



ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΘΕΣΣΑΛΙΑΣ

ΣΧΟΛΗ ΓΕΩΠΟΝΙΚΩΝ ΕΠΙΣΤΗΜΩΝ

**ΤΜΗΜΑ ΓΕΩΠΟΝΙΑΣ ΦΥΤΙΚΗΣ ΠΑΡΑΓΩΓΗΣ & ΑΓΡΟΤΙΚΟΥ
ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝΤΟΣ**

ΠΡΟΓΡΑΜΜΑ ΜΕΤΑΠΤΥΧΙΑΚΩΝ ΣΠΟΥΔΩΝ

«Αειφόρος και Βιώσιμη Φυτική Παραγωγή»

ΕΡΓΑΣΤΗΡΙΟ ΔΕΝΔΡΟΚΟΜΙΑΣ

ΜΕΤΑΠΤΥΧΙΑΚΗ ΔΙΑΤΡΙΒΗ ΕΙΔΙΚΕΥΣΗΣ

Βελτίωση της διαχείρισης και αποτελεσματικότητας της άρδευσης στην καρυδιά

ΧΑΡΑΛΑΜΠΟΣ ΨΑΡΟΓΙΑΝΝΗΣ

Βόλος, 2022

«Improvements in irrigation water management and use efficiency in walnut»

ΨΑΡΟΓΙΑΝΝΗΣ ΧΑΡΑΛΑΜΠΟΣ

Τριμελής Συμβουλευτική Επιτροπή

Επιβλέπων: ΝΑΝΟΣ Γεώργιος, Καθηγητής, Τμήμα Γεωπονίας Φυτικής Παραγωγής & Αγροτικού Περιβάλλοντος, Σχολή Γεωπονικών Επιστημών, Πανεπιστήμιο Θεσσαλίας

ΔΑΝΑΛΑΤΟΣ Νικόλαος, Καθηγητής, Τμήμα Γεωπονίας Φυτικής Παραγωγής & Αγροτικού Περιβάλλοντος, Σχολή Γεωπονικών Επιστημών, Πανεπιστήμιο Θεσσαλίας

ΜΑΛΕΤΣΙΚΑ Περσεφόνη, Επίκ. Καθηγήτρια, Τμήμα Γεωπονίας Φυτικής Παραγωγής & Αγροτικού Περιβάλλοντος, Σχολή Γεωπονικών Επιστημών, Πανεπιστήμιο Θεσσαλίας

Copyright © ΨΑΡΟΓΙΑΝΝΗΣ ΧΑΡΑΛΑΜΠΟΣ, 2022.

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.

Ευχαριστίες

Θα ήθελα να ευχαριστήσω θερμά τον επιβλέποντα Καθηγητή κ. ΝΑΝΟ Γεώργιο, για τον πολύτιμο χρόνο που διέθεσε και για τη σημαντικότερη καθοδήγηση, την επιστημονική υποστήριξη και την αμέριστη συμπαράσταση που μου προσέφερε καθ' όλη τη διάρκεια της διατριβής μου.

Θερμές ευχαριστίες θα ήθελα να εκφράσω στην Επίκουρο Καθηγήτρια κα. ΜΑΛΕΤΣΙΚΑ Περσεφόνη, για τις πολύτιμες συμβουλές της, τις γνώσεις της και για τον πολύτιμο προσωπικό της χρόνο που διέθεσε και με βοήθησε στην υλοποίηση των μετρήσεων και την συγγραφής της μελέτης αυτής.

Επιπλέον, θερμές ευχαριστίες οφείλω στο μέλος της τριμερούς επιτροπής Καθηγητή κ ΔΑΝΑΛΑΤΟ Νικόλαο, για τις εύστοχες παρατηρήσεις και διορθώσεις που μου υπέδειξε προκειμένου να ολοκληρωθεί η παρούσα διατριβή.

Επίσης θα ήθελα να ευχαριστήσω την υποψήφια διδάκτορα του Εργαστηρίου Δενδροκομίας του Πανεπιστημίου Θεσσαλίας, ΓΕΩΡΓΟΥΔΑΚΗ Τριανταφυλλιά, για την αμέριστη συνδρομή της κατά την διάρκεια των εργαστηριακών μετρήσεων.

Τέλος θα ήθελα να ευχαριστήσω την σύζυγό μου και τα δύο μου παιδιά για την αμέριστη στήριξη που μου παρείχαν, καθ' όλη την διάρκεια των μεταπτυχιακών σπουδών μου.

ΠΕΡΙΛΗΨΗ

Οι ξηροθερμικές συνθήκες που επικρατούν σε πολλές περιοχές της Ελλάδος όπου έχουν εγκατασταθεί καρυδεώνες, κάνουν επιτακτική την ανάγκη άρδευσης ιδιαίτερα κατά τους καλοκαιρινούς θερμούς μήνες. Επίσης, οι υψηλές θερμοκρασίες σε συνδυασμό με την υψηλή ακτινοβολία του καλοκαιριού, επιφέρουν στα δέντρα θερμική καταπόνηση. Σκοπός της παρούσας εργασίας ήταν η αξιολόγηση της αποδοτικότητας των δύο συνηθέστερων συστημάτων άρδευσης των ελληνικών καρυδεώνων, καθώς επίσης και η επίδραση του καολίνη στη φυσιολογία των δέντρων και στην ποιότητα των ανώριμων (αργά τον Αύγουστο) καρπών. Οι μετρήσεις των φυσιολογικών λειτουργιών αλλά και των συγκεντρώσεων των ολικών φαινολικών κατέδειξαν υψηλότερη αποτελεσματικότητα χρήσης νερού των δένδρων υπό άρδευση με μικροεκτοξευτήρες (μπεκ) σε σχέση με τα υπό στάγδην άρδευση, παρότι τα τελευταία υπέρ-αρδεύτηκαν κατά 10% σε σχέση με τις ανάγκες τους. Τα δέντρα υπό μπεκ άρδευση παρουσίασαν υψηλότερο υδατικό δυναμικό βλαστού και ρυθμό διαπνοής, χαμηλότερη θερμοκρασία φύλλου και χαμηλότερη περιεκτικότητα ολικών φαινολικών στα φύλλα τους, δείκτες που σχετίζονται με την καλύτερη φυσιολογική λειτουργία και τη μικρότερη καταπόνηση σε σχέση με τα δέντρα υπό στάγδην άρδευση. Η υψηλή παραγόμενη βιομάζα ζιζανίων στις σειρές των υπό μπεκ άρδευση δένδρα πιθανά να λειτούργησε περισσότερο ευεργετικά παρά αρνητικά. Η πιθανότητα μικρής μεταβολής του μικροκλίματος εξαιτίας της ψύξης που προκάλεσε η διαπνοή των ζιζανίων, δρόσισε περαιτέρω την κόμη των δένδρων και αύξησε τη λειτουργικότητα των φύλλων, ενώ παράλληλα μείωσε την επιφανειακή εξάτμιση (μακροσκοπική εκτίμηση σε εδαφικές τομές), αυξάνοντας τελικά την αποδοτικότητα χρήσης νερού, παρότι και τα ζιζάνια κατανάλωσαν ένα σημαντικό μέρος του αρδευτικού νερού. Επιπροσθέτως, η ποιότητα των ανώριμων καρπών στην υπό μπεκ άρδευση υπερτερούσε ελαφρώς σε σχέση με αυτούς της υπό στάγδην άρδευσης. Το συνολικό νωπό και ξηρό βάρος των ανώριμων καρπών ήταν αυξημένο κατά 10% ή 1%, αντίστοιχα, στα δένδρα που αρδεύτηκαν με μπεκ σε σχέση με αυτά που αρδεύτηκαν με στάγδην. Ο καολίνης, πιθανά εξαιτίας της πρόωρης εφαρμογής του, φέρεται να επέδρασε αρνητικά, κυρίως ως προς την ποιότητα των ανώριμων καρπών, και παρουσιάζοντας σημαντική μείωση του ρυθμού φωτοσύνθεσης στα φύλλα όπου εφαρμόστηκε. Η πιθανή σκίαση από τον καολίνη σε συνδυασμό με το φαινολογικό

στάδιο της έντονης αύξησης του καρπού τον Ιούνιο, κατά την 1^η εφαρμογή, οδήγησε στην παραγωγή καρπών μικρότερου συνολικού νωπού και ξηρού βάρους. Η μείωση της θερμοκρασίας των φύλλων που προκάλεσε ο καολίνης δεν ήταν ικανή να αντισταθμίσει τις αρνητικές συνέπειες της μείωσης του ρυθμού φωτοσύνθεσης. Ως θετικό, αποτιμάται η αύξηση του ποσοστού της Ξ.Ο. των καρπών που δέχθηκαν καολίνη κατά 10% περίπου, επομένως η διαφυλλική εφαρμογή καολίνης χρήζει περαιτέρω έρευνας, κυρίως ως προς τον χρόνο εφαρμογής του.

Summary

The hot and dry summer conditions that prevail in many areas of Greece where walnut trees have been established, make the need for irrigation imperative, especially during the hot summer months. Also, the high temperatures in combination with the high solar radiation during summer cause heat stress to the trees. The purpose of this work was to evaluate the efficiency of the two most common irrigation systems of the Greek walnut orchards, as well as the effect of kaolin on tree physiology and on the unripe (late August) fruit quality. The measurements of leaf physiological functions as well as the concentrations of total phenolics showed higher water use efficiency of sprinkler irrigated trees compared to those drip irrigated, although the latter were over-irrigated by 10% compared to their needs. Sprinkler irrigated plants showed higher stem water potential and leaf transpiration, lower leaf temperature and lower total phenolic content, indicators associated with better leaf physiological function and lower stress levels than drip irrigated plants. The increased weed biomass on the rows of the sprinkler irrigated trees probably worked more beneficially than negatively. The possibility of a slight change in the microclimate due to the cooling caused by weed transpiration, further cooled the tree canopy and improved leaf functions, while at the same time reduced surface evaporation (macroscopic assessment from soil profile sections), ultimately increasing water use efficiency, although the weeds consumed a considerable quantity of irrigation water. Unripe fruit quality from sprinkler irrigation was slightly superior to those under drip irrigation. The total fresh and dry weight of the immature fruit from sprinkler irrigated trees increased by 10% and 1%, respectively, compared to drip irrigated trees. Kaolin, possibly due to its early application (late June), had a negative effect, mainly in unripe fruit quality, showing significant reduction of photosynthetic rate in kaolin-covered leaves. The possible shading combined with the phenological stage of fruit growth (rapid nut growth) led to the production of nuts with lower total fresh and dry weight. The reduction in leaf temperature from kaolin was not able to compensate for the negative consequences of the reduced photosynthetic rate. In the positive side, fruit covered with kaolin had about 10% increased dry matter compared to walnuts without kaolin, showing that kaolin application needs further research, mainly related to its application time.

«Εγώ, ο Χαράλαμπος Ψαρογιάννης είμαι ο συγγραφέας αυτής της Μ.Δ.Ε. Αυτή η Μ.Δ.Ε. αντικατοπτρίζει την έρευνα που έγινε από εμένα και δεν έχει υποβληθεί (εξ ολοκλήρου ή μέρος της) σαν Μ.Δ.Ε. ή ως μέρος Διδακτορικής Διατριβής σε αυτό ή άλλο 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»

Χαράλαμπος Ψαρογιάννης

«Ως επιβλέπων 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 τον κ. Χαράλαμπο Ψαρογιάννη»

Γεώργιος Νάνος

Περιεχόμενα

ΠΕΡΙΛΗΨΗ	5
Summary	7
1. ΕΙΣΑΓΩΓΗ	13
1.1. Σημαντικότητα της καλλιέργειας της καρυδιάς	13
1.2. Βιολογία και Φυσιολογία της καρυδιάς	14
1.3. Αρδευτικές ανάγκες της καρυδιάς	18
1.4. Υπολογισμός των αρδευτικών αναγκών της καρυδιάς	19
1.5. Δείκτες υδατικής κατάστασης δέντρων καρυδιάς	21
1.5.1 Μέτρηση υδατικού δυναμικού	22
1.5.2. Μέτρηση φωτοσύνθεσης.....	24
1.5.3. Μέτρηση στοματικής αγωγιμότητας (gs).....	25
1.5.4. Μέτρηση θερμοκρασίας φύλλου.....	26
1.5.5. Μέτρηση συγκέντρωσης χλωροφύλλης (SPAD)	26
1.5.6. Μέτρηση φθορισμού χλωροφύλλης.....	28
1.5.7. Μέτρηση φαινολικών – αντιοξειδωτικών	29
1.5.8. Μετρήσεις στελεχών του φυτού.....	29
1.6. Αρδευτικά συστήματα	30
1.6.1. Επιφανειακή στάγδην άρδευση (DI).....	31
1.6.2. Υπόγεια στάγδην άρδευση (SDI)	33
1.6.3. Μικροεκτοξευτήρες (ατομικά μπεκ)	34
1.7. Επίδραση της θερμικής καταπόνησης στην καρυδιά	35
1.8. Διαχείριση της θερμικής καταπόνησης	36
2. Υλικά και μέθοδοι	38
2.1. Περιγραφή πειράματος.....	38
2.2. Μετρήσεις στον αγρό.....	40
2.2.1. Μετρήσεις των φυσιολογικών λειτουργιών των φύλλων.....	40
2.2.2. Μετρήσεις υδατικού δυναμικού βλαστού το μεσημέρι (MSWP).....	41
2.2.3. Μετρήσεις φθορισμού χλωροφύλλης.....	42
2.2.4. Μέτρηση της συγκέντρωσης της ολικής χλωροφύλλης ανά μονάδα επιφάνειας φύλλου (SPAD)	42
2.2.5. Μέτρηση της θερμοκρασίας κόμης (T _c) με θερμική κάμερα.....	43
2.3. Μετρήσεις στο εργαστήριο.....	43
2.3.1. Χαρακτηριστικά φύλλου.....	43

2.3.2. Μέτρηση της περιεκτικότητας των φύλλων σε ολικά φαινολικά και της αντιοξειδωτικής ικανότητας	44
2.3.3. Μέτρηση της περιεκτικότητας των φύλλων σε ολικά φαινολικά συστατικά	45
2.3.4. Μέτρηση της αντιοξειδωτικής ικανότητας των φύλλων	46
2.3.5. Χρώμα φλοιού καρπών	46
2.3.6. Μέτρηση νωπού και ξηρού βάρους ζιζανίων.....	48
2.3.7. Μέτρηση ζώνης διαβροχής	48
3. ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ	49
3.1 Επικρατούσες κλιματολογικές συνθήκες για τους μήνες Ιούλιο-Αύγουστο.	49
3.1.1 Ποσά αρδευτικού νερού που εφαρμόστηκαν	50
3.2. Μεταβολές της ΦΕΑ και των φυσιολογικών παραμέτρων των φύλλων δένδρων καρυδιάς κατά τη διάρκεια του πειράματος.....	52
3.2.1. Φωτοσυνθετικά Ενεργός Ακτινοβολία(Φ.Ε.Α.)	52
3.2.2. Δείκτης φθορισμού της χλωροφύλλης (Fv/Fm).....	54
3.2.3. Στοματική αγωγιμότητα (gs), ρυθμός διαπνοής (E), ρυθμός φωτοσύνθεσης (A) και συγκέντρωση CO ₂ στους μεσοκυττάριους χώρους (CO ₂ in).....	56
3.2.4. Θερμοκρασία φύλλου (Tleaf), υδατικό δυναμικό βλαστού (MSWP) και συγκέντρωση της ολικής χλωροφύλλης ανά μονάδα επιφάνειας φύλλου (SPAD) .	59
3.2.5. Αποδοτικότητα χρήσης νερού(WUE) και πραγματική απόδοση φωτός(Q.Y)	60
3.3. Μετρήσεις εργαστηρίου	63
3.3.1. Ολικά Φαινολικά στα φύλλα	63
3.3.2. Μετρήσεις Αντιοξειδωτικής Ικανότητας στα φύλλα	64
3.4 Ποιοτικά Χαρακτηριστικά Ανώριμων Καρπών	66
3.4.1. Χρώμα φλοιού ανώριμων καρπών.....	66
3.4.2. Νωπό – ξηρό βάρος ανώριμων καρπών.....	67
3.5 Παραγόμενη βιομάζα	68
ζιζανίων.....	68
3.6 Ζώνες Διαβροχής Αρδευτικών Συστημάτων και ανάπτυξη ζιζανίων.....	69
3.7 Θερμοκρασία εδάφους (T εδάφους)	70
4. ΣΥΖΗΤΗΣΗ.....	72
4.1 Επίδραση της διαφορετικής μεθόδου άρδευσης.....	72
4.2 Επίδραση της διαφορετικής μεθόδου άρδευσης στις φυσιολογικές λειτουργίες των δένδρων	73
4.3 Επίδραση της διαφορετικής μεθόδου άρδευσης ως προς τα ποιοτικά χαρακτηριστικά των ανώριμων καρπών	74
4.4 Επίδραση της εφαρμογής καολίνη	75
4.5 Επίδραση καολίνη στις φυσιολογικές λειτουργίες των δένδρων.....	75

4.6 Επίδραση καολίνη στην ποιότητα των ανώριμων καρπών	77
5. ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ	78
ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ.....	79
ΕΛΛΗΝΙΚΗ ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ.....	79
ΞΕΝΟΓΛΩΣΗ ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ	79
Πηγές Internet	85
ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ	86

1. ΕΙΣΑΓΩΓΗ

1.1. Σημαντικότητα της καλλιέργειας της καρυδιάς

Η Περσική καρυδιά (*Juglans regia*), όπως άλλωστε και το όνομά της υποδηλώνει, έχει πιθανότατα καταγωγή από την Περσία. Στην εξάπλωση της, συνετέλεσε καθοριστικά 'ο δρόμος μεταξιού', που διέδωσε την καλλιέργεια της, προς τα ανατολικά σε Πακιστάν, Αφγανιστάν, Ινδία και Ουζμπεκιστάν, ενώ προς τα δυτικά, στην Τουρκία και την Ευρώπη (Vahdati et al. 2014). Το καρύδι θεωρείται από τις πιο παλιές τροφές του ανθρώπου και καλλιεργείται ευρέως, για τον βρώσιμο ξηρό καρπό του (Amiri et al. 2010, Vahdati et al. 2019). Σήμερα η καλλιέργεια της καρυδιάς εντοπίζεται στο βόρειο ημισφαίριο, από τον 30° έως 55° παράλληλο, στην Ασία, την Ευρώπη και τη Βόρεια Αμερική και στο νότιο ημισφαίριο από τον 30° ως 40° παράλληλο, στην Αυστραλία, τη Νέα Ζηλανδία, τη Νότια Αφρική, την Χιλή και την Αργεντινή. Από τα συνολικά είκοσι ένα είδη του γένους *Juglans*, υψηλότερο αγρονομικό ενδιαφέρον παρουσιάζει η περσική καρυδιά (*Juglans regia* L.) (Manning, 1978). Σε παγκόσμια βάση το καρύδι, έρχεται πρώτος στην παραγωγή ξηρών καρπών με 4.498.442 μετρικούς τόνους, ενώ έπεται το κάσιους και το αμύγδαλο (FAOSTAT Database Results. 2019).

Τα τελευταία χρόνια η παγκόσμια παραγωγή καρυδιού έχει σχεδόν διπλασιαστεί. Στο γεγονός αυτό συνετέλεσε η υψηλή διατροφική αξία του εδώδιμου σπέρματος (ψίχα) και οι ευεργετικές επιπτώσεις στην υγεία του ανθρώπου από τη συχνή κατανάλωση, λόγω της πληθώρας θρεπτικών συστατικών, όπως α-λινολενικό οξύ, φυτοστερόλες, μέταλλα, γ-τοκοφερόλη, πολυφαινόλες και άλλα, που λόγω της υψηλής αντιοξειδωτικής τους δράσης, προσφέρουν υψηλή προστασία από καρδιαγγειακές παθήσεις, νευρολογικές διαταραχές, συχνότητα διαβήτη, καθώς και υψηλή αντικαρκινική δράση (Halvorsen et al. 2006, Komsteiner et al. 2016, Hayes et al. 2016, Ros et al. 2018, Liu et al. 2021).

Στη χώρα μας αρκετοί παραγωγοί έχουν στραφεί στην καλλιέργεια της καρυδιάς τα τελευταία χρόνια. Σύμφωνα με την ΕΛΣΤΑΤ, για το έτος 2013 η καλλιεργούμενη έκταση καρυδιών ανά την επικράτεια ήταν 92.100 στρέμματα. Με πιο πρόσφατη μελέτη, για το έτος 2019, η καλλιεργήσιμη έκταση καρυδιών ανερχόταν σε περίπου 140.000 στρέμματα, παρουσιάζοντας μία σημαντική αύξηση σε σχέση με

προηγούμενες εκτιμήσεις. Αποτιμώντας επιπλέον τα στοιχεία της ΕΛΣΤΑΤ για το έτος 2018 σε σχέση με τα τελευταία του 2009, η καλλιέργεια της παρουσίασε αύξηση 7,2%, τη δεύτερη μεγαλύτερη μετά από αυτή της αμυγδαλιάς, που ήταν 8,8%. Σύμφωνα με τον FAO (2019), η Ελλάδα κατέχει την τρίτη θέση παραγωγής καρυδιών στην Ευρωπαϊκή Ένωση, μετά την Ρουμανία και την Γαλλία, με μέση παραγωγή 31.040 τόνους, με το καρύδι να κατέχει την πρώτη θέση σε παραγωγή μεταξύ όλων των ξηρών καρπών. Αξιοσημείωτο είναι το γεγονός, ότι για το έτος 2019 η Ελλάδα εισήγαγε 4.071 τόνους καρυδόψιχα (FAOSTAT Database Results. 2019).

Η εγχώρια κατανομή της καλλιέργειας, έγκειται κυρίως στους νόμους Αρκαδίας, Άρτας, Λακωνίας, Κορινθίας, Καρδίτσας, Ευβοίας, Ιωαννίνων, Ευρυτανίας, Αχαΐας, Αιτωλοακαρνανίας, Τρικάλων και Φθιώτιδας. Σε σχέση με το παρελθόν που κατά κύριο λόγο καλλιεργούνταν σπορόφυτα, στους καινούργιους καρυδεώνες, έχουν εγκατασταθεί επιλεγμένες ποικιλίες, κατά κύριο λόγο πλαγιοκάρπες, αρκετά παραγωγικές, όπως οι: «Chandler», «Lara» και «Pedro», καθώς και οι γαλλικές ποικιλίες *Franquette*, *Fernor* και *Ronde de Montignac*, που κυρίως καλλιεργούνται σε ορεινές περιοχές, αλλά και ως επικονιάστριες των κυρίων ποικιλιών. Στην Ελλάδα η καλλιέργεια της καρυδιάς, εξαιτίας του ανάγλυφου των ελληνικών βουνών και των ιδιαίτερων κλιματολογικών συνθηκών που δημιουργούνται, ευνοείται σε αρκετές περιοχές (Rouskas et al. 1996). Επιπλέον, οι υψηλές τιμές πώλησης των παραγομένων καρυδιών, που κυμαίνονται από 3,5 έως 4 ευρώ ανά κιλό ενδοκάρπιο+σπέρμα (‘κόκκαλο’), σε συνδυασμό με την εξαιρετική ποιότητα των εγχώριων παραγομένων καρπών και της προτίμησής τους από το καταναλωτικό κοινό, έχουν κεντρίσει το ενδιαφέρον ολοένα και περισσότερων Ελλήνων παραγωγών.

Συμπερασματικά αναφέρεται ότι η καλλιέργεια της καρυδιάς στην Ελλάδα, εξαπλώνεται με ταχείς ρυθμούς, έχοντας όλα τα χαρακτηριστικά μιας δυναμικής καλλιέργειας. Γι’ αυτό είναι απαραίτητη η δημιουργία γνώσης σχετικά με την ορθή καλλιέργειά της.

1.2. Βιολογία και Φυσιολογία της καρυδιάς

Η περσική καρυδιά είναι ένα σχετικά μεγάλου μεγέθους αγγειόσπερμο, δικοτυλήδονο, μόνοικο και δικλινές, ανεμόγαμο φυτό. Φυλλοβόλο με έναρξη μερικού

λήθαργου των οφθαλμών από το μήνα Ιούνιο και περαιτέρω με το ερέθισμα των συνεχόμενων υψηλών θερμοκρασιών του καλοκαιριού. Συγκεκριμένα, η σταδιακή έναρξη των βιοχημικών διεργασιών ενεργοποίησης και παραγωγής ρυθμιστών ανάσχεσης της βλάστησης (αμπισσικό οξύ) και απενεργοποίηση των ρυθμιστών αύξησης (αυξίνες, γιββερελλίνες, κυτοκινίνες), ξεκίνα τον μήνα Ιούνιο στις πιο πεδινές περιοχές έως και τις αρχές Αυγούστου στις ορεινές και ολοκληρώνεται τον Οκτώβριο (Germain et al. 1999). Ο μερικός λήθαργος του φυτού κατά τους καλοκαιρινούς μήνες, το προστατεύει από τις υψηλές θερμοκρασίες και την υψηλή εξάτμιση του φυλλώματος, ενώ ο πλήρης λήθαργος του υπέργειου μέρους, που ολοκληρώνεται στα τέλη του φθινοπώρου, το προστατεύει από τους χειμερινούς παγετούς. Είναι απαραίτητο τα δέντρα πριν την εμφάνιση του πρώτου παγετού να έχουν ολοκληρώσει μία σειρά διεργασιών, έτσι ώστε να μην υποστούν ζημιά (Way 2011). Η συγκέντρωση ωρών ψύχους για τη διακοπή του ληθάργου, ικανοποιούνται συνήθως ως τις αρχές Ιανουαρίου, παρουσιάζοντας διακύμανση, αναλόγως των ποικιλιών, με τις πιο πρώιμες να έχουν ανάγκη λιγότερων ωρών ψύχους από τις όψιμες (Germain et al. 1999).

Η βλαστική περίοδος λαμβάνει χώρα όταν ικανοποιηθούν και οι ανάγκες σε θερμές ώρες μετά την έξοδο από το λήθαργο του φυτού και για τις περισσότερες ποικιλίες που καλλιεργούνται στην Ελλάδα προσδιορίζεται από τα τέλη Μαρτίου έως τις αρχές Απριλίου στις πεδινές περιοχές. Τρία είναι τα είδη οφθαλμών που εκφύονται στην καρυδιά: βλαστοφόροι ή ξυλοφόροι, μικτοί καρποφόροι και άρρενες ανθοφόροι (ίουλοι). Η βλαστική περίοδος αρχίζει με την εκβλάστηση των βλαστοφόρων και μεικτών οφθαλμών των δέντρων με ταχύτατους ρυθμούς αύξησης, που διαρκεί περίπου ένα μήνα, έως ότου ο αυξητικός ρυθμός μειωθεί αισθητά. Ένα δεύτερο κύμα έντονου αυξητικού ρυθμού παρουσιάζεται στην καρυδιά από τα τέλη Ιουνίου και μέχρι τις αρχές Ιουλίου και διαρκεί για 20 έως 40 μέρες (Rouskas, 2013).

