Water Management*, 251:1-10.

Hadwiger L.A., 2013. Multiple effects of chitosan on plant systems: Solid science or hype. *Plant Science*, 208:42–49.

Halpern M., Bar-Tal A., Ofek M., Minz D., Muller T. and Yermiyahu U., 2015. The Use of Biostimulants for Enhancing Nutrient Uptake: Chapter 2. *Advances in Agronomy*, 130:141-174.

Hernandez O.L., Calderín A., Huelva R., Martínez-Balmori D., Guridi F., Aguiar N.O., Olivares F.L. and Canellas L.P., 2015. Humic substances from vermicompost enhance urban lettuce production. *Agronomy for Sustainable Development*, 35:225–232.

Hoekstra A.Y., Chapagain A.K., Aldaya M.M. and Mekonnen M.M., 2011. *The Water Footprint Assessment Manual: Setting the Global Standard*. Earthscan, London, UK.

Huang S., Zheng X., Luo L., Ni Y., Yao L. and Ni W., 2021. Biostimulants in bioconversion compost of organic waste: A novel booster in sustainable agriculture. *Journal of Cleaner Production*, 319:1-9.

Jiménez-Arias D., García-Machado F.J., Morales-Sierra S., Luis J.C., Suarez E., Hernández M., Valdés F. and Borges A.A., 2019. Lettuce plants treated with L-pyroglutamic acid increase yield under water deficit stress. *Environmental and Experimental Botany*, 158:215-222.

Kapoor R.V., Wood E.E. and Llewellyn C.A., 2021. Algae biostimulants: A critical look at microalgal biostimulants for sustainable agricultural practices. *Biotechnology Advances*, 49:1-27.

Katiyar D., Hemantaranjan A. and Singh B., 2015. Chitosan as a promising natural compound to enhance potential physiological responses in plant: a review. *Indian Journal of Plant Physiology*, 20:1–9.

Kim M.J., Moon Y., Tou J.C., Mou B. and Waterland N.L., 2016. Nutritional value, bioactive compounds and health benefits of lettuce (*Lactuca sativa* L.). *Journal of Food Composition and Analysis*, 49:19-34.

Koleška I., Hasanagić D., Todorović V., Murtić S., Klokić I., Parađiković N. and Kukavica B., 2017. Biostimulant prevents yield loss and reduces oxidative damage in tomato plants grown on reduced NPK nutrition. *Journal of Plant Interactions*, 12:209–218.

Konstantopoulou E., Kapotis G., Salachas G., Petropoulos S.A., Karapanos I.C. and Passam H.C., 2010. Nutritional quality of greenhouse lettuce at harvest and after storage in relation to N application and cultivation season. *Scientia Horticulturae*, 125(2010):93.e1-93.e5.

Kopta T., Pavlíková M., Šekara A., Pokluda R. and Maršálek B., 2018. Effect of Bacterial-algal Biostimulant on the Yield and Internal Quality of Lettuce (*Lactuca sativa* L.) Produced for Spring and Summer Crop. *Notulae Botanicae Horti Agrobotanicy Cluj-Napoca*, 46(2):615-621.

Kramer P.J. and Boyer J.S., 1995. *Water Relations of Plants and Soils*. Academic Press, San Diego, CA, p.p. 1-482.

Läuchli A. and Grattan S.R., 2011. Plant Responses to Saline and Sodic Conditions. In *Agricultural Salinity Assessment and Management*, American Society of Civil Engineers, Reston, VA, USA, 2011, pp. 169–205.

Li S.H., Huguet J.G., Schoch P.G. and Orlando P. 1989. Response of peach tree growth and cropping to soil water deficit at various phenological stages of fruit development. *Journal of Horticultural Sciences*, 64:541-552.

Li Y., Wang H., Cheng Y., Deng M., Li Q., Wufu A., Wang D. and Ma L., 2020. Estimation of regional irrigation water requirements and water balance in Xinjiang, China during 1995-2017. *PeerJ* 8.

