



ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΘΕΣΣΑΛΙΑΣ

Σχολή Γεωπονικών Επιστήμων

Τμήμα Γεωπονίας Φυτικής Παραγωγής & Αγροτικού Περιβάλλοντος

ΠΡΟΓΡΑΜΜΑ ΜΕΤΑΠΤΥΧΙΑΚΩΝ ΣΠΟΥΔΩΝ

Αειφόρος και Βιώσιμη Φυτική Παραγωγή

ΕΡΓΑΣΤΗΡΙΟ ΔΕΝΔΡΟΚΟΜΙΑΣ

ΜΕΤΑΠΤΥΧΙΑΚΗ ΔΙΑΤΡΙΒΗ ΕΙΔΙΚΕΥΣΗΣ

«Επίδραση της εφαρμογής μικροοργανισμών ενίσχυσης της φυτικής
ανάπτυξης στις φυσιολογικές λειτουργίες και την ποιότητα καρπού
δένδρων ελιάς»

ΑΙΚΑΤΕΡΙΝΑ ΤΣΙΚΡΑ

Βόλος, 2024

«Επίδραση της εφαρμογής μικροοργανισμών ενίσχυσης της φυτικής ανάπτυξης στις
φυσιολογικές λειτουργίες και την ποιότητα καρπού δένδρων ελιάς»

«Effect of growth promoting microorganisms on olive tree physiological functions
and fruit quality»

ΑΙΚΑΤΕΡΙΝΑ ΤΣΙΚΡΑ

Τριμελής Συμβουλευτική Επιτροπή

Μαλέτσικα Περσεφόνη, Επίκουρος Καθηγήτρια Δενδροκομίας - Ελαιοκομίας, Τμήμα
Γεωπονίας Φυτικής Παραγωγής & Αγροτικού Περιβάλλοντος, Πανεπιστήμιο
Θεσσαλίας

Παυλή Ουρανία, Αναπληρώτρια Καθηγήτρια Γενετικής Βελτίωσης Φυτών, Τμήμα
Γεωπονίας Φυτικής Παραγωγής και Αγροτικού Περιβάλλοντος, Πανεπιστήμιο
Θεσσαλίας

Μαδέσης Παναγιώτης, Επίκουρος Καθηγητής Κυτταρικής και Μοριακής Βιολογίας,
Τμήμα Γεωπονίας Φυτικής Παραγωγής και Αγροτικού Περιβάλλοντος, Πανεπιστήμιο
Θεσσαλίας

Copyright © ΤΣΙΚΡΑ ΑΙΚΑΤΕΡΙΝΑ, 2024.

Με επιφύλαξη παντός δικαιώματος. All rights reserved.

Απαγορεύεται η αντιγραφή, αποθήκευση και διανομή της παρούσας διατριβής, εξ ολοκλήρου ή τμήματος αυτής, για εμπορικό σκοπό. Επιτρέπεται η ανατύπωση, αποθήκευση και διανομή για σκοπό μη κερδοσκοπικό, εκπαιδευτικής ή ερευνητικής φύσης, υπό την προϋπόθεση να αναφέρεται η πηγή προέλευσης.

Η έγκριση της Μεταπτυχιακής Διατριβής Ειδίκευσης από το Τμήμα Γεωπονίας Φυτικής Παραγωγής και Αγροτικού Περιβάλλοντος του Πανεπιστημίου Θεσσαλίας δε δηλώνει αποδοχή των γνώμων του συγγραφέα.

Πρόλογος και Ευχαριστίες

Η παρούσα μεταπτυχιακή διατριβή εκπονήθηκε κατά το Ακαδημαϊκό έτος 2023-2024, στο πλαίσιο του μεταπτυχιακού προγράμματος σπουδών Αειφόρος και Βιώσιμη Φυτική Παραγωγή του Τμήματος Γεωπονίας Φυτικής Παραγωγής και Αγροτικού Περιβάλλοντος του Πανεπιστημίου Θεσσαλίας. Η διατριβή πραγματοποιήθηκε υπό την επίβλεψη της κας Μαλέτσικα Περσεφόνης, Επίκουρης Καθηγήτριας του Τμήματος Γεωπονίας Φυτικής Παραγωγής και Αγροτικού Περιβάλλοντος του Πανεπιστημίου Θεσσαλίας. Αντικείμενο της διατριβής ήταν η επίδραση της εφαρμογής μικροοργανισμών ενίσχυσης της φυτικής ανάπτυξης στις φυσιολογικές λειτουργίες και την ποιότητα καρπού δένδρων ελιάς.

Η εκπόνηση αυτής της μεταπτυχιακής διατριβής δεν θα είχε πραγματοποιηθεί χωρίς τη συνεχή καθοδήγηση και συμπαράσταση ορισμένων ανθρώπων, και στο σημείο αυτό αισθάνομαι την ανάγκη να εκφράσω τις ειλικρινείς και θερμές ευχαριστίες μου σε όσους συνέβαλαν στην ολοκλήρωση αυτής της προσπάθειας.

Αρχικά, θα ήθελα να ευχαριστήσω την επιβλέπουσα καθηγήτριά μου Επίκουρη Καθηγήτρια Περσεφόνη Μαλέτσικα για τη συνεχή καθοδήγηση, την αμέριστη υποστήριξη, τις ουσιώδεις συμβουλές, καθώς επίσης και την αδιάκοπη συμπαράσταση και ενθάρρυνση που μου παρείχε καθ' όλη τη διάρκεια της εκπόνησης και συγγραφής της διατριβής αυτής.

Θερμές ευχαριστίες θα ήθελα να εκφράσω στον Καθηγητή κ. Γεώργιο Νάνο για τις εύστοχες παρατηρήσεις και διορθώσεις που μου υπέδειξε προκειμένου να ολοκληρωθεί η παρούσα διατριβή.

Επίσης θα ήθελα να ευχαριστήσω όλους τους Καθηγητές του Εκπαιδευτικού Ιδρύματος που φοίτησα για την άριστη συνεργασία καθώς και την κα. Παναγιωτάκη Ευαγγελία για την πολύτιμη βοήθειά της κατά την εκπόνηση των εργαστηριακών μετρήσεων.

Τέλος, δεν θα μπορούσα να παραλείψω να ευχαριστήσω τους γονείς μου Παντελή και Γιώτα καθώς και τον αδερφό μου Δημήτρη, καθώς αισθάνομαι την ανάγκη να επισημάνω την απέραντη ευγνωμοσύνη μου για όλα όσα μου έχουν προσφέρει στη διάρκεια των μαθητικών και φοιτητικών μου χρόνων και την αμέριστη υποστήριξή τους σε κάθε μου επιλογή.

*If you know you are on the right track, if you have this inner knowledge, then nobody
can turn you off... no matter what they say.*

~ Barbara McClintock

Περίληψη

Η ελιά αν και είναι είδος προσαρμοσμένο σε ξηροθερμικές συνθήκες και φωτόφιλο, παρόλα αυτά οι παρατεταμένες αντίξοες κλιματικές συνθήκες και η παρουσία ταυτόχρονων αβιοτικών καταπονήσεων μπορεί να επηρεάσουν αρνητικά την ανάπτυξη και παραγωγικότητα των ελαιόδεντρων. Η εφαρμογή βιοδιεγερτών στα φυτά είναι μία αειφόρος πρακτική για τον μετριασμό των αρνητικών επιπτώσεων των ακραίων περιβαλλοντικών συνθηκών και τα τελευταία χρόνια διερευνάται εκτενώς η επίδρασή τους στη βελτίωση της παραγωγικότητας των φυτών. Κύριος στόχος της παρούσας μεταπτυχιακής διατριβής ήταν η διερεύνηση της επίδρασης της εφαρμογής μικροοργανισμών (βακτηρίων) που προάγουν τη φυτική ανάπτυξη στις φυσιολογικές λειτουργίες, τα ποιοτικά χαρακτηριστικά του καρπού και την απόδοση των ελαιόδεντρων. Ειδικότερα, η έρευνα αποσκοπούσε στην αξιολόγηση της ικανότητας των μικροβιακών βιοδιεγερτών να μετριάσουν τις αρνητικές επιπτώσεις των αντίξοων περιβαλλοντικών συνθηκών κατά τους θερινούς μήνες σε ελαιόδεντρα. Το πείραμα πραγματοποιήθηκε σε εμπορικό ελαιώνα στην περιοχή των Νέων Παγασών Μαγνησίας, σε ενήλικα αρδευόμενα δέντρα ελιάς ποικιλίας Αμφίσσης και περιλάμβανε τρεις μεταχειρίσεις: 1) τον μάρτυρα, 2) την εφαρμογή στο έδαφος με ριζοπότισμα σκευάσματος μίγματος αζωτοδεσμευτικών βακτηρίων των γενών *Azotobacter sp.* και *Azospirillum sp.*, και 3) τη διαφυλλική εφαρμογή σκευάσματος μίγματος ενδόφυτων αζωτοδεσμευτικών βακτηρίων. Οι μετρήσεις πραγματοποιήθηκαν κατά τους θερινούς μήνες υπό συνθήκες θερμικής καταπόνησης και αφορούσαν τις φυσιολογικές και βιοχημικές παραμέτρους των φύλλων, τη θρεπτική κατάσταση των φύλλων, τα ποιοτικά και αντιοξειδωτικά χαρακτηριστικά των καρπών, την ποιότητα του ελαιολάδου και την παραγωγικότητα των ελαιόδεντρων. Σύμφωνα με τα αποτελέσματα, η εφαρμογή των μικροοργανισμών, είτε στο έδαφος είτε διαφυλλικά, δεν επηρέασε τη θερμοκρασία κόμης των δέντρων, αλλά βελτίωσε την υδατική τους κατάσταση σε σχέση με τον μάρτυρα. Η εφαρμογή των μικροοργανισμών στο έδαφος αύξησε τη στοματική αγωγιμότητα και τους ρυθμούς φωτοσύνθεσης και διαπνοής στα μέσα Ιουλίου, ενώ στις αρχές Σεπτεμβρίου, με το πέρας του καλοκαιριού, η παρουσία των μικροοργανισμών δεν επέφερε κάποια βελτίωση στις φυσιολογικές παραμέτρους των φύλλων. Επιπλέον, η μεταχείριση της εφαρμογής μικροοργανισμών στο έδαφος αύξησε το ποσοστό ξηράς ουσίας στα φύλλα σε σχέση με τις άλλες μεταχειρίσεις, ενώ το ειδικό βάρος φύλλου μόνο στα μέσα Ιουλίου. Οι χρωστικές φωτοσύνθεσης στα

φύλλα ελιάς παρέμειναν σε σχετικά σταθερά επίπεδα έως τις αρχές Σεπτεμβρίου, αλλά αυξήθηκαν σημαντικά στα μέσα Οκτωβρίου, όπως επίσης και ο λόγος χλωροφύλλης α προς χλωροφύλλη β, ανεξάρτητα από τη μεταχείριση. Η συγκέντρωση των ολικών φαινολικών συστατικών και η αντιοξειδωτική ικανότητα στα φύλλα διαμορφώθηκε διαφορετικά ανάλογα με τις μεταχειρίσεις και την εποχή μέτρησης. Η θρεπτική κατάσταση των φύλλων ελιάς δεν επηρεάστηκε από τη μεταχείριση και η συγκέντρωση των ανόργανων στοιχείων βρέθηκε πάντα σε επάρκεια, με εξαίρεση το βόριο που ήταν σε έλλειψη στον μάρτυρα. Αναφορικά με την απόδοση των δέντρων, βρέθηκε ελαφρώς αυξημένη παραγωγικότητα στα δέντρα που εφαρμόστηκαν οι μικροοργανισμοί έναντι το μάρτυρα. Όσον αφορά την ποιότητα των καρπών, η διαφυλλική εφαρμογή επέδρασε θετικά στην ποιότητα των καρπών αυξάνοντας τον λόγο σάρκας προς πυρήνα στους πράσινους και ξανθούς καρπούς ελιάς, ενώ η εφαρμογή στο έδαφος βελτίωσε το χρώμα στους μαύρους καρπούς. Ακόμη, οι πράσινοι και μαύροι καρποί ελιάς των μεταχειρίσεων των μικροοργανισμών είχαν αυξημένα επίπεδα φαινολικών σε σχέση με τον μάρτυρα, ενώ στην περίπτωση της αντιοξειδωτικής ικανότητας οι εφαρμογές των μικροοργανισμών την βελτίωσαν μόνο στους ξανθούς καρπούς. Οι μαύροι καρποί αν και ήταν παρόμοιας ωριμότητας, η ελαιοπεριεκτικότητα βρέθηκε αυξημένη στη μεταχείριση της εφαρμογής μικροοργανισμών στο έδαφος. Και οι δύο μεταχειρίσεις προσθήκης μικροοργανισμών συνέβαλλαν στη μείωση της προσβολής των καρπών από δάκο. Τέλος, το ελαιόλαδο που προήλθε από τους καρπούς των μεταχειρίσεων των μικροοργανισμών ήταν βελτιωμένης ποιότητας συγκριτικά με τον μάρτυρα βάσει της οξύτητας και της συγκέντρωσής του σε ολικά φαινολικά. Συμπερασματικά, αποδεικνύεται η ωφέλιμη δράση των βιοδιεγερτών μικροβιακής φύσεως που εφαρμόστηκαν στο έδαφος ή διαφυλλικά σε αρκετές από τις μελετώμενες παραμέτρους στα ελαιόδεντρα, αλλά χρειάζεται εκτενέστερη έρευνα για να εξακριβωθεί η δράση των μικροοργανισμών στα ελαιόδεντρα.

Λέξεις κλειδιά: *Olea europaea*, βακτήρια, βιοδιεγέρτες, ρυθμός φωτοσύνθεσης, αντιοξειδωτική ικανότητα, λόγος σάρκας/πυρήνα, οξύτητα

Summary

The olive tree, although it is a species well adapted to dry and hot climatic conditions, prolonged adverse climatic conditions and the simultaneous presence of abiotic stresses can negatively affect the growth and productivity of olive trees. The application of biostimulants to plants is a sustainable practice to mitigate the negative effects of extreme environmental conditions, and in recent years, their impact on improving plant productivity has been extensively investigated. The main objective of this master's thesis was to investigate the effect of applying plant growth-promoting microorganisms (bacteria) on the physiological functions, fruit quality characteristics, and yield of olive trees. Specifically, the research aimed to evaluate the ability of microbial biostimulants to mitigate the negative impacts of adverse environmental conditions during the summer period on olive trees. The experiment was conducted in a commercial olive grove in the area of Nees Pagases, Magnesia, on mature irrigated olive trees of the Amfissis variety, and included three treatments: 1) the control, 2) the application of a mixture of nitrogen-fixing bacteria of the genes *Azotobacter sp.* and *Azospirillum sp.* to the soil through root irrigation, and 3) foliar application of a mixture of endophytic nitrogen-fixing bacteria. Measurements were conducted during the summer months under heat stress conditions and focused on the physiological and biochemical parameters of the leaves, the nutritional status of the leaves, the quality and antioxidant characteristics of the fruits, the quality of the olive oil, and the productivity of the olive trees. According to the results, the application of microorganisms, either to the soil or foliar, did not affect the canopy temperature of the trees but improved their water status compared to the control. The application of microorganisms to the soil increased stomatal conductance and the rates of photosynthesis and transpiration in mid-July, while in early September, at the end of summer, the presence of microorganisms did not lead to any improvement in the physiological parameters of the leaves. Additionally, the treatment with microorganism application to the soil increased the dry matter content in the leaves compared to the other treatments, while leaf specific weight increased only in mid-July. Chlorophyll pigments in olive leaves remained relatively stable until early September but increased significantly in mid-October, as did the ratio of chlorophyll a to chlorophyll b, regardless of treatment. The concentration of total phenolic compounds and antioxidant capacity in the leaves varied depending on the treatment and the time of measurement. The nutritional status of the olive leaves was

not affected by the treatment, and the concentration of inorganic elements was always found in sufficiency, except for boron, which was deficient in the control. Regarding the tree yield, there was a slightly increased productivity in the trees treated with microorganisms compared to the control. As for the fruit quality, the foliar application had a positive effect on fruit quality by increasing the flesh-to-pit ratio in green and blonde olives, while soil application improved the color in black olives. Furthermore, the green and black olives from the microbial treatments had higher phenolic levels compared to the control, while in the case of antioxidant capacity, the microorganism applications improved it only in blonde olives. Although the black olives were of similar maturity, oil content was increased in the soil microorganism treatment. Both microorganism treatments contributed to reducing fruit infestation by the olive fruit fly. Finally, the olive oil produced from the fruits of the microbial treatments was of improved quality compared to the control based on acidity and total phenolic content. In conclusion, the beneficial effect of microbial-based biostimulants, applied either to the soil or foliar, was demonstrated in several of the studied parameters in olive trees, but further research is needed to determine the microorganisms effect on olive trees.

Keywords: *Olea europaea*, bacteria, biostimulants, photosynthetic rate, antioxidant capacity, flesh/pit ratio, olive oil acidity

«Εγώ, η Τσικρά Αικατερίνα, είμαι ο συγγραφέας αυτής της Μ.Δ.Ε. Αυτή η Μ.Δ.Ε. αντικατοπτρίζει την έρευνα που έγινε από εμένα και δεν έχει υποβληθεί (εξολοκλήρου ή μέρος της) σαν προπτυχιακή διατριβή ή Μ.Δ.Ε. ή ως μέρος Διδακτορικής Διατριβής σε αυτό ή άλλο Προπτυχιακό ή Μεταπτυχιακό Πρόγραμμα Σπουδών Ιδρυμάτων Τριτοβάθμιας Εκπαίδευσης του εσωτερικού ή εξωτερικού. Όποια συνεργασία καθώς και το μέγεθος αυτής δηλώνονται επακριβώς στο αντίστοιχο πεδίο αυτής της διατριβής. Επίσης έχω διαβάσει όλες τις βιβλιογραφικές αναφορές που παρατίθενται στο τέλος.»

«Ως επιβλέπουσα της έρευνας που περιγράφεται σε αυτή τη διατριβή, δηλώνω ότι όλοι οι όροι του Εσωτερικού Κανονισμού του Μεταπτυχιακού Προγράμματος Σπουδών του Τμήματος Γεωπονίας Φυτικής Παραγωγής και Αγροτικού Περιβάλλοντος έχουν τηρηθεί από την κα Τσικρά Αικατερίνα».

Περιεχόμενα

Κατάλογος συντομογραφιών	XIV
1. Εισαγωγή.....	1
1.1. Η σημασία της καλλιέργειας της ελιάς για την χώρα μας	1
1.2. Ποικιλία Αμφίσσης.....	2
1.3. Μορφολογία και ετήσιος βλαστικός κύκλος της ελιάς	2
1.4. Οικολογία της ελιάς	3
1.5. Φυσιολογία της ελιάς	4
1.6. Επίδραση υδατικής και θερμικής καταπόνησης στις φυσιολογικές και βιοχημικές λειτουργίες της ελιάς	5
1.7.Θρέψη της ελιάς.....	7
1.7.1. Ο ρόλος του N.....	8
1.7.2. Ο ρόλος του P.....	8
1.7.3. Ο ρόλος του K.....	8
1.7.4. Ο ρόλος του Mg	8
1.7.5. Ο ρόλος του Ca.....	9
1.7.6. Ο ρόλος του B.....	9
1.7.7.Ο ρόλος του Zn.....	10
1.8. Οι βιοδιεγέρτες και η χρήση τους ως φιλοπεριβαλλοντική καλλιεργητική πρακτική	10
1.9. Χρήσεις βιοδιεγερτών στα φυτά	11
1.10. Περιγραφή μικροβιακών βιοδιεγερτών και ο τρόπος δράσης τους	11
1.11. Η επίδραση των βιοδιεγερτών στην θρεπτική κατάσταση των δένδρων	12
1.12. Ο ρόλος των βιοδιεγερτών στη βελτίωση της αποτελεσματικότητας χρήσης λιπασμάτων και νερού άρδευσης	13
1.13. Η επίδραση των βιοδιεγερτών στην ποιότητα των καρπών της ελιάς και στην ποιότητα του παραγόμενου ελαιολάδου.....	14
1.14. Σκοπός της εργασίας.....	15
2. Υλικά και μέθοδοι.....	17
2.1. Περιγραφή πειράματος	17
2.2. Μετρήσεις στον αγρό	19
2.2.1. Μετρήσεις των φυσιολογικών λειτουργιών των φύλλων	19
2.2.2. Μέτρηση της θερμοκρασίας κόμης (T _c) με θερμική κάμερα	20

2.2.4. Μετρήσεις υδατικού δυναμικού βλαστού το μεσημέρι (MSWP).....	20
2.2.6. Μετρήσεις φθορισμού χλωροφύλλης	20
2.3. Μετρήσεις φυσιολογικών χαρακτηριστικών των φύλλων στο εργαστήριο	21
2.3.1. Χαρακτηριστικά φύλλου.....	21
2.3.3. Μέτρηση της περιεκτικότητας των φύλλων σε ολικά φαινολικά και της αντιοξειδωτικής ικανότητας.....	22
2.4. Μέτρηση ποιοτικών χαρακτηριστικών των καρπών	23
2.4.1. Βάρος καρπού και λόγος σάρκας/πυρήνα.....	23
2.4.2. Διαστάσεις και σχήμα καρπού	24
2.4.3. Χρώμα φλοιού.....	24
2.4.4. Ποσοστό % ξηράς ουσίας	25
2.4.5. Σκληρότητα σάρκας καρπού.....	25
2.5. Αντιοξειδωτικά χαρακτηριστικά καρπών.....	25
2.5.1. Προετοιμασία εκχυλίσματος.....	25
2.5.2. Μέτρηση της περιεκτικότητας των καρπών σε ολικά φαινολικά συστατικά	25
2.5.3. Μέτρηση της αντιοξειδωτικής ικανότητας των καρπών με την μέθοδο της ελεύθερης ρίζας DPPH (2,2-diphenyl-1-picrylhydrazyl)	25
2.6. Μέτρηση της παραγωγικότητας των δέντρων	26
2.7. Δείκτης ωριμότητας καρπών.....	26
2.8. Εξαγωγή ελαιόλαδου	27
2.9. Μέτρηση ελαιοπεριεκτικότητας.....	27
2.10. Προσδιορισμός της οξύτητας του ελαιόλαδου.....	27
2.11. Προσδιορισμός ολικών φαινολικών συστατικών στο ελαιόλαδο.....	27
2.12. Στατιστική επεξεργασία	28
3. Αποτελέσματα	29
3.1. Θερμοκρασιακή και υδατική κατάσταση των δένδρων ελιάς	29
3.2. Μεταβολή της PAR και των φυσιολογικών παραμέτρων των φύλλων κατά την πειραματική περίοδο.....	30
3.3. Φυσιολογικά χαρακτηριστικά φύλλων	32
3.3.1. Ποσοστό % ξηράς ουσίας και ειδικό βάρος φύλλων	32
3.3.2. Συγκέντρωση των φύλλων ελιάς σε χρωστικές φωτοσύνθεσης	34
3.3.3. Αντιοξειδωτικά χαρακτηριστικά φύλλων ελιάς.....	35
3.4. Συγκέντρωση των φύλλων ελιάς σε θρεπτικά στοιχεία	37
3.5. Παραγωγικότητα δένδρων ελιάς.....	38
3.6. Ποιοτικά χαρακτηριστικά καρπών ελιάς.....	39
3.6.1. Ποιοτικά χαρακτηριστικά πράσινων καρπών ελιάς	39
3.6.2. Ποιοτικά χαρακτηριστικά ξανθών καρπών ελιάς	41

3.6.3. Ποιοτικά χαρακτηριστικά μαύρων καρπών ελιάς	42
3.7. Αντιοξειδωτικά χαρακτηριστικά καρπών ελιάς	44
3.8. Δείκτης ωριμότητας και ελαιοπεριεκτικότητα καρπών ελιάς	46
3.9. Προσβολή καρπών ελιάς από δάκο	47
3.10. Ποιοτικά χαρακτηριστικά και συγκέντρωση σε ολικά φαινολικά του παραγόμενου ελαιόλαδου.....	47
4. Συζήτηση.....	49
5. Συμπεράσματα	59
6. Βιβλιογραφία.....	61

Κατάλογος συντομογραφιών

PAR	φωτοσυνθετικά ενεργή ακτινοβολία
Tc	θερμοκρασία κόμης
g _s	αγωγιμότητα των στοματίων
A	ρυθμός φωτοσύνθεσης
E	ρυθμός διαπνοής
CO ₂ in	συγκέντρωση του μεσοκυττάριου CO ₂
Fv/Fm	μέγιστη απόδοση του PSII
SWP	υδατικό δυναμικό βλαστού το μεσημέρι
WUE	αποδοτικότητα χρήσης νερού
Tl	θερμοκρασία φύλλου στον θάλαμο του οργάνου φωτοσύνθεσης
ΣΠΕΡΝΕ	σχετική περιεκτικότητα φύλλου σε νερό
χλωρ. α	χλωροφύλλη α
χλωρ. β	χλωροφύλλη β
ολ. χλωρ.	ολική χλωροφύλλη
χλωρ. α/χλωρ. β	λόγος χλωροφύλλης α/χλωροφύλλη β

1. Εισαγωγή

1.1. Η σημασία της καλλιέργειας της ελιάς για την χώρα μας

Η ελιά (*Olea europaea*), ένα σημαντικό στοιχείο της καθημερινής ζωής στους αρχαίους μεσογειακούς πολιτισμούς, συνεχίζει να είναι ένα από τα πιο διαδεδομένα καλλιεργούμενα δέντρα σε ολόκληρη τη Μεσογειακή Λεκάνη. Τα ελαιόδεντρα αναπτύσσονται σε διάφορα κλίματα, από τις παράκτιες περιοχές της Μεσογείου έως τις βορειότερες περιοχές με ψυχρότερο κλίμα (Bracci et al., 2009). Η Ελλάδα βρίσκεται στην τρίτη θέση παγκοσμίως στην παραγωγή ελιάς, με περισσότερα από 117 εκατομμύρια ελαιόδεντρα. Το 80% της καλλιεργούμενης γης στη χώρα είναι αφιερωμένο στην ελαιοκαλλιέργεια (Sarri et al., 2006).

Σύμφωνα με τους Roubos & Moustakas et al. (2010) στην Ελλάδα, η καλλιέργεια της ελιάς επικεντρώνεται κυρίως στις νότιες και κεντρικές επαρχίες, τις παράκτιες περιοχές και τα νησιά. Πρόσφατα, η ελαιοκαλλιέργεια γνωρίζει σημαντική αύξηση στο βόρειο τμήμα της χώρας. Παρά το γεγονός ότι εδώ και 600 χρόνια καλλιεργούνται διάφορες ποικιλίες ελιάς στις εσωτερικές περιοχές της Βόρειας Ελλάδας, αυτές παραμένουν σε μεγάλο βαθμό αναξιοποίητες. Αυτή η πρόσφατη ανάπτυξη της καλλιέργειας καθιστά τις συγκεκριμένες ποικιλίες ιδιαιτέρως σημαντικές.

Η καλλιέργεια της ελιάς είναι διαδεδομένη σε όλη την Ελλάδα, καλύπτοντας 51 από τους 54 νομούς της χώρας. Οι μεγαλύτερες εκτάσεις με ελαιώνες εντοπίζονται στην Κρήτη και την Πελοπόννησο (Pariomitolou, 2006). Στη Βόρεια και Κεντρική Ελλάδα καλλιεργούνται τόσο παραδοσιακές ποικιλίες, όπως η Κορωνέικη, η Μεγαρίτικη, η Καλαμών και η Αμφίσσης όσο και τοπικές ποικιλίες με ονομασίες όπως Μαρωνεία, Χονδρολιά Χαλκιδικής, Γαλάτιστας, Πετρολιά Σερρών, Λευκολιά Σερρών, Αρβανιτολιά Σερρών και Πιερίας. Η μελέτη των γενετικών πόρων και η διαφοροποίηση των ελληνικών ονομασιών ελιάς παίζει σημαντικό ρόλο στη διατήρηση της βιοποικιλότητας και στην προάσπιση των μοναδικών χαρακτηριστικών των τοπικών ποικιλιών. Επιπλέον, οι γονιδιακές πληροφορίες μπορούν να βοηθήσουν τα προγράμματα βελτίωσης και να ξεκαθαρίσουν περιπτώσεις συνωνυμίας και ομωνυμίας στις ελληνικές ποικιλίες ελιάς.

Η καλλιέργεια της ελιάς αποτελεί όχι μόνο έναν σημαντικό οικονομικό τομέα, αλλά και ένα αναπόσπαστο κομμάτι της ελληνικής κουλτούρας. Κατέχει ένα κεντρικό ρόλο στην ελληνική παράδοση, όπως φαίνεται από τη συχνή παρουσία της στην τοπική κουζίνα, στην ιστορία, στη μυθολογία, στη θρησκεία και στη λογοτεχνία (Loumou & Giourga et al., 2002).

Μία από τις σημαντικότερες ποικιλίες ελιάς, με υψηλή οικονομική σημασία για τη χώρα μας είναι η ποικιλία Αμφίσσης, γνωστή και ως Κονσερβολιά (*Olea europaea* var. *med. rotunda*).

Αυτή η ποικιλία καλλιεργείται ευρέως σε διάφορες περιοχές της Θεσσαλίας και της Κεντρικής Ελλάδας. Η ποικιλία ελιάς Αμφίσσης καλλιεργείται κυρίως για επιτραπέζια κατανάλωση, ενώ χρησιμοποιείται σε μικρότερο βαθμό για την παραγωγή ελαιολάδου (Therios, 2009).

1.2. Ποικιλία Αμφίσσης

Η ποικιλία Κονσερβολιά, γνωστή και ως Αμφίσσης ή Πηλίου, καλλιεργείται ευρέως στην περιοχή της Μαγνησίας. Πρόκειται για ένα δέντρο που με την πάροδο του χρόνου μπορεί να φτάσει σε ύψος 6-9 μέτρων. Αναπτύσσεται κατά κύριο λόγο σε εδάφη μέτριας σύστασης καθώς και σε γόνιμα, ενώ έχει παρατηρηθεί η μείωση την απόδοσης σε φτωχά εδάφη. Μπορεί να καλλιεργηθεί έως το υψόμετρο των 600 μέτρων. Ως ποικιλία, είναι αδρόκαρπη και παραγωγική, με απόδοση που κυμαίνεται από 20 έως 100 κιλά ανά δέντρο, ανάλογα με το καλλιεργητικό σύστημα, την ηλικία του δέντρου και τις καλλιεργητικές φροντίδες που έχει λάβει. Ο καρπός της έχει σφαιρικό ή ωοειδές σχήμα και το βάρος του κυμαίνεται από 4 έως 10 γραμμάρια. Αποτελεί ποικιλία διπλής κατεύθυνσης, κατά κύριο λόγο όμως χρησιμοποιείται ως επιτραπέζια ελιά χαρακτηριστικού μαύρου χρώματος και εκλεκτής ποιότητας έχοντας ελαιοπεριεκτικότητα 14-18%. Η εποχή ωρίμανσης και συγκομιδής της ποικιλίας Αμφίσσης ξεκινά τη δεύτερη εβδομάδα του Οκτωβρίου και ολοκληρώνεται την δεύτερη εβδομάδα του Δεκεμβρίου. Ως ποικιλία έχει μέτρια ανθεκτικότητα στο ψύχος, στον καρκίνο και το κυκλοκόνιο και είναι ευαίσθητη στη βερτισιλλίωση καθώς και στον δάκο (Μπαλατσούρας, 1994; Θέριος, 2006).