Οι άρρενες οφθαλμοί δημιουργούνται και διαφοροποιούνται κατά το προηγούμενο έτος. Στις περισσότερες καλλιεργήσιμες ποικιλίες οι οποίες είναι πρώτανδρες, οι ίουλοι εκφύονται στα γόνατα των περυσινών φύλλων και αποτελούνται από ένα επιμήκη ανθικό άξονα που φέρει 100 έως 160 απλά άνθη. Κάθε ίουλος έχει δυνατότητα παραγωγής 1.800.000 γυρεόκοκκων, που με τη βοήθεια του ανέμου επικονιάζουν τα θηλυκά άνθη. Αναλόγως της ποικιλίας και των εκάστοτε καιρικών

συνθηκών, μετά από μία έως δύο εβδομάδες από την έναρξη του κύκλου της ετήσιας βλάστησης, οι ίουλοι αρχίζουν την ανθοφορία τους. Η ανθοφορία πάντα αρχίζει από τη βάση προς την κορυφή, ενώ όταν όλοι οι ανθήρες διασκορπίσουν τη γύρη τους στην ατμόσφαιρα, μαυρίζουν, ξεραίνονται και αποκόπτονται από το δέντρο. Τα θηλυκά άνθη φέρονται σε ταξιανθίες από 2 έως 4 ή και περισσότερα 6 έως 14 σε καρυδιές που ανθοφορούν σε βότρες (Rouskas, 2013).

Η διαφοροποίηση των οφθαλμών που θα προκύψουν τα θηλυκά άνθη της επόμενης χρονιάς ξεκινά περίπου 75 ημέρες μετά την έναρξη της βλάστησης και ολοκληρώνεται σε μεγάλο βαθμό έως και την αρχή του λήθαργου. Η πλήρης δημιουργία όλων των ανθικών μερών του θηλυκού άνθους, ξεκινά δύο εβδομάδες πριν την καινούργια βλαστική περίοδο και ολοκληρώνεται με το σχηματισμό δύο στιγμάτων, που σχηματίζουν μεταξύ τους γωνία περίπου 45 μοιρών. Από το σημείο εκείνο και για 10 ημέρες, το θηλυκό άνθος είναι υποδεκτικό για επικονίαση. Αρχικά, η επικονίαση είναι πιο εύκολη και το στίγμα έχει χρώμα πρασινοκίτρινο, ενώ δυσχεραίνεται όταν μεταβληθεί το χρώμα του στίγματος σε κίτρινο και είναι αδύνατη όταν στο στίγμα εμφανίζονται οι πρώτες καστανές ραβδώσεις (Rouskas, 2013).

Κατά μέσο όρο η διάρκεια παραγωγής γύρης των ίουλων είναι 8-10 ημέρες, ενώ η υποδεκτικότητα των θηλυκών ανθέων διαρκεί 10 έως 12 ημέρες. Στις περισσότερες ποικιλίες παρατηρείται το φαινόμενο της διχογαμίας. Η ανθοφορία των αρσενικών ανθέων δεν συμπίπτει χρονικά με την ανθοφορία των θηλυκών. Το φαινόμενο της διχογαμίας γίνεται εντονότερο όταν κατά τη διάρκεια της άνθησης επικρατούν υψηλές θερμοκρασίες για την εποχή. Για το λόγο αυτό είναι επιβεβλημένη η εγκατάσταση επικονιάστριων ποικιλιών, που η άνθηση των αρσενικών ανθέων να συμπίπτει χρονικά με την άνθιση των θηλυκών ανθέων της κυρίας ποικιλίας.

Ο γυρεόκοκκος, με χαμηλή υγρασία, έχει διάρκεια ζωής 2 έως 4 ημέρες. Κατά την επαφή του με το στίγμα ενυδατώνεται, βλαστάνει, σχηματίζοντας ένα γυρεοσωλήνα, που διασχίζει το στίγμα και τον στύλο και κατευθύνεται προς το ωάριο που περιέχει τον εμβρυϊκό σάκο. Χρονικά από την επικονίαση μέχρι τη γονιμοποίηση απαιτούνται περίπου τρεις με τέσσερις ημέρες.

Αρχικά το έμβρυο έχει αργούς ρυθμούς ανάπτυξης, με τη διάμετρο του να κυμαίνεται από 4 έως 6 mm τις πρώτες 50 ημέρες από τη γονιμοποίηση, σε αντίθεση με την

ταχύτατη αύξηση του ενδοσπερμίου. Τις πρώτες 10 ημέρες η αύξηση του καρπιδίου είναι ταχεία. Από την 11^η έως την 30^η ημέρα, η μέση αύξηση του καρπιδίου είναι περίπου ένα χιλιοστό ημερησίως. Ακολουθεί η ξυλοποίηση του ενδοκαρπίου, μειώνοντας αισθητά το ρυθμό αύξησης του καρπού, που τελικά παίρνει το τελικό του μέγεθος 10 εβδομάδες μετά το τέλος της ανθοφορίας. Την 9η εβδομάδα μετά το τέλος της ανθοφορίας αρχίζει και η γρήγορη ανάπτυξη του εμβρύου (σπέρμα, ψίχα), που ολοκληρώνεται την 18^η εβδομάδα με τον καρπό να έχει το υψηλότερο βάρος. Η πλήρης ωρίμανση της ψίχας έρχεται 19 έως 22 εβδομάδες μετά το τέλος της ανθοφορίας και αναλόγως της ποικιλίας. Οι καρποί ωριμάζουν τον μήνα Σεπτέμβριο και Οκτώβριο στις περισσότερες ποικιλίες και περιοχές καλλιέργειας (Germain et al. 1999)

Πολύ κρίσιμη περίοδος για την καρυδιά σε ότι αφορά την έλλειψη νερού είναι η 15^η έως 19^η εβδομάδα. Η υδατική καταπόνηση κατά την περίοδο αυτή φέρει ως αποτέλεσμα τη μείωση του βάρους της ψίχας, αλλά και την υποβάθμιση της ποιότητας της (Rouskas, 2013).

Μία ακόμη διάκριση των ποικιλιών γίνεται και αναλόγως τον τρόπο καρποφορίας διακρίνοντας τις ποικιλίες σε ακρόκαρπες και πλαγιόκαρπες. Στις ακρόκαρπες ποικιλίες, η έκπτυξη του θηλυκού άνθους γίνεται στον ακραίο οφθαλμό ή και σπάνια στον πλησιέστερο κατώτερο του ετήσιου βλαστού, ενώ στις πλαγιόκαρπες στον ακραίο οφθαλμό αλλά και συχνά σε πλευρικούς οφθαλμούς των ετήσιων βλαστών. Το γεγονός αυτό οφείλεται στην έντονη κυριαρχία κορυφής των ακρόκαρπων ποικιλιών (ακροτονία) σε σχέση με τις πλαγιόκαρπες (βασιτονία), που παρατηρείται εξαιτίας του τρόπου κατανομής των παραγομένων ρυθμιστών αύξησης του φυτού και κυρίως των αυξινών στους οφθαλμούς.

Οι σημαντικότερες καλλιεργούμενες ποικιλίες ανά τον κόσμο αλλά και στην Ελλάδα έχουν προκύψει κυρίως από βελτιωτικά προγράμματα της Αμερικής (McGranahan et al. 1992) και είναι πρώτανδρες και πλαγιόκαρπες, έχοντας συγκριτικά πλεονεκτήματα με τις υπόλοιπες παλιές ποικιλίες, σε ότι αφορά την ποιότητα του καρπού, το μέγεθος, το χρώμα του σπέρματος, αλλά και τη στρεμματική απόδοση.

1.3. Αρδευτικές ανάγκες της καρυδιάς

Σύμφωνα με στοιχεία του International Nut and Dried Fruit Council (INC, 2020), η καρυδιά είναι μία καλλιέργεια που χρειάζεται άρδευση με μεγάλες ποσότητες νερού, καθώς 25 κυβικά νερού χρειάζονται για να παραχθούν 0,064 μετρικοί τόνοι καρπών. Συνεπώς η εγκατάσταση ενός καρυδεώνα απαιτεί ως απαραίτητη προϋπόθεση την αρδευόμενη γη και μάλιστα με υψηλές ποσότητες αρδευτικού νερού κάθε έτος. Οι ανάγκες της άρδευσης ξεκινούν από την έναρξη της καλλιεργητικής περιόδου της καρυδιάς, που προσδιορίζεται από τις αρχές Απριλίου και διαρκεί αναλόγως των βροχοπτώσεων ως τα μέσα Νοεμβρίου. Οι ακριβείς ημερομηνίες ποικίλλουν ανάλογα την ποικιλία, τις καιρικές συνθήκες, καθώς και την τοποθεσία που είναι εγκατεστημένοι οι καρυδεώνες. Οι καρυδιές έχουν τη δυνατότητα να παράγουν σταθερές και ποιοτικές αποδόσεις με εξαιρετική ποιότητα ψίχας, όταν αρδεύονται με 1016 έως 1066 κυβικά ανά στρέμμα ετησίως για τις καιρικές συνθήκες που επικρατούν στην Καλιφόρνια (Goldhamer 1998, Lampinen et al. 2004, Buchner et al. 2008). Το συντριπτικό ποσοστό αυτού του νερού διαπνέεται μέσω των φύλλων, ενώ ένα πολύ μικρό μέρος χάνεται μέσω της εξάτμισης από την επιφάνεια του εδάφους. Το άθροισμα των δύο αυτών παραγόντων ονομάζεται εξατμισοδιαπνοή και συμβολίζεται με το ETc. Για την παραγωγή υδατανθράκων, που αποτελούν την πρώτη ύλη για την ανάπτυξη των δέντρων και των καρπών, είναι απαραίτητη η έκθεση των φύλλων σε ικανό ηλιακό φως και η ύπαρξη επαρκούς εδαφικού διαλύματος στις ρίζες, που μεταφράζεται σε επαρκή εδαφική υγρασία με όλα τα απαραίτητα θρεπτικά συστατικά. Αν μειωθεί η διαπνοή από την έλλειψη νερού, ταυτόχρονα μειώνεται και η φωτοσυνθετική ικανότητα του δέντρου, που ως αποτέλεσμα έχει τη μείωση της ανάπτυξης αυτού αλλά και των καρπών του.

Αρκετές είναι οι μελέτες που έχουν εκπονηθεί για εφαρμογή ελλειμματικής άρδευσης (RDI) σε δέντρα καρυδιάς. Η υδατική καταπόνηση σε όλες τις έρευνες έδειξε πώς στο συγκεκριμένο είδος φυτού δεν μπορεί να εφαρμοστεί ελλειμματική άρδευση σε κανένα από τα βλαστικά του στάδια. Οι Ramos et al. (1978) εφάρμοσαν ελλειμματική άρδευση σε καρυδιές ποικιλίας Serr, που είχε ως αποτέλεσμα τη μείωση του μεγέθους των καρυδιών αλλά και τη μείωση παραγωγής ανά δέντρο. Συγκεκριμένα, διαπίστωσαν συγκρίνοντας την πλήρη άρδευση με λιγότερο ή μη αρδευόμενους καρυδεώνες, ότι παρουσίασαν μείωση στην παραγωγή έως και 43%. Διαφορές

προέκυψαν και ως προς την ποιότητα των καρπών με τους μη αρδευόμενους καρυδεώνες να παράγουν μικρότερα σε μέγεθος καρύδια και με μειωμένη ποιότητα σπέρματος σε σχέση με τους πλήρως αρδευόμενους. Ο Little (2006), έχοντας υποβάλει σε υδατικό στρες ενήλικο καρυδεώνα ποικιλίας Chico, διαπίστωσε ότι οι καρυδιές μείωσαν την παραγωγή καρπών, καθώς επίσης και τον αριθμό των οφθαλμών που εκβλάστησαν την επόμενη χρονιά. Σε καρυδιές ποικιλίας Chico, η παραγωγή των δέντρων μειώθηκε σε 20% και 40%, όταν αυτά αρδεύτηκαν ελλειμματικά κατά 33% και 66%, αντίστοιχα. Οι ελλειμματικές αρδεύσεις εφαρμόστηκαν καθ' όλη τη διάρκεια της βλαστικής περιόδου ομοιόμορφα, ενώ για την επαναφορά των δέντρων στην πρότερα παραγωγική δυναμική, με πλήρη άρδευση, χρειάστηκαν να περάσουν δύο έτη (Goldhamer et al. 1991).

Η συμπεριφορά των καρυδιών σε υδατικό στρες και η αντοχή τους (χρόνος εμφάνισης του στρες) εξαρτάται από την ηλικία των δέντρων, τον τύπο του εδάφους που είναι εγκατεστημένα, και το κλάδεμα (Fulton et al. 2014), με τα νεότερα σε ηλικία εγκατεστημένα σε ελαφρά αμμώδη εδάφη μειωμένης υδατοικανότητας και κλαδεμένα, να είναι πιο ευαίσθητα.

1.4. Υπολογισμός των αρδευτικών αναγκών της καρυδιάς

Η καρυδιά, εξαιτίας του σχετικά μεγάλου μεγέθους και του πλούσιου ριζικού συστήματος της, απαιτεί υψηλές ποσότητες νερού και μάλιστα καλής ποιότητας. Στην Ελλάδα οι βροχοπτώσεις είναι σχεδόν μηδενικές κατά τη διάρκεια της βλαστικής περιόδου για τις περισσότερες περιοχές όπου έχουν εγκατασταθεί καρυδεώνες. Ιδιαίτερα τη θερινή περίοδο, η άρδευση είναι απαραίτητη για τη διασφάλιση της μέγιστης απόδοσης και ποιότητας (Rouskas, 2013).

Οι αρδευτικές ανάγκες των καλλιεργειών υπολογίζονται συνήθως με βάση την εξατμισοδιαπνοή ETc. Η εξατμισοδιαπνοή της καλλιέργειας προκύπτει από το γινόμενο της εξατμισοδιαπνοής αναφοράς ET0 και του φυτικού συντελεστή καλλιέργειας Kc, που αφορά συγκεκριμένο φαινολογικό στάδιο ανάπτυξης της καλλιέργειας. Οι τιμές του φυτικού συντελεστή μιας ώριμης δενδροκαλλιέργειας είναι κυμαινόμενες, με τις μικρότερες τιμές να προσδιορίζονται στην αρχή της βλαστικής περιόδου, να λαμβάνουν τις μεγαλύτερες τιμές κατά την ωρίμανση των

καρπών και να μειώνονται αισθητά προς το τέλος της βλαστικής περιόδου (Allen et al. 1998). Η εξατμισοδιαπνοή εξαρτάται από οικολογικούς και φυτικούς παράγοντες. Οι οικολογικοί-εξωτερικοί παράγοντες είναι: η ηλιακή ακτινοβολία, η θερμοκρασία του αέρα, η σχετική υγρασία του αέρα, και η ταχύτητα του ανέμου, ενώ οι φυτικοί-εσωτερικοί παράγοντες είναι: το μέγεθος της φυλλικής επιφάνειας, ο βαθμός εδαφοκάλυψης της καλλιέργειας και η γεωμετρία των φύλλων. Στη δενδροκαλλιέργεια, για την εκτίμηση των απαιτήσεων των οπωρώνων σε νερό, θα πρέπει να λαμβάνεται υπόψη και το ποσοστό εδαφοκάλυψης αυτών. Σε ανώριμους οπωρώνες, όπου η εδαφοκάλυψη είναι μικρότερη του 50%, ο συντελεστής K_c αντικαθίσταται με τον συντελεστή K_{To} , προκειμένου να υπολογιστούν με ακρίβεια οι ανάγκες σε νερό (Steduto et al. 2012).

Για τον υπολογισμό της εξατμισοδιαπνοής αναφοράς E_{To} απαιτείται η χρήση λυσιμέτρων, τα οποία έχουν τη δυνατότητα να ζυγίζουν έναν όγκο καλλιεργούμενου εδάφους παρουσία ενός φυτού, καταγράφοντας τις διακυμάνσεις του εδαφικού νερού και συνεπώς της εξατμισοδιαπνοής της καλλιέργειας. Η μέθοδος αυτή είναι η πιο ακριβής αλλά και πολύ υψηλού κόστους για τη δενδροκομία. Με τη χρήση των δεδομένων ενός εγκατεστημένου μετεωρολογικού σταθμού, είναι δυνατόν να προσδιοριστεί η εξατμισοδιαπνοή αναφοράς με τη μέθοδο Penman.

Ένας εύκολος τρόπος προσδιορισμού της E_{To} , σε συνθήκες αγρού, είναι με τη χρήση των δεδομένων του εξατμισίμετρου (Class A evaporation pan). Η εθνική μετεωρολογική υπηρεσία των Ηνωμένων Πολιτειών (National Weather Service), κατόπιν ερευνών κατέληξε ότι ένα κυλινδρικό δοχείο διαμέτρου 120,7 cm και ύψους 25 cm, με ειδικό προστατευτικό καπάκι για την αποφυγή εκροής νερού, από ζώα ή έντομα, είναι σε θέση να προσομοιώσει την εξατμισοδιαπνοή αναφοράς της εκάστοτε περιοχής. Η πλήρωση του κυλινδρικού δοχείου γίνεται ως τα 20 cm, όπου καθημερινά μετριέται σε mm το νερό που εξατμίζεται. Τα mm πολλαπλασιαζόμενα με το συντελεστή του εξατμισίμετρου (K_{pan}) αντιστοιχούν στην E_{To} .

Συμπερασματικά, αναλόγως με τη φυσική σύσταση του εδάφους που καθορίζει και τη συχνότητα της άρδευσης, το αρδευτικό νερό ανά στρέμμα μπορεί να υπολογιστεί από τον τύπο $\text{Κυβικά ανά στρέμμα} = K_{pan} * (20 - \text{ένδειξη pan}) * K_c / \text{συντελεστής απόδοσης}$

αρδευτικού συστήματος. Εάν σημειωθεί βροχόπτωση στο 24ωρο, λαμβάνεται υπόψη στον υπολογισμό της εξάτμισης.

Η αρχική εκτίμηση των συντελεστών καλλιέργειας της καρυδιάς έγινε για οπωρώνες της Καλιφόρνιας από τους Goldhamer et al. (1998). Αν και το K_c μεταβάλλεται μερικώς, αναλόγως του ΕΤο και των βροχοπτώσεων που δέχεται μια περιοχή, στην Ελλάδα μπορεί κάλλιστα να γίνει εφαρμογή των συντελεστών αυτών, διότι υπάρχει αρκετή σύγκλιση των αγροκλιματικών συνθηκών και των βροχοπτώσεων με αυτές της Καλιφόρνιας των Η.Π.Α..

Από όλους τους ξηρούς καρπούς, η καρυδιά και το πεκάν φέρεται να έχουν τον υψηλότερο κατά μέσο όρο συντελεστή καλλιέργειας ($K_c=0,9$), με δεύτερο το αμύγδαλο και το φιστίκι ($K_c = 0,8$) , και τρίτο το φουντούκι ($K_c=0,7$). Αν και οι αρδευτικές ανάγκες της καρυδιάς, είναι όμοιες με αυτές της αμυγδαλιάς και της φιστικιάς, εμφανίζει μεγάλη ευαισθησία όπως και η φουντουκιά, στο υδατικό στρες (Liu et al. 2019, Mahmoudian et al. 2021).

Συνεπώς, η γνώση των φαινολογικών σταδίων της καρυδιάς και η συσχέτισή τους με τους συντελεστές καλλιέργειας, όπως αυτοί προκύπτουν από τους Goldhamer et al. (1998), σε συνδυασμό με τη γνώση της φυσικής σύστασης του εδάφους, όπου είναι εγκατεστημένος ο καρυδεωνας, αποτελούν τους κύριους παράγοντες για τον υπολογισμό με αρκετά μεγάλη ακρίβεια του απαιτούμενου αρδευτικού νερού που έχει ανάγκη η καλλιέργεια σε κάθε βλαστικό στάδιο.

1.5. Δείκτες υδατικής κατάστασης δέντρων καρυδιάς

Για την παρακολούθηση-αξιολόγηση της ορθής άρδευσης σε έναν καρυδεώνα, μπορεί να πραγματοποιηθούν αρκετές μετρήσεις προσδιορισμού της υδατικής κατάστασης των δέντρων. Το μειονέκτημα τους είναι ότι απαιτούν ειδικό και ακριβό εξοπλισμό και αρκετές ώρες εργασίας, ενώ είναι και σημειακές στο χώρο και το χρόνο. Τέτοιες μετρήσεις είναι:

1.5.1 Μέτρηση υδατικού δυναμικού

Οι μετρήσεις του υδατικού δυναμικού, με την τεχνική του θαλάμου πίεσης, είναι μια πολύ συνηθισμένη μέτρηση, που προσδιορίζει την υδατική κατάσταση των φυτών (Scholander et al. 1965). Θεωρείται ιδιαίτερα αξιόπιστος δείκτης της υδατικής κατάστασης των βλαστών και των φύλλων (McCutchan and Shackel 1992).

Στις καρυδιές το μεσημεριανό υδατικό δυναμικό των βλαστών είναι η πιο συνηθισμένη μέτρηση για την υδατική κατάσταση των δένδρων (Fulton et al. 2017). Φύλλα κοντά στο σκελετό του δέντρου αποκόπτονται και καλύπτονται με ανακλαστική και αδιάβροχη μεμβράνη, για τουλάχιστον μισή ώρα, έτσι ώστε να σταματήσει η διαπνοή τους (Fulton et al. 2001a). Κατόπιν λαμβάνονται οι μετρήσεις του υδατικού δυναμικού (δύναμη συγκράτησης του νερού στο φύλλο). Ενδεικτικά για την καρυδιά υδατικό δυναμικό μικρότερο από $-0,8$ MPa προκαλεί μείωση της απόδοσης, της ποιότητας και του μεγέθους των καρπών, καθώς και μείωση της βλαστικής ανάπτυξης.

Οι Fulton et al. (2001a, b, 2014) έχουν καταρτίσει πίνακα αναφοράς για την καρυδιά με βάση το υδατικό δυναμικό φύλλων το μεσημέρι (Πίν. 1.1)

Πίνακας 1.1. Υδατικό δυναμικό φύλλων, στρες και αποτελεσματικότητα στη φυσιολογία και παραγωγή της καρυδιάς.

Υδατικό δυναμικό φύλλου (MPa)	Επίπεδο υδατικού στρες	ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑ
0 έως $-0,8$	—	Δεν είναι συνηθισμένο στο καρύδι
$-0,8$ έως $-0,9$	Χαμηλό	Συνδέεται με υψηλή διαθεσιμότητα νερού και πιθανές αρνητικές επιπτώσεις στη μακροπρόθεσμη υγεία των δέντρων και των ριζών, ανάλογα με το

		υποκείμενο
-0,9 έως -1,1	Μέτριο	Προωθεί την ανάπτυξη των βλαστών. Είναι ιδανικό όταν έχει καθοριστεί το μέγεθος του καρπού
-1,1 έως -1,2	Μέτριο	Η ανάπτυξη του σπέρματος και η παραγωγή του επόμενου έτους δεν επηρεάζονται. Χαμηλός ρυθμός ανάπτυξης
-1,2 έως -1,4	Μέτριο υψηλό	– Η ανάπτυξη των βλαστών μπορεί να σταματήσει. Το μέγεθος των καρυδιών είναι μικρότερο σε σύγκριση με τα καλά αρδευόμενα καρύδια. Η παραγωγή του επόμενου έτους μπορεί να επηρεαστεί
-1,4 έως -1,5	Υψηλό	Πολύ περιορισμένη βλαστική ανάπτυξη. Πιθανός μααρασμός και κιτρίνισμα των φύλλων και του περικαρπίου. Η απόδοση και η ποιότητα καρπού μειώνονται
-1,5 έως -1,7	Πολύ ψηλό	Μέτρια έως σοβαρή πτώση των φύλλων
-1,7 έως -2,0	Σοβαρό στρες	Ολική φυλλόπτωση, κοντά στο σημείο θανάτου των δέντρων
< -2,0	Θάνατος φυτού	Ασυνήθιστο στα αρδευόμενα καρύδια, πεθαίνουν πριν φτάσουν σε αυτό το σημείο

1.5.2. Μέτρηση φωτοσύνθεσης

Η έλλειψη νερού αλλά και η αλατότητα είναι οι δύο βασικοί παράγοντες που συντελούν στη μείωση της ικανότητας των φυτών να απορροφήσουν νερό από το έδαφος (Munns 2002). Εξαιτίας της κλιματικής κρίσης και της επερχόμενης λειψυδρίας που θα κλονίσει αρκετές περιοχές σε όλο τον κόσμο, η παραγωγικότητα των φυτών φαίνεται να επηρεάζεται αρνητικά τα επόμενα χρόνια από την περιορισμένη διαθεσιμότητα νερού (Hamdy et al. 2003). Ο περιορισμός αυτός, δηλαδή της ανάπτυξης των φυτών και της παραγωγικότητάς τους, που προέρχεται από υδατική καταπόνηση, οφείλεται κατά κύριο λόγο στη μείωση του ισοζυγίου άνθρακα των φυτών, το οποίο είναι στενά συνδεδεμένο με την ισορροπία μεταξύ φωτοσύνθεσης και αναπνοής. Για τα περισσότερα φυτά υπολογίζεται ότι περισσότερο από το μισό του συνολικού αφομοιώσιμου άνθρακα καταναλώνεται στις αναπνευστικές διεργασίες, που είναι απαραίτητες για την ανάπτυξη και τη συντήρηση των φυτών. Ωστόσο κάτω από συνθήκες υδατικού στρες η ισορροπία αυτή αλλάζει υπέρ της αναπνοής.

Διάφορες μελέτες έχουν καταδείξει ότι η φωτοσυνθετική ικανότητα των φυτών μειώνεται σε πολύ μεγάλο βαθμό όταν αυτά δεχτούν οποιασδήποτε μορφής και έντασης υδατική καταπόνηση (Rodrigues et al. 1995). Αυτό κυρίως οφείλεται στη μείωση της στοματικής αγωγιμότητας των φύλλων, που ως αποτέλεσμα έχει την παρεμπόδιση της ανταλλαγής αερίων του μεσόφυλλου με την ατμόσφαιρα.