Lin F.W., Lin K.H., Wu C.W. and Chang Y.S., 2020. Effects of Betaine and Chitin on Water Use Efficiency in Lettuce (*Lactuca sativa* var. capitata). *HortScience*, 55(1):89-95.

Lisiecka J., Knaflewski M., Spizewski T., Fraszczak B., Kaluzewicz A. and Krzesinski W., 2011. The effect of animal protein hydrolysate on quantity and quality of strawberry daughter plants cv. 'Elsanta'. *Acta Scientiarum Polonorum Hortorum Cultus* 10(1):31–40.

Liu W., An W., Jeppesen E., Ma J., Yang M. and Trolle D., 2019. Modelling the fate and transport of cryptosporidium, a zoonotic and waterborne pathogen, in the Daning River watershed of the Three Gorges Reservoir Region, China. *Journal of Environmental Management* 232:462-474.

Lo Bianco R., Talluto G. and Farina V., 2012. Effects of partial rootzone drying and rootstock vigour on dry matter partitioning of apple trees (*Malus domestica* cvar Pink Lady). *The Journal of Agricultural Science*, 150:75–86.

López-Bucio J., Pelagio-Flores R. and Herrera-Estrella A., 2015. Trichoderma as biostimulant: exploiting the multilevel properties of a plant beneficial fungus. *Scientia Horticulturae*, 196:109–123.

Lucini L., Roupael Y., Cardarelli M., Canaguier R., Kumar P. and Colla G., 2015. The effect of a plant-derived biostimulant on metabolic profiling and crop performance of lettuce grown under saline conditions. *Scientia Horticulturae*, 182:124-133.

Luna M.C., Tudela J.A., Martínez-Sánchez A., Allende A. and Gil M.I., 2013. Optimizing water management to control respiration rate and reduce browning and microbial load of fresh-cut romaine lettuce. *Postharvest Biology and Technology*, 80:9-17.

Luna M.C., Tudela J.A., Martínez-Sánchez A., Allende A., Marín A. and Gil M.I., 2012. Long-term deficit and excess of irrigation influences quality and browning related enzymes and phenolic metabolism of fresh-cut iceberg lettuce (*Lactuca sativa* L.). *Postharvest Biology and Technology*, 73:37-45.

Luque A., Peralta M.E., De Las Heras A. and Cordoba A., 2017. State of the Industry 4.0 in the Andalusian food sector. *Procedia Manufacturing*, 13:1199–1205.

Luziatelli F., Ficca A.G., Colla G., Baldassarre Švecová E. and Ruzzi M., 2019. Foliar Application of Vegetal-Derived Bioactive Compounds Stimulates the Growth of Beneficial Bacteria and Enhances Microbiome Biodiversity in Lettuce. *Frontiers in Plant Science*, 10, 60:1-16.

Malécange M., Pérez-García M.D., Citerne S., Sergheraert R., Lalande J., Teulat B., Mounier E., Sakr S. and Lothier J., 2022. Leafamine®, a Free Amino Acid-Rich Biostimulant, Promotes Growth Performance of Deficit-Irrigated Lettuce. *International Journal of Molecular Sciences*, 23, 7338:1-19.

Maseko I., Ncube B., Mabhaudhi T., Tesfay S., Chimonyo V.G.P., Araya H.T., Fessehazion M. and Du Plooy C.P., 2019. Moisture stress on physiology and yield of some indigenous leafy vegetables under field conditions. *South African Journal of Botany*, 126:85-91.

Milne C.J., Laubscher C.P., Ndakidemi P.A., Marnewick J.L., Rautenbach F., 2012. Salinity Induced Changes in Oxidative Stress and Antioxidant Status as Affected by Applications of Silicon in Lettuce (*Lactuca sativa* L.). *Int. Journal of Agriculture and Biology*, 14, 6.

Moe P.G., Mannering J.V. and Johnson C.B., 1967. Loss of fertilizer nitrogen in surface runoff water. *Soil Science*, 104:389–394.

