



«Σχολή Θετικών Επιστημών και Τεχνολογίας»

«Καλλιέργειες υπό κάλυψη»

Διπλωματική Εργασία

«Η χρήση βιοδιεγερτών για τον μετριασμό της μεταφυτευτικής
διαταραχής στο μαρούλι»

Δημήτρης Κρινής

Επιβλέπων Καθηγητής: Αναστάσιος Σιώμος

Πάτρα, Ιούνιος 2023

Η παρούσα εργασία αποτελεί πνευματική ιδιοκτησία του/της φοιτητή/φοιτήτριας («συγγραφέας/δημιουργός») που την εκπόνησε. Στο πλαίσιο της πολιτικής ανοικτής πρόσβασης ο συγγραφέας/δημιουργός εκχωρεί στο ΕΑΠ, μη αποκλειστική άδεια χρήσης του δικαιώματος αναπαραγωγής, προσαρμογής, δημόσιου δανεισμού, παρουσίασης στο κοινό και ψηφιακής διάχυσής τους διεθνώς, σε ηλεκτρονική μορφή και σε οποιοδήποτε μέσο, για διδακτικούς και ερευνητικούς σκοπούς, άνευ ανταλλάγματος και για όλο το χρόνο διάρκειας των δικαιωμάτων πνευματικής ιδιοκτησίας. Η ανοικτή πρόσβαση στο πλήρες κείμενο για μελέτη και ανάγνωση δεν σημαίνει καθ' οιονδήποτε τρόπο παραχώρηση δικαιωμάτων διανοητικής ιδιοκτησίας του συγγραφέα/δημιουργού ούτε επιτρέπει την αναπαραγωγή, αναδημοσίευση, αντιγραφή, αποθήκευση, πώληση, εμπορική χρήση, μετάδοση, διανομή, έκδοση, εκτέλεση, «μεταφόρτωση» (downloading), «ανάρτηση» (uploading), μετάφραση, τροποποίηση με οποιονδήποτε τρόπο, τμηματικά ή περιληπτικά της εργασίας, χωρίς τη ρητή προηγούμενη έγγραφη συναίνεση του συγγραφέα/δημιουργού. Ο συγγραφέας/δημιουργός διατηρεί το σύνολο των ηθικών και περιουσιακών του δικαιωμάτων.

«Η χρήση βιοδιεγερτών για τον μετριασμό της μεταφυτευτικής διαταραχής στο μαρούλι»

Δημήτριος Κρινής

Επιτροπή Επίβλεψης Πτυχιακής / Διπλωματικής Εργασίας

Επιβλέπων Καθηγητής:

Αναστάσιος Σιώμος

Καθηγητής ΑΠΘ

Συν-Επιβλέπουσα Καθηγήτρια:

Γεωργία Ντάτση

Επίκουρη καθηγήτρια ΓΠΑ

Πάτρα, Ιούνιος 2023

Ολοκληρώνοντας τις μεταπτυχιακές σπουδές μου, θα ήθελα να ευχαριστήσω τον επιβλέποντα καθηγητή μου, κ. Αναστάσιο Σιώμο, για την καθοδήγηση και βοήθεια που μου προσέφερε καθ' όλη τη διάρκεια εκπόνησης της έρευνας και συγγραφής της μεταπτυχιακής μου εργασίας.

Θα ήθελα επιπλέον να ευχαριστήσω τον αδελφό μου και συνάδελφο Θοδωρή Κρινή για την παραχώρηση του θερμοκηπίου και την άριστη διατήρηση της καλλιέργειας, καθώς και τον Δημήτριο Κασαμπαλή, μεταδιδάκτορα στο Εργαστήριο Λαχανοκομίας του Τμήματος Γεωπονίας ΑΠΘ για την πραγματοποίηση των μετρήσεων του φθορισμού της χλωροφύλλης και τη συνεισφορά του στις εργαστηριακές αναλύσεις του φυτικού υλικού.

Περισσότερο από όλους, ευχαριστώ τη σύζυγο μου Θεοδοσία για την υποστήριξη της τα δυο αυτά χρόνια.

ΠΕΡΙΛΗΨΗ

Η μεταφυτευτική διαταραχή αποτελεί μία σημαντική καταπόνηση που προκαλείται λόγω της αποκοπής μέρους του ριζικού συστήματος των σποροφύτων κατά τη μεταφύτευση και της αλλαγής των συνθηκών του περιβάλλοντος. Η ένταση της διαταραχής εξαρτάται τόσο από το είδος του φυτού όσο και τις συνθήκες που επικρατούν κατά τη μεταφύτευση, αλλά και μετά από αυτήν. Στην εργασία αυτή μελετήθηκε η επίδραση της εφαρμογής ενός μικροβιακού βιοδιεγέρτη (Bactiva®) και ενός μη μικροβιακού (προϊόντος υδρολυμένης πρωτεΐνης ζωικής προέλευσης, Isabion®) στην αντιμετώπιση της μεταφυτευτικής διαταραχής, αλλά και την αύξηση, ανάπτυξη, ποιότητα και απόδοση του μαρουλιού στο θερμοκήπιο. Το Bactiva® εφαρμόστηκε με ριζοπότισμα των φυτών (0,2 g/L) με 100 mL/φυτό αμέσως μετά τη μεταφύτευση. Ακολούθησε ριζοπότισμα των φυτών (0,2 g/L) με 100 mL/φυτό 14 και 21 ημέρες μετά τη μεταφύτευση. Το Isabion® εφαρμόστηκε με ψεκασμό των φυτών στον δίσκο (2 mL/L) την ημέρα της μεταφύτευσης και ριζοπότισμα των φυτών (0,4 mL/L) με 100 mL/φυτό, αμέσως μετά τη μεταφύτευση. Ακολούθησε ριζοπότισμα των φυτών (0,4 mL/L) με 100 mL/φυτό 14 και 21 ημέρες μετά τη μεταφύτευση. Τα αποτελέσματα έδειξαν η εφαρμογή του Isabion® είχε σημαντική επίδραση στις παραμέτρους φθορισμού Fj, Fm/Fo, Fv/Fo, Fv/Fm, Area, Ss, Vj, Vi, Mo, ψ_0 , ϕ_{E_0} , ϕ_{D_0} , Pi_Pav, Pi_Abs, Abs/RC, TRo/RC και ETo/RC, με τα φύλλα να έχουν υψηλότερο δείκτη χλωροφύλλης (CCI) και λιγότερες ολικές διαλυτές φαινόλες, σε σχέση με τον μάρτυρα. Τα παραπάνω πιθανόν να συνιστούν κάποιες επιδράσεις στη μεταφυτευτική διαταραχή των φυτών μαρουλιού, χωρίς ωστόσο αυτές να συνοδεύονται από σημαντικές μεταβολές στις παραμέτρους του χρώματος των φύλλων (L^* , a^* , b^* , C^* και h^0), την περιεκτικότητα σε χλωροφύλλες (α , β , $\alpha+\beta$), ολικά καροτενοειδή, ξηρά ουσία, νιτρικά, την αντιοξειδωτική ικανότητα και το βάρος φυτού κατά τη συγκομιδή. Ωστόσο, αξιοσημείωτη επίδραση αποτελεί ότι το μεγαλύτερο ποσοστό των φυτών κατά τη συγκομιδή είχαν βάρος στην κλάση 351-400, ενώ στον μάρτυρα στην κλάση 301-350 g. Αντίθετα, η εφαρμογή του Bactiva® δεν είχε καμία σημαντική επίδραση στις παραμέτρους που προσδιορίστηκαν, σε σχέση με τον μάρτυρα. Η αποτυχία του μικροβιακού βιοδιεγέρτη να δείξει οποιοδήποτε αποτέλεσμα ενισχύει την κοινή πεποίθηση ότι όλοι οι μικροβιακοί βιοδιεγέρτες δεν είναι κατάλληλοι για όλα τα φυτά και για όλα τα οικοσυστήματα, καθώς και την άποψη ότι η αποτελεσματικότητά τους επηρεάζεται από τη φυσική μικροχλωρίδα, τη μέθοδο εφαρμογής

και τις επικρατούσες περιβαλλοντικές συνθήκες.

Λέξεις – Κλειδιά

Lactuca sativa L., Βιοδιεγέρτες, Δείκτης χλωροφύλλης (CCI), Φθορισμός χλωροφύλλης, Καροτενοειδή, Νιτρικά, Αντιοξειδωτική ικανότητα

The use of biostimulants to mitigate transplanting shock in lettuce

Dimitris Krinis

ABSTRACT

Transplanting shock is an important disorder that occurs due to cutting off part of the root system of transplants during transplanting and environmental change. The intensity of the disorder depends both on the type of plant and the conditions that prevail during and after transplanting. The aim of this study was to evaluate the effect of a microbial biostimulant (Bactiva®) and a non microbial (hydrolyzed protein product of animal origin, Isabion®) on transplanting shock but also in the plant growth, quality and yield of the lettuce crop in the greenhouse. Bactiva® was applied by drenching the plants (0.2 g/L) at 100 mL/plant immediately after transplanting. This was followed by consecutive drenching (0.2 g/L) with 100 mL/plant after 14 and 21 days. Isabion® was applied by spraying the plants in the tray (2 mL/L) on the day of transplanting and drenching the plants (0.4 mL/L) with 100 mL/plant immediately after transplanting. This was followed by root irrigation of the plants (0.4 mL/L) with 100 mL/plant after 14 and 21 days after transplanting. The results showed that the application of Isabion® had a significant effect on the fluorescence parameters Fj, Fm/Fo, Fv/Fo, Fv/Fm, Area, Ss, Vj, Vi, Mo, ψ_o , ϕ_{Eo} , ϕ_{Do} , Pi_Pav, Pi_Abs, Abs/RC, TRo /RC and ETo/RC, with leaves having a higher chlorophyll index (CCI) and less total soluble phenols, compared to the control. The above may constitute some effects on the post-plantation disorder of lettuce plants, without, however, being accompanied by significant changes in the leaf color parameters (L^* , a^* , b^* , C^* and h^o), the content of chlorophylls (a, b, a+b), total carotenoids, dry matter, nitrates, antioxidant capacity and plant weight at harvest. However, a notable effect is that the greater percentage of plants treated with Isabion® at harvest had a weight in the class of 351-400, while in the control in the class of 301-350 g. In contrast, the application of Bactiva® had no significant effect on the parameters determined, compared to the control. The failure of the microbial biostimulant to show any effect reinforces the common belief that all microbial biostimulants are not suitable for all plants and for all ecosystems, as well as the opinion that the effectiveness of their application is influenced by the native microflora, the

method of application and the prevailing environmental conditions.

Keywords

Lactuca sativa L., Biostimulants, Chlorophyll Content Index (CCI), Chlorophyll fluorescence, Carotenoids, Nitrates, Antioxidant capacity

Περιεχόμενα

Περίληψη.....	5
Abstract	7
Κατάλογος Εικόνων / Σχημάτων.....	11
Κατάλογος Πινάκων.....	12
2. Ανασκόπηση βιβλιογραφίας.....	14
2.1 Η μεταφύτευση.....	14
2.1.1 Η έννοια της μεταφυτευτικής καταπόνησης.....	14
2.1.2 Παράγοντες που επηρεάζουν την ένταση της μεταφυτευτικής διαταραχής.....	16
2.1.3 Τρόποι περιορισμού της μεταφυτευτικής διαταραχής.....	17
2.1.3.1 Σκληραγώγηση σποροφύτων	17
2.1.3.2 Εφαρμογή λιπάσματος πριν από την μεταφύτευση	18
2.1.3.4 Επιλογή βλαστικού σταδίου και ημέρας μεταφύτευσης	18
2.1.3.5 Η Εφαρμογή αντιδιαπνευστικών ουσιών.....	19
2.1.3.6 Η κατεργασία του εδάφους πριν την μεταφύτευση	20
2.2 Οι βιοδιεγέρτες.....	20
2.2.1 Η έννοια των βιοδιεγερτών	21
2.2.2 Η κατηγοριοποίηση των βιοδιεγερτών	22
2.2.2.1 Οι μικροβιακοί βιοδιεγέρτες	22
2.2.2.2 Οι υδρολυμένες πρωτεΐνες - αμινοξέα.....	24
2.2.2.3 Οι χουμικές ενώσεις.....	26
2.2.2.4 Τα εκχυλίσματα φυκιών.....	27
2.2.2.5 Βιοδιεγέρτες προερχόμενοι από την ανακύκλωση γεωργικών και αστικών αποβλήτων.....	29
2.2.2.6 Τα νανοϋλικά ως βιοδιεγέρτες.	29
2.2.3 Η επίδραση των βιοδιεγερτών στην περιεκτικότητα της χλωροφύλλης, τη φωτοσύνθεση και την ανάπτυξη των λαχανικών	30
2.2.4 Η επίδραση των φυτικών βιοδιεγερτών στην μικροβιακή δραστηριότητα του εδάφους.....	32
2.2.5 Η επίδραση των φυτικών βιοδιεγερτών στις βιοτικές και αβιοτικές καταπονήσεις	33
2.2.6 Επίδραση των βιοδιεγερτών στην απορρόφηση θρεπτικών συστατικών.....	34
2.2.7 Η επίδραση των βιοδιεγερτών στη μεταφυτευτική διαταραχή του μαρουλιού.....	35

3. Υλικά και μέθοδοι	36
3.1 Καλλιέργεια, φυτικό υλικό και μεταχειρίσεις.....	36
3.2 Συνθήκες περιβάλλοντος	37
3.3 Προσδιορισμοί	37
3.3.2 Φθορισμός χλωροφύλλης.....	38
3.3.3 Ποιότητα και σοβαρότητα της περιφερειακής νέκρωσης των φύλλων	38
3.3.4 Χρώμα.....	38
3.3.5 Ξηρά ουσία.....	38
3.3.6 Ολικές διαλυτές φαινόλες	38
3.3.7 Συνολική αντιοξειδωτική ικανότητα.....	39
3.3.8 Χρωστικές (χλωροφύλλες, καροτενοειδή).....	39
3.4 Επεξεργασία των δεδομένων	40
4. Αποτελέσματα	41
4.1 Συνθήκες περιβάλλοντος	41
4.2 Νωπό βάρος φυτού	41
4.3 Ποιότητα και περιφερειακή νέκρωση των φύλλων (tipburn)	41
4.4 Δείκτης περιεκτικότητας σε χλωροφύλλη (CCI)	42
4.5 Παράμετροι φθορισμού	42
4.6 Χρώμα φύλλων	43
4.7 Χλωροφύλλες.....	43
4.8 Ολικά καροτενοειδή.....	43
4.9 Ξηρά ουσία.....	43
4.10 Νιτρικά.....	44
4.11 Ολικές διαλυτές φαινόλες	44
4.12 Αντιοξειδωτική ικανότητα	44
5 Συζήτηση	45
Βιβλιογραφία	61

ΚΑΤΑΛΟΓΟΣ ΕΙΚΟΝΩΝ / ΣΧΗΜΑΤΩΝ

Σχήμα 1- Η ηλιακή ακτινοβολία, η θερμοκρασία και η σχετική υγρασία αέρα κατά τη διάρκεια της καλλιέργειας μαρουλιού..... **59**

Σχήμα 2- Το νωπό βάρος φυτών μαρουλιού κατά τη συγκομιδή, 63 ημέρες από τη μεταφύτευση, σε σχέση με τις μεταχειρίσεις **60**

ΚΑΤΑΛΟΓΟΣ ΠΙΝΑΚΩΝ

Πίνακας 1- Ανάλυση της παραλλακτικότητας (ANOVA) των δεδομένων για το νωπό βάρος των φυτών στις 35 και 63 ημέρες από την μεταφύτευση.....	51
Πίνακας 2- Ανάλυση της παραλλακτικότητας (ANOVA) των δεδομένων για τον δείκτη περιεκτικότητας σε χλωροφύλλη (CCI) στις 63 ημέρες από την μεταφύτευση.....	52
Πίνακας 3- Ανάλυση της παραλλακτικότητας (ANOVA) των δεδομένων για τις παραμέτρους φθορισμού Fo, Fj, Fi, Fm, Fv, Fm/Fo, Fv/Fo και Fv/Fm φύλλων μαρουλιού στις 35 και 63 ημέρες από τη μεταφύτευση.....	53
Πίνακας 4- Ανάλυση της παραλλακτικότητας (ANOVA) των δεδομένων για τις παραμέτρους φθορισμού Area, Fix Area, Sm, Ss, N, Vj, Vi και Mo φύλλων μαρουλιού στις 35 και 63 ημέρες από τη μεταφύτευση.....	54
Πίνακας 5- Ανάλυση της παραλλακτικότητας (ANOVA) των δεδομένων για τις παραμέτρους φθορισμού Psi_o, Phi_Eo, Phi_Do, Phi_Pav, Pi_Abs, ABS/RC, TRo/RC, ETο/RC και Dlo/Rc φύλλων μαρουλιού στις 35 και 63 ημέρες από τη μεταφύτευση.....	55
Πίνακας 6- Ανάλυση της παραλλακτικότητας (ANOVA) των δεδομένων για τις παραμέτρους του χρώματος (L*, a*, b*, C* και h°) φύλλων μαρουλιού στις 35 και 63 ημέρες από τη μεταφύτευση.....	56
Πίνακας 7- Ανάλυση της παραλλακτικότητας (ANOVA) των δεδομένων για την περιεκτικότητα σε χλωροφύλλες (α, β, α+β και α/β) και ολικά καροτενοειδή φύλλων μαρουλιού στις 35 και 63 ημέρες από τη μεταφύτευση.....	57
Πίνακας 8- Ανάλυση της παραλλακτικότητας (ANOVA) των δεδομένων για τη σύσταση (ξηρά ουσία, νιτρικά, ολικές διαλυτές φαινόλες) και την αντιοξειδωτική ικανότητα φύλλων μαρουλιού στις 35 και 63 ημέρες από τη μεταφύτευση.....	58

1. Εισαγωγή

Η μεταφύτευση ως καλλιεργητική πρακτική έχει επικρατήσει έναντι της απευθείας σποράς στον αγρό, λόγω των συγκριτικών πλεονεκτημάτων που αυτή παρέχει, όπως ομοιομορφία στην ανάπτυξη, πρωιμότητα και αύξηση στρεμματικών αποδόσεων. Ταυτόχρονα, όμως, η αποκοπή μέρους του ριζικού συστήματος κατά τη μεταφύτευση και η αλλαγή περιβάλλοντος ανάπτυξης των φυτών προκαλούν μία καταπόνηση στα φυτά, γνωστή ως «μεταφυτευτική διαταραχή» (Σάββας, 2016). Στη διεθνή βιβλιογραφία υπάρχουν αρκετές αναφορές για τις επιπτώσεις της αποκοπής μέρους του ριζικού συστήματος στην παραγωγή κηπευτικών μεγάλου καλλιεργητικού κύκλου, όπως η τομάτα (Bar-Tal et al., 1994a). Αντίθετα, λίγες αναφορές υπάρχουν για τις επιπτώσεις της μεταφυτευτικής διαταραχής σε καλλιέργειες σύντομου καλλιεργητικού κύκλου, όπως το μαρούλι.

Σύμφωνα με αρκετές μελέτες, οι βιοδιεγέρτες παίζουν καταλυτικό ρόλο στην αντιμετώπιση διαφόρων παραγόντων καταπόνησης (Calvo et al., 2014; Du Jarbin, 2015; Povero et al., 2016). Η χρήση τους βελτιστοποιεί την πρόσληψη και αξιοποίηση των θρεπτικών στοιχείων από τα φυτά, ενώ ταυτόχρονα ενεργοποιεί τους μηχανισμούς άμυνας των φυτών απέναντι σε βιοτικούς και αβιοτικούς παράγοντες καταπόνησης (Du Jarbin, 2015; Povero et al., 2016).

Σκοπός της εργασίας είναι να μελετηθεί η δυνατότητα μετριασμού της μεταφυτευτικής διαταραχής στη θερμοκηπιακή καλλιέργεια μαρουλιού με τη χρήση ενός μικροβιακού και ενός μη μικροβιακού βιοδιεγέρτη.

2. Ανασκόπηση βιβλιογραφίας

2.1 Η μεταφύτευση

Η μεταφύτευση ως καλλιεργητική πρακτική έχει επικρατήσει κατά κόρων στην παραγωγή κηπευτικών, καθώς παρέχει πολλά συγκριτικά πλεονεκτήματα, σε σχέση με την απευθείας σπορά τόσο στην ύπαιθρο όσο και στο θερμοκήπιο (Σάββας 2016). Η ομοιομορφία της καλλιέργειας, η πρωιμότητα, οι σταθερές αποστάσεις μεταξύ των φυτών, η αύξηση των στρεμματικών αποδόσεων και ο περιορισμός των βιοτικών και αβιοτικών καταπονήσεων είναι μερικές από αυτές (KuanQin, 2020). Στον αντίποδα, η παραγωγή σποροφύτων αποτελεί μία δαπανηρή διαδικασία, η οποία απαιτεί αποτελεσματικό έλεγχο των εχθρών και των ασθενειών, βέλτιστες συνθήκες θερμοκρασίας και υγρασίας για τη βλάστηση του σπόρου και την ανάπτυξη των σποροφύτων, καθώς και εφαρμογή μέτρων φυτουγειονομικής σημασίας, ώστε η ανάπτυξη τους να είναι ανεμπόδιστη (Schrader, 2000). Η μεταφύτευση αποτελεί μία καλλιεργητική εργασία μείζουσας σημασίας, καθώς από την επιτυχία της εξαρτάται σε μεγάλο βαθμό η μετέπειτα εξέλιξη της καλλιέργειας, ενώ η αύξηση των εισροών που επιφέρει η παραγωγή σποροφύτων και η εφαρμογή της μεταφύτευσης, υπερκαλύπτεται από τις επιπλέον αποδόσεις που προκύπτουν (Σάββας, 2016).

Για την επιτυχία της μεταφύτευσης είναι σημαντικό να περιοριστεί η καταπόνηση που υφίστανται τα νεαρά φυτά, καθώς ακόμα και αν δεν προκληθεί νέκρωση των φυτών από την μεταφυτευτική διαταραχή, παρατηρείται περιορισμός της ευρωστίας της καλλιέργειας.

2.1.1 Η έννοια της μεταφυτευτικής καταπόνησης

Τα σπορόφυτα εντός των δίσκων ανάπτυξής τους έχουν περιορισμένο χώρο για την ανάπτυξη του ριζικού τους συστήματος. Παράλληλα, ένα μέρος του ριζικού συστήματος καταστρέφεται μηχανικά κατά τη διαδικασία της μεταφύτευσης. Έτσι, προκαλείται μια παροδική καταπόνηση που σχετίζεται με τη μειωμένη ικανότητα πρόσληψης νερού (Schrader, 2000). Το γεγονός αυτό σε συνδυασμό με την επίδραση των δυσμενέστερων συνθηκών στον αγρό μετά τη μεταφύτευση, οδηγεί σε ακόμη μεγαλύτερης έντασης διαταραχή που ονομάζεται μεταφυτευτική καταπόνηση ή διαταραχή (Berkowitz & Rabin, 1988; Aloni et al., 1991; Nitzschel et al., 1991; Σάββας κ.ά., 2016). Η καταστροφή μέρους του ριζικού συστήματος κατά τη μεταφύτευση και σε συνδυασμό με την αυξημένη εξατμισοδιαπνοή οδηγούν σε ελλειμματικό υδατικό ισοζύγιο, καθώς τα φυτά αδυνατούν να απορροφήσουν την ποσότητα

του νερού που χάνεται με τη διαπνοή (Καραμπουρνιώτη και Σάββα, 2021). Ο βαθμός αφυδάτωσης που υφίσταται η καλλιέργεια είναι ανάλογη με το ποσοστό του ριζικού συστήματος που αποκόπτεται, όταν τα νεαρά σπορόφυτα εξάγονται από τους δίσκους σποράς (Schrader, 2000; Agehara 2020) Έτσι, ακόμα και αν το δυναμικό του νερού στο έδαφος είναι υψηλό, τα νεαρά φυτά παρουσιάζουν συμπτώματα αφυδάτωσης.

Σύμφωνα με τους Καραμπουρνιώτη και Σάββα (2021), τα φυτά που υφίστανται υδατική καταπόνηση, προκειμένου να διατηρήσουν το υδατικό τους ισοζύγιο, κλείνουν τα στομάτια περιορίζοντας, έτσι, τις απώλειες νερού με την διαπνοή. Ταυτόχρονα, όμως, το κλείσιμο των στοματίων που επάγεται από την συσσώρευση αμπισικού οξέος στα φύλλα, έχει ως συνέπεια τη μείωση του ρυθμού της φωτοσύνθεσης, καθώς διακόπτεται η πρόσληψη CO₂ από τα στομάτια που είναι απαραίτητη για τη διαδικασία της φωτοσύνθεσης (Agehara, 2020). Η υδατική καταπόνηση που υφίσταται η καλλιέργεια κατά την μεταφύτευση, επηρεάζει δυσμενώς πολλά επίπεδα οργάνωσης ενός φυτικού οργανισμού, καθώς μειώνει τον ρυθμό φωτοσύνθεσης, ενώ, επιπλέον, προκαλεί ανάσχεση της αύξησης και της ανάπτυξης των νεαρών φυτών. Σύμφωνα με τους Overvoorde et al., (2010), η αποκοπή μέρους του ριζικού συστήματος κατά τη μεταφύτευση προκαλεί μια ανισορροπία στην ανάπτυξη του φυτού, καθώς αυτό προσπαθεί να αναπλάσει το ριζικό σύστημα που αποκόπηκε, περιορίζοντας ταυτόχρονα την ανάπτυξη του υπέργειου μέρους (Kerbiriou et al., 2013).

Τα τυπικά συμπτώματα της μεταφυτευτικής διαταραχής είναι η μάρανση των νεαρών φυταρίων, η χλώρωση, η φυλλόπτωση, η στασιμότητα ως προς την αύξηση και την ανάπτυξη, καθώς και η ολική νέκρωση. Η ένταση και η διάρκεια των συμπτωμάτων της μεταφυτευτικής διαταραχής παρουσιάζουν μεγάλο εύρος, ανάλογα με τις επικρατούσες συνθήκες και ενδέχεται να είναι εντονότερα σε συνθήκες που ευνοούν την αυξημένη εξατμισοδιαπνοή (Agehara, 2020).

Σύμφωνα με τους Καραμπουρνιώτη και Σάββα (2021), όλοι οι φυτικοί οργανισμοί έχουν την ικανότητα να τροποποιούν ορισμένα από τα χαρακτηριστικά τους προκειμένου να προσαρμοστούν στις επικρατούσες συνθήκες και να αντιμετωπίζουν τις καταπονήσεις που προκαλούνται από διάφορους παράγοντες. Έτσι, οι φυτικοί οργανισμοί καταφέρνουν να ολοκληρώνουν τον βιολογικό τους κύκλο, εφόσον οι παράγοντες που προκαλούν την καταπόνηση είναι εντός ορισμένων ορίων. Η ενεργοποίηση αυτών των μηχανισμών εγκλιματισμού συμβαίνει μέσω αλλαγών στη φυσιολογία του φυτού που έχουν ως αποτέλεσμα

τη μείωση του ρυθμού παραγωγής βιομάζας. Οι μηχανικές βλάβες που προκαλούνται κατά τη μεταφύτευση προάγουν στα νεαρά σπορόφυτα την παραγωγή αιθυλενίου, ορμόνης που λειτουργεί ανταγωνιστικά με την παραγωγή γυββερλικού οξέος (Druege, 2006). Αποτέλεσμα αυτής της μεταβολής στην σύνθεση ορμονών είναι ο περιορισμός της επιμήκυνσης του βλαστού και των φύλλων με ταυτόχρονη αύξηση της διαμέτρου του βλαστού, η επιναστία και η γήρανση (Biddington, 1986; Khan, 2006; Tholen et al., 2006).