Για την καρυδιά, τα τελευταία χρόνια, έχουν διεξαχθεί αρκετές έρευνες πάνω στις αλλαγές των φυσιολογικών λειτουργιών του φυτού σε συνθήκες υδατικού στρες. Οι Naser et al. (2010) διαπίστωσαν ότι διαφορετικοί γονότυποι καρυδιάς, που υπέστησαν υδατική καταπόνηση, διαφοροποιήθηκαν ως προς τον εγκλιματισμό τους και την αντοχή τους ανάλογα με τις ποσότητες προλίνης και διαλυτών σακχάρων που παρήγαγαν. Επίσης, η φωτοσυνθετική ικανότητα των όψιμων ποικιλιών έδειξε να διαφέρει από αυτή των πρώιμων κάτω από υδατικό στρες. Συγκεκριμένα οι όψιμες ποικιλίες παρουσιάζουν υψηλότερο ρυθμό αφομοίωσης διοξειδίου του άνθρακα, υψηλότερες δραστηριότητες αντιοξειδωτικών ενζύμων, χαμηλότερη συσσώρευση ενεργών μορφών οξυγόνου από πρώιμες ποικιλίες σε συνθήκες υδατικής καταπόνησης.

Συνεπώς, η μέτρηση της φωτοσύνθεσης, ιδιαίτερα κατά τις μεσημβρινές ώρες, που μεγιστοποιείται και η θερμική καταπόνηση, είναι σε θέση να προσδιορίσει την υδατική κατάσταση του φυτού.

1.5.3. Μέτρηση στοματικής αγωγιμότητας (gs)

Μία μορφή άμυνας των φυτών στην ξηρασία είναι το κλείσιμο των στοματίων, ώστε να μειωθεί η διαπνοή των φύλλων και να αποτραπεί το υπερβολικό έλλειμμα νερού από τους ιστούς τους. Το κλείσιμο των στοματίων φέρει και αρνητικά αποτελέσματα, όπως η άμεση μείωση του ρυθμού αφομοίωσης διοξειδίου του άνθρακα, που τελικά μεταφράζεται σε μείωση της ανάπτυξής τους. Η στοματική αγωγιμότητα έχει άμεση θετική σχέση με τον καθαρό ρυθμό αφομοίωσης διοξειδίου του άνθρακα (Castel and Fereres 1982, Romero et al. 2004). Ωστόσο δεν έχει απόλυτα διευκρινιστεί αν η μειωμένη δέσμευση διοξειδίου του άνθρακα οφείλεται αποκλειστικά στο κλείσιμο των στοματίων ή και σε κάποιες αλλαγές της βιοχημείας των φύλλων.

Η καρυδιά φαίνεται να μειώνει τη μέγιστη φωτοσύνθεσή της Amax, όταν επικρατούν υψηλές θερμοκρασίες (Foott και Heinicke 1967, Lucier και Hinckley 1982), χωρίς να είναι απολύτως κατανοητό, αν αυτό οφείλεται στο κλείσιμο των στοματίων ή σε κάποια βιοχημική αντίδραση του φύλλου στην υψηλή θερμοκρασία. Σε άλλες έρευνες, φέρεται ότι το gs με την Amax είναι άμεσα συνδεδεμένα με το υδατικό στρες (Bunce 1977, Escalona et al. 1999).

Γενικά το gs εξαρτάται άμεσα από το υδατικό δυναμικό των φύλλων (Cowan 1977, Fuchs and Livingston 1996, Comstok and Mencuccini 1998). Πιο πρόσφατα, οι Rosati et al. (2006) μελέτησαν το gs πλήρως αρδευόμενων καρυδιών και τις συνέκριναν με καρυδιές που αρδεύτηκαν κατά 50% καθ' όλη την καλλιεργητική περίοδο. Από τα αποτελέσματα των μετρήσεων προέκυψε ότι καλά αρδευόμενες καρυδιές εμφανίζουν τιμές στοματικής αγωγιμότητας υψηλότερες από $0,2 \text{ mol m}^{-2} \text{ s}^{-1}$ υδρατμών.

1.5.4. Μέτρηση θερμοκρασίας φύλλου

Η θερμοκρασία φύλλων είναι η πιο απλή και γρήγορη μέτρηση (Jones 2004) που μπορεί να χρησιμοποιηθεί για την ανίχνευση της υδατικής καταπόνησης των φυτών, αποτελώντας παράλληλα και έναν χρήσιμο δείκτη της g_s και της διαπνοής (Jackson et al. 1981). Μετρήσεις θερμοκρασίας φύλλου σε συνδυασμό με μετρήσεις φθορισμού χλωροφύλλης, είναι εύκολο να πραγματοποιηθούν σε συνθήκες αγρού και σε πολύ σύντομο χρονικό διάστημα, παρέχοντας σημαντικές πληροφορίες για την υδατική κατάσταση των φυτών. Οι μεταβολές του φθορισμού της χλωροφύλλης αλλά και της θερμοκρασίας των φύλλων, που οφείλονται σε υδατικό στρες, επηρεάζουν ολόκληρο το φυτό (Luquet et al. 2003, Blom-Zandstra και Metselaar 2006).

Οι Dhillon et al. (2019) μελέτησαν για δύο συνεχόμενες καλλιεργητικές περιόδους τη θερμοκρασία σκιαζόμενων φύλλων και του αέρα, σε καρδιές 7 ετών και συσχετίζοντας την με τη σχετική υγρασία του αέρα, τη φωτοσυνθετικά ενεργή ακτινοβολία (PAR) και την ταχύτητα του ανέμου, κατάφεραν να μοντελοποιήσουν έναν δείκτη υδατικής καταπόνησης. Σύμφωνα με τους Rosati et al. (2006), υπό συνθήκες υδατικής καταπόνησης η καρδιά προβαίνει σε κλείσιμο των στοματιών, μειώνοντας παράλληλα και την ανταλλαγή αερίων, και αυξάνοντας τη θερμοκρασία των φύλλων. Ωστόσο και σε πλήρως αρδευόμενα δέντρα παρατηρήθηκε μείωση της φωτοσύνθεσης όταν η θερμοκρασία αέρα ήταν πολύ υψηλή (μεγαλύτερη των 40 °C).

Η μέτρηση της θερμοκρασίας φύλλου θα μπορούσε να είναι ένας αξιόπιστος δείκτης για τον ορθολογικό προγραμματισμό της άρδευσης ενός καρυδεώνα.

1.5.5. Μέτρηση συγκέντρωσης χλωροφύλλης (SPAD)

Ακόμη μία μέθοδος μέτρησης της υδατικής κατάστασης των φυτών είναι η μέτρηση της χλωροφύλλης με τη συσκευή spad-502. Οι τιμές που προκύπτουν δίνουν την περιεκτικότητα των φύλλων σε χλωροφύλλη και μπορούν να συσχετιστούν γραμμικά με την εκχυλίσιμη χλωροφύλλη των φύλλων σε πολλές καλλιέργειες (Yadava 1986). Εργαστηριακά, συνήθως, η περιεκτικότητα των φύλλων σε χλωροφύλλη

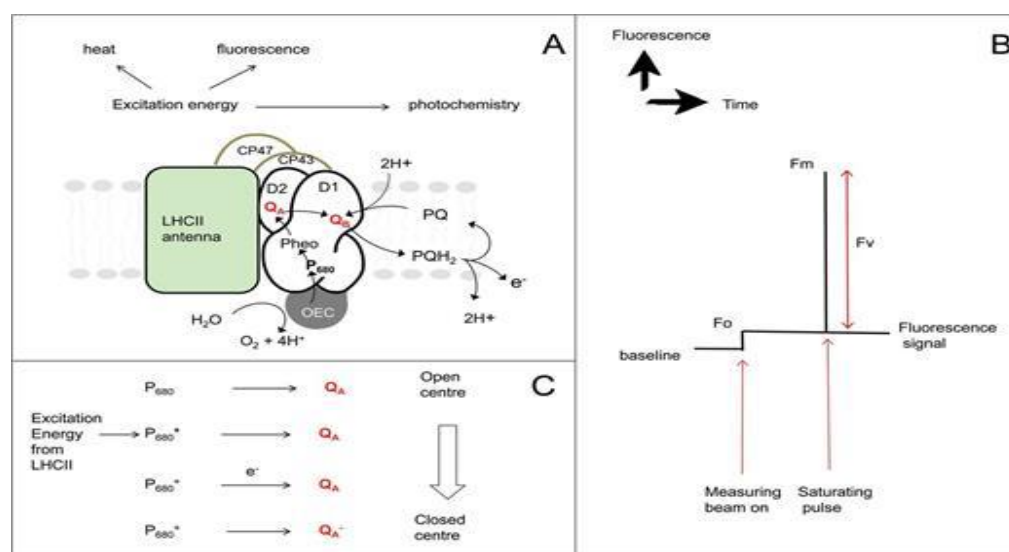
προσδιορίζεται φωτομετρικά, μετά από εκχύλιση με χρήση οργανικών διαλυτών όπως η ακετόνη ή αιθανόλη (Arnon 1949, Porra et al. 1989).

Ο μετρητής spad 502 εκπέμπει δύο είδη κυμάτων σε μήκος 650 nm και 940 nm, που αναλόγως απορροφούνται από τη χλωροφύλλη, εκτιμώντας την περιεκτικότητα της στο φύλλο. Η μέθοδος αυτή εφαρμόζεται κατά κόρον για την ορθότερη διαχείριση των αζωτούχων λιπάνσεων, μιας και η συσχέτιση της χλωροφύλλης με το άζωτο είναι αρκετά στενή. Αρκετές έρευνες έχουν επισημάνει ότι και οι μετρήσεις spad μπορούν να απεικονίσουν την υδατική κατάσταση των φυτών.

Η χρήση του μετρητή spad 502 μπορεί να επηρεαστεί από την ποικιλία, την ηλικία, το βλαστικό στάδιο, τη θέση του φύλλου και το σημείο μέτρησης του φύλλου (Ata-UI-Karim et al. 2014, Hu et al. 2014) σε αρκετά φυτικά είδη. Οι τιμές του μετρητή προκειμένου να μετατραπούν σε τιμές απόλυτης συγκέντρωσης χλωροφύλλης, απαιτείται η δημιουργία μιας καμπύλης βαθμονόμησης (Markwell et al. 1995).

Συμπερασματικά, για την ακριβή μέτρηση των συγκεντρώσεων της χλωροφύλλης στα φύλλα, με τη μέθοδο του μετρητή spad 502, απαιτείται δημιουργία μιας καμπύλης βαθμονόμησης, που εξειδικεύεται στο μετρούμενο φυτικό είδος (Richardson et al. 2002).

1.5.6. Μέτρηση φθορισμού χλωροφύλλης



Εικόνα 1.1. Murchie and Lawson 2013. Ανάλυση φθορισμού χλωροφύλλης.

Το απορροφούμενο φως από την χλωροφύλλη των φύλλων μπορεί να χρησιμοποιηθεί με τρεις τρόπους: 1. χρήση από το φωτοσύστημα II (PSII) των φυτών για τις φωτοχημικές αντιδράσεις της φωτοσύνθεσης, 2. αύξηση της θερμότητας και συνεπώς της θερμοκρασίας του φύλλου, και 3. ανάκλαση του και πάλι προς την ατμόσφαιρα σε μεγαλύτερα μήκη κύματος από 650 έως 850 nm, φαινόμενο που ονομάζεται φθορισμός χλωροφύλλης (Εικ. 1.1).

Η αύξηση του φθορισμού της χλωροφύλλης παρατηρείται κυρίως κάτω από συνθήκες στρες των φυτών και είναι αντιστρόφως ανάλογη προς τη φωτοσυνθετική απόδοση (Rolfe and Scholes, 1995). Σε πολλές έρευνες έχει αναφερθεί ο παράγοντας υδατική καταπόνηση ότι έχει άμεση σχέση με την αύξηση του φθορισμού της χλωροφύλλης των φύλλων (Schmuck et al. 1992).

Τέλος, όπως έχει ήδη αναφερθεί, ο φθορισμός της χλωροφύλλης έχει άμεση σχέση με τη θερμοκρασία του φύλλου αλλά και με τη φωτοσυνθετική του ικανότητα, από την οποία εξαρτάται η απόδοση και τα ποιοτικά χαρακτηριστικά των καρπών (Asao and Ryan 2015).

1.5.7. Μέτρηση φαινολικών – αντιοξειδωτικών

Τόσο στις βιοτικές όσο και στις αβιοτικές καταπονήσεις των φυτών παρατηρείται αύξηση της συγκέντρωσης των ενεργών μορφών οξυγόνου (reactive oxygen species, ROS) ως μεταβολική παρενέργεια. Τα φυτά παράγουν διαρκώς ενεργές μορφές οξυγόνου ως παραπροϊόντα μεταβολικών διεργασιών τους. Η αυξημένη παραγωγή ενεργών μορφών οξυγόνου από τα κύτταρα των φυτών εντείνεται όταν αυτά καταπονηθούν από θερμοκρασία, υγρασία, ξηρασία, αλατότητα, κ.λπ., γενικά παράγοντες οι οποίοι θέτουν σε άμεσο κίνδυνο την ομοιοστασία των κυττάρων τους. Ωστόσο για την ύπαρξη ισορροπίας μεταξύ της παραγωγής και της εκκαθάρισης των ενεργών μορφών και την αποφυγή οξειδωτικής καταπόνησης, διαθέτουν μία πληθώρα ενζυματικών και μη-ενζυματικών αντιοξειδωτικών μηχανισμών, έτσι ώστε να περιορίζουν την ανεξέλεγκτη δράση των ROS (Noreen et al. 2009).

Η ενεργοποίηση των αντιοξειδωτικών μηχανισμών, προκειμένου να ελεγχθεί η υπερσυγκέντρωση των ROS, είναι η συνηθέστερη αντίδραση των φυτών απέναντι στην υδατική καταπόνηση σε βιοχημικό επίπεδο. Οι πολυφαινόλες είναι φυσικές αντιοξειδωτικές ουσίες, που αποτελούνται από τα φαινολικά οξέα, τα φλαβονοειδή και άλλες ουσίες, παραγόμενες από το μεταβολικό μονοπάτι των φαινυλοπροπανοειδών στα φυτικά κύτταρα. Αποτελούν χαρακτηριστικό συστατικό των φυτών και είναι ευρέως διαδεδομένες στο φυτικό βασίλειο (Scalbert et al. 2000).

Οι πολυφαινολικές ενώσεις είναι οι ιδανικότερες για την απενεργοποίηση των ROS, που παρουσιάζουν αυξημένη συγκέντρωση σε υδατική καταπόνηση (Petridis et al. 2012a). Αύξηση των πολυφαινολικών ενώσεων στα φύλλα της ελιάς είναι μία συνηθισμένη βιοχημική αντίδραση απέναντι στην υδατική καταπόνηση. Πολλές μελέτες έχουν διεξαχθεί σχετικά με την ενεργοποίηση των αντιοξειδωτικών συστημάτων σε περίπτωση υδατικής καταπόνησης σε πολλά φυτά, όπως το σπανάκι, το μπιζέλι, το σόργο, τον ηλιάνθο και το σιτάρι (Zhang and Kirkham 1996).

Για τον λόγο αυτό η μέτρηση των αντιοξειδωτικών και των φαινολικών στα φύλλα ενός φυτού, μπορεί κάλλιστα να συσχετιστεί με την υδατική του κατάσταση.

1.5.8. Μετρήσεις στελεγχών του φυτού

Ημερήσια διακύμανση της διαμέτρου του κορμού της καρδιάς έχει υποθεθεί ότι είναι αντιπροσωπευτική του υδατικού δυναμικού της. Έχει παρατηρηθεί ότι η διάμετρος του κορμού μειώνεται κυρίως κατά τις μεσημβρινές ώρες, διότι ένα μέρος του νερού που αποθηκεύεται στους ιστούς του χρησιμοποιείται στο ρεύμα διαπνοής και δεν μπορεί να αναπληρωθεί με την κατάλληλη ταχύτητα (Simmoneau et al. 1993). Περαιτέρω έρευνα έχει δείξει ότι οι συνεχείς μετρήσεις της διαμέτρου του κορμού και της ροής των χυμών, σχετίζονται άμεσα με το υδατικό δυναμικό και τη στοματική αγωγιμότητα.

Συνεπώς, οι μετρήσεις του κορμού, με κατάλληλα όργανα, μπορούν να χρησιμοποιηθούν για την αυτοματοποίηση της άρδευσης (Archer et al. 2001).

1.6. Αρδευτικά συστήματα

Η κλιματική αλλαγή με τα ακραία καιρικά φαινόμενα, που ολοένα γίνονται και συχνότερα και στην Ελλάδα, έχουν ως αποτέλεσμα την αύξηση της πίεσης των υδάτινων πόρων και τη λειψυδρία σε αρκετές περιοχές, που είναι ίσως ο κυριότερος παράγοντας που καθιστά επιτακτική την ανάγκη μελέτης και επαναπροσδιορισμού της αποδοτικότερης χρήσης νερού. Το νερό χαρακτηρισμένος ως σπάνιος πόρος, αναμένεται στο άμεσο μέλλον να μειωθεί και να μην επαρκεί για την κάλυψη των αρδευτικών αναγκών πολλών περιοχών. Σε συνδυασμό με τη σημαντική αύξηση θερμοκρασίας στον πλανήτη και τη μείωση των βροχοπτώσεων, τα οποία συνεπάγονται περαιτέρω μείωση των διαθέσιμων υδάτινων πόρων (Turrall et al. 2011). Με δεδομένο ότι η γεωργία χρησιμοποιεί από 70 έως 90% του γλυκού νερού, προκειμένου να καλυφθούν οι ανάγκες των αρδευόμενων επιφανειών, αυτό την καθιστά ακόμη πιο ευάλωτη στον ανταγωνισμό για τη χρήση νερού (Postel 1999). Η μελέτη εγκατάστασης ενός καρυδεώνα απαιτεί μια ολιστική προσέγγιση, με κυρίαρχο ζητούμενο τη διαθεσιμότητα αρκετού νερού άρδευσης.

Στη δενδροκομία γενικότερα, λόγω της υψηλής αξίας των καλλιεργειών, η πλειονότητα των καλλιεργητών έχει εγκαταστήσει σύγχρονα συστήματα μικρό-άρδευσης. Με τη μέθοδο αυτή έχουμε τη δυνατότητα παροχής σταδιακά μικρών ποσοτήτων νερού στο έδαφος, που ως στόχο έχει το ριζικό σύστημα των φυτών. Η

εφαρμογή του νερού γίνεται από ένα σύστημα διανομής χαμηλής πίεσης, ελεγχόμενων πομπών ροής, που απορρίπτουν το αρδευτικό νερό, είτε υπό μορφή σταγόνας, είτε υπό μορφή ψεκασμού, με ροές που κυμαίνονται από 2 έως και πάνω από 200 L h⁻¹ (Huffman et al. 2012).

Κατά συνέπεια, η ανάγκη εγκατάστασης αρδευτικών συστημάτων υψηλής απόδοσης, σε συνδυασμό με μελέτη όλων των παραμέτρων του εδάφους και της διαχείρισης του, καθώς και η ποσοτικοποίηση με ακρίβεια των αρδευτικών αναγκών του καρυδεώνα, με τη χρήση εξειδικευμένων οργάνων αλλά και σύγχρονων εφαρμογών άρδευσης, είναι οι πυλώνες για την αύξηση της αποδοτικότητας χρήσης του νερού.

1.6.1. Επιφανειακή στάγδην άρδευση (DI)

Η επιφανειακή στάγδην άρδευση που εφαρμόζεται εδώ και αρκετά χρόνια σε πολλές καλλιέργειες ανά τον κόσμο, τόσο ετήσιες όσο και πολυετείς, έχει πολλά θετικά χαρακτηριστικά όσον αφορά στην αποδοτικότητα χρήσης νερού, αλλά και στην αποδοτικότητα των καλλιεργειών. Αρκετές μελέτες δείχνουν ότι η επιφανειακή στάγδην άρδευση μπορεί να εξοικονομήσει από 17 έως 43% του νερού σε σύγκριση με άλλες μεθόδους άρδευσης.

Είναι η πλέον διαδεδομένη μέθοδος άρδευσης. Αν και πάνω από 80% των αρδευόμενων εκτάσεων σε όλο τον κόσμο αρδεύονται με διάφορες μεθόδους επιφανειακής άρδευσης. Ωστόσο η αποδοτικότητα χρήσης νερού των μεθόδων αυτών δεν ξεπερνά το 40% έως 50% σε αντίθεση με τη στάγδην άρδευση, που έχει αποδοτικότητα χρήσης νερού 70% έως 90%, καθώς ελαχιστοποιείται η απορροή, η εξάτμιση και η βαθιά διήθηση (Postel 2000).

Οι σωλήνες στάγδην είναι κυρίως από πολυαιθυλένιο με ενσωματωμένους (on line) ή προσαρτημένους σταλάκτες. Απαραίτητη είναι και η προσαρμογή στο δίκτυο φίλτρων και συστημάτων ελέγχου πίεσης (βαλβίδες-συστήματα έκχυσης), για τον έλεγχο και την καλή λειτουργία των σωλήνων. Με τη στάγδην άρδευση υπάρχει δυνατότητα καλλιέργειας περισσότερων καλλιεργειών ανά μονάδα νερού, ειδικά σε περιοχές όπου είναι έντονο το πρόβλημα της λειψυδρίας (von Westarp et al. 2004).

Αρκετά είναι τα πλεονεκτήματα της επιφανειακής στάγδην άρδευσης στη δενδροκαλλιέργεια

1. Βελτιωμένη διαχείριση νερού, που συνεπάγεται μικρότερη επιφανειακή εξάτμιση, απορροή, καθώς και υψηλή ομοιομορφία (Schwankl et al. 1996)
2. Πιθανή εξοικονόμηση ενέργειας δεδομένου ότι τα συστήματα επιφανειακής στάγδην άρδευσης δεν απαιτούν την ενέργεια για την αύξηση της πίεσης που απαιτείται στους κρουστικούς ψεκαστήρες (κανόνια)
3. Ειδικότερα σε νεαρούς δενδρόνες επιτυγχάνεται στοχευμένη εφαρμογή νερού στο ριζικό σύστημα των φυτών, έχοντας τη δυνατότητα ξαναγεμίσματος με νερό της ριζικής ζώνης, όποτε αυτό χρειάζεται με συχνές αρδεύσεις, δεδομένου των μικρότερων απαιτήσεων σε νερό των νεαρών δέντρων, πετυχαίνοντας παράλληλα επαρκή διήθηση, για την καλύτερη αύξηση του ριζικού συστήματος των δενδρυλλίων (Andreu et al. 1997)
4. Σημαντική είναι επίσης και η δυνατότητα εφαρμογής υδρολίπανσης, με την αποτελεσματικότητα χρήσης του λιπάσματος να φτάνει έως και το 80% μέσω του συστήματος στάγδην άρδευσης, με τη στόχευση των θρεπτικών συστατικών στο ριζικό σύστημα του φυτού (Nielsen et al. 1998)
5. Επίτευξη καλύτερου ελέγχου των ζιζανίων, λόγω της μικρής έκτασης εδάφους που διαβρέχεται, με αποτέλεσμα, ειδικά σε ξηροθερμικές περιοχές, να ελαχιστοποιεί τα ζιζάνια
6. Η στάγδην άρδευση δεν επηρεάζεται από τους δυνατούς ανέμους
7. Λόγω του μικρού μεγέθους οπών των σταλακτών, δεν παρατηρείται συχνά απόφραξη αυτών από έντομα.

Πέραν των πλεονεκτημάτων υπάρχουν και κάποια μειονεκτήματα όπως:

1. Το υψηλό κόστος εγκατάστασης που δεν επαφίεται μόνο στην αγορά των σωλήνων άρδευσης, αλλά στο σύνολο του συστήματος, που απαιτεί ακριβά φίλτρα για την αποφυγή απόφραξης του δικτύου (Schwankl et al. 2000)

2. Περιορισμένη ζώνη διαβροχής. Αν και δεν υπάρχει κάποια οριστική σύσταση για το ποσοστό της επιφάνειας του εδάφους που πρέπει να διαβρέχεται σε έναν δέντρωνα για μέγιστη απόδοση και παραγωγή, έχει προταθεί από 1/3 έως και το 1/2 της συνολικής επιφάνειας (USDA-NRCS, 1984). Κάτι τέτοιο μπορεί να είναι ανέφικτο με τη στάγδην άρδευση (Schwankl et al. 1999)
3. Μειώνει τη δυνατότητα ύπαρξης φυτικής κάλυψης στο ενδιάμεσο των διαδρομών των δέντρων, ειδικά σε ξηροθερμικές περιοχές με χαμηλό ύψος βροχής
4. Επίσης αναλόγως του εδάφους εφαρμογής της, μπορεί να προκαλέσει υπερβολικά βαθιά διήθηση, λόγω του ότι ο συνολικός όγκος του νερού άρδευσης εφαρμόζεται σε ένα σχετικά μικρό όγκο εδάφους. Έτσι παρατηρείται το φαινόμενο, ειδικότερα σε εδάφη με υψηλούς ρυθμούς διήθησης και διαπερατότητας, της καθοδικής κίνησης του νερού άρδευσης που συντριπτικά κυριαρχεί της πλευρικής κίνησης (Andreu et al. 1997)
5. Μειονέκτημα αποτελεί επίσης η δυσκολία οπτικής επιθεώρησης
6. Τέλος, με δεδομένο την αύξηση του ενεργειακού κόστους σε συνδυασμό με τη δυνατότητα της στάγδην άρδευσης να απορρίπτει μικρές ποσότητες νερού ανά ώρα, την καθιστά ενδεχομένως ασύμφορη, σε κάποιες περιπτώσεις, όπου υπάρχει άντληση από μεγάλα βάθη αρδευτικού νερού.

1.6.2. Υπόγεια στάγδην άρδευση (SDI)

Υπόγεια στάγδην άρδευση (SDI) ορίζεται η εφαρμογή νερού κάτω από την επιφάνεια του εδάφους και σε βάθος μεγαλύτερο των 2 cm δια μέσω αρδευτικών σωλήνων οι οποίοι έχουν τη δυνατότητα απόρριψης νερού, όμοια με αυτή της στάγδην επιφανειακής άρδευσης. Το νερό απορρίπτεται από τις οπές του σωλήνα με την ίδια συχνότητα και το ίδιο εύρος (Camp 1998).