Mógor A.F., Ördög V., Lima G.P.P., Molnár Z. and Mógor G., 2018. Biostimulant properties of cyanobacterial hydrolysate related to polyamines. *Journal of Applied Phycology*, 30:453–460.

Möller M. and Smith M.L., 1998. The significance of the mineral component of seaweed suspensions on lettuce (*Lactuca sativa* L.) seedling growth. *Journal of Plant Physiology*, 153(5–6):658–63.

Moncada A., Vetrano F. and Miceli A., 2020. Alleviation of Salt Stress by Plant-Growth-Promoting Bacteria in Hydroponic Leaf Lettuce. *Agronomy*, 10:1-23.

Munns R. and Tester M., 2008. Mechanisms of Salinity Tolerance. *Annual Review of Plant Biology*, 59:651–681.

Mushtaq S. and Moghaddasi M., 2011. Evaluating the potentials of deficit irrigation as an adaptive response to climate change and environmental demand. *Environmental Science and Policy*, 14:1139-1150.

Mutlu-Durak H. and Kutman, B.Y., 2021. Seed treatment with biostimulants extracted from weeping willow (*Salix babylonica*) enhances early maize growth. *Plants* 10, 1449.

Omami E.N. and Hammes P.S., 2006. Interactive effects of salinity and water stress on growth, leaf water relations, and gas exchange in amaranth (*Amaranthus* spp.). *New Zealand Journal of Crop and Horticultural Science*, 34(1):33–44.

Ortiz-Bobea A., Ault T.R., Carrillo C.M., Chambers R.G. and Lobell D.B., 2021. Anthropogenic climate change has slowed global agricultural productivity growth. *Nature Climate Change*, 11(4):306–312.

Paim B.T., Crizel R.L., Tatiane S.J., Rodrigues V.R., Rombaldi C.V. and Galli V., 2020. Mild drought stress has potential to improve lettuce yield and quality. *Scientia Horticulturae*, 272:1-7.

Parađiković N., Vinković T., Vinković Vrček I., Žuntar I., Bojić M. and Medić-Šarić M., 2011. Effect of natural biostimulants on yield and nutritional quality: an example of sweet yellow pepper (*Capsicum annuum* L.) plants. *Journal of the Science of Food and Agriculture*, 91:2146–2152.

Passera A., Vacchini V., Cocetta G., Shazhad G., Arpanahi A.A., Casati P., Ferrante A. and Piazza L., 2020. Towards nutrition-sensitive agriculture: an evaluation of biocontrol effects, nutritional value, and ecological impact of bacterial inoculants. *Science of the Total Environment*, 724.

Pecha J., Furst T., Kolomazník K., Friebrová V. and Svoboda, P., 2012. Protein biostimulant foliar uptake modeling: the impact of climatic conditions. *AIChE Journal*, 58:2010– 2019.

Petropoulos S.A. and Chaski C., 2021. The Effect of Biostimulant Application on Lettuce Growth Parameters. *Agrosym* 2021. http://biocrop.agr.uth.gr/wp-content/uploads/2021/11/poster-lettuce-final_new2.pdf (accessed 20 July 2022).

Pichyangkura R. and Chadchawan S., 2015. Biostimulant activity of chitosan in horticulture. *Scientia Horticulturae*, 196:49-65.

Porporato A., Laio F., Ridolfi L. and Rodriguez-Iturbe I., 2001. Plants in water-controlled ecosystems: active role in hydrologic processes and response to water stress. III. Vegetation water stress. *Advances in Water Resources*, 24:725–744.

Rady M.M. and Rehman H.u., 2016. Supplementing organic biostimulants into growing media enhances growth and nutrient uptake of tomato transplants. *Scientia Horticulturae*, 203:192-198.

R'him T., Romdhane L., Nicoletto C., Tlili I., Ilahy R., Ghannem S. and Radhouane L., 2022. Changes in morphological and physiological parameters affecting lettuce cultivars due to nitrogen fertilizer in greenhouse tunnel. *Journal of Postharvest Technology*, 10(1):19-34.