2.1.2 Παράγοντες που επηρεάζουν την ένταση της μεταφυτευτικής διαταραχής

Σύμφωνα με τον Schrader (2000), το πόσο γρήγορα θα καταφέρουν τα νεαρά σπορόφυτα να ξεπεράσουν τη μεταφυτευτική διαταραχή εξαρτάται από πολλούς παράγοντες, μεταξύ των οποίων σημαντικότεροι είναι:

- **Το καλλιεργούμενο είδος.** Μεταξύ των διαφόρων ειδών παρουσιάζονται αρκετές διαφοροποιήσεις σχετικά με την αντοχή στη μεταφυτευτική καταπόνηση, καθώς αυτή επηρεάζεται από την ικανότητα του κάθε είδους να αναπληρώνει γρήγορα το μέρος του ριζικού συστήματος που καταστράφηκε. Έτσι, η μεταφυτευτική διαταραχή είναι πολύ πιο έντονη στα κολοκυνθοειδή από ότι στα σολανώδη και τα φυλλώδη λαχανικά, όπως είναι το μαρούλι.
- **Οι επικρατούσες συνθήκες κατά τη διάρκεια της μεταφύτευσης.** Η απότομη μετάβαση των νεαρών σποροφύτων από το ελεγχόμενο περιβάλλον στην ύπαιθρο ή το θερμοκήπιο έχει ως συνέπεια την αύξηση των συμπτωμάτων της καταπόνησης. Αυτό συνδέεται με τις υψηλότερες θερμοκρασίες που μπορεί να επικρατούν κατά τη διάρκεια της καλοκαιρινής περιόδου ή τις χαμηλότερες κατά τη διάρκεια της χειμερινής περιόδου. Επιπλέον, η υψηλής έντασης ηλιακή ακτινοβολία κατά τη διάρκεια της θερινής περιόδου και η επικράτηση ανέμων, ως παράγοντες που αυξάνουν την εξατμισοδιαπνοή, οδηγούν σε αύξηση της υδατικής καταπόνησης του φυτού (Σάββας, 2016).
- **Η πλημμελής κατεργασία εδάφους.** Κατά τη μεταφύτευση θα πρέπει η επαφή του εδάφους με την μπάλα υποστρώματος που περιβάλλει το ριζικό σύστημα να είναι πλήρης. Η ελλιπής επαφή εδάφους και ρίζας δεν επιτρέπει την πρόσληψη νερού από τα νεαρά φυτά, με αποτέλεσμα να εντείνονται τα συμπτώματα της μεταφυτευτικής καταπόνησης. Το έδαφος κατά τη στιγμή της μεταφύτευσης θα πρέπει να μην είναι συμπιεσμένο, έτσι, ώστε να

επιτρέπει τον αερισμό της ρίζας, διατηρώντας ταυτόχρονα την ικανότητα συγκράτησης νερού (Σάββας, 2016).

- **Το στάδιο ανάπτυξης των σποροφύτων.** Τα νεαρά σπορόφυτα για να μπορούν να μεταφυτευτούν στην οριστική τους θέση θα πρέπει να έχουν αναπτύξει τουλάχιστον 3-6 πραγματικά φύλλα. Μεταξύ των διαφόρων λαχανοκομικών ειδών στα οποία εφαρμόζεται η μεταφύτευση παρουσιάζεται μεγάλο εύρος σχετικά με το στάδιο ανάπτυξης κατά το οποίο μπορεί να γίνει η μεταφύτευση. Έτσι, στα φυλλώδη λαχανικά η μεταφύτευση μπορεί να γίνεται στα 3-4 πραγματικά φύλλα, ενώ στα καρποδοτικά κηπευτικά μέχρι και 8-10. Η επιλογή του σταδίου ανάπτυξης για μεταφύτευση των σποροφύτων επηρεάζεται από την εποχή σποράς (Σάββας 2016).

2.1.3 Τρόποι περιορισμού της μεταφυτευτικής διαταραχής

Για τον περιορισμό της μεταφυτευτικής διαταραχής λαμβάνονται διάφορα μέτρα που αποσκοπούν στον μετριασμό της υδατικής καταπόνησης, καθώς αυτή αποτελεί την κυριότερη αιτία πρόκλησης της μεταφυτευτικής διαταραχής (Agehara, 2020). Η σκληραγώγηση των σποροφύτων, η ορθή επιλογή του σταδίου μεταφύτευσης, η εφαρμογή αντιδιαπνευστικών ουσιών, η ενδεδειγμένη προετοιμασία του εδάφους, η επιλογή χρόνου φύτευσης που να συμπίπτει με ευνοϊκές καιρικές συνθήκες και η άμεση εφαρμογή λιπάσματος μετά τη μεταφύτευση αποτελούν πρακτικές και εφαρμόζονται ευρέως στην πράξη (Schrader, 2000; Leskovar et al., 2008).

2.1.3.1 Σκληραγώγηση σποροφύτων

Σύμφωνα με τον Σάββα (2016), η καταπόνηση που υφίστανται τα νεαρά σπορόφυτα κατά τη μεταφύτευση, λόγω έκθεσης σε δυσμενέστερες συνθήκες μετριάζεται με τη βαθμιαία έκθεση τους σε συνθήκες θερμοκρασίας και υγρασίας, ανάλογες με εκείνες του αγρού που θα μεταφυτευτούν. Η διαδικασία αυτή ονομάζεται «**σκληραγώγηση**» και η εφαρμογή της γίνεται 7-10 ημέρες πριν τη μεταφύτευση. Έχει αποδειχθεί ότι η εφαρμογή της σκληραγώγησης προάγει τον εγκλιματισμό και την ευκολότερη προσαρμογή της καλλιέργειας στις συνθήκες του αγρού (Σάββας 2016). Η βαθμιαία μεταβολή της θερμοκρασίας κατά τη διάρκεια της σκληραγώγησης τόσο για χειμερινές όσο και για θερινές φυτεύσεις, συνήθως, εφαρμόζεται με ταυτόχρονο περιορισμό της άρδευσης (Swiader et al., 1992). Η εφαρμογή της σκληραγώγησης, ως μίας μορφής ελεγχόμενης καταπόνησης, επιφέρει κάποιες αλλαγές στα μορφολογικά

χαρακτηριστικά και τη φυσιολογία των σποροφύτων. Μεταξύ άλλων, έχει παρατηρηθεί μειωμένος ρυθμός παραγωγής βιομάζας, αύξηση του πάχους της εφυμενίδας και σχηματισμός κηρωδών ουσιών επ' αυτής, αύξηση της περιεκτικότητας των ιστών σε ξηρή ουσία, ενώ επιπλέον προάγεται η παραγωγή ανθοκυανών στους βλαστούς και τα νεύρα των φύλλων.

2.1.3.2 Εφαρμογή λιπάσματος πριν από την μεταφύτευση

Μία από τις μεθόδους που χρησιμοποιούνται ευρέως για τον περιορισμό της μεταφυτευτικής καταπόνησης είναι η εφαρμογή λιπάσματος στους δίσκους σποράς πριν από τη μεταφύτευση. Στα σπορόφυτα είναι σημαντικό να χορηγούνται οι απαραίτητες ποσότητες θρεπτικών στοιχείων, καθώς η ευρωστία τους φαίνεται να επηρεάζει σημαντικά τόσο τη συμπεριφορά τους στις διάφορες αβιοτικές καταπονήσεις όσο και την εξέλιξη της καλλιέργειας και τις αποδόσεις (Σάββας, 2016). Σύμφωνα με τους Qin & Leskovar (2020), η εφαρμογή αζωτούχου λιπάσματος (60 mg/L) στο υπόστρωμα των σποροφύτων είχε ως αποτέλεσμα την παραγωγή εύρωστων φυτών, με μεγαλύτερο ξηρό βάρος ρίζας και σημαντικά αυξημένη απόδοση, σε σχέση με τις μεταχειρίσεις όπου χορηγήθηκαν μικρότερες ποσότητες αζώτου. Κρίσιμο παράγοντα για την ένταση της μεταφυτευτικής καταπόνησης αποτελεί το μέγεθος του ριζικού συστήματος, καθώς επηρεάζει τόσο την ικανότητα πρόσληψης νερού όσο και των θρεπτικών στοιχείων (Qin & Leskovar, 2020).

Σε πειραματικές δοκιμές διετούς διάρκειας στις καλλιέργειες μαρουλιού τύπων ρωμάνα και κεφαλωτού φάνηκε ότι η εφαρμογή 80g KNO₃ στα νεαρά σπορόφυτα πριν από την μεταφύτευση με εμβάπτιση των δίσκων σποράς εντός διαλύματος ευνοεί την ανάπτυξη του υπέργειου μέρους, σε σχέση με την ρίζα. Αυτό σε βέλτιστες συνθήκες για την ανάπτυξη της καλλιέργειας είχε ως αποτέλεσμα την αύξηση της απόδοσης, αλλά όχι και σε συνθήκες αυξημένης θερμοκρασίας, καθώς η αυξημένη φυλλική επιφάνεια σε συνδυασμό με το μικρότερο ριζικό σύστημα καθιστούν τα φυτά ευάλωτα στην υδατική καταπόνηση (Ekman, 2015).

2.1.3.4 Επιλογή βλαστικού σταδίου και ημέρας μεταφύτευσης

Η μεταφύτευση των σποροφύτων στα περισσότερα είδη γίνεται, συνήθως, όταν αυτά έχουν αναπτύξει 3-4 πραγματικά φύλλα (Σάββας, 2016). Στις περισσότερες περιπτώσεις όσο μικρότερο είναι το φυτό κατά τη μεταφύτευση τόσο μικρότερο είναι και το τμήμα της ρίζας που αποκόπτεται. Αυτό έχει ως αποτέλεσμα να ανταπεξέρχεται καλύτερα στη μεταφυτευτική

καταπόνηση. Ο χειρισμός, όμως, τόσο νεαρών φυτών καθιστά τη διαδικασία της μεταφύτευσης χρονοβόρα, καθώς τα φυτά στο στάδιο αυτό είναι εύθραυστα, ιδιαίτερα, όταν αυτά είναι σε σπαργή, όπως συμβαίνει κατά τη μεταφύτευση. Η επιλογή του σταδίου μεταφύτευσης γίνεται, όταν τα φυτά έχουν αναπτυχθεί τόσο, ώστε να μην είναι εύθραυστα, αλλά και πριν η ρίζα αναπτυχθεί πλήρως καλύπτοντας μεγάλο μέρος όγκου της θέσης του εντός του δίσκου σποράς (Ekman, 2015).

Η επιλογή του χρόνου για την πραγματοποίηση της μεταφύτευσης στο θερμοκήπιο ή την ύπαιθρο επηρεάζει σημαντικά την ένταση της μεταφυτευτικής καταπόνησης. Συνθήκες που ευνοούν την αύξηση της εξατμισοδιαπνοής, όπως υψηλή θερμοκρασία, άνεμος και ηλικιακή ακτινοβολία υψηλής έντασης θα πρέπει να αποφεύγονται, καθώς δημιουργούν μειωμένο υδατικό ισοζύγιο στα φυτά εντείνοντας, έτσι, τα συμπτώματα της μεταφυτευτικής καταπόνησης.

2.1.3.5 Η Εφαρμογή αντιδιαπνευστικών ουσιών

Μια διαδεδομένη μέθοδος για τον περιορισμό της μεταφυτευτικής καταπόνησης είναι η χρήση αντιδιαπνευστικών ουσιών. Οι ουσίες αυτές παρεμποδίζουν μηχανικά τις απώλειες νερού μέσω της διαπνοής, σχηματίζοντας έναν λεπτό υμένα στην επιφάνεια των φύλλων (Berkowitz & Rabin, 1988; del Amor et al., 2010; Goreta et al., 2007; Iriti et al., 2009; Moftah & Al-Humaid, 2005). Επιπλέον, για τον περιορισμό της μεταφυτευτικής διαταραχής έχουν χρησιμοποιηθεί αργιλικά ορυκτά, όπως ο καολίνης $[Al_2Si_2O_5(OH)_4]$ που έχουν την ικανότητα να αντανakλούν την ηλιακή ακτινοβολία, μειώνοντας με αυτόν τον τρόπο τη θερμοκρασία της φυλλικής επιφάνειας και τη διαπνοή (Bittelli et al., 2001; Jifon & Syvertsen, 2003; Moftah & Al-Humaid, 2005). Πέραν των παραπάνω ουσιών που δρουν με μηχανικό τρόπο, εφαρμόζονται και άλλες ουσίες που παρεμβαίνουν στην φυσιολογία του φυτού, όπως το αψισικό οξύ (ABA) που προκαλεί αλλαγές στην δομή των πρωτοπλασματικών μεμβρανών επηρεάζοντας, έτσι, τη διαπερατότητα τους. Η συγκέντρωση του ABA στα φύλλα ρυθμίζει την πρόσληψη και τη μετακίνηση του νερού από και προς το εσωτερικό των κυττάρων αλλά και άλλων ορμονών και ενζύμων (Βογιατζής, 2003). Αποτέλεσμα της αυξημένης συγκέντρωσης του ABA στα φύλλα είναι το κλείσιμο των στοματίων και ο περιορισμός της διαπνοής αλλά και η αναστολή της αύξησης τους (Agehara, 2020).

Αν και οι αντιδιαπνευστικές ουσίες καταφέρνουν να περιορίζουν τις απώλειες νερού μέσω της

διαπνοής, η εφαρμογή τους κρίνεται ωφέλιμη μόνο σε περιπτώσεις έντονης υδατικής καταπόνησης (Agehara & Leskovar, 2012; Berkowitz & Rabin, 1988; Moftah & Al- Humaid, 2005). Σε συνθήκες που δεν προκαλούν καταπόνηση της καλλιέργειας, η εφαρμογή αντιδιαπνευστικών ουσιών μπορεί να επιδράσει αρνητικά, καθώς το κλείσιμο των στοματίων δεν επιτρέπει την πρόσληψη CO₂ για τη διαδικασία της φωτοσύνθεσης (Lawlor, 2002).

2.1.3.6 Η κατεργασία του εδάφους πριν την μεταφύτευση

Η επιμελής κατεργασία του εδάφους αποτελεί μία σημαντική παράμετρο για την επιτυχία της μεταφύτευσης. Πριν από τη μεταφύτευση συνίσταται καλή κατεργασία του εδάφους, ώστε να εξασφαλίζεται καλός αερισμός της ρίζας και μέγιστη ικανότητα συγκράτησης νερού. Η κατεργασία του εδάφους, προκειμένου να διατηρούνται τα παραπάνω χαρακτηριστικά, θα πρέπει να γίνεται, όταν αυτό «βρίσκεται στον ρώγο του», καθώς στη φάση αυτή το έδαφος περιέχει τόση ποσότητα υγρασίας όση χρειάζεται, ώστε να μην θρυμματίζεται ή να γίνεται λάσπη, αν συμπιεστεί. Η κατεργασία του εδάφους γίνεται, συνήθως, με τη χρήση φρέζας σε βάθος 20-30 cm. Η αύξηση του πορώδους του εδάφους που συμβαίνει με την αναμόχλευση του, διευκολύνει τη στράγγιση του νερού. Αυτό έχει ιδιαίτερη σημασία στα βαριά εδάφη που παρουσιάζουν μειωμένη αεροπερατότητα και ικανότητα στράγγισης (Σάββας, 2016).

2.2 Οι βιοδιεγέρτες

Η σύγχρονη γεωργία έχει να αντιμετωπίσει πολλαπλές προκλήσεις που σχετίζονται με την αύξηση του παγκόσμιου πληθυσμού και την ανάγκη αύξησης της παραγωγής, για την κάλυψη επισιτιστικών αναγκών. Σύμφωνα με την Ungureanu (2020), η παραγωγή τροφίμων μέχρι το 2050 πρέπει να αυξηθεί κατά 50%, ώστε να μπορούν να καλυφθούν οι ανάγκες του ολόένα και αυξανόμενου πληθυσμού. Ταυτόχρονα ο περιορισμός των επιπτώσεων στο περιβάλλον από τη γεωργική δραστηριότητα, αποτελεί κύριο στόχο. Η ανάγκη αύξησης της αγροτικής παραγωγής σε συνδυασμό με την κλιματική αλλαγή, καθώς και ο περιορισμός της χρήσης ανόργανων λιπασμάτων και φυτοφαρμάκων, οδήγησε τις τελευταίες δύο δεκαετίες την έρευνα στην εύρεση νέων καινοτόμων προϊόντων, που να μπορούν να βελτιώσουν την αποδοτικότητα χρήσης τόσο των προϊόντων θρέψης όσο και των φυτοπροστατευτικών προϊόντων (Rouphael & Colla, 2020). Σύμφωνα με έκθεση του διεθνούς οργανισμού τροφίμων και γεωργίας για το 2007, μόνο το 3,5% των εδαφών παγκοσμίως έμεινε ανεπηρέαστο από περιβαλλοντικούς περιορισμούς

(Bulgari, 2019). Η κλιματική αλλαγή κατέστησε την παραγωγή αγροτικών προϊόντων ακόμα δυσκολότερη, καθώς η αύξηση της μέσης θερμοκρασίας παγκοσμίως και η έλλειψη υδατικών πόρων οδήγησε τις καλλιέργειες σε μεγαλύτερης έντασης βιοτικές και αβιοτικές καταπονήσεις. Αυτό είχε ως αποτέλεσμα όχι μόνον τον περιορισμό την αποδόσεων των καλλιεργειών αλλά και την ποιοτική υποβάθμιση της παραγωγής, καθώς οι καταπονήσεις αυτές φαίνεται να επιφέρουν μορφολογικές, φυσιολογικές και βιοχημικές μεταβολές οι οποίες μπορούν να καταστήσουν την παραγωγή μέχρι και μη εμπορεύσιμη (Bulgari, 2019).

Τις τελευταίες δύο δεκαετίες πολλές μελέτες έχουν δείξει ότι η εφαρμογή βιοδιεγερτών επιφέρει μία σειρά από αλλαγές στη φυσιολογία και βιοχημεία των φυτών. Αυτό τους επιτρέπει να αυξήσουν τα όρια ανοχής τους στους βιοτικούς και αβιοτικούς παράγοντες καταπόνησης (Rouphael & Colla, 2020).

2.2.1 Η έννοια των βιοδιεγερτών

Ο όρος βιοδιεγέρτης χρησιμοποιήθηκε για πρώτη φορά το 1997 από το Πανεπιστήμιο της Βιρτζίνια, για να περιγράψει τις ουσίες εκείνες που με διάφορους τρόπους επηρεάζουν την ανάπτυξη των φυτών, χωρίς να υπάγονται σε κάποια ομάδα φυτοπροστατευτικών προϊόντων ή προϊόντων θρέψης (Jarbin, 2015). Σήμερα, ως βιοδιεγέρτες, χαρακτηρίζονται οι ουσίες ή τα μείγματα ουσιών και μικροοργανισμών που εφαρμοζόμενα με διάφορους τρόπους στα φυτά έχουν την ικανότητα να επιδρούν στην φυσιολογία αυτών (Calvo et al., 2014; Jarbin, 2015; Povero et al., 2016).

Σύμφωνα με τον κανονισμό 2019/1009 της ΕΕ, βιοδιεγέρτες είναι οι ουσίες οι οποίες δρουν συμπληρωματικά με τα προϊόντα θρέψης και αποσκοπούν στη βελτίωση της αποδοτικότητας της λίπανσης μίας καλλιέργειας. Έχουν την ικανότητα να αυξάνουν τη διαθεσιμότητα των θρεπτικών στοιχείων στη ριζόσφαιρα των φυτών, ενώ ταυτόχρονα ενισχύουν την άμυνα τους απέναντι στις διάφορες βιοτικές και αβιοτικές καταπονήσεις.

Σύμφωνα με τους Shahrabian et al. (2021), η εφαρμογή τέτοιων ουσιών στα φυτά, μεταξύ άλλων, έχει ως αποτέλεσμα τη βελτίωση των ποιοτικών χαρακτηριστικών των παραγόμενων προϊόντων, την ενίσχυση της βιοσύνθεσης ουσιών που σχετίζονται με την άμυνα του φυτού, τη βελτίωση της φυτρωτικότητας των σπόρων και της ανάπτυξης του ριζικού συστήματος και την απομάκρυνση βαρέων μετάλλων από το έδαφος.

2.2.2 Η κατηγοριοποίηση των βιοδιεγερτών

Ο χαρακτηρισμός μίας ουσίας ή ενός μείγματος ουσιών ως βιοδιεγέρτης βασίζεται, κυρίως, στην επίδραση που αυτός μπορεί να έχει στη φυσιολογία και βιοχημεία του φυτού, παρά στη σύσταση που μπορεί να έχει ως προϊόν. Οι φυτικοί βιοδιεγέρτες προέρχονται από διάφορες οργανικές και ανόργανες πηγές ή και μικροοργανισμούς που αυξάνουν τα όρια ανοχής των φυτών στους διάφορους παράγοντες καταπόνησης, αλλά βελτιώνουν και την ποιότητα, τη διατροφική αξία και την ασφάλεια των παραγόμενων κηπευτικών (Du Jarbin, 2015).

Τα κυριότερα συστατικά των φυτικών βιοδιεγερτών είναι τα μεταλλικά στοιχεία, οι βιταμίνες, οι πολυσακχαρίτες και ολιγοσακχαρίτες, καθώς και οι φυτικές ορμόνες. Οι φυσιολογικοί μηχανισμοί στους οποίους παρεμβαίνουν οι διάφοροι φυτικοί βιοδιεγέρτες είναι δύσκολο να ταυτοποιηθούν και είναι υπό διερεύνηση (Bulgari, 2019). Οι φυτικοί βιοδιεγέρτες μπορούν να δρουν απευθείας στη φυσιολογία και βιοχημεία του φυτού, τροποποιώντας ορισμένες μοριακές διεργασίες που επιτρέπουν στο φυτό να αξιοποιήσει αποδοτικότερα το νερό και τα διάφορα θρεπτικά στοιχεία (Bulgari, 2019). Επιπλέον, μπορούν να δρουν και με άλλους τρόπους που επηρεάζουν τα φυτά έμμεσα, όπως είναι η αλλαγή της μικροβιακής σύστασης της ριζόσφαιρας.

2.2.2.1 Οι μικροβιακοί βιοδιεγέρτες

Η μικροβιακή σύνθεση του εδάφους επηρεάζει πλήθος διεργασιών που λαμβάνουν χώρα στο εδαφικό περιβάλλον και μπορούν να έχουν θετική επίδραση στην παραγωγή (Jha & Kumar, 2018). Το μεγαλύτερο μέρος του μικροβιώματος στο έδαφος αποτελείται, κυρίως, από μύκητες και βακτήρια (Kennedy, 2015; Müller et al., 2016). Το εύρος των ειδών των βακτηρίων που συναντάμε σε ένα εδαφικό περιβάλλον αποτελεί δείκτη της γονιμότητάς του, καθώς αυτά βελτιώνουν τη δομή του εδάφους, ενώ ταυτόχρονα μετατρέπουν διάφορα συστατικά του εδάφους σε μορφές που μπορούν να αξιοποιηθούν από τα φυτά (Sharma et al., 2010).

Μεταξύ των βιοδιεγερτών, τα ριζοβακτήρια που προάγουν την ανάπτυξη των φυτών (PGPR) μπορούν να αυξήσουν την αντοχή των φυτών στις αβιοτικές καταπονήσεις. Η χρήση μικροβιακών βιοδιεγερτών έχει δοκιμαστεί σε πολλές καλλιέργειες λαχανοκομικών φυτών με ποικίλους τρόπους, ακόμα και για την επεξεργασία σπόρων και φυταρίων (Yan et al., 2003; Ruzzi & Aroca, 2015).

Η προσθήκη μικροβιακών βιοδιεγερτών στο υπόστρωμα ανάπτυξης σποροφύτων φάνηκε να

ενισχύει την ανάπτυξή τους σε διάφορα φυτικά είδη, όπως την τομάτα και την πιπεριά (Kokalis-Burelle et al., 2002; Yan et al., 2003), το πεπόνι και το καρποούζι (Kokalis-Burelle et al., 2003) και το κουνουπίδι (Ekinçi et al., 2014). Σύμφωνα με τους Kloepper et al. (2004), η χρήση μικροβιακών βιοδιεγερτών θα μπορούσε να συμβάλει στη βελτίωση της ευρωστίας των σποροφύτων, όπως και κατά τις πρώτες εβδομάδες από τη μεταφύτευση. Η εφαρμογή μικροβιακών βιοδιεγερτών φαίνεται να επηρεάζει θετικά την εγκατάσταση της καλλιέργειας, ενώ ταυτόχρονα περιορίζει τον αριθμό απωλειών από τη μεταφυτευτική καταπόνηση (Kokalis-Burelle et al., 2002; 2003).

Η αποτελεσματικότητα ενός εμπορικού σκευάσματος, μικροβιακού βιοδιεγέρτη (1.3×10^8 CFU/g of *Bacillus* spp.), αξιολογήθηκε στην παραγωγή σποροφύτων μαρουλιού σε συνδυασμό με διαφορετικές δόσεις λίπανσης, καθώς επίσης και η μεταφυτευτική συμπεριφορά τους. Το συμπέρασμα ήταν ότι ο εμβολιασμός του υποστρώματος με τον *Bacillus* spp. προωθεί την ανάπτυξη των φυτών στο σπορείο και βελτιώνει την ευρωστία και την απόδοση της καλλιέργειας. Επιπλέον, φάνηκε να περιορίζει την περιεκτικότητα των φυτικών ιστών σε νιτρικά (Vetrano et al., 2020).

Στην περιοχή του ριζοστρώματος συμβιώνει με την καλλιέργεια ένα ευρύ φάσμα μικροοργανισμών που συμβάλλει στην ομαλή τροφοδοσία αυτής με θρεπτικά συστατικά (Jacoby et al., 2017). Όσο πλησιάζουμε, όμως, στη ριζόσφαιρα παρατηρείται περιορισμός και εξειδίκευση του μικροβιώματος, ανάλογα με το είδος που καλλιεργείται (Hacquard et al., 2015). Η μικροβιακή σύνθεση του εδαφικού περιβάλλοντος είναι χαρακτηριστική για κάθε καλλιεργούμενο είδος και διαμορφώνεται από τα φυσικά και χημικά χαρακτηριστικά του εδάφους, αλλά και από τις εκκρίσεις του ριζικού συστήματος της καλλιέργειας (Kumar & Dubey, 2020). Η εξειδίκευση αυτή του μικροβιώματος πρέπει να λαμβάνεται υπόψιν κατά την επιλογή των μικροβιακών βιοδιεγερτών, όπως επίσης και παράμετροι που αφορούν στο εδαφικό περιβάλλον, όπως είναι το pH και η περιεκτικότητα σε οργανική ουσία (Castiglione et al., 2021; Fadiji et al., 2022; Fusco et al., 2022). Επιπλέον, η αποτελεσματικότητα της εφαρμογής μικροβιακών βιοδιεγερτών επηρεάζεται και από τον ανταγωνισμό για θρεπτικά συστατικά και χώρο με την εγγενή μικροχλωρίδα (Ruzzi & Aroca, 2015), καθώς και από τον τρόπο εφαρμογής του μικροβιακού βιοδιεγέρτη που καθορίζει τη διασπορά του και τη θνησιμότητα λόγω ακραίων περιβαλλοντικών συνθηκών, όπως είναι η θερμοκρασία και το υπεριώδες φως (Vejan et al., 2016).

Τα τελευταία χρόνια οι μικροβιακοί βιοδιεγέρτες βρίσκουν όλο και μεγαλύτερη εφαρμογή στην σύγχρονη γεωργία. Αυτό φαίνεται από διάφορες μελέτες οι οποίες υποστηρίζουν ότι οι βιοδιεγέρτες αυξάνουν την αντοχή των φυτών και στις βιοτικές καταπονήσεις (El-Saadony et al., 2022).

2.2.2.2 Οι υδρολυμένες πρωτεΐνες - αμινοξέα

Από βιολογική σκοπιά οι πρωτεΐνες αποτελούν ένα βασικό δομικό συστατικό όλων των ζωντανών οργανισμών, καθώς οποιαδήποτε δραστηριότητα, ακόμα και σε κυτταρικό και υποκυτταρικό επίπεδο, συμβαίνει με την παρεμβολή κάποιας πρωτεΐνης. Η θρέψη, η αναπνοή, η άμυνα του οργανισμού και γενικότερα τα φαινόμενα που χαρακτηρίζουν την ζωή έχουν ως προϋπόθεση την παρουσία των πρωτεϊνών. Από την υδρόλυση των πρωτεϊνών λαμβάνονται συνήθως μέχρι και είκοσι απαραίτητα αμινοξέα, τα οποία συναντάμε σε όλες τις πρωτεΐνες, ανεξάρτητα από την πηγή προέλευσης τους. Αυτό οφείλεται στο μηχανισμό της σύνθεσης των πρωτεϊνών, που δεν επιτρέπει αξιοποίηση άλλων αμινοξέων πέραν αυτών των είκοσι (Διαμαντίδης, 1994).

Η εφαρμογή υδρολυμένων πρωτεϊνών για την ενίσχυση της φυσικής άμυνας των φυτών, αποτελεί μία πολλά υποσχόμενη και καινοτόμο μέθοδο στη σύγχρονη γεωργία. Η εφαρμογή τους έχει δοκιμαστεί σε πλήθος καλλιεργειών με διάφορους τρόπους, από διαφυλλική εφαρμογή μέχρι και ως επικαλυπτικό σπόρων (Colla et al., 2017). Τα τελευταία χρόνια, κυρίως, οι υδρολυμένες πρωτεΐνες φυτικής προέλευσης είναι αυτές που κερδίζουν όλο και περισσότερο έδαφος στην γεωργική πρακτική, καθώς περιέχουν μεγάλο αριθμό βιοδραστικών ουσιών που προωθούν την ανάπτυξη και την ευρωστία των καλλιεργειών. Επιπλέον, αποτελούν μία φιλική προς το περιβάλλον προσέγγιση στη σύγχρονη γεωργία (Colla et al., 2017).