Η μέθοδος της υπόγειας στάγδην άρδευσης έχει εφαρμοστεί τα τελευταία χρόνια, σχεδόν σε όλες τις καλλιέργειες έχοντας συγκριτικά πολλά πλεονεκτήματα, όμοια με αυτά της επιφανειακής στάγδην άρδευσης με ακόμη πιο μειωμένη έως μηδενική

επιφανειακή εξάτμιση. Η SDI έχει μελετηθεί εκτενέστατα τα τελευταία 15 χρόνια και συγκριτικά με άλλα συστήματα άρδευσης παρουσιάζει πολλά πλεονεκτήματα όπως η αποδοτικότερη χρήση νερού, οι υψηλότερες αποδόσεις των καλλιεργειών, η καλύτερη διαχείριση των ζιζανίων και των ασθενειών των καλλιεργειών (Stephens 1994, Phene 1999, Grattan et al. 1988), η αύξηση της δραστηριότητας των ριζών (Hoffman and Martin 1993), καθώς και η ελαχιστοποίηση της επιφανειακής εξάτμισης (Hoffman and Martin 1993). Τέλος, η αποφυγή της επιφανειακής απορροής σε συνδυασμό με την υψηλή ομοιομορφία εφαρμογής κατατάσσει τη μέθοδο ως μία αξιόλογη μέθοδο και για την καλλιέργεια της καρυδιάς, έχοντας ως ένα βασικό μειονέκτημα το υψηλό κόστος εγκατάστασης και σε δεύτερη μοίρα, το ψυχολογικό κομμάτι των περισσότερων καλλιεργητών του μη ορατού αγωγού (Lamm et al. 2012). Οι αγωγοί της υπόγειας στάγδην άρδευσης έχουν εξελιχθεί σε αρκετά μεγάλο βαθμό, έτσι ώστε να διασφαλίζεται η ομαλή λειτουργία τους για αρκετά έτη από την εγκατάστασή τους. Η συντήρηση του δικτύου είναι απαραίτητη και κυρίως γίνεται με τη χρήση τριφλουραλίνης (δίνιτρο -N, N-διπροπυλ-4 τριφθορομεθυλανιδίνη), μιας χημικής ουσίας που αναστέλλει την ανάπτυξη των ριζών στις οπές του αγωγού (Romero et al. 2006).

1.6.3. Μικροεκτοξευτήρες (ατομικά μπεκ)

Το σύστημα αυτό αποτελείται από μικροεκτοξευτήρες χαμηλού όγκου, που μπορούν να προσαρτηθούν είτε απευθείας στο δίκτυο σωλήνων πολυαιθυλενίου του δικτύου, είτε σε σωλήνες μικρής διαμέτρου, που τελικά συνδέονται με το δίκτυο.

Η μέθοδος αυτή εφαρμόζεται, σε αρκετά μεγάλη κλίμακα στην καλλιέργεια καρυδιάς. Λόγω και του χαμηλότερου κόστους που παρουσιάζει σε σχέση με τη στάγδην άρδευση εξαιτίας των μεγάλων αποστάσεων φύτευσης (Burt 1998). Έχει τη δυνατότητα απόρριψης μεγαλύτερου όγκου νερού ανά ώρα σε σχέση με τη στάγδην άρδευση, καθώς επίσης και τη δυνατότητα διαβροχής μεγαλύτερης επιφάνειας. Απαιτεί επίσης λιγότερο φιλτράρισμα του νερού άρδευσης σε σχέση με το σύστημα στάγδην, έχοντας τη δυνατότητα προστασίας σε κάποιο βαθμό του καρυδεώνα από παγετό. Στον αντίποδα, παρουσιάζει και αυτή ορισμένα μειονεκτήματα όπως η αυξημένη απορροή σε επικλινή εδάφη αλλά και βαριά αργιλώδη, η αυξημένη

επιφανειακή εξάτμιση, η αυξημένη σχετική υγρασία στην κόμη των δένδρων, με αποτέλεσμα την ευκολότερη εξάπλωση ασθενειών, καθώς επίσης και δυσχέρεια ελέγχου των ζιζανίων. Η αποδοτικότητα χρήσης νερού των ατομικών μπεκ κυμαίνεται από 60 έως 80%, αισθητά χαμηλότερη από την αποδοτικότητα χρήσης νερού του συστήματος στάγδην άρδευσης.

1.7. Επίδραση της θερμικής καταπόνησης στην καρυδιά

Το φαινόμενο της κλιματικής αλλαγής έχει επιφέρει παγκόσμιες επιπτώσεις. Η αυξανόμενη συχνότητα των έντονων καιρικών φαινομένων, η μείωση των βροχοπτώσεων και η αύξηση της θερμοκρασίας προβληματίζουν αρκετά την παγκόσμια κοινότητα. Η Ελλάδα βρίσκεται μεταξύ των παραλλήλων 34° και 42° του Βορείου ημισφαιρίου και βρέχεται από την Μεσόγειο. Με κλίμα τυπικά Μεσογειακό, έχει σχετικά ήπιους και υγρούς χειμώνες και σχετικά θερμά και ξηρά καλοκαίρια, με μακρά περίοδο ηλιοφάνειας για τη μεγαλύτερη διάρκεια του έτους. Τα τελευταία χρόνια παρατηρείται ένταση των ακραίων καιρικών φαινομένων με υψηλές θερμοκρασίες και παρατεταμένους καύσωνες. Η καλλιέργεια της καρυδιάς βρίσκεται σε δύσκολη θέση λόγω της αυξημένης της ευαισθησίας στην ξηρασία. Τα ολοένα εντονότερα και συχνότερα ακραία καιρικά φαινόμενα, συνδυαστικά με την αισθητή μείωση των βροχοπτώσεων και τις δυσοίονες προβλέψεις για το μέλλον, πιθανόν να μετατοπίσουν την καλλιέργεια προς ψυχρότερες περιοχές (Gauthier & Jacobs 2011). Η καλλιέργεια της καρυδιάς αναμένεται να συρρικνωθεί σημαντικά τα επόμενα 30 χρόνια λόγω ακαταλληλότητας αρκετών εκτάσεων παγκοσμίως (Vahdati et al. 2019).

Μεγάλες απώλειες στην παραγωγή μπορεί να προκληθούν από τις υψηλές θερμοκρασίες που επικρατούν σε πολλές περιοχές που έχουν εγκατασταθεί καρυδεώνες στη χώρα μας. Οι ξηροθερμικές συνθήκες ιδιαίτερες της καλοκαιρινής περιόδου που συνοδεύονται με υψηλής έντασης ηλιακή ακτινοβολία έχουν ως αποτέλεσμα το κλείσιμο των στοματίων των φύλλων με ταυτόχρονη μείωση της διαπνοής τους (Turner et al. 1984). Δυνητικά, το κλείσιμο των στοματίων έχει ως αποτέλεσμα την αύξηση της θερμοκρασίας των φύλλων και τη μείωση του καθαρού ρυθμού φωτοσύνθεσης (Shellie and King 2013a). Ως αποτέλεσμα είναι η μείωση του ρυθμού ανάπτυξης των δέντρων, καθώς επίσης και η πρόκληση ζημιών- εγκαυμάτων

φύλλων, καρπών και βλαστών, που είναι άμεσα εκτεθειμένα στην υψηλή ηλιακή ακτινοβολία σε πολύ υψηλές και παρατεταμένες θερμοκρασίες καύσωνα. Μικρές ζημιές μπορεί να παρατηρηθούν κατά προσέγγιση στους 38 °C, αλλά οι πιθανότητες αυξάνονται σημαντικά όταν οι θερμοκρασία είναι μεγαλύτερη από 42 °C κατά μέσο όρο.

Το ηλιοέγκαυμα στους καρπούς των καρυδιών, που εντοπίζεται εντονότερα στη νοτιοδυτική πλευρά της κόμης των δένδρων και ιδίως στο κάτω μέρος του θόλου, είναι ένα πολύ σύνηθες φαινόμενο. Η ένταση της ζημίας, δηλαδή της συρρίκνωσης και του σκούρου μεταχρωματισμού της ψίχας, εξαρτάται από τα χαρακτηριστικά της ποικιλίας (Lampinen et al. 2006). Πέραν των ζημιών που προκαλούνται από το ηλιακό έγκαυμα, η θερμική καταπόνηση είναι δυνατόν να επιδρά και στην ποιότητα των καρπών. Το κλείσιμο των στοματίων προκαλεί μείωση της φωτοσυνθετικής ικανότητας του δέντρου, που έχει ως επίπτωση την πρόωμη παύση του γεμίσματος των ξηρών καρπών (Tombesi 1994, Dias et al. 2005, Bostan and Günay 2009). Οι υψηλές θερμοκρασίες του καλοκαιριού μπορεί να είναι ιδιαίτερος επιζήμιος και στα ποιοτικά χαρακτηριστικά της ψίχας με ελλιπή συγκέντρωση ελαίων (Farinelli et al. 2001).

Συνεπώς η θερμική καταπόνηση αποτελεί έναν σοβαρό αβιοτικό παράγοντα, που σε συνδυασμό με την υδατική καταπόνηση μπορούν να επιφέρουν αρκετά μεγάλη ζημιά στην καλλιέργεια της καρυδιάς.

1.8. Διαχείριση της θερμικής καταπόνησης

Σε πολλές δενδροκομικές καλλιέργειες για την προστασία από την ακραία ηλιακή ακτινοβολία χρησιμοποιούνται διάφορες μέθοδοι όπως αντιχαλαζικά δίχτυα που προσφέρουν σκίαση, νεφελοψεκασμός για την ψύξη των δέντρων, κ.ά.. Πέραν του υψηλού κόστους εγκατάστασης αυτών των συστημάτων και των πιθανών παρενεργειών που μπορούν να επιφέρουν, όπως η εξάπλωση ορισμένων ασθενειών, δεν είναι εύκολη η διαχείρισή τους στους καρυδεώνες, εξαιτίας του μεγάλου ύψους της κόμης των ενήλικων δένδρων (Kotzé et al. 1988, Widmer 2001).

Ένας ακόμη τρόπος για τη μείωση της θερμικής καταπόνησης με σχετικά χαμηλό οικονομικό κόστος είναι η χρήση αντιδιαπνευστικών και ανακλαστικών υλικών. Ένα τέτοιο υλικό είναι και ο καολίνης.

Ο καολίνης είναι ένα φυσικό αργιλοπυριτικό ορυκτό, που απαντάται σε πολλές περιοχές του κόσμου, ενώ στην Ελλάδα συναντάται κυρίως στη Μήλο, στη Σαντορίνη, στην Κίμωλο και στη Μυτιλήνη. Ως υλικό μικρής κοκκομετρίας έχει τη δυνατότητα επικάλυψης του φυλλώματος και των καρπών της καρυδιάς, λειτουργώντας ανακλαστικά και μειώνοντας την απορρόφηση υπεριώδους και υπέρυθρης ακτινοβολίας, αποτρέποντας έτσι τη συσσώρευση θερμότητας στα φύλλα και στους καρπούς, μετριάζοντας τη θερμική καταπόνηση (Rosati et al. 2006).

Η εφαρμογή καολίνη έχει επιδράσεις και στη φυσιολογία των φυτών. Μπορεί να λειτουργήσει θετικά στη φωτοσύνθεση και τη στοματική αγωγιμότητα ιδιαίτερα σε συνθήκες υψηλής ηλιακής ακτινοβολίας και θερμοκρασίας. Επίσης, μπορεί να μειώσει το ποσοστό των ενεργών μορφών οξυγόνου, αναστέλλοντας τις ρίζες υδροξυλίου, αυξάνοντας παράλληλα τις συγκεντρώσεις αντιοξειδωτικών ενώσεων όπως είναι οι φαινόλες, φλαβονοειδή και ανθοκυάνες (Dinis et al. 2016). Συνεπώς, ο καολίνης μπορεί να επιφέρει θετικά αποτελέσματα τόσο στο θερμικό όσο και στο υδατικό στρες.

Η πρόσφατη αναβίωση των μελετών, σχετικά με την επίδραση των μεμβρανών σωματιδίων στην δενδροκαλλιέργεια, έγινε κατόπιν των θετικών αποτελεσμάτων από τη χρήση τους για τον έλεγχο αρκετών παρασίτων σε πολλά είδη οπωροφόρων δέντρων, καθώς και τη μείωση της θερμικής καταπόνησης και του ηλιοεγκαύματος, αλλά και τη βελτίωση της ποιότητας των καρπών των μήλων (Thomas et al. 2004). Έκτοτε, αρκετές μελέτες έχουν εκπονηθεί σε πολλά είδη οπωροφόρων δέντρων, όπως και στην καρυδιά, με αντιφατικά αποτελέσματα.

Στόχος της συγκεκριμένης εργασίας είναι: η αξιολόγηση της αποδοτικότητας των δύο επικρατέστερων μεθόδων μικροάρδευσης των καρυδεώνων στην Ελλάδα (στάγδην-μικροεκτοξευτήρες), καθώς επίσης και οι επιπτώσεις από την εφαρμογή καολίνη στις μορφολογικές και φυσιολογικές λειτουργίες της καρυδιάς, κατά τους θερμούς μήνες Ιούλιο και Αύγουστο, σε ένα πλήρως αρδευόμενο νεαρό εντατικό καρυδεώνα.

2. Υλικά και μέθοδοι

2.1. Περιγραφή πειράματος

Το πείραμα διεξήχθη σε καρυδεώνα συνολικής έκτασης 12 στρεμμάτων, που βρίσκεται στην περιοχή της Σπερχειάδας Φθιώτιδας (38°54'14''N 22°08'32''E) και σε υψόμετρο 167,03 μέτρα. Η κοκκομετρική σύσταση του εδάφους του αγρού ήταν: άμμος 39% άργιλος 26% ιλύς 35% και ο χαρακτηρισμός του «αργιλοπηλώδες», με pH 7,3. Τα δέντρα ήταν ηλικίας 6 ετών, με αποστάσεις φύτευσης 9 * 9 μ (περίπου 12 δένδρα ανά στρέμμα) και διαμορφωμένα σε κύπελλο. Το πείραμα διήρκησε από τον Μάιο του 2022 έως και τον Αύγουστο του 2022. Οι καρυδιές ήταν ποικιλίας *Chandler* Καλιφόρνιας, εμβολιασμένες σε σπορόφυτα υποκείμενα *Juglans regia*. Επιλέχθηκαν τυχαία δύο σειρές δένδρων (όχι διαδοχικές), που αποτελούνταν από δεκατέσσερα δένδρα εκάστη. Η μια σειρά ψεκάστηκε με καολίνη, χωρίς να επηρεάσει την σειρά του μάρτυρα.

Για την άρδευση ορίστηκαν δύο μεταχειρίσεις ανά σειρά: μία με στάγδην άρδευση πομπών 2,4 λίτρων/h, αποτελούμενη από δύο σταλακτηφόρους σωλήνες (έναν σε κάθε πλευρά του δένδρου), ενώ η δεύτερη με δύο αμφίπλευρους μικροεκτοξευτήρες 180° επί της γραμμής, δυνατότητας απόρριψης 120 λίτρων/h. Κάθε μεταχείριση αποτελούνταν από επτά δένδρα. Το εύρος της άρδευσης καθορίστηκε στις έξι ημέρες σύμφωνα με τη μέθοδο των Karatasίου et al. (2019). Η άρδευση ήταν πλήρης και έγινε με χρήση εξατμισμέτρου, στηριζόμενη στην αποδοτικότητα του αρδευτικού συστήματος μπεκ (80%) (Burt 1998). Το ποσό του αρδευτικού νερού που χορηγούνταν στα υπό στάγδην αρδευόμενα δένδρα, με βάση την αποδοτικότητα του συστήματος (Postel 2000), υπερέβαινε τις ανάγκες των δένδρων κατά 10%. Πραγματοποιήθηκαν δύο πειραματικές μετρήσεις κατά το μήνα Ιούλιο και Αύγουστο, σχετικές με την ποσότητα του αρδευτικού νερού που απορρίπτεται ανά ώρα από το στάγδην σύστημα και από το σύστημα των μικροεκτοξευτήρων υπό πίεση δικτύου 2,5 bar, με παρόμοιο αποτέλεσμα: στάγδην(Drip)=0,78 m³ h⁻¹ και μικροεκτοξευτήρες (Sprinkler): 2,42 m³ h⁻¹.

Για την εφαρμογή καολίνη χρησιμοποιήθηκε το σκεύασμα SURROUND WP, kaolin 95% w/w (ΧΕΛΛΑΦΑΡΜ Α.Ε.). Η συγκέντρωση του καολίνη στο ψεκαστικό υγρό ήταν 3% w/v καολίνη. Ο ψεκασμός πραγματοποιήθηκε με συρόμενο ψεκαστικό μηχάνημα (τουρμπίνα) μέχρι πλήρη κάλυψη χωρίς απορροή σε στεγνό φύλλωμα. Επαναληπτικοί ψεκασμοί έγιναν κατόπιν βροχοπτώσεων, προκειμένου οι καρυδιές να είναι ομοιόμορφα καλυμμένες με το χαρακτηριστικό λευκό χρώμα που προσδίδει ο καολίνης. Σύμφωνα με τις οδηγίες του σκευάσματος γίνονταν προσθήκη νερού στο βυτίο του ψεκαστικού, έως και τα $\frac{2}{3}$ της συνολικής ποσότητας, προσθήκη του καολίνη και πλήρωση αυτού έως και τα $\frac{3}{3}$. Καθ' όλη τη διάρκεια του ψεκασμού, γινόταν συνεχής ανάδευση του ψεκαστικού υγρού. Συνολικά πραγματοποιήθηκαν τρεις ψεκασμοί: 1^{ος}/ 21-6-2022, 2^{ος} /5-7-2022 και 3^{ος} /10-8-2022.

Από την έναρξη της άρδευσης της βλαστικής περιόδου 2022 έγινε χρήση τεσσάρων φυτικών συντελεστών καλλιέργειας Kc, αναλόγως του φαινολογικού σταδίου της καλλιέργειας (Goldhamer et al. 1998). Συγκριμένα 15/5 έως 30/5 **Kc=0,86** – 1/6 έως 15/6: **Kc=0,94** – 15/6 έως 30/6: **Kc=1,00** – 1/7 έως 30/8: **Kc=1,14**.

Οι μετρήσεις των φυσιολογικών λειτουργιών των δένδρων του πειράματος έγιναν στις 7-7-2022 και 4-8-2022. Οι πρώτες μετρήσεις (7-7-2022) πραγματοποιήθηκαν την επομένη της άρδευσης, ενώ οι μετρήσεις της 4-8-2022, έλαβαν χώρα μια μέρα πριν την προγραμματισμένη άρδευση. Κατά τις ημερομηνίες των μετρήσεων, πραγματοποιήθηκαν τομές στο έδαφος, βάθους περίπου 50 cm και στα δύο συστήματα άρδευσης, προκειμένου να αξιολογηθεί μακροσκοπικά η εδαφική υγρασία και το συνολικό εμβαδό της ζώνης διαβροχής.

Ο έλεγχος των ζιζανίων στον πειραματικό αγρό γινόταν με κοπές κατά τη διάρκεια της βλαστικής περιόδου 2022. Την 7-7-2022 (ημερομηνία 1^{ων} μετρήσεων) είχε προηγηθεί σε προγενέστερο χρόνο κοπή των ζιζανίων, ενώ την 4-8-2022 (ημερομηνία 2^{ων} μετρήσεων) τα ζιζάνια είχαν αναπτυχθεί σημαντικά στις ζώνες άρδευσης και των δύο συστημάτων.

Την 10-8-2022 πραγματοποιήθηκε κοπή και συλλογή των ζιζανίων και εν συνεχεία ζύγιση του νωπού και, μετά από αεροξήρανση, του ξηρού βάρους αυτών ανά δέντρο.

Την 29-8-2022 (πέρας της θερμής περιόδου) πραγματοποιήθηκε δειγματοληπτική συλλογή ανώριμων καρπών από όλα τα δένδρα του πειραματικού αγρού, προκειμένου να μετρηθούν οι ποιοτικές τους παράμετροι στο εργαστήριο.

Στον πειραματικό αγρό εφαρμόστηκε ομοιόμορφα πρόγραμμα φυτοπροστασίας και λιπαντικής αγωγής. Ορίστηκαν τέσσερις μεταχειρίσεις αποτελούμενες από επτά δένδρα η κάθε μία. Αναλυτικότερα οι μεταχειρίσεις ήταν οι εξής:

1. ΣΤΑΓΔΗΝ ΜΑΡΤΥΡΑΣ (Σ.Μ.)
2. ΚΑΟΛΙΝΗΣ ΣΤΑΓΔΗΝ (Κ.Σ.)
3. ΜΑΡΤΥΡΑΣ ΜΠΕΚ (Μ.Μ.)
4. ΚΑΟΛΙΝΗΣ ΜΠΕΚ (Κ.Μ.)

2.2. Μετρήσεις στον αγρό

2.2.1. Μετρήσεις των φυσιολογικών λειτουργιών των φύλλων

Η μέτρηση των φυσιολογικών λειτουργιών των φύλλων πραγματοποιήθηκε στις 7-7-2022 και στις 4-8-2022. Η μέτρησή τους γινόταν κατά τις ώρες 9:00-13:00, με φορητό όργανο μέτρησης της φωτοσύνθεσης (model LCpro, ADC Bioscientific Ltd., Herts, Αγγλία), που διαθέτει ένα θάλαμο εισόδου των φύλλων που λειτουργεί με ρυθμό ροής αέρα $300-350 \text{ mL min}^{-1}$ υπό φυσικές συνθήκες. Εξαιτίας των υψηλών θερμοκρασιών που αναπτύσσονταν στο θάλαμο του οργάνου κατά την περίοδο υλοποίησης των μετρήσεων, ήδη από την ώρα έναρξης των μετρήσεων, έμπαινε σε λειτουργία ο ανεμιστήρας που διαθέτει ο θάλαμος, με ροή φυσικού αέρα για να μην υπερθερμαίνεται το προς μέτρηση κάθε φορά φύλλο.

Η μέτρηση των φυσιολογικών λειτουργιών των φύλλων γινόταν σε καλά ανεπτυγμένα φύλλα τα οποία την ώρα της μέτρησης ήταν φωτιζόμενα. Γινόταν μέτρηση δύο φύλλων από κάθε δένδρο (διαφορετικά κάθε φορά) και έξι μετρήσεις ανά φύλλο, σε έξι δένδρα ανά μεταχείριση. Τα παραπάνω επαναλαμβάνονταν

συνολικά τρεις φορές και για τις 4 μεταχειρίσεις κατά τη διάρκεια της ημέρας, με σκοπό οι μετρήσεις μεταξύ των συγκρινόμενων μεταχειρίσεων, να πραγματοποιούνται περίπου ίδιες χρονικές στιγμές και να διαπιστωθεί το μέγεθος της καταπόνησης που μελετάμε σε συνάρτηση με την ώρα της ημέρας. Γινόταν μέτρηση και καταγραφή της προσπίπτουσας φωτοσυνθετικά ενεργής ακτινοβολίας (ΦΕΑ) στο θάλαμο του φορητού οργάνου της φωτοσύνθεσης, της θερμοκρασίας του φύλλου στο θάλαμο του φορητού οργάνου της φωτοσύνθεσης (Θο), της στοματικής αγωγιμότητας (g_s), των ρυθμών φωτοσύνθεσης (A) και διαπνοής (E), η συγκέντρωση του μεσοκυττάριου CO_2 (CO_{2in}) και υπολογισμός της διαθέσιμης ΦΕΑ, της αποτελεσματικότητας χρήσης νερού (ΑΠΧΝ) και της απόδοσης φωτός (ΑΠΦ).

2.2.2. Μετρήσεις υδατικού δυναμικού βλαστού το μεσημέρι (MSWP)

Οι μετρήσεις υδατικού δυναμικού βλαστού το μεσημέρι γίνονταν με φορητό όργανο μέτρησης του υδατικού δυναμικού βλαστού (Plant Moisture Measurements, Skye Instruments Ltd, Wells, Powys, UK). Το όργανο διαθέτει θάλαμο πίεσης (pressure bomb) και συνδέεται με μία φιάλη που περιέχει φυσικό αέρα σε πίεση. Για τη μέτρηση αυτή γινόταν μία προετοιμασία των προς μέτρηση φύλλων από τον αγρό που επιτρέπει να εξισωθεί το υδατικό δυναμικό του φύλλου με αυτό του βλαστού. Πιο συγκεκριμένα η μέτρηση αυτή γινόταν στις 12:00 με 14:00 σε δώδεκα φύλλα ανά μεταχείριση. Η προετοιμασία που γινόταν αφορούσε την επιλογή αναπτυγμένων φύλλων κοντά σε κεντρικό βλαστό του δένδρου τα οποία καλύπτονταν με αλουμινόχαρτο για πλήρη σκίαση και παρέμεναν σε πλήρη σκίαση για δύο ώρες. Στη συνέχεια αποκόπτονταν τα φύλλα από το δένδρο και τοποθετούνταν σε πλαστικά σακουλάκια για να αποφευχθεί όποια απώλεια νερού. Ακολουθούσε μέτρηση του MSWP με τη χρήση του οργάνου. Σε κάθε φύλλο, πριν τη μέτρηση, κοβόταν ελάχιστα ο μίσχος και στη συνέχεια το φύλλο εισερχόταν στο θάλαμο πίεσης, ενώ μόνο ο μίσχος παρέμενε εκτός. Στη συνέχεια γινόταν εισαγωγή αέρα στο θάλαμο, με τη βοήθεια φιάλης πεπιεσμένου αέρα, με ταυτόχρονη παρακολούθηση του μίσχου του φύλλου με τη βοήθεια μεγεθυντικού φακού. Μόλις γινόταν διακριτή μία σταγόνα νερού στο μίσχο σταματούσε η εισαγωγή αέρα και καταγραφόταν η πίεση που αναπτύχθηκε στο θάλαμο πίεσης εκφρασμένη σε MPa.

2.2.3. Μετρήσεις φθορισμού χλωροφύλλης

Η μέτρηση φθορισμού χλωροφύλλης πραγματοποιήθηκε με το φορητό όργανο OS-30P (model OS-30p, Optisciences Inc., Tyngsboro, MA). Η μέτρηση αυτή γινόταν για να εκτιμηθεί η καταπόνηση των φύλλων. Για τις μετρήσεις αυτές επιλέχθηκαν δέκα τυχαία φύλλα από κάθε μεταχείριση, πλήρως φωτιζόμενα. Η μέτρηση γινόταν σε δύο επαναλήψεις των πέντε φύλλων ανά μεταχείριση. Τα φύλλα που επιλέχθηκαν ήταν υγιή και καλά ανεπτυγμένα. Οι μετρήσεις φθορισμού πραγματοποιούνταν 11:00-12:00.