Robinson D.W., 2004. Economic Analysis of Deficit Irrigation on Broadacre Crops to Improve On-farm Water Use Efficiency. Master Thesis, University of New England.

Rodell M., Famiglietti J.S., Wiese D.N., Reager J.T., Beaudoin H.K., Landerer F.W. and Lo M.H., 2018. Emerging trends in global freshwater availability. *Nature* 557 (7707):651–659.

Rouphael Y. and Colla G., 2020. Editorial: biostimulants in agriculture. *Frontiers in Plant Science* 11:40.

Rouphael Y., Franken P., Schneider C., Schwarz D., Giovannetti M., Agnolucci M., De Pascale S., Bonini P. and Colla G., 2015. Arbuscular mycorrhizal fungi act as biostimulants in horticultural crops. *Scientia Horticulturae*, 196:91-108.

Rouphael Y., Kyriacou M.C., Petropoulos S.A., De Pascale S. and Colla G., 2018. Improving vegetable quality in controlled environments. *Scientia Horticulturae*, 234:275-289.

Russo R.O. and Berlyn G.P., 1992. Vitamin-humic-algal root biostimulant increases yield of green bean. *Hortscience*, 27, 847.

Saia S., Colla G., Raimondi G., Di Stasio E., Cardarelli M., Bonini P., Vitaglione P., De Pascale S. and Rouphael Y., 2019. An endophytic fungi-based biostimulant modulated lettuce yield, physiological and functional quality responses to both moderate and severe water limitation. *Scientia Horticulturae*, 256:1-10.

Saleth R.M., 2013. Water management, food security and sustainable agriculture in developing economies. *International Journal of Water Resources Development*, 29(4):678–681.

Sánchez L., Díez J.A., Vallejo A. and Cartagena M.C., 2001. Denitrification losses from irrigated crops in central Spain. *Soil Biology and Biochemistry*, 33:1201-1209.

Savo V., Lepofsky D., Benner J.P., Kohfeld K.E., Bailey J. and Lertzman K., 2016. Observations of climate change among subsistence-oriented communities around the world. *Nature Climate Change*, 6:462–473.

Schachtman D.P., Reid R.J. and Ayling S.M., 1998. Phosphorus uptake by plants: from soil to cell. *Plant Physiology*, 116:447–453.

Schwarz D., Roupael Y., Collac G. and Venema J.H., 2010. Grafting as a tool to improve tolerance of vegetables to abiotic stresses: Thermal stress, water stress and organic pollutants. *Scientia Horticulturae*, 127:162–171.

Senatore A., Mendicino G., Smiatek G. and Kunstmann H., 2010. Regional climate change projections and hydrological impact analysis for a Mediterranean basin in Southern Italy. *Journal of Hydrology*, 399:70–92.

Senyigit U. and Kaplan D., 2013. Impact of different irrigation water levels on yield and some quality parameters of lettuce (*Lactuca sativa* L. var. *Longifolia* cv.) under unheated greenhouse condition. *Infrastruktura i Ekologia Terenów Wiejskich*, 2:97-107.

Shannon M.C. and Grieve C.M., 1999. Tolerance of vegetable crops to salinity. *Scientia Horticulturae*, 78:5–38.

Sharma H.S., Fleming C., Selby C., Rao J.R. and Martin T., 2014. Plant biostimulants: a review on the processing of macroalgae and use of extracts for crop management to reduce abiotic and biotic stresses. *Journal of Applied Phycology*, 26:465–490.

Shekhar S.H.S., Lyons G., McRoberts C., McCall D., Carmichael E., Andrews F. and McCormack R., 2012. Brown seaweed species from Strangford Lough: compositional

analyses of seaweed species and biostimulant formulations by rapid instrumental methods. *Journal of Applied Phycology*, 24:1141–1157.