Οι υδρολυμένες πρωτεΐνες αποτελούν ένα μείγμα αμινοξέων, πεπτιδίων, πολυπεπτιδίων και μετουσιωμένων πρωτεϊνών που λαμβάνονται μετά από χημική, ενζυματική ή θερμική υδρόλυση των πρωτεϊνών ή και με συνδυασμό των τριών παραπάνω μεθόδων (Bulgari, 2020). Ως πηγές πρωτεϊνών χρησιμοποιούνται τα υποπροϊόντα της επεξεργασίας φυτικών και ζωικών ιστών. Αρκετές μελέτες έχουν δείξει ότι προϊόντα προερχόμενα από ζωικές πρωτεΐνες μπορεί να προκαλέσουν συμπτώματα φυτοτοξικότητας στις καλλιέργειες, σε σύγκριση με τα προϊόντα που ως πηγή πρωτεϊνών χρησιμοποιούν φυτικούς οργανισμούς (Colla et al., 2017; Bulgari, 2020). Αυτό, όμως, δεν αποτελεί κανόνα, καθώς σύμφωνα με την Bulgari (2020), η εφαρμογή

υδρολυμένων πρωτεϊνών ζωικής προέλευσης αύξησε τόσο το νωπό όσο και το ξηρό βάρος φυτών μαρουλιού, σε σχέση με τον μάρτυρα χωρίς να προκαλέσει τοξικότητα στα φυτά.

Οι υδρολυμένες πρωτεΐνες ζωικής προέλευσης, συνήθως, παράγονται με χημική υδρόλυση με τη χρήση οξέων (θειικό ή υδροχλωρικό) σε υψηλές θερμοκρασίες ($>121^{\circ}\text{C}$) και πιέσεις (>220 kPa). Με την εφαρμογή της μεθόδου αυτής, συνήθως, λαμβάνονται μεγάλες ποσότητες ελεύθερων αμινοξέων και σε μικρότερο βαθμό διαλυτά πεπτίδια (Colla et al., 2017). Κατά την όξινη υδρόλυση μερικά αμινοξέα όπως η τρυπτοφάνη, η κυστεΐνη, η σερίνη και η θρεονίνη υφίστανται ολική ή μερική καταστροφή, ενώ άλλα μετατρέπονται από την L- στην D- μορφή, με αποτέλεσμα να χάνεται η όποια βιοδραστική τους ιδιότητα (Colla et al., 2015a).

Αντίθετα, η υδρόλυση πρωτεϊνών με χρήση πρωτεολυτικών ενζύμων σε θερμοκρασίες $<60^{\circ}\text{C}$ που εφαρμόζεται στις πρωτεΐνες φυτικής προέλευσης, αποδίδει μεγαλύτερη αναλογία ελεύθερων και L- αμινοξέων, καθώς και μεγαλύτερες ποσότητες πεπτιδίων, σε σύγκριση με τη χημική υδρόλυση. Η βιοδραστική ιδιότητα των πεπτιδίων εξαρτάται από το μοριακό τους βάρος, με τα πεπτίδια χαμηλού μοριακού βάρους να χαρακτηρίζονται ως πιο ενεργά ((Colla et al., 2015a)).

Σύμφωνα με τους Matsumiya & Kubo (2011), πολλά πεπτίδια με βιοδραστικές ιδιότητες έχουν απομονωθεί και χαρακτηριστεί χημικά, ιδιαίτερα αυτά που έχουν φυτική προέλευση. Για παράδειγμα από την υδρόλυση των πρωτεϊνών της σόγιας λαμβάνεται ένα πεπτίδιο δώδεκα αμινοξέων που ονομάζεται «προωθητής έκπτυξης ριζικών τριχιδίων». Επιπλέον, έχουν ταυτοποιηθεί και πολλά άλλα πεπτίδια προερχόμενα από την υδρόλυση πρωτεϊνών ψυχανθών, όπως οι συστημίνες και οι φυτοσουλφοκίνες που δρουν ως ενεργοποιητές των μηχανισμών της άμυνας, της αύξησης και της ανάπτυξης των φυτών.

Οι υδρολυμένες πρωτεΐνες που χρησιμοποιούνται ως βιοδιεγέρτες, κυκλοφορούν στο εμπόριο σε διάφορες μορφές, όπως υγρά εκχυλίσματα, υδατοδιαλυτή σκόνη ή και σε κοκκώδη μορφή (Colla, et al., 2017). Η εφαρμογή υδρολυμένων πρωτεϊνών έχει αποδειχθεί ότι μπορεί να αυξήσει τα όρια αντοχής της καλλιέργειας στους διάφορους παράγοντες καταπόνησης. Παράλληλα, αποδείχθηκε ότι βοηθά συνολικά στην ενίσχυση των φυσιολογικών μηχανισμών άμυνας των καλλιεργειών (Bulgari, 2020). Αρκετές μελέτες έχουν δείξει ότι η εφαρμογή βιοδιεγερτών προερχόμενων από υδρολυμένες πρωτεΐνες προκαλεί στα φυτά συμπτωματολογία ανάλογη της εφαρμογής ορμονών, όπως οι αυξίνες και οι γιββερελλίνες,

προωθώντας την αύξηση και την ανάπτυξη ριζών και βλαστών (Colla, 2017).

Επιπλέον, η εφαρμογή υδρολυμένων πρωτεϊνών μέσω του ριζικού συστήματος βελτίωσε τόσο την πρόσληψη μακροστοιχείων και ιχνοστοιχείων, αλλά και την αποτελεσματικότητα χρήσης αυτών (Colla et al., 2017). Η αυξημένη ικανότητα πρόσληψης θρεπτικών συστατικών, ενδεχομένως, να οφείλεται εν μέρει στην πλουσιότερη ανάπτυξη του ριζικού συστήματος σε συνδυασμό με την αύξηση διαθέσιμων θρεπτικών στοιχείων στο εδαφικό διάλλειμα. Αυτό συμβαίνει διότι τα θρεπτικά στοιχεία του εδαφικού διαλείμματος σχηματίζουν σύμπλοκα με τα πεπτίδια και τα αμινοξέα, υποβοηθώντας την ανάπτυξη του μικροβιώματος του εδάφους (Colla et al., 2017).

Μεταξύ των υδρολυμένων πρωτεϊνών που χρησιμοποιούνται ως βιοδιεγέρτες, υπάρχει μία διαφοροποίηση στη δράση τους. Η διαφοροποίηση αυτή εξαρτάται από μία σειρά παράγοντες που αφορούν στην προέλευση και τα χαρακτηριστικά του σκευάσματος, αλλά και το καλλιεργούμενο είδος, την ποικιλία, τα φαινολογικά στάδια, τις συνθήκες ανάπτυξης, τις δόσεις και τον τρόπο εφαρμογής, αλλά και την ικανότητα των ενεργών συστατικών να προσλαμβάνονται από τα φύλλα (Colla et al., 2015a). Ιδιαίτερα, η παράμετρος της διασυστηματικότητας των υδρολυμένων πρωτεϊνών είναι κρίσιμη, καθώς η διαφυλλική εφαρμογή τους αποτελεί την περισσότερο διαδεδομένη γεωργική πρακτική (Colla et al., 2015a; Yakhin et al., 2017).

2.2.2.3 Οι χουμικές ενώσεις

Οι χουμικές ενώσεις αποτελούν προϊόν διάσπασης της οργανικής ουσίας του εδάφους. Προκύπτουν από την αποσύνθεση φυτικών και ζωικών υπολειμμάτων, αλλά και από την μεταβολική δραστηριότητα των μικροοργανισμών που συγκροτούν το μικροβίωμά του. Τα κυριότερα συστατικά του χούμου είναι τα φουλβικά οξέα, τα χουμικά οξέα και οι χουμίνες (Rouphael et al., 2018). Η σύσταση του χούμου δεν είναι σταθερή, αλλά φαίνεται να μεταβάλλεται συνεχώς, καθώς επηρεάζεται σημαντικά από τη μικροβιακή δραστηριότητα, η οποία και αποδομεί συνεχώς τα σύνθετα οργανικά μόρια σε απλούστερες μορφές που μπορούν να αξιοποιηθούν από τα φυτά (Καραμπουρνιώτης, 2021).

Η εφαρμογή χουμικών ενώσεων στα φυτά έχει παρατηρηθεί ότι διεγείρει την αύξηση του ριζικού συστήματος, καθώς και τη συνολική ανάπτυξη του φυτού (Canelas et al., 2002; Trevisan et al., 2010). Επιπλέον, φαίνεται ότι ο εμπλουτισμός του εδάφους με χουμικές ενώσεις

βελτιώνει την ικανότητα πρόσληψης των θρεπτικών συστατικών και του νερού από το έδαφος. Παράλληλα προσδίδει στα φυτά αυξημένα όρια αντοχής στους διάφορους παράγοντες καταπόνησης (Canelas et al., 2015; Nardi et al., 2016).

Σύμφωνα με τους Canellas et al. (2020), οι χουμικές ενώσεις αποτελούν έναν ευρέως χρησιμοποιούμενο βιοδιεγέρτη, καθώς σε χαμηλές συγκεντρώσεις, η εφαρμογή τους μπορεί να γίνει απευθείας στα φυτά για την ενίσχυση της αύξησης και της ανάπτυξής τους. Ο τρόπος που οι χουμικές ενώσεις επηρεάζουν τη φυσιολογία του φυτού δεν είναι πλήρως κατανοητός. Αυτό οφείλεται αφενός στην πολυπλοκότητα που παρουσιάζουν ως μόρια αφετέρου στην αφθονία και την ποικιλομορφία των επιπτώσεων που η εφαρμογή τους προκαλεί στα φυτά (Canelas et al., 2012).

Γενικά η δράση των χουμικών ενώσεων στον μετριασμό των αβιοτικών καταπονήσεων αποδίδεται στην ενεργοποίηση της ενζυμικής και μη ενζυμικής αντιοξειδωτικής άμυνας του φυτού. Κατά την έκθεση του φυτού σε παράγοντες αβιοτικής καταπόνησης παράγονται από το φυτό ενεργές μορφές οξυγόνου, οι οποίες αποτελούν τον κυριότερο παράγοντα πρόκλησης κυτταρικών βλαβών (Canellas et al., 2020). Για να περιοριστούν οι βλάβες που προκαλούνται σε κυτταρικό επίπεδο από την δράση των ενεργών μορφών οξυγόνου παράγονται ένζυμα, όπως η υπεροξειδική δισμουτάση, οι υπεροξειδάσες, η καταλάση και ασκορβική υπεροξειδάση, καθώς και φαινολικές ενώσεις και αμινοξέα, όπως η προλίνη (Canellas et al., 2020).

Η εφαρμογή χουμικών ενώσεων στο υπόστρωμα ανάπτυξης σποροφύτων όπως η τομάτα, η πιπεριά, το καρπούζι και το μαρούλι έχει αποδειχθεί ότι προάγει την καλύτερη ανάπτυξή τους. Τέλος, βοηθά τα φυτά να ανταπεξέλθουν στις δυσμενέστερες περιβαλλοντικές συνθήκες που αυτά αντιμετωπίζουν μετά τη μεταφύτευση (Qin & Leskovar, 2020).

2.2.2.4 Τα εκχυλίσματα φυκιών

Τα εκχυλίσματα φυκιών αποτελούν μία πολύ σημαντική πηγή οργανικής ουσίας και θρεπτικών συστατικών για τα φυτά. Συγκεντρώνουν όλα τα χαρακτηριστικά των βιοδιεγερτών, καθώς προωθούν την αύξηση και ανάπτυξη των φυτών, βελτιώνουν τη φωτοσυνθετική δραστηριότητα, αυξάνουν τα όρια αντοχής στους παράγοντες καταπόνησης, ενισχύουν την άμυνα του φυτού απέναντι στις ιώσεις και τους παθογόνους μικροοργανισμούς και γενικότερα, αυξάνουν την παραγωγικότητα των καλλιεργειών (Bulgari, 2019). Επιπλέον έχει βρεθεί ότι η εφαρμογή τους επηρεάζει θετικά το ποσοστό βλαστικότητας των σπόρων, την ευρωστία της

καλλιέργειας σε όλα τα βλαστικά στάδια της καλλιέργειας, μέχρι και τη μετασυλλεκτική συμπεριφορά των παραγόμενων κηπευτικών (Ali et al., 2021).

Τα εκχυλίσματα φυκιών που χρησιμοποιούνται ως βιοδιεγέρτες είναι πλούσια σε αυξίνες, κυττοκινίνες και άλλες ουσίες που είναι μιμητικές των ορμονών (Hamza et al., 2001). Επιπλέον, περιέχουν πλήθος βιοδραστικών οργανικών και ανόργανων ενώσεων, όπως σύνθετους πολυσακχαρίτες που προωθούν την ανάπτυξη του φυτού (Bhattacharyya, 2015). Για την εκχύλιση των βιοδραστικών αυτών ουσιών χρησιμοποιούνται τόσο φυσικές μέθοδοι όσο και χημικές. Η μέθοδος που ακολουθείται για την εκχύλιση θα πρέπει να λαμβάνει υπόψη την πολυπλοκότητα της σύνθεσης των βιοδραστικών μορίων που περιέχονται στα φύκια, αλλά και τη διατήρηση της δομής τους, έτσι, ώστε να παραμένουν βιοενεργά.

Η πιο διαδεδομένη μέθοδος που χρησιμοποιείται σήμερα είναι η αλκαλική εκχύλιση υπό πίεση, καθώς έχει βρεθεί ότι είναι η περισσότερο αποτελεσματική όσον αφορά στην ποσότητα βιοδιεγερτικών ουσιών που λαμβάνονται, αλλά και την ποιότητα αυτών. Αν και η μέθοδος αυτή εγγυάται τη διατήρηση της δομής των πολυσακχαριτών που αποτελούν και τα πιο βιοδραστικά συστατικά, δεν ισχύει το ίδιο για κάποιες ορμόνες, οι οποίες μπορεί να αλλοιωθούν (Ali et al., 2021).

Τα εκχυλίσματα φυκιών στη σύγχρονη γεωργία χρησιμοποιούνται ευρέως ως βιοδιεγέρτες σε πλήθος καλλιεργειών, με τους διαφυλλικούς ψεκασμούς να αποτελούν τον συνηθέστερο τρόπο εφαρμογής τους (Bulgari, 2019). Ο τρόπος εφαρμογής των εκχυλισμάτων φυκιών στα φυτά (διαφυλλικές εφαρμογές, ριζοποτίσμα ή και τα δύο) διαδραματίζει σημαντικό ρόλο στην ανταπόκριση που αυτά παρουσιάζουν (Ali et al., 2021). Διαφυλλικές εφαρμογές με συγκεντρώσεις μέχρι και 0,05% ο/ο έχει βρεθεί ότι είναι αποτελεσματικότερες στην αντιμετώπιση ασθενειών, αλλά και ότι αυξάνουν τις συνολικές αποδόσεις. Η καλύτερη επίδοση των διαφυλλικών εφαρμογών αποδίδεται στην άμεση πρόσληψη των βιοδραστικών συστατικών από τη φυλλική επιφάνεια. Αντίθετα, οι εφαρμογές στο έδαφος δεν είναι τόσο αποτελεσματικές, λόγω της προσρόφησης συστατικών των εκχυλισμάτων στα κολλοειδή συστήματα του εδάφους (Ali et al., 2021). Επιπλέον, το μεσοδιάστημα των εφαρμογών των εκχυλισμάτων φυκιών φαίνεται να επηρεάζει σημαντικά την επίδραση που αυτά έχουν στα φυτά. Εφαρμογές με μεσοδιάστημα 10-14 ημέρες φάνηκαν να επιφέρουν τα βέλτιστα αποτελέσματα (Ali et al., 2021).

2.2.2.5 Βιοδιεγέρτες προερχόμενοι από την ανακύκλωση γεωργικών και αστικών αποβλήτων

Μία άλλη κατηγορία βιοδιεγερτών περιλαμβάνει τα προϊόντα επεξεργασίας αστικών, βιομηχανικών και γεωργικών αποβλήτων (Xu et al., 2018). Τα προϊόντα επεξεργασίας των αγροτικών και βιομηχανικών αποβλήτων, χρησιμοποιούμενα ως βιοδιεγέρτες φάνηκε να βελτιώνουν την παραγωγικότητα των καλλιεργειών, τη σύνθεση δευτερογενών μεταβολιτών που εμπλέκονται σε πολλές φυσιολογικές λειτουργίες και προωθούν την δράση ενζύμων, όπως η φαινυλαλανίνη αμμωνία λύαση (phenylalanine ammonia lyase, PAL) (Ertani, 2011).

Οι πρώτες ύλες που χρησιμοποιούνται για την παραγωγή αυτής της κατηγορίας βιοδιεγερτών παρουσιάζουν μεγάλο εύρος και διαφοροποιήσεις, ανάλογα με την πηγή προέλευσης και τις μεθόδους επεξεργασίας που εφαρμόζονται. Ως εκ τούτου, είναι πολύ δύσκολο να διευκρινιστεί ο μηχανισμός δράσης των παραπάνω βιοδιεγερτών (Xu et al., 2018)

Η χρήση των υποπροϊόντων επεξεργασίας αποβλήτων ως πρώτη ύλη για την παραγωγή βιοδιεγερτών που μπορούν να βελτιώσουν την αποδοτικότητα της χρήσης των ανόργανων λιπασμάτων, βασίζεται στον νέο κανονισμό για τον περιορισμό της χρήσης αυτών και στο σχέδιο δράσης για την κυκλική οικονομία, το οποίο επικεντρώνεται στην επίτευξη μίας βιώσιμης γεωργίας. Η κατηγορία αυτή των βιοδιεγερτών μπορεί να συμβάλει στη μερική υποκατάσταση της ανόργανης λίπανσης, ενώ ταυτόχρονα συμβάλει στη βελτίωση των ποιοτικών χαρακτηριστικών και των αποδόσεων (Bulgari, 2019).

2.2.2.6 Τα νανοϋλικά ως βιοδιεγέρτες.

Σύμφωνα με τους Juárez-Maldonado et al. (2018), μία νέα κατηγορία βιοδιεγερτών αποτελούν τα νανοσωματίδια ή νανοϋλικά. Ως νανοϋλικά χαρακτηρίζονται τα σωματίδια που η διάμετρος τους κυμαίνεται κυμαίνεται στα 1-100 nm και παρουσιάζουν ιδιότητες που δεν συναντώνται στα μεγαλύτερης διαμέτρου σωματίδια ίδιας σύστασης. Τα νανοσωματίδια μπορεί να είναι οργανικά και ανόργανα υλικά, μεταλλικά και ημιμεταλλικά στοιχεία, των οποίων οι ιδιότητες αποδίδονται στο πολύ μικρό τους μέγεθος. Οι βιοδιεγερτικές ιδιότητες των νανοσωματιδίων παρουσιάζουν διαφοροποιήσεις που σχετίζονται με τη δομή τους, αλλά και με τα φυσικά και χημικά χαρακτηριστικά των υλικών αυτών.

Στην επιφάνεια των νανοϋλικών και νανοσωματιδίων υπάρχουν ηλεκτρικά φορτία, τα οποία

διευκολύνουν τη μεταφορά των ιόντων και των μεταβολιτών, ενώ ταυτόχρονα η παρουσία φορτισμένων σωματιδίων υποβοηθά τη δραστηριότητα των υποδοχέων, τροποποιώντας την κατανομή φορτίων και ενέργειας. Επιπλέον, παρουσιάζεται μία αλληλεπίδραση με τα επιφανειακά φορτία που υπάρχουν στα κυτταρικά τοιχώματα και τις κυτταρικές μεμβράνες. Τα φορτία υψηλής πυκνότητας που βρίσκονται σε μικρό όγκο προκαλούν μία έντονη αλληλεπίδραση ικανή να διαταράξει την πυκνότητα των επιφανειακών φορτίων των κυτταρικών τοιχωμάτων και μεμβρανών.

Η ηλεκτροστατική διαταραχή μπορεί να έχει αντίκτυπο στα ηλεκτρικά δυναμικά της εξωτερικής και εσωτερικής επιφάνειας, καθώς και στο διαμεμβρανικό ηλεκτρικό δυναμικό, τροποποιώντας τη δραστηριότητα των ενσωματωμένων πρωτεϊνών των μεμβρανών. Η επέκταση της κυτταρικής απόκρισης μπορεί να κυμαίνεται από βιοδιέγερση έως κυτταρικό θάνατο και εξαρτάται από τη συγκέντρωσή τους. Επιπλέον, τα νανοσωματίδια και τα νανοϋλικά απελευθερώνουν χημικά στοιχεία, όπως ο σίδηρος ή ο άνθρακας, τα οποία είναι χρήσιμα για τα φυτά, όταν αυτά μεταβολίζονται (Juárez-Maldonado et al., 2018).

Τα παραπάνω υλικά εφαρμοζόμενα σε μικρές συγκεντρώσεις είτε διαφυλλικά είτε μέσω της άρδευσης, παρουσιάζουν βιοδιεγερτικές ιδιότητες, καθώς προωθούν την αύξηση και ανάπτυξη των φυτών, ενώ παράλληλα αυξάνουν τα όρια αντοχής σε βιοτικούς και αβιοτικούς παράγοντες καταπόνησης (Qi et al., 2013; ; Lei et al., 2008; Khan et al., 2016). Επιπλέον, συμβάλουν στην αποδοτικότερη αξιοποίηση των λιπασμάτων, καθώς συμβάλουν στην ευκολότερη πρόσληψη θρεπτικών στοιχείων από το έδαφος, μειώνοντας ταυτόχρονα τον περιβαλλοντικό αντίκτυπο, σε σχέση με τις παραδοσιακές μεθόδους.

2.2.3 Η επίδραση των βιοδιεγερτών στην περιεκτικότητα της χλωροφύλλης, τη φωτοσύνθεση και την ανάπτυξη των λαχανικών

Οι βιοδιεγέρτες μπορούν να χρησιμοποιηθούν στην καλλιέργεια των λαχανικών με σκοπό την βελτίωση της παραγωγικότητας, των ποιοτικών χαρακτηριστικών, της ευρωστίας των φυτών και την αύξηση της αντοχής τους στους διάφορους παράγοντες καταπόνησης. Η χρησιμότητα τους αποδίδεται στη θετική επίδραση των βιοδιεγερτών στην ενεργοποίηση του μεταβολισμού, ακόμα και αν η καλλιέργεια δεν καταπονείται από οποιοδήποτε παράγοντα.

Σε πολλές μελέτες αναφέρεται ότι οι φυτικοί βιοδιεγέρτες και τα εκχυλίσματα φυκιών εφαρμοζόμενα είτε διαφυλλικά είτε με ριζοπότισμα αυξάνουν τη συγκέντρωση χλωροφύλλης

στα φύλλα, είτε υποβοηθώντας τη σύνθεση της ή μειώνοντας τον ρυθμό αποδόμησής της (Abbas et al., 2013). Η παράμετρος του χρώματος των φύλλων είναι ιδιαίτερα σημαντική για τα φυλλώδη λαχανικά, καθώς το εντονότερο χρώμα καθιστά το προϊόν περισσότερο ελκυστικό στον καταναλωτή. Επιπλέον, η αυξημένη συγκέντρωση χλωροφύλλης στα φύλλα συνεπάγεται την αυξημένη φωτοσυνθετική δραστηριότητα. Η εφαρμογή βιοδιεγερτών έχει δοκιμαστεί σε πλήθος κηπευτικών καλλιεργειών, όπως η ρόκα (Vernieri et al., 2005; 2006), το μαρούλι και το αντίδι (Bulgari et al., 2014). Υψηλότερες συγκεντρώσεις χρωστικών (χλωροφύλλη και καροτενοειδή) παρατηρήθηκαν μετά την εφαρμογή αμινοξέων ή εκχυλισμάτων φυκιών, όπως και αύξηση της συγκέντρωσης K και P.

Επιπλέον, παρατηρήθηκε αύξηση του νωπού και ξηρού βάρους στα φύλλα σελινόριζας μετά την εφαρμογή αμινοξέων ή εκχυλισμάτων φυκιών. Παρόμοια αποτελέσματα παρατηρήθηκαν στις καλλιέργειες του μπρόκολου μετά από την εφαρμογή μικροβιακών βιοδιεγερτών με ριζοπότισμα που περιείχαν διάφορα βακτήρια, όπως *Bacillus cereus*, *Brevibacillus reuszeri* και *Rhizobium rubi* (Yildirim et al., 2011), της τομάτας με στελέχη των βακτηρίων *Bacillus*, *Pseudomonas* και αζωτοδεσμευτικών βακτηρίων (Narendra Babu, 2015), της φράουλας με τα βακτήρια *Bacillus subtilis*, *B. atrophaeus*, *B. spharicus* subgroup *staphylococcus kloosii* και *Kocuria erythromyxa* (Karlidag, 2013), όπως και του μαρουλιού που καλλιεργήθηκε σε συνθήκες ωσμωτικής καταπόνησης με τα βακτήρια *Serratia* sp., *Rhizobium* sp. και *Azospirillum* (Han, 2003).

Σύμφωνα με τον Abdalla Mona (2013), η εφαρμογή εκχυλισμάτων του φυτού *Moringa oleifera* σε καλλιέργεια ρόκας, αύξησε τη συγκέντρωση χλωροφύλλης, ενώ ταυτόχρονα επηρέασε θετικά τη βλαστική ανάπτυξη της καλλιέργειας και τον ρυθμό φωτοσύνθεσης. Επιπλέον, παρατηρήθηκε αύξηση της συγκέντρωσης ολικών σακχάρων, φαινολών, ασκορβικού οξέος. Παρόμοια αποτελέσματα παρατηρήθηκαν και στην καλλιέργειες μάραθου και κολοκυθιού σε συνθήκες υδατικής καταπόνησης (Bulgari, 2019). Στην καλλιέργεια τομάτας, η εφαρμογή του παραπάνω βιοδιεγέρτη οδήγησε σε αύξηση του βάρους των καρπών, της συνεκτικότητας της σάρκας τους και της συγκέντρωσης χλωροφύλλης (Ullah, 2019).

Σύμφωνα με τον Luziatelli et al. (2019), η εφαρμογή φυτικών βιοδιεγερτών διαφορετικής προέλευσης αύξησε τη συγκέντρωση χλωροφύλλης και το νωπό βάρος στην καλλιέργεια του μαρουλιού. Αντίστοιχα, η εφαρμογή εκχυλισμάτων φυκιών στην καλλιέργεια σπανακιού οδήγησε σε μορφολογικές, φυσιολογικές και βιοχημικές μεταβολές, όπως η αύξηση της

συγκέντρωσης χρωστικών ουσιών (χλωροφύλλη και καροτενοειδή). Επιπλέον, παρατηρήθηκε αύξηση του ρυθμού ανάπτυξης μετά την εφαρμογή των βιοδιεγερτών (Kulkarni et al., 2019).

2.2.4 Η επίδραση των φυτικών βιοδιεγερτών στην μικροβιακή δραστηριότητα του εδάφους

Σύμφωνα με τον Du Jarbin (2015), η εφαρμογή φυτικών βιοδιεγερτών, όπως προϊόντων υδρόλυσης πρωτεϊνών στο έδαφος διεγείρει τη μικροβιακή δραστηριότητα, καθώς οι μικροοργανισμοί του εδάφους αξιοποιούν τα οργανικά αυτά μόρια ως πηγή θρεπτικών στοιχείων, αποδομώντας τα σε απλούστερες μορφές. Άλλοι ερευνητές όπως οι Calvo et al., (2014) και Halpern et al. (2015), μελέτησαν την επίδραση της εφαρμογής εκχυλισμάτων φυκιών στο έδαφος, διαπιστώνοντας βελτίωση της δομής του εδάφους και αύξηση της μικροβιακής δραστηριότητάς του. Τα καφέ φύκια ανήκουν στην οικογένεια των Fucaceae και είναι γνωστά για την ικανότητά τους να συμβάλλουν στη διατήρηση της υγρασίας και της δομής του εδάφους. Τα αλγινικά άλατα και οι φουκοϊδάνες που περιέχονται σε αυτά είναι φυσικά πολυμερή. Αυτά τα πολυμερή μπορούν να σχηματίσουν μία επίστρωση στην επιφάνεια του εδάφους που μπορεί να συμβάλλει στη διατήρηση της υγρασίας (Halpern et al., 2015).

Επίσης, τα αλγινικά άλατα και οι φουκοϊδάνες μπορούν να συνδεθούν με μεταλλικά ιόντα στο έδαφος, όπως Ca και Mg και να δημιουργήσουν σταθερές συνδέσεις. Αυτό μπορεί να έχει ως αποτέλεσμα την ενίσχυση της δομής του εδάφους και τη βελτίωση της διατήρησης της υγρασίας, καθώς οι συνδέσεις αυτές μπορεί να διατηρήσουν την υγρασία στο έδαφος για μεγαλύτερο χρονικό διάστημα (Halpern et al., 2015). Σύμφωνα με τους Calvo et al. (2014), οι μικροοργανισμοί που περιέχονται στα εκχυλίσματα των καφέ φυκιών έχουν την ικανότητα να αποικίζουν τις ρίζες των καλλιεργειών, ενώ παράλληλα δημιουργούν ευνοϊκό περιβάλλον για την εγκατάσταση και άλλων μικροοργανισμών διαφορετικών ειδών.