1.3. Μορφολογία και ετήσιος βλαστικός κύκλος της ελιάς

Το ριζικό σύστημα της ελιάς είναι επιφανειακό με πλήθος πλάγιων ριζών, δύναται όμως να φτάσει σε μεγάλο βάθος στο έδαφος, καθιστώντας το δένδρο της ελιάς ικανό να αντλεί από κατώτερα στρώματα του εδάφους νερό και θρεπτικά συστατικά για τις διάφορες φυσιολογικές λειτουργίες του (Fernandez & Moreno et al., 1999). Ο κορμός της ελιάς είναι ξυλώδης και με την πάροδο του χρόνου ο φλοιός του γίνεται ρυτιδωμένος, φελλοειδής, με χρώμα τεφρό (Ganino et al., 2006). Η κόμη της ελιάς είναι κατά κύριο λόγο πυκνή, κάτι που μπορεί να διαφέρει ανάλογα με την καλλιεργούμενη ποικιλία καθώς και τις καλλιεργητικές εργασίες που εφαρμόζονται σε αυτή. Τα κλαδιά της ελιάς είναι εύκαμπτα και ξυλώδη, επιτρέποντας το δένδρο να υπομένει στις αντίξοες καιρικές συνθήκες (Connor & Fereres et al., 2005). Τα φύλλα έχουν λογχοειδή μορφή, με δερματώδη υφή πράσινου χρώματος από την επάνω πλευρά και γκριζοπράσινου στην κάτω επιφάνειά τους. Διαθέτουν ένα παχύ στρώμα κηρώδους ουσίας, το οποίο περιορίζει την απώλεια νερού μέσω της διαπνοής. Τα στομάτια τους βρίσκονται στην κάτω επιφάνεια καλυπτόμενα από μεγάλο αριθμό αστεροειδών τριχών. Αυτή η χαρακτηριστική

τους ιδιότητα τα καθιστά ανθεκτικά σε ξηροθερμικές συνθήκες περιορίζοντας με αυτόν τον τρόπο την απώλεια νερού από τα στομάτια. Τα άνθη της ελιάς είναι μικρά, λευκού ή κίτρινου χρώματος, που σχηματίζονται σε βοτρυώδεις ταξιανθίες. Η ποσότητα και η ανάπτυξη των ανθέων επηρεάζονται από περιβαλλοντικούς παράγοντες, όπως η θερμοκρασία και η υγρασία (Cuevas & Polito, 2004). Οι καρποί της ελιάς είναι δρύπες, διαθέτοντας σαρκώδες μεσοκάρπιο και ένα σκληρό ενδοκάρπιο. Διαφορές στο μέγεθος, το σχήμα και τη σύσταση των καρπών παρατηρούνται ανάμεσα στις διαφορετικές ποικιλίες (Tous et al., 2018).

Ο βλαστικός κύκλος της ελιάς χωρίζεται σε στάδια τα οποία και αναλύονται ακολούθως. Η περίοδος του λήθαργου που διαρκεί από Δεκέμβριο έως Φεβρουάριο και χαρακτηρίζεται από μειωμένη ανάπτυξη βλαστών και φωτοσυνθετικής δραστηριότητας (Rallo et al., 2011). Με την άνοδο της θερμοκρασίας την άνοιξη αναπτύσσεται η νέα βλάστηση. Στη συνέχεια ακολουθεί η περίοδος ανθοφορίας η οποία κυμαίνεται από τον Μάρτιο έως τον Μάιο ανάλογα με την ποικιλία και την περιοχή καλλιέργειας. Η άνθιση των δένδρων ξεκινά την άνοιξη και εξαρτάται από τη συσσώρευση των απαραίτητων ωρών χειμερινού ψύχους για την έξοδό της από τον λήθαργο (Cuevas & Polito, 2004). Μετά τη γονιμοποίηση των ανθέων ακολουθεί η καρπόδεση, η οποία επηρεάζεται από παράγοντες όπως η θερμοκρασία, η υγρασία και η διαθεσιμότητα θρεπτικών συστατικών (Moreno-Álias et al., 2012). Στη συνέχεια λαμβάνει χώρα η έντονη αρχική ανάπτυξη των καρπών. Ακολουθεί η περίοδος σκλήρυνσης του ενδοκαρπίου με μικρή αύξηση του μεσοκαρπίου, ενώ στα τέλη του καλοκαιριού έως τον Σεπτέμβριο συνεχίζει η έντονη ανάπτυξη του καρπού και η διόγκωση του μεσοκαρπίου, και συγχρόνως λαμβάνει χώρα η αύξηση της περιεκτικότητας τους σε ελαιόλαδό. Αυτή η περίοδος είναι καθοριστικής σημασίας τόσο για την ποιότητα όσο και για και ποσότητα της παραγόμενου ελαιόλαδου (Baldoni et al., 2006). Τέλος, το τελικό στάδιο είναι η ωρίμανση των καρπών λαμβάνοντας χώρα κατά τη διάρκεια του φθινοπώρου. Οι καρποί αποκτούν το χαρακτηριστικό τους χρώμα και η περιεκτικότητα σε λάδι φτάνει στο ανώτατο επίπεδο καθιστώντας τους κατάλληλους για συγκομιδή (Connor & Fereres, 2005).

1.4. Οικολογία της ελιάς

Το φυτικό είδος της ελιάς, ως αείφυλλο δένδρο, αναπτύσσεται σε περιοχές του θερμού Μεσογειακού κλίματος, το οποίο διακρίνεται από ζεστά και ξηρά καλοκαίρια, καθώς και από βροχερούς και δροσερούς χειμώνες. Αυτή η κλιματική ζώνη εκτείνεται γενικά κατά μήκος των ακτών της Μεσογείου έως τα 200 μέτρα υψόμετρο. Η ελιά είναι ένα θερμόφιλο φυτό, προσαρμοσμένο να αντέχει σε συνθήκες ξηρασίας και αλατότητας. Αναπτύσσεται σε ποικιλία εδαφών, ευδοκιμεί όμως σε αμμώδη και αργιλώδη εδάφη μέτριου βάθους. Η άγρια μορφή της

συχνά αναπτύσσεται σε φτωχά εδάφη και πλαγιές. Εγκαθίσταται σε άκρες καλλιεργειών ή εγκαταλελειμμένων ελαιώνων, διασπείροντας τη γύρη της μέσω του αέρα, ενώ μπορεί επίσης να πολλαπλασιάζεται μέσω παραφυάδων (Μπαλατσούρας, 1994).

1.5. Φυσιολογία της ελιάς

Για να ολοκληρωθεί ο βιολογικός κύκλος της ελιάς πρέπει να μεταβεί σε συγκεκριμένα στάδια τα οποία είναι τα εξής:

- Άνθιση, επικονίαση, γονιμοποίηση και καρπόδεση
- Ανάπτυξη του καρπού και συσσώρευση ελαιολάδου
- Ωρίμανση και Συλλογή

Τα προαναφερθέντα στάδια επηρεάζονται από συγκεκριμένους παράγοντες που θα αναλυθούν εκτενέστερα στη συνέχεια. Αρχικά, για την εαρινοποίηση και την έξοδο των οφθαλμών από τον λήθαργο απαιτούνται χαμηλές θερμοκρασίες και συγκεκριμένα στην ποικιλία Αμφίσσης 900-1000 ώρες χειμερινού ψύχους $<7,2^{\circ}\text{C}$. για να μπορέσει να διαμορφώσει το 69,7% των ανθοφόρων οφθαλμών της. Η διαδικασία αυτή λαμβάνει χώρα 40-60 μέρες πριν την άνθιση, όπου τα άνθη εμφανίζονται σε ταξιανθίες των 8-25.

Το φως αποτελεί έναν σημαντικό παράγοντα για τη διαφοροποίηση των ανθοφόρων οφθαλμών. Έχει παρατηρηθεί ότι φαινόμενα σκίασης μπορεί να αποτελέσουν ανασταλτικούς παράγοντες για την άνθιση. Επιπρόσθετα λόγω του χρώματος των φύλλων της ελιάς, των οποίων η πάνω επιφάνεια είναι σκουρότερου χρώματος από την κάτω επιφάνεια, απορροφά μεγαλύτερα ποσοστά φωτοσυνθετικά ενεργής ακτινοβολίας (PAR). Η κάτω επιφάνεια ανακλά το 20-40% της φωτοσυνθετικά ενεργής ακτινοβολίας, ενώ μεγάλο ποσοστό ακτινοβολίας σε μήκος κύματος άνω των 700 nm ανακλάται και από τις δύο πλευρές. Η φωτοσυνθετική ικανότητα της κάτω πλευράς των φύλλων είναι περιορισμένη λόγω της έλλειψης ροής και διόδου της φωτοσυνθετικά ενεργής ακτινοβολίας οδηγώντας τα γηραιότερα φύλλα, τα οποία αυξάνουν το πάχος τους, να έχουν μειωμένη φωτοσυνθετική δραστηριότητα στην κάτω επιφάνειά τους (Θέριος, 2006).

Η ελιά είναι ανεμόγαμο δένδρο και όταν η ποικιλία δεν είναι αυτογόνιμη για να επιτευχθεί η επικονιάσή της χρειάζεται επικονιάστριες ποικιλίες. Πιο συγκεκριμένα η ποικιλία Αμφίσσης είναι μερικώς αυτόστειρη, έχοντας 10,5 καρπούς ανά 100 ταξιανθίες αυτογονιμοποιούμενους και 29,5 καρπούς ανά 100 ταξιανθίες σταυρογονιμοποιούμενους. Γι' αυτό και απαιτούνται επικονιάστρες ποικιλίες ώστε να γίνει η σταυρεπικονίαση και πιο συγκεκριμένα χρησιμοποιούνται οι ποικιλίες Καλαμών, Κορωνέικη και Μεγαρείτικη. Η αποτελεσματική περίοδος επικονίασης έχει διάρκεια τεσσάρων με οκτώ ημερών και επηρεάζεται από τη

θερμοκρασία, την υγρασία, την θρεπτική κατάσταση και την ποιότητα των ανθέων καθώς το αυτόστειρο ή το αυτογόνιμο της ποικιλίας. Οι βέλτιστες θερμοκρασίες στα στάδια της γονιμοποίησης και της καρπόδεσης είναι 22-25 °C, ευνοώντας τη βλάστηση της γύρης.

Η διαθεσιμότητα του νερού είναι ένας ακόμα παράγοντας που μπορεί να επηρεάσει το δένδρο της ελιάς. Την περίοδο του χειμώνα καθώς και αρχές άνοιξης, σε περίοδο λειψυδρίας, η άρδευση του ελαιώνα οδηγεί στην αύξηση της ανθοφορίας και καρποφορίας της ελιάς. Επιπροσθέτως, την περίοδο του καλοκαιριού και του φθινοπώρου η επάρκεια ύδατος συμβάλλει στην ανάπτυξη των καρπών και της βλάστησης και στη διαφοροποίηση των ανθοφόρων οφθαλμών. Η επάρκεια νερού μπορεί να επιτευχθεί είτε με την ορθολογική άρδευση είτε με τις ήπιες βροχοπτώσεις όταν αναφερόμαστε σε ξηρικούς ελαιώνες (Βέμμος, 2017).

Το φαινόμενο της παρεννιαυτοφορίας χαρακτηρίζει το δένδρο της ελιάς, το οποίο οδηγεί μία χρονιά με αυξημένη παραγωγή να ακολουθείται από μια χρονιά χαμηλής παραγωγής ή από μια χρονιά ολικής ακαρπίας. Το φαινόμενο αυτό παρατηρείται λόγω υψηλής καρπόδεσης και ανταγωνισμού με τη βλάστηση, έχοντας ως επακόλουθο τη μειωμένη βλάστηση και την αδυναμία σχηματισμού ανθοφόρων οφθαλμών για την επόμενη χρονιά (Θέριος, 2006).

Στο στάδιο της ελαιογένεσης στο οποίο συντελείται η σύνθεση και η συσσώρευση του ελαίου στον καρπό. Η διαδικασία αυτή πραγματοποιείται μέσω βιοσυνθετικών διεργασιών κυρίως ενζυμικής φύσεως. Ο καρπός της ελιάς όσο ωριμάζει τόσο μειώνει τα σάκχαρά του, διότι τα μετατρέπει σε λάδι. Πιο αναλυτικά τα κυριότερα συστατικά του ελαιόκαρπου σύμφωνα με τον Κυριτσάκη (2007) είναι νερό (70%), ελευρωπαΐνη (πολυφαινολική ουσία), ελαιόλαδο, σάκχαρα (γλυκόζη, φρουκτόζη, σακχαρόζη), πρωτεΐνες (1,5-3%), κόμμεα-ρητίνες, οργανικά οξέα (μηλικό, κιτρικό, οξαλικό), ταννίνες και ανόργανα συστατικά (Fe, Ca, K), χρωστικές (χλωροφύλλες, ανθοκυανίνες, μελαννίνες), οργανικά στοιχεία (οξικό, οξαλικό, μηλονικό, φουμαρικό, γαλακτικό, τρυγικό, μηλικό, κιτρικό).

1.6. Επίδραση υδατικής και θερμικής καταπόνησης στις φυσιολογικές και βιοχημικές λειτουργίες της ελιάς

Η ελιά ως ένα καλλιεργούμενο δένδρο προσαρμοσμένο στην ξηρασία και στις αντίξοες θερμοκρασίες, όταν δεχθεί για παρατεταμένο χρονικό διάστημα υδατική και θερμική καταπόνηση, οδηγείται σε μεταβολές στις φυσιολογικές και βιοχημικές λειτουργίες του.

Η περιορισμένη διαθεσιμότητα νερού επηρεάζει τη διαδικασία της φωτοσύνθεσης, κυρίως μέσω του κλεισίματος των στομάτων, γεγονός που περιορίζει την πρόσληψη διοξειδίου του άνθρακα (CO₂) και τη διαπνοή. Ως συνέπεια, παρατηρείται μείωση του καθαρού ρυθμού φωτοσύνθεσης και εξασθένηση της παραγωγής βιομάζας (Chartzoulakis et al., 2000; Guerfel et

al., 2009). Το κλείσιμο των στομάτων αποτελεί μια άμεση αντίδραση στην υδατική καταπόνηση, με σκοπό τη μείωση της απώλειας νερού μέσω της διαπνοής. Ωστόσο, αυτή η διαδικασία περιορίζει επίσης τη διαθεσιμότητα CO₂ για τη φωτοσύνθεση, γεγονός που επηρεάζει την ανάπτυξη και παραγωγικότητα των φυτών (Bosabalidis & Kofidis, 2002). Η υδατική καταπόνηση έχει επιπτώσεις στη βλαστική ανάπτυξη, επηρεάζοντας τόσο τις ρίζες όσο και τα υπέργεια τμήματα του φυτού, οδηγώντας σε αναστολή της ανάπτυξης και σε αυξημένη φυλλόπτωση, προκειμένου να περιορίσει την διαπνοή (Guerfel et al., 2009). Επιπροσθέτως, η υδατική καταπόνηση επιδρά αρνητικά και στην καρποφορία του δένδρου της ελιάς, καθώς μειώνει την ανθοφορία και κατ' επέκταση την ανάπτυξη των καρπών, οδηγώντας στην συνολική μείωση της παραγωγής (Flexas et al., 2006). Η υδατική καταπόνηση οδηγεί σε αύξηση της παραγωγής αντιοξειδωτικών ενζύμων, όπως η υπεροξειδάση (POD), η καταλάση (CAT) και η υπεροξειδίο δισμουτάση (SOD), τα οποία προσφέρουν προστασία από τη συσσώρευση αντιδραστικών μορφών οξυγόνου (ROS) κατά τη διάρκεια της καταπόνησης (Bosabalidis & Kofidis, 2002). Εν τέλει, παρατηρείται αύξηση στην παραγωγή οσμολυτών, όπως η προλίνη, η οποία συμβάλλει στη σταθεροποίηση των κυτταρικών δομών και στην προστασία των κυττάρων από την αφυδάτωση (Guerfel et al., 2009).

Οι υψηλές θερμοκρασίες επιταχύνουν τον ρυθμό αναπνοής, με αποτέλεσμα την κατανάλωση περισσότερης ενέργειας από αυτή που παράγεται μέσω της φωτοσύνθεσης. Αυτή η ανισορροπία μπορεί να οδηγήσει σε μείωση της παραγωγής και σε φωτοχημική βλάβη των χλωροπλαστών διαταράσσοντας την λειτουργία τους, γεγονός που έχει ως συνέπεια τη μειωμένη παραγωγή χλωροφύλλης (Flexas et al., 2006). Έχει παρατηρηθεί, σε θερμοκρασίες που υπερβαίνουν το ανεκτό όριο, η φωτοχημική απόδοση των χλωροπλαστών διαταράσσεται, επηρεάζοντας αρνητικά την ικανότητα του φυτού να φωτοσυνθέτει (Nogués & Baker, 2000). Επίσης, υψηλές θερμοκρασίες αμέσως μετά την άνθιση μπορούν να οδηγήσουν σε ολική καταστροφή της παραγωγής. Οι πρωτεΐνες της ελιάς μετουσιώνονται σε θερμοκρασίες άνω των 52 °C, η φωτοσυνθετική δραστηριότητα αναστέλλεται σε θερμοκρασίες υψηλότερες των 35 °C ενώ η εφυμενίδα των φύλλων της ελιάς υφίσταται μη αναστρέψιμη ζημιά σε θερμοκρασίες άνω των 53 °C. Επιπροσθέτως, ο συνδυασμός των υψηλών θερμοκρασιών με το υψηλό έλλειμα υδρατμών μεταξύ των φύλλων και αέρα, οδηγεί σε υψηλό έλλειμα υδρατμών μεταξύ καρπού και αέρα, στην αύξηση της θερμοκρασίας της περιοχής αυτής και κατά συνέπεια στην μάρανση του ποδίσκου που μπορεί να προκαλέσει καρπόπτωση την περίοδο του καλοκαιριού. Παράλληλα, την περίοδο του χειμώνα εάν δεχθεί το δένδρο της ελιάς για παρατεταμένη περίοδο θερμοκρασίες πάνω από 20 °C, αυτό έχει ως αποτέλεσμα την παρεμπόδιση της εξόδου των ανθοφόρων οφθαλμών από τον λήθαργο (Θέριος, 2006). Σε συνθήκες θερμικής καταπόνησης, τα φυτά παράγουν πρωτεΐνες θερμικής καταπόνησης (HSPs), οι οποίες βοηθούν στην προστασία

των κυττάρων από τις βλάβες που προκαλούν οι υψηλές θερμοκρασίες (Guerfel et al., 2009). Ταυτόχρονα, η αντιοξειδωτική άμυνα του φυτού ενισχύεται για να αντιμετωπίσει την αυξημένη παραγωγή ενεργών μορφών οξυγόνου (ROS) που προκύπτουν από τη θερμική καταπόνηση (Bosabalidis & Kofidis, 2002). Σε υψηλές θερμοκρασίες προκαλείται αύξηση της διαπνοής, εφόσον υπάρχει επάρκεια σε νερό, ώστε το φυτό να αποβάλλει τη θερμότητα μέσω της εξάτμισης. Σε περιπτώσεις έντονης καταπόνησης, το δένδρο της ελιάς απορρίπτει τα φύλλα του, ως μηχανισμό άμυνας για να περιορίσει την φυλλική του επιφάνεια που εκτίθεται στη θερμότητα (Chartzoulakis et al., 2000).

1.7.Θρέψη της ελιάς

Τα απαραίτητα θρεπτικά στοιχεία για την καλλιέργεια της ελιάς περιλαμβάνουν τα μακροστοιχεία (άζωτο, φώσφορο, κάλιο, ασβέστιο, μαγνήσιο, θείο) και ιχνοστοιχεία (σίδηρο, ψευδάργυρο, μαγγάνιο, βόριο, χαλκό, μολυβδαίνιο, χλώριο). Κάποια από αυτά τα προσλαμβάνει με έμμεσο τρόπο, όπως το θείο και το χλώριο με τη χρήση λιπασμάτων ή και μέσα από την χρήση μυκητοκτόνων, όπως ο χαλκός. Τρία βασικά στοιχεία που δεν συγκαταλέγονται στη λίπανση αλλά είναι απαραίτητα για την καλλιέργεια της ελιάς είναι ο άνθρακας, ο οποίος δεσμεύεται από την ατμόσφαιρα μέσω της φωτοσυνθετικής δραστηριότητας, καθώς και το οξυγόνο και το υδρογόνο που υπάρχουν σε αφθονία στο νερό.

Η ετήσια ποσότητα απορρόφησης θρεπτικών στοιχείων ανά στρέμμα στην καλλιέργεια της ελιάς είναι

- N: 1,5-3,5 kg
- P: 0,8 kg
- K: 5 kg
- Ca: 2-5 kg

Για την ορθολογική θρέψη στην ελιά πρέπει να ληφθούν υπόψη οι τρεις μέθοδοι διάγνωσης της θρεπτικής κατάστασης των δένδρων:

- Φυλλοδιαγνωστική ανάλυση
- Ανάλυση εδάφους
- Μακροσκοπικά συμπτώματα

Σύμφωνα με τον Θέριο (2006) το κάθε απαραίτητο θρεπτικό στοιχείο διαδραματίζει κάποιες συγκεκριμένες λειτουργίες στην καλλιέργεια της ελιάς.

1.7.1. Ο ρόλος του N

Το άζωτο αποτελεί απαραίτητο στοιχείο για τη θρέψη της ελιάς διότι αποτελεί κύριο συστατικό της χλωροφύλλης καθώς και μέρος των αμινοξέων, πρωτεϊνών και νουκλεϊκών οξέων. Έχει καθοριστικό ρόλο στην ανάπτυξη της βλάστησης και την καρποφορία των δένδρων, και αυξάνει την παραγωγή τέλειων ανθέων. Η αζωτούχος λίπανση συμβάλλει στην καρποφορία της ελιάς μειώνοντας το φαινόμενο της παρενιαιοτοφίας. Στο πλαίσιο της ορθολογικής λίπανσης της ελιάς, σε αρδευόμενους ελαιώνες η απαιτούμενη ποσότητα της αζωτούχου λίπανσης θα έπρεπε να χορηγείται σε δόσεις, με την πρώτη δόση την περίοδο του Δεκεμβρίου-Φεβρουάριου, ως βασική λίπανση (ανόργανα χημικά λιπάσματα ή/και με προσθήκη χωνεμένης κοπριάς ή άλλης μορφής οργανική ουσία), ενώ οι άλλες δύο μετέπειτα κατά την περίοδο μέσα-τέλη καλοκαιριού με υδρολίπανση, με νιτρική μορφή.

1.7.2. Ο ρόλος του P

Αποτελεί βασικό συστατικό των ενώσεων υψηλής ενέργειας, όπως το ATP, το ADP και το AMP. Επίσης, είναι συστατικό των νουκλεϊκών οξέων, της φυτίνης και των φωσφολιπιδίων. Επηρεάζει την ανάπτυξη της ρίζας, επιταχύνει την ανάπτυξη του δέντρου και συμμετέχει σε πολλές βιοχημικές αντιδράσεις που σχετίζονται με τον μεταβολισμό των υδατανθράκων, των λιπών και των πρωτεϊνών. Ένα χαρακτηριστικό σύμπτωμα της τροφопενίας φωσφόρου είναι η διάστικτη χλώρωση των φύλλων.

1.7.3. Ο ρόλος του K

Παίζει καθοριστικό ρόλο στον μεταβολισμό των υδατανθράκων, καθώς και στη σύνθεση και διάσπαση του αμύλου. Συμβάλλει στον μεταβολισμό του αζώτου και στη σύνθεση πρωτεϊνών, ενώ εξουδετερώνει οργανικά οξέα. Ενεργοποιεί ένζυμα και ρυθμίζει το άνοιγμα των στοματίων. Προάγει την ανάπτυξη των μεριστωματικών ιστών και επηρεάζει την ποιότητα των καρπών, καθώς και την αντοχή των φυτών στις ασθένειες. Επίσης, έχει επιρροή στη φωτοσύνθεση και την αναπνοή, καθώς και στη δράση κάποιων ενζύμων. Ένα χαρακτηριστικό σύμπτωμα της τροφопενίας καλίου είναι η ξήρανση της κορυφής του φύλλου, η μικροφυλλία και η πρόωγη φυλλόπτωση.

1.7.4. Ο ρόλος του Mg

Το μαγνήσιο έχει καθοριστική σημασία στη λειτουργία της φωτοσύνθεσης, με το 15-30% του συνολικού μαγνησίου που περιέχουν τα δέντρα να βρίσκεται στο χλωροπλάστη. Ως το

κεντρικό μόριο της χλωροφύλλης, συμβάλλει ουσιαστικά στη σύλληψη της φωτεινής ενέργειας κατά τη διάρκεια της φωτοσύνθεσης. Επιπλέον, λειτουργεί ως συμπράγοντας για την καρβοξυλάση της 1,5 δισφωφορο ριβουλόζης και για τη 1,6 διφωσφατάση της φρουκτόζης, το οποίο είναι το ένζυμο που ρυθμίζει την κατανομή μεταξύ της σύνθεσης αμύλου και της εξαγωγής φωσφοτριόζης στο κυτταρόπλασμα. Χαρακτηριστικό σύμπτωμα τροφοπενίας μαγνησίου είναι η πρόωρη φυλλόπτωση καθώς και η κίτρινη χλώρωση του ελάσματος δημιουργώντας μια χαρακτηριστική διαχωριστική γραμμή (Μπουράνης, 2014).

1.7.5. Ο ρόλος του Ca

Το ασβέστιο διαδραματίζει κρίσιμο ρόλο στη διατήρηση της δομής του φυτού, κυρίως μέσω της ενίσχυσης του κυτταρικού τοιχώματος. Ως κατιόν, προσελκύεται εύκολα από τα αρνητικά φορτία των καρβοξυλικών ομάδων που είναι άφθονες στα πολυμερή του κυτταρικού τοιχώματος. Η αντοχή και το πάχος του κυτταρικού τοιχώματος είναι καθοριστικοί παράγοντες που περιορίζουν τις προσβολές από παθογόνα, με το ασβέστιο να προσφέρει έμμεση αντίσταση στις διάφορες προσβολές. Επιπλέον, το ασβέστιο έχει δομικό ρόλο στις κυτταροπλασματικές μεμβράνες, καθώς η ηλεκτροστατική προσάρτηση στις φωσφορικές και καρβοξυλικές ομάδες των φωσφορολιπιδίων και των πρωτεϊνών επηρεάζει σημαντικά την ακεραιότητα των μεμβρανών. Ένα σημαντικό ποσοστό του ασβεστίου συγκεντρώνεται στο χυμοτόπιο, όπου φαίνεται να συμβάλλει στην ισορροπία φορτίων και στην παροχή σπαργής. Χαρακτηριστικό σύμπτωμα τροφοπενίας ασβεστίου είναι η έντονη χλώρωση στην κορυφή των φύλλων, ενός έντονου πορτοκαλί χρώματος καθώς και οι λευκές νευρώσεις στο χλωρωτικό τμήμα του φύλλου.

1.7.6. Ο ρόλος του B

Το βόριο διαδραματίζει σημαντικό ρόλο σε λειτουργίες του μεταβολισμού και της ανάπτυξης των ελαιόδεντρων όπως στην επιμήκυνση και την κυτταρική διαίρεση, τον μεταβολισμό των νουκλεϊκών οξέων, υδατανθράκων και πρωτεϊνών, στη μεταφορά σακχάρων, στον μεταβολισμό αυξίνης, στη διαπερατότητα της μεμβράνης, στη δομή του κυτταρικού τοιχώματος και λειτουργία, στην βλάστηση της γύρης και ανάπτυξη του στύλου και στην ανθοφορία και την καρπόδεση. Επιπλέον, το βόριο είναι κρίσιμο για τις αλληλεπιδράσεις μεταξύ φυτών και βακτηρίων *Rhizobium*. Συμβάλλει στη διατήρηση της δομής του κυτταρικού τοιχώματος, καθώς και στη μόλυνση από ριζόβια και στην εισβολή των βακτηρίων στο φυτό. Χαρακτηριστικό σύμπτωμα έλλειψης βορίου στην ελιά είναι η ύπαρξη ξηρών κλάδων και η

χλώρωση του κορυφαίου τμήματος των φύλλων. Για την αντιμετώπιση των συμπτωμάτων αυτών συνίσταται η προσθήκη 300-500 g βόρακα ή βορικού οξέος .

1.7.7.Ο ρόλος του Zn

Ο ψευδάργυρος είναι απαραίτητος για την φυσιολογική ανάπτυξη των φυτών. Λειτουργεί ως δομικό στοιχείο ή ρυθμιστικός παράγοντας σε πλήθος πρωτεϊνών και ενζύμων που συμμετέχουν σε σημαντικές βιοχημικές διαδικασίες, όπως ο μεταβολισμός των υδατανθράκων, η βιοσύνθεση πρωτεϊνών, ο μεταβολισμός των κυτταρικών μεμβρανών και η ανθεκτικότητα στις προσβολές. Όταν υπάρχει έλλειψη ψευδαργύρου, τα φυτά υφίστανται φυσιολογικές καταπονήσεις λόγω αποτυχίας των μεταβολικών διεργασιών στις οποίες ο ψευδάργυρος διαδραματίζει κρίσιμο ρόλο. Τα κύρια συμπτώματα της τροφопενίας ψευδαργύρου περιλαμβάνουν μικροφυλλία, εμφάνιση ρόδακα σε πολλούς ποδίσκους, καθώς και χλώρωση και ξήρανση των φύλλων. Η αντιμετώπιση αυτών των φαινομένων πραγματοποιείται με τη χρήση χηλικών ενώσεων ψευδαργύρου.

1.8. Οι βιοδιεγέρτες και η χρήση τους ως φιλοπεριβαλλοντική καλλιεργητική πρακτική

Η Ευρωπαϊκή Ένωση (ΕΕ) θέσπισε την «Ευρωπαϊκή Πράσινη Συμφωνία» το 2020 μέσω της οποίας καθόρισε διάφορους στόχους για την προσαρμογή της γεωργίας στην κλιματική αλλαγή, όπως τη μείωση λιπασμάτων κατά 20% και των απωλειών των θρεπτικών στοιχείων κατά τουλάχιστον 50%, η υιοθέτηση αειφόρων πρακτικών, όπως η ελάχιστη καλλιέργεια της γης, και η διατήρηση της οργανικής ουσίας του εδάφους. Τονίζεται επίσης η σημασία της θρέψης και της αποτελεσματικότερης χρήσης των εισροών στην αειφόρο ανάπτυξη, την παραγωγικότητα και υγεία των καλλιεργειών και τη γονιμότητα του εδάφους. Επιπλέον, η ΕΕ έχει θέσει ως στόχο την αύξηση των εκτάσεων βιολογικής καλλιέργειας στο 25% της γεωργικής γης έως το 2030 με προσαρμογή στους κανόνες της βιολογικής γεωργίας για ένα ‘ζωντανό’ έδαφος, απαγόρευση της χρήσης χημικών λιπασμάτων και φυτοφαρμάκων και παραγωγή τροφής υψηλής θρεπτικής αξίας σε επαρκή ποσότητα.

Πρόσφατα, έχουν προταθεί αρκετές τεχνολογικές καινοτομίες για την ενίσχυση της αειφορίας των συστημάτων γεωργικής παραγωγής, μέσω της σημαντικής μείωσης των αγροχημικών. Οι βιοδιεγέρτες αποτελούν ένα πολλά υποσχόμενο πεδίο στη θρέψη των καλλιεργειών, για την επίτευξη αειφόρων αγροοικοσυστημάτων και είναι προσαρμοζόμενοι στην κλιματική αλλαγή. Ο Du Jardin (2015) περιέγραψε τους βιοδιεγέρτες ως ‘μία ουσία ή μικροοργανισμό, ο οποίος όταν εφαρμόζεται στα φυτά, βελτιώνει την αποτελεσματικότητα χρήσης των θρεπτικών στοιχείων, ενισχύει την άμυνα των φυτών στις αβιοτικές καταπονήσεις

και/ή βελτιώνει τα ποιοτικά χαρακτηριστικά των καλλιεργειών, μέσω μηχανισμών ανεξάρτητων από τη συγκέντρωσή του σε θρεπτικά στοιχεία’.

1.9. Χρήσεις βιοδιεγερτών στα φυτά

Οι βιοδιεγέρτες μπορούν να παρασκευαστούν από ποικιλία συστατικών, όπως αμινοξέα, εκχυλίσματα φυκιών, μικροβιακές καλλιέργειες, φυτικά εκχυλίσματα, καθώς και χουμικά και φουλβικά οξέα. Οι Rouphael και Colla (2015) πρότειναν έξι κατηγορίες μη-μικροβιακών και τρεις κατηγορίες μικροβιακών κατηγοριών βιοδιεγερτών: (i) χιτοζάνη, (ii) χουμικά και φουλβικά οξέα, (iii) υδρολυμένες πρωτεΐνες, (iv) φωσφίτες, (v) εκχυλίσματα φυκιών, (vi) πυρίτιο, (vii) δενδροειδείς μυκορριζικοί μύκητες, (viii) ριζοβακτήρια που προάγουν τη φυτική ανάπτυξη, και (ix) *Trichoderma spp.* Η εφαρμογή τους μπορεί να γίνει με διάφορους τρόπους, όπως μέσω ψεκασμών στα φύλλα ή και προσθήκης στο έδαφος με ριζοπότισμα. Ο κύριος σκοπός των βιοδιεγερτών είναι να ενισχύσουν την ικανότητα των φυτών να αντέχουν σε καταστάσεις καταπόνησης και να λειτουργούν στο μέγιστο των δυνατοτήτων τους, προάγοντας την αύξηση των αποδόσεων των καλλιεργειών και την παραγωγή προϊόντων υψηλής ποιότητας. Άλλα θετικά αποτελέσματα περιλαμβάνουν τη βελτίωση της απορρόφησης νερού και θρεπτικών συστατικών, την αύξηση της αποδοτικότητας χρήσης νερού και θρεπτικών ουσιών, την ανάπτυξη του ριζικού συστήματος καθώς και της ανάπτυξης των πλευρικών ριζών, καθώς και την επαγωγή της άμυνας των φυτών (Du Jardin, 2015).