Siomos S.A., Papadopoulou P.P., Dogras C.C., Vasiliadis E., Docas A. and Georgiou N., 2002. Lettuce composition as affected by genotype and leaf position. *Acta Horticulturae*, 579:635-639.

Smoleń S., Kowalska I., Kováčik, P., Halka M. and Sady W., 2019. Biofortification of six varieties of lettuce (*Lactuca sativa* L.) with iodine and selenium in combination with the application of salicylic acid. *Frontiers in Plant Science*, 10:1–13.

Sorrentino M., Colla G., Rouphael Y., Panzarová K. and Trtílek M., 2020. Lettuce reaction to drought stress: automated high-throughput phenotyping of plant growth and photosynthetic performance. *Acta Horticulturae*, 1268.

Stephenson N.L., 1990. Climatic control of vegetation distribution: the role of the water balance. *The American Naturalist*, 135(5):649-670.

Taiz L. and Zeiger E., 2017. *Fisiologia vegetal*, 6. ed. Artmed, 918, p.p. 1-1189.

Tijjani S.B., Giri S. and Woznicki S.A., 2022. Quantifying the potential impacts of climate change on irrigation demand, crop yields, and green water scarcity in the New Jersey Coastal Plain. *Science of the Total Environment* (838):1-14.

Tilman D., Balzer C., Hill J. and Belfort B.L., 2011. Global food demand and the sustainable intensification of agriculture. *Proceedings of the National Academy of Sciences U. S. A.*, 108:20260–20264.

Ullah H., Santiago-Arenas R., Ferdous Z., Attia A. and Datta A., 2019. Chapter Two; Improving water use efficiency, nitrogen use efficiency, and radiation use efficiency in field crops under drought stress: a review. *Advances in Agronomy*, 156:109–157.

United Nations, 2015. Transforming Our World: The 2030 Agenda for Sustainable Development. Department of Economic and Social Affairs. <https://sdgs.un.org/2030agenda>

Ünlü M., Kanber R., Senyigit U., Onaran H. and Diker K., 2006. Trickle and sprinkler irrigation of potato (*Solanum tuberosum* L.) in the middle Anatolian region in Turkey. *Agricultural Water Management*, 79:43–71.

Van Oosten M.J., Pepe O., De Pascale S., Silletti S. and Maggio A., 2017. The role of biostimulants and bioeffectors as alleviators of abiotic stress in crop plants. *Chemical and Biological Technologies in Agriculture*, 4, 5:1-12.

Vranova V., Rejsek K., Skene K.R. and Formanek P., 2011. Non-protein amino acids: plant, soil and ecosystem interactions. *Plant Soil*, 342:31–48.

Waśkiewicz A., Gładysz O., Beszterda M. and Goliński P., 2016. Water stress and vegetable crops. In: Ahmad P. (ed.), *Water Stress and Crop Plants: A Sustainable Approach*, Volume 2, First Edition, J. Wiley Publishers, New York, p.p. 393-411.

Xu L. and Geelen, D., 2018. Developing biostimulants from agro-food and industrial by-products. *Frontiers in Plant Science*, 9:1567.

Xu C. and Leskovar D.I., 2015. Effects of *A. nodosum* seaweed extracts on spinach growth, physiology and nutrition value under drought stress. *Scientia Horticulturae*, 183:39-47.

Yakhin O.I., Lubyantsev A.A., Yakhin I.A. and Brown P.H., 2017. Biostimulants in plant science: a global perspective. *Frontiers in Plant Science*, 7.

Yang Y., Ren W., Tao B., Ji L., Liang L., Ruane A.C., Fisher G.B., Liu J., Sama M., Li Z. and Tian Q., 2020. Characterizing spatiotemporal patterns of crop phenology across North America during 2000-2016 using satellite imagery and agricultural survey data. *ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing* 170:156-173.

Yaseen A.A. and Takacs-Hajos M., 2022. The effect of plant biostimulants on the macronutrient content and ion ratio of several lettuce (*Lactuca sativa* L.) cultivars grown in a plastic house. *South African Journal of Botany*, 146:223-230.