Οι φυτικοί βιοδιεγέρτες περιέχουν μικροοργανισμούς που μπορούν να συνθέτουν φυτορμόνες, οι οποίες επηρεάζουν διάφορες φυσιολογικές λειτουργίες των φυτών, όπως την ανάπτυξη, την παραγωγή φύλλων, την ανθοφορία και την καρποφορία (Calvo et al., 2014). Για παράδειγμα, η γιββερελλίνη μπορεί να ενισχύσει την ανάπτυξη των φυτών και να βελτιώσει την απόδοσή τους, ενώ το ινδολ-3-οξικό οξύ μπορεί να επηρεάσει τη βλαστική τους ανάπτυξη (Βογιατζής, 2003).

Συνεπώς, η χρήση βιοδιεγερτικών προϊόντων μπορεί να βοηθήσει στη βελτίωση της απόδοσης

και της αντοχής των φυτών σε δύσκολες συνθήκες, καθώς οι φυτορμόνες που παράγονται από τους μικροοργανισμούς μπορεί να βελτιώσουν την αντίσταση του φυτού στους διάφορους παράγοντες βιοτικής και αβιοτικής καταπόνησης (Calvo et al., 2014). Τέλος, οι μικροοργανισμοί που βρίσκονται στα βιοδιεγερτικά προϊόντα μπορεί να βοηθήσουν στη βελτίωση της ποιότητας του εδάφους σε μολυσμένες περιοχές ή περιοχές υποβαθμισμένες από την ανθρωπογενή δραστηριότητα. Οι μικροοργανισμοί αυτοί εκτελούν πολλαπλές διεργασίες που μπορεί να βελτιώσουν τις συνθήκες αυτές μακροπρόθεσμα και να καταστήσουν τα εδάφη αυτά κατάλληλα για χρήση (Calvo et al., 2014).

2.2.5 Η επίδραση των φυτικών βιοδιεγερτών στις βιοτικές και αβιοτικές καταπονήσεις

Ένα από τα βασικότερα βιοδραστικά συστατικά που περιέχονται στους φυτικούς βιοδιεγέρτες είναι ένα πολυμερές της χιτίνης που ονομάζεται χιτοζάνη (Du Jarbin, 2015). Η χιτοζάνη δεσμεύει κυτταρικά συστατικά και ενεργοποιεί γονίδια άμυνας που προστατεύουν τα φυτά από παθογόνους μικροοργανισμούς. Επιπλέον, η χιτοζάνη μπορεί να βοηθήσει τα φυτά να αντιμετωπίσουν δύσκολες συνθήκες, όπως ξηρασία, αλατότητα και μη ευνοϊκές κλιματικές συνθήκες ανάπτυξης (Du Jarbin, 2015).

Τα είδη του γένους *Trichoderma* και άλλες μυκόρριζες αποτελούν σημαντικούς συμβιωτικούς μικροοργανισμούς των φυτικών οργανισμών. Αυτοί οι μικροοργανισμοί συνδράμουν στην απομάκρυνση βλαβερών μικροοργανισμών από το εδαφικό περιβάλλον και στην αύξηση της διαθεσιμότητας θρεπτικών στοιχείων για τα φυτά. Επιπλέον, η παρουσία τους ενδυναμώνει την αντίσταση των φυτών στις ασθένειες και στις ακραίες κλιματικές συνθήκες. Συνολικά, η συμβίωση με τα *Trichoderma* spp. και άλλες μυκόρριζες βοηθά στη βελτίωση της απόδοσης των καλλιεργειών και της βιωσιμότητας του γεωργικού συστήματος (Du Jarbin, 2015).

Τα προϊόντα υδρόλυσης πρωτεϊνών περιέχουν πεπτίδια και αμινοξέα που μπορούν να δράσουν ως σήματα για τα φυτά, επηρεάζοντας την άμυνα και την αντοχή τους απέναντι σε παθογόνους μικροοργανισμούς. Επίσης, μπορούν να προάγουν την ανάπτυξη των ριζοβακτηρίων και των μυκορριζών, οι οποίες μπορούν να βοηθήσουν στην αντιμετώπιση της αλατότητας και άλλων δυσμενών παραγόντων που επηρεάζουν την ανάπτυξη των φυτών (Du Jarbin, 2015).

Σύμφωνα με τους Calvo et al. (2014), η εφαρμογή φυτικών βιοδιεγερτών προερχόμενα από την εκχύλιση φυκών, συμβάλει στην αντιμετώπιση των καταπονήσεων. Αυτά περιέχουν διάφορες βιοδραστικές ουσίες, όπως φαινολικές ενώσεις, πολυσακχαρίτες και βιταμίνες που μπορούν να

επηρεάσουν θετικά την ανθεκτικότητα των φυτών σε αβιοτικούς παράγοντες, όπως η ξηρασία, η αλατότητα και η υπεριώδης ακτινοβολία. Η προστασία των φυτών από τέτοιες αβιοτικές συνθήκες σχετίζεται με την έκφραση γονιδίων που κωδικοποιούν τις πρωτεΐνες που εμπλέκονται σε διάφορες διεργασίες των φυτών. Για παράδειγμα, η ενεργοποίηση της έκφρασης γονιδίων που κωδικοποιούν τη σύνθεση φουκοειδών, προωθεί την αντιμετώπιση της αλατότητας. Η έκφραση των γονιδίων που κωδικοποιούν τη σύνθεση των φυκοξανθινών, αυξάνει την ανθεκτικότητα των φυτών στην υπεριώδη ακτινοβολία. Συνεπώς, τα εκχυλίσματα φυκιών μπορεί να επηρεάσουν θετικά την έκφραση γονιδίων που σχετίζονται με την αντιμετώπιση αβιοτικών παραγόντων (Bulgari et al., 2019).

Σύμφωνα με τους Shukla et al. (2017), τα εκχυλίσματα φυκιών περιέχουν σε μεγάλες συγκεντρώσεις αμινοξέα και βεταΐνες, όπως γλυκινοβεταΐνη και η προλίνη που μπορεί να δράσουν ως ωσμοπροστατευτικά μόρια, σε συνθήκες αυξημένης αλατότητας και ξηρασίας, καθιστώντας τα φυτά πιο ανθεκτικά σε αυτές τις αβιοτικές καταπονήσεις. Η προσθήκη εκχυλισμάτων φυκιών με ριζοπότισμα ή διαφυλλικά μπορεί να βελτιώσει την απόδοση και την ποιότητα των καλλιεργειών, ενώ ταυτόχρονα μπορεί να μειώσει τη χρήση των φυτοφαρμάκων και την αποδοτικότητα χρήσης νερού (Sharma et al., 2017).

2.2.6 Επίδραση των βιοδιεγερτών στην απορρόφηση θρεπτικών συστατικών

Σύμφωνα με τον Du Jarbin (2015), οι βιοδιεγέρτες που περιέχουν προϊόντα υδρόλυσης πρωτεϊνών εμπλέκονται στη σύνθεση κάποιων ενζύμων που συνδέονται με την αφομοίωση του N, αυξάνοντας με αυτόν τον τρόπο τη διαθεσιμότητα του. Η προσθήκη χουμικών ενώσεων στο εδαφικό περιβάλλον αυξάνει τη διαθεσιμότητα θρεπτικών στοιχείων, όπως ο Fe και ο Zn, καθώς δημιουργούν σύμπλοκες ενώσεις που τα καθιστούν αξιοποιήσιμα από τα φυτά. Επιπλέον, τα χουμικά σύμπλοκα που δημιουργούνται στο έδαφος βελτιώνουν τη δομή του, ευνοώντας την ανεμπόδιστη ανάπτυξη του ριζικού συστήματος, αλλά και την καλύτερη αξιοποίηση του νερού και των θρεπτικών συστατικών (Halpern et al., 2015).

Σύμφωνα με τους Halpern et al. (2015), κάποια γένη βακτηρίων όπως τα *Pseudomonas*, *Agrobacterium* και *Burkholderia* συνθέτουν οργανικά οξέα (γλυκονικό και κιτρικό), μειώνοντας το pH του εδαφικού διαλύματος, καθιστώντας διαλυτά και άρα αξιοποιήσιμα τα ιχνοστοιχεία (Halpern et al., 2015). Επιπλέον, θρεπτικά στοιχεία όπως το N, ο P και το S απαντώνται στο εδαφικό διάλυμα δεσμευμένα σε σύνθετα οργανικά μόρια που δεν μπορούν να

αξιοποιηθούν από τα φυτά (Jacoby et al., 2017). Τα φυτά βασίζονται στην ανάπτυξη του μικροβιώματος του εδάφους για τη διάσπαση των σύνθετων αυτών μορίων σε απλούστερες μορφές που μπορεί να αξιοποιηθούν από τα φυτά (Bonkowski, 2004). Σύμφωνα με τους Schimel & Bennett (2004), οι μικροοργανισμοί του εδάφους διαδραματίζουν καθοριστικό ρόλο στην ανοργανοποίηση των θρεπτικών στοιχείων και μπορεί να θέτουν όρια στην παραγωγικότητα των οικοσυστημάτων.

2.2.7 Η επίδραση των βιοδιεγερτών στη μεταφυτευτική διαταραχή του μαρουλιού

Αν και οι επιπτώσεις της αποκοπής μέρους του ριζικού συστήματος κατά τη μεταφύτευση έχουν μελετηθεί για τις καλλιέργειες μεγάλου καλλιεργητικού κύκλου, όπως η τομάτα ή το ρύζι, δεν έχει διερευνηθεί επαρκώς, τι συμβαίνει με τις καλλιέργειες σύντομου κύκλου, όπως το μαρούλι που συγκομίζονται σε λιγότερες από 90 ημέρες από τη μεταφύτευση (Kerbiriou et al., 2013).

Σκοπός της παρούσας εργασίας είναι να διερευνηθεί κατά πόσο η χρήση βιοδιεγερτών μπορεί να επιδράσει στο μετριασμό της μεταφυτευτικής διαταραχής στο μαρούλι. Ειδικότερα σκοπό αποτελεί η μελέτη της επίπτωσης ενός μικροβιακού και ενός μη μικροβιακού βιοδιεγέρτη (προϊόν υδρολυμένης πρωτεΐνης ζωικής προέλευσης) στην αντιμετώπιση της μεταφυτευτικής διαταραχής, την αύξηση και ανάπτυξη των φυτών, τα ποιοτικά χαρακτηριστικά, καθώς και την απόδοση της καλλιέργειας του μαρουλιού.

3. Υλικά και μέθοδοι

3.1 Καλλιέργεια, φυτικό υλικό και μεταχειρίσεις

Σπορόφυτα μαρουλιού (*Lactuca sativa* cv. Starfighter) τύπου σαλάτα που αναπτύχθηκαν σε δίσκους διογκωμένου πολυστυρενίου 220 θέσεων μεταφυτεύθηκαν στο στάδιο των 5 πραγματικών φύλλων στο έδαφος μη θερμαινόμενου πλαστικού θερμοκηπίου στην περιοχή Ελεούσας του Δήμου Χαλκηδόνas της Περιφερειακής Ενότητας Θεσσαλονίκης στις 12 Νοεμβρίου 2022.

Στα φυτά έγινε ή όχι εφαρμογή των εμπορικών σκευασμάτων Bactiva® και Isabion®, ως εξής: Το Bactiva® εφαρμόστηκε με ριζοπότισμα των φυτών (0,2 g/L) με 100 mL/φυτό αμέσως μετά τη μεταφύτευση. Ακολούθησε ριζοπότισμα των φυτών (0,2 g/L) με 100 mL/φυτό 14 και 21 ημέρες μετά τη μεταφύτευση. Το Isabion® εφαρμόστηκε με ψεκασμό των φυτών στον δίσκο (2 mL/L) την ημέρα της μεταφύτευσης και ριζοπότισμα των φυτών (0,4 mL/L) με 100 mL/φυτό, αμέσως μετά τη μεταφύτευση. Ακολούθησε ριζοπότισμα των φυτών (0,4 mL/L) με 100 mL/φυτό 14 και 21 ημέρες μετά τη μεταφύτευση.

Το Bactiva® (παρασκευαστής Bactiva GmbH, Heronger str. 2, D-47638 Straelen, Germany, αντιπρόσωπος-διανομέας AGRIPRO OE, θέση Πυρίτσα, Ιωνία, Θεσσαλονίκη) είναι παράγοντας ριζοβολίας, που αποκαθιστά τις κατεστραμμένες ρίζες και διεγείρει την ανάπτυξη των ριζών μέσω των φυτικών ορμονών (γιββερελίνες, κυτοκινίνες) που παράγουν τα βακτήρια και οι μύκητες που περιέχει. Επιπλέον, τα βακτήρια σταθεροποιούν το άζωτο και διαλυτοποιούν τον αδιάλυτο φώσφορο, παρέχοντας έτσι στοιχεία, τα οποία τα φυτά δεν μπορούσαν να προσλάβουν διαφορετικά. Περιέχει ωφέλιμα βακτήρια (*Bacillus subtilis*, *B. polymyxa*, *B. megaterium*, *Pseudomonas fluorescens* 10⁸ CFU/g), μύκητες (*Trichoderma harzianum*, *T. reesei*, *T. viride*, *Gliocladium virens*), βιταμίνες (B1 [θειαμίνη], B2 [ριβοφλαβίνη], B3 [νιασίνη, νικοτινικό οξύ], B6 [πυριδοξίνη], B7 [H ή βιοτίνη], B9 [φολικό οξύ], B12 [κυανοκοβαλαμίνη], C [ασκορβικό οξύ] και K [φυλλοκινόνη]), αμινοξέα φυτικών πρωτεϊνών, εκχύλισμα *Yucca schidigera* και θαλάσσιων φυκιών *Ascophyllum nodosum*. Εφαρμόζεται με ψεκαστικό μέσο ή μέσω του συστήματος άρδευσης, κατά προτίμηση νωρίς το πρωί ή αργά το βράδυ, όταν η υπερϊώδης ακτινοβολία του ήλιου δεν θα βλάψει τους οργανισμούς σε ποσότητα 0,5-1,5 kg/ha σε διαστήματα 2-3 εβδομάδων (Bactiva flyer EN 11.02.20).

Το Isabion® (παρασκευαστής Sicit Group SPA, Via Arzignano 80, 36072 Chiampo (Vicenza), Italy, διανομέας Syngenta Hellas μονοπρόσωπη ΑΕΒΕ, Λ. Ανθούσας, Ανθούσα Αττικής) είναι φυσικός βιοδιεγέρτης της ανάπτυξης των φυτών. Περιέχει μίγμα ελεύθερων αμινοξέων και πεπτιδίων (62,5%) χαμηλού μοριακού βάρους, τα οποία προέρχονται από υδρόλυση πρωτεΐνης ζωικής προέλευσης (κολλαγόνο). Τα ελεύθερα αμινοξέα αντιπροσωπεύουν το 11 % β/β, το μέσο μοριακό βάρος της υδρολυμένης πρωτεΐνης είναι < 2000 Da και η τυπική πυκνότητα 1.27 g/mL στους 20 °C (Isabion-etiketa.pdf). Ευνοεί την ανάπτυξη του ριζικού συστήματος, τη γρήγορη ανάκαμψη από την μεταφυτευτική διαταραχή, τη βελτίωση απορροφησιμότητας θρεπτικών στοιχείων και την αποφυγή ζημιών από παγετό.

3.2 Συνθήκες περιβάλλοντος

Η θερμοκρασία και η σχετική υγρασία του αέρα στο περιβάλλον του θερμοκηπίου καταγράφονταν ανά ώρα με αισθητήρες στα 15 cm από την επιφάνεια του εδάφους συνδεδεμένους σε Squirrel Meter/Logger (Grant Instruments, Ltd. Cambridge UK). Τα δεδομένα για την ένταση της ηλιακής ακτινοβολίας με καταγραφές κάθε 10 min και για όλη τη διάρκεια της καλλιέργειας πάρθηκαν από τον πλησιέστερο μετεωρολογικό σταθμό ιδιοκτησίας του Εθνικού Αστεροσκοπείου Αθηνών εγκατεστημένο στη Σίνδο.

3.3 Προσδιορισμοί

Στη διάρκεια ανάπτυξης των φυτών και σε τακτά χρονικά διαστήματα καταγράφονταν η περιεκτικότητα σε χλωροφύλλη (14, 21, 28, 35, 42, 49, 56 και 63 ημέρες από τη μεταφύτευση). Επιπλέον, στις 21 και 35 ημέρες μετά τη μεταφύτευση καταγράφηκε φθορισμός χλωροφύλλης.

Στις 35 και 63 ημέρες από τη μεταφύτευση έγινε συγκομιδή φυτών και προσδιορίστηκε η ποιότητα, η σοβαρότητα της περιφερειακής νέκρωσης των φύλλων (tipburn), το βάρος και το χρώμα τους. Στη συνέχεια, τα φυτά καταψύχθηκαν στους -20 °C και μετά από μερική απόψυξή τους και πολτοποίηση σε blender, χρησιμοποιήθηκαν για τον προσδιορισμό της περιεκτικότητάς τους σε ξηρή ουσία, ολικές διαλυτές φαινόλες, χρωστικές (χλωροφύλλη α, β, α+β, α/β, ολικά καροτενοειδή), καθώς και της αντιοξειδωτικής τους ικανότητας.

3.3.1 Δείκτης περιεκτικότητας σε χλωροφύλλη (CCI)

Ο δείκτης περιεκτικότητας σε χλωροφύλλη (CCI) των φύλλων προσδιορίζονταν με φορητό χλωροφυλλόμετρο CCM-200 plus (Opti-Sciences Inc., Hudson NH, USA).

3.3.2 Φθορισμός χλωροφύλλης

Οι παράμετροι φθορισμού της χλωροφύλλης καταγράφηκαν με Fluorpen FP100-MAX, PAM fluorometer (Photon Systems Instruments, Drásov, Czech Republic).

3.3.3 Ποιότητα και σοβαρότητα της περιφερειακής νέκρωσης των φύλλων

Η ποιότητα και η σοβαρότητα της περιφερειακής νέκρωσης των φύλλων βαθμολογήθηκαν σε μια κλίμακα από το 1 έως το 9, σύμφωνα με το σύστημα που περιγράφεται από τους Kader et al. (1973) και Siomos et al. (2001; 2001a). Για την οπτική ποιότητα 9= εξαιρετική, ουσιαστικά χωρίς κανένα ελαττώματα, 7= καλή, μικρά ελαττώματα, 5= μέτρια, ικανοποιητική, ελαφρώς έως μέτρια αποδεκτά ελαττώματα, κατώτερο αποδεκτό όριο εμπορευσιμότητας, 3= κακή, υπερβολικά ελαττώματα, με εμπορεύσιμο, 1= εξαιρετικά φτωχή, ενώ για τη σοβαρότητα της περιφερειακής νέκρωσης των φύλλων, 1= καμία, 3= ελαφρά, αποδεκτή στην εμπορευσιμότητα, 5= μέτρια, οριακά αποδεκτή στην εμπορευσιμότητα, 7= σοβαρή, μη αποδεκτή στην εμπορευσιμότητα και 9= ακραίος βαθμός σοβαρότητας.

3.3.4 Χρώμα

Το χρώμα προσδιορίστηκε με χρωματόμετρο Minolta CR-200 (Minolta, Osaka, Japan) εξοπλισμένο με κεφαλή μέτρησης 8 mm και μέσο φωτισμού C (6774K). Το όργανο ρυθμιζόταν με το εργοστασιακό πρότυπο λευκό χρώμα ($Y = 93,9$, $X = 0,313$ και $y = 0,3209$). Από τις ενδείξεις του οργάνου, χρησιμοποιήθηκε η παράμετρος L^* (φωτεινότητα, με τιμές από 0= μαύρο έως 100=λευκό), ενώ από τις παραμέτρους a^* και b^* προσδιορίστηκαν το Χρώμα [$C^* = (a^{*2} + b^{*2})^{0.5}$] (κορεσμός του χρώματος, με τις χαμηλές τιμές να δείχνουν θαμπό χρώμα και τις υψηλές έντονο) και η γωνία hue [$h^\circ = \tan^{-1} (b^*/a^*)$, όταν $a^* > 0$ και $b^* > 0$ ή $h^\circ = 180^\circ + \tan^{-1} (b^*/a^*)$, όταν $a^* < 0$ και $b^* > 0$) (κόκκινο-πορφυρό χρώμα στις 0° , κίτρινο στις 90° , μπλε-πράσινο στις 180° και μπλε στις 270°) (Lancaster et al., 1997).

3.3.5 Ξηρά ουσία

Ποσότητα 50 g πολτοποιημένου δείγματος τοποθετούνταν σε κλίβανο στους 70°C για 3 ημέρες.

3.3.6 Ολικές διαλυτές φαινόλες

Ποσότητα 5 g πολτοποιημένου δείγματος ομογενοποιήθηκαν με 25 mL 95% μεθανόλης σε

ομογενοποιητή Polytron (Kinematika GmbH) και διηθήθηκαν μέσω φίλτρου whatman No 1. Ο προσδιορισμός των ολικών διαλυτών φαινολών έγινε φωτομετρικά με τη μέθοδο των Scalbert et al. (1989) ως εξής: Ποσότητα 2,5 mL από το αντιδραστήριο Folin-Ciocalteu (αραιωμένο κατά 10 φορές με απεσταγμένο νερό) και 2 mL διαλύματος Na_2CO_3 (75 g/L) προστέθηκαν σε 0,5 mL του δείγματος. Η προσθήκη του Na_2CO_3 έγινε μέσα στο χρονικό διάστημα των 30 sec ως 8 min από την προσθήκη του αντιδραστηρίου Folin-Ciocalteu. Τα δείγματα τοποθετήθηκαν σε υδατόλουτρο στους 50 °C για 5 min και μετά από ψύξη σε θερμοκρασία δωματίου, μετρήθηκε η απορρόφηση του διαλύματος στα 760 nm. Τα δεδομένα των μετρήσεων εκφράστηκαν ως μg ισοδύναμου γαλλικού οξέος (GAE)/g ν.β. Η πρότυπη καμπύλη αναφοράς έγινε με μέτρηση της απορρόφησης διαλυμάτων γνωστής συγκέντρωσης γαλλικού οξέος (8-80 $\mu\text{g/mL}$) που προέκυψαν από αραιώσεις πυκνού διαλύματος (80 mg/100 mL).

3.3.7 Συνολική αντιοξειδωτική ικανότητα

Η συνολική αντιοξειδωτική ικανότητα προσδιορίστηκε ακολουθώντας τη μέθοδο των Brand-Williams et al. (1995). Συγκεκριμένα, 200 μL του παραπάνω υπερκείμενου διαλύματος προστέθηκαν σε 2800 μL διαλύματος 100 μM 2,2-diphenyl-1-picrylhydrazyl (DPPH) σε 95% μεθανόλη σε δοκιμαστικό σωλήνα, ανακατεύθηκαν σε vortex και διατηρήθηκαν στο σκοτάδι για 1 h σε θερμοκρασία δωματίου. Μετρήθηκε η απορρόφηση τους σε 517 nm σε φασματοφωτόμετρο και χρησιμοποιήθηκε ασκορβικό οξύ για την πρότυπη καμπύλη. Η ικανότητα εξουδετέρωσης ελεύθερων ριζών του DPPH που αντιπροσωπεύει την ολική αντιοξειδωτική ικανότητα, εκφράστηκε ως mg ισοδύναμα ασκορβικού οξέος (AAE)/100 g ν.β.

3.3.8 Χρωστικές (χλωροφύλλες, καροτενοειδή)

Η εκχύλιση και ο προσδιορισμός της περιεκτικότητας σε χλωροφύλλες και ολικά καροτενοειδή έγινε σύμφωνα με τους Lichtenthaler & Wellburn (1983). Ειδικότερα, 1 g πολτοποιημένου δείγματος αναμείχθηκε με 10 mL 100% ακετόνης σε πλαστικούς σωλήνες με καπάκι και διατηρήθηκε στους -20 °C. Μετά από απόψυξη, τα δείγματα ανακατεύθηκαν σε vortex, φυγοκεντρήθηκαν σε 10.000 \times rpm για 10 min στους 20 °C και το υπερκείμενο διάλυμα διηθήθηκε μέσω φίλτρου Whatman No 1 σε ογκομετρικές φιάλες των 25 mL. Επιπλέον 10 mL 100% ακετόνης προστέθηκαν στο ίζημα και τα δείγματα αναδεύτηκαν σε 150 \times rpm για 10 min. Τα δείγματα επαναδιηθήθηκαν και τα διηθήματα προστέθηκαν στα προηγούμενα. Οι φιάλες συμπληρώθηκαν με 100% ακετόνη και μετρήθηκε η απορρόφηση των διηθημάτων σε

φασματοφωτόμετρο σε μήκη κύματος 470, 645 και 662 nm.

Για τον επιμέρους προσδιορισμό των χρωστικών, χρησιμοποιήθηκαν οι παρακάτω εξισώσεις:

$$\text{Χλωροφύλλη } \alpha \text{ (}\mu\text{g/g v.}\beta\text{.)} = [(11,75 \times \text{Abs}_{662} - 2,35 \times \text{Abs}_{645}) / W \times V]$$

$$\text{Χλωροφύλλη } \beta \text{ (}\mu\text{g/g v.}\beta\text{.)} = [(18,61 \times \text{Abs}_{645} - 3,96 \times \text{Abs}_{662}) / W \times V],$$

όπου W= βάρος ιστού (g) και V= όγκος εκχυλίσματος (mL).

$$\text{Χλωροφύλλη } \alpha + \beta \text{ (}\mu\text{g/g v.}\beta\text{.)} = \text{Χλωροφύλλη } \alpha + \text{Χλωροφύλλη } \beta.$$

$$\text{Ολικά καροτενοειδή (}\mu\text{g/g v.}\beta\text{.)} = [(1000 \times \text{Abs}_{470} \times V / W) - (2,27 \times 11,75 \times \text{Abs}_{662} - 2,35 \times \text{Abs}_{645} / W \times V) - (81,4 \times 18,61 \times \text{Abs}_{645} - 3,96 \times \text{Abs}_{662} / W \times V)] / 227,$$

όπου W= βάρος ιστού (g) και V= όγκος εκχυλίσματος (mL).

3.4 Επεξεργασία των δεδομένων

Η ανάλυση της παραλλακτικότητας των δεδομένων (ANOVA) έγινε με το λογισμικό SPSS v.22 με βάση το πειραματικό σχέδιο των τυχαιοποιημένων πλήρως ομάδων, με 3 επαναλήψεις. Όταν οι τιμές F ήταν σημαντικές, η σύγκριση των μέσων όρων έγινε με το νέο τεστ πολλαπλών ευρών του Duncan ($P < 0,05$).

4. Αποτελέσματα

4.1 Συνθήκες περιβάλλοντος

Η θερμοκρασία και η σχετική υγρασία αέρα στο περιβάλλον ανάπτυξης των φυτών παρουσίασαν έντονη διακύμανση σε όλη τη διάρκεια της καλλιέργειας (Σχήμα 1). Ειδικότερα, η μέση θερμοκρασία ήταν 12,3 °C, με ελάχιστη 0,0 και μέγιστη 34,9 °C και η μέση σχετική υγρασία ήταν 87,0%, με ελάχιστη 21 και μέγιστη 100%, ενώ στη διάρκεια των πρώτων 35 ημερών από τη μεταφύτευση η μέση θερμοκρασία ήταν 13,7 °C, με ελάχιστη 2,9 και μέγιστη 34,9 °C και η μέση σχετική υγρασία ήταν 88,2%, με ελάχιστη 21 και μέγιστη 100%. Η ηλιακή ακτινοβολία ήταν αθροιστικά 514.054 W/m² (μέση ημερήσια τιμή 8.160 W/m²), ενώ στη διάρκεια των πρώτων 35 ημερών από τη μεταφύτευση 246.435 W/m² (μέση ημερήσια τιμή 7.041 W/m²).

4.2 Νωπό βάρος φυτού

Μόνο ο χρόνος δειγματοληψίας και όχι οι μεταχειρίσεις επηρέασε σημαντικά το νωπό βάρος φυτού στη διάρκεια της καλλιέργειας, ενώ και η αλληλεπίδραση του χρόνου δειγματοληψίας × μεταχείριση δεν ήταν σημαντική (Πίνακας 1). Κατά μέσο όρο για τις 3 μεταχειρίσεις, το μεγαλύτερο νωπό βάρος είχαν τα φυτά στη συγκομιδή, στις 63 ημέρες (348,5 g), σε σχέση με τα φυτά στις 35 ημέρες (56,6 g).