Κάθε φορά που γινόταν η μέτρηση φθορισμού χλωροφύλλης, τοποθετούνταν στα φύλλα ειδικά κλιπς, που διαθέτουν ειδική υποδοχή που ανοίγει και κλείνει για την τοποθέτηση του ανιχνευτή του οργάνου. Για να πραγματοποιηθεί η μέτρηση, τα κλιπς τοποθετούνταν με κλειστή την υποδοχή για 30 min στα φύλλα ώστε να είναι στο σκοτάδι η συγκεκριμένη περιοχή του φύλλου. Αμέσως μετά τα 30 min άνοιγε η υποδοχή του κλιπ και τοποθετούνταν αμέσως ο ειδικός ανιχνευτής του οργάνου, γινόταν έκθεση της σκοτεινής περιοχής σε κορεσμένο φως διέγερσης στα 660 nm, μετρίονταν ο φθορισμός χλωροφύλλης σε μήκος κύματος >700 nm και καταγράφονταν οι παράμετροι F_0 , F_m και υπολογίστηκε η σχέση F_v/F_m , με $F_v = F_m - F_0$.

2.2.4. Μέτρηση της συγκέντρωσης της ολικής χλωροφύλλης ανά μονάδα επιφάνειας φύλλου (SPAD)

Η συγκέντρωση της ολικής χλωροφύλλης ανά μονάδα επιφάνειας φύλλου έγινε με το χλωροφυλλόμετρο SPAD (SPAD 502 Plus, Konica Minolta, Inc., IL, USA). Τοποθετούνταν η άκρη ενός φύλλου (με επτά τυχαία φύλλα ανά μεταχείριση) στον υποδοχέα του οργάνου και βγάζοντας μία μέση τιμή από τις επτά τιμές σημειωνόταν η συγκέντρωση χλωροφύλλης για την κάθε μεταχείριση. Η μέτρηση γινόταν κατά το χρονικό διάστημα 11:30-12:00.

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

Η μέτρηση της θερμοκρασίας της κόμης (T_c) των δένδρων έγινε με τη θερμική κάμερα FLIR TG167 με χαρακτηριστικά:

IR ανάλυση: 80 x 60 pixels

Εύρος φάσματος: 8 – 14 μm

ϵ : συντελεστής εκπομπής με εύρος τιμών ανάλογα με το υλικό

Ελάχιστη απόσταση εστίασης: 0,1 m

Ελάχιστη απόσταση μέτρησης: 26 cm

Χρωματικές παλέτες: Θερμό σίδερο, ουράνιο τόξο και γκρι

Οι μετρήσεις θερμοκρασίας της κόμης (T_c) με τη θερμική κάμερα υλοποιούνταν στις 12:00 το μεσημέρι, ο συντελεστής εκπομπής ορίστηκε σε $\epsilon = 0,95$ και για τη λήψη των τιμών γινόταν τοποθέτηση της κάμερας κάθετα στην κόμη και σε απόσταση 2 m από τη φωτιζόμενη πλευρά

Έγιναν επίσης μετρήσεις θερμοκρασίας εδάφους κάτω από την κόμη και επί του διαδρόμου σε φωτιζόμενη περιοχή.

2.3. Μετρήσεις στο εργαστήριο

Μετά τις πιο πάνω μετρήσεις, έξι επαναλήψεις φύλλων (δέκα φυλλάκια, ένα από κάθε σύνθετο φύλλο, ανά επανάληψη) ανά μεταχείριση συλλέχθηκαν από το μέσο των βλαστών περιμετρικά της κόμης του κάθε δένδρου, τοποθετήθηκαν σε πλαστικά σακουλάκια και μεταφέρθηκαν στο Εργαστήριο Δενδροκομίας. Ακολούθησαν οι εξής μετρήσεις:

2.3.1. Χαρακτηριστικά φύλλου

Πραγματοποιήθηκαν μετρήσεις του ποσοστού % της ξηράς ουσίας του φύλλου (% ΞO), του ειδικού βάρους φύλλου (ΕΒΦ) και της περιεκτικότητας σε χλωροφύλλη.

Για τη μέτρηση του ποσοστού % της ξηράς ουσίας του φύλλου (% ΞO), από τα δέκα φύλλα της κάθε επανάληψης λαμβάνονταν δώδεκα δίσκοι ελάσματος φύλλου με

διακορευτή διαμέτρου 9 mm, ζυγίζονταν σε ζυγό ακριβείας 4 δεκαδικών, και λαμβανόταν το νωπό τους βάρος (NB), στη συνέχεια ξηραίνονταν σε φούρνο στους 80 °C μέχρι οι δίσκοι με απλή πίεση να θρυμματίζονται. Οι ξηροί δίσκοι ζυγίζονταν και λαμβανόταν το ξηρό βάρος (XB). Έπειτα γινόταν υπολογισμός του ποσοστού % ΞΟ του φύλλου με τον τύπο $\% \text{ ΞΟ} = [(\text{XB})/(\text{NB})] \times 100$. Το ΕΒΦ φύλλου υπολογίστηκε από τον τύπο $\text{ΕΒΦ} = (\text{XB})/(\text{επιφάνεια 12 δίσκων})$ και εκφράστηκε σε g m^{-2} . Για τον προσδιορισμό της συγκέντρωσης των φύλλων σε χλωροφύλλη και ολικά καροτενοειδή εφαρμόστηκε η αναλυτική μέθοδος που περιγράφεται από τον Lichtenthaler (1987). Από τα δέκα φύλλα της κάθε επανάληψης αφαιρέθηκαν με τον ίδιο τρόπο όπως ανωτέρω, έξι δίσκοι ελάσματος φύλλου διαμέτρου 6 mm, ζυγίστηκαν και τοποθετήθηκαν σε screw top δοκιμαστικό σωλήνα που περιείχε 15 mL αιθανόλης 95%. Στη συνέχεια διατηρήθηκαν για μία ώρα σε υδατόλουτρο στους 80 °C μέχρι τα ελάσματα να αποχρωματιστούν πλήρως. Μετά τον αποχρωματισμό οι σωλήνες παρέμειναν σε σκοτεινό χώρο για να ψυχθούν. Έπειτα ανακινήθηκαν σε vortex για καλύτερη ομοιομορφία και μετρήθηκε η απορρόφηση με φασματοφωτόμετρο OPTIZEN POP (UV/VIS Spectrophotometer, Mecasys Co. Ltd) στα 665 και 649 nm για τη χλωροφύλλη και 470 nm για τα ολικά καροτενοειδή με τη βοήθεια κρυσταλλικής κυψελίδας. Ακολούθησε ο υπολογισμός της περιεκτικότητας σε χλωροφύλλη α (χλωρ. α) και β (χλωρ. β) σε $\mu\text{g mL}^{-1}$ αιθανόλης σύμφωνα με τις εξισώσεις: $\text{χλωρ. α} = 13,36 \times A_{665} - 5,19 \times A_{649}$, $\text{χλωρ. β} = 27,43 \times A_{649} - 8,12 \times A_{665}$, ολικά καροτενοειδή = $(1000 \times A_{470} - 2,13 \times \text{χλωρ. α} - 97,64 \times \text{χλωρ. β}) / 209$ και στη συνέχεια εκφράστηκαν σε mg m^{-2} φύλλου. Ακολούθησε ο υπολογισμός της ολικής χλωροφύλλης (Ολική χλωρ.) (Ολική χλωρ. = $\text{χλωρ. α} + \text{χλωρ. β}$) και του λόγου της χλωροφύλλης α προς τη χλωροφύλλη β ($\text{χλωρ. α} / \text{χλωρ. β}$).

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

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, έγινε σε τέσσερις επαναλήψεις (δέκα φύλλα ανά επανάληψη) ανά μεταχείριση και ακολουθήθηκε η μέθοδος των

Hayes et al. (2011). Σε σωλήνα φυγοκέντρωσης ζυγίστηκε 0,5 g νωπού ιστού φύλλων και προστέθηκαν 25 mL μεθανόλης. Ακολούθησε ομογενοποίηση για 1 min με τη συσκευή Polytron (Kinematika GmbH) και έπειτα ανακίνηση των δειγμάτων για 20 min στις 1050 rpm στο σκοτάδι. Στη συνέχεια ακολούθησε φυγοκέντρωση των δειγμάτων για 10 min στις 3000g και στο υπερκείμενο έγινε ποσοτικός προσδιορισμός της περιεκτικότητας των φύλλων σε ολικά φαινολικά συστατικά και της αντιοξειδωτικής τους ικανότητας.

2.3.3. Μέτρηση της περιεκτικότητας των φύλλων σε ολικά φαινολικά συστατικά

Ο προσδιορισμός των ολικών φαινολικών στα φύλλα πραγματοποιήθηκε με κάποιες μετατροπές της μεθόδου που περιεγράφηκε αρχικά από τους Swain and Hillis (1959) και στηρίζεται στο γεγονός ότι τα ολικά φαινολικά, κάτω από συγκεκριμένες συνθήκες ανάλυσης, αντιδρούν με το αντιδραστήριο Folin-Ciocalteu και σχηματίζουν ένα έγχρωμο (κυανό) σύμπλοκο με μέγιστο απορρόφησης στα 760 nm. Σε δοκιμαστικό σωλήνα προστέθηκαν τα 2 mL του εκχυλίσματος, 2 mL απιονισμένου νερού και 10 mL από αραιωμένο με νερό (1:10) διάλυμα Folin-Ciocalteu συγκέντρωσης 2 N. Ακολούθησε ανακίνηση με Vortex για μερικά δευτερόλεπτα. Μετά από 30 δευτερόλεπτα έως 8 λεπτά προστέθηκαν 8 mL διαλύματος 1 N Na_2CO_3 , έγινε ανακίνηση με το Vortex και τα δείγματα παρέμειναν για μία ώρα στους 30 °C στο σκοτάδι. Στη συνέχεια, τα δείγματα τοποθετήθηκαν στους 5 °C για 5 περίπου λεπτά και, μετά την ψύξη, παρέμειναν σε θερμοκρασία δωματίου για 5-10 λεπτά. Ακολούθησε η μέτρηση της απορρόφησης φωτός στα 760 nm σε φασματοφωτόμετρο OPTIZEN POP (UV/VIS Spectrophotometer, Mecasys Co. Ltd). Τα αποτελέσματα των μετρήσεων εκφράστηκαν σε mg γαλλικού οξέος ανά 100 g ν.β. φύλλων. Η πρότυπη καμπύλη αναφοράς έγινε με μέτρηση της απορρόφησης διαλυμάτων γνωστής συγκέντρωσης γαλλικού οξέος που προέκυψαν από αραιώσεις πυκνού διαλύματος γαλλικού οξέος (5 mg mL^{-1}).

2.3.4. Μέτρηση της αντιοξειδωτικής ικανότητας των φύλλων

Η μέτρηση της αντιοξειδωτικής ικανότητας των φύλλων πραγματοποιήθηκε με τη μέθοδο της ελεύθερης ρίζας DPPH.

Η μέθοδος της ελεύθερης ρίζας DPPH (2,2-diphenyl-1-picrylhydrazyl)

Η συνολική αντιοξειδωτική ικανότητα που προσδιορίζεται με τη μέθοδο της ελεύθερης ρίζας DPPH βασίζεται στην τροποποιημένη μέθοδο του Brand-Williams et al. (1995). Η μέθοδος βασίζεται στην ικανότητα αλληλεπίδρασης των αντιοξειδωτικών μορίων με τη ρίζα DPPH. Η ρίζα DPPH είναι μία σταθερή ρίζα, έχει μωβ χρώμα και απορροφά στα 517 nm. Όταν προστεθεί μια ουσία με αντιοξειδωτική δράση, τότε η ρίζα ανάγεται και η αναγωγή της ρίζας έχει ως αποτέλεσμα τη μεταβολή του χρώματος του διαλύματος από μωβ σε κίτρινο, μεταβολή που είναι ανάλογη της συγκέντρωσης της αντιοξειδωτικής ουσίας και με την αντίστοιχη μείωση της οπτικής απορρόφησης στα 517 nm. Η μεταβολή της απορρόφησης προσδιορίζεται φασματοφωτομετρικά. Για τη μέτρηση τοποθετήθηκαν σε δοκιμαστικό σωλήνα 100 μL από το μεθανολικό εκχύλισμα και 2900 μL DPPH συγκέντρωσης 100 μM . Κατόπιν ανακίνησης των δειγμάτων με vortex, τα δείγματα τοποθετήθηκαν στο σκοτάδι για 30 min ακριβώς και αμέσως μετά μετρήθηκε η απορρόφησή τους στα 517 nm με το φασματοφωτόμετρο OPTIZEN POP (UV/VIS Spectrophotometer, Mecasys Co. Ltd) έναντι μάρτυρα (100 μL μεθανόλη και 2900 μL DPPH). Η αντιοξειδωτική ικανότητα του εκχυλίσματος εκτιμήθηκε με βάση την πρότυπη καμπύλη αναφοράς του L-ασκορβικού οξέος και τα αποτελέσματα εκφράστηκαν ως ισοδύναμα μmol L-ασκορβικού οξέος ανά g ν.β. φύλλου.

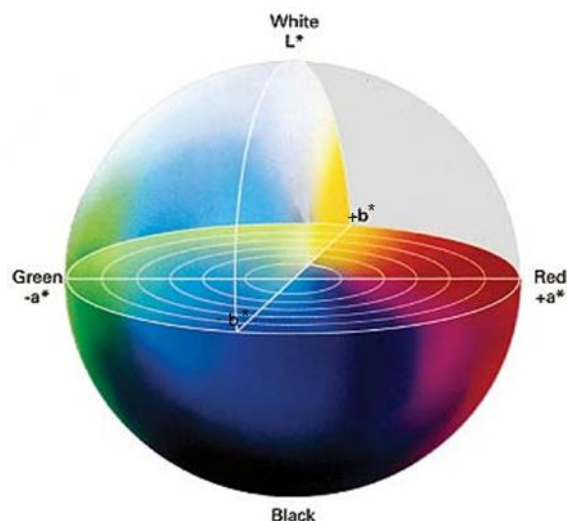
Η πρότυπη καμπύλη αναφοράς έγινε με μέτρηση της απορρόφησης διαλυμάτων γνωστής συγκέντρωσης ασκορβικού οξέος που προέκυψαν από αραιώσεις πυκνού διαλύματος ασκορβικού οξέος ($0,1 \text{ mg mL}^{-1}$).

2.3.5. Χρώμα φλοιού καρπών

Η μέτρηση του χρώματος του φλοιού των καρπών έγινε αρχικά παρουσία κόνεων. Ακολούθησε αφαίρεση των υπολειμμάτων καολίνη και του χνουδιού των καρπών ή

μόνο του χνουδιού στους καρπούς των μη ψεκασμένων με καολίνη, πλύσιμο και επαναλήφθηκε η μέτρηση χρώματος με το χρωματόμετρο Minolta (μοντέλο CR-400, Konica Minolta Optics Inc, Japan). Η μέτρηση του χρώματος έγινε σύμφωνα με το σύστημα μέτρησης CIELAB (CIE 1976, L^* , a^* , b^*). Πραγματοποιήθηκαν και στις δύο περιπτώσεις δύο μετρήσεις στον ισημερινό του κάθε καρπού (στα δύο αντιδιαμετρικά μάγουλα) του δείκτη φωτεινότητας L^* και των παραμέτρων a^* και b^* και υπολογίστηκε ο μέσος όρος.

Πριν από κάθε μέτρηση γινόταν βαθμονόμηση του οργάνου με τη χρήση άσπρης και μαύρης πλάκας. Οι παράμετροι χρώματος L^* , a^* και b^* τοποθετούν το χρώμα σε ένα τρισδιάστατο ορθογώνιο σύστημα συντεταγμένων, όπου το L^* είναι κάθετο στο επίπεδο που σχηματίζουν τα a^* και b^* . Η παράμετρος φωτεινότητας L^* κυμαίνεται από μαύρο $L^*=0$ έως λευκό $L^*=100$. Το a^* τοποθετείται στον οριζόντιο άξονα και το b^* στον κατακόρυφο. Το χρώμα στο σημείο $a^*=0$, $b^*=0$ είναι άχρωμο (γκρι). Στον οριζόντιο άξονα, $a^*>0$ δείχνει κόκκινη-μωβ απόχρωση και $a^*<0$ μπλε-πράσινη απόχρωση. Στον κατακόρυφο άξονα, $b^*>0$ δείχνει κίτρινη απόχρωση και $b^*<0$ δείχνει μπλε απόχρωση (Εικ. 2.1) (McGuire 1992).



Εικόνα 2.1 Ο τρισδιάστατος ομοιόμορφος χρωματικός χώρος CIELAB

2.3.6. Μέτρηση νωπού και ξηρού βάρους ζιζανίων

Η μέτρηση του νωπού βάρους των ζιζανίων έγινε με χρήση ηλεκτρονικού ζυγού αμέσως μετά την κοπή τους, ενώ το ξηρό βάρος τους μετρήθηκε μετά την πάροδο είκοσι ημερών και ενώ είχαν αποξηραθεί σε πλαστικά τελάρα.

2.3.7. Μέτρηση ζώνης διαβροχής

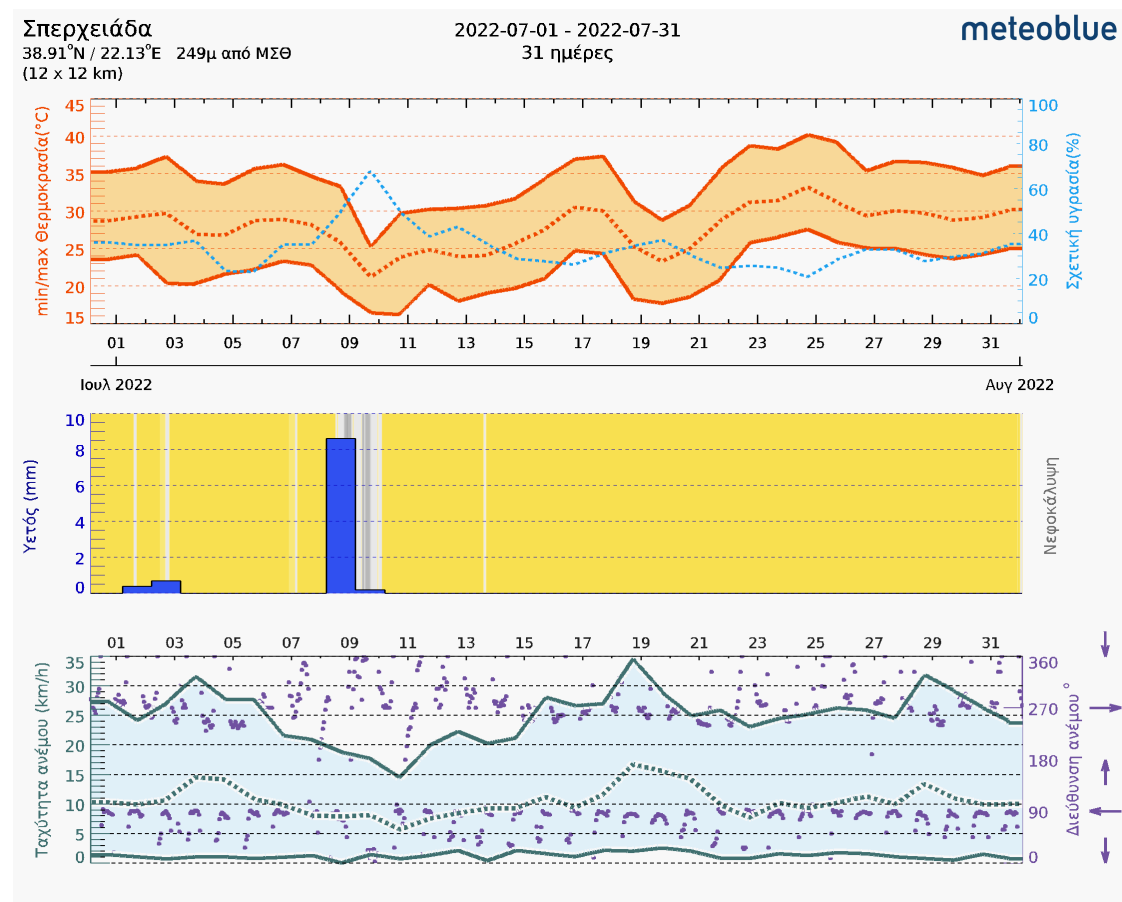
Η μέτρηση της ζώνης διαβροχής έγινε με χρήση μετροταινίας, και το αποτέλεσμα ανάχθηκε στο σύνολο της διαβρεγμένης επιφάνειας ανά στρέμμα.

2.4 Στατιστική ανάλυση

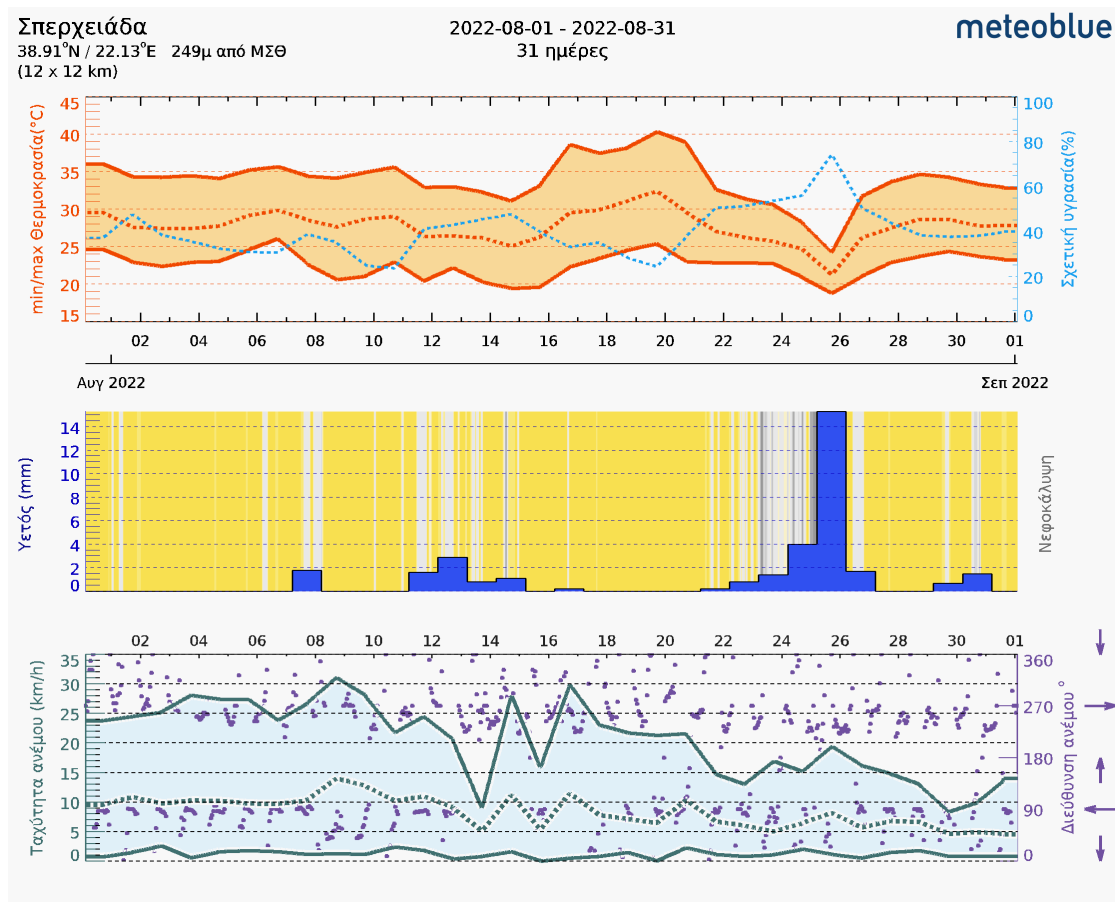
Η στατιστική ανάλυση διενεργήθηκε με ανάλυση παραλλακτικότητας με δύο παράγοντες: την εποχή μέτρησης και τη μεταχείριση ή μόνο με τη μεταχείριση με το πρόγραμμα SPSS (SPSS 26.0). Ο διαχωρισμός των μέσων όρων έγινε με τον υπολογισμό της ελάχιστης σημαντικής διαφοράς και τη μέθοδο Tukey για 5% πιθανότητα λάθους.

3. ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ

3.1 Επικρατούσες κλιματολογικές συνθήκες για τους μήνες Ιούλιο-Αύγουστο.



Εικόνα 3: Διάγραμμα θερμοκρασιών (μέγιστη, ελάχιστη, μέση ημερήσια)- Υετός- Ταχύτητα του ανέμου (μέγιστη, ελάχιστη, μέση ημερήσια) για τον μήνα Ιούλιο του 2022



Εικόνα 4: Διάγραμμα θερμοκρασιών (μέγιστη, ελάχιστη, μέση ημερήσια)- Υετός- Ταχύτητα του ανέμου (μέγιστη, ελάχιστη, μέση ημερήσια) για τον μήνα Αύγουστο του 2022

Οι κλιματολογικές συνθήκες κατά τον Ιούλιο και Αύγουστο ήταν τυπικές θερινές για την περιοχή χωρίς με δύο περιόδους καύσωνα (3^ο δεκαήμερο Ιουλίου και τέλος του 2^{ου} δεκαημέρου Αυγούστου) με θερμοκρασίες όμως έως 40 °C, και με την ύπαρξη δύο επεισοδίων υετού (στις 8 Ιουλίου και στις 25-26 Αυγούστου) που υπολογίστηκαν για τις αρδευτικές ανάγκες της καρδιάς (Εικ. 3, 4).

3.1.1 Ποσά αρδευτικού νερού που εφαρμόστηκαν

Η άρδευση κατά τους μήνες Ιούλιο-Αύγουστο έγινε με $K_c=1,14$. Το εύρος καθορίστηκε στις πέντε ημέρες. Την 10/7/2022, λόγω βροχόπτωσης, δεν πραγματοποιήθηκε η προγραμματισμένη άρδευση. Μετά τις 15/8/2022 λόγω αυξημένης ζήτησης του νερού από άλλους καταναλωτές και μικρής διαθεσιμότητας

αυτού, το εύρος άρδευσης αυξήθηκε. Τελευταία άρδευση του μηνός Αυγούστου δεν πραγματοποιήθηκε λόγω βροχόπτωσης.

Πίνακας 3.1 Ποσά αρδευτικού νερού τους μήνες Ιούλιο και Αύγουστο και αντίστοιχες ενδείξεις εξατμισιμέτρου.

Ημερομηνία	Μπεκ (m³/στρέμμα)= Στάγδην (m³)	Ένδειξη εξατμισιμέτρου (mm)
5/7/2022	25,75	23
15/7/2022	23,65	21
20/7/2022	23,02	20
25/7/2022	35,15	31
30/7/2022	33,67	30
5/8/2022	38,58	34
11/8/2022	26,63	24
18/8/2022	29,33	25
26/8/2022	15,97	14

Η εφαρμογή αρδευτικού νερού ανά άρδευση ήταν ανάλογη και ελαφρά υψηλότερη από την εξατμισοδιαπνοή που μετρήθηκε με το εξατμισόμετρο (Πίν. 3.1).