Yin H., Zhao X.M. and Du Y.G., 2010. Oligochitosan: a plant diseases vaccine—a review. *Carbohydrate Polymers*, 82:1–8.

Zegbe-Domínguez J.A., Behboudian M.H., Lang A. and Clothier B.E., 2003. Deficit irrigation and partial rootzone drying maintain fruit dry mass and enhance fruit quality in ‘Petopride’ processing tomato (*Lycopersicon esculentum*, Mill.). *Scientia Horticulturae*, 98:505-510.

Zhang X., Ervin E.H. and Schmidt R.E., 2003. Plant growth regulators can enhance the recovery of kentucky bluegrass sod from heat injury. *Crop Science*, 43:952–956.

Zhao C., Liu B., Piao S., Wang X., Lobell D.B., Huang Y., Huang M., Yao Y., Bassu S., Ciais P., Durand J.L., Elliott J., Ewert F., Janssens I.A., Li T., Lin E., Liu Q., Martre P., Müller C., Peng S., Peñuelas J., Ruane A.C., Wallach D., Wang T., Wu D., Liu Z., Zhu Y., Zhu Z. and Asseng S., 2017. Temperature increase reduces global yields of major crops in four independent estimates. *Proceedings of the National Academy of Sciences U. S. A.*, 114:9326–9331.

Zulfiqar F., Casadesús A., Brockman H. and Munné-Bosch S., 2020. An overview of plant-based natural biostimulants for sustainable horticulture with a particular focus on moringa leaf extracts. *Plant Science*, 295:1-10.

Κεφάλαιο 7ο: Παραρτήματα

Παράρτημα Α

Πίνακας των μέσων όρων δεδομένων και σημαντικότητας των στατιστικών διαφορών τους για τα μαρούλια τύπου Batavia. Τα κεφαλαία γράμματα αφορούν στη σύγκριση των μέσων των διαφορετικών επιπέδων άρδευσης για κάθε βιοδιεγέρτη, ενώ τα μικρά γράμματα αφορούν στη σύγκριση των μέσων των διαφορετικών βιοδιεγερτών για κάθε επίπεδο άρδευσης. Και στις δυο περιπτώσεις η σύγκριση των μέσων έγινε με βάση το κριτήριο Tukey HSD test ($p=0.05$).