1.10. Περιγραφή μικροβιακών βιοδιεγερτών και ο τρόπος δράσης τους

Οι μικροβιακοί βιοδιεγέρτες που ανήκουν στην κατηγορία των βακτηρίων που ενισχύουν την ανάπτυξη των φυτών, είναι γνωστοί και ως PGPB (plant-growth-promoting bacteria) και περιλαμβάνουν τρεις κατηγορίες: α) ελεύθερα βακτήρια που κατοικούν στη ζώνη γύρω από τη ρίζα (εξωριζόσφαιρα), β) βακτήρια που αποικίζουν την επιφάνεια της ρίζας και γ) βακτήρια που ζουν μέσα στις ρίζες (ενδοριζόσφαιρα). Βακτήρια με δραστηριότητα προώθησης της ανάπτυξης των φυτών βρίσκονται στα γένη *Bacillus*, *Rhizobium*, *Pseudomonas*, *Azospirillum*, *Azotobacter* και πολλά άλλα.

Μία από τις επιδράσεις των PGPB στα φυτά είναι η ικανότητά τους να δεσμεύουν το άζωτο. Αυτή η ικανότητα σχετίζεται ειδικά με τα βακτήρια που σχηματίζουν φυμάτια στις ρίζες και ζουν συμβιωτικά με τα φυτά-ξενιστές. Ένα άλλο αποτέλεσμα των PGPBs είναι η ικανότητά τους να παράγουν σιδηροφόρα, μικρές χηλικές ενώσεις σιδήρου και μειώνουν την ανάπτυξη επιβλαβών παθογόνων του εδάφους. Τα PGPB μπορούν επίσης να επηρεάσουν άμεσα την ανάπτυξη των φυτών παράγοντας φυτικές ορμόνες, όπως οι αυξίνες, οι κυτοκίνες και το

γιβερελλικό οξύ, και έμμεσα προκαλώντας ορμονικές αλλαγές στον φυτό-ξενιστή. Αρκετά PGPB εκλύουν πτητικές οργανικές ενώσεις (VOCs), όπως η 2,3-βουτανοδιόλη (2,3-BD), οι οποίες είναι γνωστές για την αύξηση της ανθεκτικότητας των φυτών σε έντομα και παθογόνα βακτήρια.

Τα βακτήρια αλληλεπιδρούν με τα φυτά με κάθε δυνατό τρόπο, υπάρχει μια συνεχής αλληλεπίδραση όπως συνεργασίας, συμβίωσης και αμοιβαιότητας αλλά και ανταγωνισμού και παρασιτισμού. Μετά την εγκατάστασή τους, τα βακτηριακά οικοσυστήματα εκτείνονται από το έδαφος μέχρι το εσωτερικό των κυττάρων, με ενδιάμεσες τοποθεσίες όπως η ριζόσφαιρα και η επιφάνεια της ρίζας, οι ενώσεις των οποίων μπορεί να είναι παροδικές ή μόνιμες, με ορισμένα βακτήρια να μεταδίδονται ακόμα και μέσω του σπόρου. Ο τρόπος δράσης τους είναι να βοηθούν τα φυτά στην παροχή θρεπτικών συστατικών, στην αύξηση της αποδοτικότητας χρήσης θρεπτικών ουσιών, στην επαγωγή της ανθεκτικότητας σε ασθένειες, στην ενίσχυση της αντοχής σε αβιοτικές καταπονήσεις και στη μορφογένεση μέσω των ρυθμιστών ανάπτυξης των φυτών (Du Jardin et al., 2015).

Τα PGPR επηρεάζουν όλες τις πτυχές της ζωής των φυτών όπως τη διατροφή και την ανάπτυξη, τη μορφογένεση, την αντίδραση σε βιοτικές και αβιοτικές καταπονήσεις, τις αλληλεπιδράσεις με άλλους οργανισμούς στα αγροοικοσυστήματα. Πολλές από αυτές τις λειτουργίες εκπληρώνονται γενικά από τους ίδιους τους μικροοργανισμούς, ενώ μερικές από αυτές εκτελούνται από συγκεκριμένα στελέχη, ενώ άλλες εξαρτώνται από συνέργειες εντός των βακτηριακών κοινοτήτων. Οι γεωργικές χρήσεις των PGPR περιορίζονται από αυτή την πολυπλοκότητα, από τις μεταβλητές αντιδράσεις των φυτικών καλλιεργειών και των διαφορετικών περιβαλλοντικών συνθηκών. Παρά ταύτα, η παγκόσμια αγορά μικροβιακών βιοδιεγερτών αυξάνεται και τα σκευάσματα με PGPR θεωρούνται πλέον ως ένα είδος "προβιοτικών" για τα φυτά, δηλαδή αποτελεσματικοί συντελεστές για την θρέψη και την ανοσία των φυτών (Albrecht et al., 2019). Πλέον στο εμπόριο διατίθενται και αρκετά σκευάσματα μικροβιακών βιοδιεγερτών όπως αζωτοδεσμευτικά βακτήρια ενδόφυτα της φυλλόσφαιρας τα οποία εφαρμόζονται με ψεκασμό στην κόμη των δέντρων και υπόσχονται την ωφέλιμη δράση της συμβιωτικής σχέσης των μικροοργανισμών με το φυτό.

1.11. Η επίδραση των βιοδιεγερτών στην θρεπτική κατάσταση των δένδρων

Σε δέντρα ελιά που αναπτύσσονταν σε έδαφος με υψηλή αλατότητα, η χρήση μίγματος βιοδιεγερτών αποτελούμενο από εκχυλίσματα φυκών και φύλλων του φυτού Μορίνγκα είχε θετική επίδραση στην παραγωγή των δένδρων ελιάς, στην ποιότητά και ελαιοπεριεκτικότητα των καρπών, βελτιώθηκε η θρεπτική κατάσταση των φύλλων και αύξησαν τα επίπεδα των

φύλλων σε χλωροφύλλη ενισχύοντας τη φωτοσυνθετική δραστηριότητα (Al-Saif et al., 2023). Σύμφωνα με τους Al-Saif et al. (2023) οι βιοδιεγέρτες βρέθηκε να ενισχύουν την αντοχή των ελαιόδεντρων στην αλατότητα και βελτίωσαν την απορρόφηση των θρεπτικών στοιχείων. Επομένως οι συγκεκριμένοι βιοδιεγέρτες σε υψηλή συγκέντρωση δύνανται να προάγουν την ανάπτυξη των δένδρων, την ποιότητα των καρπών και την αντοχή σε περιβαλλοντικές αντιξοότητες, ενώ ταυτόχρονα μπορούν να αποτελέσουν μια φιλική προς το περιβάλλον εναλλακτική λύση για τη μείωση της πλήρους εξάρτησης από τη χρήση χημικών λιπασμάτων σε ελαιώνες (Al-Saif et al., 2023).

Οι Almadí et al. (2020) ανέφεραν ότι η χρήση βιοδιεγερτών που βασίζονται σε φυτικά αμινοξέα ενίσχυσε την ανάπτυξη νεαρών ελαιόδεντρων, ανεξάρτητα από την αζωτούχο λίπανση. Οι ευνοϊκές επιδράσεις του βιοδιεγερτών περιλάμβαναν την αύξηση της βλαστικής και αναπαραγωγικής ανάπτυξης, καθώς και την ενίσχυση της φωτοσύνθεσης. Επιπλέον, η εφαρμογή βιοδιεγερτών φαίνεται ότι μπορεί να επιταχύνει την ανάπτυξη των νεαρών φυτών, μειώνοντας τον χρόνο που απαιτείται για να φτάσουν στο στάδιο της πλήρους παραγωγής. Οι Almadí et al. (2020) κατέληξαν ότι οι βιοδιεγέρτες είναι κατάλληλοι για χρήση τόσο σε φυτώρια όσο και σε νεαρούς ελαιώνες, προάγοντας την ανάπτυξη των δέντρων και διατηρώντας παράλληλα μια ισορροπία μεταξύ βλαστικής και αναπαραγωγικής ανάπτυξης.

1.12. Ο ρόλος των βιοδιεγερτών στη βελτίωση της αποτελεσματικότητας χρήσης λιπασμάτων και νερού άρδευσης

Οι βιοδιεγέρτες ενισχύουν τις φυσιολογικές διαδικασίες των φυτών, προάγοντας την ανάπτυξή τους, την αντοχή τους σε περιβαλλοντικές καταπονήσεις και την απορρόφηση θρεπτικών στοιχείων. Η χρήση τους στη γεωργία έχει αυξηθεί κατά κόρων, ιδιαίτερα στην κατεύθυνση της υιοθέτησης αειφόρων γεωργικών πρακτικών, καθώς συμβάλλουν στη βελτίωση της αποδοτικότητας στη χρήση λιπασμάτων και νερού άρδευσης.

Η εφαρμογή βιοδιεγερτών μπορεί να ενισχύσει σημαντικά την απορρόφηση θρεπτικών στοιχείων από τα φυτά, επιτρέποντας τη μείωση της απαιτούμενης ποσότητας λιπασμάτων για την ανάπτυξή τους. Ορισμένοι βιοδιεγέρτες περιέχουν ουσίες όπως τα αμινοξέα, τα οποία διευκολύνουν την απορρόφηση θρεπτικών στοιχείων όπως το άζωτο και ο φώσφορος, μειώνοντας τις απώλειες θρεπτικών στοιχείων στο έδαφος λόγω έκπλυσης ή καθίζησης (Du Jardin, 2015). Επιπλέον, βιοδιεγέρτες που περιλαμβάνουν μικροοργανισμούς, όπως βακτήρια και μυκόρριζες, μπορούν να αυξήσουν τη διαθεσιμότητα του φωσφόρου και του καλίου στο έδαφος, ενισχύοντας την ανάπτυξη του ριζικού συστήματος και την ανθεκτικότητα των φυτών (Calvo et al., 2014). Επιπροσθέτως, σε περιοχές με περιορισμένη διαθεσιμότητα νερού, οι

βιοδιεγέρτες μπορούν να συμβάλουν σημαντικά στην ενίσχυση της ανθεκτικότητας των φυτών απέναντι στην υδατική καταπόνηση. Οι βιοδιεγέρτες που περιέχουν υδατοδιαλυτούς πολυσακχαρίτες και άλλα οργανικά μόρια έχουν τη δυνατότητα να βελτιώνουν τη συγκράτηση νερού στα φυτά, επιτρέποντάς τους να διατηρούν τις βιολογικές τους λειτουργίες σε συνθήκες παρατεταμένης περιόδου ξηρασίας (Rouphael & Colla, 2020). Επιπλέον, η εφαρμογή βιοδιεγερτών μπορεί να διευκολύνει τη ρύθμιση της πρόσληψης νερού από το ριζικό σύστημα του φυτού, καθώς ορισμένα μικροβιακά στελέχη προάγουν την έκκριση ουσιών που ενισχύουν τη δημιουργία προστατευτικών δομών στα φυτά, μειώνοντας έτσι την απώλεια νερού (Canellas & Olivares, 2014). Η συνδυασμένη εφαρμογή βιοδιεγερτών με λιπάσματα και μεθόδους άρδευσης μπορεί να προσφέρει σημαντικά πλεονεκτήματα. Μελέτες έχουν αποδείξει ότι οι βιοδιεγέρτες ενισχύουν την αποδοτικότητα των λιπασμάτων κατά 10-30%, μειώνοντας έτσι την ανάγκη για επιπρόσθετη λίπανση (Colla et al., 2017). Επιπλέον, σε μη αρδευόμενες καλλιέργειες ή σε περιοχές που το αρδευόμενο νερό είναι περιορισμένο, η χρήση βιοδιεγερτών μπορεί να βελτιώσει την παραγωγικότητα των καλλιεργειών, καθώς τα φυτά είναι σε θέση να διατηρούν τις φυσιολογικές τους λειτουργίες ακόμη και σε συνθήκες χαμηλής υγρασίας (Choudhury & Kennedy, 2005). Σύμφωνα με τα παραπάνω, οι βιοδιεγέρτες αποτελούν ένα ελπιδοφόρο και πολλά υποσχόμενο πεδίο για την αύξηση της αποδοτικότητας της χρήσης λιπασμάτων και νερού άρδευσης στη γεωργία, ιδιαίτερα σε περιοχές που αντιμετωπίζουν περιβαλλοντικές πιέσεις. Η εφαρμογή τους μπορεί να συμβάλει στη μείωση του περιβαλλοντικού αποτυπώματος της γεωργικής δραστηριότητας και να προάγει τη βιωσιμότητα των καλλιεργειών, δίνοντας στους καλλιεργητές βιολογικών προϊόντων νέες διεξόδους στις εφαρμοζόμενες καλλιεργητικές πρακτικές.

1.13. Η επίδραση των βιοδιεγερτών στην ποιότητα των καρπών της ελιάς και στην ποιότητα του παραγόμενου ελαιολάδου

Η συνδυαστική εφαρμογή νιτρικής αμμωνίας, βορίου και βιοδιεγερτών προερχόμενων από εκχύλισμα φυκών σε δέντρα ελιάς βελτίωσε την παραγωγικότητα, την ελαιοπεριεκτικότητα και επιτάχυνε την ωρίμανση των καρπών (Chouliaras et al., 2009). Επιπλέον, ο συνδυασμός των λιπασμάτων με τους βιοδιεγέρτες βελτίωσε τη θρεπτική κατάσταση των φύλλων καθώς και την ποιότητα του παραγόμενου ελαιολάδου, με μείωση της οξύτητας (Chouliaras et al., 2009).

Έχει βρεθεί ότι μερικοί βιοδιεγέρτες μπορούν να βελτιώσουν την ικανότητα των φυτών να συγκρατούν νερό, κάτι που μπορεί να επηρεάσει τη σταθερότητα της υγρασίας στους καρπούς της ελιάς. Η βέλτιστη περιεκτικότητα σε υγρασία βοηθά στην παραγωγή καρπών υψηλής ποιότητας (Hernandez et al., 2019). Αναφορικά με την ποιότητα του ελαιολάδου, οι

πολυφαινόλες αποτελούν καθοριστικό ρόλο στην ποιότητά του και επηρεάζονται από τη χημική σύνθεση του ελαιόκαρπου. Η χρήση βιοδιεγερτών που ενισχύουν τη σύνθεση των πολυφαινολών μπορεί να βελτιώσει τη βιοχημική σύνθεση του καρπού και να ενισχύσει τις ευεργετικές ιδιότητες του ελαιολάδου (Conde et al., 2009). Επιπλέον, αναφέρεται ότι οι βιοδιεγέρτες έχουν τη δυνατότητα να ενισχύσουν την ανθεκτικότητα των δέντρων απέναντι σε αβιοτικές καταπονήσεις, όπως η ξηρασία και η αλατότητα, διευκολύνοντας την παραγωγή καρπών υψηλής ποιότητας, ακόμη και σε αντίξοες συνθήκες. Η ελεγχόμενη χρήση βιοδιεγερτών μπορεί να βελτιώσει το επίπεδο οξύτητας του ελαιολάδου, καθιστώντας το κατάλληλο για κατανάλωση ως έξτρα παρθένο ελαιόλαδο (Cirillo et al., 2022). Έχει αναφερθεί επίσης ότι η εφαρμογή βιοδιεγερτών μπορεί να αυξήσει τη συγκέντρωση ευεργετικών συστατικών, όπως οι πολυφαινόλες, οι τοκοφερόλες και οι φλαβονοειδείς ενώσεις, οι οποίες είναι κρίσιμες για την ποιότητα και την αντιοξειδωτική ικανότητα του ελαιολάδου. Επιπροσθέτως μπορούν να επηρεάσουν θετικά την οσμή, τη γεύση και το χρώμα του ελαιολάδου, καθιστώντας το πιο ελκυστικό στον καταναλωτή. Ακόμα, ενισχύουν τα αρώματα και τις φρουτώδεις νότες που χαρακτηρίζουν το ποιοτικό έξτρα παρθένο ελαιόλαδο (Rouphael & Colla, 2020). Εν κατακλείδι, με τη χρήση βιοδιεγερτών στις ελιές μπορεί να επιτευχθεί βελτιστοποίηση της θρέψης και της διαχείρισης των πόρων καθώς μειώνεται η ανάγκη για χημικά λιπάσματα και άλλες εισροές. Η χρήση των βιοδιεγερτών είναι μια πιο φιλική προς το περιβάλλον προσέγγιση σε σύγκριση με τα παραδοσιακά λιπάσματα. Αυτό μπορεί να οδηγήσει στη μείωση της χρήσης λιπασμάτων και φυτοπροστατευτικών σκευασμάτων, προωθώντας ταυτόχρονα τη βιολογική καλλιέργεια και την αειφόρο γεωργική πρακτική.

1.14. Σκοπός της εργασίας

Πρόσφατα, έχουν προταθεί αρκετές τεχνολογικές καινοτομίες για την ενίσχυση της αειφορίας των συστημάτων γεωργικής παραγωγής, μέσω της σημαντικής μείωσης των αγροχημικών. Οι βιοδιεγέρτες αποτελούν ένα πολλά υποσχόμενο πεδίο στη θρέψη των καλλιεργειών, για την επίτευξη αειφόρων αγροοικοσυστημάτων και είναι προσαρμοζόμενοι στην κλιματική αλλαγή.

Λόγω της κλιματικής αλλαγής που επικρατεί τα τελευταία χρόνια, καθώς και οι παρατεταμένες περιόδους λειψυδρίας και ακραίων θερμοκρασιών, τα δεδομένα για τις καλλιεργητικές πρακτικές που εφαρμόζονταν για την καλλιέργεια της ελιάς μεταβάλλονται με ιλιγγιώδης ρυθμούς και ο επιστημονικός κλάδος προσπαθεί να βρει διεξόδους για να μπορέσει να ανταπεξέλθει στην επικρατούσα τάξη πραγμάτων. Σκοπός της παρούσας διατριβής ήταν η διερεύνηση της επίδρασης της εφαρμογής μικροοργανισμών που προάγουν τη φυτική ανάπτυξη

στις φυσιολογικές λειτουργίες και τα ποιοτικά χαρακτηριστικά του καρπού των ελαιόδεντρων. Ειδικότερα, η έρευνα αποσκοπούσε στην αξιολόγηση της ικανότητας των μικροβιακών βιοδιεγερτών να μετριάζουν τις αρνητικές επιπτώσεις των ακραίων περιβαλλοντικών συνθηκών, όπως η θερμική και υδατική καταπόνηση, καθώς και η επίδρασή τους στην παραγωγικότητα των ελαιόδεντρων της ποικιλίας Αμφίσσης. Η πειραματική διαδικασία περιλάμβανε τη σύγκριση διαφορετικών μεθόδων εφαρμογής των μικροοργανισμών (ριζοπότισμα και διαφυλλική εφαρμογή), με σκοπό την εκτίμηση των επιπτώσεών τους σε φυσιολογικές και βιοχημικές παραμέτρους των φύλλων, τη θρεπτική κατάσταση των δένδρων, την ποιότητα και την παραγωγή των καρπών, καθώς και την ποιότητα του παραγόμενου ελαιολάδου. Μέσω της μελέτης αυτής, επιχειρείται να παραχθούν επιστημονικά δεδομένα που θα συμβάλλουν στη βελτίωση της αποδοτικότητας και βιωσιμότητας της καλλιέργειας της ελιάς υπό συνθήκες αβιοτικών καταπονήσεων.

2. Υλικά και μέθοδοι

2.1. Περιγραφή πειράματος

Το πείραμα διεξήχθη σε έναν ελαιώνα συνολικής έκτασης 8 στρεμμάτων που βρίσκεται στην περιοχή των Νέων Παγασών Μαγνησίας (39°19'43''N, 22°55'24''E) και σε υψόμετρο 5 m. Το έδαφος ήταν αμμοαργιλοπηλώδες (ιλύς 13,49%, άμμος 55,67%, άργιλος 30,83%) με pH 7,80. Τα δένδρα ήταν ποικιλίας Αμφίσσης, ηλικίας 20 ετών, διαμορφωμένα σε κύπελο, με αποστάσεις φύτευσης 4 m x 6 m. Την καλλιεργητική περίοδο που διενεργήθηκε το πείραμα, τα ελαιόδένδρα ήταν σε χρονιά υψηλής καρποφορίας. Η λίπανση των δέντρων έγινε στα τέλη Ιανουαρίου με προσθήκη χωνεμένης κοπριάς προβάτων, σε ποσότητα 5 kg ανά δέντρο. Η άρδευση του ελαιώνα γινόταν με κατάκλυση, λόγω υψηλής αλατότητας του νερού στην περιοχή, ανά δύο εβδομάδες κατά την διάρκεια του πειράματος. Η διαχείριση των ζιζανίων έγινε με το σκεύασμα Aceto, ένα οικολογικό προϊόν το οποίο δεν επηρέαζε το μικροβίωμα του ελαιώνα, καθώς και μηχανικά με τη χρήση χορτοκοπτικού. Για την αντιμετώπιση των εντομολογικών εχθρών δεν εφαρμόστηκε κάποιο εντομοκτόνο ώστε να μην επηρεαστούν οι μικροοργανισμοί στο φύλλωμα της ελιάς, ενώ η αντιμετώπιση του δάκου έγινε με τη χρήση παγίδων. Επίσης κατά τη διάρκεια του πειράματος δεν εφαρμόστηκε κάποιο μυκητοκτόνο.

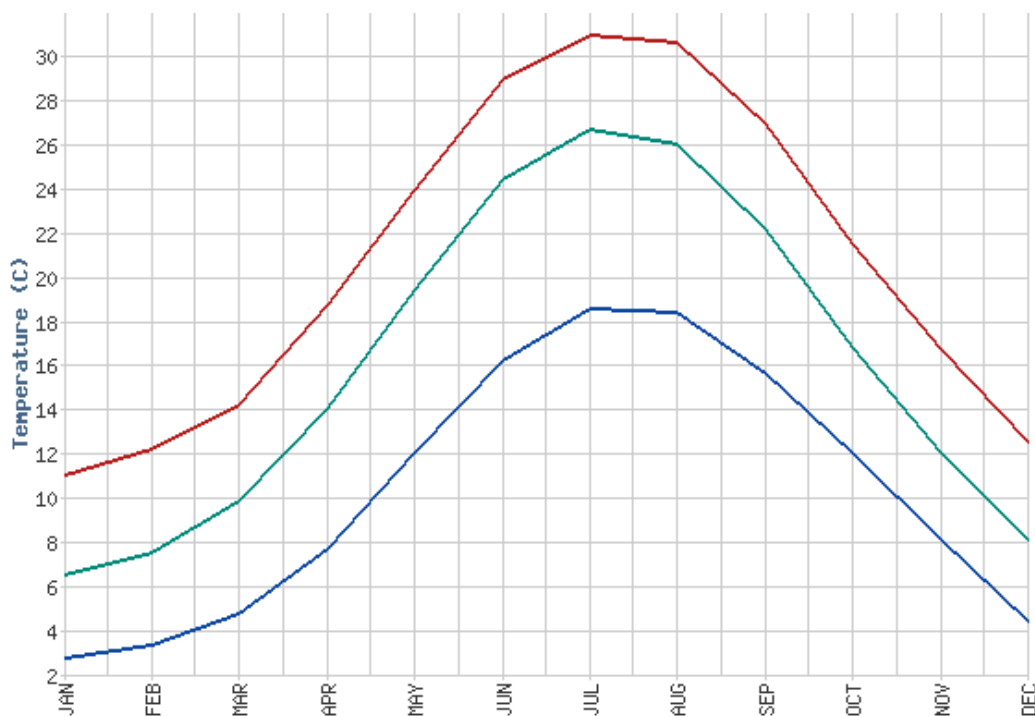
Το πείραμα διήρκησε από τον Ιούνιο του 2023 έως και τον Νοέμβριο του 2023 και περιλάμβανε τρεις μεταχειρίσεις:

- 1. Μάρτυρας (M):** δεν εφαρμόστηκε κάποιο σκεύασμα.
- 2. Εφαρμογή μίγματος μικροοργανισμών στο έδαφος με ριζοπότισμα (E):** Το σκεύασμα με το μίγμα των μικροοργανισμών περιείχε γένη αζωτοδεσμευτικών βακτηρίων *Azotobacter sp.* και *Azospirillum sp.* Η εφαρμογή του σκευάσματος γίνεται την περίοδο της άνοιξης έως αρχές Ιουνίου, πριν την εμφάνιση των υψηλών θερμοκρασιών. Η προτεινόμενη δοσολογία για εφαρμογή του σκευάσματος στο έδαφος με ριζοπότισμα ήταν 750 mL - 1 L ανά στρέμμα για ενήλικα δένδρα. Στο πείραμα μας εφαρμόστηκαν 30 mL σκευάσματος ανά δένδρο διαλυμένο σε 10 λίτρα νερό περιφερειακά του λαιμού του δένδρου, σε απόσταση 0,5 m. Η εφαρμογή πραγματοποιήθηκε μία φορά στις 3 Ιουνίου 2023.
- 3. Διαφυλλική εφαρμογή μίγματος ενδόφυτων μικροοργανισμών (Δ):** Το σκεύασμα με μίγμα των μικροοργανισμών περιείχε γένη ενδόφυτων στο φύλλο αζωτοδεσμευτικών βακτηρίων *Pseudomonas*, *Azospirillum*, *Paenibacillus* και *Herbuspirillum*. Η προτεινόμενη δοσολογία ήταν 1 L σκευάσματος ανά στρέμμα και η δοσολογία που χρησιμοποιήθηκε για το πείραμα ήταν 30 mL σκευάσματος διαλυμένα σε 4 L νερό για κάθε δέντρο της μεταχείρισης. Η πρώτη εφαρμογή του σκευάσματος πραγματοποιήθηκε 3 Ιουνίου 2023 και η δεύτερη εφαρμογή 1 Ιουλίου 2023 για την εγκατάσταση των μικροοργανισμών.

Η κάθε μια μεταχείριση αποτελούνταν από τρεις επαναλήψεις των τριών δένδρων, συνολικά 9 δένδρα ανά μεταχείριση και 27 δένδρα συνολικά για το πείραμα. Η επιλογή των ελαιόδεντρων του πειράματος έγινε τυχαιοποιημένα.

Οι μετρήσεις των φυσιολογικών λειτουργιών των δένδρων πραγματοποιήθηκαν στις 15 Ιουλίου 2023 και στις 2 Σεπτεμβρίου 2023, ενώ συλλέχθηκαν φύλλα για περεταίρω αναλύσεις σε τρεις ημερομηνίες, 15 Ιουλίου, 2 Σεπτεμβρίου και 21 Οκτωβρίου. Οι μετρήσεις στην τρίτη ημερομηνία πραγματοποιήθηκαν ώστε να γνωρίζουμε τη φυσιολογική κατάσταση των φύλλων των δένδρων ελιάς ποικιλίας Αμφίσσης πριν την συγκομιδή του καρπού. Η τελική συγκομιδή του ελαιόκαρπου πραγματοποιήθηκε 6-7 Νοεμβρίου 2023, ενώ η εξαγωγή του ελαιόλαδού πραγματοποιήθηκε στις 19 Νοεμβρίου 2023.

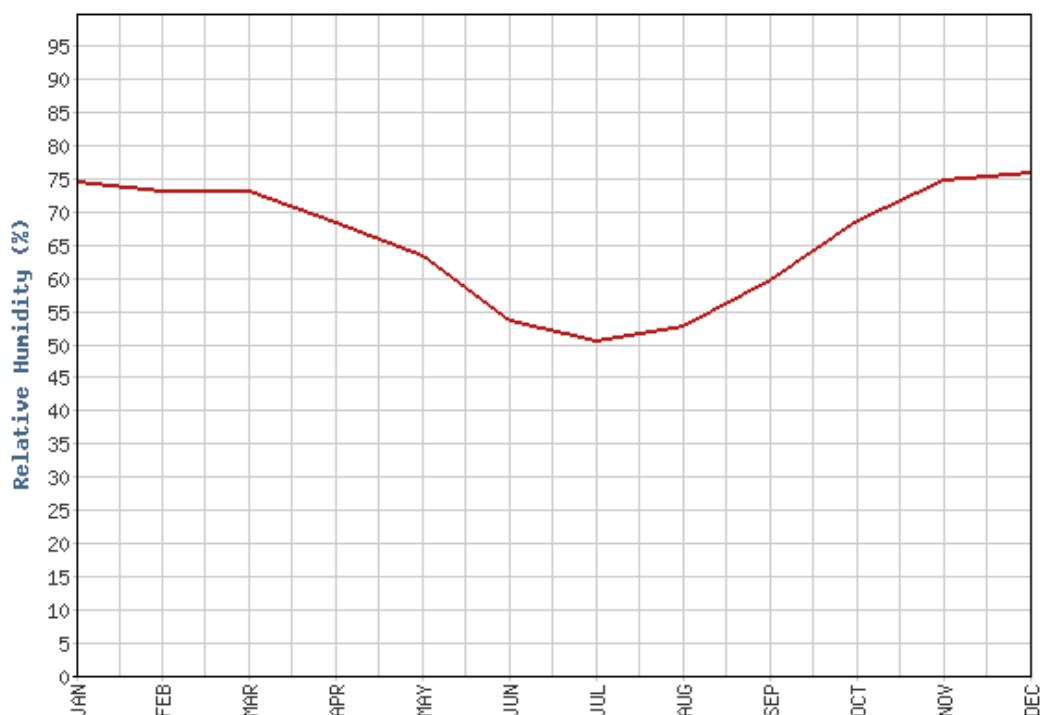
Στη συνέχεια ακολουθούν τα διαγράμματα και οι πίνακες μεταβολής της θερμοκρασίας αέρα (μέγιστη, μέση, ελάχιστη) (Εικόνα 2.1, Πίν. 2.1) και της σχετικής υγρασίας (Εικόνα 2.2, Πίν. 2.2) για την περιοχή των Νέων Παγασών κατά το έτος υλοποίησης του πειράματος.



Εικόνα 2.1 Διάγραμμα θερμοκρασιών περιοχής Νέων Παγασών έτους 2023. (Πηγή: EMY)

	ΙΑΝ	ΦΕΒ	ΜΑΡ	ΑΠΡ	ΜΑΙ	ΙΟΥΝ	ΙΟΥΛ	ΑΥΓ	ΣΕΠ	ΟΚΤ	ΝΟΕ	ΔΕΚ
T_{min} (°C)	2.8	3.4	4.8	7.7	12.1	16.3	18.6	18.5	15.7	12.1	8.2	4.5
T_{avg} (°C)	6.6	7.6	9.9	14.1	19.5	24.5	26.8	26.1	22.2	16.9	12.1	8.2
T_{max} (°C)	11.1	12.3	14.3	18.8	24	29	31	30.7	27	21.6	16.8	12.6

Πίνακας 2.1 Χαμηλότερη θερμοκρασία (T_{min}), μέση θερμοκρασία (T_{avg}) και μέγιστη θερμοκρασία (T_{max}) περιοχής Νέων Παγασών έτους 2023. (Πηγή: EMY)



Εικόνα 2.2 Διάγραμμα σχετικής υγρασίας περιοχής Νέων Παγασών έτους 2023. (Πηγή: EMY)

	ΙΑΝ	ΦΕΒ	ΜΑΡ	ΑΠΡ	ΜΑΙ	ΙΟΥΝ	ΙΟΥΛ	ΑΥΓ	ΣΕΠ	ΟΚΤ	ΝΟΕ	ΔΕΚ
RH_{avg} (%)	74.8	73.3	73.2	68.7	63.5	53.7	50.7	52.8	60	68.8	74.9	76

Πίνακας 2.2 Μέση σχετική υγρασία (RH_{avg}) περιοχής Νέων Παγασών έτους 2023. (Πηγή: EMY)

2.2. Μετρήσεις στον αγρό

2.2.1. Μετρήσεις των φυσιολογικών λειτουργιών των φύλλων

Οι μετρήσεις πραγματοποιούνταν μεταξύ 9:00 π.μ. και 13:00 μ.μ., χρησιμοποιώντας ένα φορητό σύστημα μέτρησης φωτοσύνθεσης (LI-6400 XT, LI-COR, Lincoln, NE, USA). Για κάθε δέντρο, μετρούνταν δύο διαφορετικά φύλλα σε τρία δέντρα ανά μεταχείριση. Η διαδικασία αυτή επαναλαμβανόταν τρεις φορές κατά τη διάρκεια της ημέρας για τις τρεις μεταχειρίσεις, με στόχο οι μετρήσεις να γίνονται περίπου την ίδια χρονική στιγμή, ώστε να είναι δυνατή η σύγκριση μεταξύ τους. Ο στόχος ήταν η εκτίμηση του βαθμού καταπόνησης σε σχέση με την ώρα της ημέρας. Οι μετρήσεις περιλάμβαναν τη φωτοσυνθετικά ενεργή ακτινοβολία (PAR), τη θερμοκρασία του φύλλου στον θάλαμο του φορητού συστήματος φωτοσύνθεσης (Tl), τη στοματική αγωγιμότητα (gs), τους ρυθμούς φωτοσύνθεσης (A) και διαπνοής (E), τη συγκέντρωση του μεσοκυττάριου CO₂ (CO_{2in}) και την αποδοτικότητα χρήσης νερού (WUE).