Κατά τη συγκομιδή, στις 63 ημέρες από τη μεταφύτευση το νωπό βάρος των φυτών δεν διαφοροποιήθηκε σημαντικά μεταξύ των μεταχειρίσεων και κυμάνθηκε στα 343-356 g (Πίνακας 1). Ωστόσο, σημαντική διαφοροποίηση μεταξύ των μεταχειρίσεων παρουσιάστηκε στην κατανομή του νωπού βάρους των φυτών στις διάφορες κλάσεις (Σχήμα 2). Ειδικότερα, στον μάρτυρα και την εφαρμογή του Bactiva®, το μεγαλύτερο ποσοστό των φυτών (40,4 και 40,1%, αντίστοιχα) είχαν βάρος στην κλάση 301-350 g, ενώ στην εφαρμογή του Isabion® το μεγαλύτερο ποσοστό των φυτών (43,0%, αντίστοιχα) είχαν βάρος στην κλάση 351-400 g.

4.3 Ποιότητα και περιφερειακή νέκρωση των φύλλων (tipburn)

Και στους δύο χρόνους δειγματοληψίας (35 και 63 ημέρες από τη μεταφύτευση) η ποιότητα των φυτών ήταν εξαιρετική και χωρίς κανένα ελάττωμα, ενώ επίσης δεν υπήρχε καμία απολύτως εκδήλωση περιφερειακής νέκρωσης των φύλλων.

4.4 Δείκτης περιεκτικότητας σε χλωροφύλλη (CCI)

Ο χρόνος δειγματοληψίας και οι μεταχειρίσεις επηρέασαν σημαντικά τον δείκτη περιεκτικότητας σε χλωροφύλλη, χωρίς να παρατηρηθεί σημαντική αλληλεπίδραση μεταξύ των παραγόντων αυτών. Ωστόσο, το ποσοστό της συνολικής παραλλακτικότητας, όπως και το η^2 που οφείλονταν στον χρόνο δειγματοληψίας ήταν κατά πολύ υψηλότερα από εκείνα που οφείλονταν στις μεταχειρίσεις (Πίνακας 2).

Κατά μέσο όρο για τις τρεις μεταχειρίσεις, ο δείκτης περιεκτικότητας σε χλωροφύλλη αυξάνονταν μέχρι τις 35 ημέρες (από 6,48 σε 9,21), μειώθηκε στις 42 ημέρες (από 9,21 σε 7,43) και μετά από απότομη αύξηση στις 49 ημέρες (από 7,43 σε 12,98), παρέμεινε αμετάβλητος έως τις 63 ημέρες (10,87). Κατά μέσο όρο για όλους τους χρόνους δειγματοληψίας, ο δείκτης περιεκτικότητας σε χλωροφύλλη ήταν υψηλότερος στα φυτά που δέχθηκαν τη μεταχείριση με Isabion® (9,77), σε σχέση με τα φυτά του μάρτυρα (9,07), χωρίς να διαφέρει σημαντικά από εκείνον στα φυτά που δέχθηκαν τη μεταχείριση με Bactiva® (9,41).

4.5 Παράμετροι φθορισμού

Ο χρόνος δειγματοληψίας επηρέασε σημαντικά και τις 25 παραμέτρους φθορισμού που προσδιορίστηκαν, ενώ οι μεταχειρίσεις επηρέασαν σημαντικά τις 17 από τις 25 παραμέτρους (Πίνακες 3,4,5). Οι μεταχειρίσεις δεν επηρέασαν σημαντικά τις παραμέτρους F_0 , F_i , F_m , F_v , Fix Area, S_m , N και Pl_0/RC . Σημαντική αλληλεπίδραση του χρόνου δειγματοληψίας \times μεταχείριση βρέθηκε σε μία μόνο παράμετρο (ϕ_{ABS}). Σε κάθε περίπτωση, τόσο το ποσοστό της συνολικής παραλλακτικότητας όσο και το η^2 που οφείλονταν στον χρόνο δειγματοληψίας ήταν κατά πολύ υψηλότερα από εκείνα που οφείλονταν στις μεταχειρίσεις.

Οι υψηλότερες τιμές σε 19 από τις 25 παραμέτρους φθορισμού βρέθηκαν στις 63 ημέρες από τη μεταφύτευση και στις υπόλοιπες 6 (V_j , M_0 , S_s , ϕ_{D0} , ABS/RC και Dl_0/RC) στις 35 ημέρες (Πίνακες 3,4,5).

Κατά μέσο όρο για τους δύο χρόνους δειγματοληψίας, σε 19 από τις 25 παραμέτρους φθορισμού (με εξαίρεση τις F_i , F_m , F_v , Fix Area, S_m και N) βρέθηκαν σημαντικές διαφορές μεταξύ της εφαρμογής του Isabion® και του μάρτυρα. Αντίθετα, σε καμία από τις παραμέτρους δεν βρέθηκε σημαντική διαφορά μεταξύ της εφαρμογής του Bactiva® και του μάρτυρα (Πίνακες 3,4,5). Τέλος, μεταξύ της εφαρμογής Bactiva® και Isabion®, σημαντικές διαφορές βρέθηκαν σε 10 (F_m/F_0 , F_v/F_0 , Area, V_j , V_i , M_0 , ψ_0 , ϕ_{E0} , ϕ_{ABS} και ET_0/RC) από τις 25

παραμέτρους φθορισμού που προσδιορίστηκαν (Πίνακες 3,4,5).

4.6 Χρώμα φύλλων

Ο χρόνος δειγματοληψίας επηρέασε σημαντικά τις 4 από τις 5 παραμέτρους του χρώματος των φύλλων (L^* , a^* , b^* , C^* και όχι το h°), ενώ οι μεταχειρίσεις επηρέασαν σημαντικά μόνο την παράμετρο a^* , στην οποία παράμετρο παρατηρήθηκε και η μοναδική σημαντική αλληλεπίδραση του χρόνου δειγματοληψίας \times μεταχείριση (Πίνακας 6). Σε κάθε περίπτωση, τόσο το ποσοστό της συνολικής παραλλακτικότητας όσο και το η^2 που οφείλονταν στον χρόνο δειγματοληψίας ήταν κατά πολύ υψηλότερα από εκείνα που οφείλονταν στις μεταχειρίσεις.

Κατά μέσο όρο για τις τρεις μεταχειρίσεις, τα φυτά είχαν τις υψηλότερες τιμές για τις παραμέτρους του χρώματος στις 35 ($L^*= 48,09$, $a^*= -18,74$, $b^*= 24,63$ και $C^*= 30,95$), σε σχέση με τις 63 ημέρες ($L^*= 44,47$, $a^*= -16,08$, $b^*= 21,43$ και $C^*= 26,79$) (Πίνακας 6).

4.7 Χλωροφύλλες

Η περιεκτικότητα των φύλλων σε χλωροφύλλες δεν επηρεάστηκε σημαντικά ούτε από τον χρόνο δειγματοληψίας ούτε και από τις μεταχειρίσεις, ενώ και η αλληλεπίδραση του χρόνου δειγματοληψίας \times μεταχείριση δεν ήταν σημαντική (Πίνακας 7). Η περιεκτικότητα των φύλλων κυμάνθηκε για τη χλωροφύλλη α στα 198-252 $\mu\text{g/g}$ ν.β. και 2,78-3,62 mg/g ξ.β., για τη χλωροφύλλη β στα 56,3-76,2 $\mu\text{g/g}$ ν.β. και 0,85-1,03 mg/g ξ.β. και για τη χλωροφύλλη α+β στα 254-322 $\mu\text{g/g}$ ν.β. και 3,70-4,64 mg/g ξ.β.

Αντίθετα, ο λόγος χλωροφύλλη α/β επηρεάστηκε σημαντικά από τον χρόνο δειγματοληψίας. Κατά μέσο όρο για τις 3 μεταχειρίσεις, τον υψηλότερο λόγο είχαν τα φυτά κατά τη συγκομιδή στις 35 ημέρες (3,52), σε σχέση με τις 63 ημέρες (3,03) (Πίνακας 7).

4.8 Ολικά καροτενοειδή

Η περιεκτικότητα των φύλλων σε ολικά καροτενοειδή δεν επηρεάστηκε σημαντικά ούτε από τον χρόνο δειγματοληψίας ούτε και από τις μεταχειρίσεις, ενώ και η αλληλεπίδραση του χρόνου δειγματοληψίας \times μεταχείριση δεν ήταν σημαντική (Πίνακας 7). Η περιεκτικότητα των φύλλων κυμάνθηκε για τα ολικά καροτενοειδή στα 53,3-69,0 $\mu\text{g/g}$ ν.β. και 0,78-0,99 mg/g ξ.β.

4.9 Ξηρά ουσία

Μόνο ο χρόνος δειγματοληψίας και όχι οι μεταχειρίσεις επηρέασε σημαντικά την

περιεκτικότητα σε ξηρά ουσία στη διάρκεια της καλλιέργειας, ενώ και η αλληλεπίδραση του χρόνου δειγματοληψίας \times μεταχείριση δεν ήταν σημαντική (Πίνακας 8). Κατά μέσο όρο για τις 3 μεταχειρίσεις, την υψηλότερη περιεκτικότητα σε ξηρά ουσία είχαν τα φυτά κατά τη συγκομιδή στις 63 ημέρες (7,47%), σε σχέση με τις 35 ημέρες (6,75%).

4.10 Νιτρικά

Μόνο ο χρόνος δειγματοληψίας και όχι οι μεταχειρίσεις επηρέασε σημαντικά την περιεκτικότητα σε νιτρικά στη διάρκεια της καλλιέργειας, ενώ και η αλληλεπίδραση του χρόνου δειγματοληψίας \times μεταχείριση δεν ήταν σημαντική (Πίνακας 8). Κατά μέσο όρο για τις 3 μεταχειρίσεις, την υψηλότερη περιεκτικότητα σε νιτρικά είχαν τα φυτά στις 35 ημέρες (369 mg/kg ν.β. και 0,55% ξ.β.), σε σχέση με τη συγκομιδή, στις 63 ημέρες (266 mg/kg ν.β. και 0,36% ξ.β.).

4.11 Ολικές διαλυτές φαινόλες

Μόνο οι μεταχειρίσεις και όχι ο χρόνος δειγματοληψίας επηρέασαν σημαντικά την περιεκτικότητα σε ολικές διαλυτές φαινόλες στη διάρκεια της καλλιέργειας, ενώ και η αλληλεπίδραση του χρόνου δειγματοληψίας \times μεταχείριση δεν ήταν σημαντική (Πίνακας 8). Κατά μέσο όρο για τους δύο χρόνους δειγματοληψίας, τα φυτά που δέχθηκαν μεταχείριση με Isabion® είχαν τη χαμηλότερη περιεκτικότητα σε ολικές διαλυτές φαινόλες (205 μ g/kg ν.β. και 2,93 μ g/g ξ.β.), σε σχέση με τα φυτά του μάρτυρα και εκείνα που δέχθηκαν μεταχείριση με Bactiva® (276 και 261 μ g/kg ν.β. και 3,81 και 3,73 μ g/g ξ.β., αντίστοιχα) και τα οποία δεν διέφεραν σημαντικά μεταξύ τους.

4.12 Αντιοξειδωτική ικανότητα

Μόνο ο χρόνος δειγματοληψίας και όχι οι μεταχειρίσεις επηρέασε σημαντικά την αντιοξειδωτική ικανότητα εκφρασμένη με βάση το ξηρό βάρος στη διάρκεια της καλλιέργειας, ενώ και η αλληλεπίδραση του χρόνου δειγματοληψίας \times μεταχείριση δεν ήταν σημαντική (Πίνακας 8). Κατά μέσο όρο για τις 3 μεταχειρίσεις, την υψηλότερη αντιοξειδωτική ικανότητα είχαν τα φυτά στις 35 ημέρες (1,66 mg AAE/g ξ.β.), σε σχέση με τη συγκομιδή, στις 63 ημέρες (1,42 mg AAE/g ξ.β.).

5 Συζήτηση

Η τεχνική του φθορισμού της χλωροφύλλης χρησιμοποιείται ευρέως στην έρευνα της οικοφυσιολογίας των φυτών και ειδικότερα για τη φωτοσυνθετική απόδοση των φυτών σε συνθήκες πεδίου. Αυτή η τεχνική μετρά την ικανότητα των φύλλων να απορροφούν και να χρησιμοποιούν το φως για τη φωτοσύνθεση και την παραγωγή ενέργειας.

Η τεχνική του φθορισμού της χλωροφύλλης είναι ιδιαίτερα σημαντική για τη μέτρηση της φωτοσυνθετικής απόδοσης των φυτών σε συνθήκες πεδίου, δηλαδή υπό φυσικές συνθήκες στο περιβάλλον τους. Αυτό είναι σημαντικό γιατί η φωτοσυνθετική απόδοση των φυτών επηρεάζεται από πολλούς παράγοντες, όπως η διαθεσιμότητα του νερού και των θρεπτικών στοιχείων στο έδαφος, η έκθεση στον ήλιο και η θερμοκρασία του περιβάλλοντος. Η τεχνική αυτή μπορεί να βοηθήσει στην κατανόηση των μηχανισμών που επηρεάζουν την απόδοση των φυτών και να συμβάλει στη βελτίωση της αντοχής τους σε δυσμενείς συνθήκες περιβάλλοντος (Maxwell & Johnson, 2000; Baker, 2008). Οι μετρήσεις της παρέχουν πληροφορίες για την κατάσταση και λειτουργία των κέντρων αντίδρασης και της κεραίας του φωτοσυστήματος II (PSII) στις πλευρές του δότη (P680) και του δέκτη (φαιοφυτίνη) των ηλεκτρονίων (Kalaji et al., 2016). Αν και οι πληροφορίες αυτές μπορεί να φαίνονται πολύ εξειδικευμένες, έχουν χρησιμοποιηθεί για τη μέτρηση και σε ορισμένες περιπτώσεις την κατηγοριοποίηση μίας σειράς επιπτώσεων στις φωτοσυνθετικές διαδικασίες (Banks, 2017), όπως επίσης και εκτενώς για τον εντοπισμό των ανταποκρίσεων των φυτών στις καταπονήσεις (Baker & Rosenqvist, 2004). Μάλιστα, έχουν προταθεί ορισμένες παράμετροι μέτρησης φθορισμού της χλωροφύλλης για συγκεκριμένες καταπονήσεις των φυτών (Banks, 2017).

Ο εξοπλισμός προσδιορισμού του φθορισμού χλωροφύλλης είναι φθηνότερος, ως προς το κόστος, σε σχέση από τον εξοπλισμό προσδιορισμού της φωτοσύνθεσης και έχει ταχύτερο χρόνο μέτρησης, αποτελώντας έτσι ένα σημαντικό εργαλείο για τον προσδιορισμό της καταπόνησης των φυτών στο πεδίο (Maxwell & Johnson, 2000). Ωστόσο, παρά την απλότητα των μετρήσεων, ένας μεγάλος αριθμός διαφορετικών συντελεστών έχει προταθεί για να ποσοτικοποιηθεί η φωτοχημική και μη φωτοχημική απόσβεση και η ίδια παράμετρος μπορεί να αναφέρεται συχνά με διαφορετικούς τρόπους, εντείνοντας τη σύγχυση, με αποτέλεσμα η ερμηνεία των δεδομένων να παραμένει περίπλοκη και σύμφωνα με ορισμένους αμφιλεγόμενη (Maxwell & Johnson, 2000; Baker & Rosenqvist 2004; Baker, 2008; Lazár, 2015).

Το F_o είναι το επίπεδο εκπομπής φθορισμού, όταν όλοι οι κύριοι δέκτες κινόνης (Q_A) βρίσκονται σε οξειδωμένη ή ανοιχτή κατάσταση (Lazár, 2006). Οι κινόνες παίζουν σημαντικό ρόλο σε πολλές βιολογικές διεργασίες. Στη φωτοσύνθεση, η κινόνη συμμετέχει στη μεταφορά ηλεκτρονίων από τη χλωροφύλλη προς την πλαστοκυανίνη στην ενδομεμβρανική χλωροφύλλη. Επιπλέον, οι κινόνες εμπλέκονται σε διάφορες οξειδωτικές αντιδράσεις στον μεταβολισμό, συμπεριλαμβανομένης της αναπνοής και της παραγωγής ενέργειας στις κυτταρικές μεμβράνες (Yamamoto & Ueno, 2018). Μία αύξηση στο F_o έχει αποδοθεί στον φυσικό διαχωρισμό των κέντρων αντίδρασης του φωτοσυστήματος II (PSII) από τις αντίστοιχες κεραίες χρωστικής τους, με αποτέλεσμα να εμποδίζεται η μεταφορά ενέργειας στις παγίδες PSII (Srivastava et al., 1997).

Το F_m είναι το μέγιστο επίπεδο φθορισμού, όπου όλα τα κέντρα αντίδρασης είναι κλειστά και η σύγκρισή του με την F_o δίνει πληροφορίες σχετικά με την αποτελεσματικότητα της φωτοχημικής απόσβεσης και κατ' επέκταση την απόδοση του PSII.

Τα F_j και F_i είναι τα επίπεδα φθορισμού στα στάδια $j=2$ ms και $i=30$ ms, ενώ μία επιπλέον παράμετρος που συχνά συμπεριλαμβάνεται λόγω της διάχυτης φύσης της είναι ο μεταβλητός φθορισμός ή $F_v = F_m - F_o$ (Strasser et al., 2000).

Η παράμετρος F_v/F_m αποτελεί την πλέον χρησιμοποιούμενη παράμετρο μέτρησης του φθορισμού της χλωροφύλλης και ελέγχει εάν η καταπόνηση των φυτών επηρεάζει ή όχι το φωτοσύστημα II (Baker & Oxborough, 2004; Guidi et al., 2019). Μία τιμή F_v/F_m στο εύρος 0,74-0,85 θεωρείται κατά προσέγγιση ως βέλτιστη για πολλά φυτικά είδη, ενώ μείωσή της υποδηλώνει μείωση της κβαντικής απόδοσης της φωτοχημείας του PSII και διαταραχή ή βλάβη στον φωτοσυνθετικό μηχανισμό, υποδεικνύοντας καταπόνηση των φυτών (Kitajima & Butler, 1975; Maxwell & Johnson, 2000; Lichtenthaler et al., 2005; Guidi et al., 2019), η οποία καταπόνηση είναι μεγαλύτερη όσο η αναλογία F_v/F_m μειώνεται και λιγότερα ανοιχτά κέντρα αντίδρασης υπάρχουν διαθέσιμα (Maxwell & Johnson, 2000; Baker & Rosenquist, 2004; Baker, 2008).

Μία πολύ πιο ευαίσθητη από την F_v/F_m (στην οποία οι αλλαγές που προκαλούνται από την καταπόνηση εντοπίζονται μάλλον αργά) είναι η παράμετρος F_v/F_o , η οποία περιέχει τις ίδιες βασικές πληροφορίες, αλλά παρουσιάζει υψηλότερες τιμές και υψηλότερο δυναμικό εύρος από την F_v/F_m . Ο λόγος F_v/F_o δείχνει μεγαλύτερο εύρος σε συνθήκες καταπόνησης, αφού όλες οι αλλαγές του F_v ή και του F_o αντανakλώνται αμέσως σε αυτόν (Lichtenthaler et al., 2005).

Η παράμετρος F_m/F_o ισοδυναμεί με F_v/F_o+1 και σε φύλλα με μερική φωτοαναστολή παρουσιάζει σημαντική μείωση, όπως και η παράμετρος F_v/F_o , σε αντίθεση με την παράμετρο F_v/F_m που μεταβάλλεται πολύ λίγο (Lichtenthaler et al., 2005).

Τα αποτελέσματα της εργασίας μας έδειξαν ότι η τιμή της παραμέτρου F_v/F_m αυξήθηκε από 0,64 στις 35 ημέρες σε 0,74 στις 63 ημέρες (αύξηση κατά 15%, κατά μέσο όρο για τις τρεις μεταχειρίσεις) (Πίνακας 3), υποδηλώνοντας ότι η καταπόνηση μετριάζονταν με την πάροδο του χρόνου από τη μεταφύτευση. Επιπλέον, η εφαρμογή του Isabion® είχε ως αποτέλεσμα την αύξηση της τιμής της παραμέτρου F_v/F_m (0,70), σε σχέση με τον μάρτυρα (0,68), κατά μέσο όρο για τους δύο χρόνους δειγματοληψίας, όπως και στις 35 ημέρες από τη μεταφύτευση (0,66 έναντι 0,63) (Πίνακας 3), υποδηλώνοντας ότι τα φυτά που δέχθηκαν την εφαρμογή του Isabion® υπέστησαν μικρότερη καταπόνηση, σε σχέση με τα φυτά του μάρτυρα.

Παρόμοια, η τιμή της παραμέτρου F_v/F_o αυξήθηκε από 1,87 στις 35 ημέρες σε 2,86 στις 63 ημέρες (αύξηση κατά 53%, κατά μέσο όρο για τις τρεις μεταχειρίσεις) (Πίνακας 3). Η εφαρμογή του Isabion® είχε ως αποτέλεσμα την αύξηση της τιμής της παραμέτρου F_v/F_o (2,49), σε σχέση με τον μάρτυρα (2,27), κατά μέσο όρο για τους δύο χρόνους δειγματοληψίας, όπως και στις 35 (1,97 έναντι 1,75) και επιπλέον και στις 63 ημέρες από τη μεταφύτευση (3,00 έναντι 2,79) (Πίνακας 3).

Αντίστοιχα, η τιμή της παραμέτρου F_m/F_o αυξήθηκε από 2,87 στις 35 ημέρες σε 3,86 στις 63 ημέρες (αύξηση κατά 34%, κατά μέσο όρο για τις τρεις μεταχειρίσεις) (Πίνακας 3). Η εφαρμογή του Isabion® είχε ως αποτέλεσμα την αύξηση της τιμής της παραμέτρου F_m/F_o (3,49), σε σχέση με τον μάρτυρα (3,27), κατά μέσο όρο για τους δύο χρόνους δειγματοληψίας, όπως και στις 35 (2,97 έναντι 2,75) και επιπλέον και στις 63 ημέρες από τη μεταφύτευση (4,00 έναντι 3,79) (Πίνακας 3).

Η παράμετρος ABS/RC (απορρόφηση (ABS) ανά ενεργό κέντρο αντίδρασης (RC)) αναφέρεται στη ροή φωτονίων που απορροφώνται από τις χρωστικές της κεραίας. Ως χρωστικές της κεραίας νοούνται τα μόρια χρωστικής ουσίας (χλωροφύλλη β, καροτενοειδή, ξανθοφύλλες κ.ά.) που περιβάλλουν το RC της χλωροφύλλης α (γνωστής ως χρωστική ουσία του πυρήνα), απορροφούν και μεταφέρουν την ηλιακή ενέργεια σε εκείνο. Μέρος αυτής της ενέργειας διέγερσης διαχέεται κυρίως ως θερμότητα και λιγότερο ως εκπομπή φθορισμού (F), ενώ ένα άλλο παγιδεύεται (TR) στο RC και μετατρέπεται σε ενέργεια οξειδοαναγωγής, ανάγοντας τον πρωτογενή δέκτη ηλεκτρονίων κινόνης Q_A στα σύμπλοκα του φωτοσυστήματος II σε Q_A^- , ο

οποίος στη συνέχεια επαναοξειδώνεται σε Q_A , δημιουργώντας έτσι μία μεταφορά ηλεκτρονίων (ET) που οδηγεί τελικά σε δέσμευση του CO_2 . Όσο περισσότερο τα ηλεκτρόνια μεταφέρονται από το Q_A^- στην αλυσίδα μεταφοράς ηλεκτρονίων (ET), τόσο περισσότερο τα σήματα φθορισμού παραμένουν χαμηλότερα από το F_m και τόσο μεγαλύτερο γίνεται το S_m , το οποίο είναι ένα μέτρο της ενέργειας που απαιτείται για να κλείσουν όλα τα κέντρα αντίδρασης. Το μικρότερο S_m αντιστοιχεί στην περίπτωση που κάθε Q_A ανάγεται μόνο μία φορά και μπορεί στη συνέχεια να συμβολιστεί ως S_s που δηλώνει μεμονωμένο κύκλο εργασιών (Strasser et al., 2000).

Τα αποτελέσματα της εργασίας μας έδειξαν ότι η τιμή της παραμέτρου ABS/RC μειώθηκε από 4,29 στις 35 ημέρες σε 3,87 στις 63 ημέρες (Πίνακας 5) και της παραμέτρου S_m αυξήθηκε από 387 στις 35 ημέρες σε 1.833 στις 63 ημέρες (Πίνακας 4) υποδηλώνοντας μικρότερη ροή φωτονίων και συνεπώς μεγαλύτερη απαίτηση ενέργειας για να κλείσουν όλα τα κέντρα αντίδρασης. Επιπλέον, η εφαρμογή του Isabion® είχε ως αποτέλεσμα τη μείωση της τιμής της παραμέτρου ABS/RC (3,93), σε σχέση με τον μάρτυρα (4,21) κατά μέσο όρο για τους δύο χρόνους δειγματοληψίας, όπως και στις 35 ημέρες από τη μεταφύτευση (4,09 έναντι 4,52) (Πίνακας 7), με παράλληλη αύξηση της τιμής της παραμέτρου S_m , στις 63 ημέρες από τη μεταφύτευση (2.083 έναντι 1.641) (Πίνακας 5).

Η παράμετρος Area εκφράζει την επιφάνεια μεταξύ της καμπύλης φθορισμού και της μέγιστης έντασης φθορισμού (F_m) και είναι ανάλογη με το μέγεθος της δεξαμενής των δεκτών ηλεκτρονίων Q_A στην αναγωγική πλευρά του PSII (Banks, 2017).

Τα αποτελέσματα της εργασίας μας έδειξαν ότι η τιμή της παραμέτρου Area αυξήθηκε από $13,4 \times 10^6$ στις 35 ημέρες σε $116,9 \times 10^6$ στις 63 ημέρες (Πίνακας 4) υποδηλώνοντας μεγαλύτερο μέγεθος της δεξαμενής των δεκτών ηλεκτρονίων Q_A στην αναγωγική πλευρά του PSII. Επιπλέον, η εφαρμογή του Isabion® είχε ως αποτέλεσμα την αύξηση της τιμής της παραμέτρου Area ($76,3 \times 10^6$), σε σχέση με τον μάρτυρα ($59,9 \times 10^6$) κατά μέσο όρο για τους δύο χρόνους δειγματοληψίας, όπως και στις 63 ημέρες από τη μεταφύτευση ($104,7 \times 10^6$ έναντι $137,0 \times 10^6$) (Πίνακας 4), με παράλληλη αύξηση της τιμής της παραμέτρου S_m στις 63 ημέρες από τη μεταφύτευση.

Εκτός από τις αλλαγές που συμβαίνουν στην απόδοση της φωτοχημείας, αλλαγές παρατηρούνται και στην απόδοση της απαγωγής θερμότητας (δηλαδή η μη φωτοχημική απόσβεση), οι οποίες αντικατοπτρίζονται ως αλλαγές στις τιμές της παραμέτρου F_m (Maxwell

& Johnson, 2000).

Ο δείκτης περιεκτικότητας σε χλωροφύλλη προκύπτει από όργανα που χρησιμοποιούν μετάδοση φωτός μέσω ενός φύλλου σε δύο μήκη κύματος (το ερυθρό: 650-660 nm και την υπέρυθρη περιοχή: 930-940 nm) για να καθορίσουν την ένταση του πράσινου χρώματος και το πάχος των φύλλων, αντίστοιχα. Ο λόγος της μετάδοσης των δύο μηκών κύματος παρέχει έναν δείκτη περιεκτικότητας σε χλωροφύλλη που αναφέρεται ως CCI ή εναλλακτικά ως δείκτης SPAD. Η CCI είναι μία γραμμική και η SPAD μία λογαριθμική κλίμακα (Richardson et al., 2002; Knighton & Bugbee, 2004). Ο δείκτης περιεκτικότητας σε χλωροφύλλη χρησιμοποιείται συνήθως για τον προσδιορισμό της καταπόνησης των φυτών σε θρεπτικά συστατικά και ειδικότερα N και S και θεωρείται αξιόπιστος για τη διαχείριση της λίπανσης των καλλιεργειών (Shapiro et al., 2013).

Τα αποτελέσματα της εργασίας μας έδειξαν ότι ο δείκτης περιεκτικότητας σε χλωροφύλλη (CCI) παρουσίασε έντονες διακυμάνσεις με την πάροδο του χρόνου, υποδηλώνοντας πιθανή καταπόνηση των φυτών σε θρεπτικά συστατικά και ειδικότερα N σε ορισμένα στάδια της αύξησης και ανάπτυξης των φυτών έως τη συγκομιδή τους. Επιπλέον, η εφαρμογή του Isabion® είχε ως αποτέλεσμα την αύξηση της τιμής του δείκτη περιεκτικότητας σε χλωροφύλλη κατά μέσο όρο για όλους τους χρόνους δειγματοληψίας (9,77), σε σχέση με τα φυτά του μάρτυρα (9,07).