Άρδευση	Βιοδιεγέρτης	SPAD 1 ^η μέτρηση (CCI)	SPAD 2 ^η μέτρηση (CCI)	SPAD 3 ^η μέτρηση (CCI)	Ύψος 1 ^η μέτρηση (cm)	Ύψος 2 ^η μέτρηση (cm)	Ύψος 3 ^η μέτρηση (cm)	Νωπό βάρος φυτών (g)	Νωπό βάρος φύλλων (g)	Αριθμός φύλλων	LAI ((cm) ²)	Ξηρή ουσία (%)	SLA (((m) ² /kg)	WUE (kg/((m) ³)
Control	Control	7,2abB	11,0aA	11,2aA	5,8aB	8,0abB	9,5abB	263,4abcA	237,7cB	16,7bAB	3421aA	6,0aB	57,1bcA	21,7cB
66%		8,9aA	9,5aB	11,0bA	8,6aA	9,4aA	10,7abA	273,7aA	298,4aA	17,3cA	4084abA	6,5aB	62,6bA	31,3bA
46%		8,1aA	9,0aB	10,8bA	8,1abA	9,0abcA	10,1abAB	106,1bB	103,1dC	14,2cB	1530aB	9,0aA	17,8cB	15,9cC
Control	AGR109	7,2abB	10,6aA	10,8aB	6,3aB	7,7bB	9,3abB	235,8bcB	215,7dA	17,5bAB	2988aA	6,2aB	47,9dA	19,4dB
66%		8,3aA	9,7aAB	12,0abAB	8,4aA	9,4aA	10,6abA	298,5aA	217,0dA	18,8abcA	2916bA	6,7aB	44,3dA	34,1abA
46%		7,4aAB	8,6aB	13,2aA	7,8bA	8,7bcA	10,2abAB	139,1abC	133,7bB	16,5abcB	1965aB	8,2aA	24,7aB	20,8bB
Control	AGR110	8,3aA	10,7aA	11,4aA	6,1aB	7,5bC	8,8bB	225,3cB	214,6dB	17,3bB	3808aAB	6,5aB	60,4bB	18,6dC
66%		8,6aA	10,0aA	12,2abA	7,8aA	8,8aB	10,4abA	303,3aA	291,2aA	19,7abA	4665aA	6,3aB	74,1aA	34,7abA
46%		7,8aA	9,8aA	12,3abA	8,7aA	9,7aA	11,0aA	145,8abC	121,1cC	16,8abcB	1885aB	9,4aA	21,0bC	21,8bB
Control	AGR111+ AGR112	8,2aAB	12,2aA	12,3aA	6,2aB	8,1abB	9,4abB	281,2abA	234,6cA	19,2aA	3011aA	5,8aB	52,0cdA	23,2bB
66%		9,1aA	10,7aAB	13,0aA	8,0aA	8,7aAB	9,7bAB	289,2aA	242,4cA	18,3bcA	3624abA	6,6aB	55,2cA	33,1abA
46%		7,2aB	9,4aB	13,9aA	8,2abA	9,5abA	10,9aA	166,0aB	141,2aB	18,0abA	2037aB	8,1aA	25,0aB	24,8aB
Control	AGR113	7,2abA	11,3aA	11,1aB	6,1aB	8,4aB	9,9aB	315,4aA	313,7aA	18,3abAB	4439aA	6,0aB	76,1aA	26,0aB
66%		8,4aA	9,6aB	12,0abAB	8,5aA	9,5aA	10,9aA	291,9aA	265,5bB	18,7bcA	4608aA	6,2aB	76,9aA	33,4abA
46%		8,3aA	8,5aB	12,7aA	7,7bA	8,6cB	9,4bB	136,8abB	131,2bC	16,2bcB	1921aB	8,4aA	23,4abB	20,5bC
Control	AGR114	6,5bB	10,9aA	11,7aA	5,4aB	8,0abB	10,1aA	259,9bcB	282,4bA	17,9abB	3821aA	6,4aB	60,2bA	21,4cB
66%		8,3aA	9,9aAB	11,3bA	8,1aA	9,0aA	10,0abA	317,9aA	258,6bB	20,9aA	3268abA	6,2aB	52,0cA	36,3aA
46%		8,4aA	8,7aB	12,6abA	8,1abA	9,3abcA	10,7aA	158,4aC	109,7dC	19,2aAB	1761aB	9,4aA	21,8bB	23,7aB

Παράρτημα Β

Πίνακας των μέσων όρων δεδομένων και σημαντικότητας των στατιστικών διαφορών τους για τα μαρούλια τύπου Romaine. Τα κεφαλαία γράμματα αφορούν στη σύγκριση των μέσων των διαφορετικών επιπέδων άρδευσης για κάθε βιοδιεγέρτη, ενώ τα μικρά γράμματα αφορούν στη σύγκριση των μέσων των διαφορετικών βιοδιεγερτών για κάθε επίπεδο άρδευσης. Και στις δυο περιπτώσεις η σύγκριση των μέσων έγινε με βάση το κριτήριο Tukey HSD test ($p=0.05$).