2.2.2. Μέτρηση της θερμοκρασίας κόμης (T_c) με θερμική κάμερα

Η θερμοκρασία της κόμης των δέντρων (T_c) μετρήθηκε χρησιμοποιώντας τη θερμική κάμερα FLIR TG167 (μοντέλο TG167, Teledyne FLIR LLC, Wilsonville). Οι μετρήσεις πραγματοποιούνταν στις 12:00 το μεσημέρι, λαμβάνοντας υπόψη τέσσερα φύλλα από κάθε δέντρο, στο κεντρικό τμήμα της κόμης.

2.2.4. Μετρήσεις υδατικού δυναμικού βλαστού το μεσημέρι (MSWP)

Οι μετρήσεις του υδατικού δυναμικού των βλαστών πραγματοποιούνταν το μεσημέρι με τη χρήση ενός φορητού οργάνου (Plant Moisture Measurements, Skye Instruments Ltd, Wells, Powys, UK), το οποίο περιλάμβανε θάλαμο πίεσης και συνδεόταν με φιάλη αέρα υπό πίεση. Για τη μέτρηση, προετοιμάζονταν τα φύλλα ώστε το υδατικό τους δυναμικό να εξισωθεί με εκείνο του βλαστού. Οι μετρήσεις γίνονταν από τις 12:00 έως τις 14:00 σε δεκαέξι φύλλα ανά μεταχείριση. Η διαδικασία προετοιμασίας περιλάμβανε την επιλογή ανεπτυγμένων φύλλων κοντά στον κεντρικό βλαστό του δέντρου, τα οποία καλύπτονταν με αλουμινόχαρτο για πλήρη σκίαση για δύο ώρες. Μετά από αυτό, τα φύλλα κόβονταν και τοποθετούνταν σε πλαστικά σακουλάκια για να αποφευχθεί η απώλεια νερού. Στη συνέχεια, το υδατικό δυναμικό των βλαστών (MSWP) μετριόταν με το όργανο. Ο μίσχος κάθε φύλλου κοβόταν ελαφρά και τοποθετούνταν στον θάλαμο πίεσης με τον μίσχο να παραμένει εκτός. Κατόπιν, εισαγόταν αέρας στον θάλαμο, ενώ ο μίσχος παρακολουθούνταν με μεγεθυντικό φακό. Μόλις εμφανιζόταν μια σταγόνα νερού στον μίσχο, σταματούσε η εισαγωγή αέρα και καταγραφόταν η πίεση στον θάλαμο, σε MPa.

2.2.6. Μετρήσεις φθορισμού χλωροφύλλης

Ο φθορισμός της χλωροφύλλης μετρήθηκε χρησιμοποιώντας το φορητό όργανο OS-30P (μοντέλο OS-30P, Optisciences Inc., Tyngsboro, MA), με στόχο την αξιολόγηση της καταπόνησης των φύλλων. Για τις μετρήσεις επιλέχθηκαν δέκα τυχαία φύλλα από κάθε μεταχείριση, τα οποία ήταν πλήρως εκτεθειμένα στο ηλιακό φως. Οι μετρήσεις διενεργήθηκαν σε δύο επαναλήψεις των πέντε φύλλων ανά μεταχείριση, με τα επιλεγμένα φύλλα να είναι υγιή και καλά ανεπτυγμένα. Ο χρόνος διεξαγωγής των μετρήσεων ήταν μεταξύ 11:00 και 12:00.

Κατά τη διαδικασία, στα φύλλα τοποθετήθηκαν ειδικά κλιπς, τα οποία φέρουν μηχανισμό ανοίγματος και κλεισίματος, επιτρέποντας την τοποθέτηση του ανιχνευτή του οργάνου. Τα κλιπς τοποθετούνταν με κλειστή την υποδοχή για 30 λεπτά, διασφαλίζοντας ότι η συγκεκριμένη

περιοχή του φύλλου παρέμενε στο σκοτάδι. Μετά την παρέλευση των 30 λεπτών, η υποδοχή άνοιγε και ο ανιχνευτής του οργάνου τοποθετείτο άμεσα. Η σκοτεινή περιοχή του φύλλου εκτίθετο σε κορεσμένο φως διέγερσης στα 660 nm, και στη συνέχεια μετρήθηκε ο φθορισμός της χλωροφύλλης σε μήκη κύματος άνω των 700 nm, καταγράφοντας τις παραμέτρους F_0 , F_m και F_v/F_m .

2.3. Μετρήσεις φυσιολογικών χαρακτηριστικών των φύλλων στο εργαστήριο

Μετά την ολοκλήρωση των προαναφερθέντων μετρήσεων, συλλέχθηκαν πέντε επαναλήψεις φύλλων (12 φύλλα ανά επανάληψη) από κάθε μεταχείριση, από την κεντρική περιοχή των βλαστών, περιμετρικά της κόμης κάθε δένδρου. Τα φύλλα τοποθετήθηκαν σε πλαστικά σακουλάκια και μεταφέρθηκαν στο Εργαστήριο Δενδροκομίας, όπου ακολούθησαν οι εξής μετρήσεις:

2.3.1. Χαρακτηριστικά φύλλου

Διεξήχθησαν μετρήσεις για τον προσδιορισμό του ποσοστού ξηράς ουσίας του φύλλου (% ΞO), του ειδικού βάρους φύλλου και της περιεκτικότητας σε φωτοσυνθετικές χρωστικές.

Για την εκτίμηση του ποσοστού ξηράς ουσίας (% ΞO), από τα δώδεκα φύλλα κάθε επανάληψης ελήφθησαν δώδεκα δίσκοι ελάσματος φύλλου με διακορευτή διαμέτρου 6 mm. Οι δίσκοι ζυγίστηκαν σε ζυγό ακριβείας με τέσσερις δεκαδικές θέσεις, καταγράφοντας το νωπό τους βάρος (NB). Στη συνέχεια, οι δίσκοι ξηράνθηκαν σε φούρνο στους 80 °C μέχρι να θρυμματίζονται εύκολα με απλή πίεση. Ακολούθως, οι ξηροί δίσκοι ζυγίστηκαν εκ νέου για την καταγραφή του ξηρού βάρους (ΞB). Το ποσοστό ξηράς ουσίας υπολογίστηκε με τον τύπο:

$$\% \Xi O = \left(\frac{\Xi B}{NB} \right) \times 100.$$

Το ειδικό βάρος φύλλου υπολογίστηκε με τον τύπο:

$$EB\Phi = \frac{\Xi B}{\text{επιφάνεια 12 δίσκων}}$$

και εκφράστηκε σε mg m^{-2} .

Για τη μέτρηση των φωτοσυνθετικών χρωστικών, από τα έξι φύλλα κάθε επανάληψης αφαιρέθηκαν έξι δίσκοι ελάσματος φύλλου διαμέτρου 6 mm (χρησιμοποιώντας μικρότερο διακορευτή). Οι δίσκοι ζυγίστηκαν και τοποθετήθηκαν σε δοκιμαστικό σωλήνα που περιείχε 15 mL 95% αιθανόλης. Η εκχύλιση των φωτοσυνθετικών χρωστικών πραγματοποιήθηκε με

95% αιθανόλη. Η απορρόφηση των χρωστικών μετρήθηκε φασματοφωτομετρικά σε φασματοφωτόμετρο (OPTIZEN POP (UV/VIS Spectrophotometer, Mecasys Co., Ltd)) στα μήκη κύματος 665, 649 και 470 nm. Τα μήκη κύματος 665 nm και 649 nm αντιστοιχούν στις απορροφήσεις της χλωροφύλλης α και της χλωροφύλλης β, αντίστοιχα, σε αιθανόλη. Η απορρόφηση του εκχυλίσματος στα 470 nm προέρχεται από τα καροτενοειδή (ξανθοφύλλες και καροτένια), ενώ οι χλωροφύλλες α και β απορροφώνται σε μικρότερο ποσοστό.

Ο υπολογισμός των συγκεντρώσεων των χρωστικών πραγματοποιήθηκε βάσει των εξισώσεων που προτείνει ο Lichtenthaler (1987). Στη συνέχεια, υπολογίστηκαν οι περιεκτικότητες σε χλωροφύλλη α (χλωρ. α), χλωροφύλλη β (χλωρ. β), ολική χλωροφύλλη (ολ. χλωρ.) και ολικά καροτενοειδή, εκφρασμένες σε mg ανά g ξηρού βάρους φύλλων και σε mg m⁻² καθώς και ο λόγος χλωροφύλλης α προς χλωροφύλλη β (χλωρ. α/χλωρ. β).

2.3.3. Μέτρηση της περιεκτικότητας των φύλλων σε ολικά φαινολικά και της αντιοξειδωτικής ικανότητας

2.3.3.1. Προετοιμασία εκχυλίσματος για τη μέτρηση των ολικών φαινολικών συστατικών και της αντιοξειδωτικής ικανότητας των φύλλων

Ο ποσοτικός προσδιορισμός της περιεκτικότητας των φύλλων σε ολικά φαινολικά συστατικά και της αντιοξειδωτικής τους ικανότητας πραγματοποιήθηκε σε τέσσερις επαναλήψεις (δέκα φύλλα ανά επανάληψη) για κάθε μεταχείριση, ακολουθώντας τη μέθοδο των Hayes et al. (2011). Σε σωλήνα φυγοκέντρησης, ζυγίστηκε 0,5 g νωπού ιστού φύλλων και προστέθηκαν 25 mL μεθανόλης. Ακολούθησε ομογενοποίηση για 1 λεπτό με τη συσκευή Polytron (Kinematika GmbH) και στη συνέχεια ανακίνηση των δειγμάτων για 20 λεπτά στις 1050 rpm στο σκοτάδι. Μετά από αυτό, τα δείγματα φυγοκεντρήθηκαν για 10 λεπτά στις 3000g, και στο υπερκείμενο πραγματοποιήθηκε ο ποσοτικός προσδιορισμός της περιεκτικότητας των φύλλων σε ολικά φαινολικά συστατικά καθώς και της αντιοξειδωτικής τους ικανότητας.

2.3.3.2. Μέτρηση της περιεκτικότητας των φύλλων σε ολικά φαινολικά συστατικά

Για τον προσδιορισμό των ολικών φαινολικών ενώσεων στα φύλλα, χρησιμοποιήθηκε μια τροποποιημένη μέθοδος Swain και Hillis (1959), βασισμένη στην αντίδραση με το αντιδραστήριο Folin-Ciocalteu. Σε δοκιμαστικό σωλήνα προστέθηκαν 2 mL εκχυλίσματος φύλλων, 2 mL απιονισμένου νερού και 10 mL αραιωμένου διαλύματος Folin-Ciocalteu (2 N). Μετά από ανάδευση με Vortex και αναμονή 30 δευτερολέπτων έως 8 λεπτών, προστέθηκαν 8

mL διαλύματος Na_2CO_3 (1 N). Τα δείγματα ανακινήθηκαν, επώστηκαν στους 30 °C για μία ώρα στο σκοτάδι και στη συνέχεια ψύχθηκαν στους 5 °C. Η απορρόφηση μετρήθηκε στα 760 nm με φασματοφωτόμετρο και τα αποτελέσματα εκφράστηκαν σε mg γαλλικού οξέος ανά 100 g ξηρού βάρους φύλλων, βασισμένα σε πρότυπη καμπύλη.

2.3.3.3. Μέτρηση της αντιοξειδωτικής ικανότητας των φύλλων με την μέθοδο της ελεύθερης ρίζας DPPH (2,2-diphenyl-1-picrylhydrazyl)

Η συνολική αντιοξειδωτική ικανότητα των δειγμάτων προσδιορίστηκε με τη μέθοδο DPPH, βασισμένη στην τροποποιημένη προσέγγιση των Brand-Williams et al. (1995). Η μέθοδος αυτή βασίζεται στην αναγωγή της ρίζας DPPH, η οποία από μωβ γίνεται κίτρινη παρουσία αντιοξειδωτικών ουσιών, με μείωση της απορρόφησης στα 517 nm. Για την ανάλυση, 100 μL μεθανολικού εκχυλίσματος αναμείχθηκαν με 2900 μL διαλύματος DPPH (100 μM), και μετά από ανάδευση και την παραμονή στο σκοτάδι για 30 λεπτά, η απορρόφηση μετρήθηκε φασματοφωτομετρικά. Τα αποτελέσματα εκτιμήθηκαν με βάση πρότυπη καμπύλη L-ασκορβικού οξέος και εκφράστηκαν σε ισοδύναμα μmol L-ασκορβικού οξέος ανά g νωπού βάρους φύλλου.

2.4. Μέτρηση ποιοτικών χαρακτηριστικών των καρπών

Η αξιολόγηση των ποιοτικών χαρακτηριστικών των καρπών διεξήχθη σε πέντε επαναλήψεις, με δέκα καρπούς ελιάς της ποικιλίας Αμφίσσης σε κάθε επανάληψη. Οι μετρήσεις περιλάμβαναν το βάρος του καρπού, το βάρος του πυρήνα, τον λόγο σάρκας προς πυρήνα, τις διαστάσεις τόσο του καρπού όσο και του πυρήνα, το σχήμα, το χρώμα του φλοιού, καθώς και το ποσοστό ξηράς ουσίας (% ΞΟ). Η διαδικασία μέτρησης των ποιοτικών χαρακτηριστικών πραγματοποιήθηκε σε τρία στάδια ωριμότητας των καρπών: πράσινοι, ξανθοί και μαύροι.

2.4.1. Βάρος καρπού και λόγος σάρκας/πυρήνα

Το βάρος των καρπών μετρήθηκε με ηλεκτρονική ζυγαριά Kern (μοντέλο EW 600-ZM, Balingen, Γερμανία), η οποία παρέχει ακρίβεια δύο δεκαδικών ψηφίων. Σε κάθε επανάληψη ζυγίστηκαν δέκα καρποί, και το μέσο βάρος υπολογίστηκε διαιρώντας το συνολικό βάρος με τον αριθμό των καρπών. Μετά τη ζύγιση, αφαιρέθηκε ο πυρήνας από κάθε καρπό και ζυγίστηκε ξεχωριστά. Τέλος, υπολογίστηκε ο λόγος σάρκας προς πυρήνα.

2.4.2. Διαστάσεις και σχήμα καρπού

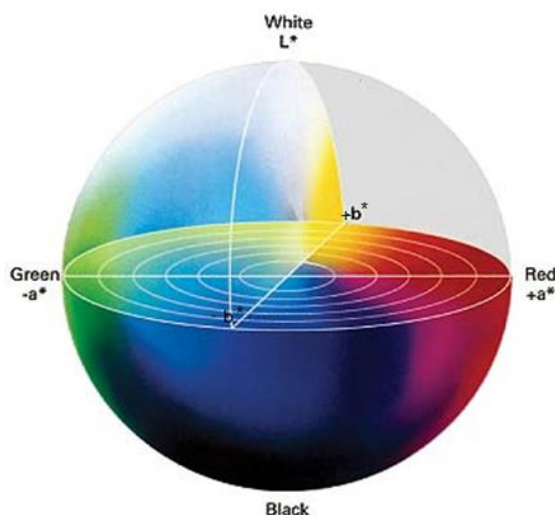
Το μήκος και το πλάτος του καρπού μετρήθηκαν χρησιμοποιώντας παχύμετρο και στη συνέχεια, υπολογίστηκε ο λόγος μήκους προς πλάτος.

2.4.3. Χρώμα φλοιού

Το χρώμα του φλοιού των καρπών μετρήθηκε με το χρωματόμετρο Minolta (Model CR-400, Minolta Ltd, Osaka, Ιαπωνία), σύμφωνα με το σύστημα CIELAB (CIE 1976, L^* , a^* , b^*). Λήφθηκε μία μέτρηση ανά καρπό και ο μέσος όρος των 10 καρπών ανά επανάληψη. Οι παράμετροι που μετρήθηκαν ήταν η φωτεινότητα (L^*) και οι χρωματικές συντεταγμένες (a^* και b^*). Στη συνέχεια, υπολογίστηκαν οι παράμετροι καθαρότητας χρώματος (C^*) και απόχρωσης (Hue). Το C^* εκφράζει την ένταση του χρώματος, ενώ η γωνία Hue προσδιορίζει την απόχρωση του καρπού, με βάση ένα φάσμα από κόκκινο-μωβ (Hue = 0°) έως μπλε (Hue = 270°). (McGuire 1992). Οι παράμετροι C^* και Hue συνδυάζονται για να προσδιοριστεί το πραγματικό χρώμα σε έγχρωμους καρπούς. Οι παράμετροι υπολογίζονται ως εξής:

$$C^* = \sqrt{a^{*2} + b^{*2}}$$

$$\text{Hue} = \tan^{-1}\left(\frac{b^*}{a^*}\right)$$



Εικόνα 2.3 Ο τρισδιάστατος ομοιόμορφος χρωματικός κύκλος CIELAB.

2.4.4. Ποσοστό % ξηράς ουσίας

Για να καθοριστεί το ποσοστό ξηρής ουσίας του μεσοκαρπίου του καρπού, ζυγίστηκαν τα νωπά βάρη 10 καρπών από κάθε επανάληψη. Στη συνέχεια, οι καρποί ξηράνθηκαν σε φούρνο στους 80 °C και πραγματοποιήθηκε η ζύγιση του ξηρού βάρους. Τέλος, υπολογίστηκε το ποσοστό ξηρής ουσίας του περικαρπίου.

2.4.5. Σκληρότητα σάρκας καρπού

Η σκληρότητα της σάρκας του καρπού μετρήθηκε μέσω του ηλεκτρονικού πιεσόμετρου Turoni (53205 Digital Fruit Pressure Tester, Forli, Italy), αφού πρώτα αφαιρέθηκε ο φλοιός και από τις δύο πλευρές του καρπού. Για τη μέτρηση της ελιάς, χρησιμοποιήθηκε έμβολο με διάμετρο 3 mm. Οι τιμές που καταγράφηκαν από τη συσκευή εκφράστηκαν σε kg.

2.5. Αντιοξειδωτικά χαρακτηριστικά καρπών

2.5.1. Προετοιμασία εκχυλίσματος

Για την εκχύλιση των συνολικών διαλυτών φαινολικών συστατικών, χρησιμοποιήθηκαν 2 g πολτοποιημένου δείγματος φλοιού και σάρκας ελιάς. Τα δείγματα ομογενοποιήθηκαν με 20 mL μεθανόλης χρησιμοποιώντας συσκευή Polytron. Προστέθηκαν επιπλέον 20 mL μεθανόλης και το μείγμα διατηρήθηκε στο σκοτάδι για 3 ώρες υπό συνεχή ανάδευση. Στη συνέχεια, το δείγμα φυγοκεντρήθηκε με ταχύτητα 7000 g για 5 λεπτά. Το υπερκείμενο υγρό πλύθηκε με 20 mL εξανίου και ακολούθησε η μέτρηση των συνολικών διαλυτών φαινολικών και της αντιοξειδωτικής τους ικανότητας.

2.5.2. Μέτρηση της περιεκτικότητας των καρπών σε ολικά φαινολικά συστατικά

Για τον προσδιορισμό της συγκέντρωσης των ολικών φαινολικών συστατικών στους καρπούς (σάρκα και φλοιός) ακολουθήθηκε η ίδια διαδικασία που περιγράφηκε στην ενότητα 2.3.3.2.

2.5.3. Μέτρηση της αντιοξειδωτικής ικανότητας των καρπών με την μέθοδο της ελεύθερης ρίζας DPPH (2,2-diphenyl-1-picrylhydrazyl)

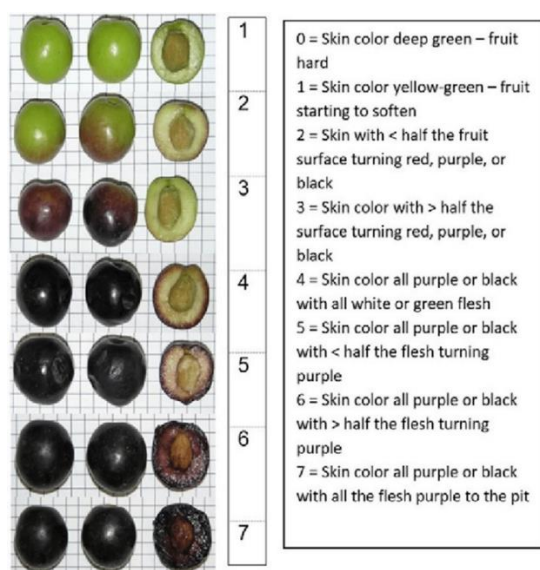
Για τη μέτρηση της αντιοξειδωτικής ικανότητας των καρπών (σάρκας και φλοιού) ακολουθήθηκε η ίδια διαδικασία που περιγράφηκε στην ενότητα 2.3.3.3.

2.6. Μέτρηση της παραγωγικότητας των δέντρων

Κατά τη διάρκεια της συγκομιδής, καταγράφηκε η συνολική παραγωγή σε kg ανά δέντρο. Επιπλέον, υπολογίστηκε η παραγωγικότητα των δέντρων ως η παραγόμενη ποσότητα καρπών ανά μονάδα επιφάνειας διατομής του κορμού. Για τη μέτρηση της διάμετρος του κορμού κάθε δέντρου, χρησιμοποιήθηκε μεζούρα σε ύψος 30 cm από το έδαφος, και ακολούθως υπολογίστηκε η επιφάνεια διατομής του κορμού. Τέλος, η ποσότητα των παραγόμενων καρπών αναγωγικά εκφράστηκε ανά μονάδα επιφάνειας διατομής του κορμού και παρουσιάστηκε ως $g\ cm^{-2}$.

2.7. Δείκτης ωριμότητας καρπών

Οι ελιές κατατάσσονται σε οκτώ διαφορετικές κατηγορίες με βάση το χρώμα τους. Για τη διαδικασία αυτή, ελήφθη ένα δείγμα 2 κιλών καρπών από τις τέσσερις πλευρές των δέντρων, το οποίο ομογενοποιήθηκε. Στη συνέχεια, επιλέχθηκαν τυχαία 100 καρποί, οι οποίοι ταξινομήθηκαν σε 8 κατηγορίες, από το 0 έως το 7, όπως απεικονίζεται στο παρακάτω σχήμα 2.1. Μετά την ταξινόμηση, εκτιμήθηκε ο δείκτης ωριμότητας των καρπών.



Σχήμα 2.1. Δείκτης ωριμότητας των καρπών με βάση τον χρωματισμό τους.

Ο δείκτης ωριμότητας (maturity index, MI) υπολογίζεται πολλαπλασιάζοντας τον αριθμό των καρπών σε κάθε κατηγορία χρώματος με τον αντίστοιχο δείκτη ωριμότητας. Στη συνέχεια, οι υπολογισμοί αυτοί αθροίζονται και το τελικό αποτέλεσμα διαιρείται δια 100.

2.8. Εξαγωγή ελαιόλαδου

Για την εξαγωγή ελαιόλαδου, συλλέχθηκαν 2 kg ελιών ανά δέντρο κατά τη συγκομιδή. Οι καρποί πλύθηκαν και θρυμματίστηκαν με μπλέντερ. Η ελαιοζύμη υποβλήθηκε σε μάλαξη για 30 λεπτά σε μίξερ, με σταδιακή προσθήκη νερού σε θερμοκρασία 25 °C. Ακολούθησε ο διαχωρισμός των στερεών από τα υγρά μέρη της ζύμης. Το υγρό μέρος φυγοκεντρήθηκε με 8000 g για 5 λεπτά, και το υπερκείμενο ελαιόλαδο συλλέχθηκε και αποθηκεύτηκε σε γυάλινα δοχεία, τα οποία διατηρήθηκαν σε σκοτεινό και δροσερό περιβάλλον.

2.9. Μέτρηση ελαιοπεριεκτικότητας

Η μέτρηση της ελαιοπεριεκτικότητας πραγματοποιήθηκε μέσω εκχύλισης με τη μέθοδο Soxhlet (Ρούσσης και Μπαδέκα, 2020). Για τον προσδιορισμό της ελαιοπεριεκτικότητας, χρησιμοποιήθηκε ξηρό δείγμα ελαιομάζας βάρους περίπου 5-10 g, ενώ για την εκχύλιση προστέθηκαν 200 mL εξανίου. Η ελαιοπεριεκτικότητα εκφράστηκε ως ποσοστό % ελαιόλαδου σε σχέση με το ξηρό βάρος του μεσοκαρπίου.

2.10. Προσδιορισμός της οξύτητας του ελαιόλαδου

Για τον προσδιορισμό της οξύτητας του ελαιόλαδου, ζυγίστηκαν 10 g δείγματος σε κωνική φιάλη 250 mL. Προστέθηκαν 20 mL διαλύματος αποτελούμενου από ίσα μέρη αλκοόλης και διαιθυλαιθέρα, που είχε προηγουμένως εξουδετερωθεί. Στη συνέχεια πραγματοποιήθηκε ογκομέτρηση με σταδιακή προσθήκη διαλύματος 0,1 N NaOH, παρουσία τριών σταγόνων φαινόλφθαλεΐνης, με ανάδευση μέχρι να εμφανιστεί αλλαγή χρώματος από αχυροκίτρινο σε ρόδινο. Η οξύτητα υπολογίστηκε με τον εξής τύπο και εκφράστηκε σε g ελαϊκού οξέος ανά 100 g ελαιόλαδου:

$$\text{Οξύτητα} = \frac{\text{ml NaOH} \times \text{κανονικότητα NaOH} \times 0,282 \times 100}{\text{βάρος δείγματος (g)}}$$

όπου το 0,282 αντιπροσωπεύει το χιλιοστοϊσοδύναμο του ελαϊκού οξέος.

2.11. Προσδιορισμός ολικών φαινολικών συστατικών στο ελαιόλαδο

Για την προετοιμασία του εκχυλίσματος, ζυγίστηκαν 2 g ελαιόλαδου και προστέθηκαν 5 mL εξανίου, καθώς και 5 mL μείγματος μεθανόλης και νερού σε αναλογία 60:40 (v/v). Το μίγμα ομογενοποιήθηκε με Vortex για 2 λεπτά και υποβλήθηκε σε φυγοκέντρηση για 10 λεπτά με ταχύτητα 3500 rpm. Μετά την απομάκρυνση της στιβάδας εξανίου, η υδατική στιβάδα

μεθανόλης χρησιμοποιήθηκε για τη μέτρηση των συνολικών φαινολικών συστατικών του ελαιόλαδου. Για τον προσδιορισμό τους, εφαρμόστηκε η μέθοδος των Swain και Hillis (1959) με κάποιες τροποποιήσεις, και η συγκέντρωση των συνολικών φαινολικών συστατικών εκφράστηκε σε mg γαλλικού οξέος ανά kg ελαιόλαδου.

2.12. Στατιστική επεξεργασία

Η Ανάλυση της Παραλλακτικότητας των αποτελεσμάτων έγινε με το στατιστικό πακέτο SPSS (SPSS Statistics for Windows, Version 26.0, IBM Corp., Armonk, NY, USA). Η σύγκριση των μέσων όρων έγινε με το κριτήριο Tukey και την Ελάχιστη Σημαντική Διαφορά (ΕΣΔ) για επίπεδο σημαντικότητας $P \leq 0,05$.

3. Αποτελέσματα

3.1. Θερμοκρασιακή και υδατική κατάσταση των δένδρων ελιάς

Η θερμοκρασία κόμης των δένδρων ελιάς ποικιλίας Αμφίσσης μειώθηκε σημαντικά από τα μέσα Ιουλίου έως τις αρχές Σεπτεμβρίου και στις τρεις μεταχειρίσεις, χωρίς να παρατηρούνται σημαντικές διαφορές μεταξύ των τριών μεταχειρίσεων (Πίνακας 3.1).

Το υδατικό δυναμικό βλαστού το μεσημέρι δεν εμφάνισε σημαντικές διαφοροποιήσεις μεταξύ των δύο ημερομηνιών μέτρησης (Πίν. 3.1). Τον Ιούλιο η μικρότερη τιμή υδατικού δυναμικού μετρήθηκε στον μάρτυρα (-2,57 MPa), ενώ σε καλύτερη υδατική κατάσταση ήταν τα φύλλα της μεταχείρισης του εδάφους (-2,39 MPa) και ακόμα καλύτερη τα φύλλα της μεταχείρισης της διαφυλλικής εφαρμογής (-2,10 MPa). Στις μετρήσεις του Σεπτεμβρίου η χαμηλότερη τιμή υδατικού δυναμικού καταγράφηκε στον μάρτυρα (-2,83 MPa), ενώ σε καλύτερη υδατική κατάσταση ήταν τα φύλλα της διαφυλλικής μεταχείρισης (-2,33 MPa) και ακόμα καλύτερη τα φύλλα της μεταχείρισης του εδάφους (-2,15 MPa) (Πίνακας 3.1).

Πίνακας 3.1. Μεταβολή της θερμοκρασίας κόμης και του υδατικού δυναμικού βλαστού το μεσημέρι των δένδρων ελιάς ποικιλίας Αμφίσσης των μεταχειρίσεων του μάρτυρα (Μ), της εφαρμογής μικροοργανισμών στο έδαφος (Ε) και της διαφυλλικής εφαρμογής μικροοργανισμών (Δ).

Ημερομηνία	Μεταχ.	Θερμοκρασία κόμης (°C)	Υδατικό Δυναμικό Βλαστού (MPa)
15 Ιουλ. 2023	Μ	34,74 a	-2,57 b
	Ε	34,59 a	-2,39 ab
	Δ	34,74 a	-2,10 a
2 Σεπ. 2023	Μ	32,04 b	-2,83 b
	Ε	31,61 b	-2,15 a
	Δ	32,36 b	-2,33 ab
Σημαντ.	Ημερομηνία	***	*
	Μεταχ.	*	***

Διαφορετικά γράμματα εντός της ίδιας στήλης δείχνουν στατιστικές σημαντικές διαφορές μεταξύ των μεταχειρίσεων σύμφωνα με την ΕΣΔ ($p \leq 0,05$). Σημαντικότητα: * επίπεδο σημαντικότητας 0,05 και *** επίπεδο σημαντικότητας 0,001.

3.2. Μεταβολή της PAR και των φυσιολογικών παραμέτρων των φύλλων κατά την πειραματική περίοδο

Η προσπίπτουσα φωτοσυνθετικά ενεργή ακτινοβολία (PAR) δεν παρουσίασε αξιόλογες διαφορές μεταξύ των δύο ημερομηνιών και κυμάνθηκε από 1319 $\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ τον Ιούλιο έως 1413 $\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ στις αρχές Σεπτεμβρίου (Πίν. 3.2). Επιπλέον, η PAR δεν παρουσίασε σημαντικές διαφορές μεταξύ των μεταχειρίσεων (Πίν. 3.2).

Πίνακας 3.2. Μεταβολή της φωτοσυνθετικά ενεργής ακτινοβολίας (PAR) και της συγκέντρωσης του μεσοκυττάριου CO_2 in των φύλλων ελιάς ποικιλίας Αμφίσσης των μεταχειρίσεων του μάρτυρα (M), της εφαρμογής μικροοργανισμών στο έδαφος (E) και της διαφυλλικής εφαρμογής μικροοργανισμών (Δ).