3.2. Μεταβολές της ΦΕΑ και των φυσιολογικών παραμέτρων των φύλλων δένδρων καρδιάς κατά τη διάρκεια του πειράματος

3.2.1. Φωτοσυνθετικά Ενεργός Ακτινοβολία(Φ.Ε.Α.)

Η διαθέσιμη προσπίπτουσα φωτοσυνθετική ενέργεια ακτινοβολία (Φ.Ε.Α.) παρουσίασε σημαντικές διαφορές τόσο κατά τον χρόνο των μετρήσεων, όσο και μεταξύ των μεταχειρίσεων. Συγκεκριμένα η Φ.Ε.Α. ήταν αυξημένη την περίοδο του Ιουλίου ($1484 \mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$) σε σχέση με τον Αύγουστο ($1271 \mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$). Την περίοδο του Ιουλίου, σε όλες τις μεταχειρίσεις ήταν αυξημένη κατά τις ώρες 11:00 με 12:00, με μικρές διαφορές μεταξύ των μεταχειρισμένων (Πίν. 3.2). Το ίδιο συνέβη και στις μετρήσεις του Αυγούστου, όπου και εκεί ήταν αυξημένη κατά τις ώρες 10:30 με 11:00 (Πίν. 3.3). Από τη στατιστική επεξεργασία και των δύο μετρήσεων (Ιουλίου και Αυγούστου), προκύπτει ότι η μεταχείριση καολίνης μπεκ είχε τη μεγαλύτερη τιμή Φ.Ε.Α. μεταξύ των μεταχειρίσεων (Πίν. 3.4): Σ.Μ. ($1344 \mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$) < Μ.Μ. ($1365 \mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$) < Κ.Σ. ($1378 \mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$) < Κ.Μ. ($1423 \mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$).

Πίνακας 3.2 Μέση προσπίπτουσα και ανακλώμενη Φ.Ε.Α. και UV ακτινοβολία στα φύλλα δένδρων καρδιάς που εφαρμόστηκε καολίνης και δένδρων του μάρτυρα, στις δύο αρδευτικές μεταχειρίσεις (στάγδην – μπεκ), κατά τις μετρήσεις του μηνός Ιουλίου κατά τις ώρες:09:00-10:00/10:00-11:00 και 11:00-12:00. ΣΜ στάγδην χωρίς καολίνη, ΚΣ στάγδην με καολίνη, ΜΜ μπεκ χωρίς καολίνη, ΚΜ μπεκ με καολίνη.

Μεταχείριση	Ημερομηνία	Ωρα	Φ.Ε.Α. ($\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$)
ΣΜ	7-7-2022	09:00-10:00	1352g
ΣΜ	7-7-2022	10:00-11:00	1592cd
ΣΜ	7-7-2022	11:00-12:00	1675a
ΚΣ	7-7-2022	09:00-10:00	1426f
ΚΣ	7-7-2022	10:00-11:00	1642b
ΚΣ	7-7-2022	11:00-12:00	1654ab

MM	7-7-2022	09:00-10:00	1412f
MM	7-7-2022	10:00-11:00	1577d
MM	7-7-2022	11:00-12:00	1590cd
KM	7-7-2022	09:00-10:00	1505e
KM	7-7-2022	10:00-11:00	1602c
KM	7-7-2022	11:00-12:00	1632b
ΣΗΜΑΝΤΙΚΟΤΗΤΑ			
ΜΕΤΑΧΕΙΡΙΣΗ			***
ΧΡΟΝΟΣ			***
ΕΣΔ0,05			22,3
Σημαντικότητα: *** επίπεδο σημαντικότητας 0,001			

Πίνακας 3.3 Μέση προσπίπτουσα και ανακλώμενη Φ.Ε.Α. και UV ακτινοβολία στα φύλλα δένδρων καρυδιάς που εφαρμόστηκε καολίνης και δένδρων του μάρτυρα, στις δύο αρδευτικές μεταχειρίσεις (στάγδην – μπεκ), κατά τις μετρήσεις του μηνός Αυγούστου κατά τις ώρες: 09:30-10:30 και 10:30-11:00. ΣΜ στάγδην χωρίς καολίνη, ΚΣ στάγδην με καολίνη, ΜΜ μπεκ χωρίς καολίνη, ΚΜ μπεκ με καολίνη.

Μεταχείριση	Ημερομηνία	Ωρα	Φ.Ε.Α. ($\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$)
ΣΜ	4-8-2022	09:30-10:30	1200f
ΣΜ	4-8-2022	10:30-11:00	1367a
ΚΣ	4-8-2022	09:30-10:30	1258d
ΚΣ	4-8-2022	10:30-11:00	1258d
ΜΜ	4-8-2022	09:30-10:30	1258e
ΜΜ	4-8-2022	10:30-11:00	1328b

KM	4-8-2022	09:30-10:30	1287c
KM	4-8-2022	10:30-11:00	1351a
ΣΗΜΑΝΤΙΚΟΤΗΤΑ			
ΜΕΤΑΧΕΙΡΙΣΗ			***
ΧΡΟΝΟΣ			***
ΕΣΔ0,05			18,4
Σημαντικότητα: *** επίπεδο σημαντικότητας 0,001			

Πίνακας 3.4 Μέση προσπίπτουσα και ανακλώμενη Φ.Ε.Α. και UV ακτινοβολία στα φύλλα δένδρων καρυδιάς που εφαρμόστηκε καολίνης και δένδρων του μάρτυρα, στις δύο αρδευτικές μεταχειρίσεις (στάγδην – μπεκ), κατόπιν συσχέτισης των αποτελεσμάτων (Ιουλίου και Αυγούστου). ΣΜ στάγδην χωρίς καολίνη, ΚΣ στάγδην με καολίνη, ΜΜ μπεκ χωρίς καολίνη, ΚΜ μπεκ με καολίνη.

Ημερομηνία	Μεταχείριση	Φ.Ε.Α. ($\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$)
Ιούλιος – Αύγουστος	ΣΜ	1344c
Ιούλιος – Αύγουστος	ΚΣ	1378b
Ιούλιος – Αύγουστος	ΜΜ	1365b
Ιούλιος – Αύγουστος	ΚΜ	1423a
ΣΗΜΑΝΤΙΚΟΤΗΤΑ		
Μεταχείριση		***
ΕΣΔ _{0,05}		23,3
Σημαντικότητα: *** επίπεδο σημαντικότητας 0,001		

3.2.2. Δείκτης φθορισμού της χλωροφύλλης (Fv/Fm)

Ο δείκτης του φθορισμού χλωροφύλλης Fv/Fm, δεν παρουσίασε αξιόλογες μεταβολές κατά την διάρκεια των μετρήσεων. Παρέμεινε σχεδόν αμετάβλητος (0,78) και τους

δύο μήνες των μετρήσεων (Ιούλιος-Αύγουστος) , αλλά και κατά τη διαφορετική ώρα των μετρήσεων (Πίν. 3.5) (0,782 στις 11:00-11:30 και 0,783 στις 11:30-12:00).

Πίνακας 3.5: Μεταβολές δείκτη φθορισμού χλωροφύλλης (Fv/Fm) φύλλων καρδιάς που εφαρμόστηκε καολίνη και σε φύλλα δένδρων του μάρτυρα, στις δύο αρδευτικές μεταχειρίσεις (στάγδην – μπεκ). ΣΜ στάγδην χωρίς καολίνη, ΚΣ στάγδην με καολίνη, ΜΜ μπεκ χωρίς καολίνη, ΚΜ μπεκ με καολίνη.

Μεταχείριση	Ημερομηνία	Ωρα	Fv/Fm
ΣΜ	7-7-2022	11:00-11:30	0,789a
ΚΣ	7-7-2022	11:00-11:30	0,772c
ΜΜ	7-7-2022	11:00-11:30	0,785a
ΚΜ	7-7-2022	11:00-11:30	0,785a
ΣΜ	7-7-2022	11:30-12:00	0,788a
ΚΣ	7-7-2022	11:30-12:00	0,772c
ΜΜ	7-7-2022	11:30-12:00	0,774c
ΚΜ	7-7-2022	11:30-12:00	0,775b
ΣΜ	4-8-2022	11:00-11:30	0,778b
ΚΣ	4-8-2022	11:00-11:30	0,770c
ΜΜ	4-8-2022	11:00-11:30	0,784b
ΚΜ	4-8-2022	11:00-11:30	0,790a
ΣΜ	4-8-2022	11:30-12:00	0,779b
ΚΣ	4-8-2022	11:30-12:00	0,789a
ΜΜ	4-8-2022	11:00-11:30	0,791a
ΚΜ	4-8-2022	11:30-12:00	0,792a
ΣΗΜΑΝΤΙΚΟΤΗΤΑ			
Ημερομηνία			NS
Μεταχείριση			NS
ΕΣΔ0,05			0,009
Σημαντικότητα: NS μη σημαντική διαφορά			

3.2.3. Στοματική αγωγιμότητα (gs), ρυθμός διαπνοής (E), ρυθμός φωτοσύνθεσης (A) και συγκέντρωση CO₂ στους μεσοκυττάριους χώρους (CO₂in).

Το gs παρουσίασε μεγαλύτερες τιμές στις μετρήσεις του Ιουλίου σε σχέση με αυτές του Αυγούστου (Πίν. 3.6). Μεταξύ των μεταχειρισμένων συνολικά στις δύο ημερομηνίες μέτρησης, υψηλότερο gs εμφάνισε η μεταχείριση μπεκ χωρίς καολίνη ($0,607 \text{ mmol m}^{-2} \text{ s}^{-1}$) ακολουθούμενη από τις μεταχειρίσεις με στάγδην, ενώ τη μικρότερη τιμή gs είχαν τα φύλλα της μεταχείρισης ΚΜ (Πίν. 3.7). Επίσης, στις μετρήσεις του Ιουλίου, το gs έπαιρνε τις μεγαλύτερες τιμές το πρωί ($0,64 \text{ mmol m}^{-2} \text{ s}^{-1}$) και έβαινε μειούμενο προς το μεσημέρι ($0,43 \text{ mmol m}^{-2} \text{ s}^{-1}$), ενώ το μήνα Αύγουστο δεν παρατηρήθηκε σχεδόν καμία διαφοροποίηση κατά τη διάρκεια της ημέρας ($0,465 \text{ mmol m}^{-2} \text{ s}^{-1}$ και $0,486 \text{ mmol m}^{-2} \text{ s}^{-1}$). Τον Ιούλιο η στοματική αγωγιμότητα ήταν μεγαλύτερη στις ΣΜ και ΜΜ και ακολουθούνταν με σημαντική διαφορά ανά μεταχείριση από ΚΣ>ΚΜ (Πίν. 3.6). Τον Αύγουστο η στοματική αγωγιμότητα ήταν μεγαλύτερη στις ΜΜ και ΚΜ και ακολουθούνταν από τις ΣΜ και ΚΣ.

Η E αντίστοιχα ήταν μεγαλύτερη τον Ιούλιο από τον Αύγουστο (Πίν. 3.6). Μεταξύ των μεταχειρισμένων (συνολικά στις δύο εποχές μετρήσεων) υψηλότερη E παρουσίασε το μπεκ χωρίς καολίνη ($8,25 \text{ mmol m}^{-2} \text{ s}^{-1}$) και ακολουθούνταν από ΚΜ>ΣΜ, ΚΣ (Πίν. 3.7), ενώ η E ήταν υψηλότερη προς το μεσημέρι σε σχέση με το πρωί ($7,80 \text{ mmol m}^{-2} \text{ s}^{-1}$ και $7,30 \text{ mmol m}^{-2} \text{ s}^{-1}$). Τον Ιούλιο ο ρυθμός διαπνοής ήταν μεγαλύτερος στη μεταχείριση ΣΜ και ακολουθούνταν με σημαντική διαφορά ανά μεταχείριση από ΚΜ>ΜΜ>ΚΣ (Πίν. 3.6). Τον Αύγουστο ο ρυθμός διαπνοής ήταν μεγαλύτερος στη μεταχείριση ΜΜ και ακολουθούνταν με σημαντική διαφορά ανά μεταχείριση από ΚΜ>ΣΜ>ΚΣ.

Η A ήταν πάντοτε υψηλότερη κατά τις μετρήσεις του μηνός Ιουλίου σε σχέση με το μήνα Αύγουστο (μέσοι όροι ανά ημερομηνία μετρήσεων $19,9 \text{ } \mu\text{mol m}^{-2} \text{ s}^{-1}$ και $18,1 \text{ } \mu\text{mol m}^{-2} \text{ s}^{-1}$) (Πίν. 3.6). Όταν ελήφθησαν οι τιμές των δύο ημερομηνιών μαζί, η μεγαλύτερη A εμφανίστηκε στην μεταχείριση του μπεκ χωρίς καολίνη, ενώ τη μικρότερη τιμή εμφάνισε η μεταχείριση στάγδην καολίνης και μπεκ καολίνης, με τη μεταχείριση ΣΜ να έχει ενδιάμεσες τιμές σημαντικά όμως διαφορετικές από τις υπόλοιπες μεταχειρίσεις (Πίν. 3.7). Η ώρα των μετρήσεων δεν επηρέασε την τιμή του

A, έχοντας καθ' όλη τη διάρκεια της ημέρας, μία σταθερή τιμή περίπου $19,0 \mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$. Τον Ιούλιο ο ρυθμός φωτοσύνθεσης ήταν μεγαλύτερος στη μεταχείριση MM και ΚΣ και ακολουθούνταν με σημαντική διαφορά ανά μεταχείριση από ΣΜ>ΚΜ (Πίν. 3.6). Τον Αύγουστο ο ρυθμός φωτοσύνθεσης ήταν μεγαλύτερος στη μεταχείριση MM και ακολουθούνταν με σημαντική διαφορά ανά μεταχείριση από ΣΜ>ΚΜ>ΚΣ.

Το CO_2in ήταν σταθερά αυξημένο το μήνα Ιούλιο σε σχέση με τον Αύγουστο ($258 \mu\text{mol mol}^{-1}$ και $244 \mu\text{mol mol}^{-1}$) (Πίν. 3.6). Συγκεντρωτικά τις δύο ημερομηνίες μαζί, και σε αυτή την παράμετρο μεγαλύτερη τιμή CO_2in παρουσίασε το μπεκ χωρίς καολίνη ($255 \mu\text{mol mol}^{-1}$) (Πίν. 3.7). Συνήθως υψηλότερες τιμές μετρήθηκαν κατά τις ώρες 10:00 με 11:00 σε σχέση με τις πρωινές 9:00 με 10:00 ($254 \mu\text{mol mol}^{-1}$ και $250 \mu\text{mol mol}^{-1}$). Τον Ιούλιο η εσωτερική συγκέντρωση CO_2 ήταν μεγαλύτερη στη μεταχείριση ΣΜ και ακολουθούνταν με σημαντική διαφορά από MM, ΚΣ>ΚΜ (Πίν. 3.6). Τον Αύγουστο η εσωτερική συγκέντρωση CO_2 ήταν μεγαλύτερη στη μεταχείριση MM και ΚΜ και ακολουθούνταν με σημαντική διαφορά από ΣΜ και ΚΣ.

Πίνακας 3.6 Μεταβολές των παραμέτρων g_s , E, A και CO_2in στα φύλλα δένδρων καρυδιάς που εφαρμόστηκε καολίνης και δένδρων του μάρτυρα, στις δύο αρδευτικές μεταχειρίσεις (στάγδην – μπεκ). ΣΜ στάγδην χωρίς καολίνη, ΚΣ στάγδην με καολίνη, MM μπεκ χωρίς καολίνη, ΚΜ μπεκ με καολίνη.

Ημερομηνία	Μεταχείριση	g_s ($\text{mmol m}^{-2} \text{s}^{-1}$)	E ($\text{mmol m}^{-2} \text{s}^{-1}$)	A ($\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$)	CO_2in ($\mu\text{mol mol}^{-1}$)
7-7-2022	ΣΜ	0,598a	8,32a	18,97b	261a
7-7-2022	ΚΣ	0,523b	7,85d	19,57a	252b
7-7-2022	MM	0,607a	7,91c	19,37a	251b
7-7-2022	ΚΜ	0,446c	8,01b	18,36c	239c
	ΣΗΜΑΝΤΙΚΟΤΗΤΑ				
Μεταχείριση		***	*	***	***
EΣΔ0,05		0,05	0,29	0,43	9,6
4-8-2022	ΣΜ	0,444b	6,40c	17,96b	238b
4-8-2022	ΚΣ	0,451b	5,96d	17,32c	239b

4-8-2022	MM	0,512a	7,88a	19,30a	250a
4-8-2022	KM	0,479a	7,62b	17,64bc	247a
ΣΗΜΑΝΤΙΚΟΤΗΤΑ					
Μεταχείριση		***	***	***	***
Ημερομηνία		***	***	***	***
ΕΣΔ0,05		0,047	0,17	0,40	5,3
Σημαντικότητα: * επίπεδο σημαντικότητας 0,05 και *** επίπεδο σημαντικότητας 0,001					

Πίνακας 3.7 Μεταβολές των παραμέτρων g_s , E , A και CO_2in στα φύλλα δένδρων καρυδιάς που εφαρμόστηκε καολίνη και δένδρων του μάρτυρα, στις δύο αρδευτικές μεταχειρίσεις(στάγδην – μπεκ). Συνολικά αποτελέσματα Ιουλίου-Αυγούστου. ΣΜ στάγδην χωρίς καολίνη, ΚΣ στάγδην με καολίνη, ΜΜ μπεκ χωρίς καολίνη, ΚΜ μπεκ με καολίνη.

Ημερομηνία	Μεταχείριση	g_s (mmol m ⁻² s ⁻¹)	E (mmol m ⁻² s ⁻¹)	A (μmol m ⁻² s ⁻¹)	CO_2in (μmol mol ⁻¹)
Ιούλιος - Αύγουστος	ΣΜ	0,553b	6,79c	19,2b	251a
Ιούλιος - Αύγουστος	ΚΣ	0,536b	6,90c	18,5c	253a
Ιούλιος - Αύγουστος	ΜΜ	0,607a	8,25a	19,6a	255a
Ιούλιος - Αύγουστος	ΚΜ	0,481c	7,92b	18,6c	245b
Σημαντικότητα					
Μεταχείριση		***	***	***	***
ΕΣΔ0,05		0,06	0,29	0,38	5,5

3.2.4. Θερμοκρασία φύλλου (Tleaf), υδατικό δυναμικό βλαστού (MSWP) και συγκέντρωση της ολικής χλωροφύλλης ανά μονάδα επιφάνειας φύλλου (SPAD)

Οι θερμοκρασίες των φύλλων του πειραματικού αγρού ήταν υψηλότερες τον μήνα Αύγουστο από το μήνα Ιούλιο κατά 1,5 °C (31,0 °C vs 29,5 °C) (Πίν. 3.8). Μεταξύ των μεταχειρίσεων μεγαλύτερη θερμοκρασία φύλλου μετρήθηκε στο στάγδην χωρίς καολίνη (32,0 °C), ενώ η μικρότερη ήταν στη μεταχείριση μπεκ καολίνης (29,3 °C), όταν οι δύο εποχές μετρήσεων ελήφθησαν μαζί. Τον Ιούλιο υψηλότερη θερμοκρασία φύλλου βρέθηκε στη μεταχείριση ΣΜ και ακολουθούνταν από ΚΣ≥ΚΜ≥ΜΜ. Τον Αύγουστο υψηλότερη θερμοκρασία φύλλου βρέθηκε στη μεταχείριση ΣΜ ακολουθούμενη με σημαντική διαφορά από ΜΜ>ΚΣ≥ΚΜ.

Το υδατικό δυναμικό δεν εμφάνισε σημαντική διαφορά κατά τις μετρήσεις του Ιουλίου και του Αυγούστου με παρόμοιες τιμές (-13,1 MPa και -13,3 MPa) (Πίν. 3.8). Μεταξύ των μεταχειρισμένων, όταν οι δύο εποχές μετρήσεων ελήφθησαν μαζί, η μικρότερη τιμή μετρήθηκε στη στάγδην καολίνη (-14,3 MPa), ενώ σε καλύτερη υδατική κατάσταση ήταν τα φύλλα της μεταχείρισης μπεκ καολίνης (-11,9 MPa) και ακόμα καλύτερη τα φύλλα της μεταχείρισης ΜΜ (-11,9 MPa) (Πίν. 3.8). Τον Ιούλιο το μικρότερο MSWP βρέθηκε στη μεταχείριση ΚΣ και ακολουθούνταν από ΚΜ, ΣΜ<ΜΜ. Τον Αύγουστο το μικρότερο MSWP βρέθηκε στις μεταχειρίσεις ΣΜ και ΚΣ ακολουθούμενες με σημαντική διαφορά από ΚΜ<ΜΜ.

Το SPAD των μετρήσεων του Αυγούστου ήταν υψηλότερο από αυτό του Ιουλίου (55,2 και 50,5) (Πίν.3.7). Μεταξύ των μεταχειρισμένων και στις δύο ημερομηνίες μέτρησης μαζί, μεγαλύτερο SPAD παρουσίασε το μπεκ καολίνης (56,0), ενώ αντίστοιχα τη μικρότερη τιμή είχε η μεταχείριση στάγδην χωρίς καολίνη (49,6) (Πίν.3.8). Τον Ιούλιο η μεγαλύτερη τιμή SPAD βρέθηκε στη μεταχείριση ΚΜ και ακολουθούνταν από ΚΣ, ΜΜ>ΣΜ. Ομοίως τον Αύγουστο η μεγαλύτερη τιμή SPAD βρέθηκε στη μεταχείριση ΚΜ ακολουθούμενη με σημαντική διαφορά από ΚΣ, ΜΜ>ΣΜ.

Πίνακας 3.8 Μεταβολές των παραμέτρων Tleaf (°C), MSWP (MPa), και SPAD στα φύλλα δένδρων καρυδιάς που εφαρμόστηκε καολίνη και δένδρων του μάρτυρα, στις

δύο αρδευτικές μεταχειρίσεις (στάγδην – μπεκ). ΣΜ στάγδην χωρίς καολίνη, ΚΣ στάγδην με καολίνη, ΜΜ μπεκ χωρίς καολίνη, ΚΜ μπεκ με καολίνη.

Ημερομηνία	Μεταχείριση	Tleaf (°C)	MSWP (MPa)	SPAD
7-7-2022	ΣΜ	31,8ab	-12,9c	46,5f
7-7-2022	ΚΣ	29,4d	-14,2d	50,5e
7-7-2022	ΜΜ	27,8e	-12,0b	50,4e
7-7-2022	ΚΜ	28,9de	-13,2c	54,7c
4-8-2022	ΣΜ	32,3a	-14,1d	52,6d
4-8-2022	ΚΣ	30,1c	-14,4d	55,8b
4-8-2022	ΜΜ	31,7b	-11,7a	55,1b
4-8-2022	ΚΜ	29,7cd	-13,0c	57,8a
ΣΗΜΑΝΤΙΚΟΤΗΤΑ				
Ημερομηνία		***	*	***
Μεταχείριση		***	***	***
ΕΣΔ0,05		0,55	0,39	1,17
Σημαντικότητα: : * επίπεδο σημαντικότητας 0,05 και *** επίπεδο σημαντικότητας 0,001				

3.2.5. Αποδοτικότητα χρήσης νερού(WUE) και πραγματική απόδοση φωτός(Q.Y)

Οι μετρήσεις του μηνός Ιουλίου εμφάνισαν ότι η μεταχείριση μπεκ καολίνης έχει τη μικρότερη τιμή WUE (2,32), ενώ την υψηλότερη τιμή έλαβε η μεταχείριση στάγδην καολίνης (2,54) (Πίν.3.9). Η WUE ήταν υψηλότερη τις πρωινές ώρες και έβαινε μειούμενη προς το μεσημέρι. Παρόμοια αποτελέσματα ελήφθησαν και από τις μετρήσεις του Αυγούστου, με τη μεταχείριση μπεκ καολίνης και στάγδην καολίνης να έχουν αντίστοιχα τη μικρότερη και μεγαλύτερη τιμή (2,35 και 2,97) ενώ παράλληλα η WUE να είναι κατά βάση μεγαλύτερη τις πρώτες μετρήσεις (πρωινές ώρες) σε σχέση με τις μεσημβρινές μετρήσεις (2,79 και 2,43) (Πίν. 3.9).

Συγκεντρωτικά, η WUE ήταν μεγαλύτερη το μήνα Αύγουστο από τον μήνα Ιούλιο (Πίν. 3.9), ενώ μεταξύ των μεταχειρίσεων η ΚΣ εμφάνισε χαμηλότερες τιμές WUE από ότι οι δύο μεταχειρίσεις της στάγδην άρδευσης (Πίν. 3.10), ενώ η μεταχείριση στάγδην μάρτυρας είχε τη μεγαλύτερη τιμή WUE. Επομένως, η εφαρμογή καολίνη μείωσε την WUE μόνο στις μεταχειρίσεις στάγδην.

Πίνακας 3.9 Μεταβολές της παραμέτρου WUE στα φύλλα δένδρων καρδιάς που εφαρμόστηκε καολίνης και δένδρων του μάρτυρα, στις δύο αρδευτικές μεταχειρίσεις (στάγδην – μπεκ). ΣΜ στάγδην χωρίς καολίνη, ΚΣ στάγδην με καολίνη, ΜΜ μπεκ χωρίς καολίνη, ΚΜ μπεκ με καολίνη.

Ημερομηνία	Μεταχείριση	WUE ($\mu\text{mol}/\text{mmol}$)
7-7-2022	ΣΜ	2,40c
7-7-2022	ΚΣ	2,54b
7-7-2022	ΜΜ	2,50b
7-7-2022	ΚΜ	2,31cd
ΣΗΜΑΝΤΙΚΟΤΗΤΑ		
Μεταχείριση		***
ΕΣΔ0,05		0,13
4-8-2022	ΣΜ	2,84a
4-8-2022	ΚΣ	2,96a
4-8-2022	ΜΜ	2,51b
4-8-2022	ΚΜ	2,35c
ΣΗΜΑΝΤΙΚΟΤΗΤΑ		
Μεταχείριση		***
Ημερομηνία		***
ΕΣΔ0,05		0,14
Σημαντικότητα: *** επίπεδο σημαντικότητας 0,001		

Πίνακας 3.10 Μεταβολές των παραμέτρων WUE στα φύλλα δένδρων καρυδιάς που εφαρμόστηκε καολίνης και δένδρων του μάρτυρα, στις δύο αρδευτικές μεταχειρίσεις (στάγδην – μπεκ). Συνολικά αποτελέσματα Ιουλίου-Αυγούστου. ΣΜ στάγδην χωρίς καολίνη, ΚΣ στάγδην με καολίνη, ΜΜ μπεκ χωρίς καολίνη, ΚΜ μπεκ με καολίνη.