Άρδευση	Βιοδιεγέρτης	SPAD 1 ^η μέτρηση (CCI)	SPAD 2 ^η μέτρηση (CCI)	SPAD 3 ^η μέτρηση (CCI)	Ύψος 1 ^η μέτρηση (cm)	Ύψος 2 ^η μέτρηση (cm)	Ύψος 3 ^η μέτρηση (cm)	Νωπό βάρος φυτών (g)	Νωπό βάρος φύλλων (g)	Αριθμός φύλλων	LAI ((cm) ²)	Ξηρή ουσία (%)	SLA (((m) ² /kg)	WUE (kg/((m) ³)
Control	Control	10,9bB	18,8abA	22,6abA	7,0abA	9,1abA	11,0aA	297,5aA	271,3bA	27,6abA	3818aA	5,9aB	64,9aA	24,5aA
66%		11,5abB	17,8aA	18,8aB	6,8abA	8,4abB	10,0abAB	229,6abB	241,1bB	24,6bA	3458aA	6,2abB	57,7bA	26,2bcA
46%		14,6aA	15,3aB	21,6abAB	6,9abA	8,0abB	9,0abB	109,4bcC	93,9cC	23,5aA	1599bcB	9,4aA	17,5bB	16,4cB
Control	AGR109	13,7aAB	16,7bAB	21,8abA	7,1abA	9,2abA	10,6abA	292,6aA	274,9bA	25,5bcA	3969aA	6,0aB	66,9aA	24,1aB
66%		12,2aB	18,7aA	19,8aA	6,6abA	7,4bB	9,0bB	291,3aA	271,8aA	29,3aA	3089aB	5,1bB	67,3aA	33,3aA
46%		15,2aA	16,0aB	20,8abA	6,8abA	7,9abB	9,0abB	132,5abB	133,4aB	26,0aA	2188aC	8,2bcA	26,9aB	19,8abC
Control	AGR110	13,1aA	18,2abA	21,8abA	7,8aA	9,3aA	10,6abA	178,6bB	141,4dB	21,9bB	2195bcB	6,6aB	33,4cB	14,7cC
66%		10,1bB	16,6aA	18,8aA	7,5aA	8,8aA	10,1aA	243,5abA	194,1dA	27,0abA	3015aA	7,2aB	41,9dA	27,8bA
46%		14,6aA	15,8aA	20,0abA	6,3bB	7,4bB	8,1bB	115,8bC	88,7cC	20,1bB	1543bcC	8,6abA	18,2bC	17,3bcB
Control	AGR111+ AGR112	13,0aAB	19,7aA	23,3aA	7,3abA	9,0abA	10,3abA	160,2bA	127,2eB	27,3abcA	2039cB	7,1aC	28,6cB	13,2cB
66%		11,1abB	18,9aA	20,7aA	6,9abA	8,0abAB	9,1abAB	199,4bA	199,3cdA	25,1abA	3045aA	6,0abB	50,8cA	22,8dA
46%		14,7aA	14,1aB	21,1abA	7,4aA	7,9abB	8,7abB	72,7dB	54,9eC	18,9bB	1167cC	9,1abA	12,7cC	10,9dB
Control	AGR113	12,5abAB	18,6abA	19,6bA	7,0abAB	8,8abA	10,5abA	279,2aA	323,8aA	30,9aA	4354aA	6,2aB	73,1aA	23,0aB
66%		11,2abB	16,7aAB	19,5aA	6,2bB	7,7bB	9,8abA	246,8abA	204,9cB	27,0abAB	3415aB	6,2abB	68,2aA	28,2bA
46%		14,2aA	15,6aB	19,8bA	7,7aA	8,5aA	9,4aA	146,2aB	105,6bC	24,6aB	1855abC	7,6cA	24,6aB	21,9aB
Control	AGR114	12,1abB	18,0abA	22,4abA	6,8bAB	8,6bA	9,8bA	221,2abA	175,1cB	25,3bcA	2951bA	7,0aB	42,1bA	18,2bB
66%		11,5abB	18,5aA	20,0aA	6,2bB	7,9abA	9,8abA	224,3abA	204,8cA	27,1abA	3136aA	6,7aB	48,4cA	25,6cA
46%		15,4aA	16,1aA	22,7aA	7,3aA	8,4aA	9,5aA	83,5cdB	65,2dC	20,4bB	1150cB	9,2abA	12,5cB	12,5dC