Ημερομηνία	Μεταχ.	PAR ($\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$)	Συγκέντρωση μεσοκυττάριου CO_2 in ($\mu\text{mol mol}^{-1}$)
15 Ιουλ. 2023	M	1400	239 a
	E	1248	243 a
	Δ	1310	249 a
2 Σεπτ. 2023	M	1451	196 b
	E	1433	170 b
	Δ	1355	192 b
Σημαντ.	Ημερομηνία	NS	***
	Μεταχ.	NS	NS

Διαφορετικά γράμματα εντός της ίδιας στήλης δείχνουν στατιστικώς σημαντικές διαφορές μεταξύ των μεταχειρίσεων σύμφωνα με την ΕΣΔ ($p \leq 0,05$). Σημαντικότητα: NS μη σημαντική διαφορά και *** επίπεδο σημαντικότητας 0,001.

Η συγκέντρωση του μεσοκυττάριου CO_2 in των φύλλων ελιάς ποικιλίας Αμφίσσης παρουσίασε σημαντικές διαφοροποιήσεις με την ημερομηνία μέτρησης. Συγκεκριμένα το CO_2 in ήταν υψηλότερο τον Ιούλιο ($244 \mu\text{mol mol}^{-1}$) σε σύγκριση με τον Σεπτέμβριο ($186 \mu\text{mol mol}^{-1}$), ενώ δεν παρατηρήθηκαν σημαντικές διαφορές μεταξύ των μεταχειρίσεων (Πίν. 3.2).

Η g_s και η A των φύλλων ελιάς ποικιλίας Αμφίσσης μειώθηκαν στις αρχές Σεπτεμβρίου σε σχέση με τα μέσα Ιουλίου σε όλες τις μεταχειρίσεις ενώ η E δεν παρουσίασε αξιοσημείωτες διαφορές με τον χρόνο μέτρησης (Πίν. 3.3). Συγκρίνοντας τις μεταχειρίσεις, στα μέσα Ιουλίου η μεταχείριση της εφαρμογής μικροοργανισμών στο έδαφος είχε υψηλότερη g_s και A και ελαφρώς υψηλότερη E σε σχέση με τα φύλλα των άλλων δύο μεταχειρίσεων. Στις αρχές Σεπτεμβρίου τα φύλλα των μεταχειρίσεων της εφαρμογής μικροοργανισμών στο έδαφος και

της διαφυλλικής εφαρμογής είχαν χαμηλότερη g_s αλλά παρόμοιες A και E συγκριτικά με τον μάρτυρα (Πίν. 3.3). Αναφορικά με την αποδοτικότητα χρήσης νερού (WUE), μειώθηκε σημαντικά στον μάρτυρα και ελαφρώς στις άλλες δύο μεταχειρίσεις τον Σεπτέμβριο σε σχέση με τα μέσα Ιουλίου και δεν υπήρχαν σημαντικές διαφορές μεταξύ των μεταχειρίσεων (Πίν. 3.3).

Πίνακας 3.3. Μεταβολή των παραμέτρων στοματική αγωγιμότητα (g_s), ρυθμός διαπνοής (E), ρυθμός φωτοσύνθεσης (A) και αποδοτικότητα χρήσης νερού (WUE) των φύλλων ελιάς ποικιλίας Αμφίσσης των μεταχειρίσεων του μάρτυρα (M), της εφαρμογής μικροοργανισμών στο έδαφος (E) και της διαφυλλικής εφαρμογής μικροοργανισμών (Δ).

Ημερομ.	Μεταχ.	Στοματική αγωγιμότητα ($\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$)	Ρυθμός διαπνοής ($\text{mmol m}^{-2} \text{s}^{-1}$)	Ρυθμός φωτοσύνθεσης ($\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$)	WUE (mmol mol^{-1})
15 Ιουλ. 2023	M	0,121 b	3,72 ab	10,05 b	2,84 a
	E	0,162 a	4,66 a	13,30 a	2,90 a
	Δ	0,131 b	3,90 ab	10,50 b	2,76 ab
2 Σεπτ. 2023	M	0,113 c	3,97 ab	6,55 c	1,83 b
	E	0,093 d	3,38 b	6,97 c	2,23 ab
	Δ	0,089 d	3,31 b	6,51 c	2,23 ab
Σημαντ.	Ημερομ.	***	*	***	*
	Μεταχ.	*	NS	*	NS

Διαφορετικά γράμματα εντός της ίδιας στήλης δείχνουν στατιστικώς σημαντικές διαφορές μεταξύ των μεταχειρίσεων σύμφωνα με την ΕΣΔ ($p \leq 0,05$). Σημαντικότητα: NS μη σημαντική διαφορά, * επίπεδο σημαντικότητας 0,05 και *** επίπεδο σημαντικότητας 0,001.

Η μέγιστη φωτοχημική απόδοση του PSII υποδεικνύεται από τον λόγο Fv/Fm. Ο δείκτης φθορισμού της χλωροφύλλης Fv/Fm αυξήθηκε από τα μέσα Ιουλίου έως τις αρχές Σεπτεμβρίου, ενώ δεν παρουσίασε αξιόλογες μεταβολές μεταξύ των μεταχειρίσεων (Πίν. 3.4).

Πίνακας 3.4. Μεταβολή του φθορισμού χλωροφύλλης *a* των φύλλων ελιάς ποικιλίας Αμφίσσης των μεταχειρίσεων του μάρτυρα (Μ), της εφαρμογής μικροοργανισμών στο έδαφος (Ε) και της διαφυλλικής εφαρμογής μικροοργανισμών (Δ).

Ημερομηνία	Μεταχ.	Fv/Fm
15 Ιουλ. 2023	Μ	0,777 b
	Ε	0,763 b
	Δ	0,768 b
2 Σεπτ. 2023	Μ	0,796 a
	Ε	0,791 a
	Δ	0,791 a
Σημαντ.	Ημερομηνία	***
	Μεταχ.	NS

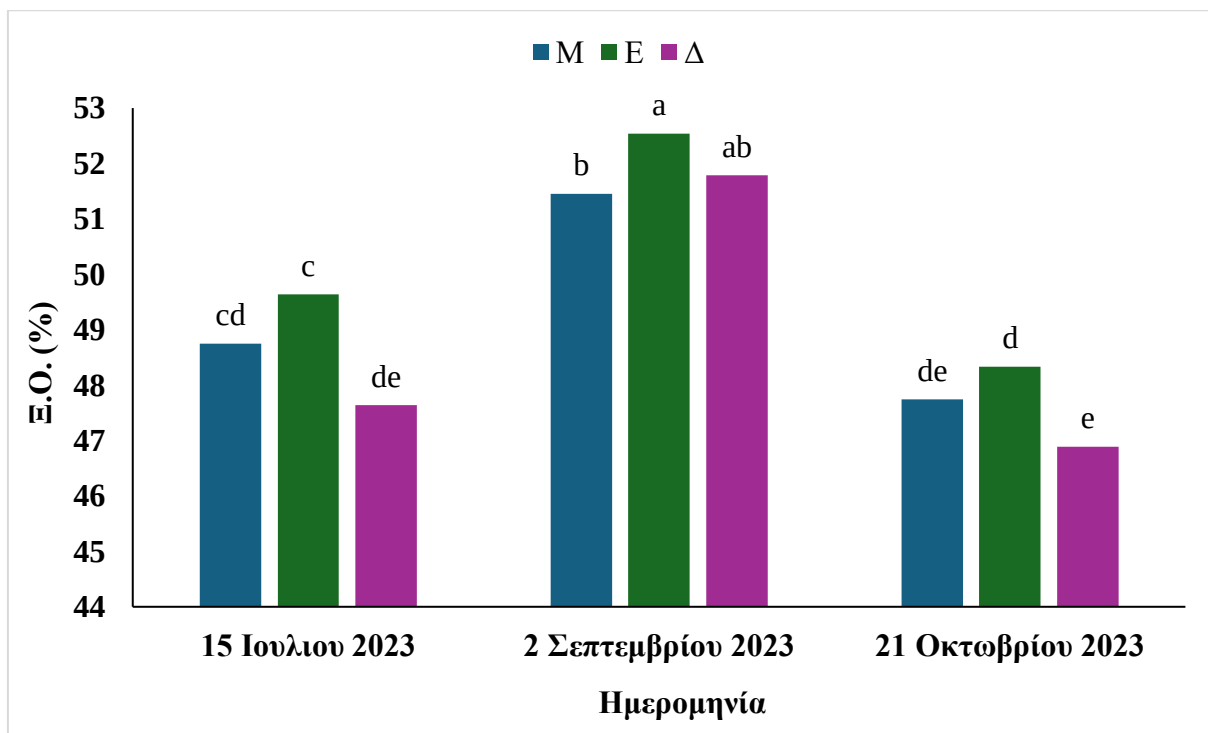
Διαφορετικά γράμματα εντός της ίδιας στήλης δείχνουν στατιστικώς σημαντικές διαφορές μεταξύ των μεταχειρίσεων σύμφωνα με την ΕΣΔ ($p \leq 0,05$). Σημαντικότητα: NS μη σημαντική διαφορά και *** επίπεδο σημαντικότητας 0,001.

3.3. Φυσιολογικά χαρακτηριστικά φύλλων

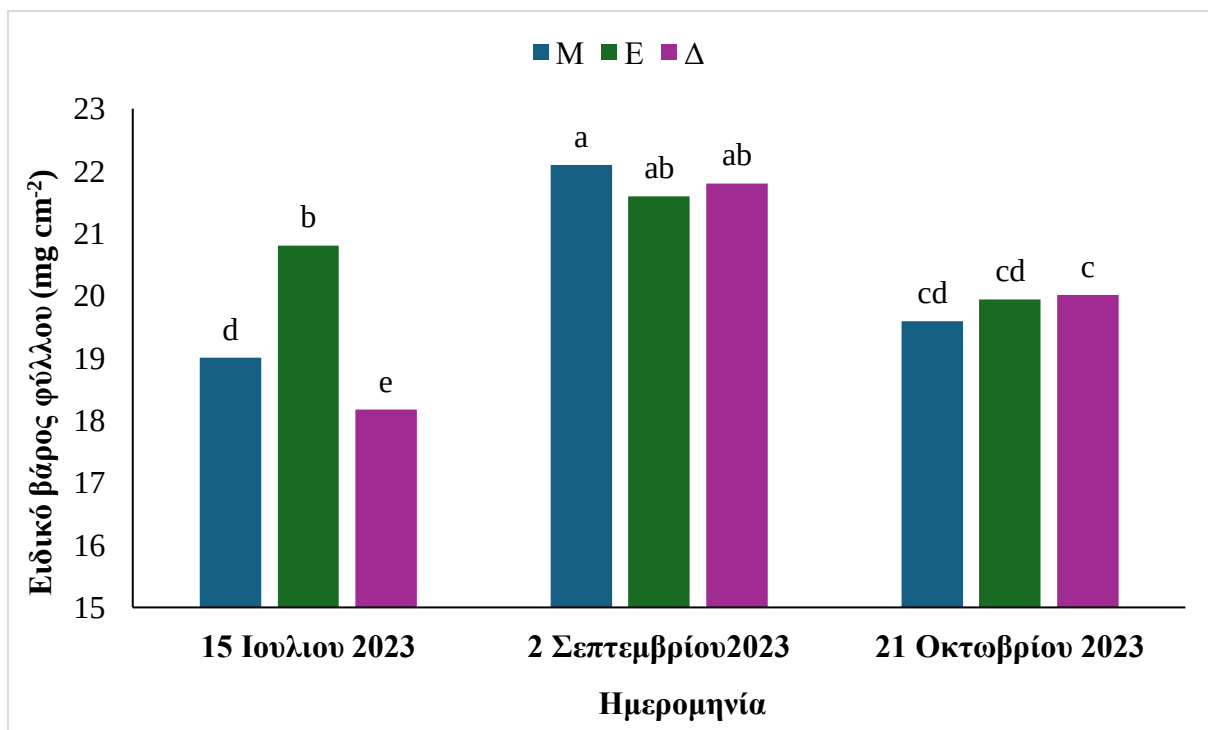
3.3.1. Ποσοστό % ξηράς ουσίας και ειδικό βάρος φύλλων

Το ποσοστό % ξηράς ουσίας και το ειδικό βάρος των φύλλων ελιάς ποικιλίας Αμφίσσης παρουσίασε σημαντικές διαφοροποιήσεις τόσο με την εποχή των μετρήσεων, όσο και μεταξύ των μεταχειρίσεων. Συγκεκριμένα το ποσοστό % ξηράς ουσίας και το ειδικό βάρος φύλλου ήταν αυξημένα την περίοδο του Σεπτεμβρίου σε σχέση με του Ιουλίου και του Οκτωβρίου (Διάγρ. 3.1, Διάγρ. 3.2).

Συγκρίνοντας τις μεταχειρίσεις, τα φύλλα της μεταχείρισης της εφαρμογής των μικροοργανισμών στο έδαφος είχαν υψηλότερο ποσοστό ξηράς ουσίας από τα φύλλα του μάρτυρα και από τα φύλλα της μεταχείρισης της διαφυλλικής εφαρμογής μικροοργανισμών (Διάγρ. 3.1). Όσον αφορά το ειδικό βάρος των φύλλων, βρέθηκε ότι στα μέσα Ιουλίου το υψηλότερο ειδικό βάρος φύλλων είχε η μεταχείριση του εδάφους και έπειτα ο μάρτυρας, ενώ το μικρότερο ειδικό βάρος είχαν τα φύλλα της διαφυλλικής εφαρμογής (Διάγρ. 3.2). Στις αρχές Σεπτεμβρίου και στα μέσα Οκτωβρίου δεν παρατηρήθηκαν αξιοσημείωτες διαφορές μεταξύ των μεταχειρίσεων ως προς το ειδικό βάρος φύλλου (Διάγρ. 3.2).



Διάγραμμα 3.1. Μεταβολή του ποσοστού % ξηράς ουσίας των φύλλων ελιάς ποικιλίας Αμφίσσης των μεταχειρίσεων του μάρτυρα (M), της εφαρμογής μικροοργανισμών στο έδαφος (E) και της διαφυλλικής εφαρμογής μικροοργανισμών (Δ).



Διάγραμμα 3.2. Μεταβολή του ειδικού βάρους των φύλλων ελιάς ποικιλίας Αμφίσσης των μεταχειρίσεων του μάρτυρα (M), της εφαρμογής μικροοργανισμών στο έδαφος (E) και της διαφυλλικής εφαρμογής μικροοργανισμών (Δ).

3.3.2. Συγκέντρωση των φύλλων ελιάς σε χρωστικές φωτοσύνθεσης

Αναφορικά με τις χρωστικές φωτοσύνθεσης, η συγκέντρωση των φύλλων ελιάς σε χλωροφύλλη α, β, ολική και σε ολικά καροτενοειδή εκφρασμένων είτε σε mg g^{-1} ξ.β. είτε σε mg m^{-2} παρέμεινε σχετικά αμετάβλητη έως τις αρχές Σεπτεμβρίου και αυξήθηκε σημαντικά στα μέσα Οκτωβρίου και στις τρεις μεταχειρίσεις (Πίν. 3.5, Πίν. 3.6). Επίσης, ο λόγος χλωρ. α/χλωρ. β των φύλλων ελιάς παρουσίασε μία αυξητική πορεία κατά την πειραματική περίοδο σε όλες τις μεταχειρίσεις φτάνοντας τη μέγιστη τιμή στα μέσα Οκτωβρίου (Πίν. 3.5, Πίν. 3.6). Κατά τη σύγκριση των μεταχειρίσεων διαπιστώθηκε ότι δεν παρατηρήθηκαν σημαντικές διαφορές στη συγκέντρωση των φύλλων σε χλωροφύλλη α, β, ολική και σε ολικά καροτενοειδή εκφρασμένων είτε σε mg g^{-1} ξ.β. είτε σε mg m^{-2} (Πίν. 3.5, Πίν. 3.6).

Πίνακας 3.5. Μεταβολή συγκέντρωσης σε χλωρ. α, χλωρ. β, ολ. χλωρ. και ολικά καροτενοειδή εκφρασμένα σε mg g^{-1} ξ.β. και του λόγου χλωρ. α/χλωρ. β των φύλλων ελιάς ποικιλίας Αμφίσσης των μεταχειρίσεων του μάρτυρα (Μ), της εφαρμογής μικροοργανισμών στο έδαφος (Ε) και της διαφυλλικής εφαρμογής μικροοργανισμών (Δ).

Ημερομ.	Μεταχ.	Χλωρ. α (mg g^{-1})	Χλωρ. β (mg g^{-1})	Ολική χλωρ. (mg g^{-1})	Λόγος χλωρ. α/ χλωρ. β	Ολικά καροτεν. (mg g^{-1})
15 Ιουλ. 2023	Μ	2,63 bc	0,98	3,61 b	2,67	0,68
	Ε	2,52 bc	0,95	3,48 b	2,64	0,67
	Δ	2,76 b	1,05	3,81 b	2,65	0,69
2 Σεπτ. 2023	Μ	2,36 bc	0,86	3,21 b	2,75	0,62
	Ε	2,27 c	0,82	3,09 b	2,79	0,61
	Δ	2,48 bc	0,92	3,40 b	2,69	0,65
21 Οκτ. 2023	Μ	3,34 a	1,17	4,51 ab	2,88	0,80
	Ε	3,37 a	1,21	4,58 a	2,78	0,80
	Δ	3,31 a	1,16	4,46 ab	2,86	0,80
Σημαντ.	Ημερομ.	***	***	***	***	***
	Μεταχ.	NS	NS	NS	NS	NS

Διαφορετικά γράμματα εντός της ίδιας στήλης δείχνουν στατιστικώς σημαντικές διαφορές μεταξύ των μεταχειρίσεων σύμφωνα με την ΕΣΔ ($p \leq 0,05$). Σημαντικότητα: NS μη σημαντική διαφορά και *** επίπεδο σημαντικότητας 0,001.

Πίνακας 3.6. Μεταβολή της συγκέντρωσης σε χλωρ. α, χλωρ. β, ολ. χλωρ. και ολικά καροτενοειδή εκφρασμένα σε mg m² των φύλλων ελιάς ποικιλίας Αμφίσσης των μεταχειρίσεων του μάρτυρα (Μ), της εφαρμογής μικροοργανισμών στο έδαφος (Ε) και της διαφυλλικής εφαρμογής μικροοργανισμών (Δ).

Ημερομηνία	Μεταχ.	Χλωρ. α (mg m ⁻²)	Χλωρ. β (mg m ⁻²)	Ολική χλωρ. (mg m ⁻²)	Ολικά καροτεν. (mg m ⁻²)
15 Ιουλ. 2023	Μ	498 b	187 b	685 b	129 b
	Ε	499 b	189 b	688 b	132 b
	Δ	519 b	196 b	715 b	129 b
2 Σεπτ. 2023	Μ	473 b	172 b	646 b	125 b
	Ε	489 b	176 b	664 b	132 b
	Δ	504 b	187 b	691 b	133 b
21 Οκτ. 2023	Μ	643 a	221 a	864 a	155 a
	Ε	644 a	232 a	876 a	152 a
	Δ	599 a	210 a	809 a	146 ab
Σημαντ.	Ημερ.	***	***	***	***
	Μεταχ.	NS	NS	NS	NS

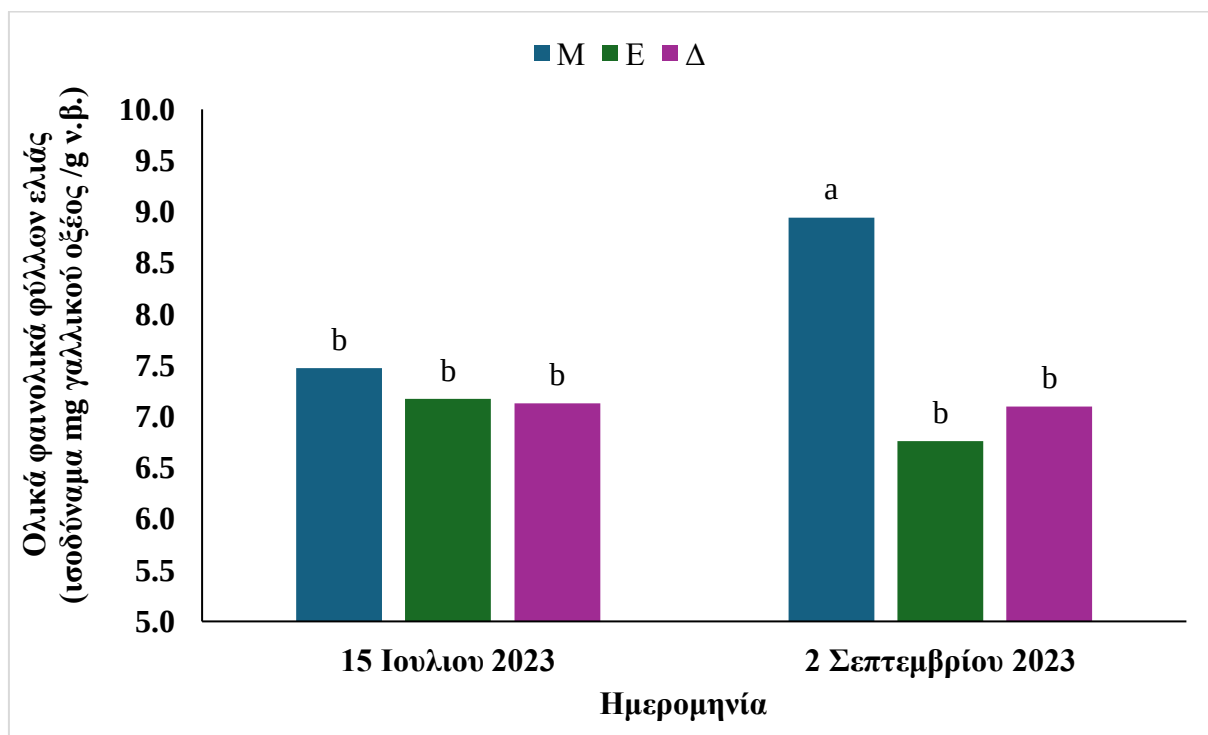
Διαφορετικά γράμματα εντός της ίδιας στήλης δείχνουν στατιστικώς σημαντικές διαφορές μεταξύ των μεταχειρίσεων σύμφωνα με την ΕΣΔ ($p \leq 0,05$). Σημαντικότητα: NS μη σημαντική διαφορά και *** επίπεδο σημαντικότητας 0,001.

3.3.3. Αντιοξειδωτικά χαρακτηριστικά φύλλων ελιάς

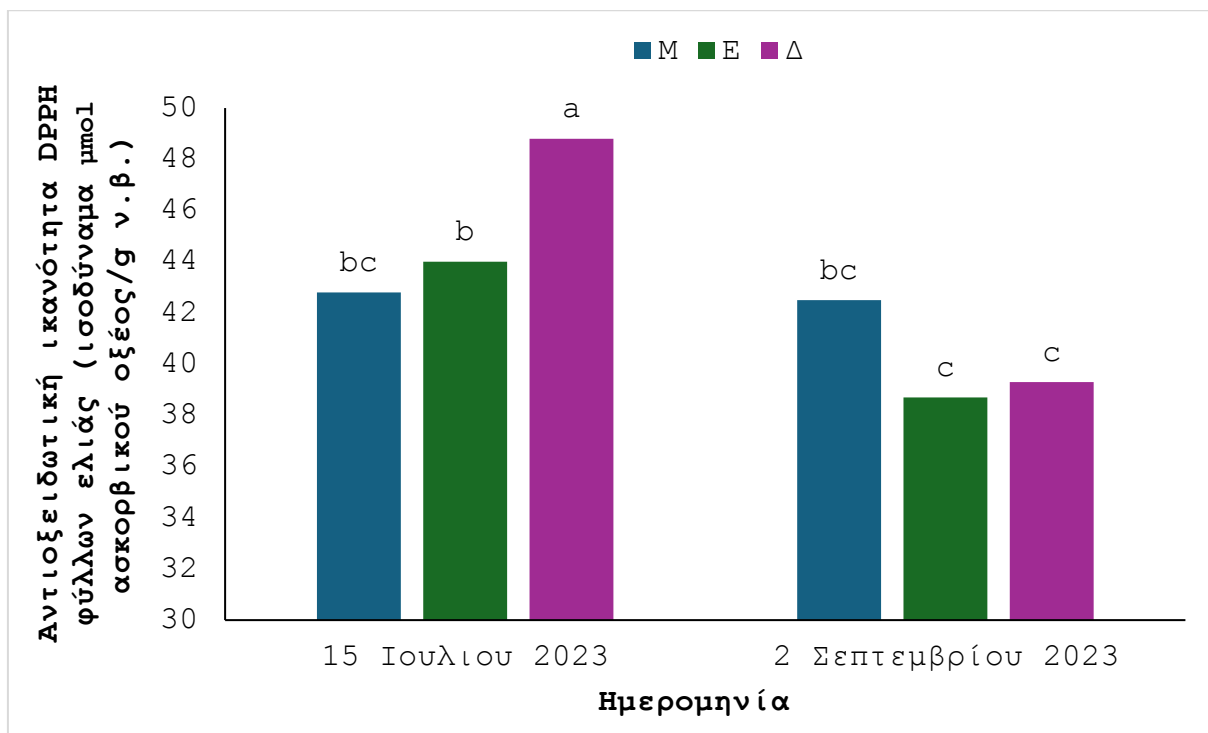
Η συγκέντρωση των φύλλων ελιάς σε ολικά φαινολικά συστατικά ήταν υψηλότερη στις αρχές Σεπτεμβρίου σε σχέση με τα μέσα Ιουλίου στη μεταχείριση του μάρτυρα, ενώ στις μεταχειρίσεις της εφαρμογής μικροοργανισμών στο έδαφος και της διαφυλλικής εφαρμογής η συγκέντρωση των φύλλων σε ολικά φαινολικά δεν μεταβλήθηκε με την εποχή μέτρησης (Διάγρ. 3.3). Επιπλέον, στα μέσα Ιουλίου δεν υπήρξαν σημαντικές διαφοροποιήσεις μεταξύ των μεταχειρίσεων, ενώ στις αρχές Σεπτεμβρίου οι μεταχειρίσεις της εφαρμογής μικροοργανισμών στο έδαφος και της διαφυλλικής εφαρμογής είχαν χαμηλότερη συγκέντρωση ολικών φαινολικών σε σχέση με τον μάρτυρα (Διάγρ. 3.3).

Όσον αφορά την αντιοξειδωτική ικανότητα με τη μέθοδο της ελεύθερης ρίζας DPPH των φύλλων ελιάς, δεν διέφερε με την εποχή μέτρησης στον μάρτυρα, ενώ στις μεταχειρίσεις της εφαρμογής μικροοργανισμών στο έδαφος και της διαφυλλικής εφαρμογής μειώθηκε στις αρχές Σεπτεμβρίου σε σχέση με τα μέσα Ιουλίου (Διάγρ. 3.4). Κατά τη σύγκριση των μεταχειρίσεων παρατηρήθηκε ότι στα μέσα Ιουλίου τα φύλλα της μεταχείρισης της διαφυλλικής εφαρμογής είχαν υψηλότερη αντιοξειδωτική ικανότητα από τη μεταχείριση του εδάφους, ενώ τα φύλλα του μάρτυρα είχαν τη μικρότερη αντιοξειδωτική ικανότητα χωρίς να διαφέρουν σημαντικά από

τη μεταχείριση του εδάφους. Αντίθετα, στις αρχές Σεπτεμβρίου τα φύλλα των μεταχειρίσεων του εδάφους και της διαφυλλικής εφαρμογής είχαν ελαφρώς χαμηλότερη αντιοξειδωτική ικανότητα από τον μάρτυρα (Διάγρ. 3.4).



Διάγραμμα 3.3. Μεταβολή της συγκέντρωσης ολικών φαινολικών συστατικών των φύλλων ελιάς ποικιλίας Αμφίσσης των μεταχειρίσεων του μάρτυρα (Μ), της εφαρμογής μικροοργανισμών στο έδαφος (Ε) και της διαφυλλικής εφαρμογής μικροοργανισμών (Δ).



Διάγραμμα 3.4. Μεταβολή της αντιοξειδωτικής ικανότητας με τη μέθοδο DPPH των φύλλων ελιάς ποικιλίας Αμφίσσης των μεταχειρίσεων του μάρτυρα (Μ), της εφαρμογής μικροοργανισμών στο έδαφος (Ε) και της διαφυλλικής εφαρμογής μικροοργανισμών (Δ).

3.4. Συγκέντρωση των φύλλων ελιάς σε θρεπτικά στοιχεία

Η φυλλοδιαγνωστική ανάλυση στα φύλλα ελιάς ποικιλίας Αμφίσσης έδειξε ότι η συγκέντρωση των μακροστοιχείων και πιο συγκεκριμένα του Ν και του Ρ ήταν στα βέλτιστα επίπεδα και στις τρεις μεταχειρίσεις (Πίν. 3.7). Ομοίως, η συγκέντρωση του Κ στα φύλλα ήταν σε επάρκεια και στις τρεις μεταχειρίσεις σημειώνοντας τη μέγιστη τιμή στον μάρτυρα (1,93%), ακολουθούμενη από τη μεταχείριση της εφαρμογής μικροοργανισμών στο έδαφος (1,85%) και έπειτα στη μεταχείριση της διαφυλλικής εφαρμογής (1,76%) (Πίν. 3.7).

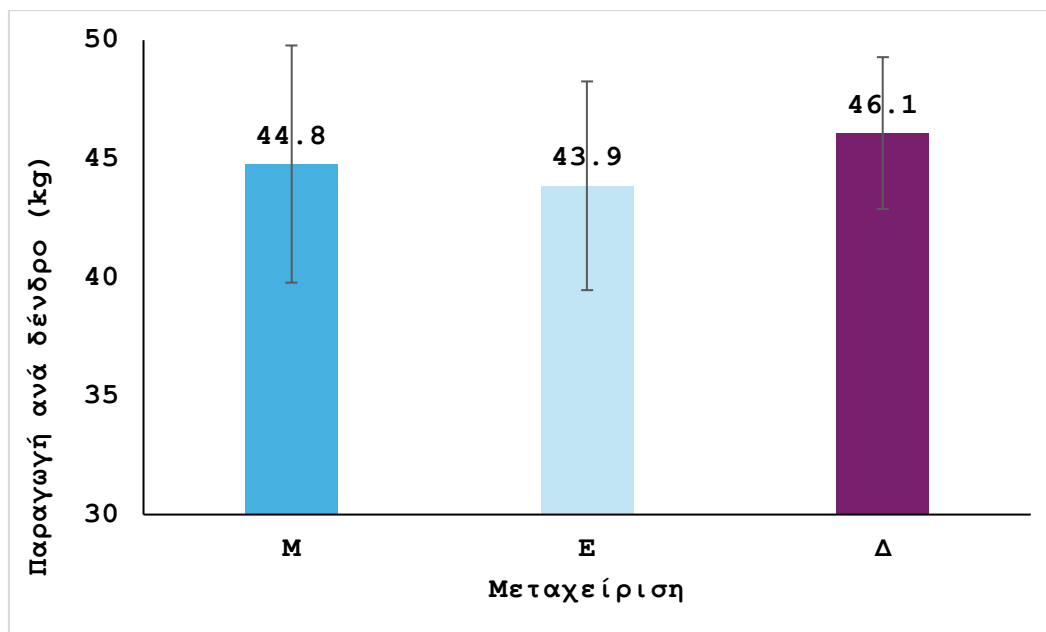
Αναφορικά με τη συγκέντρωση των ιχνοστοιχείων, τα αποτελέσματα της φυλλοδιαγνωστικής ανάλυσης έδειξαν ότι ο Ζn ήταν σε επάρκεια και στις τρεις μεταχειρίσεις υπερέχοντας στον μάρτυρα ($35,6 \text{ mg kg}^{-1}$), ακολουθούμενος από την διαφυλλική εφαρμογή ($32,6 \text{ mg kg}^{-1}$), και τέλος από τη μεταχείριση του εδάφους ($30,6 \text{ mg kg}^{-1}$) (Πίν. 3.7). Η συγκέντρωση του Cu και του Fe ήταν επίσης βέλτιστες ενώ του Mn χαμηλή και στις τρεις μεταχειρίσεις (Πίν. 3.7). Τέλος η συγκέντρωση του Β ήταν βέλτιστη στις μεταχειρίσεις του εδάφους και της διαφυλλικής εφαρμογής, ενώ η συγκέντρωση του Β στον μάρτυρα ήταν χαμηλή έχοντας την τιμή των 15 mg kg^{-1} (Πίν. 3.7).