Ημερομηνία	Μεταχείριση	WUE ($\mu\text{mol}/\text{mmol}$)
Ιούλιος - Αύγουστος	ΣΜ	2,87a
Ιούλιος - Αύγουστος	ΚΣ	2,26c
Ιούλιος - Αύγουστος	ΜΜ	2,42b
Ιούλιος - Αύγουστος	ΚΜ	2,36b
	ΣΗΜΑΝΤΙΚΟΤΗΤΑ	
Ημερομηνία		***
Μεταχείριση		***
ΕΣΔ0,05		0,15
Σημαντικότητα: *** επίπεδο σημαντικότητας 0,001		

Η πραγματική απόδοση φωτός QY, και τους δύο μήνες μετρήσεων μαζί, ήταν πάντα μειωμένη στις μεταχειρίσεις που είχε γίνει εφαρμογή καολίνης, με την μικρότερη τιμή να λαμβάνει η ΚΜ (Πίν. 3.11), ενώ οι δύο μεταχειρίσεις χωρίς καολίνη είχαν υψηλές και παρόμοιες τιμές QY. Η ώρα των μετρήσεων παρουσίασε διαφοροποιήσεις, με τα φύλλα να έχουν υψηλότερες τιμές QY κατά τις πρώτες μετρήσεις (πρωινές ώρες) και να μειώνουν την QY προς το μεσημέρι (1,43 και 1,31).

Πίνακας 3.11 Μεταβολές των παραμέτρων QY στα φύλλα δένδρων καρυδιάς που εφαρμόστηκε καολίνης και δένδρων του μάρτυρα, στις δύο αρδευτικές μεταχειρίσεις (στάγδην – μπεκ). Συσχέτιση αποτελεσμάτων Ιουλίου-Αυγούστου. ΣΜ στάγδην χωρίς καολίνη, ΚΣ στάγδην με καολίνη, ΜΜ μπεκ χωρίς καολίνη, ΚΜ μπεκ με καολίνη.

Ημερομηνία	Μεταχείριση	QY
Ιούλιος - Αύγουστος	ΣΜ	1,44a
Ιούλιος - Αύγουστος	ΚΣ	1,35b

Ιούλιος - Αύγουστος	MM	1,44a
Ιούλιος - Αύγουστος	KM	1,31bc
ΣΗΜΑΝΤΙΚΟΤΗΤΑ		
Μεταχείριση		***
ΕΣΔ0,05		0,06
Σημαντικότητα: *** επίπεδο σημαντικότητας 0,001		

3.3. Μετρήσεις εργαστηρίου

3.3.1. Ολικά Φαινολικά στα φύλλα

Τα ολικά φαινολικά στο εκχύλισμα των φύλλων είχαν μεγαλύτερες τιμές τον Αύγουστο από τον μήνα Ιούλιο (1,64 mg gallic acid/g νωπού βάρους και 1,55 mg gallic acid/g νωπού βάρους) (Πίν. 3.12). Κατά τις μετρήσεις του Ιουλίου η εφαρμογή καολίνη μείωσε τη συγκέντρωση των ολικών φαινολικών στα φύλλα των δένδρων, ανεξαρτήτως μεθόδου άρδευσης (14,9 mg gallic acid/g νωπού βάρους και 14,6 mg gallic acid/g νωπού βάρους), ενώ τα ολικά φαινολικά στη μεταχείριση MM είχαν τη μεγαλύτερη τιμή (Πίν. 3.12). Στη μέτρηση του Αυγούστου, η μεταχείριση ΚΣ έλαβε τη μεγαλύτερη τιμή ακολουθούμενη από ΣΜ>ΚΜ≥ΜΜ (Πίν.3.12). Συνολικά, η μεταχείριση ΚΣ είχε την υψηλότερη συγκέντρωση ολικών φαινολικών στα φύλλα ακολουθούμενη με σημαντικές διαφορές από ΣΜ>ΜΜ>ΚΜ (Πίν. 3.13).

Πίνακας 3.12 Μεταβολές των ολικών φαινολικών στα φύλλα δένδρων καρδιάς που εφαρμόστηκε καολίνης και δένδρων του μάρτυρα, στις δύο αρδευτικές μεταχειρίσεις (στάγδην – μπεκ). ΣΜ στάγδην χωρίς καολίνη, ΚΣ στάγδην με καολίνη, ΜΜ μπεκ χωρίς καολίνη, ΚΜ μπεκ με καολίνη.

Ημερομηνία	Μεταχείριση	Ολικά φαινολικά (mg gallic acid/g νωπού βάρους)
7-7-2022	ΣΜ	15,67c
7-7-2022	ΚΣ	14,97cd

7-7-2022	MM	16,97b
7-7-2022	KM	14,40d
4-8-2022	ΣΜ	17,10b
4-8-2022	ΚΣ	18,74a
4-8-2022	MM	14,70d
4-8-2022	KM	15,10cd
Σημαντικότητα		
Ημερομηνία		***
Μεταχείριση		***
ΕΣΔ0,05		0,81
Σημαντικότητα: *** επίπεδο σημαντικότητας 0,001		

Πίνακας 3.13: Μεταβολές των ολικών φαινολικών στα φύλλα δένδρων καρδιάς που εφαρμόστηκε καολίνη και δένδρων του μάρτυρα, στις δύο αρδευτικές μεταχειρίσεις (στάγδην – μπεκ). Συνολικά αποτελέσματα Ιουλίου-Αυγούστου. ΣΜ στάγδην χωρίς καολίνη, ΚΣ στάγδην με καολίνη, ΜΜ μπεκ χωρίς καολίνη, ΚΜ μπεκ με καολίνη.

Ημερομηνία	Μεταχείριση	Ολικά φαινολικά (mg gallic acid/g νωπού βάρους)
Ιούλιος - Αύγουστος	ΣΜ	16,38b
Ιούλιος - Αύγουστος	ΚΣ	16,85a
Ιούλιος - Αύγουστος	ΜΜ	15,83c
Ιούλιος - Αύγουστος	ΚΜ	14,73d

3.3.2. Μετρήσεις Αντιοξειδωτικής Ικανότητας στα φύλλα

Κατά την πρώτη μέτρηση του μηνός Ιουλίου, υψηλότερη τιμή αντιοξειδωτικής ικανότητας των φύλλων καρδιάς με την μέθοδο της ελεύθερης ρίζας DPPH εμφάνισε η μεταχείριση ΜΜ ακολουθούμενη με σημαντική διαφορά από την ΚΜ>ΣΜ, ΚΣ (Πίν. 3.14). Στις μετρήσεις του Αυγούστου υψηλότερη τιμή

αντιοξειδωτικής ικανότητας DPPH κατέγραψε η μεταχείριση ΚΣ ακολουθούμενη με σημαντική διαφορά από τις ΚΜ>ΣΜ>ΜΜ.

Συνολικά από τις μετρήσεις και των δύο ημερομηνιών Ιουλίου και Αυγούστου, την υψηλότερη τιμή DPPH είχε η μεταχείριση ΚΣ, ενώ η μικρότερη τιμή μετρήθηκε στην μεταχείριση ΣΜ (Πίν. 3.15). Οι δύο μεταχειρίσεις ΜΜ και ΚΜ δεν διέφεραν σημαντικά μεταξύ τους και είχαν τιμές ενδιάμεσα των προηγούμενων μεταχειρίσεων και σημαντικά διαφορετικές από αυτές.

Πίνακας 3.14: Μεταβολές της DPPH στα φύλλα δένδρων καρδιάς που εφαρμόστηκε καολίνης και δένδρων του μάρτυρα, στις δύο αρδευτικές μεταχειρίσεις (στάγδην – μπεκ). ΣΜ στάγδην χωρίς καολίνη, ΚΣ στάγδην με καολίνη, ΜΜ μπεκ χωρίς καολίνη, ΚΜ μπεκ με καολίνη.

Ημερομηνία	Μεταχείριση	DPPH (μmol ισοδύναμα ασκορβικού οξέως ανά g νωπού βάρους)
7-7-2022	ΣΜ	95,51d
7-7-2022	ΚΣ	96,58d
7-7-2022	ΜΜ	114,70b
7-7-2022	ΚΜ	103,02c
4-8-2022	ΣΜ	107,94c
4-8-2022	ΚΣ	127,39a
4-8-2022	ΜΜ	99,75d
4-8-2022	ΚΜ	111,63bc
Σημαντικότητα		
Ημερομηνία		***
Μεταχείριση		***
ΕΣΔ0,05		5,1
Σημαντικότητα: *** επίπεδο σημαντικότητας 0,001		

Πίνακας 3.15: Μεταβολές της DPPH στα φύλλα δένδρων καρδιάς που εφαρμόστηκε καολίνης και δένδρων του μάρτυρα και στις δύο αρδευτικές

μεταχειρίσεις (στάγδην – μπεκ). Συνολικά αποτελέσματα Ιουλίου-Αυγούστου. ΣΜ στάγδην χωρίς καολίνη, ΚΣ στάγδην με καολίνη, ΜΜ μπεκ χωρίς καολίνη, ΚΜ μπεκ με καολίνη.

Ημερομηνία	Μεταχείριση	DPPH (mmol ισοδύναμα ασκορβικού οξέως ανά g νωπού βάρους)
Ιούλιος - Αύγουστος	ΣΜ	101,72c
Ιούλιος - Αύγουστος	ΚΣ	111,98a
Ιούλιος - Αύγουστος	ΜΜ	107,23b
Ιούλιος - Αύγουστος	ΚΜ	107,32b
Σημαντικότητα		
Μεταχείριση		***
ΕΣΔ0,05		2,1
Σημαντικότητα: *** επίπεδο σημαντικότητας 0,001		

3.4 Ποιοτικά Χαρακτηριστικά Ανώριμων Καρπών

3.4.1. Χρώμα φλοιού ανώριμων καρπών

Η τιμή της παραμέτρου χρώματος φλοιού L^* των καρπών του πειραματικού καρυδεώνα δεν επηρεάστηκε από τη μέθοδο άρδευσης απουσία καολίνη (Πίν. 3.16). Αντίθετα η εφαρμογή καολίνη είχε ως αποτέλεσμα το πιο ανοιχτό χρώμα του φλοιού, ιδιαίτερα στην μεταχείριση ΚΣ.

Η τιμή της παραμέτρου χρώματος φλοιού a^* των καρπών των μεταχειρίσεων χωρίς καολίνη ομοίως δεν παρουσίασε διαφορές ως προς το πράσινο χρώμα του περικαρπίου (Πίν.3.16). Πιο ανοιχτό πράσινο χρώμα είχαν οι μεταχειρίσεις που είχε εφαρμοστεί καολίνης, ιδιαίτερα στην μεταχείριση ΚΣ που ήταν ακόμη πιο ανοιχτόχρωμα από τη μεταχείριση ΚΜ.

Πίνακας 3.16: Μεταβολές των παραμέτρων χρώματος φλοιού ανώριμων καρπών καρυδιάς που εφαρμόστηκε καολίνης και δένδρων του μάρτυρα και στις δύο

αρδευτικές μεταχειρίσεις (στάγδην – μπεκ). ΣΜ στάγδην χωρίς καολίνη, ΚΣ στάγδην με καολίνη, ΜΜ μπεκ χωρίς καολίνη, ΚΜ μπεκ με καολίνη.

Μεταχείριση	Χρώμα L*	Χρώμα a*
ΣΜ	54,9b	-11,8c
ΚΣ	60,8a	-8,5a
ΜΜ	55,1b	-11,6c
ΚΜ	59,1a	-9,2b
Σημαντικότητα		
Μεταχείριση	***	***
ΕΣΔ0,05	0,260	0,088

3.4.2. Νωπό – ξηρό βάρος ανώριμων καρπών

Το συνολικό νωπό βάρος του ανώριμου καρπού μειώθηκε σημαντικά και στις δύο μεταχειρίσεις που έγινε εφαρμογή καολίνη, ειδικά στο ΚΣ (43,81 g) σε σχέση με τις μεταχειρίσεις άρδευσης χωρίς την παρουσία καολίνη (Πίν. 3.17). Η άρδευση με μπεκ έδωσε μεγαλύτερο νωπό βάρος καρπού (παρουσία ή μη καολίνη) από την άρδευση στάγδην.

Το συνολικό ξηρό βάρος του καρπού δεν παρουσίασε σημαντικές διαφορές μεταξύ των μεταχειρίσεων, εκτός από τη μεταχείριση ΚΣ που είχε σημαντικά μικρότερη τιμή από τις άλλες τρεις μεταχειρίσεις (Πίν. 3.17).

Το ποσοστό % της ξηράς ουσίας (pcDM) στους καρπούς της καρυδιάς από τις δύο μεταχειρίσεις άρδευσης απουσία καολίνη ήταν παρόμοιο και μικρότερο από το ποσοστό % ξηράς ουσίας καρπών παρουσία καολίνη, που επίσης ήταν παρόμοιο στις δύο μεταχειρίσεις άρδευσης (Πίν. 3.17).

Πίνακας 3.17.: Μεταβολές των παραμέτρων νωπού - ξηρού βάρους και ποσοστού % ξηράς ουσίας ανώριμων καρπών καρυδιάς που εφαρμόστηκε καολίνης ή όχι και στις

δύο αρδευτικές μεταχειρίσεις (στάγδην – μπεκ). ΣΜ στάγδην χωρίς καολίνη, ΚΣ στάγδην με καολίνη, ΜΜ μπεκ χωρίς καολίνη, ΚΜ μπεκ με καολίνη.

Μεταχείριση	Νωπό βάρος (g)	Ξηρό βάρος (g)	Ξηρά ουσία (%)
ΣΜ	49,04b	13,63a	27,80b
ΚΣ	43,81d	12,63b	28,82a
ΜΜ	50,66a	13,93a	27,52b
ΚΜ	47,71c	13,67a	28,68a
Σημαντικότητα	***	***	***
ΕΣΔ0,05	0,459	0,74	0,40
Σημαντικότητα: *** επίπεδο σημαντικότητας 0,001			

3.5 Παραγόμενη βιομάζα ζιζανίων



Εικόνα 5: Στάγδην άρδευση



Εικόνα 6: Άρδευση μπεκ

Η παραγόμενη βιομάζα ζιζανίων δεν παρουσίασε σχεδόν καμία διαφορά μεταξύ των μεταχειρίσεων καολίνη και μάρτυρα σε κάθε μεταχείριση άρδευσης (Εικ. 5 και 6, Πίν.3.18). Σημαντικές διαφορές προέκυψαν στο νωπό και ξηρό βάρος των ζιζανίων που αναπτύχθηκαν στις δύο μεταχειρίσεις άρδευσης, με το σύστημα μπεκ να παράγει

κατά πολύ περισσότερη βιομάζα ζιζανίων από το στάγδην σύστημα. Το ποσοστό % ξηράς ουσίας των ζιζανίων δεν διέφερε μεταξύ των μεταχειρίσεων (Πίν. 3.18).

Πίνακας 3.18: Μεταβολές των παραμέτρων νωπού - ξηρού βάρους και ποσοστού % ξηράς ουσίας, των ζιζανίων που αναπτύχθηκαν κάτω από την κόμη των δένδρων καρυδιάς του πειραματικού αγρού. ΣΜ στάγδην χωρίς καολίνη, ΚΣ στάγδην με καολίνη, ΜΜ μπεκ χωρίς καολίνη, ΚΜ μπεκ με καολίνη.

Μεταχείριση	Νωπό βάρος (Kg)	Ξηρό βάρος (Kg)	Ξηρά ουσία (%)
ΣΜ	6,52	2,22	34
ΚΣ	7,42	2,51	34
ΜΜ	15,02	5,08	34
ΚΜ	19,92	6,99	35
Σημαντικότητα	***	***	NS
ΕΣΔ0,05	2,1	0,94	2,5
Σημαντικότητα: *** επίπεδο σημαντικότητας 0,001			

3.6 Ζώνες Διαβροχής Αρδευτικών Συστημάτων και ανάπτυξη ζιζανίων



Εικόνα 7 Ζώνη διαβροχής σταλακτηφόρου σωλήνα



Εικόνα 8: Ζώνη διαβροχής μπεκ άρδευσης

Σημαντική διαφορά προέκυψε και ως προς το σύνολο της διαβρεγμένης επιφάνειας του πειραματικού αγρού. Το στάγδην σύστημα (Εικ. 7) διάβρεχε περίπου το ¼ του εδάφους σε σχέση με το διαβρεγμένο έδαφος του συστήματος μπεκ (Εικ. 8). Αναλυτικότερα, ο κάθε σταλακτηφόρος σωλήνας, διάβρεχε μία λωρίδα εδάφους πλάτους περίπου 60 cm και κατά μήκος του σταλακτηφόρου, ενώ έκαστο μπεκ διάβρεχε μια ημικυκλική επιφάνεια εδάφους, με ακτίνα περίπου 2,60 m. Έκαστο δένδρο είχε δυο σωλήνες αμφίπλευρα αυτού και αντίστοιχα δύο μπεκ 180°. Οι αποστάσεις μεταξύ των δένδρων ήταν 9*9 μ. Συνολική διαβρεγμένη επιφάνεια εδάφους/στρέμμα στάγδην άρδευσης $9*0,6*2*12=10,8*12=129,6 \text{ m}^2/\text{στρέμμα}$, και Συνολική διαβρεγμένη επιφάνεια εδάφους/στρέμμα συστήματος μπεκ $3,14*(2,60)^2*12= 254,71 \text{ m}^2/\text{στρέμμα}$.

Επιπλέον, στις Εικ. 9-11 φαίνεται η ανάπτυξη των ζιζανίων επί της γραμμής στις περιοχές άρδευσης και στο διάδρομο.

3.7 Θερμοκρασία εδάφους (T εδάφους)

Η θερμοκρασία εδάφους παρουσίασε πολύ υψηλότερες τιμές στους διαδρόμους του πειραματικού αγρού σε σχέση με τη θερμοκρασία επί των γραμμών (Πίν. 3.19). Η ξηρασία αποτέλεσε ανασταλτικό παράγοντα στην ανάπτυξη των ζιζανίων στα τμήματα του πειραματικού αγρού όπου δεν υπήρξε διαβροχή από την άρδευση. Η άρδευση με μπεκ, ανεξάρτητα από την εφαρμογή ή όχι καολίνη, είχε χαμηλότερες θερμοκρασίες εδάφους από την άρδευση στάγδην. Σε καμία αρδευτική αγωγή η παρουσία καολίνη δεν επηρέασε τη θερμοκρασία εδάφους.

Πίνακας 3.19: Μεταβολές της παραμέτρου θερμοκρασία εδάφους (T εδάφους) καρυδιών που εφαρμόστηκε καολίνης και δένδρων του μάρτυρα, στις δύο αρδευτικές μεταχειρίσεις (στάγδην – μπεκ). ΣΜ στάγδην χωρίς καολίνη, ΚΣ στάγδην με καολίνη, ΜΜ μπεκ χωρίς καολίνη, ΚΜ μπεκ με καολίνη.

Μεταχείριση	T διάδρομος (°C)	T επί της γραμμής (°C)
ΣΜ	66,1a	33,0a
ΚΣ	62,1b	32,5a
ΜΜ	40,6c	28,6c
ΚΜ	35,3d	28,6c

Σημαντικότητα	***	***
ΕΣΔ0,05	3,1	0,94
Σημαντικότητα: *** επίπεδο σημαντικότητας 0,001		



Εικόνα 9: Ζιζάνια μπεκ άρδευσης

Εικόνα 10 Ζιζάνια διαδρόμου

Εικόνα 11 Ζιζάνια στάγδην άρδευσης

4. ΣΥΖΗΤΗΣΗ

4.1 Επίδραση της διαφορετικής μεθόδου άρδευσης

Οι δύο διαφορετικές μέθοδοι άρδευσης του πειραματικού αγρού παρουσίασαν διαφορές ως προς τις φυσιολογικές λειτουργίες των δένδρων που εφαρμόστηκαν. Παρόλα αυτά, αν και τα δένδρα του πειραματικού αγρού που εφαρμόστηκε στάγδην άρδευση καθ' όλη τη διάρκεια του πειράματος, υπεραρδεύτηκαν κατά 10% σε σχέση με τις ανάγκες τους, εντούτοις αυτό δεν αποτυπώθηκε ξεκάθαρα στα αποτελέσματα. Αντίθετα, στα δένδρα που αρδεύονταν με ατομικά μπεκ, σε πολλές από τις μετρηθείσες φυσιολογικές λειτουργίες βρέθηκαν καλύτερες τιμές. Στο γεγονός αυτό πιθανότατα συνετέλεσαν οι εξής παράγοντες:

1. Αρχικά μακροσκοπικά, τις εκάστοτε ημερομηνίες των μετρήσεων και ιδιαίτερα την 4-8-2022, μία ημέρα πριν την προκαθορισμένη άρδευση, ήταν εμφανές ότι το έδαφος κάτω από την κόμη των δένδρων στα ατομικά μπεκ, ήταν πιο υγρό σε σχέση με το στάγδην σύστημα. Εδαφικές τομές έως 40-45 cm βάθος (φωτογραφία 1) που έγιναν κατέδειξαν το ανωτέρω γεγονός.
2. Επίσης, εμφανής ήταν και η διαφορά της παραγόμενης βιομάζας ζιζανίων στα δέντρα που αρδεύονταν με μπεκ σε σχέση με αυτά που αρδεύονταν στάγδην. Πιθανότατα η υψηλή βιομάζα των ζιζανίων κάτω από την κόμη των δένδρων που αρδεύονταν με μπεκ επηρέασε το μικρόκλιμα της κόμης των δέντρων (σχετική υγρασία και θερμοκρασία), αλλά και την οργανική ουσία στην ενεργή ριζόσφαιρα, με τελικά θετικό πρόσημο σε σχέση με την αποδοτικότητα χρήσης νερού και θρεπτικών, που σίγουρα μειώθηκε εξαιτίας της διαπνοής των ζιζανίων. Εξάλλου, αρκετές έρευνες κατά το παρελθόν έχουν καταδείξει τη χρησιμότητα της φυτικής εδαφοκάλυψης και τη θετική επίδραση στην αύξηση της παραγωγής των δένδρων, καθώς και στην αύξηση της οργανικής ουσίας των εδαφών, με ότι θετικό αυτό συνεπάγεται (Woods and Smethurst 1992, Benayas et al. 2005)

3. Επιπροσθέτως, η υψηλή βιομάζα των ζιζανίων στην μπεκ άρδευση φέρεται να επηρέασε και τη θερμοκρασία των φύλλων, με τη διαφορά ανάμεσά στις μεταχειρίσεις μπεκ και στάγδην να φθάνει έως και τους 2,8 °C. Το έδαφος που ήταν σε μεγάλο βαθμό καλυμμένο με ζιζάνια, εξαιτίας της σκίασης αυτών, εμφάνισε αρκετά μεγάλη διαφορά θερμοκρασίας, ανάμεσα στις δύο αρδευτικές μεταχειρίσεις (πάνω από 4 °C). Ο δροσισμός από τη διαπνοή των ζιζανίων πιθανόν μείωσε τη θερμοκρασία της κόμης των δένδρων και διατήρησε υψηλό ρυθμό διαπνοής κατά την περίοδο των μετρήσεων, αυξάνοντας τελικά την αποδοτικότητα χρήσης νερού της μπεκ άρδευσης στον καρυδεώνα.
4. Τέλος, η διαφορά στην επιφάνεια διαβροχής του εδάφους (στο σύνολο κάθε στρέμματος εκφρασμένο σε ποσοστό %) από τα δύο συστήματα μπεκ-στάγδην, με το μπεκ να καλύπτει σχεδόν το 25% του καρυδεώνα, ενώ αντίστοιχα η κάλυψη του στάγδην συστήματος να είναι περίπου στο 13%, φέρεται να έπαιξε θετικό ρόλο στην καλή φυσιολογική λειτουργία των δένδρων στα οποία εφαρμόστηκε μπεκ άρδευση. Άλλωστε, σύμφωνα με το USDA-NRCS (1984), για μέγιστες αποδόσεις σε δενδρώδεις καλλιέργειες έχει προταθεί ένα ποσοστό διαβροχής εδάφους από 30-50% της συνολικής επιφάνειας (Schwankl et al. 1999), ποσοστό που πλησίασε η μπεκ άρδευση.

4.2 Επίδραση της διαφορετικής μεθόδου άρδευσης στις φυσιολογικές λειτουργίες των δένδρων

Σε πολλές από τις μετρήσεις των φυσιολογικών παραμέτρων των φύλλων, η άρδευση διαφοροποίησε τα αποτελέσματα, προσδίδοντας ως ένα βαθμό και το μέγεθος της καταπόνησης. Το υδατικό δυναμικό ήταν πάντοτε υψηλότερο στα φύλλα της μπεκ άρδευσης, γεγονός που υποδεικνύει ότι τα δένδρα αυτά υπέστησαν την μικρότερη υδατική καταπόνηση, καθιστώντας τα καλύτερα ποτισμένα. Βασικός παράγοντας στην καλύτερη φυσιολογία των δένδρων που αρδεύονταν με μπεκ ήταν και η χαμηλότερη θερμοκρασία των φύλλων τους μεσοσταθμικά κατά 2 °C, μειώνοντας τη θερμική καταπόνηση και καθιστώντας τα φύλλα πιο λειτουργικά. Ο ρυθμός διαπνοής είχε τις υψηλότερες τιμές στα φύλλα

που αρδεύονταν με μπεκ, ενώ παράλληλα η WUE τις μικρότερες. Αυτό σημαίνει ότι ο υψηλός ρυθμός διαπνοής και αφομοίωσης CO₂ δεν συνοδεύτηκε από αυξημένη κατανάλωση νερού, αποτέλεσμα όμοιο με αυτό των Jifon και Syvertsen (2003) που αποτίμησαν θετικά την αύξηση της αφομοίωσης των φύλλων σε σχέση με την μικρή ανάγκη κατανάλωσης νερού, σε πείραμα που διενήργησαν σχετικά με τη θερμική καταπόνηση των εσπεριδοειδών.

Επίσης, δείκτη μειωμένης καταπόνησης των δένδρων που έφεραν μπεκ αποτελεί και η μικρότερη συγκέντρωση των ολικών φαινολικών που παρουσίασαν τα φύλλα τους, ενώ η συγκέντρωση αντιοξειδωτικών δεν είχε μεγάλη απόκλιση, άποψη που συμφωνεί με τους Petridis et al. (2012), όπου διαπίστωσαν ότι οι πολυφαινολικές ενώσεις είναι οι ιδανικότερες για την απενεργοποίηση των ROS σε φύλλα ελιάς υπό καταπόνηση, και παρουσιάζουν αυξημένη συγκέντρωση σε κατάσταση καταπόνησης.