Οι χλωροφύλλες α και β έχουν χαρακτηριστικό πράσινο χρώμα, λόγω της ισχυρής απορρόφησης κυρίως στο κόκκινο-πορτοκαλί και το μπλε-μωβ, αντίστοιχα. Η αναλογία χλωροφύλλης α/β κυμαίνεται από 2,0-2,8 για φυτά προσαρμοσμένα στη σκιά έως 3,5-4,9 για φυτά που αναπτύσσονται σε πλήρες ηλιακό φως. Η διακύμανση στις αναλογίες χλωροφύλλης α/β οφείλεται σε διαφορές στην αναλογία του φωτοσυστήματος I (PSI) προς το φωτοσύστημα II (PSII) και στο μέγεθος και τη σύνθεση των συμπλεγμάτων χλωροφύλλης-πρωτεΐνης που δεσμεύουν το ηλιακό φως (LHCs) που σχετίζονται με κάθε φωτοσύστημα. Τα φωτοσυστήματα περιέχουν χλωροφύλλη α, αλλά όχι χλωροφύλλη β, ενώ τα LHCs περιέχουν σημαντικές ποσότητες χλωροφύλλης β. Τα προσαρμοσμένα στη σκιά φυτά τείνουν να έχουν περισσότερους LHCs που σχετίζονται με τα φωτοσυστήματα τους, από τα φυτά που αναπτύσσονται σε πλήρες ηλιακό φως και επομένως έχουν χαμηλότερη αναλογία χλωροφύλλης α/β (Willows, 2004).

Τα φυτά τροποποιούν την περιεκτικότητά τους σε χλωροφύλλες (α, β, α+β και α/β) για να

προσαρμόσονται σε ένα δεδομένο περιβάλλον και να βελτιστοποιήσουν τη φωτοσύνθεση. Σύμφωνα με τη θεωρία της βέλτιστης κατανομής N μέσα σε ένα φύλλο, η αναλογία χλωροφύλλης α/β αναμένεται να αυξηθεί, όταν μειώνεται η διαθεσιμότητα N, ειδικά σε συνθήκες υψηλού φωτισμού (Hikosaka & Terashima, 1995). Έτσι, η αναλογία χλωροφύλλης α/β μπορεί να είναι ένας χρήσιμος δείκτης της κατανομής N μέσα σε ένα φύλλο, επειδή αυτή η αναλογία θα πρέπει να συσχετίζεται θετικά με την αναλογία των πυρήνων PSII προς το σύμπλεγμα χλωροφύλλης-πρωτεΐνης που δεσμεύει το ηλιακό φως (Terashima & Hikosaka, 1995).

Τα αποτελέσματα της εργασίας έδειξαν ότι ο λόγος χλωροφύλλης α/β επηρεάστηκε σημαντικά από τον χρόνο δειγματοληψίας και κατά μέσο όρο για τις 3 μεταχειρίσεις μειώθηκε στις 63 (3,03), σε σχέση με τις 35 ημέρες (3,52) (Πίνακας 7), χωρίς να επηρεασθεί σημαντικά από τις μεταχειρίσεις, υποδηλώνοντας μία προσαρμογή των φυτών, λόγω του αυξημένου αριθμού φύλλων και της κατανομής του N σε αυτά, όχι όμως και λόγω της εφαρμογής των βιοδιεγερτών.

Συμπερασματικά, η εφαρμογή του Isabion® είχε σημαντική επίδραση στις παραμέτρους φθορισμού Fj, Fm/Fo, Fv/Fo, Fv/Fm, Area, Ss, Vj, Vi, Mo, ψ_0 , ϕ_{E0} , ϕ_{D0} , Pi_Pav, Pi_Abs, Abs/RC, TRo/RC και ETo/RC, με τα φύλλα να έχουν υψηλότερο δείκτη χλωροφύλλης (CCI) και λιγότερες ολικές διαλυτές φαινόλες, σε σχέση με τον μάρτυρα. Τα παραπάνω πιθανόν να συνιστούν κάποιες επιδράσεις στη μεταφυτευτική διαταραχή των φυτών μαρουλιού, χωρίς ωστόσο αυτές να συνοδεύονται από σημαντικές μεταβολές στις παραμέτρους του χρώματος των φύλλων (L^* , a^* , b^* , C^* και h°), την περιεκτικότητα σε χλωροφύλλες (α , β , $\alpha+\beta$), ολικά καροτενοειδή, ξηρά ουσία, νιτρικά, την αντιοξειδωτική ικανότητα και το βάρος φυτού κατά τη συγκομιδή. Ωστόσο, αξιοσημείωτη επίδραση αποτελεί ότι το μεγαλύτερο ποσοστό των φυτών κατά τη συγκομιδή είχαν βάρος στην κλάση 351-400g, ενώ στον μάρτυρα στην κλάση 301-350g. Αντίθετα, η εφαρμογή του Bactiva® δεν είχε καμία σημαντική επίδραση στις παραμέτρους που προσδιορίστηκαν, σε σχέση με τον μάρτυρα. Η αποτυχία του μικροβιακού βιοδιεγέρτη να δείξει οποιοδήποτε αποτέλεσμα ενισχύει την κοινή πεποίθηση (Castiglione et al., 2021; Fadiji et al., 2022; Fusco et al., 2022) ότι όλα οι μικροβιακοί βιοδιεγέρτες δεν είναι κατάλληλοι για όλα τα φυτά και για όλα τα οικοσυστήματα, καθώς και την άποψη ότι η αποτελεσματικότητά τους επηρεάζεται από τη φυσική μικροχλωρίδα (Ruzzi et al., 2015), τη μέθοδο εφαρμογής και τις επικρατούσες περιβαλλοντικές συνθήκες (Vejan et al., 2016).

Πίνακας 1.

Η ανάλυση της παραλλακτικότητας (ANOVA) των δεδομένων για το νωπό βάρος φυτών μαρουλιού στις 35 και 63 ημέρες από τη μεταφύτευση. Στα φυτά έγινε ή όχι εφαρμογή των εμπορικών σκευασμάτων Bactiva® και Isabion®, ως εξής: Το Bactiva® εφαρμόστηκε με ριζοπότισμα των φυτών (0,2 g/L) με 100 mL/φυτό αμέσως μετά τη μεταφύτευση. Ακολούθησε ριζοπότισμα των φυτών (0,2 g/L) με 100 mL/φυτό 14 και 21 ημέρες μετά τη μεταφύτευση. Το Isabion® εφαρμόστηκε με ψεκασμό των φυτών στον δίσκο (2 mL/L) την ημέρα της μεταφύτευσης και ριζοπότισμα των φυτών (0,4 mL/L) με 100 mL/φυτό, αμέσως μετά τη μεταφύτευση. Ακολούθησε ριζοπότισμα των φυτών (0,4 mL/L) με 100 mL/φυτό 14 και 21 ημέρες από τη μεταφύτευση.

Πηγή παραλλακτικότητας	ΒΕ	Βάρος φυτού		
		P	%ΣΠ	η^2
Χρόνος δειγματοληψίας (Α)	1	***	100	95,5
Μεταχείριση (Β)	2	ns	0	0
A x B	2	ns	0	0
Σφάλμα	12			
Χρόνος δειγματοληψίας (Α)				
	35 ημέρες		55,6 b	
	63 ημέρες		348,5 a	
Μεταχείριση (Β)				
	Μάρτυρας		199,8 a	
	Bactiva		199,9 a	
	Isabion		206,4 a	
Χρόνος δειγματοληψίας x Μεταχείριση (Α x Β)				
35 ημέρες	Μάρτυρας		53,6 b	
	Bactiva		56,6 b	
	Isabion		56,7 b	
63 ημέρες	Μάρτυρας		346,0 a	
	Bactiva		343,2 a	
	Isabion		356,2 a	

ΒΕ: Βαθμοί ελευθερίας, P: Πιθανότητα, %ΣΠ: Ποσοστό (%) της συνολικής παραλλακτικότητας, η^2 : ήτα τετράγωνο, ns: μη σημαντική επίδραση, *** σημαντική επίδραση σε επίπεδο σημαντικότητας 0,001, αντίστοιχα. Διαφορετικά γράμματα που ακολουθούν τιμές σε κάθε στήλη υποδεικνύουν σημαντικά διαφορετικές τιμές σε επίπεδο σημαντικότητας 0,05 σύμφωνα με τη δοκιμή Duncan.

Πίνακας 2.

Η ανάλυση της παραλλακτικότητας (ANOVA) των δεδομένων για τον δείκτη περιεκτικότητας σε χλωροφύλλη (CCI) φύλλων μαρουλιού στη διάρκεια των 63 ημερών από τη μεταφύτευση. Στα φυτά έγινε ή όχι εφαρμογή των εμπορικών σκευασμάτων Bactiva® και Isabion®, ως εξής: Το Bactiva® εφαρμόστηκε με ριζοπότισμα των φυτών (0,2 g/L) με 100 mL/φυτό αμέσως μετά τη μεταφύτευση. Ακολούθησε ριζοπότισμα των φυτών (0,2 g/L) με 100 mL/φυτό 14 και 21 ημέρες μετά τη μεταφύτευση. Το Isabion® εφαρμόστηκε με ψεκασμό των φυτών στον δίσκο (2 mL/L) την ημέρα της μεταφύτευσης και ριζοπότισμα των φυτών (0,4 mL/L) με 100 mL/φυτό, αμέσως μετά τη μεταφύτευση. Ακολούθησε ριζοπότισμα των φυτών (0,4 mL/L) με 100 mL/φυτό 14 και 21 ημέρες από τη μεταφύτευση.

		Χλωροφύλλη (CCI)		
Πηγή παραλλακτικότητας	ΒΕ	P	%ΣΠ	η ²
Χρόνος δειγματοληψίας (A)	7	***	92	40,1
Μεταχείριση (B)	2	**	7	5,8
A x B	14	ns	1	0,7
Σφάλμα	48			
Χρόνος δειγματοληψίας (A)				
	14 ημέρες		6,48 f	
	21 ημέρες		8,41 d	
	28 ημέρες		8,70 cd	
	35 ημέρες		9,21 c	
	42 ημέρες		7,43 e	
	49 ημέρες		12,98 a	
	56 ημέρες		11,25 ab	
	63 ημέρες		10,87 ab	
Μεταχείριση (B)				
	Μάρτυρας		9,07 b	
	Bactiva		9,41 ab	
	Isabion		9,77 a	
Χρόνος δειγματοληψίας x Μεταχείριση (A x B)				
14 ημέρες	Μάρτυρας		6,31 j	
	Bactiva		6,53 j	
	Isabion		6,59 j	
21 ημέρες	Μάρτυρας		7,90 ghi	
	Bactiva		8,41 fgh	
	Isabion		8,92 efg	
28 ημέρες	Μάρτυρας		7,99 fghi	
	Bactiva		8,83 efg	
	Isabion		9,27 ef	
35 ημέρες	Μάρτυρας		8,72 efg	
	Bactiva		9,07 efg	
	Isabion		9,85 de	
42 ημέρες	Μάρτυρας		6,85 ij	
	Bactiva		7,42 hij	
	Isabion		8,01 fghi	
49 ημέρες	Μάρτυρας		12,67 ab	
	Bactiva		13,30 a	
	Isabion		12,99 a	
56 ημέρες	Μάρτυρας		10,87 cd	
	Bactiva		11,09 c	
	Isabion		11,79 bc	
63 ημέρες	Μάρτυρας		11,22 c	
	Bactiva		10,62 cd	
	Isabion		10,77 cd	

ΒΕ: Βαθμοί ελευθερίας, P: Πιθανότητα, %ΣΠ: Ποσοστό (%) της συνολικής παραλλακτικότητας, η²: ήτα τετράγωνο, ns: μη σημαντική επίδραση, ** και *** σημαντική επίδραση σε επίπεδο σημαντικότητας 0,01 και 0,001, αντίστοιχα. Διαφορετικά γράμματα που ακολουθούν τιμές σε κάθε στήλη υποδεικνύουν σημαντικά διαφορετικές τιμές σε επίπεδο σημαντικότητας 0,05 σύμφωνα με τη δοκιμή Duncan.

Πίνακας 3.

Η ανάλυση της παραλλακτικότητας (ANOVA) των δεδομένων για τις παραμέτρους φθορισμού F_0 , F_j , F_i , F_m , F_v , F_m/F_0 , F_v/F_0 και F_v/F_m φύλλων μαρουλιού στις 35 και 63 ημέρες από τη μεταφύτευση. Στα φυτά έγινε ή όχι εφαρμογή των εμπορικών σκευασμάτων Bactiva® και Isabion®, ως εξής: Το Bactiva® εφαρμόστηκε με ριζοπότισμα των φυτών (0,2 g/L) με 100 mL/φυτό αμέσως μετά τη μεταφύτευση. Ακολούθησε ριζοπότισμα των φυτών (0,2 g/L) με 100 mL/φυτό 14 και 21 ημέρες μετά τη μεταφύτευση. Το Isabion® εφαρμόστηκε με ψεκασμό των φυτών στον δίσκο (2 mL/L) την ημέρα της μεταφύτευσης και ριζοπότισμα των φυτών (0,4 mL/L) με 100 mL/φυτό, αμέσως μετά τη μεταφύτευση. Ακολούθησε ριζοπότισμα των φυτών (0,4 mL/L) με 100 mL/φυτό 14 και 21 ημέρες από τη μεταφύτευση.

		F ₀			F _j			F _i			F _m			F _v			F _m /F ₀			F _v /F ₀			F _v /F _m		
Πηγή παραλλακτικότητας	ΒΕ	P	%ΣΠ	η ²	P	%ΣΠ	η ²	P	%ΣΠ	η ²	P	%ΣΠ	η ²	P	%ΣΠ	η ²	P	%ΣΠ	η ²	P	%ΣΠ	η ²	P	%ΣΠ	η ²
Χρόνος δειγματοληψίας (Α)	1	***	82	8,3	***	98	46,4	***	100	77,0	***	100	76,8	***	100	80,1	***	98	60,1	***	98	60,1	***	97	43,0
Μεταχείριση (Β)	2	ns	10	2,1	*	2	1,6	ns	0	0,3	ns	0	0,2	ns	0	0,3	**	2	1,9	**	2	1,9	*	2	1,7
A x B	2	ns	4	0,9	ns	0	0,1	ns	0	0,0	ns	0	0,1	ns	0	0,1	ns	0	0,3	ns	0	0,3	ns	0	0,3
Σφάλμα	12																								
Χρόνος δειγματοληψίας (Α)																									
	35 ημέρες	20.492 b			43.215 b			51.045 b			57.637 b			37.145 b			2,87 b			1,87 b			0,64 b		
	63 ημέρες	22.824 a			55.609 a			78.756 a			86.994 a			64.170 a			3,86 a			2,86 a			0,74 a		
Μεταχείριση (Β)																									
	Μάρτυρας	22.378 a			50.794 a			66.039 a			72.842 a			50.464 a			3,27 b			2,27 b			0,68 b		
	Bactiva	21.649 ab			49.460 ab			64.663 a			71.353 a			49.704 a			3,34 b			2,34 b			0,69 ab		
	Isabion	20.947 b			47.982 b			64.001 a			72.752 a			51.805 a			3,49 a			2,49 a			0,70 a		
Χρόνος δειγματοληψίας x Μεταχείριση (Α x Β)																									
	35 ημέρες	Μάρτυρας 21.735 ab			44.817 b			52.552 b			58.923 b			37.188 c			2,75 d			1,75 d			0,63 c		
		Bactiva 20.119 bc			42.927 b			50.561 b			56.720 b			36.601 c			2,89 cd			1,89 cd			0,64 bc		
		Isabion 19.623 c			41.900 b			50.022 b			57.269 b			37.646 c			2,97 c			1,97 c			0,66 b		
	63 ημέρες	Μάρτυρας 23.021 a			56.770 a			79.525 a			86.762 a			63.741 ab			3,79 b			2,79 b			0,73 a		
		Bactiva 23.180 a			55.993 a			78.765 a			85.987 a			62.806 b			3,79 b			2,79 b			0,73 a		
		Isabion 22.271 a			54.065 a			78.765 a			88.235 a			65.963 a			4,00 a			3,00 a			0,75 a		

ΒΕ: Βαθμοί ελευθερίας, P: Πιθανότητα, %ΣΠ: Ποσοστό (%) της συνολικής παραλλακτικότητας, η^2 : ήτα τετράγωνο, ns: μη σημαντική επίδραση, *, ** και *** σημαντική επίδραση σε επίπεδο σημαντικότητας 0,05, 0,01 και 0,001, αντίστοιχα. Διαφορετικά γράμματα που ακολουθούν τιμές σε κάθε στήλη υποδεικνύουν σημαντικά διαφορετικές τιμές σε επίπεδο σημαντικότητας 0,05 σύμφωνα με τη δοκιμή Duncan.

Πίνακας 4.

Η ανάλυση της παραλλακτικότητας (ANOVA) των δεδομένων για τις παραμέτρους φθορισμού Area, Fix Area, Sm, Ss, N, V_j, V_i και M₀ φύλλων μαρουλιού στις 35 και 63 ημέρες από τη μεταφύτευση. Στα φυτά έγινε ή όχι εφαρμογή των εμπορικών σκευασμάτων Bactiva® και Isabion®, ως εξής: Το Bactiva® εφαρμόστηκε με ριζοπότισμα των φυτών (0,2 g/L) με 100 mL/φυτό αμέσως μετά τη μεταφύτευση. Ακολούθησε ριζοπότισμα των φυτών (0,2 g/L) με 100 mL/φυτό 14 και 21 ημέρες μετά τη μεταφύτευση. Το Isabion® εφαρμόστηκε με ψεκασμό των φυτών στον δίσκο (2 mL/L) την ημέρα της μεταφύτευσης και ριζοπότισμα των φυτών (0,4 mL/L) με 100 mL/φυτό, αμέσως μετά τη μεταφύτευση. Ακολούθησε ριζοπότισμα των φυτών (0,4 mL/L) με 100 mL/φυτό 14 και 21 ημέρες από τη μεταφύτευση.

		Area			Fix Area			Sm		Ss			N			V _j			V _i			M ₀			
Πηγή παραλλακτικότητας	ΒΕ	P	%ΣΠ	η ²	P	%ΣΠ	η ²	P	%ΣΠ	η ²	P	%ΣΠ	η ²	P	%ΣΠ	η ²	P	%ΣΠ	η ²	P	%ΣΠ	η ²	P	%ΣΠ	η ²
Χρόνος δειγματοληψίας (Α)	1	***	98	53,2	***	98	53,2	***	98	43,7	***	91	21,1	***	98	44,5	***	93	42,7	***	78	26,9	***	81	17,5
Μεταχείριση (Β)	2	*	1	1,2	ns	1	1,2	ns	1	1,0	*	5	2,1	ns	1	0,8	***	6	5,9	***	20	13,9	***	17	7,5
A x B	2	ns	1	0,9	ns	1	0,9	ns	1	0,7	ns	3	1,3	ns	1	0,6	NS	0	0,1	ns	1	0,7	ns	0	0,2
Σφάλμα	12																								
Χρόνος δειγματοληψίας (Α)																									
	35 ημέρες	13.392.392	b		54.934.890	b		387 b		0,36 a			1.047 b			0,62 a			0,83 b			1,67 a			
	63 ημέρες	116.939.172	a		84.537.429	a		1.833 a		0,37 b			5.172 a			0,51 b			0,87 a			1,46 b			
Μεταχείριση (Β)																									
	Μάρτυρας	59.914.438	b		70.567.242	a		1.036 a		0,36 b			2.934 a			0,58 a			0,86 a			1,63 a			
	Bactiva	59.317.866	b		68.932.275	a		1.031 a		0,36 ab			2.895 a			0,58 a			0,86 a			1,59 a			
	Isabion	76.265.041	a		69.708.961	a		1.265 a		0,37 a			3.499 a			0,54 b			0,83 b			1,47 b			
Χρόνος δειγματοληψίας x Μεταχείριση (Α x Β)																									
	35 ημέρες Μάρτυρας	15.118.185	c		56.194.286	b		431 c		0,37 b			1.199 c			0,63 a			0,83 b			1,74 a			
	Bactiva	9.575.242	c		54.222.887	b		285 c		0,38 a			766 c			0,63 a			0,84 b			1,68 a			
	Isabion	15.483.749	c		54.387.497	b		446 c		0,38 a			1.175 c			0,59 b			0,81 c			1,58 b			
	63 ημέρες Μάρτυρας	104.710.692	b		84.940.198	a		1.641 b		0,35 c			4.669 b			0,53 c			0,89 a			1,52 b			
	Bactiva	109.060.490	b		83.641.663	a		1.776 ab		0,35 c			5.023 ab			0,52 c			0,88 a			1,51 b			
	Isabion	137.046.333	a		85.030.425	a		2.083 a		0,36 c			5.823 a			0,48 d			0,84 b			1,36 c			

ΒΕ: Βαθμοί ελευθερίας, P: Πιθανότητα, %ΣΠ: Ποσοστό (%) της συνολικής παραλλακτικότητας, η²: ήτα τετράγωνο, ns: μη σημαντική επίδραση, * και *** σημαντική επίδραση σε επίπεδο σημαντικότητας 0,05 και 0,001, αντίστοιχα. Διαφορετικά γράμματα που ακολουθούν τιμές σε κάθε στήλη υποδεικνύουν σημαντικά διαφορετικές τιμές σε επίπεδο σημαντικότητας 0,05 σύμφωνα με τη δοκιμή Duncan.

Πίνακας 5.

Η ανάλυση της παραλλακτικότητας (ANOVA) των δεδομένων για τις παραμέτρους φθορισμού Ψ_o , Φ_{Eo} , Φ_{Do} , Φ_{Pav} , π_{ABS} , ABS/RC , TR_o/RC , ET_o/RC και DI_o/RC φύλλων μαρουλιού στις 35 και 63 ημέρες από τη μεταφύτευση. Στα φυτά έγινε ή όχι εφαρμογή των εμπορικών σκευασμάτων Bactiva® και Isabion®, ως εξής: Το Bactiva® εφαρμόστηκε με ριζοπότισμα των φυτών (0,2 g/L) με 100 mL/φυτό αμέσως μετά τη μεταφύτευση. Ακολούθησε ριζοπότισμα των φυτών (0,2 g/L) με 100 mL/φυτό 14 και 21 ημέρες μετά τη μεταφύτευση. Το Isabion® εφαρμόστηκε με ψεκασμό των φυτών στον δίσκο (2 mL/L) την ημέρα της μεταφύτευσης και ριζοπότισμα των φυτών (0,4 mL/L) με 100 mL/φυτό, αμέσως μετά τη μεταφύτευση. Ακολούθησε ριζοπότισμα των φυτών (0,4 mL/L) με 100 mL/φυτό 14 και 21 ημέρες από τη μεταφύτευση.

		Ψ_0			Φ_{E0}			Φ_{D0}			Φ_{Pav}			π_{ABS}			ABS/RC			TR_0/RC			ET_0/RC			DI_0/RC		
Πηγή παραλλακτικότητας	ΒΕ	<i>P</i>	%ΣΠ	η^2	<i>P</i>	%ΣΠ	η^2	<i>P</i>	%ΣΠ	η^2	<i>P</i>	%ΣΠ	η^2	<i>P</i>	%ΣΠ	η^2	<i>P</i>	%ΣΠ	η^2	<i>P</i>	%ΣΠ	η^2	<i>P</i>	%ΣΠ	η^2	<i>P</i>	%ΣΠ	η^2
Χρόνος δειγματοληψίας (Α)	1	***	93	42,7	***	95	50,9	***	97	43,0	***	98	53,8	***	93	46,9	***	79	7,7	***	91	22,2	***	96	54,6	***	92	17,8
Μεταχείριση (Β)	2	***	6	5,9	***	4	4,6	*	2	1,7	*	1	1,2	***	5	5,3	*	12	2,3	*	4	2,1	***	3	3,4	ns	4	1,7
A x B	2	ns	0	0,1	ns	0	0,1	ns	0	0,3	ns	0	0,3	*	1	0,3	ns	5	0,9	ns	3	1,5	ns	0	0,3	ns	2	0,7
Σφάλμα	12																											
Χρόνος δειγματοληψίας (Α)																												
	35 ημέρες	0,379 b			0,247 b			0,359 a			938 b			0,311 b			4,29 a			2,683 b			1,015 b			1,607 a		
	63 ημέρες	0,488 a			0,362 a			0,262 b			971 a			0,755 a			3,87 b			2,851 a			1,388 a			1,023 b		
Μεταχείριση (Β)																												
	Μάρτυρας	0,418 b			0,289 b			0,320 a			957 a			0,458 b			4,21 a			2,803 a			1,172 b			1,411 a		
	Bactiva	0,421 b			0,295 b			0,314 ab			955 ab			0,506 b			4,10 ab			2,758 ab			1,165 b			1,340 ab		
	Isabion	0,462 a			0,329 a			0,297 b			951 b			0,635 a			3,93 b			2,740 b			1,267 a			1,195 b		
Χρόνος δειγματοληψίας x Μεταχείριση (Α x Β)																												
	35 ημέρες																											
	Μάρτυρας	0,366 d			0,233 d			0,375 a			941 b			0,263 c			4,52 a			2,742 b			1,003 d			1,780 a		
	Bactiva	0,366 d			0,239 d			0,359 ab			940 b			0,309 c			4,25 ab			2,645 c			0,965 d			1,610 ab		
	Isabion	0,406 c			0,269 c			0,343 b			933 c			0,360 c			4,09 bc			2,661 c			1,077 c			1,432 b		
	63 ημέρες																											
	Μάρτυρας	0,469 b			0,345 b			0,266 c			973 a			0,653 b			3,90 c			2,863 a			1,342 b			1,042 c		
	Bactiva	0,477 b			0,351 b			0,268 c			970 a			0,702 b			3,94 bc			2,872 a			1,365 b			1,069 c		
	Isabion	0,518 a			0,389 a			0,252 c			969 a			0,910 a			3,78 c			2,820 a			1,457 a			0,957 c		

ΒΕ: Βαθμοί ελευθερίας, P: Πιθανότητα, %ΣΠ: Ποσοστό (%) της συνολικής παραλλακτικότητας, η^2 : ήτα τετράγωνο, ns: μη σημαντική επίδραση, * και *** σημαντική επίδραση σε επίπεδο σημαντικότητας 0,05 και 0,001, αντίστοιχα. Διαφορετικά γράμματα που ακολουθούν τιμές σε κάθε στήλη υποδεικνύουν σημαντικά διαφορετικές τιμές σε επίπεδο σημαντικότητας 0,05 σύμφωνα με τη δοκιμή Duncan.

Πίνακας 6.

Η ανάλυση της παραλλακτικότητας (ANOVA) των δεδομένων για τις παραμέτρους του χρώματος (L^* , a^* , b^* , C^* και h°) φύλλων μαρουλιού στις 35 και 63 ημέρες από τη μεταφύτευση. Στα φυτά έγινε ή όχι εφαρμογή των εμπορικών σκευασμάτων Bactiva® και Isabion®, ως εξής: Το Bactiva® εφαρμόστηκε με ριζοπότισμα των φυτών (0,2 g/L) με 100 mL/φυτό αμέσως μετά τη μεταφύτευση. Ακολούθησε ριζοπότισμα των φυτών (0,2 g/L) με 100 mL/φυτό 14 και 21 ημέρες μετά τη μεταφύτευση. Το Isabion® εφαρμόστηκε με ψεκασμό των φυτών στον δίσκο (2 mL/L) την ημέρα της μεταφύτευσης και ριζοπότισμα των φυτών (0,4 mL/L) με 100 mL/φυτό, αμέσως μετά τη μεταφύτευση. Ακολούθησε ριζοπότισμα των φυτών (0,4 mL/L) με 100 mL/φυτό 14 και 21 ημέρες από τη μεταφύτευση.