Πίνακας 3.7. Συγκέντρωση των μακροστοιχείων N, P, K και των ιχνοστοιχείων Zn, Cu, Fe, Mn, B στα φύλλα ελιάς ποικιλίας Αμφίσσης των μεταχειρίσεων του μάρτυρα (M), της εφαρμογής μικροοργανισμών στο έδαφος (E) και της διαφυλλικής εφαρμογής μικροοργανισμών (Δ).

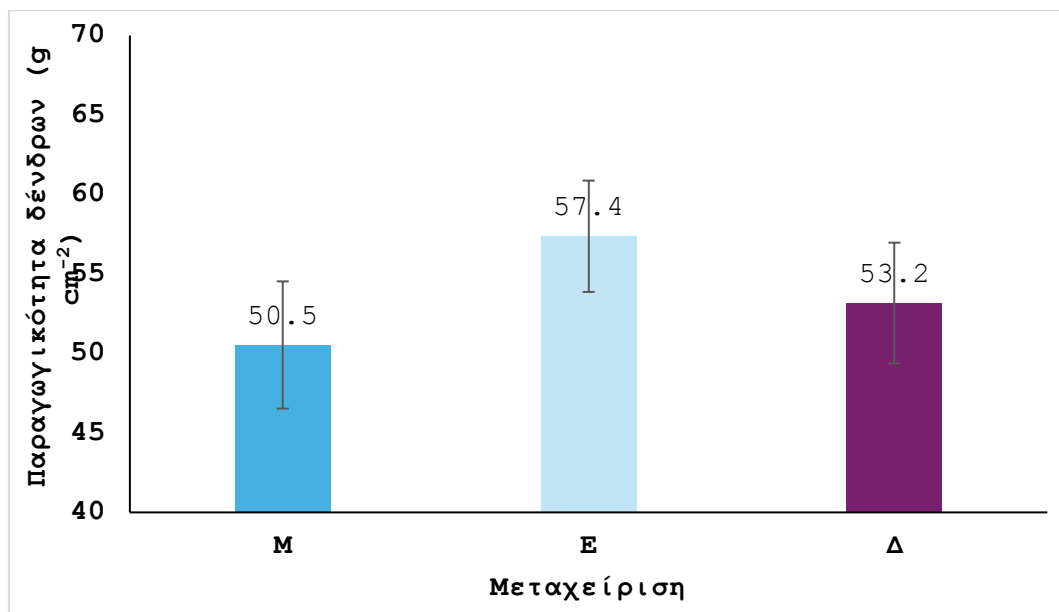
Θρεπτικό στοιχείο	Επάρκεια	M	E	Δ
N (%)	Βέλτιστη	1,90	1,90	1,90
P (%)	Βέλτιστη	0,14	0,15	0,14
K (%)	Βέλτιστη	1,93	1,85	1,76
Zn (mg kg ⁻¹)	Βέλτιστη	35,6	30,6	32,6
Cu (mg kg ⁻¹)	Βέλτιστη	<5	< 5	<5
Fe (mg kg ⁻¹)	Βέλτιστη	86,4	81,3	82,6
Mn (mg kg ⁻¹)	Χαμηλή	<10	<10	<10
B (mg kg ⁻¹)	Χαμηλή στο M, βέλτιστη σε E, Δ	15,0	33,0	31,0

3.5. Παραγωγικότητα δένδρων ελιάς

Στη συγκομιδή ζυγίστηκε η συνολική παραγωγή ανά δένδρο και έπειτα υπολογίστηκε η παραγωγικότητα ανά μονάδα επιφάνειας διατομής κορμού (Διάγρ. 3.5, Διάγρ. 3.6). Τα δένδρα και των τριών μεταχειρίσεων είχαν παρόμοια παραγωγή ανά δένδρο και παραγωγικότητα (Διάγρ. 3.5, Διάγρ. 3.6).



Διάγραμμα 3.5. Μέση παραγωγή ανά δένδρο ελιάς ποικιλίας Αμφίσσης των μεταχειρίσεων του μάρτυρα (M), της εφαρμογής μικροοργανισμών στο έδαφος (E) και της διαφυλλικής εφαρμογής μικροοργανισμών (Δ).



Διάγραμμα 3.6. Παραγωγικότητα δένδρου ως g cm⁻² διατομής κορμού των δένδρων ελιάς ποικιλίας Αμφίσσης των μεταχειρίσεων του μάρτυρα (Μ), της εφαρμογής μικροοργανισμών στο έδαφος (Ε) και της διαφυλλικής εφαρμογής μικροοργανισμών (Δ).

3.6. Ποιοτικά χαρακτηριστικά καρπών ελιάς

3.6.1. Ποιοτικά χαρακτηριστικά πράσινων καρπών ελιάς

Σύμφωνα με τη στατιστική ανάλυση των αποτελεσμάτων των ποιοτικών χαρακτηριστικών των πράσινων καρπών ελιάς, οι καρποί και των τριών μεταχειρίσεων είχαν παρόμοιες παραμέτρους L*, C* και Hue του χρώματος επικαρπίου. Ακόμη, οι πράσινοι καρποί των μεταχειρίσεων της εφαρμογής μικροοργανισμών στο έδαφος και της διαφυλλικής εφαρμογής είχαν μικρότερη σκληρότητα σάρκας σε σχέση με τον μάρτυρα (Πίν. 3.8).

Πίνακας 3.8. Χρώμα L*, C* και Hue του επικαρπίου και σκληρότητα σάρκας των πράσινων καρπών ελιάς ποικιλίας Αμφίσσης των μεταχειρίσεων του μάρτυρα (Μ), της εφαρμογής μικροοργανισμών στο έδαφος (Ε) και της διαφυλλικής εφαρμογής μικροοργανισμών (Δ).

Μεταχ.	L*	C*	Hue	Σκληρότητα σάρκας (N)
Μ	58,7	43,5	117,1	0,68a
Ε	59,5	43,0	117,3	0,51b
Δ	59,2	42,2	117,1	0,51b
Σημαντ.	NS	NS	NS	***

Διαφορετικά γράμματα εντός της ίδιας στήλης δείχνουν στατιστικές σημαντικές διαφορές μεταξύ των μεταχειρίσεων σύμφωνα με το κριτήριο Tukey ($p \leq 0,05$). Σημαντικότητα: NS μη σημαντική διαφορά και *** επίπεδο σημαντικότητας 0,001.

Δεν παρατηρήθηκαν σημαντικές διαφορές ως προς το βάρος, μήκος και πλάτος καρπού, λόγο μήκος/πλάτος, καθώς και το ποσοστό ξηρού βάρους περικαρπίου. Διαπιστώθηκε όμως ότι οι πράσινοι καρποί των δένδρων που έγινε η διαφυλλική εφαρμογή μικροοργανισμών είχαν υψηλότερο λόγο σάρκας/πυρήνα σε σχέση με τις άλλες δύο μεταχειρίσεις, τον μάρτυρα και την εφαρμογή μικροοργανισμών στο έδαφος (Πίν. 3.9).

Πίνακας 3.9. Βάρος, μήκος, πλάτος, λόγος μήκος/πλάτος καρπού και ποσοστό % ξηρού βάρους περικαρπίου και λόγος σάρκας/ενδοκαρπίου των πράσινων καρπών ελιάς ποικιλίας Αμφίσσης των μεταχειρίσεων του μάρτυρα (Μ), της εφαρμογής μικροοργανισμών στο έδαφος (Ε) και της διαφυλλικής εφαρμογής μικροοργανισμών (Δ).

Μεταχ.	Βάρος καρπού (g)	Μήκος (mm)	Πλάτος (mm)	Λόγος μήκος/πλάτος	Ξηρό βάρος περικαρπίου (%)	Λόγος σάρκας/ενδοκάρπιο
Μ	11,2	30,5	24,1	1,27	22,7	10,9 b
Ε	11,2	29,5	23,8	1,25	22,6	11,8 b
Δ	11,2	29,8	24,4	1,22	22,8	14,1 a
Σημαντ.	NS	NS	NS	NS	NS	*

Διαφορετικά γράμματα εντός της ίδιας στήλης δείχνουν στατιστικές σημαντικές διαφορές μεταξύ των μεταχειρίσεων σύμφωνα με το κριτήριο Tukey ($p \leq 0,05$). Σημαντικότητα: NS μη σημαντική διαφορά και * επίπεδο σημαντικότητας 0,05.

Αναφορικά με τα χαρακτηριστικά του ενδοκαρπίου, αυτό είχε μικρότερο βάρος στη μεταχείριση της διαφυλλικής εφαρμογής σε σχέση με τον μάρτυρα, ενώ στην περίπτωση της μεταχείρισης της εφαρμογής μικροοργανισμών στο έδαφος είχε ενδιάμεση τιμή χωρίς να διαφέρει σημαντικά από τις άλλες μεταχειρίσεις. Το μήκος, πλάτος και ο λόγος μήκος/ πλάτος ενδοκαρπίου δεν παρουσίασε σημαντικές διαφοροποιήσεις μεταξύ των μεταχειρίσεων. Τέλος, το ποσοστό ξηρού βάρους του ενδοκαρπίου στη μεταχείριση της εφαρμογής μικροοργανισμών στο έδαφος ήταν χαμηλότερο σε σύγκριση με τον μάρτυρα και τη μεταχείριση της εφαρμογής μικροοργανισμών διαφυλλικά (Πίνακας 3.10).

Πίνακας 3.10. Βάρος ενδοκαρπίου, μήκος, πλάτος, λόγος μήκος/πλάτος ενδοκαρπίου των πράσινων καρπών ελιάς ποικιλίας Αμφίσσης των μεταχειρίσεων του μάρτυρα (Μ), της εφαρμογής μικροοργανισμών στο έδαφος (Ε) και της διαφυλλικής εφαρμογής μικροοργανισμών (Δ).

Μεταχ.	Βάρος ενδοκαρπίου (g)	Μήκος ενδοκαρπίου (mm)	Πλάτος ενδοκαρπίου (mm)	Ποσοστό ξηρού βάρους ενδοκαρπίου (%)	Λόγος μήκος/ πλάτος ενδοκαρπίου
Μ	0,90 a	15,0	7,13	70,7 b	2,13
Ε	0,81 ab	14,9	7,02	74,5 a	2,15
Δ	0,75 b	14,7	6,83	72,0 b	2,16
Σημαντ.	*	NS	NS	**	NS

Διαφορετικά γράμματα εντός της ίδιας στήλης δείχνουν στατιστικές σημαντικές διαφορές μεταξύ των μεταχειρίσεων σύμφωνα με το κριτήριο Tukey ($p \leq 0,05$). Σημαντικότητα: NS μη σημαντική διαφορά και ** επίπεδο σημαντικότητας 0,01.

3.6.2. Ποιοτικά χαρακτηριστικά ξανθών καρπών ελιάς

Στην περίπτωση των ξανθών καρπών ελιάς, οι καρποί και των τριών μεταχειρίσεων είχαν παρόμοιες τιμές των παραμέτρων L^* , C^* και Hue του χρώματος του επικαρπίου (Πίνακας 3.11).

Πίνακας 3.11. Χρώμα L^* , C^* και Hue του επικαρπίου των ξανθών καρπών ελιάς ποικιλίας Αμφίσσης των μεταχειρίσεων του μάρτυρα (Μ), της εφαρμογής μικροοργανισμών στο έδαφος (Ε) και της διαφυλλικής εφαρμογής μικροοργανισμών (Δ).

Μεταχ.	L^*	C^*	Hue
Μ	35,6	18,0	41,4
Ε	35,7	16,4	46,2
Δ	34,5	16,0	39,5
Σημαντ.	NS	NS	NS

Σημαντικότητα: NS μη σημαντική διαφορά.

Όσον αφορά τις διαστάσεις των καρπών, δεν παρατηρήθηκαν στατιστικές σημαντικές διαφορές μεταξύ των μεταχειρίσεων ως προς το βάρος, το μήκος, το πλάτος καρπού, τον λόγο μήκος/πλάτος καθώς και στο ποσοστό ξηρού βάρους περικαρπίου (Πίν. 3.12). Ομοίως, δεν βρέθηκαν σημαντικές διαφορές μεταξύ των μεταχειρίσεων στα χαρακτηριστικά του ενδοκαρπίου, όπως μήκος, πλάτος, λόγος μήκος/πλάτος και ποσοστό ξηρού βάρους (Πίν. 3.13). Ωστόσο, οι ξανθοί καρποί των δένδρων που έγινε η διαφυλλική εφαρμογή μικροοργανισμών

είχαν υψηλότερο λόγο σάρκας/πυρήνα σε σχέση με τις άλλες δύο μεταχειρίσεις, τον μάρτυρα και την εφαρμογή μικροοργανισμών στο έδαφος (Πίν. 3.12).

Πίνακας 3.12. Βάρος, μήκος, πλάτος, λόγος μήκος/πλάτος καρπού και ποσοστό % ξηρού βάρους περικαρπίου και λόγος σάρκας/ενδοκαρπίου των ξανθών καρπών ελιάς ποικιλίας Αμφίσσης των μεταχειρίσεων του μάρτυρα (Μ), της εφαρμογής μικροοργανισμών στο έδαφος (Ε) και της διαφυλλικής εφαρμογής μικροοργανισμών (Δ).

Μεταχ.	Βάρος καρπού (g)	Μήκος (mm)	Πλάτος (mm)	Λόγος μήκος/πλάτος	Ποσοστό ξηρού βάρους περικαρπίου (%)	Λόγος σάρκας/ενδοκάρπιο
Μ	8,63	28,1	22,4	1,26	21,1	7,84 b
Ε	9,22	27,9	22,2	1,26	21,9	8,52 b
Δ	9,37	29,0	22,6	1,28	21,4	9,93 a
Σημαντ.	NS	NS	NS	NS	NS	**

Διαφορετικά γράμματα εντός της ίδιας στήλης δείχνουν στατιστικές σημαντικές διαφορές μεταξύ των μεταχειρίσεων σύμφωνα με το κριτήριο Tukey ($p \leq 0,05$). Σημαντικότητα: NS μη σημαντική διαφορά, * επίπεδο σημαντικότητας 0,05, ** επίπεδο σημαντικότητας 0,01 και *** επίπεδο σημαντικότητας 0,001.

Πίνακας 3.13. Βάρος ενδοκαρπίου, μήκος, πλάτος, λόγος μήκος/πλάτος ενδοκαρπίου των ξανθών καρπών ελιάς ποικιλίας Αμφίσσης των μεταχειρίσεων του μάρτυρα (Μ), της εφαρμογής μικροοργανισμών στο έδαφος (Ε) και της διαφυλλικής εφαρμογής μικροοργανισμών (Δ).

Μεταχ.	Βάρος ενδοκαρπίου (g)	Μήκος ενδοκαρπίου (mm)	Πλάτος ενδοκαρπίου (mm)	Ποσοστό ξηρού βάρους ενδοκαρπίου (%)	Λόγος μήκος/πλάτος ενδοκαρπίου
Μ	0,97	15,8	7,50	72,0	2,13
Ε	0,94	15,3	7,55	71,1	2,04
Δ	0,84	14,8	7,10	69,7	2,11
Σημαντ.	NS	NS	NS	NS	NS

Σημαντικότητα: NS μη σημαντική διαφορά.

3.6.3. Ποιοτικά χαρακτηριστικά μαύρων καρπών ελιάς

Στους μαύρους καρπούς ελιάς, παρατηρήθηκε ότι οι καρποί που συλλέχθηκαν από δένδρα που έγινε διαφυλλική εφαρμογή μικροοργανισμών είχαν υψηλότερη τιμή L^* και χαμηλότερη

τιμή Hue σε σύγκριση με τον μάρτυρα και τη μεταχείριση εφαρμογής μικροοργανισμών στο έδαφος, υποδεικνύοντας πιο φωτεινό μελανοϊώδες χρώμα επικαρπίου (Πίνακας 3.14). Η παράμετρος C* του χρώματος δεν διέφερε μεταξύ των μεταχειρίσεων (Πίν. 3.14).

Πίνακας 3.14. Χρώμα L*, C* και Hue του επικαρπίου των μαύρων καρπών ελιάς ποικιλίας Αμφίσσης των μεταχειρίσεων του μάρτυρα (Μ), της εφαρμογής μικροοργανισμών στο έδαφος (Ε) και της διαφυλλικής εφαρμογής μικροοργανισμών (Δ).

Μεταχ.	L*	C*	Hue
Μ	26,3 b	5,21	13,5 a
Ε	26,3 b	5,33	13,8 a
Δ	27,8 a	4,08	5,81 b
Σημαντ.	*	NS	*

Διαφορετικά γράμματα εντός της ίδιας στήλης δείχνουν στατιστικές σημαντικές διαφορές μεταξύ των μεταχειρίσεων σύμφωνα με το κριτήριο Tukey ($p \leq 0,05$). Σημαντικότητα: NS μη σημαντική διαφορά και * επίπεδο σημαντικότητας 0,05.

Πίνακας 3.15. Βάρος, μήκος, πλάτος, λόγος μήκος/πλάτος καρπού και ποσοστό % ξηρού βάρους περικαρπίου και λόγος σάρκας/ενδοκαρπίου των μαύρων καρπών ελιάς ποικιλίας Αμφίσσης των μεταχειρίσεων του μάρτυρα (Μ), της εφαρμογής μικροοργανισμών στο έδαφος (Ε) και της διαφυλλικής εφαρμογής μικροοργανισμών (Δ).

Μεταχ.	Βάρος καρπού (g)	Μήκος (mm)	Πλάτος (mm)	Λόγος μήκος/πλάτος	Ποσοστό ξηρού βάρους περικαρπίου (%)	Λόγος σάρκας/ενδοκάρπιο
Μ	7,83	28,0	21,7 a	1,30	20,5	6,71
Ε	7,01	26,7	20,9 b	1,32	21,9	5,78
Δ	7,43	27,5	21,0 ab	1,31	22,0	6,22
Σημαντ.	NS	NS	NS	NS	NS	NS

Σημαντικότητα: NS μη σημαντική διαφορά.

Όσον αφορά τα υπόλοιπα ποιοτικά χαρακτηριστικά των μαύρων καρπών ελιάς, αυτοί είχαν παρόμοιο βάρος, μήκος, πλάτος, λόγο μήκος/πλάτος, ποσοστό ξηρού βάρους περικαρπίου και λόγο σάρκας/πυρήνα και στις τρεις μεταχειρίσεις (Πίνακας 3.15). Ομοίως, δεν βρέθηκαν σημαντικές διαφορές μεταξύ των μεταχειρίσεων στα χαρακτηριστικά του ενδοκαρπίου, όπως μήκος, πλάτος, λόγος μήκος/πλάτος και ποσοστό ξηρού βάρους (Πίν. 3.16).

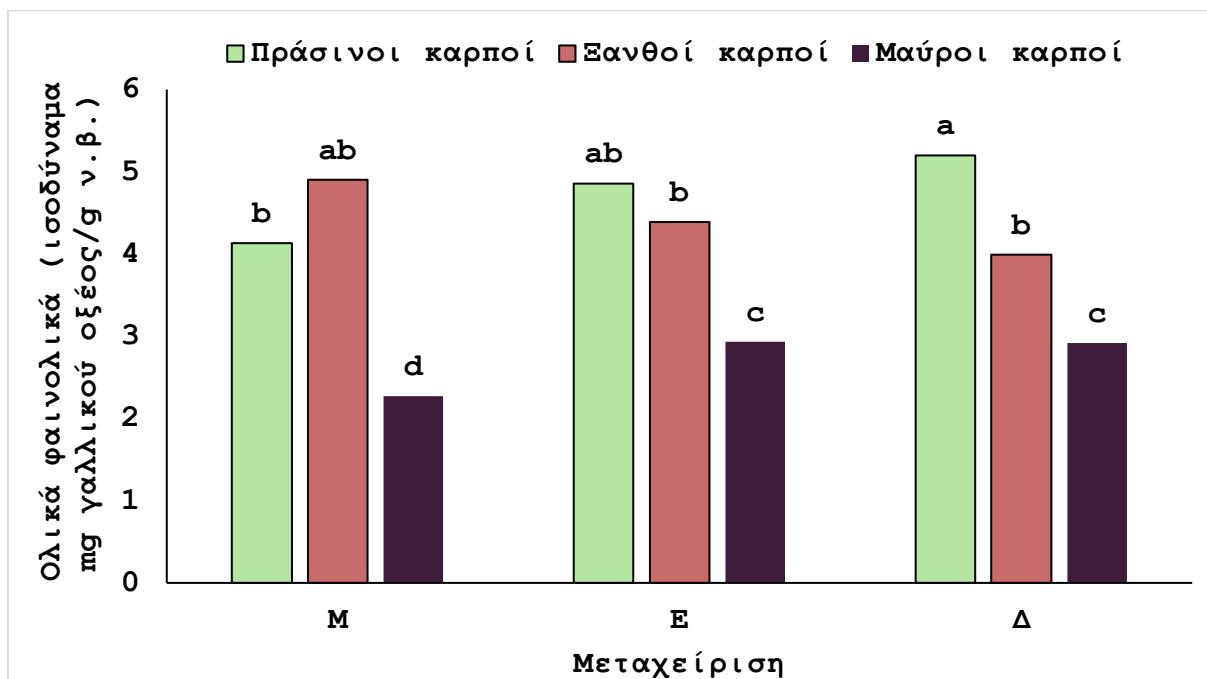
Πίνακας 3.16. Βάρος ενδοκαρπίου, μήκος, πλάτος, λόγος μήκος/πλάτος ενδοκαρπίου των μαύρων καρπών ελιάς ποικιλίας Αμφίσσης των μεταχειρίσεων του μάρτυρα (Μ), της εφαρμογής μικροοργανισμών στο έδαφος (Ε) και της διαφυλλικής εφαρμογής μικροοργανισμών (Δ).

Μεταχ.	Βάρος ενδοκαρπίου (g)	Μήκος ενδοκαρπίου (mm)	Πλάτος ενδοκαρπίου (mm)	Ποσοστό ξηρού βάρους ενδοκαρπίου (%)	Λόγος μήκος/ πλάτος ενδοκαρπίου
Μ	1,04	15,9	7,81	68,9	2,05
Ε	1,03	15,7	7,84	70,6	2,03
Δ	1,00	16,1	7,60	69,9	2,14
Σημαντ.	NS	NS	NS	NS	NS

Σημαντικότητα: NS μη σημαντική διαφορά.

3.7. Αντιοξειδωτικά χαρακτηριστικά καρπών ελιάς

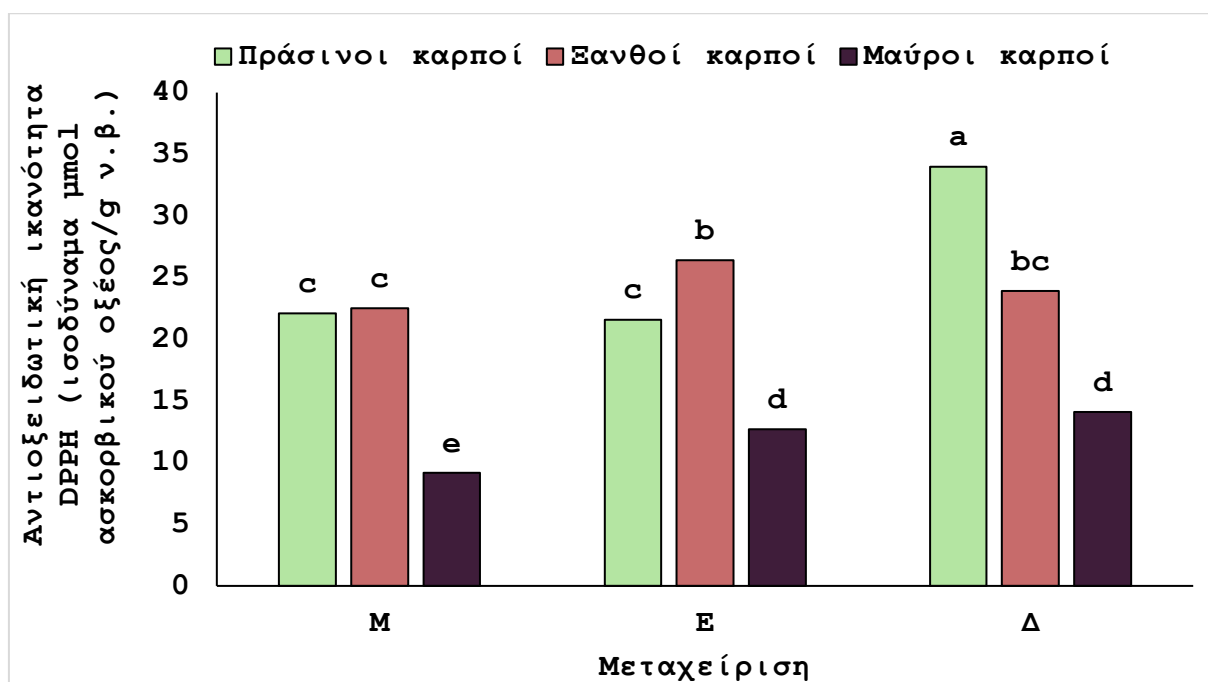
Η συγκέντρωση των ολικών φαινολικών συστατικών μειώθηκε με την ωρίμανση των καρπών, με εξαίρεση τον μάρτυρα όπου οι ξανθοί καρποί είχαν ελαφρώς υψηλότερη συγκέντρωση σε ολικά φαινολικά σε σχέση με τους πράσινους καρπούς (Διάγρ. 3.7). Στους πράσινους καρπούς, η μεταχείριση της διαφυλλικής εφαρμογής μικροοργανισμών είχε την υψηλότερη συγκέντρωση φαινολικών ακολουθούμενη, αλλά χωρίς να διαφέρει σημαντικά, από τη μεταχείριση της εφαρμογής στο έδαφος, ενώ σημαντικά χαμηλότερη συγκέντρωση είχε ο μάρτυρας (Διάγρ. 3.7). Στους ξανθούς καρπούς δεν παρατηρήθηκαν σημαντικές διαφορές μεταξύ των μεταχειρίσεων (Διάγρ. 3.7). Τέλος στους μαύρους καρπούς οι καρποί των μεταχειρίσεων των μικροοργανισμών είχαν υψηλότερη συγκέντρωση σε ολικά φαινολικά συγκριτικά με τον μάρτυρα (Διάγρ. 3.7)



Διάγραμμα 3.7. Συγκέντρωση ολικών φαινολικών συστατικών των πράσινων, ξανθών και μαύρων καρπών ελιάς ποικιλίας Αμφίσσης των μεταχειρίσεων του μάρτυρα (M), της εφαρμογής μικροοργανισμών στο έδαφος (E) και της διαφυλλικής εφαρμογής μικροοργανισμών (Δ).

Η αντιοξειδωτική ικανότητα των καρπών δεν παρουσίασε κάποια συγκεκριμένη τάση από το πράσινο προς το ξανθό στάδιο ωρίμανσης των καρπών. Πιο συγκεκριμένα, στην περίπτωση του μάρτυρα η αντιοξειδωτική ικανότητα ήταν παρόμοια στους πράσινους και τους ξανθούς καρπούς, στη μεταχείριση της εφαρμογής των μικροοργανισμών στο έδαφος οι ξανθοί καρποί είχαν υψηλότερη αντιοξειδωτική ικανότητα από τους πράσινους, ενώ στη μεταχείριση της διαφυλλικής εφαρμογής οι πράσινοι καρποί είχαν υψηλότερη αντιοξειδωτική ικανότητα από τους ξανθούς (Διάγρ. 3.8). Στο στάδιο των μαύρων καρπών, η αντιοξειδωτική ικανότητα παρουσίασε τη χαμηλότερη τιμή σε όλες τις μεταχειρίσεις (Διάγρ. 3.8).

Στους πράσινους καρπούς, η μεταχείριση της διαφυλλικής εφαρμογής μικροοργανισμών είχε υψηλότερη αντιοξειδωτική ικανότητα από τις μεταχειρίσεις της εφαρμογής στο έδαφος και του μάρτυρα (Διάγρ. 3.8). Στους ξανθούς καρπούς, η μεταχείριση της εφαρμογής μικροοργανισμών στο έδαφος είχε ελαφρώς υψηλότερη αντιοξειδωτική ικανότητα από τη μεταχείριση της διαφυλλικής εφαρμογής, ενώ τη χαμηλότερη τιμή παρουσίασε ο μάρτυρας (Διάγρ. 3.8). Τέλος στους μαύρους καρπούς οι καρποί των μεταχειρίσεων των μικροοργανισμών είχαν υψηλότερη αντιοξειδωτική ικανότητα συγκριτικά με τον μάρτυρα (Διάγρ. 3.8).



Διάγραμμα 3.8. Αντιοξειδωτική ικανότητα DPPH των πράσινων, ξανθών και μαύρων καρπών ελιάς ποικιλίας Αμφίσσης των μεταχειρίσεων του μάρτυρα (M), της εφαρμογής μικροοργανισμών στο έδαφος (E) και της διαφυλλικής εφαρμογής μικροοργανισμών (Δ).

3.8. Δείκτης ωριμότητας και ελαιοπεριεκτικότητα καρπών ελιάς

Ο δείκτης ωριμότητας των καρπών ελιάς ποικιλίας Αμφίσσης δεν παρουσίασε σημαντικές διαφορές μεταξύ των μεταχειρίσεων (Πίν. 3.17). Όσον αφορά την ελαιοπεριεκτικότητα εκφρασμένη επί του ξηρού βάρους του περικαρπίου, βρέθηκε υψηλότερη στη μεταχείριση της εφαρμογής μικροοργανισμών στο έδαφος, έπειτα στον μάρτυρα, ενώ τη χαμηλότερη ελαιοπεριεκτικότητα εμφάνισε η μεταχείριση της διαφυλλικής εφαρμογής μικροοργανισμών (Πίν. 3.17).

Πίνακας 3.17. Δείκτης ωριμότητας ελαιόκαρπου και ελαιοπεριεκτικότητα ως ποσοστό % του ξηρού βάρους του περικαρπίου των καρπών ελιάς ποικιλίας Αμφίσσης των μεταχειρίσεων του μάρτυρα (M), της εφαρμογής μικροοργανισμών στο έδαφος (E) και της διαφυλλικής εφαρμογής μικροοργανισμών (Δ).

Μεταχείριση	Δείκτης ωριμότητας	Ελαιοπεριεκτικότητα (% ξηρού βάρους)
M	3,24	39,5 b
E	2,83	54,3 a
Δ	3,41	27,8 c
Σημαντ.	NS	*

Διαφορετικά γράμματα εντός της ίδιας στήλης δείχνουν στατιστικές σημαντικές διαφορές μεταξύ των μεταχειρίσεων σύμφωνα με το κριτήριο Tukey ($p \leq 0,05$). Σημαντικότητα: * επίπεδο σημαντικότητας 0,05.

3.9. Προσβολή καρπών ελιάς από δάκο

Κατά την εκτίμηση της προσβολής από δάκο των καρπών ελιάς ποικιλίας Αμφίσσης βρέθηκε ότι οι καρποί του μάρτυρα ήταν όλοι προβεβλημένοι από δάκο. Σημαντικά χαμηλότερο ποσοστό προσβολής από δάκο (45%) βρέθηκε στους καρπούς προερχόμενων από τα δένδρα της μεταχείρισης της εφαρμογής μικροοργανισμών στο έδαφος, ενώ το μικρότερο ποσοστό προσβολής σημειώθηκε στους καρπούς της διαφυλλικής εφαρμογής (17%) (Πίν. 3.18).

Πίνακας 3.18. Προσβολή καρπών ελιάς από δάκο προερχόμενων από τα δένδρα ελιάς ποικιλίας Αμφίσσης των μεταχειρίσεων του μάρτυρα (Μ), της εφαρμογής μικροοργανισμών στο έδαφος (Ε) και της διαφυλλικής εφαρμογής μικροοργανισμών (Δ).

Μεταχείριση	Προσβολή καρπών από δάκο (%)
Μ	100
Ε	45
Δ	17
Σημαντ.	-

3.10. Ποιοτικά χαρακτηριστικά και συγκέντρωση σε ολικά φαινολικά του παραγόμενου ελαιόλαδου

Η μέτρηση της οξύτητας και της συγκέντρωσης των ολικών φαινολικών στο ελαιόλαδο μετρήθηκαν μετά από χρονικό διάστημα αποθήκευσης του ελαιόλαδου για 5 μήνες σε σκοτεινό μέρος και θερμοκρασία δωματίου. Η οξύτητα του ελαιόλαδου παρουσίασε τη χαμηλότερη τιμή στη μεταχείριση της διαφυλλικής εφαρμογής μικροοργανισμών, ακολούθησε η μεταχείριση της εφαρμογής μικροοργανισμών στο έδαφος, ενώ την υψηλότερη οξύτητα παρουσίασε ο μάρτυρας (Πίν. 3.19).