4.3 Επίδραση της διαφορετικής μεθόδου άρδευσης ως προς τα ποιοτικά χαρακτηριστικά των ανώριμων καρπών

Το χρώμα του φλοιού των καρπών δεν παρουσίασε καμία διαφορά στις δύο μεταχειρίσεις άρδευσης.

Αντίθετα, η άρδευση επηρέασε το συνολικό νωπό και ξηρό βάρος των καρπών, με την μπεκ άρδευση να έχει τις μεγαλύτερες τιμές βάρους καρπών. Πιθανώς, τα δένδρα της καρυδιάς, εξαιτίας και το μεγάλου ριζικού συστήματος που διαθέτουν, να μπορούν καλύτερα να εκμεταλλευτούν το αρδευτικό νερό από μεγαλύτερη αρδευόμενη επιφάνεια, γεγονός που έρχεται σε συμφωνία με την γενική σύσταση του USDA-NRCS (1984), όπου στους οπωρώνες για μέγιστη παραγωγικότητα απαιτείται να διαβρέχεται από 1/3 έως και το 1/2 της συνολικής επιφάνειας, ποσοστό που σχεδόν επετεύχθη μόνο με την μπεκ άρδευση.

4.4 Επίδραση της εφαρμογής καολίνη

Η εφαρμογή καολίνη φέρεται να είχε αρνητικά αποτελέσματα στην πιο βασική παράμετρο, που είναι η ποιότητα των καρπών.

Η μείωση της παραγωγής πιθανόν οφείλεται σε μεγάλο βαθμό στο χρόνο εφαρμογής του (21-6-2022), όπου προφανώς ο καρπός δεν είχε προλάβει να λάβει το τελικό μέγεθος (10 εβδομάδες μετά το τέλος της ανθοφορίας). Το τέλος της ανθοφορίας των καρυδιών της ποικιλίας Chandler στην περιοχή της Σπερχειάδας προσδιορίστηκε περίπου την 10/5/2022 (Germain et al. 1999). Συνεπώς η εφαρμογή καολίνη έγινε κάπου στο μέσο του φαινολογικού σταδίου της αύξησης του καρπού. Συνδυαστικά με τη μειωμένη φωτοσύνθεση, που πιθανά σχετίζεται με τη σκίαση των φύλλων από τον καολίνη, οι καρποί είχαν μικρότερο μέγεθος. Φαίνεται ότι η μικρότερη θερμοκρασία φύλλων των δένδρων που ψεκάστηκαν με καολίνη δεν ήταν από μόνη της ικανή παράμετρος για να μετριάσει τις δυσμενείς επιπτώσεις της θερμικής και υδατικής καταπόνησης. Αντίθετα, οι μειωμένες τιμές του Α των δένδρων που δέχθηκαν καολίνη διαδραμάτισαν κυρίαρχο ρόλο, όπως αυτό έχει προταθεί και από τους Rosati et al. (2006) και Le Grange et al. (2002), σε σχετικές έρευνες με εφαρμογή καολίνη σε καλά ποτισμένες καρυδιές, αμυγδαλιές και μηλιές.

Συμπερασματικά, η μείωση της φωτοσυνθετικής ικανότητας των δένδρων που είχε γίνει διαφυλλική εφαρμογή καολίνη οδήγησε σε μειωμένη παραγωγή γλυκόζης και πιθανόν στη μειωμένη μεταφορά ξηράς ουσίας προς τους καρπούς, στην κρίσιμη περίοδο της αύξησης του καρπού.

4.5 Επίδραση καολίνη στις φυσιολογικές λειτουργίες των δένδρων

Ο καολίνης φέρεται να αύξησε την Φ.Ε.Β ανεξαρτήτως άρδευσης. Το μήνα Ιούλιο, όπως αναμενόταν λόγω της θέσης του ηλίου, η Φ.Ε.Β. είχε υψηλότερες τιμές από τον Αύγουστο. Η μέτρηση φωτιζόμενων φύλλων κατέδειξε μειωμένο Α στα δένδρα παρουσία καολίνη σε σχέση με τα δέντρα που δεν είχαν δεχθεί καολίνη, που πιθανότατα να οφείλεται στη σκίαση που προκλήθηκε από το φιλμ

μικροσωματιδίων καολίνη. Η πιθανή καλύτερη κατανομή του φωτός μέσα στην κόμη του δένδρου, με το φωτισμό και των σκιαζόμενων φύλλων θα σήμαινε αυτόματα και αύξηση της φωτοσυνθετικής ικανότητας ολόκληρου του δέντρου, γεγονός που έρχεται σε αντίθεση με τα στοιχεία των μετρήσεων των φυσιολογικών λειτουργιών των φύλλων όπου εφαρμόστηκε, αλλά εντέλει αντικατοπτρίζεται στο μικρό μέγεθος των παραγόμενων καρπών. Η αύξηση της Φ.Ε.Β. τελικά πιθανότατα ήταν πάνω από το σημείο φωτοκορεσμού της καρυδιάς (έως 800-900 $\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$), με αποτέλεσμα να μην έχει καμία θετική επίδραση στη φωτοσυνθετική ικανότητα των δένδρων.

Αναλυτικότερα, ο δείκτης φθορισμού Fv/Fm έμεινε σχεδόν αμετάβλητος σε όλες τις μεταχειρίσεις, που σημαίνει ότι δεν υπήρχε διαφορά ως προς την ένταση της καταπόνησης σε καμία μεταχείριση. Ο E δεν επηρεάστηκε από την εφαρμογή καολίνη αλλά από την αρδευτική μεταχείριση. Η gs την περίοδο του Ιουλίου (έναρξη θερμής περιόδου) μειώθηκε σημαντικά από την παρουσία καολίνη, μειώνοντας παράλληλα το διαθέσιμο CO₂ στους μεσοκυττάριους χώρους, το A και το QY. Η μειωμένη Tleaf δεν αντιστάθμισε τις απώλειες των υπολοίπων παραμέτρων, γιατί πιθανό οι επικρατούσες θερμοκρασίες στις αρχές της θερμής περιόδου δεν επέφεραν στα δένδρα σημαντική καταπόνηση, με την παρουσία του καολίνη να επιβραδύνει τις φυσιολογικές λειτουργίες των δένδρων.

Τον Αύγουστο, όπου πολλές μετρήσεις των φυσιολογικών λειτουργιών δείχνουν μεγαλύτερη καταπόνηση των δένδρων σε σχέση με τον Ιούλιο, ο καολίνης φαίνεται να μην έχει καμία επίδραση. Η μειωμένη θερμοκρασία των φύλλων αλλά και το αυξημένο SPAD (αυξημένη συγκέντρωση χλωροφυλλών συχνά σημαίνει σκίαση) σε σχέση με τα απέκαστα, δεν φάνηκε ικανό να αντισταθμίσει τις απώλειες της πιθανής σκίασης. Αντιθέτως και στις μετρήσεις αυτές ο μειωμένος A ήταν ο κυριότερος παρεμποδιστικός παράγοντας. Τα αποτελέσματα της παρούσας μελέτης έρχονται σε πλήρη ευθυγράμμιση με την μελέτη των DeBuse et al. (2010), που διαπίστωσαν ότι η εφαρμογή καολίνη εντός των ορίων φωτοκορεσμού των καρυδιών των ποικιλιών Tulare και Howard είχε γενικά αρνητική επίδραση στις λειτουργίες του φύλλου και την παραγωγή καρπών.

4.6 Επίδραση καολίνη στην ποιότητα των ανώριμων καρπών

Η ποιότητα των καρυδιών επηρεάστηκε σε μεγάλο βαθμό από την εφαρμογή καολίνη. Στις μετρήσεις των ανώριμων καρπών είναι εμφανές ότι μείωσε σημαντικά το σύνολο του νωπού και ξηρού βάρους των καρπών όπου εφαρμόστηκε.

Ως θετικό στην εφαρμογή καολίνη, μπορεί να αποτιμηθεί η αύξηση του ποσοστού της Ξ.Ο. που παρουσίασαν οι καρποί της καρυδιάς, που πιθανόν να οφείλεται στη στοχευμένη μεταφορά των παραγομένων υδατανθράκων στους καρπούς σε μεγαλύτερο ποσοστό, σε σχέση με τα ασφέκαστα δένδρα. Πιθανόν εφαρμογή του καολίνη μετά την τελική αύξηση των καρπών να επιφέρει θετικά αποτελέσματα (Πίν.3.15).

Το χρώμα του φλοιού των ανώριμων καρυδιών στα ψεκασμένα με τον καολίνη βρέθηκε πιο ανοικτό από αυτό των μαρτύρων, που συνάδει με το λευκό χρώμα του καολίνη και του γεγονότος ότι οι καρποί μετρήθηκαν χωρίς να ξεπλυθούν. Το πιο ανοικτό χρώμα της μεταχείρισης ΚΣ πιθανότατα οφείλεται στο μικρότερο μέγεθος των καρπών αυτής της μεταχείρισης, όπου τελικά παρατηρήθηκε μεγαλύτερη συγκέντρωση καολίνη ανά μονάδα επιφάνειας φλοιού.

Τα αποτελέσματα του πειράματος, ως προς την αρνητική επίδραση του καολίνη και ως προς την υποβάθμιση των ποιοτικών χαρακτηριστικών των καρπών, έρχεται σε συμφωνία με έρευνα των Rosati et al. (2006), όπου σε σχετικό πείραμα κατέδειξαν πως η εφαρμογή καολίνη σε καλά αρδευόμενες καρυδιές είχε αρνητική επίδραση στις φυσιολογικές λειτουργίες των δένδρων και στην παραγωγικότητά τους.

5. ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ

Ως γενικό συμπέρασμα που προκύπτει από τα αποτελέσματα της έρευνας στον πειραματικό καρυδεώνα, είναι ότι ιδανικότερος τρόπος άρδευσης μεταξύ των δύο μεθόδων μικρό-άρδευσης (στάγδην-μπεκ), εμφανίζεται η άρδευση με μπεκ.

Το μεγάλο ποσοστό διαβροχής του εδάφους από τα μπεκ, η υψηλότερη παραγόμενη βιομάζα ζιζανίων, που πιθανά συνετέλεσε στη μεταβολή του μικροκλίματος στην κόμη των δένδρων και τη μείωση της θερμοκρασίας των φύλλων τους, το εκτεταμένο ριζικό σύστημα της καρυδιάς που εκμεταλλεύτηκε το αρδευτικό νερό σε μεγαλύτερο ποσοστό υγρού εδάφους, φαίνεται να ήταν οι κυριότεροι παράγοντες, που τελικά βελτίωσαν την αποδοτικότητα χρήσης νερού στα δένδρα που αρδεύονταν με μπεκ.

Η επίδραση του καολίνη μπορεί να εκτιμηθεί ως αρνητική χωρίς να έχει παραχθεί σαφές και ασφαλές συμπέρασμα. Το φαινολογικό στάδιο όπου έγινε η πρώτη εφαρμογή του καολίνη, δηλαδή την περίοδο μεγάλης αύξησης των καρπών και χωρίς τα δέντρα να έχουν υποστεί ακόμη θερμική καταπόνηση, λόγω σχετικά ήπιου καιρού, φαίνεται ότι λειτούργησε αρνητικά ως προς την ποιότητα των καρπών.

Αντιθέτως, η αύξηση του ποσοστού της ξηράς ουσίας των καρπών στα δένδρα όπου εφαρμόστηκε καολίνης είναι ένα θετικό αποτέλεσμα, και χρήζει περαιτέρω έρευνας, γιατί πιθανόν η επίδραση της εφαρμογής του είναι η κατ' επιλογή αποστολή μεγάλου μέρους των παραγομένων υδατανθράκων προς τους καρπούς.

ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

ΕΛΛΗΝΙΚΗ ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

Ρούσκας, Δ., 2013. Καρυδιά (*Juglans regia* L.). Εκδόσεις έμβρυο.

ΞΕΝΟΓΛΩΣΣΗ ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

- Allen, R. G., Pereira, L. S., Raes, D., Smith, M., 1998. Crop evapotranspiration- Guidelines for computing crop water requirements-FAO Irrigation and drainage paper 56. Fao, Rome. 300, D05109.
- Amiri, R., Vahdati, K., Mohsenipoor, S., Mozaffari, M. R., Leslie C., 2010. Correlations between some horticultural traits in walnut. HortScience. 45, 1690-1694.
- Andreu, L., Hopmans, J. W., & Schwankl, L. J., 1997. Spatial and temporal distribution of soil water balance for a drip-irrigated almond tree. Agricultural Water Management. 35, 123-146.
- Asao, S and Ryan, M. G., 2015. Carbohydrate regulation of photosynthesis and respiration from branch girdling in four species of wet tropical rain forest trees. Tree physiology. 35, 608-620.
- Benayas, J. M. R., Navarro, J., Espigares, T., Nicolau, J. M., Zavala, M. A., 2005. Effects of artificial shading and weed mowing in reforestation of Mediterranean abandoned cropland with contrasting Quercus species. Forest ecology and management. 212, 302-314.
- Buchner, R. P., Fulton, A. E., Gilles, C. K., Prichard, T. L., Lampinen, B. D., Shackel, K. A., Schwankl, L. J., 2008. Effects of Regulated Deficit Irrigation on Walnut Grafted on Northern California Black or Paradox Rootstock. Acta Horticulturae. 795, 141-6.
- Burt, C. M., 1998. Selection of irrigation methods for agriculture: Drip/micro irrigation. In Proceedings of the International Water Resources Engineering Conference: Memphis, TN.

- Camp, C. R., 1998. Subsurface drip irrigation: A review. Transactions of the ASAE. 41, 1353.
- Castel, J. R., & Fereres, E., 1982. Responses of young almond trees to two drought periods in the field. Journal of Horticultural Science. 57, 175-187.
- Chaves, M.M., Maroco, J.P., Pereira, J.S., 2003. Understanding plant responses to drought - from genes to the whole plant. Funct. Plant Biol. 30, 239–264.
- DeBuse ,C., Hasey ,J., Anderson, K. K., Metcalf , S., Contador, L., Stewart, B., Lampinen B. 2010. Kaolin Particle Clay Film Effects on Physiology, Quality, and Productivity in *Tulare* and *Howard* Walnut. Walnut Research Reports. 269-82.
- Dinis, L.T., Ferreira, H., Pinto G., Bernardo, S., Correia, C.M., Moutinho-Pereira, J., 2016. Kaolin-based, foliar reflective film protects photosystem II structure and function in grapevine leaves exposed to heat and high solar radiation. Photosynthetica. 54, 47–55.
- Foott, J., & Heinicke, D., 1967. Whitewash found harmless in applications on walnut leaves. California Agriculture. 21, 2-3.
- Fulton, A. E., Little, C. C., Snyder, R. L., Lampinen, B. D., Buchner, R. P., 2017. Evaluation of crop coefficients and evapotranspiration in English walnut. In 2017 ASABE Annual International Meeting (p. 1). American Society of Agricultural and Biological Engineers.
- Fulton, A., Buchner, R., Gilles, C., Olson, B., Bertagna, N., Walton, J., Shackel, K., 2001. Rapid equilibration of leaf and stem water potential under field conditions in almonds, walnuts, and prunes. Hort Technology. 11, 609-615.
- Gauthier, M. M., & Jacobs, D. F., 2011. Walnut (*Juglans spp.*) ecophysiology in response to environmental stresses and potential acclimation to climate change. Annals of Forest Science. 68, 1277-1290.
- Halvorsen, B. L., Carlsen, M. H., Phillips, K. M., Bøhn, S. K., Holte, K., Jacobs, Jr D. R., Blomhoff, R., 2006. Content of redox-active compounds (ie, antioxidants) in foods consumed in the United States. The American journal of clinical nutrition. 84, 95-135.

- Hayes, D., Angove, M. J., Tucci, J., Dennis, C., 2016. Walnuts (*Juglans regia*) chemical composition and research in human health. Critical reviews in food science and nutrition. 56, 1231-1241.
- Hoffman, G. J., & Martin, D. L., 1993. Engineering systems to enhance irrigation performance. Irrigation Science. 14, 53-63.
- Huffman, R. L., Fangmeier, D. D., Elliot, W. J., Workman, S. R., 2012. Irrigation principles. American Society of Agricultural and Biological Engineers. In Soil and Water Conservation Engineering. 7, 351-373.
- Jifon, J. L., & Syvertsen, J. P., 2003. Kaolin Particle Film Applications Can Increase Photosynthesis and Water Use Efficiency of Ruby Red Grapefruit Leaves. Journal of the American Society for Horticultural Science. 128, 107-112.
- Lamm, F. R., Harmony, K. R., Aboukheira, A. A., Johnson, S. K., 2012. Alfalfa production with subsurface drip irrigation in the Central Great Plains. Transactions of the ASABE. 55, 1203-1212.
- Lampinen, B., Browne, G., Schneider, S., Shrestha, A., Holtz, B., Simon, L., 2006. Alternative pre-plant soil fumigation treatments for deciduous tree crops. In Proceedings of the International Conference on Methyl Bromide Alternatives and Emission Reductions. 6-9.
- Le Grange, M., Wand, S. J. E., Theron, K. I. 2002. Effect of kaolin applications on apple fruit quality and gas exchange of apple leaves. In XXVI International Horticultural Congress: Key Processes in the Growth and Cropping of Deciduous Fruit and Nut Trees. 636, 545-550.
- Little, C. 2006. The effect of deficit irrigation on yield and vegetative growth in English walnuts. University of California. Davis.
- Liu, M., Li, X., Du, Y., Han, R., 2019. Adsorption of methyl blue from solution using walnut shell and reuse in a secondary adsorption for Congo red. Bioresource Technology Reports. 5, 238-242.

- Liu, X., Guasch-Ferré, M., Tobias, D. K., Li Y., 2021. Association of Walnut Consumption with Total and Cause-Specific Mortality and Life Expectancy in US Adults. *Nutrients*. 13, 2699.
- Mahmoudian, M., Rahemi, M., Karimi, S., Yazdani, N., Tajdini Z., Sarikhani, S., Vahdati, K., 2021. Role of kaolin on drought tolerance and nut quality of Persian walnut. *Journal of the Saudi Society of Agricultural Sciences*. 20, 409-416.
- McCutchan, H. and Shackel, K.A., 1992. Stem water potential as a sensitive indicator of water stress in prune trees (*Prunus domestica* cv. French). *J. Amer. Soc. Hort. Sci.* 117, 607-611.
- McGranahan, G. H., Forde, H. I., Snyder, R. G., Sibbett, G. S., Reil, W., Hasey, J., Ramos, D. E., 1992. Tulare' Persian walnut. *HortScience*. 27, 186-187.
- McGranahan, G., 1998. The importance of genetic diversity to the world's walnut nut crop industry. *Biodiversity and Sustainable Use of Kyrgyzstan's walnut-Fruit Forests*. IUCN, Bern, Switzerland. 105-106.
- Murchie, E. H., & Lawson, T., 2013. Chlorophyll fluorescence analysis: a guide to good practice and understanding some new applications. *Journal of experimental botany*. 64, 3983-3998.
- Naser, L., Kourosh, V., Bahman, K., Reza, A., 2010. Soluble sugars and proline accumulation play a role as effective indices for drought tolerance screening in Persian walnut (*Juglans regia* L.) during germination. *Fruits*. 65, 97-112.
- Neilsen, G., Parchomchuk, P., Meheriu, M., Neilsen, D., 1998. Development and correction of K-deficiency in drip-irrigated apple. *HortScience*. 33, 258-261.
- Neilsen, D., Parchomchuk, P., Neilsen, G. H., Hogue, E. J., 1998. Using soil solution monitoring to determine the effects of irrigation management and fertigation on nitrogen availability in high-density apple orchards. *Journal of the American Society for Horticultural Science*. 123, 706-713.
- Noreen, Z., Ashraf, M., 2009. Assessment of variation in antioxidative defense system in salt-treated pea (*Pisum sativum*) cultivars and its putative use as salinity tolerance markers. *Journal of plant physiology*. 166, 1764-1774.

- Petridis, A., Therios, I., Samouris, G., Koundouras, S., Giannakoula, A., 2012. Effect of water deficit on leaf phenolic composition, gas exchange, oxidative damage and antioxidant activity of four Greek olive (*Olea europaea* L.) cultivars. *Plant Physiol Biochem.* 60,1–11.
- Postel, S. L., 2000. Entering an era of water scarcity: the challenges ahead. *Ecological applications.* 10, 941-948.
- Ramos, D.E., Brown, L.C., Uriu, K., Marangoni, B., 1978. Water stress affects size and quality of walnuts. *California Agriculture.* 10, 29-30.
- Rolfe, S. A., & Scholes, J. D., 1995. Quantitative imaging of chlorophyll fluorescence. *New Phytologist.* 131, 69-79.
- Romero, P., García, J., Botía, P., 2006. Cost–benefit analysis of a regulated deficit-irrigated almond orchard under subsurface drip irrigation conditions in Southeastern Spain. *Irrigation Science.* 24, 175-184.
- Romero, P., Navarro, J. M., García, F., Ordaz, P. B., 2004. Effects of regulated deficit irrigation during the pre-harvest period on gas exchange, leaf development and crop yield of mature almond trees. *Tree Physiology.* 24, 303-312.
- Ros, E., Izquierdo-Pulido, M., Sala-Vila, A., 2018. Beneficial effects of walnut consumption on human health: Role of micronutrients. *Current Opinion in Clinical Nutrition & Metabolic Care.* 21, 498-504.
- Rosati, A., Metcalf, S., Buchner, R., Fulton, A., Lampinen, B., 2006. Tree water status and gas exchange in walnut under drought, high temperature and vapour pressure deficit. *The Journal of Horticultural Science and Biotechnology.* 81, 415-420.
- Rosati, A., Metcalf, S. G., Buchner, R. P., Fulton, A. E., Lampinen, B. D. 2006. Physiological effects of kaolin applications in well-irrigated and water-stressed walnut and almond trees. *Annals of Botany.* 98, 267-275.
- Rouskas, D., 1996. Caractéristiques de la production de noix en Grèce. Les Bassins de Production de noix Européens. In *Proceedings of the Symposium European Noix*, Reus, Spain. 20–33.
- Scholander, P.F., Hammel, H.T., Bradstreet, E.D., Hemmingsen, E.A., 1965. Sap

pressure in vascular plants. *Science*, 148. 339-346.

Schmuck, G., Moya, I., Pedrini, A., Van der Lind, D., Lichtenthaler, H. K., Stober, F., & Goulas, Y., 1992. Chlorophyll fluorescence lifetime determination of waterstressed C3-and C4-plants. *Radiation and Environmental Biophysics*. 31, 141-151.

Shellie, K. C., & King, B. A., 2013. Kaolin particle film and water deficit influence Malbec leaf and berry temperature, pigments, and photosynthesis. *American journal of enology and viticulture*. 64, 223-230.

Steduto, P., Hsiao, T. C., Fereres, E., Raes, D., 2012. Crop yield response to water. Rome. Food and Agriculture Organization of the United Nations.

Thomas, A. L., Muller, M. E., Dodson, B. R., Ellersieck, M. R, Kaps, M., 2004. A kaolin-based particle film suppresses certain insect and fungal pests while reducing heat stress in apples. *Journal of the American Pomological Society*. 58,42.

Tombesi, A., Rosati, A., 1996. Hazelnut response to water levels in relation to productive cycle. In IV International Symposium on Hazelnut. 445, 269-278.

Turrall, H., Svendsen, M., Faures, J.M. 2010. Investing in irrigation: Reviewing the past and looking to the future. *Agricultural Water Management*. 97, 551–560.

Vahdati, K., Hassani, D., Rezaee, R., Jafari Sayadi, M. H., Sarikhani Khorami, S., 2014. Walnut footprint in Iran. Following walnut footprints (*Juglans regia* L.) cultivation and culture, folklore and history, traditions and uses. 442.

Vahdati, K., Arab M. M., Sarikhani, S., Sadat-Hosseini, M., Lesli, C. A., Brown, P. J., 2019. Advances in Persian walnut (*Juglans regia* L.) breeding strategies. In *Advances in plant breeding strategies: Nut and beverage crops*. Springer, Cham. 401-472.

von Westarp, S., Chieng, S., Schreier, H., 2004. A comparison between low-cost drip irrigation, conventional drip irrigation, and hand watering in Nepal. *Agricultural Water Management*. 64, 143-160.

Way, D. A., 2011. Tree phenology responses to warming: spring forward, fall back. *Tree physiology*. 31, 469-471.

- Woods, P. V., Nambiar, E. K. S., Smethurst, P. J., 1992. Effect of annual weeds on water and nitrogen availability to *Pinus radiata* trees in a young plantation. Forest Ecology and Management. 48, 145-163.
- Zhang, J. and Kirkham, M. B., 1996. Antioxidant responses to drought in sunflower and sorghum seedlings. New phytologist. 132, 361-373.

Πηγές Διαδικτύου

- International Nut and Dried Fruit Council (INC, 2020).
<https://www.nutfruit.org/consumers>
www.meteoblue.com
- Ελληνική Στατιστική Αρχή (ΕΛΣΤΑΤ), 2018. www.statistics.gr
- FAOSTAT Database Results. 2019.
- Εθνική Μετεωρολογική Υπηρεσία (Ε.Μ.Υ.). <http://www.emy.gr/emyl/el/>

ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ



Εικόνες 1-2: Εγκατάσταση υδρομετρητών στις σειρές των τεσσάρων μεταχειρίσεων.



Εικόνες 3-4: Εδαφικές τομές για μακροσκοπική μέτρηση υγρασίας των μπεκ (αριστερά) και στάγδην (δεξιά) συστημάτων άρδευσης μία ημέρα μετά την άρδευση.



Εικόνες 5-6:Εδαφολομές σε Μπεκ (αριστερά) και Στάγδην (δεξιά) την τελευταία ημέρα προ της καθορισμένης άρδευσης.



Εικόνα 3: Εδαφική τομή 110 cm από τον μικροεκτοξευτήρα μια ημέρα μετά την άρδευση.



Εικόνα 4-9: Μέτρηση υδατικού δυναμικού



Εικόνα 10: Μετρήσεις παραμέτρων φωτοσύνθεσης καρπών.



Εικόνα 11: Μέτρηση χρώματος φλοιού ανώριμων



Εικόνα 12: Μετά από διαφυλλική εφαρμογή καολίνη.



Εικόνες 13-14: Ανώριμοι καρποί ΚΣ (αριστερά) και ΜΣ (δεξιά)



Εικόνες 15-16: Ανώριμοι καρποί ΚΜ (αριστερά) και ΜΜ (δεξιά)