Πηγή παραλλακτικότητας	ΒΕ	L^*			a^*			b^*			C^*			h°		
		<i>P</i>	%ΣΠ	η^2	<i>P</i>	%ΣΠ	η^2	<i>P</i>	%ΣΠ	η^2	<i>P</i>	%ΣΠ	η^2	<i>P</i>	%ΣΠ	η^2
Χρόνος δειγματοληψίας (Α)	1	***	87	24,7	***	97	73,2	***	95	40,6	***	96	51,6	ns	65	2,3
Μεταχείριση (Β)	2	ns	4	2,3	*	1	1,7	ns	2	1,8	ns	2	1,8	ns	6	0,5
Α x Β	2	ns	7	4,0	*	1	1,8	ns	2	1,8	ns	2	1,9	ns	6	0,4
Σφάλμα	12															
Χρόνος δειγματοληψίας (Α)																
	35 ημέρες		48,09	a		-18,74	a		24,63	a		30,95	a		127,29	a
	63 ημέρες		44,47	b		-16,08	b		21,43	b		26,79	b		126,89	a
Μεταχείριση (Β)																
	Μάρτυρας		45,71	a		-17,23	a		22,70	a		28,50	a		127,20	a
	Bactiva		47,02	a		-17,69	b		23,49	a		29,41	a		126,98	a
	Isabion		46,11	a		-17,30	a		22,90	a		28,70	a		127,08	a
Χρόνος δειγματοληψίας x Μεταχείριση (Α x Β)																
	35 ημέρες Μάρτυρας		48,06	a		-18,62	c		24,33	a		30,63	a		127,43	a
	Bactiva		47,81	a		-18,75	c		24,66	a		30,98	a		127,27	a
	Isabion		48,39	a		-18,86	c		24,90	a		31,23	a		127,17	a
	63 ημέρες Μάρτυρας		43,35	b		-15,84	a		21,07	bc		26,36	c		126,97	a
	Bactiva		46,24	a		-16,64	b		22,32	b		27,84	b		126,70	a
	Isabion		43,82	b		-15,74	a		20,89	c		26,16	c		127,00	a

ΒΕ: Βαθμοί ελευθερίας, *P*: Πιθανότητα, %ΣΠ: Ποσοστό (%) της συνολικής παραλλακτικότητας, η^2 : ήτα τετράγωνο, ns: μη σημαντική επίδραση, * και *** σημαντική επίδραση σε επίπεδο σημαντικότητας 0,05 και 0,001, αντίστοιχα. Διαφορετικά γράμματα που ακολουθούν τιμές σε κάθε στήλη υποδεικνύουν σημαντικά διαφορετικές τιμές σε επίπεδο σημαντικότητας 0,05 σύμφωνα με τη δοκιμή Duncan.

Πίνακας 7.

Η ανάλυση της παραλλακτικότητας (ANOVA) των δεδομένων για την περιεκτικότητα σε χλωροφύλλες (α, β, α+β και α/β) και ολικά καροτενοειδή φύλλων μαρουλιού στις 35 και 63 ημέρες από τη μεταφύτευση. Στα φυτά έγινε ή όχι εφαρμογή των εμπορικών σκευασμάτων Bactiva® και Isabion®, ως εξής: Το Bactiva® εφαρμόστηκε με ριζοπότισμα των φυτών (0,2 g/L) με 100 mL/φυτό αμέσως μετά τη μεταφύτευση. Ακολούθησε ριζοπότισμα των φυτών (0,2 g/L) με 100 mL/φυτό 14 και 21 ημέρες μετά τη μεταφύτευση. Το Isabion® εφαρμόστηκε με ψεκασμό των φυτών στον δίσκο (2 mL/L) την ημέρα της μεταφύτευσης και ριζοπότισμα των φυτών (0,4 mL/L) με 100 mL/φυτό, αμέσως μετά τη μεταφύτευση. Ακολούθησε ριζοπότισμα των φυτών (0,4 mL/L) με 100 mL/φυτό 14 και 21 ημέρες από τη μεταφύτευση.

		Χλωροφύλλη α				Χλωροφύλλη α				Χλωροφύλλη β				Χλωροφύλλη β				Χλωροφύλλη α+β				Χλωροφύλλη α+β				Χλωροφύλλη α/β				Ολικά καροτενοειδή				Ολικά καροτενοειδή			
		(μg/g v.β)				(mg/g ξ.β)				(μg/g v.β)				(mg/g ξ.β)				(μg/g v.β)				(mg/g ξ.β)				α/β				(μg/g v.β)				(mg/g ξ.β)			
Πηγή παραλλακτικότητας	ΒΕ	Ρ	%ΣΠ	η²	Ρ	%ΣΠ	η²	Ρ	%ΣΠ	η²	Ρ	%ΣΠ	η²	Ρ	%ΣΠ	η²	Ρ	%ΣΠ	η²	Ρ	%ΣΠ	η²	Ρ	%ΣΠ	η²	Ρ	%ΣΠ	η²	Ρ	%ΣΠ	η²						
Χρόνος δειγματοληψίας (Α)	1	ns	5	0,2	ns	55	3,4	ns	51	3,1	ns	4	0,1	ns	0	0,0	ns	38	1,8	***	98	50,7	ns	0	0,0	ns	44	2,5									
Μεταχείριση (Β)	2	ns	8	0,6	ns	2	0,2	ns	4	0,5	ns	5	0,3	ns	8	0,5	ns	3	0,3	ns	1	0,9	ns	12	0,9	ns	4	0,5									
Α x Β	2	ns	64	4,5	ns	31	3,8	ns	32	4,0	ns	62	3,5	ns	67	4,4	ns	42	3,8	ns	1	0,9	ns	67	5,1	ns	39	4,4									
Σφάλμα	12																																				
Χρόνος δειγματοληψίας (Α)																																					
35 ημέρες		226 a				3,34 a				64,18 a				0,95 a				289 a				4,27 a				3,52 a				61,26 a				0,90 a			
63 ημέρες		219 a				2,94 a				72,34 a				0,97 a				292 a				3,91 a				3,03 b				60,86 a				0,81 a			
Μεταχείριση (Β)																																					
Μάρτυρας		231 a				3,20 a				70,22 a				0,97 a				301 a				4,17 a				3,28 a				63,73 a				0,88 a			
Bactiva		220 a				3,14 a				68,32 a				0,97 a				288 a				4,10 a				3,23 a				60,25 a				0,86 a			
Isabion		218 a				3,08 a				66,25 a				0,94 a				288 a				4,00 a				3,31 a				59,18 a				0,84 a			
Χρόνος δειγματοληψίας x Μεταχείριση (Α x Β)																																					
35 ημέρες Μάρτυρας		252 a				3,62 a				71,53 ab				1,03 a				322 a				4,64 a				3,52 a				68,97 a				0,99 a			
Bactiva		228 a				3,41 ab				64,67 ab				0,97 a				292 a				4,36 a				3,52 a				61,50 ab				0,92 ab			
Isabion		198 a				2,99 ab				56,33 b				0,85 a				254 a				3,82 a				3,52 a				53,30 b				0,80 ab			
63 ημέρες Μάρτυρας		210 a				2,78 b				68,90 ab				0,91 a				279 b				3,70 a				3,05 b				58,50 ab				0,78 b			
Bactiva		212 a				2,86 ab				71,97 ab				0,97 a				284 b				3,84 a				2,94 b				59,00 ab				0,80 ab			
Isabion		237 a				3,16 ab				71,97 a				1,02 a				312 b				4,18 a				3,10 b				65,07 ab				0,87 ab			

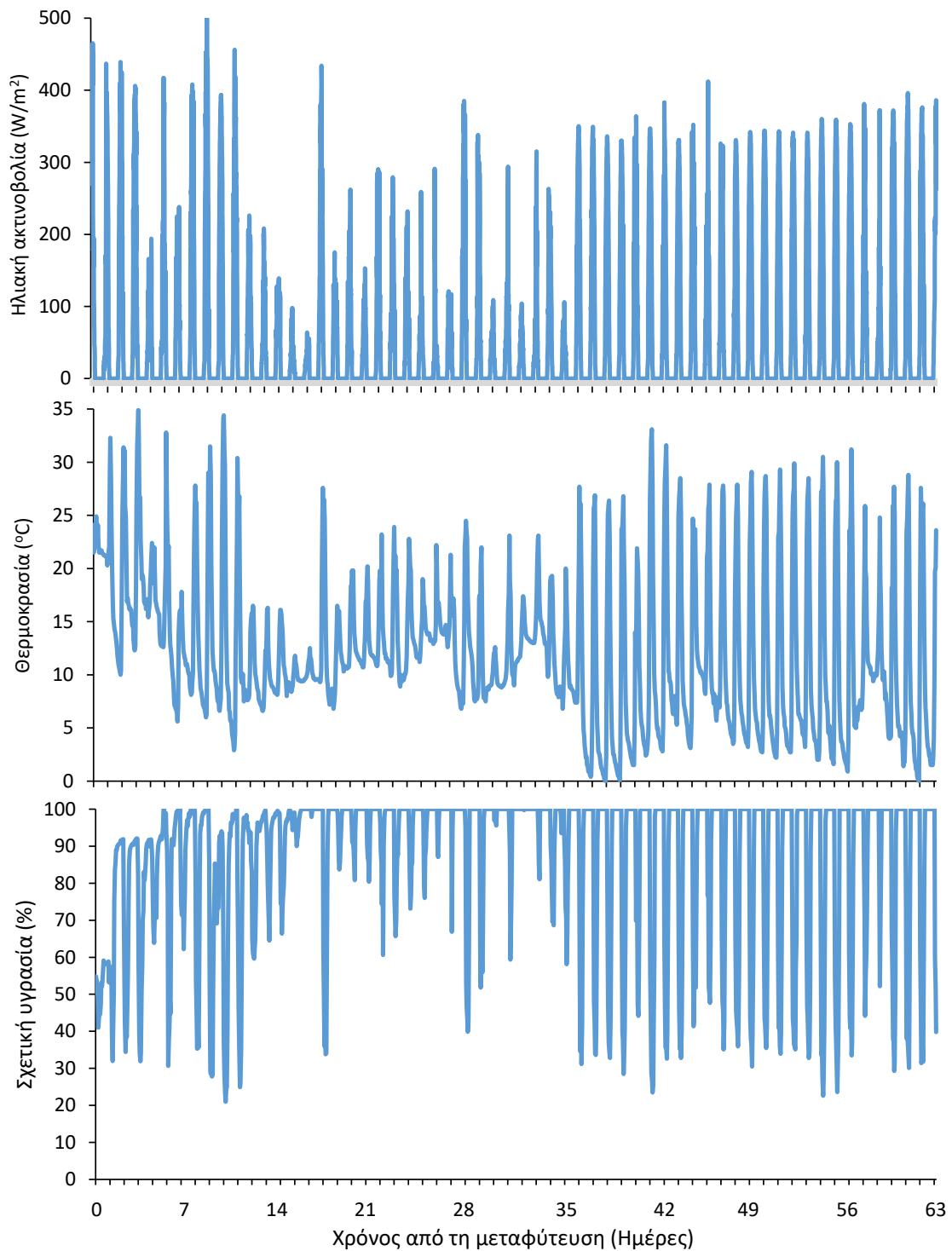
ΒΕ: Βαθμοί ελευθερίας, P: Πιθανότητα, %ΣΠ: Ποσοστό (%) της συνολικής παραλλακτικότητας, η²: ήτα τετράγωνο, ns: μη σημαντική επίδραση, *** σημαντική επίδραση σε επίπεδο σημαντικότητας 0,001. Διαφορετικά γράμματα που ακολουθούν τιμές σε κάθε στήλη υποδεικνύουν σημαντικά διαφορετικές τιμές σε επίπεδο σημαντικότητας 0,05 σύμφωνα με τη δοκιμή Duncan.

Πίνακας 8.

Η ανάλυση της παραλλακτικότητας (ANOVA) των δεδομένων για τη σύσταση (ξηρά ουσία, νιτρικά, ολικές διαλυτές φαινόλες) και την αντιοξειδωτική ικανότητα φύλλων μαρουλιού στις 35 και 63 ημέρες από τη μεταφύτευση. Στα φυτά έγινε ή όχι εφαρμογή των εμπορικών σκευασμάτων Bactiva® και Isabion®, ως εξής: Το Bactiva® εφαρμόστηκε με ριζοπότισμα των φυτών (0,2 g/L) με 100 mL/φυτό αμέσως μετά τη μεταφύτευση. Ακολούθησε ριζοπότισμα των φυτών (0,2 g/L) με 100 mL/φυτό 14 και 21 ημέρες μετά τη μεταφύτευση. Το Isabion® εφαρμόστηκε με ψεκασμό των φυτών στον δίσκο (2 mL/L) την ημέρα της μεταφύτευσης και ριζοπότισμα των φυτών (0,4 mL/L) με 100 mL/φυτό, αμέσως μετά τη μεταφύτευση. Ακολούθησε ριζοπότισμα των φυτών (0,4 mL/L) με 100 mL/φυτό 14 και 21 ημέρες από τη μεταφύτευση.

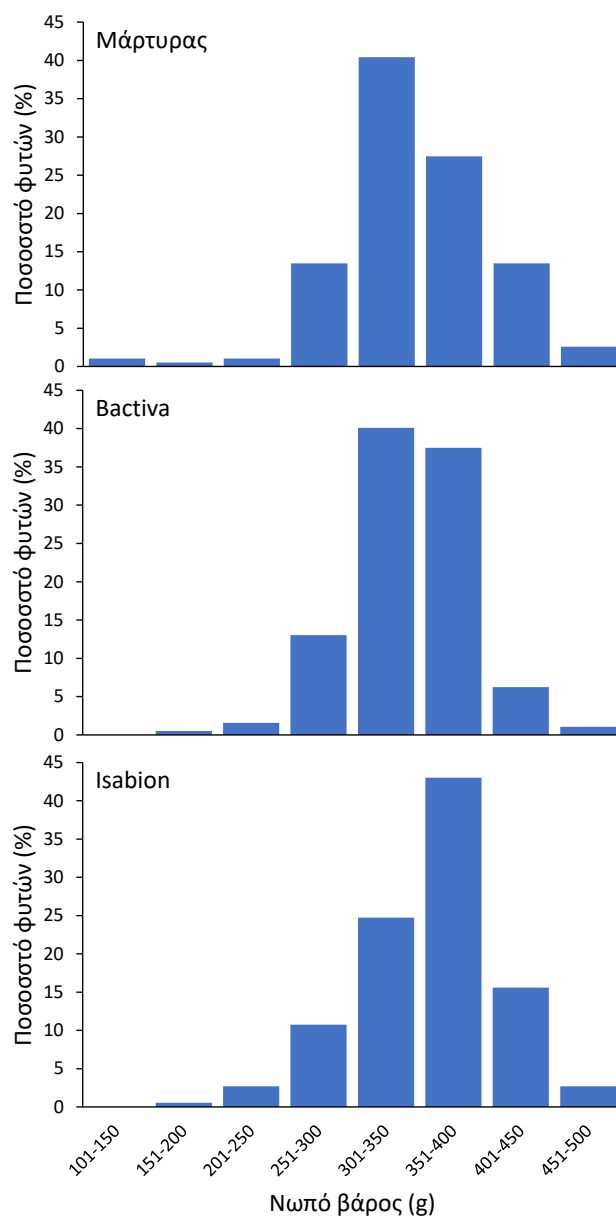
Πηγή παραλλακτικότητας	ΒΕ	Ξηρά ουσία (%)			Νιτρικά (mg/kg v.β)			Νιτρικά (% ξ.β)			Ολικές διαλυτές φαινόλες (μg/kg v.β)			Ολικές διαλυτές φαινόλες (μg/g ξ.β)			Αντιοξειδωτική ικανότητα (mg AAE/100g v.β)			Αντιοξειδωτική ικανότητα (mg AAE/g ξ.β)		
		P	%ΣΠ	η ²	P	%ΣΠ	η ²	P	%ΣΠ	η ²	P	%ΣΠ	η ²	P	%ΣΠ	η ²	P	%ΣΠ	η ²	P	%ΣΠ	η ²
Χρόνος δειγματοληψίας (Α)	1	***	94	32,7	***	95	27,2	***	96	51,6	ns	0	0,0	ns	22	1,8	ns	15	0,8	*	55	4,3
Μεταχείριση (Β)	2	ns	4	2,6	ns	2	1,0	ns	2	1,8	**	88	14,0	**	68	11,6	ns	18	1,9	ns	5	0,8
A x B	2	ns	1	0,5	ns	2	0,9	ns	2	1,9	ns	3	0,5	ns	2	0,4	ns	52	5,4	ns	31	4,9
Σφάλμα	12																					
Χρόνος δειγματοληψίας (Α)																						
	35 ημέρες		6,75	b		369	a		0,55	a		247	a		3,65	a		11,26	a		1,66	a
	63 ημέρες		7,47	a		266	b		0,36	b		248	a		3,33	a		10,56	a		1,42	b
Μεταχείριση (Β)																						
	Μάρτυρας		7,25	a		317	a		0,44	a		276	a		3,81	a		11,67	a		1,62	a
	Bactiva		7,02	a		330	a		0,48	a		261	a		3,73	a		10,38	a		1,49	a
	Isabion		7,06	a		307	a		0,44	a		205	b		2,93	b		10,67	a		1,52	a
Χρόνος δειγματοληψίας x Μεταχείριση (Α x Β)																						
	35 ημέρες Μάρτυρας		6,94	b		366	a		0,53	a		279	a		4,02	a		11,03	ab		1,59	ab
	Bactiva		6,68	b		394	a		0,59	a		252	ab		3,78	ab		11,97	a		1,79	a
	Isabion		6,64	b		348	a		0,52	a		208	b		3,14	bc		10,77	ab		1,62	a
	63 ημέρες Μάρτυρας		7,57	a		268	b		0,35	b		273	a		3,60	ab		12,30	a		1,64	a
	Bactiva		7,37	a		266	b		0,36	b		270	a		3,68	ab		8,80	a		1,19	b
	Isabion		7,48	a		265	b		0,35	b		202	b		2,71	c		10,57	ab		1,41	ab

ΒΕ: Βαθμοί ελευθερίας, P: Πιθανότητα, %ΣΠ: Ποσοστό (%) της συνολικής παραλλακτικότητας, η²: ήτα τετράγωνο, ns: μη σημαντική επίδραση, *, ** και *** σημαντική επίδραση σε επίπεδο σημαντικότητας 0,05, 0,01 και 0,001, αντίστοιχα. Διαφορετικά γράμματα που ακολουθούν τιμές σε κάθε στήλη υποδεικνύουν σημαντικά διαφορετικές τιμές σε επίπεδο σημαντικότητας 0,05 σύμφωνα με τη δοκιμή Duncan.



Σχήμα 1.

Η ηλιακή ακτινοβολία, η θερμοκρασία και η σχετική υγρασία αέρα κατά τη διάρκεια της καλλιέργειας μαρουλιού.



Σχήμα 2.

Το νωπό βάρος φυτών μαρουλιού κατά τη συγκομιδή, 63 ημέρες από τη μεταφύτευση, σε σχέση με τις μεταχειρίσεις. Στα φυτά έγινε ή όχι εφαρμογή των εμπορικών σκευασμάτων Bactiva® και Isabion®, ως εξής: Το Bactiva® εφαρμόστηκε με ριζοπότισμα των φυτών (0,2 g/L) με 100 mL/φυτό αμέσως μετά τη μεταφύτευση. Ακολούθησε ριζοπότισμα των φυτών (0,2 g/L) με 100 mL/φυτό 14 και 21 ημέρες μετά τη μεταφύτευση. Το Isabion® εφαρμόστηκε με ψεκασμό των φυτών στον δίσκο (2 mL/L) την ημέρα της μεταφύτευσης και ριζοπότισμα των φυτών (0,4 mL/L) με 100 mL/φυτό, αμέσως μετά τη μεταφύτευση. Ακολούθησε ριζοπότισμα των φυτών (0,4 mL/L) με 100 mL/φυτό 14 και 21 ημέρες από τη μεταφύτευση.

Βιβλιογραφία

- Abbas, S.M., & Akladios, S.A. (2013). Application of carrot root extract induced salinity tolerance in cowpea (*Vigna sinensis* L.) seedlings. *Pakistan Journal of Botany*, 45(2), 795-806. [http://mail.pakbs.org/pjbot/PDFs/45\(3\)/11.pdf](http://mail.pakbs.org/pjbot/PDFs/45(3)/11.pdf)
- Agehara, S., Warnock, S.J., & Sams, C.E. (2020). Preplant application of 1-methylcyclopropene improves postplanting performance of tomato transplants by suppressing ethylene-induced stress responses. *HortScience*, 55(5), 723-728. <https://doi.org/10.21273/HORTSCI14761-19>
- Ali, M., Ahmad, S., Zafar, M., Zia, M., Hameed, U., Ashraf, M., & Sultana, S. (2021). Agro-waste based adsorbents for the remediation of contaminated waters: A review. *Journal of Molecular Liquids*, 326.
- Aloni, B., Daie, J. & Karni, L. (1991). Water relations, photosynthesis and assimilate partitioning in leaves of pepper (*Capsicum annuum*) transplants: Effect of water stress after transplanting. *Journal of Horticultural Science* 66(1), 75-80. DOI: [10.1080/00221589.1991.11516127](https://doi.org/10.1080/00221589.1991.11516127)
- Amirkhani M., Netravali, A.N. & Huang, W. (2016). Investigation of soy protein-based biostimulant seed coating for broccoli seedling and plant growth enhancement. *HortScience*, 51, 1121-1126. <https://doi.org/10.21273/HORTSCI10913-16>
- Moreno-Hernández, J.M., Benítez-García, I., Mazorra-Manzano, M.A., Ramírez-Suárez, J.C. & Sánchez, E. (2020). Strategies for production, characterization and application of protein-based biostimulants in agriculture: A review. *Chilean Journal of Agricultural Research*, 80(2), 274-289. <https://doi.org/10.4067/S0718-58392020000200274>
- Bactiva flyer EN11.02.20. <https://www.bactiva.de/en/produkte.php?p=Bactiva%3Csup%3E%C2%AE%3C/sup%3>
- Baker, N.R. (2008). Chlorophyll fluorescence: A probe of photosynthesis in vivo. *Annual Review of Plant Biology*, 59(1), 89-113. doi: 10.1146/annurev.arplant.59.032607.092759
- Baker, N.R., & Oxborough, K. (2004). *Chlorophyll fluorescence as a probe of photosynthetic productivity*. In G. C. Papageorgiou & G. Govindjee (Eds.), *Advances in Photosynthesis and Respiration* (pp. 65-82). Springer.
- Baker, N.R., & Rosenquist, E. (2004). Applications of chlorophyll fluorescence can improve crop production strategies: An examination of future possibilities. *Journal of Experimental Botany*, 55(403), 1607-1621. doi:10.1093/jxb/erh196.
- Bar-Tal, A., Feigin, A., Rylski, I., & Pressman, E. (1994). Effects of root pruning and N-NO₃ solution concentration on nutrient uptake and transpiration of tomato plants. *Scientia Horticulturae*, 58, 77-90. [https://doi.org/10.1016/0304-4238\(94\)90129-5](https://doi.org/10.1016/0304-4238(94)90129-5).

- Brand-Williams, W., Cuvelier, M.E., & Berset, C. (1995). Use of a free radical method to evaluate antioxidant activity. *LTW-Food Science and Technology*, 28, 25-30. [http://dx.doi.org/10.1016/S0023-6438\(95\)80008-5](http://dx.doi.org/10.1016/S0023-6438(95)80008-5)
- Bittelli, M., Flury, M., Campbell, G.S. & Nichols, E.J. (2001). Reduction of transpiration through foliar application of chitosan. *Agricultural and Forest Meteorology*, 107, 167–175. DOI: [10.1016/S0168-1923\(00\)00242-2](https://doi.org/10.1016/S0168-1923(00)00242-2)
- Berkowitz, G.A. & Rabin, J. (1988). Antitranspirant associated abscisic acid effects on the water relations and yield of transplanted bell peppers. *Plant Physiology* 86, 329-331. DOI: [10.1104/pp.86.2.329](https://doi.org/10.1104/pp.86.2.329)
- Bhattacharyya, D., Babgohari, M.Z., Rathor, P., & Prithiviraj, B. (2015). Seaweed extracts as biostimulants in horticulture. *Scientia Horticulturae*, 196, 39-48. <http://earthsol.ag/wp-content/uploads/2019/05/Review-2016-Seaweed-extracts-as-biostimulants-in-horticulture.pdf>
- Biddington, N. (1986). The effects of mechanically induced stress in plants - A Review. *Plant Growth Regulat.* 4, 103–123. <https://link.springer.com/article/10.1007/bf00025193>
- Bonkowski, S. (2004). *The psychology of courage: An Adlerian handbook for healthy social living*. British: Routledge
- Bulgari, R., Franzoni, G., & Ferrante, A. (2019). Biostimulants Application in Horticultural Crops under Abiotic Stress Conditions. *Agronomy*, 9(6). <https://doi.org/10.3390/agronomy9060306>
- Bulgari, R., Podetta, N., Cocetta, G., Piaggese, A., & Ferrante, A. (2014). The effect of a complete fertilizer for leafy vegetables production in family and urban gardens. *Bulgarian Journal of Agricultural Science*, 20, 1361-1367. <https://www.agrojournal.org/20/06-12.pdf>
- Brand-Williams W., Cuvelier, M.E. & Berset, C. (1995). Use of a free radical method to evaluate antioxidant activity. *LTW-Food Science and Technology*, 28, 25-30. http://radio.cuci.udg.mx/bch/EN/Manuals/Techniques/DPPH-original_LebensWissTechnol_1995-v28-p25.pdf
- Calvo, P., Nelson, L., & Kloepper, J.W. (2014). Agricultural uses of plant biostimulants. *Plant and Soil*, 383(1-2), 3-41. doi: 10.1007/s11104-014-2131-8
- Canellas, L.P., Olivares, F.L., Okorokova-Facanha, A.L. & Facanha, A.R. (2002). Humic Acids Isolated from Earthworm Compost Enhance Root Elongation, Lateral Root Emergence, and Plasma Membrane H⁺-ATPase Activity in Maize Roots. *Plant Physiology*, 130(4), 1951–1957. doi: 10.1104/pp.007261
- Canellas, E., Cayuela, L., Granell, P., & Pomar, F. (2020). Biostimulants: a tool for plant physiology and sustainable agriculture. *Frontiers in plant science*, 11. <https://doi.org/10.3389/fpls.2020.00040>

- Canellas, L.P., Olivares, F.L., Aguiar, N.O., Jones, D.L., Nebbioso, A., Mazzei, P., & Piccolo, A. (2015). Humic and fulvic acids as biostimulants in horticulture. *Scientia Horticulturae*, 196, 15–27. doi: 10.1016/j.scienta.2015.09.013
- Canellas, L.P., Dobbss, L.B., Oliveira, A.L., Chagas, J.G., Aguiar, N.O., Rumjanek, V.M., Novotny, E.H., Olivares, F.L., Spaccini, R., & Piccolo, A. (2012). Chemical properties of humic matter as related to induction of plant lateral roots. *European Journal of Soil Science*, 63(3), 315–324. <https://doi.org/10.1111/j.1365-2389.2012.01439.x>
- Castiglione, A.M., Mannino, G., Contartese, V., Berteà, C.M., & Ertani, A. (2021). Microbial biostimulants as response to modern agriculture needs: Composition, role and application of these innovative products. *Plants*, 10(7). doi: 10.3390/plants10071533
- Colla, G., Nardi, S., Cardarelli, M., Ertani, A., Lucini, L., Canaguier, R., & Roupheal, Y. (2015). Protein hydrolysates as biostimulants in horticulture. *Scientia Horticulturae*, 196, 38–48. doi: 10.1016/j.scienta.2015.09.013.
- Colla, G., Hoagland, L., Ruzzi, M., Cardarelli, M., Bonini, P., Canaguier, R., & Roupheal, Y. (2017). Biostimulant action of protein hydrolysates: Unraveling their effects on plant physiology and microbiome. *Frontiers in Plant Science*, 8. doi: 10.3389/fpls.2017.02202.
- del Amor, F., Cuadra-Crespo, P., Walker, D., Camara-Zapata, J.M. & Madrid, R. (2010). Effect of foliar application of antitranspirant on photosynthesis and water relations of pepper plants under different levels of CO₂ and water stress. *Journal of Plant Physiology*, 167(8), 1232–1238. DOI: [10.1016/j.jplph.2010.04.010](https://doi.org/10.1016/j.jplph.2010.04.010)
- Druege, U. (2006). Influence of temperature on the growth and cold hardiness of vegetable and ornamental crops. *Scientia Horticulturae*, 109(1), 1–23. <https://doi.org/10.1016/j.scienta.2006.03.012>
- Du Jardin, P. (2015). Plant biostimulants: Definition, concept, main categories and regulation. *Scientia Horticulturae*, 196. DOI: [10.1016/j.scienta.2015.09.021](https://doi.org/10.1016/j.scienta.2015.09.021)
- Ekman, J. (2017) *Controlling multiple heading and transplant shock in lettuce*. Sydney: Horticulture Innovation Australia Ltd. <http://static1.squarespace.com/static/5e5856a58220896e4dd6b366/5f14eb62fcfa946754bc0bb2/5f14eb6ffcf946754bc0fec/1595206511755/VG12017-Final-Report.pdf?format=original>
- Ekinçi, M., Dursun, A., Küçükyumuk, Z., Ercişli, S., & Turan, M. (2014). Effect of plant growth promoting rhizobacteria on growth, nutrient, organic acid, amino acid and hormone content of cauliflower (*Brassica oleracea* L. var. botrytis) transplants. *Scientia Horticulturae*, 175, 1–8. <https://doi.org/10.1016/j.scienta.2014.05.024>
- El-Saadony, M.T., Ali, M.E.M., Abd-Allah, E.F., & Hashem, M. (2022). Biostimulant activity of cyanobacteria for enhancing plant growth, productivity and abiotic stress tolerance: A review. *Journal of Applied Phycology*, 1–18.