Όσον αφορά τη συγκέντρωση των ολικών φαινολικών, το ελαιόλαδο που προήλθε από τους καρπούς της διαφυλλικής εφαρμογής είχε υψηλότερη συγκέντρωση συγκριτικά με τις μεταχειρίσεις της εφαρμογής μικροοργανισμών στο έδαφος και του μάρτυρα (Πίνακας 3.19).

Πίνακας 3.19. Ποιοτικά χαρακτηριστικά και συγκέντρωση σε ολικά φαινολικά συστατικά ελαιολάδου προερχόμενο από καρπούς δένδρων ελιάς ποικιλίας Αμφίσσης των μεταχειρίσεων του μάρτυρα (Μ), της εφαρμογής μικροοργανισμών στο έδαφος (Ε) και της διαφυλλικής εφαρμογής μικροοργανισμών (Δ).

Μεταχείριση	Οξύτητα (Ελαϊκό οξύ %)	Συγκέντρωση σε ολικά φαινολικά συστατικά (ισοδύναμα mg γαλλικού οξέος/kg ελαιολάδου)
Μ	0,381a	1,04b
Ε	0,212b	1,10b
Δ	0,127c	1,61a
Σημαντικότητα		
Μεταχείριση	***	*

Διαφορετικά γράμματα εντός της ίδιας στήλης δείχνουν στατιστικώς σημαντικές διαφορές μεταξύ των μεταχειρίσεων σύμφωνα με το κριτήριο Tukey ($p \leq 0,05$). Σημαντικότητα: NS μη σημαντική διαφορά και * επίπεδο σημαντικότητας 0,05.

4. Συζήτηση

Αδιαμφισβήτητο είναι το γεγονός ότι η ελιά αποτελεί ένα αείφυλλο δέντρο φωτόφιλο και καλά προσαρμοσμένο σε ξηροθερμικές συνθήκες. Ωστόσο, παρατεταμένες αντίξοες καιρικές συνθήκες, καθώς και η ταυτόχρονη παρουσία αβιοτικών καταπονήσεων μπορούν να επηρεάσουν αρνητικά την ανάπτυξη και την παραγωγικότητα των ελαιόδεντρων (Brito et al., 2018). Η εφαρμογή βιοδιεγερτών στα φυτά είναι μία αειφόρος πρακτική για το μετριασμό των αρνητικών επιπτώσεων των ακραίων περιβαλλοντικών συνθηκών και τα τελευταία χρόνια διερευνάται εκτενώς η επίδρασή τους στη βελτίωση της παραγωγικότητας των φυτών (Graziani et al., 2022). Οι βιοδιεγέρτες επιδρούν στον μεταβολισμό του κυττάρου, στη μεταφορά θρεπτικών στοιχείων, στη μικροβιακή δραστηριότητα του εδάφους και στην αύξηση της ρίζας. Αναφέρεται επίσης ο προστατευτικός ρόλος των βιοδιεγερτών στα φυτά μέσω της ενεργοποίησης του αντιοξειδωτικού μηχανισμού των φυτών και τον σχηματισμό φαινολικών συστατικών (Dini et al., 2020).

Στην παρούσα διατριβή επιλέχθηκαν και εφαρμόστηκαν δύο κατηγορίες σκευασμάτων με πληθυσμούς βακτηρίων ενίσχυσης της φυτικής ανάπτυξης σε ελιές ποικιλίας Αμφίσσης. Η μία κατηγορία αφορούσε τη διαφυλλική εφαρμογή ωφέλιμων αζωτοδεσμευτικών βακτηρίων, τα οποία έχουν την ικανότητα να διεισδύουν στο υπέργειο τμήμα των φυτών (φυλλόσφαιρα) και να γίνονται ενδόφυτα, τα οποία μετά την εγκατάστασή τους δεσμεύουν το ατμοσφαιρικό άζωτο μετατρέποντας το σε μορφή άμεσα αφομοιώσιμη από τα δένδρα της ελιάς (Rodrigues et al., 2024). Η άλλη κατηγορία αφορούσε την εφαρμογή των αζωτοδεσμευτικών βακτηρίων στο έδαφος με ριζοπότισμα. Τα αζωτοδεσμευτικά βακτήρια που εμπεριέχει το μίγμα μικροοργανισμών που εφαρμόστηκε στο έδαφος δεσμεύουν το ατμοσφαιρικό άζωτο προσφέροντας το στα δένδρα της ελιάς, το οποίο μετέπειτα μπορεί να λειτουργήσει θετικά στην αύξηση της απόδοσης της καλλιέργειας (Dias et al., 2024).

Μέχρι τώρα υπάρχουν περιορισμένες έρευνες σχετικά με την αλληλεπίδραση των μικροοργανισμών της φυλλόσφαιρας και της ριζόσφαιρας των φυτών με το φυτό ξενιστή και πώς μπορεί να συμβάλλει στην αντοχή των φυτών σε καταπονήσεις αβιοτικές και βιοτικές, στην ανάπτυξη και στην πρόσληψη των θρεπτικών στοιχείων. Οι μελέτες που αφορούν τους μικροοργανισμούς στην ελιά αναφέρονται κυρίως στον εμβολιασμό του εδάφους με μυκορριζικούς μύκητες, εξαιτίας της μεγάλης τους ικανότητας να ενεργοποιούν την ανάπτυξη των ελαιόδενδρων και τη θρεπτική τους κατάσταση, να βελτιώνουν την αντιοξειδωτική τους ικανότητα και να μειώνουν τις επιπτώσεις από αβιοτικές και βιοτικές καταπονήσεις. Όσον αφορά τα βακτήρια ενίσχυσης της φυτικής ανάπτυξης, η πλειονότητα των εμβολιασμών αφορούσε αζωτοδεσμευτικά βακτήρια (όπως *Azospirillum* sp.) και βακτήρια που

διαλυτοποιούν το Κ και τον Ρ (κυρίως είδη *Bacillus sp.*). Αυτοί οι εμβολιασμοί με μικρόβια σε συνδυασμό με ανόργανα λιπάσματα ή με εφοδιασμό με κοπριά ήταν πολύ αποτελεσματικοί για την ανάπτυξη των φυτών και με λιγότερες εισροές (Bizos et al., 2020).

Με την εφαρμογή βακτηρίων ενίσχυσης της φυτικής ανάπτυξης στο έδαφος επιτυγχάνεται εμπλουτισμός του εδάφους με ωφέλιμους μικροοργανισμούς οι οποίοι αναπτύσσουν συμβιωτικές σχέσεις με τα φυτά, παράγοντας ταυτόχρονα ουσίες που βοηθούν την ανάπτυξη του ριζικού συστήματος των φυτών (Xiong et al., 2021). Με αυτόν τον τρόπο, ενισχύεται η ικανότητα ανταλλαγής ιόντων μεταξύ των ριζών και εδάφους και επικρατούν καλύτερες συνθήκες αερισμού και μεγαλύτερη διεισδυτικότητα του ριζικού συστήματος (Grammenou et al., 2023).

Στην παρούσα διατριβή μελετήθηκε η επίδραση των προαναφερθέντων βιοδιεγερτών στις φυσιολογικές λειτουργίες, την ποιότητα καρπού και την παραγωγικότητα ενήλικων αρδευόμενων δέντρων ελιάς ποικιλίας Αμφίσσης. Στο πλαίσιο αυτό πραγματοποιήθηκαν μετρήσεις οι οποίες περιλάμβαναν τη θερμοκρασιακή και υδατική κατάσταση των δέντρων, τις φυσιολογικές και βιοχημικές παραμέτρους των φύλλων, τη θρεπτική κατάσταση των φύλλων, την ποιότητα του παραγόμενου ελαιόκαρπου και ελαιολάδου, καθώς και την παραγωγικότητα των ελαιόδεντρων. Οι μετρήσεις των φυσιολογικών και βιοχημικών παραμέτρων έλαβαν χώρα κατά τους θερινούς μήνες, που χαρακτηρίζονται από ξηροθερμικές κλιματικές συνθήκες, για να διαπιστωθεί ο ρόλος των βιοδιεγερτών στην ενίσχυση της άμυνας των δέντρων έναντι αβιοτικών καταπονήσεων όπως η θερμική καταπόνηση.

Πιο αναλυτικά, η θερμοκρασία της κόμης των δένδρων ελιάς ποικιλίας Αμφίσσης μειώθηκε σταθερά από τα μέσα Ιουλίου έως τις αρχές Σεπτεμβρίου, ανεξάρτητα από τη μεταχείριση, λόγω και της σταδιακής μείωσης των θερμοκρασιών που επικρατούσαν. Το υδατικό δυναμικό βλαστού το μεσημέρι, ήταν σημαντικά αρνητικό σε όλες τις μεταχειρίσεις και στις δύο ημερομηνίες και ειδικά ο μάρτυρας έλαβε τις πιο αρνητικές τιμές στις αρχές Σεπτεμβρίου. Ωστόσο, η εφαρμογή των μικροοργανισμών είτε διαφυλλικά είτε στο έδαφος βελτίωσαν την υδατική κατάσταση των δέντρων έναντι του μάρτυρα. Σύμφωνα με τα αποτελέσματα της έρευνας των Chaves et al. (2003), η σωστή άρδευση καθώς και η θρέψη των δένδρων, βελτιώνει τη διατήρηση της υδατικής ισορροπίας των φυτών, ειδικά σε περιόδους υδατικής καταπόνησης.

Αναφορικά με τις φυσιολογικές παραμέτρους των φύλλων, η στοματική αγωγιμότητα, το μεσοκυττάριο CO₂in, οι ρυθμοί φωτοσύνθεσης και διαπνοής εμφάνισαν σημαντική μείωση στις αρχές Σεπτεμβρίου, σε σύγκριση με τα μέσα Ιουλίου. Το γεγονός αυτό υποδηλώνει αυξημένη καταπόνηση κατά τη δεύτερη περίοδο, πιθανώς λόγω παρατεταμένης θερμικής καταπόνησης κατά το προηγούμενο χρονικό διάστημα. Παρά το γεγονός ότι τα δέντρα των μεταχειρίσεων

των μικροοργανισμών έδειξαν βελτιωμένη υδατική κατάσταση, δεν αποτυπώθηκε στις φυσιολογικές λειτουργίες των φύλλων στις αρχές Σεπτεμβρίου. Έχει αναφερθεί ότι η χρήση βιοδιεγερτών μπορεί να συμβάλει στη βελτίωση της ανθεκτικότητας των φυτών σε αντίξοες αβιοτικές συνθήκες, όπως η θερμική και η υδατική καταπόνηση, που παρατηρήθηκαν στην παρούσα μελέτη. Έρευνες όπως αυτή των Calvo et al. (2014) έχουν δείξει ότι οι βιοδιεγέρτες ενισχύουν τη φωτοσύνθεση και τη διαχείριση του υδατικού δυναμικού των φυτών υπό συνθήκες καταπόνησης, αυξάνοντας την αποδοτικότητα της χρήσης νερού και του CO₂. Επίσης, οι Du Jardin (2015) αναφέρουν ότι οι βιοδιεγέρτες μπορούν να βοηθήσουν στη διατήρηση της λειτουργίας των στομάτων, με αποτέλεσμα να βελτιώνεται η απορρόφηση CO₂, ακόμη και υπό αντίξοες συνθήκες. Οι Flexas et al. (2006) σημείωσαν ότι οι υψηλές θερμοκρασίες και η υδατική καταπόνηση μπορούν να μειώσουν τη φωτοσυνθετική ικανότητα των φύλλων, επηρεάζοντας το μεσοκυττάριο CO₂. Συνεπώς, η μείωση του CO₂ in τον Σεπτέμβριο μπορεί να αποδοθεί στη φυσιολογική αντίδραση των φυτών σε συνθήκες θερμικής καταπόνησης και μειωμένης διαθεσιμότητας νερού. Η χρήση βιοδιεγερτών θα μπορούσε να βοηθήσει στη μείωση αυτών των επιπτώσεων, βελτιώνοντας τη φωτοσυνθετική ικανότητα των φυτών και την αντοχή τους σε τέτοιες καταπονήσεις. Ωστόσο, στο παρόν πείραμα δεν φάνηκε να επηρεάζεται άμεσα η συγκέντρωση του μεσοκυττάριου CO₂ in από τις μεταχειρίσεις, γεγονός που ίσως οφείλεται σε συγκεκριμένους περιορισμούς του πειράματος λόγω των ομοιόμορφων συνθηκών που επικρατούσαν στον ελαιώνα.

Η στοματική αγωγιμότητα και ο ρυθμός φωτοσύνθεσης των φύλλων της ελιάς ποικιλίας Αμφίσσης μειώθηκαν σημαντικά στις αρχές Σεπτεμβρίου σε σύγκριση με τα μέσα Ιουλίου. Αυτή η μείωση αντανάκλα τις επιπτώσεις των αβιοτικών παραγόντων, όπως οι υψηλές θερμοκρασίες και η χαμηλή διαθεσιμότητα νερού που επικρατούσαν κατά τη διάρκεια του καλοκαιριού. Παράλληλα, ο ρυθμός διαπνοής δεν παρουσίασε σημαντικές διακυμάνσεις κατά τη διάρκεια του πειράματος, υποδεικνύοντας ότι η υδατική κατάσταση των φυτών παρέμεινε σχετικά σταθερή, παρά τις κλιματικές πιέσεις. Αξιοσημείωτο είναι ότι η μεταχείριση που περιλάμβανε την εφαρμογή μικροοργανισμών στο έδαφος είχε ανώτερες φυσιολογικές παραμέτρους, με υψηλότερη στοματική αγωγιμότητα και ρυθμό φωτοσύνθεσης στα μέσα Ιουλίου, καθώς και ελαφρώς υψηλότερο ρυθμό διαπνοής σε σχέση με τις άλλες μεταχειρίσεις. Ωστόσο, στις αρχές Σεπτεμβρίου, οι μεταχειρίσεις που περιλάμβαναν την εφαρμογή μικροοργανισμών στο έδαφος και της διαφυλλικής εφαρμογής παρουσίασαν χαμηλότερη στοματική αγωγιμότητα, με συγκρίσιμες τιμές ρυθμού φωτοσύνθεσης και διαπνοής σε σύγκριση με τον μάρτυρα. Σημαντική μείωση παρατηρήθηκε στην αποδοτικότητα χρήσης νερού (WUE) στον μάρτυρα, ενώ η μείωση αυτή ήταν λιγότερο έντονη στις άλλες δύο μεταχειρίσεις τον Σεπτέμβριο. Το γεγονός αυτό υποδεικνύει τη μικρότερη μείωση του ρυθμού

φωτοσύνθεσης σε σχέση με τη μείωση του ρυθμού διαπνοής στις μεταχειρίσεις των μικροοργανισμών συγκριτικά με τον μάρτυρα, οδηγώντας σε αυξημένη αποδοτικότητα χρήσης νερού σε επίπεδο κυττάρου. Σύμφωνα με τους Colla et al. (2017) και Roupahel et al. (2017) ότι οι βιοδιεγέρτες μικροβιακής φύσεως έχουν τη δυνατότητα να βελτιώνουν τη φωτοσυνθετική απόδοση των φυτών υπό συνθήκες καταπόνησης, ενισχύοντας τη στοματική αγωγιμότητα και τον ρυθμό φωτοσύνθεσης. Επιπλέον, αναφέρεται ότι η εφαρμογή μικροοργανισμών στο έδαφος μπορεί να συμβάλει στη βελτίωση της υδατικής κατάστασης και της απορρόφησης θρεπτικών στοιχείων, ενισχύοντας έτσι τις φυσιολογικές λειτουργίες των φυτών. Ακόμη, ο Du Jardin (2015) αναφέρει ότι η χρήση βιοδιεγερτών μπορεί να συμβάλει στη διατήρηση της αποδοτικότητας χρήσης νερού σε συνθήκες αβιοτικών καταπονήσεων.

Η μέγιστη φωτοχημική απόδοση του φωτοσυστήματος II (PSII), η οποία αποτυπώνεται από τον λόγο F_v/F_m , παρουσίασε αύξηση από τα μέσα Ιουλίου έως τις αρχές Σεπτεμβρίου, φτάνοντας σε επίπεδα κοντά στο 0,8. Αυτή η τιμή υποδηλώνει ότι η καταπόνηση που δέχτηκαν τα ελαιόδεντρα ποικιλίας Αμφίσσης δεν ήταν τόσο σοβαρή ώστε να παρατηρηθεί παρεμπόδιση των φυσιολογικών λειτουργιών λόγω άλλων μη στοματικών περιορισμών και διατήρησαν την ικανότητα προσαρμογής τους σε συνθήκες θερμικής καταπόνησης κατά τη διάρκεια της καλοκαιρινής περιόδου. Παρά την παρατηρούμενη αύξηση του λόγου F_v/F_m , δεν καταγράφηκαν στατιστικά σημαντικές διαφορές μεταξύ των διαφόρων μεταχειρίσεων που εξετάστηκαν.

Η επίτευξη του δείκτη F_v/F_m σε επίπεδα κοντά στο 0,8 είναι ενδεικτική υγιούς λειτουργίας του φωτοσυστήματος II και υποδεικνύει την ικανότητα των ελαιόδεντρων να ανταπεξέρχονται σε περιβαλλοντικές καταπονήσεις. Οι βιοδιεγέρτες έχουν αναγνωριστεί ως παράγοντες που μπορούν να βελτιώσουν τη φωτοχημική απόδοση των φυτών, ενισχύοντας την αντοχή τους υπό συνθήκες αβιοτικής καταπόνησης. Ειδικότερα, έρευνες υποδεικνύουν ότι οι βιοδιεγέρτες συμβάλλουν στην αποτελεσματικότερη αξιοποίηση της φωτεινής ενέργειας και στη μείωση των επιπτώσεων που σχετίζονται με περιβαλλοντικές καταπονήσεις. Σύμφωνα με τη μελέτη των Pittarello et al. (2024) οι βιοδιεγέρτες επιδεικνύουν θετική επίδραση στη φωτοχημική απόδοση (F_v/F_m) ελαιόδεντρων, ενισχύοντας την αντοχή τους σε συνθήκες περιβαλλοντικού στρες. Επίσης, η έρευνα των Dias et al. (2024) καταδεικνύει ότι η εφαρμογή βιοδιεγερτών μικροβιακής προέλευσης ενίσχυσε τη φωτοσυνθετική ικανότητα, όπως υποδεικνύεται από τη σταθερότητα του λόγου φθορισμού της χλωροφύλλης, που αντικατοπτρίζει την μέγιστη αποδοτικότητα του Φωτοσυστήματος II (PSII). Η σταθερότητα αυτής της τιμής υποδεικνύει ότι ο φωτοσυνθετικός μηχανισμός των δέντρων διατηρήθηκε λειτουργικός ακόμα και σε συνθήκες έλλειψης νερού, ενισχύοντας την αντοχή των φυτών στην καταπόνηση. Τα ευρήματα

της παρούσας διατριβής ενισχύουν τη θεωρία ότι η χρήση βιοδιεγερτών μπορεί να έχει ευεργετική επίδραση στη φωτοχημική απόδοση των ελαιόδεντρων, καθιστώντας τους κρίσιμους για τη βιωσιμότητα και την παραγωγικότητα των ελαιοκαλλιεργειών σε περιβάλλοντα που χαρακτηρίζονται από κλιματική αστάθεια και αβιοτικές καταπονήσεις.

Για την αξιολόγηση των φυσιολογικών χαρακτηριστικών των φύλλων ελιάς, πραγματοποιήθηκε και μια τρίτη μέτρηση στα τέλη Οκτωβρίου, με σκοπό να προσδιοριστεί η κατάσταση των φύλλων πριν τη συγκομιδή του ελαιόκαρπου. Αυτό είναι ιδιαίτερα σημαντικό για την καλλιέργεια της ελιάς, καθώς η φυσιολογική κατάσταση των φύλλων μπορεί να επηρεάσει άμεσα την ποιότητα του καρπού και τη συνολική απόδοση. Η τρίτη μέτρηση επιτρέπει την εκτίμηση του τρόπου με τον οποίο οι περιβαλλοντικές συνθήκες και οι εφαρμογές των βιοδιεγερτών, επηρέασαν τις ελιές ποικιλίας Αμφίσσης την κρίσιμη περίοδο πριν τη συγκομιδή.

Το ποσοστό ξηράς ουσίας των φύλλων της ελιάς ποικιλίας Αμφίσσης μεταξύ των μετρήσεων που πραγματοποιήθηκαν στις τρεις ημερομηνίες μετρήσεων ήταν αυξημένο τον μήνα Σεπτέμβριο, ειδικά στη μεταχείριση των μικροοργανισμών που εφαρμόστηκαν στο έδαφος, σε σύγκριση με τον μάρτυρα και τη διαφυλλική εφαρμογή. Παράλληλα, το ειδικό βάρος των φύλλων ήταν υψηλότερο τον Ιούλιο στη μεταχείριση του εδάφους, αλλά σταθεροποιήθηκε χωρίς αξιοσημείωτες διαφορές μεταξύ των μεταχειρίσεων τον Σεπτέμβριο και τον Οκτώβριο. Σύμφωνα με τους Domínguez, et al. (2012) η εφαρμογή μικροοργανισμών στο έδαφος μπορεί να βελτιώσει τη φυσιολογική κατάσταση των φύλλων, ιδιαίτερα κατά την περίοδο έντονης καταπόνησης, όπως η ξηρασία. Η βελτίωση αυτή φαίνεται να σχετίζεται με την ενίσχυση της απορρόφησης θρεπτικών συστατικών και τη βελτιωμένη διαχείριση νερού διατηρώντας την υδατική κατάσταση των φύλλων και επιδρώντας θετικά στην ανάπτυξη των φυτών και στην περιεκτικότητα σε ξηρά ουσία. Επιπρόσθετα οι Melloni et al. (2023) υποστηρίζουν ότι η εφαρμογή μικροοργανισμών βελτιώνει την απόδοση των φύλλων, με αυξημένη συγκέντρωση θρεπτικών στοιχείων και ενισχυμένο ρυθμό φωτοσύνθεσης, κάτι που εξηγεί την αυξημένη ξηρά ουσία και ειδικό βάρος των φύλλων τον Σεπτέμβριο, όπως διαπιστώθηκε και στα αποτελέσματα του παρόντος πειράματος.

Οι χρωστικές φωτοσύνθεσης στα φύλλα ελιάς ποικιλίας Αμφίσσης καταδεικνύουν ότι η συγκέντρωση χλωροφύλλης α, β, ολικής χλωροφύλλης και καροτενοειδών παρέμεινε σχετικά σταθερή έως τις αρχές Σεπτεμβρίου, αλλά αυξήθηκε σημαντικά στα μέσα Οκτωβρίου. Αυτή η αύξηση συνδέεται πιθανότατα με την προσαρμογή των φυτών στις μεταβαλλόμενες περιβαλλοντικές συνθήκες και την επερχόμενη φάση ωρίμανσης. Η σταθερότητα των

χρωστικών κατά την καλοκαιρινή περίοδο δείχνει την ικανότητα των δέντρων να διατηρούν τη φωτοσυνθετική τους απόδοση, ακόμη και υπό συνθήκες θερμικής και υδατικής καταπόνησης.

Σύμφωνα με τους Domínguez et al. (2022) και τους Melloni et al. (2023) η αύξηση του λόγου χλωροφύλλης α προς χλωροφύλλη β υποδηλώνει πιθανή βελτίωση της φωτοσυνθετικής δραστηριότητας των φύλλων, καθώς η χλωροφύλλη α εμπλέκεται περισσότερο στις κύριες φάσεις φωτοσύνθεσης σε σχέση με τη χλωροφύλλη β, η οποία δρα επικουρικά στη διαδικασία. Τα αποτελέσματα αυτών των ερευνών εναρμονίζονται με τα αποτελέσματα του παρόντος πειράματος υποστηρίζοντας ότι η χρήση βιοδιεγερτών μικροβιακής προέλευσης μπορεί να συμβάλει στη διατήρηση ή ακόμα και στην αύξηση της φωτοσυνθετικής απόδοσης των φύλλων των δένδρων της ελιάς.

Η συγκέντρωση των ολικών φαινολικών συστατικών στα φύλλα της ελιάς ποικιλίας Αμφίσσης διαμορφώθηκε διαφορετικά ανάλογα με τις μεταχειρίσεις και την εποχή μέτρησης. Στον μάρτυρα παρατηρήθηκε αύξηση της συγκέντρωσης φαινολικών στις αρχές Σεπτεμβρίου σε σχέση με τον Ιούλιο, κάτι που υποδηλώνει την αυξημένη απόκριση του φυτού σε περιβαλλοντικές καταπονήσεις, ενδεχομένως λόγω της αύξησης των αβιοτικών παραγόντων, όπως οι υψηλές θερμοκρασίες και η ξηρασία. Στις μεταχειρίσεις με την εφαρμογή μικροοργανισμών, τόσο στο έδαφος όσο και διαφυλλικά, δεν παρατηρήθηκαν σημαντικές διακυμάνσεις με την εποχή, υποδεικνύοντας ότι οι βιοδιεγέρτες συνέβαλαν στη σταθεροποίηση της φυσιολογικής κατάστασης του φυτού, μειώνοντας την ανάγκη για παραγωγή φαινολικών ενώσεων. Σύμφωνα με τους Nephali et al. (2020) η χρήση βιοδιεγερτών (*Rhizobium*, εκχυλίσματα φυκιών) βελτιώνει την αντοχή των φυτών σε περιβαλλοντικές καταπονήσεις και εξισορροπούν τις φυσιολογικές αντιδράσεις του φυτού, μειώνοντας την ανάγκη παραγωγής δευτερογενών μεταβολιτών, όπως τα φαινολικά. Επίσης οι El Yamani et al. (2019) συμπέραναν ότι η αύξηση των φαινολικών συστατικών αποτελεί βασικό δείκτη της αμυντικής απόκρισης των ελαιόδεντρων κατά τη διάρκεια υδατικής καταπόνησης, παρέχοντας μια σαφή ένδειξη για την αντίδραση των δέντρων της ελιάς σε δυσμενείς περιβαλλοντικές συνθήκες.

Όσον αφορά την αντιοξειδωτική ικανότητα, η μείωση που παρατηρήθηκε στις μεταχειρίσεις των βιοδιεγερτών τον Σεπτέμβριο μπορεί να σχετίζεται με την αποτελεσματικότητα των μικροοργανισμών στη μείωση του οξειδωτικού στρες που προκαλούν οι ακραίες περιβαλλοντικές συνθήκες. Αντίθετα, στον μάρτυρα δεν υπήρξαν σημαντικές διακυμάνσεις, ενισχύοντας την υπόθεση ότι οι βιοδιεγέρτες παίζουν σημαντικό ρόλο στη ρύθμιση της αντιοξειδωτικής άμυνας του φυτού. Σύμφωνα με τους Nephali et al. (2020) οι βιοδιεγέρτες βελτιώνουν την αντιοξειδωτική απόκριση των φυτών, μειώνοντας την οξειδωτική καταπόνηση που προκαλείται από αβιοτικούς παράγοντες. Επιπροσθέτως, οι El Yamani et al.

(2019) διαπίστωσαν ότι η υδατική καταπόνηση κατά τη διάρκεια της ανθοφορίας οδήγησε σε αύξηση της παραγωγής αντιοξειδωτικών ενώσεων στα φύλλα των δέντρων. Αυτή η απόκριση λειτουργεί ως μηχανισμός άμυνας των φυτών, καθώς οι αντιοξειδωτικές ενώσεις, , βοηθούν στην εξουδετέρωση των δραστικών μορφών οξυγόνου (ROS) που δημιουργούνται υπό συνθήκες περιβαλλοντικής καταπόνησης.

Η φυλλοδιαγνωστική ανάλυση παρείχε σημαντικές πληροφορίες σχετικά με τη θρεπτική κατάσταση των φύλλων ελιάς και αποδεικνύει ότι οι τρεις εξεταζόμενες μεταχειρίσεις εξασφαλίζουν επαρκή επίπεδα θρεπτικών στοιχείων. Ιδιαίτερη σημασία έχει η υψηλή συγκέντρωση ψευδαργύρου (Zn) που παρατηρείται σε όλες τις μεταχειρίσεις, η οποία υποδηλώνει μια ικανοποιητική θρεπτική κατάσταση των φυτών αντίθετα, διαπιστώθηκε χαμηλή συγκέντρωση μαγγανίου (Mn). Η εφαρμογή μικροοργανισμών στο έδαφος, καθώς και οι διαφυλλικές εφαρμογές, φαίνεται να συμβάλλουν θετικά στην αύξηση των διαθέσιμων θρεπτικών στοιχείων. Σύμφωνα με τους Tekaya et al. (2021) οι εφαρμογές βιοδιεγερτών έχουν θετική επίδραση στη θρεπτική κατάσταση των ελαιόδεντρων, όπως αποδεικνύεται μέσω φυλλοδιαγνωστικών αναλύσεων, ενισχύοντας τη μικροβιακή κοινότητα της ριζόσφαιρας και τη συνολική υγεία των φυτών.

Η ανάλυση της συνολικής παραγωγής ανά δέντρο και της παραγωγικότητας ανά μονάδα επιφάνειας διατομής κορμού, που διεξήχθη κατά τη διάρκεια του πειράματος, έδειξε ότι τα ελαιόδεντρα που ανήκαν και στις τρεις διαφορετικές μεταχειρίσεις παρουσίασαν συγκρίσιμα επίπεδα παραγωγής. Οι παρατηρήσεις αυτές, που επιβεβαιώθηκαν μέσω της στατιστικής ανάλυσης των δεδομένων, υποδηλώνουν ότι οι στρατηγικές παρέμβασης που εφαρμόστηκαν δεν επηρέασαν αρνητικά την απόδοση των δέντρων. Σύμφωνα με τους Graziani et al. (2022) η εφαρμογή βιοδιεγερτών (εκχυλίσματα φυκιών, αμινοξέα, χουμικά οξέα, μυκόρριζες και βακτήρια), στα νεαρά ελαιόδεντρα αποδείχθηκε ότι βελτιώνει σημαντικά την ανάπτυξή τους, καθώς και την παραγωγή τους υπό συνθήκες αβιοτικών καταπονήσεων. Οι βιοδιεγέρτες φαίνεται να ενισχύουν τις φυσιολογικές λειτουργίες των φυτών, οδηγώντας σε αύξηση της ρίζας και της βλάστησης, γεγονός που συνεπάγεται αύξηση της συνολικής παραγωγής. Ωστόσο, στην παρούσα μελέτη υπάρχουν ενδείξεις αυξημένης παραγωγικότητας των δέντρων που εφαρμόστηκαν οι μικροοργανισμοί έναντι το μάρτυρα, αλλά χρειάζεται περεταίρω διερεύνηση. Αναφορικά με τα ποιοτικά χαρακτηριστικά των πράσινων καρπών ελιάς, δεν παρατηρήθηκαν σημαντικές διαφορές στις παραμέτρους χρώματος του επικαρπίου (L^* , C^* και Hue) μεταξύ των τριών διαφορετικών μεταχειρίσεων. Σύμφωνα με τους Sharma et al. (2011) οι βιοδιεγέρτες (εκχυλίσματα φυκιών, τα αμινοξέα και τα χουμικά οξέα) επηρέασαν σημαντικά διάφορες παραμέτρους ποιότητας, όπως το μέγεθος του καρπού, τον λόγο σάρκας/πυρήνα και την

καρπόδεση. Ωστόσο, δεν παρατηρήθηκαν αξιοσημείωτες αλλαγές στα χαρακτηριστικά του χρώματος, όπως η φωτεινότητα (L^*), η χρωματικότητα (C^*) ή η γωνία απόχρωσης (Hue) του επικαρπίου της ελιάς μεταξύ των διαφορετικών μεταχειρίσεων. Ωστόσο, παρατηρήθηκαν σημαντικές διαφορές στη σκληρότητα της σάρκας, με τους καρπούς που προέρχονταν από τα δένδρα που υποβλήθηκαν σε διαφυλλική ή εδαφική εφαρμογή μικροοργανισμών να παρουσιάζουν μικρότερη σκληρότητα σε σύγκριση με τον μάρτυρα. Παρόμοια αποτελέσματα είχαν και οι Al-Saif et al. (2023) διαπιστώνοντας ότι η διαφυλλική και η εφαρμογή στο έδαφος βιοδιεγερτών (εκχυλίσματα φυκιών, αμινοξέα) οδήγησε στη μείωση της σκληρότητας της σάρκας των καρπών ελιάς σε σύγκριση με τους μάρτυρες. Αξιοσημείωτο είναι το γεγονός ότι οι καρποί από τα δένδρα που δέχτηκαν διαφυλλική εφαρμογή μικροοργανισμών παρουσίασαν σημαντικά υψηλότερο λόγο σάρκας προς πυρήνα. Η αύξηση αυτού του δείκτη, που είναι σημαντικός για την ποιότητα και την εμπορική αξία των καρπών, πιθανόν μπορεί να αποδοθεί στην ενισχυμένη θρέψη που παρέχουν οι διαφυλλικοί μικροοργανισμοί αν και δεν παρατηρήθηκαν διαφορές στη θρεπτική κατάσταση των φύλλων μεταξύ των μεταχειρίσεων. Παρόμοια αποτελέσματα έχουν αναφερθεί στη μελέτη των Dias et al. (2022), όπου οι βιοδιεγέρτες βελτίωσαν τα χαρακτηριστικά των καρπών και την ποιότητα του ελαιόλαδου, συμβάλλοντας στην αύξηση του λόγου σάρκας προς πυρήνα.

Σχετικά με τα χαρακτηριστικά του ενδοκαρπίου των πράσινων καρπών ελιάς, το πείραμα έδειξε ότι η διαφυλλική εφαρμογή μικροοργανισμών έχει σημαντική επίδραση ποιοτικές παραμέτρους των καρπών. Σε πολλές περιπτώσεις, η διαφυλλική εφαρμογή έχει συνδεθεί με τη μείωση του βάρους του ενδοκαρπίου, όπως και με μειωμένα ποσοστά ξηρού βάρους. Το γεγονός αυτό αποδεικνύει ότι οι εφαρμογές βιοδιεγερτών μπορούν να επηρεάσουν την ανάπτυξη και την ποιότητα των καρπών ελιάς, προσφέροντας ενδιάμεσες ή βελτιωμένες τιμές σε σχέση με τις παραδοσιακές μεθόδους καλλιέργειας. Οι Dias et al. (2022) αναφέρει αντίστοιχα αποτελέσματα με τη χρήση βιοδιεγερτών στην καλλιέργεια ελιάς έχοντας παρόμοιες παρατηρήσεις σχετικά με το ενδοκάρπιο και την ποιότητα των καρπών.

Για τους ξανθούς καρπούς ελιάς οι παράμετροι του χρώματος του επικαρπίου, συγκεκριμένα οι τιμές L^* , C^* και Hue, δεν παρουσίασαν στατιστικές σημαντικές διαφοροποιήσεις μεταξύ των τριών μεταχειρίσεων, αντίστοιχα αποτελέσματα παρουσίασε και η μελέτη των Dias et al. (2022). Επίσης, δεν υπήρξαν σημαντικές διαφοροποιήσεις στο βάρος, το μήκος, το πλάτος, τον λόγο μήκος/πλάτος, καθώς και στο ποσοστό ξηρού βάρους του περικαρπίου. Σχετικά με το ενδοκάρπιο, οι μεταχειρίσεις δεν παρουσίασαν σημαντικές διαφοροποιήσεις στο μήκος, το πλάτος, τον λόγο μήκος/πλάτος, και το ποσοστό ξηρού βάρους. Ωστόσο, οι ξανθοί καρποί από δένδρα που υποβλήθηκαν σε διαφυλλική εφαρμογή

μικροοργανισμών παρουσίασαν σημαντικά υψηλότερο λόγο σάρκας προς πυρήνα σε σύγκριση με τις άλλες δύο μεταχειρίσεις. Παρόμοια αποτελέσματα έχουν αναφερθεί στη μελέτη των Dias et al. (2022), όπου οι βιοδιεγέρτες βελτίωσαν τα χαρακτηριστικά των καρπών και την ποιότητα του ελαιόλαδου, συμβάλλοντας στην αύξηση του λόγου σάρκας προς πυρήνα.

Για τα ποιοτικά χαρακτηριστικά των μαύρων καρπών ελιάς στα οποία εφαρμόστηκαν διαφυλλικά βιοδιεγέρτες τα αποτελέσματα του πειράματος έδειξαν ότι οι καρποί αυτοί παρουσίασαν βελτιωμένες παραμέτρους χρώματος, συγκεκριμένα υψηλότερη τιμή L^* και χαμηλότερη τιμή Hue, γεγονός που δείχνει την παρουσία πιο φωτεινού μελανοϊώδους χρώματος του επικαρπίου σε σύγκριση με τις άλλες μεταχειρίσεις. Επιπλέον, τα υπόλοιπα ποιοτικά χαρακτηριστικά, όπως το βάρος, το μήκος, το πλάτος, ο λόγος μήκους/πλάτους, το ποσοστό ξηρού βάρους του περικαρπίου και ο λόγος σάρκας/πυρήνα παρέμειναν σταθερά και δεν παρουσίασαν σημαντικές διαφορές μεταξύ των τριών μεταχειρίσεων.

Τα αποτελέσματα υποδεικνύουν ότι η διαφυλλική εφαρμογή μικροοργανισμών μπορεί να βελτιώσει ορισμένα ποιοτικά χαρακτηριστικά των μαύρων καρπών ελιάς. Αντίστοιχα πορίσματα αναφέρουν οι Al-Saif et al. (2023) στην οποία η διαφυλλική εφαρμογή βελτίωσε την εξωτερική εμφάνιση και ορισμένα ποιοτικά χαρακτηριστικά των μαύρων καρπών ελιάς.

Σύμφωνα με τα αποτελέσματα του παρόντος πειράματος, η αντιοξειδωτική ικανότητα των καρπών σε διαφορετικά στάδια ωρίμανσης, δηλαδή πράσινο, ξανθό και μαύρο, δεν καταδεικνύουν σαφή τάση αύξησης ή μείωσης με την ωρίμανση. Σύμφωνα με τον μάρτυρα, οι πράσινοι και ξανθοί καρποί παρουσίασαν παρόμοιες τιμές, ενώ η εφαρμογή μικροοργανισμών στο έδαφος βελτίωσε την αντιοξειδωτική ικανότητα των ξανθών καρπών συγκριτικά με τους πράσινους. Αντίθετα, οι πράσινοι καρποί παρουσίασαν υψηλότερη ικανότητα όταν εφαρμόστηκαν οι μικροοργανισμοί διαφυλλικά. Οι Del Río et al. (2003) διαπίστωσαν ότι στους ξανθούς καρπούς των ελαιόδεντρων, η εφαρμογή διαφόρων βιοδιεγερτών οδήγησε σε σημαντική αύξηση των φαινολικών ενώσεων, γνωστές για την ισχυρή αντιοξειδωτική και αντιμικροβιακή τους δράση. Στους μαύρους καρπούς, παρατηρήθηκε η χαμηλότερη αντιοξειδωτική ικανότητα σε όλες τις μεταχειρίσεις, με τις επεμβάσεις των μικροοργανισμών να δείχνουν βελτιωμένα αποτελέσματα σε σχέση με τον μάρτυρα. Σύμφωνα με τα ευρήματα της έρευνας των Cirillo et al. (2022) η εφαρμογή βιοδιεγερτών ενίσχυσε τη σύνθεση φαινολικών ενώσεων, οι οποίες είναι γνωστό ότι συμβάλλουν στην αντιοξειδωτική ικανότητα.

Ο δείκτης ωριμότητας των καρπών ελιάς ποικιλίας Αμφίσσης δεν παρουσίασε σημαντικές διαφοροποιήσεις μεταξύ των διαφόρων μεταχειρίσεων. Όσον αφορά την ελαιοπεριεκτικότητα, εκφρασμένη επί του ξηρού βάρους του περικαρπίου, παρατηρήθηκαν διαφοροποιήσεις με την

υψηλότερη ελαιοπεριεκτικότητα να καταγράφεται στη μεταχείριση της εφαρμογής μικροοργανισμών στο έδαφος. Ο μάρτυρας παρουσίασε ενδιάμεσες τιμές ελαιοπεριεκτικότητας, ενώ η διαφυλλική εφαρμογή μικροοργανισμών εμφάνισε τη χαμηλότερη τιμή. Σύμφωνα με τους Bizos et al. (2020) οι μικροοργανισμοί που εφαρμόστηκαν στο έδαφος (*Pseudomonas*, *Rhizobium*) αύξησαν τη φωτοσυνθετική απόδοση των φυτών, η οποία συνδέθηκε με την αύξηση της βιομάζας και της ελαιοπεριεκτικότητας στους πράσινους καρπούς ελιάς κατά τα αρχικά στάδια ανάπτυξης.

Η εφαρμογή μικροοργανισμών τόσο στο έδαφος όσο και διαφυλλικά συνέβαλε σημαντικά στη μείωση της προσβολής από δάκο σε καρπούς ελιάς ποικιλίας Αμφίσσης. Σύμφωνα με τους Corrado et al. (2012) η έρευνα εντόπισε αρκετά γονίδια και πρωτεΐνες που ενεργοποιούνται ως αντίδραση στη σίτιση από τις προνύμφες του δάκου. Αυτές οι αντιδράσεις περιλαμβάνουν την παραγωγή δραστικών μορφών οξυγόνου (ROS), την ενεργοποίηση μονοπατιών απόκρισης σε στρες. Η ενεργοποίηση των αναστολέων της τρυψίνης, πρωτεϊνών που παίζουν σημαντικό ρόλο στην άμεση άμυνα του ελαιοκάρπου απέναντι στα παθογόνα, όπως ο δάκος. Οι Almadí et al. (2020) διαπίστωσαν ότι η εφαρμογή βιοδιεγερτών οδήγησε σε αυξημένες φυσιολογικές αντιδράσεις, ενεργοποιώντας βιοχημικές οδούς που εμπλέκονται συχνά στη ρύθμιση ενζύμων όπως η τρυψίνη, τα οποία είναι κρίσιμη για τον μεταβολισμό των πρωτεϊνών και τις αντιδράσεις των φυτών στο στρες. Επιπροσθέτως, οι Graziani et al. (2022) αναφέρουν ότι η εφαρμογή βιοδιεγερτών επηρέασε τα επίπεδα των ROS αυξάνοντάς τα, γεγονός που με τη σειρά του ενίσχυσε τους αμυντικούς μηχανισμούς των φυτών απέναντι σε στρεσογόνους παράγοντες, με αποτέλεσμα η χρήση των βιοδιεγερτών να προάγει την παραγωγή ουσιών που ενισχύουν τα φυτά της ελιάς στις προσβολές από παθογόνα και μειώνοντας τις προσβολές από δάκο. Παρόλο αυτά το θέμα χρήζει περεταίρω έρευνας και πειραματισμού.

Τέλος, η μέτρηση της οξύτητας και της συγκέντρωσης των ολικών φαινολικών στο ελαιόλαδο μετά από 5 μήνες αποθήκευσης έδειξε ότι η διαφυλλική εφαρμογή μικροοργανισμών βελτίωσε την ποιότητα του ελαιολάδου. Συγκεκριμένα, η οξύτητα ήταν χαμηλότερη, υποδεικνύοντας ανώτερη ποιότητα του παραγόμενου ελαιολάδου.

Σε αντίθεση η εφαρμογή μικροοργανισμών στο έδαφος παρουσίασε μέτρια αποτελέσματα, ενώ ο μάρτυρας κατέγραψε την υψηλότερη οξύτητα. Σε σχέση με την συγκέντρωση των ολικών φαινολικών το ελαιόλαδο προερχόμενο από τη διαφυλλική εφαρμογή παρουσίασε την υψηλότερη τιμή ενισχύοντας την αντιοξειδωτική του ικανότητα γεγονός που μπορεί να συμβάλει στην σταθερότητα και συντηρησιμότητα του ελαιολάδου. Αυτή η παρατήρηση μπορεί να συσχετιστεί με τα ευρήματα της μελέτης των Cirillo et al. (2022), η οποία δείχνει ότι οι διαφυλλικές εφαρμογές βιοδιεγερτών οδηγούν σε σημαντική αύξηση των φαινολικών ενώσεων

στο ελαιόλαδο, με την χρήση των βιοδιεγερτών να αυξάνουν τη συγκέντρωση των πολυφαινολών έως και 41% σε σχέση με τον μάρτυρα. Αξιοσημείωτο είναι επίσης ότι αυτές οι εφαρμογές μπορούν να επηρεάσουν την οξύτητα του ελαιολάδου. Οι εφαρμογές βιοδιεγερτών συνδέονται με χαμηλότερα επίπεδα οξύτητας σε σύγκριση με τον μάρτυρα, υποδεικνύοντας βελτιωμένη ποιότητα ελαιολάδου. Τα ευρήματα της παρούσας διατριβής υποστηρίζουν την άποψη ότι η διαφυλλική εφαρμογή μικροοργανισμών μπορεί να έχει ευεργετική επίδραση στην ποιότητα του ελαιολάδου, μειώνοντας την οξύτητα και ενισχύοντας τη συγκέντρωση φαινολικών ενώσεων. Ενώσεις που συμβάλλουν στις αντιοξειδωτικές ιδιότητες και την γευστική αξία του ελαιολάδου, προσφέροντας σημαντικά οφέλη για την παραγωγή και την καλλιέργεια ελαιόδεντρων.

5. Συμπεράσματα

Η παρούσα μεταπτυχιακή διατριβή παρέχει πολύτιμα δεδομένα σχετικά με την εφαρμογή βιοδιεγερτών μικροβιακής φύσεως στους ελαιώνες, εστιάζοντας στην παραγωγικότητα και την ποιότητα των ελαιόκαρπων και παρουσιάζονται στη συνέχεια τα κυριότερα συμπεράσματα:

- Συνολικά, οι εφαρμογές μικροοργανισμών τόσο στο έδαφος όσο και με διαφυλλική εφαρμογή συνέβαλαν στη βελτίωση της διαχείρισης του υδατικού δυναμικού και στην αντιμετώπιση των αρνητικών επιπτώσεων των υψηλών θερμοκρασιών, μειώνοντας την καταπόνηση που υφίστανται τα ελαιόδεντρα σε δυσμενείς περιβαλλοντικές συνθήκες.
- Η εφαρμογή μικροοργανισμών στο έδαφος βελτίωσε τις φυσιολογικές λειτουργίες των φύλλων στα μέσα του καλοκαιριού και το ποσοστό ξηράς ουσίας των φύλλων υποδεικνύοντας βελτιωμένη φωτοσυνθετική ικανότητα των φύλλων.
- Η εφαρμογή των μικροοργανισμών στην καλλιέργεια της ελιάς, ειδικά στην ποικιλία Αμφίσσης, βελτίωσε ελαφρώς την παραγωγικότητα των δέντρων και κάποιες παραμέτρους της ποιότητας των καρπών, στη μεταχείριση της εφαρμογής μικροοργανισμών στο έδαφος οι καρποί εμφάνισαν αυξημένη ελαιοπεριεκτικότητα, ενώ εντυπωσιακό ήταν το γεγονός ότι οι καρποί των δέντρων που δέχτηκαν τα σκευάσματα των μικροοργανισμών είχαν σημαντικά μειωμένες προσβολές από τον δάκο σε σχέση με τον μάρτυρα.
- Η εφαρμογή των μικροοργανισμών προήγαγε την αύξηση της συγκέντρωσης πολυφαινολών στους καρπούς, οι οποίες είναι σημαντικοί δείκτες της αντιοξειδωτικής ικανότητας και της ποιότητας του ελαιολάδου.
- Η εφαρμογή των μικροοργανισμών βελτίωσε την ποιότητα του ελαιολάδου καθώς μείωσε την οξύτητά του και αύξησε στην περίπτωση της διαφυλλικής εφαρμογής τη

συγκέντρωση των φαινολών, γεγονός που σχετίζεται με τη βελτίωση της οργανοληπτικής ποιότητας και της σταθερότητας του προϊόντος κατά την αποθήκευση.

- Αυτά τα δεδομένα ενισχύουν την αποτελεσματικότητα της διαφυλλικής χορήγησης βιοδιεγερτών και υπογραμμίζουν τη δυναμική τους στην ενίσχυση της θρεπτικής και αντιοξειδωτικής αξίας των ελαιόκαρπων, καθιστώντας τους μια κατάλληλη τεχνική για τη βελτιστοποίηση της ποιότητας του παραγόμενου ελαιολάδου.

Η χρήση βιοδιεγερτών ως φιλοπεριβαλλοντική μέθοδος προάγει την αειφορία στη γεωργία, περιορίζοντας τη χρήση χημικών λιπασμάτων. Με αυτόν τον τρόπο, μειώνεται η ρύπανση του περιβάλλοντος και το κόστος της λίπανσης και άρδευσης που απαιτείται για την κάλυψη των αναγκών των ελαιόδεντρων σε εμπορικούς ελαιώνες. Παρά τα ενθαρρυντικά αποτελέσματα, απαιτείται περαιτέρω έρευνα για την πλήρη κατανόηση των μηχανισμών δράσης τους και της επίδρασής τους σε διαφορετικές συνθήκες καλλιέργειας. Η σημασία της βιώσιμης γεωργίας και των καινοτόμων μεθόδων στη διαχείριση των ελαιώνων αναδεικνύεται ως καθοριστικός παράγοντας για την εξασφάλιση παραγωγής υψηλής ποιότητας ελαιολάδου σε αντίξοες κλιματικές συνθήκες. Φυσικά, το θέμα αυτό απαιτεί συστηματική και μακροχρόνια μελέτη.

6. Βιβλιογραφία

Ξένη Βιβλιογραφία

Albrecht, U., 2019. Plant Biostimulants: Definition and Overview of Categories and Effects. *UF/IFAS Horticultural Sciences Department*, pp. 1-4.

Almadi, L. και συν., 2020. A Biostimulant Based on Protein Hydrolysates Promotes the Growth of Young Olive Trees.. *Agriculture 10*:618.

Al-Saif, A., Ali, M., Ben, A. & Mosa, W., 2023. Influence of Spraying Some Biostimulants on Yield, Fruit Quality, Oil Fruit Content and Nutritional Status of Olive (*Olea europea* L.) under Salinity.. *Horticulturae 9* (7):825.

Baldoni , L. και συν., 2006. Genetic structure of wild and cultivated olives in the central Mediterranean basin. *Annals of Botany 31*, pp. 935-942.

Bizos , G. και συν., 2020. The Role of Microbial Inoculants on Plant Protection, Growth Stimulation and Crop Productivity of the Olive Tree (*Olea europea* L.). *Plants 9* (6):743.

Bosabalidis , A. & Kofidis , G., 2002. Comparative effects of drought stress on leaf anatomy of two olive cultivars. *Plant Science 163*, pp. 375-379.

Bracci, T., Sebastiani, L., Busconi, M. & Fogher, C., 2009. SSR markers reveal the uniqueness of olive cultivars from the Italian region of Liguria. *Scientia Horticulturae 122*, pp. 209-215.

Brand- Williams, W., Cuvelier , M. & Berset , C., 1995. Use of a radical method to evaluate antioxidant activity. *LWT - Food Science and Technology 28*(1), pp. 25-30.

Brito , M. και συν., 2018. Kaolin particle film modulates morphological, physiological and biochemical olive trees responses to drought and rewatering. *Plant Physiology and Biochemistry 133*, pp. 29-39.

Brito, C. και συν., 2018. Kaolin particle film modulates morphological, physiological and biochemical olive tree responses to drought and rewatering. *Plant Physiol. Biochem. 133*, pp. 29-39.

Brito, C., Dinis, L.-T., Moutinho-Pereira, J. & Correia, C., 2019. Kaolin , an emerging tool to alleviate the effects of abiotic stresses on crop performance.. *Sci. Hortic. 250*, pp. 310-316.

Calvo , P., Nelson , L. & Kloepper, J., 2014. Agricultural uses of plant biostimulants. *Plant and Soil 383* (1-2), pp. 3-41.

- Canellas, L. & Olivares, F., 2014. Physiological responses to humic substances as plant growth promoter. *Chemical and Biological Technologies in Agriculture* 1(3).
- Chartzoulakis, K., Bosabalidis, A., Patakas, A. & Vemmos, S., 2000. Effects of water stress on water relations, gas exchange and leaf structure of olive tree. *Acta Horticulturae* 537, pp. 241-247.
- Chaves, M., Maroco, J. & Rereira, J., 2003. Understanding plant responses to drought- From genes to whole plant. *Functional Plant Biology* 30(3):239.
- Choudhury, A. & Kennedy, I., 2005. Nitrogen Fertilizer Losses from Rice Soils and Control of Environmental Pollution Problems. *Communications in Soil Science and Plant Analysis* 36, pp. 1625-1639.
- Chouliaras, V. και συν., 2009. The effects of seaweed extract in addition to nitrogen and boron fertilization on productivity, fruit maturation, leaf nutritional status and oil quality of the olive (*Olea europaea* L.) cultivar Koroneiki. *Journal of the Science of Food and Agriculture* 89, pp. 984-988.
- Cirillo, A. και συν., 2022. Biostimulants Application on *Olea europaea* L. in Mediterranean Conditions Increase the Production and Bioactive Compounds of Drupes and Oil. *Agriculture* 12:2173.
- Colla, G. και συν., 2017. Biostimulant Action of Protein Hydrolysates: Unraveling Their Effects on Plant Physiology and Microbiome. *Frontiers in Plant Science* 8:2202.
- Conde, C., Derlot, S. & Gerós, H., 2009. Physiological, biochemical and molecular changes occurring during olive development and ripening. *Journal of Plant Physiology* 165(15), pp. 1545-1562.
- Connor, D. & Fereres, E., 2005. The physiology of adaptation and yield expression in olive. *Horticultural Reviews* 31, pp. 155-229.
- Connor, D. & Fereres, E., 2010. The Physiology of Adaptation and Yield Expression in Olive. *Horticultural Reviews* 31, p. 155-229.
- Corrado, G. και συν., 2012. Molecular interactions between the olive and fruit fly *Bactrocera oleae*. *BMC Plant Biology* 12 (86).
- Cuevas, J. & Polito, V., 2004. The role of staminate flowers in the breeding system of olive (*Olea europaea* L.). *Annals of Botany* 93(4), pp. 547-553.

- Del Río, J., Báidez, A., Botía, J. & Ortuño, A., 2003. Enhancement of phenolic compounds in olive plants (*Olea europaea* L.) and their influence on resistance against *Phytophthora* sp.. *Food and Chemistry* 83(1), pp. 75-78.
- Dias, M., Araújo, M., Silva, S. & Santos, C., 2022. Sustainable Olive Culture under Climate Change: The Potential of Biostimulants. *Horticulturae* 8(11):1048.
- Dias, M., Araújo, M. & Ma, Y., 2024. A bio-based strategy for sustainable olive performance under water deficit conditions. *Plant stress* 11:100342.
- Dias, M., Silva, S., Galhano, C. & Lorenzo, P., 2024. Olive Tree Belowground Microbiota: Plant Growth-Promoting Bacteria and Fungi. *Plants* 13 (13):1848.
- Dini, I. και συν., 2020. Effects of Trichoderma biostimulation on the phenolic profile of Extra-Virgin Olive Oil and olive oil by-products. *Antioxidants* 9, p. 284.
- Domínguez, M., Aponte, C. & Pérez-Ramos, I., 2012. Relationships between leaf morphological traits, nutrient concentrations and isotopic signatures for Mediterranean woody plant species and communities. *Plant Soil* 357 (1-2), pp. 407-424.
- Du Jardin, P., 2015. Plants Biostimulants: Definition, Concept, Main Categories and Regulations. *Scientia Horticultura* 196, pp. 3-14.
- El Yamani, M., Sakar, E. H., Boussakouran, A. & Rharrabti, Y., 2019. Physiological and biochemical responses of young olive trees (*Olea europaea* L.) to water stress during flowering. *Archives of Biological Sciences* 71, pp. 123-132.
- Fernandez, J. & Moreno, F., 1999. Water Use by Olive Trees. *Journal of Crop Production* 2, pp. 101-162.
- Flexas, J. και συν., 2006. Keeping a positive carbon balance under adverse conditions: responses of photosynthesis and respiration to water stress. *Physiologia Plantarum* 127(3), p. 343-352.
- Ganino, T., Bartolini, G. & Fabri, A., 2006. The classification of olive germplasm. *The Journal of Horticultural Science and Biotechnology* 81, pp. 319-334.
- Giusti, M. & Wrolstad, R., 1995. Radish anthocyanin extract as a natural red colorant for maraschino cherries. *Journal of Food Science* 61, pp. 688-694.

- Grammenou, A., Petropoulos, S. & Thalassinou, G., 2023. Biostimulants in the Soil-Plant Interface: Agro-environmental Implications-A Review. *Earth Systems and Environment* 7, pp. 583-600.
- Graziani, G. και συν., 2022. Biostimulants improve plant growth and bioactive compounds of young olive trees under abiotic stress conditions. *Agriculture* 12 (2):227.
- Guerfel, M. και συν., 2009. Impacts of water stress on gas exchange, water relations, chlorophyll content and leaf structure in the two main Tunisian olive (*Olea europaea* L.) cultivars. *Scientia Horticulturae* 119, pp. 257-263.
- Hellquin, E., Monard, C. & Chronic, M., 2020. Responses of active soil microorganisms facing to a soil biostimulant input compared to plant legacy effects. *Scientific Reports* 10:13727.
- Hernandez, G., Salazar, D., Tomé, J. & López-Cortés, I., 2019. The Use of Biostimulants in High-density Olive Growing: Quality and Production. *Asian Journal of Advances in Agricultural Research*, pp. 1-14.
- International Olive Council, 2011. *COI/OH/Doc. No.1. Guide for the determination of characteristics of oil- olives*. Madrid: s.n.
- International Olive Oil Council, 2004. *Trade Standard Applying to Table Olives*. Madrid: IOOC: s.n.
- Loumou, A. & Giourga, C., 2003. Olive groves "The life and identity of the Mediterranean".. *Agriculture and Human Values* 20, pp. 87-95.
- McGuire, R., 1992. Reporting of objective color measurements. *HortScience* 27, pp. 1254-1255.
- Melloni, R. & Cardoso, E., 2023. Microbiome Associated with Olive Cultivation: A Review. *Plants* 12(4):897.
- Moreno-Alias, I., Rapoport, H. & Fernández- Escobar, R., 2012. Flowering and fruit set in olive as influenced by different tree nutrient status. *Acta Horticulturae* 949, pp. 201-204.
- Nephali, L. και συν., 2020. Biostimulants for Plant Growth and Mitigation of Abiotic Stresses: A Metabolomics Perspective. *Metabolites* 10(12):505.
- Nogués, S. & Baker, N., 2000. Effects of drought on photosynthesis in Mediterranean plants grown under enhanced UV-B radiation. *Journal of Experimental Botany* 51, pp. 1309-1317.
- Papiomitoglou, V., 2006. *Wild Flowers of Greece*. Rethymno Crete: Mediterraneo Editions.

- Pittarello, M. και συν., 2024. Olive Tree Physiology and Productivity Responses under No-Tillage or Digestate Amendment in an Acid Clay Soil. *Soil Systems* 8 (13).
- Rallo, L., Riachy , M. & Rallo, P., 2011. The Time and Place for Fruit Quality in Olive Breeding. *Breeding for Fruit Quality*, pp. 323-347.
- Rodrigues , M., Raimundo , S., Correia, C. & Arrobas, M., 2024. Nitrogen Fixation and Growth of Potted Olive Plants through Foliar Application of a Nitrogen-Fixing Microorganism. *Horticulturae* 10(6), p. 604.
- Roubos , K., Moustakas, M. & Aravanopoulos, F., 2010. Molecular identification of Greek olive (*Olea europaea*) cultivars based on microsatellite loci. Genetics and molecular research. *Genetic and Molecular Research* 9 (3), pp. 1865-1876.
- Rouphael, Y., Cardarelli, M., Bonini, P. & Colla, G., 2017. Synergistic Action of a Microbial-based Biostimulant and a Plant Derived-Protein Hydrolysate Enhances Lettuce Tolerance to Alkalinity and Salinity. *Frontiers in Plant Science* 8:131.
- Rouphael, Y. & Colla , G., 2020. Editorial: Biostimulants in Agriculture. *Frontiers in Plant Science* 11, pp. 1-7.
- Rouphael, Y. & Colla, G., 2020. Towards a Sustainable Agriculture Through Plant Biostimulants: From Data to Practical Applications. *Agronomy* 10:1461.
- Roy, D., 2024. Role of Biostimulants towards Sustainable Agriculture: A Review. *Food and Scientific Reports* 5, pp. 47-52.
- Sarri, V., Porceddu, A. & Cultera, N., 2006. Microsatellite markers are powerful tools for discriminating among cultivars and assigning them geographically defined populations. *Genome* 49, pp. 1606-1615.
- Sharma, N., Singh, K. & Thakur, A., 2011. Growth, fruit set, yield and fruit quality of olives (*Olea europaea* L.) as influenced by nutrients and biostimulants under rainfed condition. *Acta Horticulturae* 890, pp. 385-392.
- Swain, T. & Hillis, W., 1959. The phenolic constituents of *Prunus domestica*. *Journal of Science of Food and Agriculture* 10, pp. 63-68.
- Tekaya , M. και συν., 2021. Foliar application of fertilizers and biostimulant has a strong impact on the olive (*Olea europaea*) rhizosphere microbial community profile and the abundance of arbuscular mycorrhizal fungi. *Rhizosphere* 19:100402.

- Therios, I., 2009. *Olives: Crop production Science in Horticulture (1st Edition)*. Wallingford, Oxfordshire, United Kingdom: Cabi.
- Tous, J., 2018. High plnting density trial with olive cultivar 'Arbequina'. *Acta Horticulturae*, pp. 285-290.
- Wenters, J. & Hillis, W., 1965. Spectrophotometric characteristics of chlorophyll and their pheophytins in ethanol. *Wenters, J. F. G. M., & De Mots, A. (1965). Spectrophotometric characteristics of chlorophylls a and b and their pheophytins iBiochimica et Biophysica Acta (BBA) - Biophysics Including Photosynthesis, 109(2), pp. 448-453.*
- Xiong Q., H. J., Wei , H., Zhang , H. & Zhu , J., 2021. Relationship between Plant Roots, Rhizosphere Microorganisms, and Nitrogen and Its Special Focus on Rice. *Agriculture 11(3):234*.
- Βέμμος, Σ. & Ρούσσο, Π., 2017. *Το ελαιόλαδο- Εγκυκλοπαίδεια Ελαιοκομίας*. s.l.:Άξιον Εκδοτική .
- Θέριος, Ι., 2006. *Ελαιοκομία*. s.l.:Γαρταγάνης.
- Κυρατσάκης, Α., 2007. *Ελαιόλαδο, βρώσιμη ελιά και πάστα ελιάς*. s.l.:Αυτοέκδοση.
- Μετζιδάκης, Ι., Σεργεντάνη , Χ. & Κουμπούρης, Γ., 2021. *Εγχειρίδιο Μορφολογικών Χαρακτηριστικών Ποικιλιών Ελιάς..* s.l.:Ινστιτούτο Ελιάς, Υποτροπικών Φυτών και Αμπέλου. Ελληνικός Γεωργικός Οργανισμός «Δήμητρα».
- Μπαλατσούρας, Γ., 1994. *Το ελαιόδεντρο. Σύγχρονη ελαιοκομία Ι (το ελαιόδενδρο- το ελαιόλαδο- η επιτραπέζια ελιά)*. s.l.:Πελεκάνος.
- Μπουράνης , Δ., 2014. *Θρέψη των Καλλιεργούμενων Φυτών, Η μοριακή και φυσιολογική βάση της αποδοτικότητας της χρήσης των θρεπτικών στοιχείων από τα καλλιεργούμενα φυτά*. s.l.:Utopia.
- Νεβεσκιώτης , Θ. Σ., 2011. *Ημερήσια διακύμανση των αντιοξειδωτικών και των νιτρικών σε φυτά μαρουλιού σε σχέση με τη λίπανση με άζωτο και ασβέστιο*. Θεσσαλονίκη : Μεταπτυχιακή διατριβή.
- Ρούσσης, Ι. & Μπαδέκα , Α., 2020. *Σημειώσεις Εργαστηρίου Ανάλυσης και Τεχνολογίας Τροφίμων*. s.l.:Τμήμα Χημείας, Πανεπιστήμιο Ιωαννίνων.

Ιστότοποι

Εθνική Μετεωρολογική Υπηρεσία Ε.Μ.Υ. <http://www.emy.gr>