<https://www.mdpi.com/2223-7747/11/24/3419>

- Ertani, A., Schiavon, M., Altissimo, A., Franceschi, C., & Nardi, S. (2011). Phenol-containing organic substances stimulate phenylpropanoid metabolism in Zea mays. *Journal of Plant Nutrition and Soil Science*, 174(4), 496-503. DOI: [10.1002/jpln.201000075](https://doi.org/10.1002/jpln.201000075)
- Fadiji, A.E., Babalola, O.O., Santoyo, G., & Perazzolli, M. (2022). The Potential Role of Microbial Biostimulants in the Amelioration of Climate Change-Associated Abiotic Stresses on Crops. *Frontiers in Microbiology*, 12. <https://doi.org/10.3389/fmicb.2021.829099>
- Fish, W.W. (2012). Refinements of the Attending Equations for Several Spectral Methods that Provide Improved Quantification of β -Carotene and/or Lycopene in Selected Foods. *Postharvest Biology and Technology*, 66, 16–22. <https://doi.org/10.1016/j.postharvbio.2011.08.007>
- Fusco, G.M., Nicastro, R., Roupheal, Y., & Carillo, P. (2022). The Effects of the Microbial Biostimulants Approved by EU Regulation 2019/1009 on Yield and Quality of Vegetable Crops. *Foods*, 11(11). doi: 10.3390/foods11112656.
- Gajc-Wolska, J., Kowalczyk, K., Nowecka, M., Mazur, K., & Metera, A. (2012). Effect of organic-mineral fertilizers on the yield and quality of endive (*Cichorium endivia* L.). *Acta Scientiarum Polonorum Hortorum Cultus*, 11, 189-200. <https://czasopisma.up.lublin.pl/index.php/asphc/article/view/3095>
- Goreta, S., Leskova, D.I. & Jifon, J.L. (2007). Gas exchange, water status, and growth of pepper seedlings exposed to transient water deficit stress are differentially altered by antitranspirants. *The Journal of the American Society for Horticultural Science*, 132(5), 603–610. DOI: <https://doi.org/10.21273/JASHS.132.5.603>
- Grabowska, A., Kunicki, E., Sekara, A., Kalisz, A., & Wojciechowska, R. (2012). The effect of cultivar and biostimulant treatment on the carrot yield and its quality. *Vegetable Crops Research Bulletin*, 77, 37–48. DOI: <https://doi.org/10.2478/v10032-012-0014-1>
- Guidi, L., Lo Piccolo, E., & Landi, M. (2019). *Chlorophyll fluorescence, photoinhibition and abiotic stress: Does it make any difference the fact to be a C3 or C4 species?* *Frontiers in Plant Science*, 10. <https://doi.org/10.3389/fpls.2019.00174>
- Han, H.S., & Lee, K. D. (2005). Plant growth promoting rhizobacteria effect on antioxidant status, photosynthesis, mineral uptake and growth of lettuce under soil salinity. *Research Journal of Agricultural and Biological Sciences*, 1(3), 210-215. https://www.researchgate.net/publication/267241806_Corresponding_Author_Plant_Growth_Promoting_Rhizobacteria_Effect_on_Antioxidant_Status_Photosynthesis_Mineral_Uptake_and_Growth_of_Lettuce_under_Soil_Salinity
- Hamza, B. & Sugars, A. (2001). *Biostimulants: Myths and Realities*. TurfGrass Trends. <https://archive.lib.msu.edu/tic/tgtre/article/2001aug6.pdf>

- Halpern, B.S., Frazier, M., Potapenko, J., Casey, K.S., Koenigstein, S., Longo, C., & Samhour, J.F. (2015). Spatial and temporal changes in cumulative human impacts on the world's ocean. *Nature Communications*, 6(1), 1-9. DOI: [10.1038/ncomms8615](https://doi.org/10.1038/ncomms8615)
- Hacquard, S., Garrido-Oter, R., González, A., Spaepen, S., Ackermann, G., Lebeis, S. & Schulze - Lefert, P. (2015). Microbiota and host nutrition across plant and animal kingdoms. *Cell Host & Microbe*, 17(5), 603-616. DOI: [10.1016/j.chom.2015.04.009](https://doi.org/10.1016/j.chom.2015.04.009)
- Hikosaka, K. & Terashima, I. (1995). A model of the acclimation of photosynthesis in the leaves of C3 plants to sun and shade with respect to nitrogen use. *Plant, Cell and Environment*, 18(6), 605-618. DOI: [10.1111/j.1365-3040.1995.tb00562.x](https://doi.org/10.1111/j.1365-3040.1995.tb00562.x)
- Iriti, M., Picchi, V., Rossoni, M., Gomarasca, S., Ludwig, N., Gargano, M. & Faoro, F. (2009). Chitosan antitranspirant activity is due to abscisic acid-dependent stomatal closure. *Environmental and Experimental Botany*, 66, (493–500). <https://doi.org/10.1016/j.envexpbot.2009.01.004>
- Isabion-etiketa.pdf. <https://www.syngenta.gr/sites/g/files/zhg446/f/media/2021/03/26/isabion-etiketa.pdf?token=1617031072>
- Jacoby R., Peukert M., Succurro A., Koprivova A. & Kopriva S. (2017). The Role of Soil Microorganisms in Plant Mineral Nutrition - Current Knowledge and Future Directions. *Frontiers in Plant Science*, 8. <https://doi.org/10.3389/fpls.2017.01617>
- Juárez-Maldonado, A., Ortega-Ortíz, H., Morales-Díaz, A., González-Morales, S., Morelos-Moreno, Á., Cabrera-De la Fuente, M., Sandoval-Rangel, A., Cadenas-Pliego, G., & Benavides-Mendoza, A. (2019). Nanoparticles and Nanomaterials as Plant Biostimulants. *International Journal of Molecular Sciences*, 20(1). DOI: [10.3390/ijms20010162](https://doi.org/10.3390/ijms20010162)
- Jha, P., & Kumar, A. (2018). *Soil microbiome: An overview of soil microbial diversity, functions, and interactions in ecosystem. In Microbial Biotechnology: Basic Research and Applications (pp. 19-43)*. Springer: Singapore. https://doi.org/10.1007/978-981-10-9029-0_2
- Jifon, J.L. & Syvertsen, J.P. (2003). Kaolin particle film applications can increase photosynthesis and water use efficiency of 'Ruby Red' grapefruit leaves. *Journal of the American Society for Horticultural Science*, 128, 107-112. <https://doi.org/10.21273/JASHS.128.1.0107>
- Kader, A.A., Lipton, W.J. & Morris, L. L. (1973). Systems for scoring quality of harvested lettuce. *HortScience* 8(6): 408-409. <https://www.semanticscholar.org/paper/Systems-for-scoring-quality-of-harvested-lettuce-Kader-Lipton/a92720fdedddd5f51cf1e1dd079c4d1b80ec33cb>
- Karlidag, H., Yildirim, E., Turan, M., Pehlivan, M., & Donmez, F. (2013). Plant growth-promoting rhizobacteria mitigate deleterious effects of salt stress on strawberry plants (*Fragaria* × *ananassa*). *HortScience*, 48(5), 563-567. <https://doi.org/10.21273/HORTSCI.48.5.563>

- Kitajima, M., & Butler, W.L. (1975). Quenching of chlorophyll fluorescence and primary photochemistry in chloroplasts by dibromothymoquinone. *Biochimica et Biophysica Acta*, 376(1), 105-115. DOI: [10.1016/0005-2728\(75\)90209-1](https://doi.org/10.1016/0005-2728(75)90209-1)
- Knighton, N., & Bugbee, B. (2004). *A comparison of Opti-Sciences CCM-200 chlorophyll meter and the Minolta SPAD 502 chlorophyll meter*. Crop Physiology Laboratory: Utah State University. https://www.researchgate.net/profile/Bruce-Bugbee/publication/237625249_A_Comparison_of_Opti-Sciences_CCM-200_Chlorophyll_Meter_and_the_Minolta_SPAD_502_Chlorophyll_Meter/links/0c96052869d930af9d000000/A-Comparison-of-Opti-Sciences-CCM-200-Chlorophyll-Meter-and-the-Minolta-SPAD-502-Chlorophyll-Meter.pdf
- Kennedy, A.C., & Smith, K.L. (2015). Soil microbial diversity and the sustainability of agricultural soils. *Plant and Soil*, 388(1-2), 1-25. doi: 10.1007/s11104-014-2439-2
- Kerbiriou, P.J., Stomph, T.J., Van Der Putten, P.E.L., Lammerts Van Bueren, E.T., and Struik, P.C. (2013). Shoot growth, root growth and resourcecapture under limiting water and N supply for two cultivars of lettuce (*Lactuca sativa* L.). *Frontiers in Plant Science*, 4. doi: 10.1007/s11104-11013-1672-6
- Khan, N.A. 2006. Ethylene involvement in photosynthesis and growth. In: N.A. Khan (ed.), *Ethylene action in plants*. Springer: Berlin. <https://link.springer.com/book/10.1007/978-3-540-32846-9>
- Khan, M.N. (2016). Nano-titanium dioxide (nano-TiO₂) mitigates NaCl stress by enhancing antioxidative enzymes and accumulation of compatible solutes in tomato (*Lycopersicon esculentum* Mill.). *Journal of Plant Sciences*, 11(1), 1-11. doi: 10.3923/jps.2016.1.11
- Kokalis-Burelle, N., Vavrina, C.S., Roskopf, E.N., & Shelby, R.A. (2002). Field evaluation of plant growth - promoting Rhizobacteria amended transplant mixes and soil solarization for tomato and pepper production in Florida. *Plant and Soil*, 238(1), 257-266. <https://doi.org/10.1023/A:1014464716261>
- Kokalis-Burelle, N., Vavrina, C., Reddy, M., & Kloepper, J. (2003). Amendment of Muskmelon and Watermelon Transplant Media with Plant Growth-Promoting Rhizobacteria: Effects on Seedling Quality, Disease, and Nematode Resistance. *HortTechnology*, 13(3), 476-482. DOI:[10.21273/HORTTECH.13.3.0476](https://doi.org/10.21273/HORTTECH.13.3.0476)
- Kirn, A., Kashif, S.R., and Yaseen, M. (2010). Using indigenous humic acid from lignite to increase growth and yield of okra (*Abelmoschus esculentus* L.). *Soil Environment*. 29, 187–191. <https://www.researchgate.net/publication/289897117>
- Kloepper, J.W., Reddy, M.S., Rodríguez-Kabana, R., Kenney, D.S., Kokalis-Burelle, N., & Martinez-Ochoa, N. (2004). Application for rhizobacteria in transplant production and yield enhancement. *Acta Horticulturae*, (631), 219-229. DOI:[10.17660/ActaHortic.2004.631.28](https://doi.org/10.17660/ActaHortic.2004.631.28)
- Koukounaras, A., Tsouvaltzis, P., & Siomos, A.S. (2013). Effect of root and foliar

application of amino acids on the growth and yield of greenhouse tomato in different fertilization levels. *Journal of Food, Agriculture and Environment*, 11, 644–648. https://www.researchgate.net/publication/286304862_Effect_of_root_and_foliar_application_of_amino_acids_on_the_growth_and_yield_of_greenhouse_tomato_in_different_fertilization_levels

- Kulkarni, M.G., Rengasamy, K.R.R., Pendota, S.C., Gruz, J., Plačková, L., Novák, O., Doležal, K., & Van Staden, J. (2019). Bioactive molecules derived from smoke and seaweed *Ecklonia maxima* showing phytohormone-like activity in *Spinacia oleracea* L. *New Biotechnology*, 48, 83-89. DOI: 10.1016/j.nbt.2018.08.004
- Kunicki, E., Grabowska, A., Sękara, A. & Wojciechowska, R. (2010). The effect of cultivar type, time of cultivation, and biostimulant treatment on the yield of spinach (*Spinacia oleracea* L.). *Folia Horticulturae*. 22, 9–13. doi: 10.2478/fhort-2013-0153
- Kumar, V. & Dubey, R.C. (2020). *Bacillus*-Based Bioformulations for Sustainable Agriculture: Emerging Trends and Prospects. In *Microbial Biotechnology* (pp. 1-28). Springer: Singapore. doi: 10.1007/978-981-15-5588-7_1.
- Lancaster J.E., Lister, C.E., Reay, P.F. & Triggs, C.M. (1997). Influence of pigment composition on skin color in a wide range of fruit and vegetables. *Journal of the American Society for Horticultural Science*, 122, 594-598.
- Lawlor, D.W. (2002). Limitation to photosynthesis in water-stressed leaves: Stomata vs. metabolism and the role of ATP. *Annals of Botany*, 89, 871-885. DOI: [10.1093/aob/mcf110](https://doi.org/10.1093/aob/mcf110)
- Lazár, D. (2015). Parameters of photosynthetic energy partitioning. *Journal of Plant Physiology*, 175, 131-147. DOI: [10.1016/j.jplph.2014.10.021](https://doi.org/10.1016/j.jplph.2014.10.021)
- Lei, Z., Mingyu, S., Xiao, W., Chao, L., Chunxiang, Q., Liang, C., Hao, H., Xiaoqing, L. & Fashui, H. (2008). Antioxidant Stress is Promoted by Nano-anatase in Spinach Chloroplasts Under UV-B Radiation. *Biology Trace Element Research*, 121(1), 69-79. doi: 10.1007/s12011-007-8034-z
- Leskovar, D.I., Goreta, S., Jifon, J.L., Agehara, S., Shinohara, T., & Moore, D. (2008). ABA to enhance water stress tolerance of vegetable transplants. *Acta Horticulturae*, (782), 253–264. doi:10.17660/actahortic.2008.782.
- Lichtenthaler H.K. & Wellburn A.R. (1983). Determinations of total carotenoids and chlorophylls a and b of leaf extracts in different solvents. *Biochemical Society Transactions* 11, 591-592. <https://www.researchgate.net/publication/313724134>
- Luziateli- <https://www.frontiersin.org/articles/10.3389/fpls.2019.00060/full>
- Maxwell, K., & Johnson, G.N. (2000). Chlorophyll fluorescence - A practical guide. *Journal of Experimental Botany*, 51(345), 659-668. DOI: [10.1093/jexbot/51.345.659](https://doi.org/10.1093/jexbot/51.345.659)
- Matsumiya, Y. & Kubo, M. (2011). *Using exogenous enzymes to increase the nutritional value of soybean meal in poultry diet*. Japan: Department of biotechnology, College of

life science, Ritsumeikan University, Nojihigasi, Kusatsu, Shiga.

- Mohammed, G.H., Zarco-Tejada, P., & Miller, J.R. (2003). *Applications of chlorophyll fluorescence in forestry and ecophysiology*. In J. R. DeEll & P. M. A. Toivonen (Eds.), *Practical Applications of Chlorophyll Fluorescence in Plant Biology* (pp. 79-124). Springer.
- Mona, M.A. (2013). The potential of Moringa oleifera extract as a biostimulant in enhancing the growth, biochemical and hormonal contents in rocket (Eruca vesicaria subsp. sativa) plants. *International Journal of Plant Production*, 5, 42–49. DOI: [10.5897/IJPPB2012.026](https://doi.org/10.5897/IJPPB2012.026)
- Moftah, A.E. & Al-Humaid, A.R.I. (2005). Effects of antitranspirants on water relations and photosynthetic rate of cultivated tropical plant (Polianthes tuberosa L.). *Polish Journal of Ecology*, 53, 165–175. https://www.researchgate.net/publication/279578215_Effects_of_antitranspirants_on_water_relations_and_photosynthetic_rate_of_cultivated_tropical_plant_Polianthes_tuberosa_L
- Müller, T., Avrahami, S., & Berg, G. (2016). *Root-microbe systems: the effect and mode of interaction of stress protecting agent (SPA) Stenotrophomonas rhizophila DSM14405T*. *Plant and Soil Journal*, 405(1-2), 57-70. DOI: [10.3389/fpls.2013.00141](https://doi.org/10.3389/fpls.2013.00141)
- Nardi, S., Pizzeghello, D., Schiavon, M., & Ertani, A. (2016). Plant biostimulants: Physiological responses induced by protein hydrolyzed-based. *Scientia Agricola*, 73(1), 18-23. doi: 10.1590/0103-9016-2015-0199
- Narendra Babu, A., Jogaiah, S., Ito, S., Kestur Nagaraj, A., & Tran, L.-S.P. (2015). Improvement of growth, fruit weight and early blight disease protection of tomato plants by rhizosphere bacteria is correlated with their beneficial traits and induced biosynthesis of antioxidant peroxidase and polyphenol oxidase. *Plant Science*, 231, 62-73. doi: 10.1016/j.plantsci.2014.11.015
- Nitzschel P., Berkowitz, G.A. & Rabin, J. (1991). Development of a Seedling-applied Antitranspirant Formulation to Enhance Water Status, Growth, and Yield of Transplanted Bell Pepper. *The Journal of the American Society for Horticultural Science*, 116(3), 405-411. https://www.researchgate.net/publication/279644526_Development_of_a_Seedling-applied_Antitranspirant_Formulation_to_Enhance_Water_Status_Growth_and_Yield_of_Transplanted_Bell_Pepper
- Overvoorde, P.J., Okushima, Y., Alonso, J.M., Chan, A., Chang, C., Ecker, J.R. & Kliebenstein, D. (2010). Functional genomic analysis of the AUXIN/INDOLE-3-ACETIC ACID gene family members in Arabidopsis thaliana. *Plant Cell*, 22(7), 2184-2200. doi: 10.1105/tpc.105.036723.
- Pérez-Clemente, R.M., & Gomez-Cadenas, A. (2012). *In vitro tissue culture, a tool for the study and breeding of plants subjected to abiotic stress conditions*, In *Recent Advances*

in Plant In Vitro Culture. London: InTechOpen.

- Povero, G., Mejia, J.F., Di Tommaso, D., Piaggese, A. & Warrior, P. (2016). The Role of Plant Growth-Promoting Bacteria in Improving Nitrogen Use Efficiency in Crop Plants. *Frontiers in Plant Science*, 7. doi: 10.3389/fpls.2016.00435.
- Qin, K. & Leskovar, D.I. (2020). Humic Substances Improve Vegetable Seedling Quality and Post-Transplant Yield Performance under Stress Conditions. *Agriculture*, 10, <https://doi.org/10.3390/agriculture10070254>
- Qi, M., Liu, Y., & Li, T. (2013). Nano-TiO₂ Improve the Photosynthesis of Tomato Leaves under Mild Heat Stress. *Biology Trace Element Research*, 156(1-3), 323-328. doi: 10.1007/s12011-013-9804-4
- Rai, M.K., Kalia, R.K., Singh, R., Gangola, M.P., & Dhawan, A.K. (2011). Developing stress tolerant plants through in vitro selection-An overview of the recent progress. *Environmental and Experimental Botany*, 71(1), 89-98. DOI: [10.1016/j.envexpbot.2010.10.021](https://doi.org/10.1016/j.envexpbot.2010.10.021)
- Rouphael, Y., & Colla, G. (2018). Synergistic Biostimulatory Action: Designing the Next Generation of Plant Biostimulants for Sustainable Agriculture. *Frontiers in Plant Science*, 9. doi: 10.3389/fpls.2018.01655
- Rouphael, Y., & Colla, G. (2020). Editorial: Biostimulants in Agriculture. *Frontiers in Plant Science*, 11. <https://doi.org/10.3389/fpls.2020.00040>
- Ruzzi, M., & Aroca, R. (2015). Plant growth-promoting rhizobacteria act as biostimulants in horticulture. *Scientia Horticulturae*, 196, 124-134. doi: 10.1016/j.scienta.2015.09.002.
- Scalbert A., Monties, B & Janin, G. (1989). Tannins in wood: comparison of different estimation methods. *Journal of Agricultural and Food Chemistry* 37, 1324-1329. <https://doi.org/10.1021/jf00089a026>
- Schrader, W.L. (2000). *Using Transplants in Vegetable Production*. USA: University of California Agriculture and Natural Resources. <https://doi.org/10.3733/ucanr.8013>
- Schimel, J., & Bennett, J. (2004). *Nitrogen mineralization: challenges of a changing paradigm*. In M. A. Tabatabai & M. K. Bremner (Eds.), *Soil microbiology, biochemistry and ecology* (pp. 259-310). CRC Press.
- Shahrajabian, M.H., Chaski, C., Polyzos, N., Tzortzakis, N., & Petropoulos, S. A. (2021). Sustainable Agriculture Systems in Vegetable Production Using Chitin and Chitosan as Plant Biostimulants. *Biomolecules*, 11(6), 819. <https://doi.org/10.3390/biom11060819>.
- Sharma, N., Saharan, B.S., & Yadav, R.C. (2010). Bioprospecting of plant growth promoting psychrotrophic bacilli from the cold desert of northwestern Indian Himalayas. *Letters in Applied Microbiology*, 50(5), 527-534. doi: 10.1111/j.1472-765X.2010.02813.x

- Shapiro, C., Schepers, J., Francis, D., & Shanahan, J. (2013). *Using a chlorophyll meter to improve N management*. University of Nebraska, Lincoln Extension, Institute of Agriculture and Natural Resources. <https://extensionpublications.unl.edu/assets/pdf/g1632.pdf>
- Siomos, A.S., Beis, G., Papadopoulou, P.P., Nasi, P., & Kaberidou, I. (2001). Aerial biomass, root biomass and quality of four lettuce cultivars grown hydroponically in perlite and pumice. *Acta Horticulturae*, 548, 437-444. <https://worldveg.tind.io/record/30975>
- Srivastava, A., Guissé, B., Greppin, H., & Strasser, R.J. (1997). Regulation of antenna structure and electron transport in photosystem II of *Pisum sativum* under elevated temperature probed by the fast polyphasic chlorophyll a fluorescence transient: OKJIP. *Biochimica et Biophysica Acta*, 1320, 95-106. <https://core.ac.uk/reader/82583110>
- Shehata, S., Azem, S. Abou El-Yazied, A., & El-Gizawy, A. (2011). Effect of foliar spraying with amino acids and seaweed extract on growth chemical constituents, yield and its quality of celeriac plant. *European Journal of Scientific Research*, 58, 257-265. https://www.researchgate.net/publication/273121527_Effect_of_Foliar_Spraying_with_Amino_Acids_and_Seaweed_Extract_on_Growth_Chemical_Constituents_Yield_and_its_Quality_of_Celeriac_Plant
- Searchinger, T. (2013). *The Great Balancing Act: Installment 1 of Creating a Sustainable Food Future*. Washington, DC: World Resources Institute.
- Swiader, J.M., Ware, G.W., & McCollum, J.P. (1992). *Producing Vegetable Crops*. USA: Danville, IL Interstate Publishers United States
- Strasser, R.J., Srivastava, A., & Tsimilli-Michael, M. (2000). *The fluorescence transient as a tool to characterize and screen photosynthetic samples*. In M. Yunus, U. Pathre, & P. Mohanty (Eds.), *Probing Photosynthesis: Mechanism, Regulation and Adaptation* (pp. 445-483). Taylor and Francis.
- Strasser, R.J., Tsimilli-Michael, M., & Srivastava, A. (2004). *Analysis of the chlorophyll a fluorescence transient*. In G. C. Papageorgiou & G. Govindjee (Eds.), *Chlorophyll a Fluorescence* (pp. 321-362). Springer
- Shukla, P.S., Shukla, S.R., Mishra, A., Jha, B., & Kumar, A. (2017). *Seaweeds: A sustainable bioresource for the future*. In R. Kumar (Ed.), *Seaweed Sustainable Management and Utilization* (pp. 1-17). Springer
- Terashima, I., & Hikosaka, K. (1995). Comparative ecophysiology of leaf and canopy photosynthesis. *Plant, Cell and Environment*, 18(10), 1111-1128. DOI: [10.1111/j.1365-3040.1995.tb00623.x](https://doi.org/10.1111/j.1365-3040.1995.tb00623.x)
- Tholen, D., Poorter, H., & Voesenek, L.A.C.J. (2006). *Ethylene and plant growth*. In *Ethylene Action in Plants* (pp. 35-49). Springer.

- Trevisan, S., Francioso, O., Quaggiotti, S., & Nardi, S. (2010). Humic substances biological activity at the plant-soil interface: From environmental aspects to molecular factors. *Plant Signaling & Behavior*, 5(6), 635–643. doi: 10.4161/psb.5.6.11282
- Ullah, A., Ali, S., & Shah, S.M. (2019). Influence of foliar application of bio-stimulants on growth, yield and chemical composition of tomato Influence of foliar application of bio-stimulants on growth, yield and chemical composition of tomato. *International Journal of Biosciences*, 14(2), 309-316. DOI: [10.12692/ijb/14.1.309-316](https://doi.org/10.12692/ijb/14.1.309-316)
- Ungureanu, N., Vlăduț, V., & Voicu, G. (2020). Water Scarcity and Wastewater Reuse in Crop Irrigation. *Sustainability*, 12(21). <https://doi.org/10.3390/su12219055>
- Vernieri, P., Borghesi, E., Tognoni, F., Serra, G., Ferrante, A., & Piaggese, A. (2006). Use of biostimulants for reducing nutrient solution concentration in floating system. *Acta Horticulturae*, 718, 477-484. doi: 10.17660/ActaHortic.2006.718.61
- Vernieri, P., Borghesi, E., & Ferrante, A. (2005). Application of biostimulants in floating system for improving rocket quality. *Journal of Food Agriculture and Environment*, 33(3), 86-88. https://www.researchgate.net/publication/233852232_Application_of_Biostimulants_in_Floating_System_for_Improving_Rocket_Quality
- Vetrano, F., Miceli, C., Angileri, V., Frangipane, B., Moncada, A., & Miceli, A. (2020). Effect of bacterial inoculum and fertigation management on nursery and field production of lettuce plants. *Agronomy*, 10(10). doi: 10.3390/agronomy10101477.
- Vetrano, C., Campobenedetto, C., Cavallaro, V., & Licciardello, F. (2020). Biostimulants based on *Bacillus* spp.: a multidisciplinary review on their formulation and effectiveness in agriculture. *Agronomy*, 10(11). doi: 10.3390/agronomy10111667.
- Vejan, P., Abdullah, R., Khadiran, T., Ismail, S., & Nasrulhaq B. A. (2016). Role of plant growth promoting rhizobacteria in agricultural sustainability – A Review. *Molecules*, 21. doi : 10.3390/molecules21050573
- Yan, Z., Reddy, M.S., & Kloepper, J.W. (2003). Survival and colonization of rhizobacteria in a tomato transplant system. *Canadian Journal of Microbiology*, 49(6), 383-389.
- Yildirim, E., Karlidag, H., Turan, M., Dursun, A., & Goktepe, F. (2011). Promotion of broccoli by plant growth promoting rhizobacteria. *HortScience*, 46, 932-936. doi: 10.21273/HORTSCI.46.6.932
- Wilson, H.T., Xu, K., & Taylor, A.G. (2015). Transcriptome analysis of gelatin seed treatment as a biostimulant of cucumber plant growth. *The Scientific World Journal*, 2, 1-14. https://www.researchgate.net/publication/283115742_Transcriptome_Analysis_of_Gelatin_Seed_Treatment_as_a_Biostimulant_of_Cucumber_Plant_Growth
- Xu, L., & Geelen, D. (2018). Developing Biostimulants from Agro-Food and Industrial By-Products. *Frontiers in Plant Science*, 9.

https://www.researchgate.net/publication/328610129_Developing_Biostimulants_From_Agro-Food_and_Industrial_By-Products

Yamamoto, Y. & Ueno, O. (2018). Molecular mechanisms of photoprotection and nonphotochemical quenching in cyanobacteria and algae. *Journal of Biological Chemistry*, 293(29), 11446-11454.

Ελληνόγλωσση

Βογιατζής, Δ. (2003). *Βιολογία οπωροκηπευτικών φυτών Ι. Η αύξηση και οι παράγοντες που την ρυθμίζουν*. Θεσσαλονίκη: Γαρταγάνη

Καραμπουρνιώτης Γ. & Σάββας Δ. (2021). *Παράγοντες Καταπόνησης των Φυτών στο Θερμοκήπιο*. Αθήνα: Κάλλιππος

Σάββας, Δ. (2016). *Γενική λαχανοκομία*. Αθήνα: Πεδίο

Διαμαντίδης, Γ. (1994). *Εισαγωγή στην βιοχημεία*. Θεσσαλονίκη: University studio press

Υπεύθυνη Δήλωση Συγγραφέα:

Δηλώνω ρητά ότι, σύμφωνα με το άρθρο 8 του Ν.1599/1986, η παρούσα εργασία αποτελεί αποκλειστικά προϊόν προσωπικής μου εργασίας, δεν προσβάλλει κάθε μορφής δικαιώματα διανοητικής ιδιοκτησίας, προσωπικότητας και προσωπικών δεδομένων τρίτων, δεν περιέχει έργα/εισφορές τρίτων για τα οποία απαιτείται άδεια των δημιουργών/δικαιούχων και δεν είναι προϊόν μερικής ή ολικής αντιγραφής, οι πηγές δε που χρησιμοποιήθηκαν περιορίζονται στις βιβλιογραφικές αναφορές και μόνον και πληρούν τους κανόνες της επιστημονικής παράθεσης.